

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
ДНУ «Український ін-т науково-технічної експертизи та інформації»  
Дунайський університет Кремс (Австрія)  
Донбаська державна машинобудівна академія  
Запорізький національний технічний університет  
Західночеський університет (Чехія)  
Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України  
Люблінський технологічний університет (Польща)  
Національний технічний університет «КПІ ім. І. Сікорського»  
Національний університет «Львівська політехніка»  
Новий університет Лісабона (Португалія)  
Технологічний інститут Карлсруе (Німеччина)  
Університет Вітовта Великого (Литва)  
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України  
ІнМехМаш ім. акад. У.А. Джолдасбекова (Казахстан)  
Яський технічний університет (Румунія)

**Збірник тез доповідей  
III-ї Міжнародної науково-технічної конференції  
“Перспективи розвитку машинобудування  
та транспорту – 2023”**

1 – 3 червня 2023 р.

**Abstracts of papers presented at  
III-th International scientific and technical conference  
«Prospects for the development of mechanical engineering  
and transport – 2023»**

1 – 3 June 2023

УДК 004+378+537+615+621+629

З-41

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 13 від 25 травня 2023 року)

**Редакційна колегія:**

В. Біліченко, В. Савуляк, С. Павлов, Р. Іскович-Лотоцький,  
В. Михалевич, Л. Козлов, А. Поляков, Р. Сивак

**За загальною редакцією Леоніда Поліщука**

**Збірник** тез доповідей III-ї Міжнародної науково-технічної  
З-41 конференції «Перспективи розвитку машинобудування та  
транспорту – 2023»: Збірник тез [Електронний ресурс]. –  
Вінниця: ВНТУ. – 2023. – (PDF , 490 с.)

ISBN 978-966-641-935-7

В тезах доповідей представлені сучасні наукові, технічні та інженерні досягнення провідних вчених України і зарубіжних країн в напрямку розвитку динаміки та міцності машин і споруд, теоретичних та прикладних задач обробки металів тиском і автотехнічних експертиз, галузі штучних імплантів в механічній біоінженерії, транспортних систем і технологій, матеріалознавства та довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій, використання вібрацій в техніці та технологіях, технологій та систем автоматизації машинобудування, проблем проектування, виготовлення та експлуатації озброєння та військової техніки, інноваційних технологій в контексті підготовки фахівців технічних спеціальностей у воєнний та повоєнний час. Для наукових працівників, аспірантів, викладачів вищих навчальних закладів, інженерів та студентів.

**УДК 004+378+537+615+621+629**

**ISBN 978-966-641-935-7**

© Вінницький національний технічний  
університет, укладання, 2023

## ЗМІСТ

### ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

1. <i>Tarek Zohdi</i> <b>MODELING AND SIMULATION TOOLS FOR INDUSTRIAL AND SOCIETAL RESEARCH APPLICATIONS: DIGITAL TWINS AND GENOME-BASED MACHINE-LEARNING</b> .....	1
2. <i>Amandyk Tuleshov</i> <b>COOPERATION IN THE DEVELOPMENT OF CENTRIFUGAL PUMPS IN KAZAKHSTAN</b> .....	4
3. <i>Богдан Олегович Аврамчук</i> <b>УКРІНТЕІ ЯК НЕВІД'ЄМНА СКЛАДОВА ІННОВАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ</b> .....	6
4. <i>Юрій Володимирович Сенюк</i> <b>ECOLOGICAL ENGINEERING AND RESILIENT GREEN INFRASTRUCTURE AS A NEW INDUSTRIAL BASE FOR THE POST-WAR RECOVERY OF UKRAINE: INSTITUTIONAL, INNOVATIVE AND EDUCATIONAL PRIORITIES</b> ....	10
5. <i>Іван Іванович Назаренко</i> <b>РОЛЬ НАУКОВОЇ ШКОЛИ В ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ</b> .....	15
6. <i>Віктор Вікторович Біліченко, Сергій Володимирович Цимбал</i> <b>ПОКРАЩЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ Мешканців Вінницької міської територіальної громади</b> .....	17
7. <i>Oleksandr Hrushko, Thomas Schrefl</i> <b>APPLICATION OF THE FINITE ELEMENT METHOD FOR MODELING SOME MECHANICAL PROPERTIES OF POLYCRYSTALS</b> .....	20

### Секція 1. ПРОБЛЕМИ ДИНАМІКИ ТА МІЦНОСТІ МАШИН І СПОРУД

1. <i>Oleksandr Vasilevskyi</i> <b>ASSESSMENT OF THE DURABILITY OF ELECTRICAL MACHINE STRUCTURES</b> .....	22
2. <i>Костянтин Едуардович Голенко, Олександр Володимирович Диха, Олег Петрович Бабак</i> <b>МОДЕЛЮВАННЯ ДІАГОНАЛЬНОГО ВИВІШУВАННЯ СПОРТИВНОГО АВТО – “ТОМСАТ 100” LAND ROVER DEFENDER</b> .....	24
3. <i>Євгеній Горбатюк</i> <b>DYNAMIC LOADS ARISING IN TOWER CRANES DURING THEIR OPERATION</b> .....	26
4. <i>Ярослав Ігоревич Сапожников</i> <b>ЧИСЛОВИЙ АНАЛІЗ ДВОСТОРОННЬОЇ ЗАДАЧІ ГІДРОПРУЖНОСТІ ДЛЯ ТО-РЦЕВОГО САЛЬНИКОВОГО УЩІЛЬНЕННЯ, ВПЛИВ РІЗНИХ ПАРАМЕТРІВ І ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ</b> .....	28
5. <i>Володимир Михайлович Шатохін</i> <b>ОПТИМАЛЬНИЙ ПРОФІЛЬ ЛОПАТКИ РОТОРНОГО МЕТАЛЬНИКА ҐРУНТУ</b> .....	30
6. <i>Володимир Михайлович Шатохін</i> <b>МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В НЕГОЛОНОМНІЙ МОДЕЛІ КУЛЬОВОГО МЛИНА</b> .....	32
7. <i>Микола Павлович Ярошевич</i> <b>ПРО ВІБРАЦІЙНЕ ЗАХОПЛЕННЯ ОБЕРТАННЯ ДЕБАЛАНСНОГО ВІБРОЗБУДНИКА</b> .....	34
8. <i>Олександр Володимирович Гаврюков</i> <b>ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ТРАНСПОРТУВАННЯ БЕТОНУ З КРУПНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ ТРУБЧАСТОЮ СТРІЧКОЮ З ПЕРЕГОРОДКАМИ</b> .....	36
9. <i>Глона Володимирівна Драч</i> <b>ОЦІНКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД ДИСБАЛАНСУ РОТОРА</b> .....	38
10. <i>Петро Ярославович Пукач</i> <b>АСИМПТОТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНИХ ЗГІННИХ КОЛИВАНЬ ТІЛ, ЯКІ ОБЕРТАЮТЬСЯ НАВКОЛО НЕРУХОВОЇ ОСІ</b> .....	40
11. <i>Leonid Polishchuk, Konrad Gromaszek, Oleh Hmara, Oleh Piontkevych</i> <b>THE INFLUENCE OF THE RESERVE POWER OF THE HYDRAULIC DRIVE ON ITS STATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS</b> .....	42
12. <i>Віталій Вадимович Симоненко, Олена Володимирівна Панченко</i> <b>РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ДОВГИХ БАРАБАНІВ ШАХТНИХ ПІДЙІМАЛЬНИХ МАШИН НА ОСЬОВУ ЖОРСТКІСТЬ</b> .....	44
13. <i>Костянтин Васильович Таратута</i> <b>COMPUTER STUDY OF THE PERFORMANCE OF COUPLINGS WITH HIGH COMPENSATING ABILITY</b> .....	46
14. <i>Сергій Миколайович Кабанник, Олег Леонідович Деркач, Кирило Валентинович Савченко, Вадим Олексійович Круц</i> <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛОКАЛЬНИХ ПОШКОДЖЕНЬ НА ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ КОМПОЗИТНИХ СТЕРЖНІВ</b> .....	49

15. <i>Євген Валентинович Харченко</i> ДИНАМІЧНА ВЗАЄМОДІЯ КОЛОНИ БУРИЛЬНИХ ТРУБ З ПОТОКОМ ПРОМИВАЛЬНОЇ РІДИНИ .....	51
16. <i>Володимир Миколайович Гелетій</i> РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ З ДОВГОМІРНИМИ БАЛКОВИМИ І КАНАТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ.....	53
17. <i>Богдан Мирославович Стасюк</i> ГРАНИЧНО-РІВНОВАЖНИЙ СТАН ФРАГМЕНТУ ТРУБОПРОВОДУ ПОСЛАБЛЕНОГО ВНУТРІШНЬОЮ ЕЛІПТИЧНОЮ ТРИЩИНОЮ.....	55
18. <i>Євген Валентинович Харченко</i> ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ У МЕХАНІЧНІЙ СИСТЕМІ ТРАМВАЯ ПІД ЧАС ЗІТКНЕННЯ З НЕРУХОМОЮ ПЕРЕШКОДОЮ.....	57
19. <i>Вячеслав Олексійович Дегтярев</i> ВПЛИВ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЯХ НА ГРАНИЧНІ НАПРУЖЕННЯ ЦИКЛУ .....	60
20. <i>Ярослав Степанович Гриджук, Ігор Іванович Чудик, Орест Олегович Слабій, Тарас Ігорович Кондур, Ігор Юрійович Мохній</i> ПРО АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ ЗОНИ КОНТАКТУВАННЯ ПРОГНУТОЇ ДІЛЯНКИ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ ІЗ СТІНКОЮ СВЕРДЛОВИНИ.....	63
21. <i>Богдан Іванович Сокіл, Ярослав Петрович Романчук, Марія Богданівна Сокіл</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ КОЛИВАНЬ ПРУЖНИХ ТІЛ .....	66
22. <i>Євген Валентинович Харченко, Карл-Гайнц Нойман, Вальдемар Дудда, Сильвестер Кшиш, Андрій Романович Біловус</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОПЕРЕЧНИХ І КРУТИЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ДОВГОМІРНИХ СКЛАДЕНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ .....	68
23. <i>Сергій Валентинович Білодіденко, Василь Іванович Гануш, Галина Миколаївна Біліченко</i> ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ СТАНИНИ ПРОШИВНОЇ КЛІТІ ТРУБОПРОКАТНОГО АГРЕГАТУ 350.....	71

## **Секція 2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ ЗАДАЧІ МЕХАНІКИ ДЕФОРМІВНОГО ТВЕРДОГО ТІЛА, ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ І АВТОТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ**

1. <i>Юрій Юрійович Абросов, Володимир Ананійович Максимюк</i> МЕТОД РОЗРАХУНКУ ДЕФОРМУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ ЕЛІПТИЧНОГО ПЕРЕРІЗУ З НЕЛІНІЙНО-ПРУЖНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	74
2. <i>Євген Анатолійович Сторожук</i> ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНИЙ СТАН ДОВГОЇ ОВАЛЬНОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ ЗМІННОЇ ТОВЩИНИ.....	76
3. <i>Юрій Петрович Глухов</i> ВПЛИВ ЖОРСТКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ І УМОВ КОНТАКТУ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН НЕСТИСЛИВОГО ПІВПРОСТОРУ З ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ.....	78
4. <i>Віктор Андрійович Матвійчук, Володимир Маркусович Михалевич, Микола Анатолійович Колісник</i> АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАТЕРІАЛУ ПРИ ВИСАДЖУВАННІ ЗОВНІШНІХ ФЛАНЦІВ НА КІЛЬЦЕВИХ ЗАГОТОВКАХ МЕТОДОМ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ .....	80
5. <i>Володимир Маркусович Михалевич, Віктор Андрійович Матвійчук, Андрій Анатолійович Штуць</i> ОЦІНКА ДЕФОРМІВНОСТІ МАТЕРІАЛУ ПРИ ВИСАДЖУВАННІ ЗОВНІШНІХ ФЛАНЦІВ НА ТРУБНИХ ЗАГОТОВКАХ КОНІЧНИМ ВАЛКОМ .....	83
6. <i>Владислав Анатолійович Баранов, Сергій Іванович Сухоруков</i> НАПРЯМКИ ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОШАРОВОГО ЛОКАЛЬНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК.....	86
7. <i>Віктор Валерійович Савуляк</i> ВИГОТОВЛЕННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ХОЛОДНИМ ЛИСТОВИМ ШТАМПУВАННЯМ.....	88
8. <i>Тетяна Ігорівна Молодецька</i> АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРОЦЕСУ ГНУТТЯ МАТЕРІАЛІВ З ПОКРИТТЯМ .....	91
9. <i>Іграмотдін Серажутдінович Алієв</i> ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИДАВЛЮВАННЯ .....	93
10. <i>Іграмотдін Серажутдінович Алієв</i> МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ОДЕРЖАНИХ ВИДАВЛЮВАННЯМ .....	95



11. Яна Павлівна Коваленко, Петро Петрович Мельничук <b>ВПЛИВ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ІНСТРУМЕНТУ ІЗ ПКНБ ГРУПИ VL НА ЯКІСТЬ ОБРОБКИ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ</b> .....	97
12. Віктор Євгенійович Перлов <b>ЕНЕРГІЯ ДЕФОРМУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ДТП</b> .....	99
13. Роман Іванович Сивак <b>ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ В СУМІЩЕНОМУ ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ ТИСКОМ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК ІЗ АЛЮМІНІЄВОГО ПРУТКА</b> .....	102
14. Віталій Леонідович Чухліб, Володимир Олексійович Палієнко <b>ОТРИМАННЯ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ОБРОБКОЮ ТИСКОМ</b> .....	104
15. Інна Юрійівна Кириця, Леонід Клавдійович Поліщук, Валерій Йосипович Шенфельд <b>ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ ЗАНУРЕННЯ ТВЕРДОГО ІНДЕНТОРА В СТАЛЬ ПІДВИЩЕНОЇ ТВЕРДОСТІ</b> .....	106
16. Тетяна Федорівна Архіпова <b>ОЦІНКА ПЛАСТИЧНОСТІ ТА ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ОТРИМАНИХ ОБРОБКОЮ ТИСКОМ</b> .....	108
17. Андрій Васильович Губанов <b>ЕНЕРГІЯ ЗНОШУВАННЯ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН</b> .....	110

### **Секція 3. ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ ШТУЧНИХ ІМПЛАНТАТІВ В МЕХАНІЧНІЙ БІОІНЖЕНЕРІЇ**

1. Сергій Павлович Панченко, Максим Леонідович Головаха, Тетяна Олександрівна Зуб <b>ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОЛОЖЕННЯ ШТУЧНОГО ТРАНСПЛАНТАТУ СУХОЖИЛЛЯ ПІДКОЛІННОГО М'ЯЗА НА СТАБІЛЬНІСТЬ КОЛІННОГО СУГЛОБА</b> .....	112
2. Наталія Володимирівна Тітова, Сергій Володимирович Павлов, Валентин Олегович Семашкін <b>СТВОРЕННЯ ШТУЧНИХ ІМПЛАНТАТІВ У БІОМЕДИЧ-НІЙ ІНЖЕНЕРІЇ</b> .....	114
3. Валерій Єгорович Кривоносов, Олександр Геннадійович Шайко-Шайковський, Лариса Олександрівна Кошева <b>ПРИНЦИП БУДОВИ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЛІКУВАННЯ ПЕРЕЛОМІВ КІСТОК З ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ</b> .....	117
4. Ігор Валентинович Прокопович, Костянтин Олександрович Дядюра <b>ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРИСТИХ КІСТКОВИХ ЗАМІННИКІВ НА ОСНОВІ ГІДРОКСИПАТИТУ</b> .....	119
5. Waldemar Wójcik, Sergey Pavlov, Gaini Karnakova <b>FEATURES OF MANUFACTURING FIBER BRAGG GRATINGS</b> .....	121
6. Павло Ігорович Прокопович, Костянтин Олександрович Дядюра <b>ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОРЕЛЬЄФУ ПОВЕРХОНЬ З МАТЕРІАЛУ СЕРІЇ TC-80DP ПІСЛЯ 3D ДРУКУ</b> ..	124
7. Тарас Олегович Чечель, Тетяна Віталіївна Носова, Олег Григорович Аврунін <b>АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАМІНИ ПОШКОДЖЕНОГО СУГЛОБА ІМПЛАНТАТОМ</b> .....	126
8. Наталія Олегівна Шушлягіна, Яна Віталіївна Носова, Ібрагім Юнусс Абделхамід, Олександр Олегович Аврунін <b>ОСОБЛИВОСТІ 3D-ПРОТОТИПУВАННЯ ВЕРХНІХ ДИХАЛЬНИХ ШЛЯХІВ</b> .....	128
9. Олександр Володимирович Карась, Сергій Володимирович Павлов, Віктор Олексійович Гомолінський <b>ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ ОЧНОГО ДНА ПРИ ДІАГНОСТИЦІ ДІАБЕТИЧНОЇ РЕТИНОПАТІЇ</b> .....	130
10. Олексій Олексійович Ліхницький <b>ОСНОВНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ПАЦІЄНТСПЕЦИФІЧНИХ ІМПЛАНТІВ ТА ХІРУРГІЧНОЇ НАВІГАЦІЇ</b> .....	132
11. Леонід Коваль, Олександр Фомін, Віктор Гомолінський, Дмитро Штофель, Іван Криворучко, Володимир Павлов, Руслан Білий <b>ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ 3D КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ ОБЕРТАННЯ ПОРШНІВ ДЛЯ ПОРТАТИВНИХ МЕДИЧНИХ АСПРАТОРІВ</b> .....	135
12. Ольга Станіславівна Мусієнко, Віталій Валентинович Парій, Олексій Ігорович Моргун <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДСТАНИ МІЖ МОСТОРОДІБНИМ ПРОТЕЗОМ З ОПОРОЮ НА ІМПЛАНТАТИ ТА ОКРЕМО ВСТАНОВЛЕНИМ ІМПЛАНТАТОМ НА НДС КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ</b> .....	139

13. Михайло Миколайович Бриков <b>ВПЛИВ ЧАСУ МІКРОДУГОВОГО ОКСИДУВАННЯ МАГНІСОВОГО СПЛАВУ НА ШВИДКІСТЬ ЙОГО РОЗЧИНЕННЯ В КОРОЗІЙНО-АКТИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ</b> .....	141
14. Владислав Снядовський, Сергій Тимчик, Олексій Мормітко <b>МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ В'ЯЗКОСТІ КРОВІ</b> .....	143
15. Сергій Павлов, Оркен Мамирбаєв, Йосиф Салдан, Кимбат Моминжанова, Любов Загоруйко <b>АНАЛІЗ АВТОМАТИЗОВАНИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ 2-D БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ПАТОЛОГІЯХ ЗАХВОРЮВАНЬ ОКА</b> .....	147
16. Катерина Локес, Людмила Шкільняк, Тетяна Канишина, Давид Аветіков <b>ВПЛИВ КРІОЕКСТРАКТУ ПЛАЦЕНТИ НА ПРОЦЕСИ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕННЯ ЛІПІДІВ У ПАЦІЄНТІВ ІЗ ОДОНТОГЕННИМИ ФЛЕГМОНАМИ ЩЕЛЕПНО-ЛИЦЕВОЇ ЛОКАЛІЗАЦІЇ</b> .....	151
17. Павло Тимків, Євгенія Яворська <b>ARTIFICIAL IMPLANTS IN BIOMEDICAL ENGINEERING: THE ROLE OF BIOMATERIALS AND 3D PRINTING TECHNOLOGY</b> .....	153
18. Сергій Павлов, Наталія Титова, Оркен Мамирбаєв, Лариса Никифорова, Асель Айтказіна <b>АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОСТОРОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З БІОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ</b> .....	155
19. Сергій Романюк, Наталія Титова, Вальдемар Вуйцік, Олександр Романюк, Леонід Коваль <b>ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ФОРМУВАННЯ 3-D ЗОБРАЖЕНЬ ОБЛИЧЧЯ ЛЮДИНИ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ</b> .....	158
20. Василь Дозорський, Оксана Дозорська, Євгенія Яворська <b>КОНСТРУКЦІЯ ЕНДОСКЕЛЕТА БІОКЕРОВАНОГО ПРОТЕЗА КИСТІ РУКИ</b> .....	161
21. Леонід Григорович Коваль, Руслан Ігорович Білий, Михайло Костянтинівич Бондарчук <b>ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ БІОНІЧНИХ ПРОТЕЗІВ РУК В ГАЛУЗІ ШТУЧНИХ ІМПЛАНТАТІВ</b> .....	164
22. Іван Криворучко, Антон Пастушенко <b>ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНІ ПРОТИПОКАЗАННЯ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ІМПЛАНТІВ</b> .....	166
23. Сергій Павлов, Оркен Мамирбаєв, Петро Колісник, Шолпан Пернебайкізи Жумагулова, Олександр Волосович <b>ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ СТВОРЕННЯ МЕДИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ БІОМЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ</b> .....	168
24. Олександр Ушенко, Олександр Дуболазов, Ірина Солтис, Іван Гордей <b>КОМП'ЮТЕРНІ АЛГОРИТМИ ДИСКРЕТНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-СИНГУЛЯРНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ ЗАСТОСУВАНЬ</b> .....	172
25. Олександр Ушенко, Олександр Дуболазов, Ірина Солтис, Іван Гордей <b>ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-КОРЕЛЯЦІЙНА РЕПРОГРАФІЯ ДВОМІРНИХ ЦИФРОВИХ МАСИВІВ ДАНИХ ІНТРОСКОПІЇ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ</b> .....	174
26. Ольга Сергіївна Комарова, Володимир Вікторович Холін, Сергій Володимирович Павлов, Микола Федорович Посохов, Сергій Володимирович Тертишний, Анна Вікторівна Рева, Ярослав Олександрович Івлєв, Максим Вадимович Ткаченко <b>КОМБІНОВАНИЙ ОПТОВОЛОКОННИЙ ІНСТРУМЕНТ СУМІЩЕНИЙ З ПРОМЕТРОМ</b> .....	176
27. Юрій Олексійович Безсмертний, Віктор Іванович Шевчук, Дмитро Вадимович Бондаренко <b>ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОПЕРАТИВНИЙ ОРТОПЕДІЇ</b> .....	180
28. Waldemar Wójcik, Gaini Zharaskhanovn Karnakova, Indira Bizhanovna Shedreyeva <b>INVESTIGATION OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF FIBER BRAGG GRATINGS WITH A DISCRETELY VARYING PERIOD</b> .....	182
29. Інна Вікторівна Віштак, Вікторія Володимирівна Федотова <b>ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ: ПЕРСПЕКТИВИ ТА РИЗИКИ</b> .....	185

#### Секція 4. ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ

1. Ірина Федоренко <b>АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ І КОНСТРУКТИВНИХ ФАКТОРІВ НА КОЕФІЦІЄНТИ ПИТОМОЇ ПРОБІГОВОЇ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТА ПИТОМОЇ ПРОБІГОВОЇ ПАЛИВОЄМНОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ ОПЕРАЦІЇ</b> .....	187
---	-----

2.	<i>Світлана Михайлівна Шарай, Володимир Прохорович Сахно, Віктор Михайлович Поляков, Максим Петрович Рой</i> <b>НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЛОГІСТИЧНИХ КЛАСТЕРІВ</b> .....	189
3.	<i>Станіслав Володимирович Войтків</i> <b>СИСТЕМА МОДУЛЬНОГО МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ОСНОВІ СІДЛОВИХ ЕЛЕКТРОБУСІВ</b> .....	191
4.	<i>Станіслав Володимирович Войтків</i> <b>ОГЛЯД І АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖНИХ ВЕЛОЕЛЕКТРОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ L1E-A</b> .....	193
5.	<i>Тетяна Миколаївна Колеснікова, Владлен Юрійович Тодоров</i> <b>МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСУ ВІДКЛЮЧЕННЯ ПОРШНЯ В БЕЗШАТУННОМУ ДВИГУНІ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ</b> .....	195
6.	<i>Євгеній Михайлович Лебідь, Наталія Олександрівна Лужанська, Ірина Георгіївна Лебідь</i> <b>ПЕРСПЕКТИВИ ЗАЛУЧЕННЯ ФАХІВЦІВ З ЛОГІСТИЧНОГО КОНСАЛТИНГУ ДО УДОСКОНАЛЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ</b> .....	198
7.	<i>Олександр Михайлович Красноштан</i> <b>ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНОГО ВМІСТУ КОМПОНЕНТІВ СКРАПЛЕНОГО ГАЗУ</b> .....	200
8.	<i>Олександр Михайлович Красноштан</i> <b>ЖИВУЧІСТЬ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ЯК ВАЖЛИВИЙ ПАРАМЕТР В УМОВАХ ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ</b> .....	203
9.	<i>Надія Григорівна Куць</i> <b>ЕЛЕКТРИЧНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ ЯК ВАЖЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ</b> .....	207
10.	<i>Михайло Абович Подригало, Руслан Олегівич Кайдалов, Микола Миколайович Альокса, Василь Іванович Омельченко</i> <b>АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОВІСНИХ АВТОМОБІЛІВ ТА БАГАТОЛАНКОВИХ АВТОПОЇЗДІВ</b> .....	209
11.	<i>Едуард Сергійович Клімов, Сергій Михайлович Черненко, Олександр Володимирович Павленко</i> <b>ОПІР КОЧЕННЮ ЕЛАСТИЧНОГО КОЛЕСА ПО ПРЯМОЛІНІЙНІЙ ТРАЄКТОРІЇ</b> .....	213
12.	<i>Світлана Пашкевич, Станіслав Свічинський</i> <b>СУЧАСНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ РІЗНИЦІ У МАТРИЦЯХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ ОДНАКОВОЇ РОЗМІРНОСТІ</b> .....	215
13.	<i>Олександр Юрійович Зарівний, Юрій Олександрович Ромасевич</i> <b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ МАЛОГАБАРИТНИХ ВАНТАЖІВ</b> .....	217
14.	<i>Ольга Володимирівна Свічинська, Олександра Олександрівна Макарова</i> <b>ЗМІНА ПАСАЖИРООБІГУ В УКРАЇНІ ЗА РІК ВІЙНИ</b> .....	220
15.	<i>Дмитро Вікторович Борисюк, Вячеслав Йосипович Зелінський</i> <b>FEATURES OF TRANSPORTATION OF MILITARY MACHINERY BY ROAD TRANSPORT</b> .....	222
16.	<i>Леонід Клавдійович Поліщук, Андрій Валентинович Слабкий, Віталій Олександрович Кудраш</i> <b>ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ПІДРЕСОРЮВАННЯ ШВИДКОХІДНИХ ГУСЕНИЧНИХ МАШИН</b> .....	225
17.	<i>Тетяна Георгіївна Хоботня, Мар'яна Анатоліївна Бабенко, Дмитро Валерійович Фурдецький</i> <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗДІЙСНЕННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ</b> .....	228
18.	<i>Микола Михайлович Тимошенко, Володимир Васильович Рудзінський, Сергій Володимирович Мельничук, Богдан Володимирович Ємець, Олександр Павлович Рябчук</i> <b>ДУАЛЬНА ОСВІТА ЯК СПОСІБ НАБУТТЯ ПЕРЕДОВИХ ЗНАТЬ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ</b> .....	320
19.	<i>Тетяна Георгіївна Хоботня, Дар'я Анатоліївна Бичок, Анастасія Станіславівна Хоменко</i> <b>ПРОБЛЕМИ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У ВОСНІЙ ЧАС</b> .....	233
 <b>Секція 5. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ДОВГОВІЧНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ, ПОКРИТТІВ, КОНСТРУКЦІЙ</b>		
1.	<i>Шиліна Олена Павлівна</i> <b>ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТІВ НАПЛАВЛЕНИХ З ДОДАВАННЯМ МОЛІБДЕНУ</b> .....	235
2.	<i>Валерій Олександрович Колесніков</i> <b>УЗАГАЛЬНЕННЯ ДАНИХ СТОСОВНО ВІДНОСНОЇ ОБРОБЛЮВАНОСТІ СТАЛЕЙ ТА ДЕЯКИХ СПЛАВІВ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ЇХ МЕТАЛЕВОЇ МАТРИЦІ</b> .....	238

3.	<i>Ольга Іванівна Звірко, Мирослава Іванівна Греділь, Григорій Миколайович Никифорчин, Олександра Зиновійвна Студент, Олександр Тимофійович Цирульник, Галина Василівна Кречковська</i> <b>ВПЛИВ ВОДНЮ НА РОЗВИТОК ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПОШКОДЖЕНОСТІ ТРУБОПРОВІДНОЇ СТАЛІ</b> .....	240
4.	<i>Володимир Степанович Дорошенко, Олександр Борисович Янченко, Степан Іванович Клименко</i> <b>ПРО ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА</b> .....	242
5.	<i>Олександр Борисович Янченко, Володимир Степанович Дорошенко, Степан Іванович Клименко</i> <b>ПЕРЕДУМОВИ ВИЛИВАННЯ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ</b> .....	244
6.	<i>Степан Іванович Клименко, Олександр Борисович Янченко, Володимир Степанович Дорошенко</i> <b>ПРО МЕТОДИ ГАРТУВАННЯ ВИЛИВКІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ ДЛЯ ГРУНТООБРОБНОЇ ТА ЗЕМЛЕРИЙНОЇ ТЕХНІКИ</b> .....	246
7.	<i>Микита Вікторович Костенко, Ірина Юріївна Гергель, Алла Євгенівна Шевельова, Володимир Васильович Лобода</i> <b>ЕЛЕКТРИЧНО ЗАРЯДЖЕНІ МІЖФАЗНІ ТРИЩИННИ У П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОМУ БІМАТЕРІАЛІ</b> .....	248
8.	<i>Валерій Іванович Савуляк, Максим Сергійович Дмитрієв, Валерій Йосипович Шенфельд</i> <b>НАПЛАВЛЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОВЕРХОНЬ З ЗАСТОСУВАННЯМ ГНУЧКИХ СТРИЧОК</b> .....	250
9.	<i>Ігор АНДРІЙОВИЧ Бойко</i> <b>ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТА ОБРОБКИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ</b> .....	252
10.	<i>Роман Михайлович Джала, Ігор Богданович Івасів, Людмила Євгенівна Червінка, Орест Олександрович Червінка</i> <b>МЕТОД ДИФУЗНОГО ВІДБИВАННЯ СВІТЛА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТТІВ</b> .....	254
11.	<i>Катерина В'ячеславівна Чмих</i> <b>АЛЮМІНІЄВІ СПЛАВИ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ПЕРЕРОБКИ</b> .....	256
12.	<i>Віктор Петрович Олександренко, Владислав Петрович, Свідерський, Людмила Мефодіївна Кириченко, Олексій Віталійович Степанець, Антон Олександрович Квасницький</i> <b>НАНОМОДИФІКОВАНІ ФТОРОПЛАСТОВІ ПОКРИТТЯ, НАНЕСЕНІ НА МЕТАЛЕВІ ПОВЕРХНІ</b> .....	260
13.	<i>Дмитро Віталійович Бакалець, Владислав Володимирович Поліщук</i> <b>ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ НАПЛАВЛЕННЯМ З ГАРТУВАННЯМ</b> .....	263
14.	<i>Сергій Олексійович Лузан, Вячеслав Анатолійович Бантковський</i> <b>ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ ВАЛУ ЗАМІСТЬ БРОНЗОВОЇ ВТУЛКИ</b> .....	265
15.	<i>Валерій Іванович Савуляк, Олена Павлівна Шиліна</i> <b>ПОВЕРХНЕВЕ ЗМІЦНЕННЯ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ЛАЗЕРОМ</b> .....	268
16.	<i>Аліна Олександрівна Макудера, Сергій Миколайович Лакиза, Олена Віктрівна Дуднік, Микола Іванович Гречанюк</i> <b>ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТВЕРДОГО РОЗЧИНУ НА ОСНОВІ ZrO<sub>2</sub> В ПРИСУТНОСТІ КОМПЛЕКСНОГО СТАБІЛІЗАТОРУ</b> .....	271
17.	<i>Олена Павлівна Шиліна, Олександр Романович Звада</i> <b>МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОВЕРХНІ ПРИ НАПЛАВЛЕННІ</b> .....	274
18.	<i>Мирослав Ярославович Головчук, Володимир Миколайович Гвоздецький, Галина Григорівна Веселівська, Михайло Михайлович Студент, Христина Романівна Задорожна</i> <b>ВПЛИВ ДІАМЕТРУ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ ТА СТРУМУ ДУГИ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ</b> .....	276
19.	<i>Валерій Іванович Савуляк, Костянтин Сергійович Шаргородський, Олександр Романович Звада</i> <b>ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ НАПЛАВЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ТА ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА НИХ</b> .....	278
20.	<i>Володимир Володимирович Широков, Яків Олександрович Шахбазов, Олексій Володимирович Широков</i> <b>МОЖЛИВОСТІ ВНУТРІШНЬОГО ОКИСЛЕННЯ ЩОДО ЗМІЦНЕННЯ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ З ТИТАНОМ</b> .....	280

21. <i>Костянтин Вікторович Борак, Ілля Ігорович Венглівський, Владислав Віталійович Свінціцький</i> ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТА ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН .....	282
22. <i>Юрій Богданович Паладійчук</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНОГО ЗМІЩЕННЯ ОБРОБЛЮВАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ДЕФОРМУЮЧОМУ ПРОТЯГУВАННІ .....	285
23. <i>Іван Миколайович Рибалко, Андрій Вадимович Захаров</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН .....	287
24. <i>Петро Петрович Савчук</i> НОВІ ЕПОКСИКОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ АГРОТЕХНІКИ .....	290
25. <i>Валерій Йосипович Шенфельд, Валерій Іванович Савуляк, Валентин Ігорович Вертій</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ВУГЛЕЦЕВОЇ ТКАНИНИ З НАПЛАВНИМ ДРОТОМ НП-30ХГСА .....	292
26. <i>Orest Bilyu, Leonid Polishchuk, Luis Roman</i> ANALYSIS OF SOME DAMAGES OF CLAMP-FORMING MACHINE BOOM CARRIAGE .....	294
27. <i>Євген Васильович Полункін, Александр Дмитриевич Рудь, Александр Борисович Янченко</i> РОЗРОБКА НОВИХ ЛЕГУЮЧИХ ТА МОДИФІКУЮЧИХ ПРИСАДОК У СПЛАВИ МЕТАЛІВ, ЩО МІСТЯТЬ ВУГЛЕЦЕВІ НАНОСФЕРИ З ЕНДОЕДРАЛЬНИМИ АТОМАМИ МЕТАЛІВ .....	297
28. <i>Валерій Іванович Савуляк, Володимир Олександрович Гримашевич</i> ВЗАЄМОДІЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДОРОЖНІХ МАШИН З ҐРУНТОМ .....	299

#### **Секція 6. ВИКОРИСТАННЯ ВІБРАЦІЇ В ТЕХНІЦІ ТА ТЕХНОЛОГІЯХ**

1. <i>Роман Михайлович Юзефович, Ігор Миколайович Яворський, Олег Васильович Личак, Роман Тарасович Слєпко, Павло Олександрович Семенов</i> ІМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ У ВИГЛЯДІ ПЕРІОДИЧНОГО НЕСТАЦІОНАРНОГО ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУ .....	301
2. <i>Наталія Ростиславівна Веселовська, Ростислав Дмитрович Іскович-Лотоцький</i> СУЧАСНІ ПИТАННЯ ДИНАМІКИ ГІДРОІМПУЛЬСНИХ ІНЕРЦІЙНИХ МАШИН .....	303
3. <i>Наталія Ростиславівна Веселовська</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВІБРАЦІЙНОГО ПРЕСУ .....	305
4. <i>Роман Романович</i> ОБЕРТЮХ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ГІДРОІМПУЛЬСНИХ ПРИВОДІВ І ПРИСТРОЇВ ІЗ СИЛОВИМИ ТА РОЗПОДІЛЬНИМИ ЛАНКАМИ НА БАЗІ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВИСОКОЇ ЖОРСТКОСТІ .....	307
5. <i>Віталій Михайлович Корендій, Александр Юрійович Качур, Володимир Миколайович Гурський</i> ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛІСНИХ РОБОТІВ З ВІБРОПРИВОДОМ .....	309
6. <i>Віталій Михайлович Корендій, Александр Юрійович Качур, Віктор Миколайович Захаров</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІБРАЦІЙНИХ ПРИТИРАЛЬНИХ МАШИН .....	311
7. <i>Александр Логунов</i> СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ .....	313
8. <i>Максим Олегович Богатюк, Наталія Ростиславівна Веселовська</i> ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ РЕЖИМІВ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИВОДА ТА ЙОГО ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ .....	315
9. <i>Володимир Миколайович Гурський, Віталій Михайлович Корендій, Павло Вікторович Крот, Ігор Володимирович Кузьо</i> ПРОБЛЕМИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОРЕЖИМНОГО ІНЕРЦІЙНОГО ВІБРОЗБУДЖУВАЧА .....	318
10. <i>Роман Романович Обертюх, Андрій Валентинович Слабкий, Владислав Олександрович Бабійчук</i> ГІДРОІМПУЛЬСНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДЕФОРМАЦІЙНОГО ЗМІЩЕННЯ ДЕТАЛЕЙ .....	320

11. Ігор Павлович Паламарчук, Владислав Ігоревич Паламарчук <b>РІВНЯННЯ МАСООБМІНУ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ З ВІБРОХВИЛЬОВИМ ТРАНСПОРТУВАННЯМ ПРОДУКЦІЇ</b> .....	322
12. Микола Миколайович Нестеренко, Іван Іванович Назаренко, Василь Васильович Ведмідь, Тетяна Миколаївна Нестеренко <b>ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ УДАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ФОРМИ ІЗ ОБМЕЖНИКОМ КОЛИВАНЬ</b> .....	324
13. Віталій Олександрович Кудраш <b>ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ВІБРООПОРА</b> .....	327
14. Інна Анатоліївна Телятник <b>ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ УДАРНО- ВІБРАЦІЙНОГО ВПЛИВУ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ ГІДРАВЛІЧНИМ ІМПУЛЬСНИМ ПРИСТРОЄМ</b> .....	329
15. Ігор Павлович Паламарчук, Оксана Володимирівна Зозуляк <b>ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРООСМОТИЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДІЇ У ПРОЦЕСІ ЗНЕВОЛОЖЕННЯ ПЕКТИНОМІСТКОЇ СИРОВИНИ</b> .....	332
16. Ігор Павлович Паламарчук, Оксана Володимирівна Зозуляк <b>ОЦІНКА КОМБІНОВАНОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ, КОНВЕКТИВНОЇ ТА ЕЛЕКТРООСМОТИЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДІЇ У ПРОЦЕСІ ЗНЕВОЛОЖЕННЯ ПЕКТИНОМІСТКОЇ СИРОВИНИ</b> .....	334
17. Іван Васильович Коц, Олег Олегович Горюн <b>УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ІМПУЛЬСІВ ВИСОКОГО ТИСКУ ПРИ ІН'ЄКТУВАННІ РІДИН В ҐРУНТОВІ ОСНОВИ</b> .....	336

#### **Секція 7. ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ**

1. Yaroslav Mykytovych Kornienko, Serhii Serhiiiovych Haidai <b>INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR OBTAINING GRANULATED ORGANIC-MINERAL FERTILIZERS</b> .....	339
2. Цян Лі, Олександр Васильович Узунов <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ ГІДРОПРИВОДУ ДИСКРЕТНОЇ ДІЇ</b> .....	342
3. Дмитро Олександрович Лозінський, Олександр Ігорович Кавецький <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОПРИВОДУ МОБІЛЬНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ</b> .....	344
4. Богдан Миколайович Завгородній, Андрій Миколайович Кириченко <b>ВИКОРИСТАННЯ БАГАТООСЬОВИХ МЕХАТРОНИЧНИХ ПРИСТРОЇВ В ПРОЦЕСАХ 3D-ДРУКУ</b> .....	347
5. В'ячеслав Ігорович Перепелиця, Леонід Геннадійович Козлов <b>АНАЛІЗ СПОСОБІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДЕКІЛЬКОХ ГІДРОЦИЛІНДРІВ</b> .....	349
6. Артем Олегович Товкач, Вадим Анатолійович Ковальчук, Леонід Геннадійович Козлов <b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРОСИСТЕМИ З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ НАСОСА</b> .....	352
7. Сергій Вадимович Ковалевський, Олена Сергіївна Ковалевська, Дар'я Миколаївна Сидюк <b>МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ОБ'ЄКТІВ МАШИНОБУДУВАННЯ</b> .....	354
8. Валерій Анатолійович Кирилович, Петро Петрович Мельничук, Людмила Францізна Могельницька <b>НЕЧІТКИЙ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР РОБОТИЗОВАНИХ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, ОПТИМАЛЬНИХ ЗА ЕДЖВОРТОМ-ПАРЕТО</b> .....	356
9. Андрій Миколайович Сліпчук <b>МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАРІЗАННЯ ВНУТРІШНЬОГО ЗУБЧАСТОГО ВІНЦЯ МЕТОДОМ "POWER SKIVING"</b> .....	358
10. Сергій Вадимович Ковалевський, Олена Сергіївна Ковалевська <b>ІННОВАЦІЙНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА</b> .....	360
11. Олександр Васильович Поліщук, Андрій Валентинович Слабкий, Сергій Олександрович Чубур <b>РОЗРОБКА РОЗТИСКНОЇ ОПРАВКИ З ПНЕВМОПРИВОДОМ</b> .....	362
12. Віталій Іванович Волох, Ігор Анатолійович Мазур <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІВНЯ КОЛИВАНЬ У КРИСТАЛІЗАТОРІ МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК</b> .....	365
13. Єлизавета Юріївна Синицина <b>ГІДРОПНЕВМАТИЧНА СМАРТ-СИСТЕМА ОБ'ЄКТА ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА МАЛОГО ТА СЕРЕДНЬОГО ОБ'ЄМУ</b> .....	368

14. Вячеслав Олегович Ницимайло, Олег Володимирович Пюнткевич <b>ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПОЛИЦЬ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЇХ СОБІВАРТОСТІ</b> .....	370
15. Ярослав Сергійович Губар, Юрій Олександрович Ромасевич <b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ БАШТОВОГО КРАНА ІЗ ПРОПЕЛЕРНОЮ ТЯГОЮ</b> .....	372
16. Любов Наумівна Добровольська, Дмитро Сергійович Собчук <b>ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЛІНІЙ</b> .....	374
17. Сергій Володимирович Репінський, Олександр Володимирович Дерібо, Владислав Геннадійович Лозовський, Юрій Андрійович Семенюк <b>РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ СОБІВАРТОСТІ ЗАГОТОВКИ, ВИГОТОВЛЕНОЇ ЛИТТЯМ</b> .....	376
18. Олександр Володимирович Дерібо, Сергій Володимирович Репінський <b>З ДОСВІДУ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «РОЗМІРНО-ТОЧНІСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ» У ВІННИЦЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ ТЕХНІЧНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ</b> .....	379
19. Андрій Альбертович Каушканов, Сергій Леонідович Козлов <b>РЕГУЛЯТОР НА БАЗІ ШТУЧНИХ НЕЙРОМЕРЕЖ ДЛЯ ГІДРОСИСТЕМИ МАНПУЛЯТОРА ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЯ</b> .....	382
20. Leonid Kozlov, Iurii Buriennikov, Petro Michailenko, Ioan Rusu, Volodymyr Pyliavets <b>ADAPTIVE HYDRAULIC CIRCUIT FOR MOBILE MACHINES</b> .....	386
21. Ольга Валентинівна Сердюк, Сергій Іванович Сухоруков, Олександр Васильович Петров <b>ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ</b> .....	389

#### **Секція 8. ПРОБЛЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ**

1. Олександр Сергійович Маляренко, Іван Миколайович Трофимов <b>ПРОБЛЕМИ І МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ТА БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСОВАНИХ ЗАПИТУВАЧІВ ЦИВІЛЬНИХ ТА ВІЙСЬКОВИХ СИСТЕМ ВТОРИННОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ</b> .....	391
2. Павло Якович Бондаренко, Ігор Вячеславович Віщун, Григорій Васильович Табачук <b>АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІЛОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ АЕРОДРОМІВ</b> .....	393
3. Василь Йонович Климченко, Владислав Олександрович Тютюнний, Кристина Альбертівна Тах'ян <b>ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНИХ СПОСОБІВ ОГЛЯДУ ПРОСТОРУ ТА ТИПУ АНТЕНИ РЛС ВІЯВЛЕННЯ ГІПЕРЗВУКОВИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ</b> .....	395
4. Микола Григорович Домненко, Ігор Вячеславович Віщун, Григорій Васильович Табачук <b>БОЄПРИПАСИ ДЛЯ БЕЗПЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ</b> .....	397
5. Олександр Павлович Мусієнко, Володимир Вікторович Старцев, Альберт Анатолійович Леках, Олександр Миколайович Гурін <b>НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В СИСТЕМІ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗС УКРАЇНИ</b> .....	399
6. Олександр Михайлович Лосіков <b>ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛІВ</b> .....	401
7. Станіслав Володимирович Войтків <b>СИСТЕМА МОДУЛЬНОГО МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ОСНОВІ СІДЛОВИХ ЕЛЕКТРОБУСІВ</b> .....	403
8. Станіслав Володимирович Войтків <b>ОГЛЯД І АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖНИХ ВЕЛОЕЛЕКТРОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ L1E-A</b> .....	405
9. Віктор Кононович Сидоренко <b>ПРОБЛЕМИ ПРОВЕДЕННЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В ХОДІ ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАЦІЇ ЗБРОЙНИМИ СИЛАМИ УКРАЇНИ</b> .....	407

10. Олег Ігорович Смагін, Максим Олександрович Дерев'яно	<b>ПРОПОЗИЦІЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВІВ-КОНТЕЙНЕРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЇХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ</b>	409
11. Андрій Павлович Поляков, Олександр Петрович Терещенко, Лариса Василівна Мороз	<b>ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ НА ГУСЕНИЧНІЙ БАЗІ</b>	411
12. Олександра Вікторівна Мазна, Вікторія Ігорівна Безсмертна, Володимир Петрович Кулик	<b>МОЖЛИВОСТІ ЗНИЖЕННЯ ПИТОМОЇ ВАГИ ДОДАТКОВОГО БРОНЕЗАХИСТУ ЛЕГКОБРОНЬОВАНОЇ ТЕХНІКИ</b>	413
13. Вячеслав Петрович Городнов, Вячеслав Володимирович Овчаренко, Дмитро Олександрович Сізон, Ігор Вячеславович Кірієнко, Наталія Євгенівна Сальна	<b>МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗ РЕЗУЛЬТАТІВ УРАЖЕННЯ БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ</b>	415
14. Максим Олександрович Максимов, Антон Дмитрович Карлов, Олексій Сергійович Шульга, Максим Олександрович Котляр	<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ІГРОВИХ ІНТЕГРАЦІЙ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ МОТИВАЦІЇ ТА ПІДГОТОВКИ ДО НАВЧАННЯ КУРСАНТІВ ВІЙСЬКОВИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ ТЕХНІЧНИХ ТА ЛЬОТНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ</b>	417
15. Анатолій Петрович Корнієнко, Юрій Володимирович Скорий, Руслан Вікторович Ляценко	<b>ІННОВАЦІЙНІ СИСТЕМИ ОЗБРОЄНЬ НА ОСНОВІ НОВІТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАВОЮВАННЯ ПЕРЕВАГИ В ПОВІТРІ</b>	420
16. Василь Федорович Кохан	<b>ВПЛИВ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ ҐРУНТУ НА ПРОХІДНІСТЬ ВІЙСЬКОВОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ</b>	423
17. Олександр Валерійович Коробецький, Олександр Михайлович Марченко, Андрій Федорович Кудрявцев	<b>ЗАГАЛЬНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У ЗБРОЙНИХ КОНФЛІКТАХ СУЧАСНОСТІ</b>	425

#### **Секція 9. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В КОНТЕКСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ У ВОЄННИЙ ТА ПОВОЄННИЙ ЧАС**

1. Ірина Сергіївна Баланчук	<b>ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МІЖДЕРЖАВНИХ МЕРЕЖЕВИХ ГРУП ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ</b>	428
2. Юлія Миколаївна Котова, Андрій Іванович Коробко	<b>ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У КУРСОВОМУ ПРОЄКТУВАННІ</b>	430
3. Володимир Валентинович Кухар	<b>ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЬНИХ ЗАПИТАНЬ ТА МОЗКОВОГО ШТУРМУ ДЛЯ ПОШУКУ ЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ З ВІДСІКАННЯ ШЛАКУ ПРИ ВИПУСКУ СТАЛІ З КИСНЕВОГО КОНВЕРТЕРУ</b>	432
4. Максим Олександрович Максимов	<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ІГРОВИХ ІНТЕГРАЦІЙ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ МОТИВАЦІЇ ТА ПІДГОТОВКИ ДО НАВЧАННЯ КУРСАНТІВ ВІЙСЬКОВИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ ТЕХНІЧНИХ ТА ЛЬОТНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ</b>	435
5. Володимир Васильович Бондаренко, Віталій Сергійович Шеїн	<b>ЦІЛЬОВА ПЕРЕОРІЄНТАЦІЯ СИСТЕМИ ВИЩОЇ ТЕХНІЧНОЇ ОСВІТИ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ ВІДБУДОВИ УКРАЇНИ В ПОВОЄННИЙ ПЕРІОД</b>	438
6. Віктор Васильович Бурдун, Ольга Олександрівна Ревякіна	<b>ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ</b>	440
7. Віктор Васильович Бурдун, Валерій Олександрович Колесніков, Наталія Олексіївна Бікадорова	<b>ПЕРСПЕКТИВИ ТА НЕОБХІДНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ В ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ</b>	442



8.	<i>Леонід Клавдійович Поліщук, Олександр Васильович Поліщук</i> <b>ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ</b> .....	444
9.	<i>Сергій Олександрович Кот</i> <b>INTERLINGUAL EQUIVALENTS IN ELECTRONIC ENGLISH-UKRAINIAN DICTIONARY ON ENGINEERING</b> .....	446
10.	<i>Олександр Йосипович Лесько, Оксана Олександрівна Адлер</i> <b>ТЕНДЕНЦІЇ ІННОВАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ У ВИЩІЙ ОСВІТІ В ПОВОЄННИЙ ЧАС</b> .....	448
11.	<i>Марина Олександрівна М'ястковська, Олександр Васильович Поліщук</i> <b>АКТИВІЗАЦІЯ НАВЧАЛЬНО-ПІЗНАВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ</b> .....	450
12.	<i>Світлана Миколаївна Чернявська</i> <b>PSYCHOLOGICAL SUPPORT IN THE TRAINING OF CIVIL AVIATION PILOTS IN WARTIME AND POST-WAR</b> .....	453
13.	<i>Інна Вікторівна Віштак, Леонід Олександрович Майданевич</i> <b>РОЛЬ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ВИЩОЇ ОСВІТИ У ПОВОЄННИЙ ЧАС</b> .....	455
14.	<i>Андрій Олегович Поліщук, Олег Степанович Поліщук, Микола Єгорович Скиба, Світлана Петрівна Лісевич</i> <b>DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PROCESSING POLYMER WASTE INTO FINISHED PRODUCTS BY 3D PRINTING</b> .....	457
15.	<i>Руслан Михайлович Гулевич, Леонід Клавдійович Поліщук, Валерій Йосипович Шенфельд</i> <b>ОПТИМІЗАЦІЯ ДЕТАЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ FUSION 360 ТА ФУНКЦІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ФОРМИ</b> .....	460
16.	<i>Юлія Олегівна Широн, Ліана Іванівна Чернобай</i> <b>ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СОЦІАЛЬНОПСИХОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ В СИСТЕМІ ОЦІНЮВАННЯ ПЕРСОНАЛУ</b> .....	452
17.	<i>Віроніка Валеріївна Калачова, Олег Миколайович Місюра, Дмитро Олександрович Сізон, Віталій Миколайович Пилипенко, Владислав Олександрович Павлій</i> <b>EFFECTIVE SOLUTIONS AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE CONTEXT OF TRAINING SPECIALISTS IN TECHNICAL SPECIALTIES IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF UKRAINE IN THE CONDITIONS OF MARTIAL LAW AND AFTER VICTORY</b> .....	464
18.	<i>Сергій Васильович Шатов, Олександр Іванович Голубченко, Ігор Олегович Даниленко</i> <b>ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗД-ДРУКУ ОБ'ЄКТІВ</b> .....	466
19.	<i>Ірина Анатоліївна Клеопа, Віра Андріївна Петрук</i> <b>ОРГАНІЗАЦІЯ ТА МЕТОДИКА ПЕДАГОГІЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ВПЛИВУ ПЕДАГОГІЧНИХ УМОВ ФОРМУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ У МАЙБУТНІХ БАКАЛАВРІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГАЛУЗІ В ПРОЦЕСІ ЗМІШАНОГО НАВЧАННЯ</b> .....	468
20.	<i>Олександр Васильович Поліщук, Інна Вікторівна Віштак</i> <b>ОСВІТА, ЯК РЕАБІЛІТАЦІЯ ВНУТРІШНЬО ПЕРЕСЕЛЕНИМ ОСОБАМ ТА УЧАСНИКАМ БОЙОВИХ ДІЙ В УКРАЇНІ</b> .....	471
21.	<i>Віталій Леонідович Чухліб</i> <b>ФОРМУВАННЯ ПОГЛЯДІВ В СУЧАСНОМУ ВИЩІ</b> .....	474
22.	<i>Володимир Романович Галетинько, Ольга Ігорівна Морозова, Євген Ігорович Фесенко, Ксенія Володимирівна Фесенко</i> <b>РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ НАВЧАННЯ КЕРУВАННЮ ТА МОНІТОРИНГУ БПЛА</b> .....	475



# MODELING AND SIMULATION TOOLS FOR INDUSTRIAL AND SOCIETAL RESEARCH APPLICATIONS: DIGITAL TWINS AND GENOME-BASED MACHINE-LEARNING

(Записано з виступу на конференції)

UC Berkeley, Will C. Hall Family Endowed Chair in Engineering Dept. of Mechanical

## Abstract

A variety of seemingly disparate physical processes can be treated with similar modeling and simulation tools. In this talk, I discuss the modeling and rapid digital-twin simulation of technologies related to next-generation food production: Part 1: modeling of robotic machine-learning for advanced manufacturing; Part 2: modeling of laser and optical processing of materials; Part 3: modeling of multiphysical solid processing and continuum behavior; Part 4: modeling of ignition, fire propagation and ember flow; Part 5: modeling of multiple unmanned aerial vehicles for complex tasks; Part 6: modeling of industrial safety: pandemics, transmission, decontamination, as well as aspects of genomic/evolutionary computing for system optimization, utilizing multiphysics paradigms. The tools range from discrete element methods, computational optics, voxel-based computation to agent-based modeling-all connected together via machine-learning algorithms.

**Ключові слова:** digital dual modeling, physical processes, robotic machine learning, laser and optical processing of materials, unmanned aerial vehicles, industrial security.

Modeling and simulation tools play a crucial role in industrial and societal research applications by providing valuable insights and predictions in a cost-effective and efficient manner. Two important technologies that have gained significant attention in recent years are digital twins and genome-based machine learning. Let's explore each of these technologies and their applications in more detail.

**Digital Twins:** Digital twins are virtual replicas or representations of physical systems, processes, or assets. They are created by combining real-time data from sensors, Internet of Things (IoT) devices, and other sources with computational models. Digital twins enable researchers to simulate, analyze, and optimize the performance of complex systems, predict their behavior, and make informed decisions.

### Industrial Applications:

- Manufacturing: Digital twins can be used to optimize production processes, monitor equipment health, and predict maintenance requirements, thereby improving efficiency and reducing downtime;
- Energy: Digital twins can model and simulate energy systems, such as power plants or smart grids, to optimize energy generation, distribution, and consumption, leading to more sustainable and reliable energy solutions;
- Transportation: Digital twins can simulate traffic flow, optimize logistics and supply chain operations, and enhance vehicle performance and safety;
- Healthcare: Digital twins can model human physiology, diseases, and drug responses, enabling personalized medicine and treatment optimization.

### Societal Applications:

- Smart Cities: Digital twins can simulate and optimize urban infrastructure, including transportation networks, energy grids, and waste management systems, to create more sustainable and livable cities;
- Disaster Management: Digital twins can help simulate and predict the behavior of natural disasters, such as fires, floods, or earthquakes, to support emergency response planning and decision-making;
- Environmental Monitoring: Digital twins can simulate and analyze environmental systems, such as ecosystems or climate patterns, to understand their dynamics, predict impacts, and guide conservation efforts.

**Genome-Based Machine Learning:** Genome-based machine learning refers to the application of machine learning techniques to analyze genomic data. It involves the integration of genetic information with computational models and algorithms to gain insights into biological systems, diseases, and drug responses.

### Industrial Applications:

- Pharmaceutical Research: Genome-based machine learning can help identify potential drug targets, predict drug efficacy, and optimize drug discovery and development processes;
- Agriculture: By analyzing genomic data of plants and animals, genome-based machine learning can improve crop yields, enhance livestock breeding programs, and develop disease-resistant varieties;
- Biotechnology: Genome-based machine learning can be used in areas such as bioengineering, synthetic biology, and industrial biotechnology to optimize enzyme design, metabolic engineering, and biofuels production.

### Societal Applications:

- Healthcare and Precision Medicine: Genome-based machine learning can aid in the diagnosis and treatment of diseases by analyzing an individual's genetic information to personalize healthcare interventions;

- Genetic Counseling: Machine learning algorithms can assist genetic counselors in interpreting complex genomic data and providing personalized risk assessments for genetic disorders;
- Forensic Science: Genome-based machine learning can aid in DNA profiling, identification of individuals, and solving criminal cases.

There is a computer model in a complex system. Typically, we develop computer models, but the computer models have many complex interacting parts, a large number of adjustable parameters, low rates, laser strength, and things of that sort, so typical simulation would go into each of these components.

The convex optimization based upon machine learning is to try to ascertain what are the correct parameters to make the simulation deliver desired responses, how the desired responses could be aspirational in the sense that it could be something we want the model to do, or it could be, that we want the model to match a certain requirement. When the computer chips became faster desktop computing became faster, and the ability to read information from camera feed. You became viable then to start adjusting these parameters and including them in the simulation of the machine in the real-time. In my institute, we look at many different problems using these kinds of technologies for example training robots to do complex printing. In this case it's electro, hydrodynamic printing, where we have electric fields that guide particles into certain patterns a real time flow control of multi-phase materials that might be fluidized, but are strongly electromagnetic heterogeneous.

The issues with phase transformations are the control of lasers as indicated before in the real time control in terms of stress analysis, using modern types of element techniques not the classical ones, but one's based upon voxel-based computing where we take three dimensional pictures of an object and convert that directly into a Vauxhall so that we can use that as a computing entity. It is quite fast to go from camera. In all of these kinds of calculations, really what we're looking at as we're developing a non-convex optimization technique to control them we need a technique which has been around for a while and is based upon genetic algorithms and embedding that into a machine learning algorithm and convert them into a genetic string or a piece of computation of DNA. Within tests we start to alter the DNA with the type of gene editing now the idea is that we used for many different applications. One in particular for California is the fighting of fires with drones and using drones to release fire retardant onto fire area. The simulation is a simulation of a drone that is basically dropping fire retardant over a large-scale fire that has a huge amount of buoyancy governed by the equations.

The main point here is that there are hundreds of parameters, and you need to let the machine figure it out, so how are the machine figure, by direct brute, force training, we compute the robot position at a given time with all of the system parameters. Appropriately it is very fast and the entire simulation here can be run several hundred thousand times in an hour. This is where the machine learning is used. The idea is that we take the system parameters for the robot. We create a population of small robots. We run the robots and their performance is ranked with a computer, maybe by taking the genes of the good robots and combining them appropriately we can put the baby robots in the competition: the parents against new robots and we repeat the process over and over again. It starts to hunt everywhere in the search domain. We run the simulation again a little bit better, and improve the performance each loop.

It's important to note that both digital twins and genome-based machine learning require robust data collection, integration, and analytics frameworks, as well as ethical considerations regarding privacy, data security, and responsible use of the technology.

*Tarek Zohdi, Professor of Mechanical Engineering, W. C. Hall Family Endowed Chair in Engineering, Chair of the Designated Emphasis Program in Computational and Data Science and Engineering and Associate Dean for Research in the College of Engineering at UC Berkeley, as well as Faculty Scientist at Lawrence Berkeley National Labs, member of the National Academy of Sciences and the National Research Council of the US National Commission on Theoretical and Applied Mechanics, national coordinator of AmeriMech USA, Email: zohdi@berkeley.edu*

## **Інструменти моделювання та імітації для промислових та суспільних досліджень: цифрові двійники та машинне навчання на основі генома**

### **Анотація**

Різноманітність різнорідних фізичних процесів можна розглядати за допомогою схожих інструментів моделювання та імітації. У цій доповіді я розповім про моделювання та швидке моделювання цифрових технологій, пов'язаних із виробництвом продуктів харчування наступного покоління: Частина 1: моделювання роботизованого машинного навчання для передового виробництва; Частина 2: моделювання лазерної та оптичної обробки матеріалів; Частина 3: моделювання мультифізичної обробки твердого тіла та поведінки континууму; Частина 4: моделювання займання, розповсюдження вогню та потоку; Частина 5: моделювання багаторазових безпілотних літальних апаратів для комплексних завдань; Частина 6: моделювання промислової безпеки: пандемії, передача, знезараження, а також аспекти геномних/еволюційних обчислень для оптимізації системи з використанням мультифізичних парадигм. Інструменти варіюються від

методів дискретних елементів, обчислювальної оптики, обчислень на основі вокселів до моделювання на основі агентів – усі вони об'єднані разом за допомогою алгоритмів машинного навчання.

**Keywords:** цифрове подвійне моделювання, фізичні процеси, роботизоване машинне навчання, лазерна та оптична обробка матеріалів, безпілотні літальні апарати, промислова безпека..

*Тарек І. Зохді, професор кафедри інженерії, заступник декана з дослідження в Інженерному коледжі Каліфорнійського університету в Берклі, науковий співробітник університету Лоуренса Берклі, член Американської академії механіки, член Національної Академії наук та Національної дослідницької ради Національної комісії США за відділенням теоретичної та прикладної механіки, національний координатор AmeriMech США, Email: zohdi@berkeley.edu*

## COOPERATION IN THE DEVELOPMENT OF CENTRIFUGAL PUMPS IN KAZAKHSTAN

U.Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan

**Abstract.** *The Program's tasks: to carry out work to improve the technology for the development and design of pumping equipment; to carry out work on the introduction of modern high-tech CAD for the design of competitive pumping equipment; to carry out work on the development and implementation of digital technology and intelligent systems for organizing pumping equipment production to increase productivity.*

**Key words:** *Industry 4.0, centrifugal pumps, designing pumping, units CAD-machining, digital technologies.*

Kazakhstan has a great need for pumps used in priority sectors of the country: the oil and gas industry, the mining and metallurgical industry, the housing and communal services, the agro-industrial complex, etc. "Karlskrona LC AB" LLP is a local machinery factory that produces and sells pumps. The expansion range, product quality improvement, pumps efficiency increase, and achievement of science-intensive production level by the Industry 4.0 standard need research development and scientific and engineering support for technological innovations.

The production of CMP and ESP type pumps is carried out by "Nasosenergomash" Sumy Plant" JSC and "VNIIAEN" OJSC (All-Union Scientific Research Institute of Nuclear and Power Pump Building) operate in the field of design and production of pumping equipment (Ukraine). "Karlskrona LC AB" LLP has close contact with them to develop CP Engineering documentation.

Centrifugal pumps (referred to as CP) are designed for pumping various liquids, and gas-liquid mixtures and are widely used in multiple industries, as well as maintaining pressure in oil and uranium mining, transporting liquids through pipes, etc. In the design of pumping equipment, the methods of dynamic and hydrodynamic calculations of the shapes and operation of the blades, depending on the expected output parameters of the pump and increasing its efficiency, play a paramount role.

The development of methods capable of designing pumping units, taking into account the characteristics of technological cycles, and the modernization of pumps in operation for new operating modes, is an urgent task for energy and industry.

The development is based on modern knowledge of the dynamics of rotor systems, mechanisms, and computational fluid dynamics, and the method of designing impellers and guide vanes of the centrifugal pump, which makes it possible to create pumps with a high service life and efficiency with high reliability. The research is also based on the achievements of CAD-machining and Industry 4.0 digital technologies.

The Program's tasks: to carry out work to improve the technology for the development and design of pumping equipment; to carry out work on the introduction of modern high-tech CAD for the design of competitive pumping equipment; to carry out work on the development and implementation of digital technology and intelligent systems for organizing pumping equipment production to increase productivity.

**Tuleshov Amandyk**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, General Director of the U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan, head of the National Committee for Theoretical and Applied Mechanics of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, e-mail: [aman\\_58@mail.ru](mailto:aman_58@mail.ru)

## СПІВПРАЦЯ В НАПРЯМКУ РОЗРОБКИ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ В КАЗАХСТАНІ

**Анотація.** Наведено завдання Програми щодо проведення робіт з удосконалення технології розробки та проектування насосного обладнання; провести роботи з впровадження сучасних високотехнологічних САПР для проектування конкурентоспроможного насосного обладнання; провести роботи з розробки та впровадження цифрових технологій та інтелектуальних систем організації виробництва насосного обладнання для підвищення продуктивності.

**Ключові слова:** Індустрія 4.0, проектування насосів, САД-механічні агрегати, цифрові технології.

**Тулешов Амандик**, доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН РК, генеральний директор Інституту механіки та машинознавства імені У.А.Джолдасбекова МНПО РК, голова Національного комітету з теоретичної та прикладної механіки НАН РК, e-mail: [aman\\_58@mail.ru](mailto:aman_58@mail.ru)

## УКРАЇНТЕІ ЯК НЕВІД'ЄМНА СКЛАДОВА ІННОВАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

Державна наукова установа «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації»

### *Анотація.*

*Намір України інтегруватися до європейського співтовариства та забезпечити суспільний добробут європейського рівня в контексті реалізації інноваційної політики виглядає безальтернативним і на цей час має реальні передумови (інноваційний потенціал) такої перебудови. Поступово Україна переходить до технологічного динамізму («постійної» технологічної революції) у сфері науково-технологічного розвитку. Напрямами реалізації державної науково-технічної політики є: формування та стимулювання розвитку вітчизняного науково-технічного потенціалу, розроблення власних інноваційних технологій та використання можливостей технологічного трансферу для пришвидшення прогресивних технологічних змін у країні. Така політика передбачає низку основних заходів, зокрема: активне залучення передового світового науково-технічного досвіду, виважену патентну ліцензійну політику, сприяння господарчим суб'єктам у придбанні іноземних технологічних розробок та створення таких спільних міжнародних структур за участі держави, що сприятимуть пришвидшенню наукового і технологічного розвитку України у післявоєнний час.*

**Ключові слова:** трансфер технологій, інформація, менеджмент, дослідження, інформаційне забезпечення.

### Вступ

В цілому міжнародне співробітництво у науково-технічній сфері протягом останніх років характеризується активними контактами та обмінами, наявністю широкої низки цікавих перспективних проєктів, належним рівнем нормативно-правового забезпечення та добрим підґрунтям для подальшого розвитку взаємин між науково-освітніми інституціями.

Окремою значною площиною науково-технічного сегменту співробітництва України є діяльність у сфері інновацій та технологічного трансферу. Україна, як і інші країни-члени ООН, приєдналася до глобального процесу забезпечення сталого розвитку з метою створення сприятливих умов для розвитку та ширшого застосування інновацій. В рамках розвитку дипломатичних відносин України з країнами-членами ЄС, з країнами східного партнерства, участь у двосторонньому науково-технічному співробітництві в межах міжурядових угод, співпраця з міжнародними організаціями та фондами вийшли на значно вищий рівень *стратегічного партнерства*. Україна є активним учасником міжнародної співпраці в сфері трансферу технологій. Українське міжнародне співробітництво в сучасних умовах вимагає нового мислення та нових підходів. У результаті перерозподілу міжнародного балансу сил за участі України видозмінюються існуючі інтеграційні блоки, виникають додаткові можливості для створення нових конфігурацій міжнародного наукового і науково-технічного партнерства. Окремого значення набуває трансфер інноваційних технологій.

Міжнародне співробітництво виступає одним з дійових інструментів інтеграції України та формує особливу спільну просторову зону, що є своєрідним джерелом безперервного потоку технологічних інновацій і достатньо зручним інструментом інноваційного розвитку в сфері технологічного трансферу. Кооперація з іноземними вченими дозволить створити спеціалізовані бази даних технологій/розробок; проведення досліджень щодо визначення регламенту обміну науково-технічною продукцією; залучення найкращих кіл експертів для проведення науково-технічної експертизи; консультативної підтримки роботи бізнес-інкубаторів та стартап-компаній; координацію спільних досліджень; участь у бізнес- і технологічній кооперації країн-партнерів, як складової загальної системи інноваційного простору.

### Обговорення

На сьогодні питання технологічного трансферу, навіть в умовах воєнного стану, залишається найбільш актуальним з огляду на залучення інновацій до плану післявоєнного відновлення України. Ключовими питаннями є визначення шляхів відновлення України після перемоги та можливість



використання ноу-хау у відбудові та розвитку країни. Повноцінний вступ України до Європейського Союзу вже у 2024 році, дозволить пришвидшити доступ до технологічних ринків розвинутих країн світу з метою не лише успішного залучення та впровадження інноваційних проєктів зовні, а також інтегруватися українським інноваціям до сучасних ланцюгів виробництва за кордоном. Тому, в сучасних умовах розвиток країни та її економічне зростання безпосередньо пов'язане з видом та якістю застосованих технологій.

Активна участь і багаторічний досвід УкрІНТЕІ у сфері трансферу технологій, дозволяє інституту залишатися флагманом у цій сфері. Головними цілями міжнародного трансферу технологій є збільшення експорту національних технологій за кордон за рахунок формування структурних підрозділів НІОКР, що розвивають свою діяльність за межами країни, з залученням іноземних інвестицій; модернізація національної економіки шляхом розширення ролі суб'єктів країни у міжнародному промисловому виробництві і збільшення кількості національних аутсорсингових компаній. Тобто, трансфер технологій є тим інструментом, що в повній мірі сприяє на обопільно вигідній основі країнам-партнерам забезпечити розвиток своїх національних інноваційних систем, а інновації тим фундаментом, на якому повинно базуватися майбутнє відновлення країни після руйнувань, спричинених нападом росії.

Враховуючи те, що одним із основних пріоритетів є інтеграція України до міжнародного дослідницького простору, УкрІНТЕІ бере активну участь у двосторонньому науково-технічному співробітництві в межах міжурядових угод і є досить активним учасником процесу технологічного трансферу не лише на теренах України, а і закордоном. Тому, в інституті було розроблено і впроваджено Автоматизовану систему формування інтегрованих міждержавних інформаційних ресурсів (АСФІМІР). Даний електронний ресурс дозволив створити атмосферу «рухливого простору», що забезпечує діалог між країнами в сфері технологічного трансферу та орієнтований на надання інформаційних послуг суб'єктам інноваційної діяльності як в Україні, так і за її межами через мережу Інтернет. Даний ресурс нараховує близько 6000 інноваційних розробок, технологій, інвестиційних проєктів, стартапів, ноу-хау з 17 країн світу. Основними цілями автоматизованої системи є: науково-технічний та інноваційний розвиток стратегічних та інформаційних технологій для забезпечення стійкого розвитку економіки, наукової сфери, бізнесу та інших сфер діяльності України; стимулювання інноваційного зростання наукового потенціалу України, розширення науково-виробничої кооперації та формування ефективних партнерств, підтримка науково-технологічної діяльності і процесів модернізації наукових сфер діяльності окремих підприємств, що використовують інноваційні технології; об'єднання зусиль представників бізнесу, науки, держави в організації суспільної діяльності зі створення перспективних комерційних технологій, нових продуктів та послуг для подолання наслідків війни, за рахунок використання інноваційних технологій; залучення додаткових суспільних, корпоративних та приватних фінансових і матеріальних ресурсів з метою проведення необхідних досліджень і розробок тощо.

АСФІМІР стала підґрунтям для побудови опорної структури української інноваційної системи у вигляді: Міждержавної інформаційно-технологічної платформи трансферу технологій колективного користування, що на сьогодні стала повноцінною Платформою відкритих інновацій; «Платформи колективного використання для торгово-економічного і науково-технічного співробітництва з КНР» на базі ресурсів УкрІНТЕІ і Інституту високих технологій Академії наук провінції Хейлуцзян (ІВТ АНПХ) КНР, м. Харбін; спільного електронного ресурсу інновацій з Інститут досліджень з розвитку науки та техніки Сичуань-Уйгурського Автономного Округу КНР, м. Урумчі; побудовано Міжрегіональну мережу трансферу технологій, до якої увійшли м. Київ, Харківський та Одеський регіони.

Багатовекторність інформаційних ресурсів УкрІНТЕІ надає змогу стати рівноправним партнером наукового співтовариства в сфері трансферу технологій. Враховуючи концептуальні засади Закону України «Про державне регулювання діяльності у сфері трансферу технологій» та нормативно-правових актів у сфері трансферу технологій (Постанов Кабінету Міністрів України, Наказів МОНУ), роботу інституту було спрямовано на реалізацію наступних завдань та забезпечення ефективного використання науково-технічного та інтелектуального потенціалу України: ідентифікацію перспективних технологій, технічних рішень, пошук можливостей інвестування у їх розробку (впровадження, трансфер) та вивід нового товару (послуги) на ринок, його (її) маркетинг; стимулювання розвитку вже існуючих інноваційних стартових майданчиків, промислових кластерів, технологічних арен і платформ колективного використання, мереж трансферу технологій, гібридних платформ технологічної ініціативи; об'єднання зусиль представників бізнесу, науки, держави в організації суспільної діяльності зі створення перспективних комерційних технологій, нових продуктів та послуг, за рахунок використання інноваційних технологій; формування ефективних партнерств технологічного трансферу, що дозволить створити екосистему партнерів для співіснування однодумців, як всередині країни, так і за її межами задля досягнення загальної мети; забезпечення активізації діяльності щодо формування баз даних корпоративного доступу інноваційних технологій/розробок/інвестиційних проєктів, враховуючи пріоритетні напрями, що спрямовані на забезпечення економічної безпеки держави, створення високотехнологічної конкурентоспроможної екологічно чистої продукції, надання високоякісних послуг

та збільшення експортного потенціалу держави з ефективним використанням вітчизняних та світових науково-технічних досягнень; організація роботи у формуванні політики уряду у сфері науки і технологій зі створення підприємницького середовища, сприятливого для конкуренції та інновацій, і забезпечення оптимального поєднання людських, фінансових ресурсів та знань для їх продуктивного використання; здійснення експертно-технічного супроводження перспективних інноваційних проєктів; застосування системного підходу в управлінні інформацією та інноваційними технологіями; вивчення потреб внутрішніх і зовнішніх технологічних ринків шляхом проведення маркетингових досліджень на основі даних Автоматизованої системи, що дозволить зорієнтуватися на потреби і вимоги технологічного ринку, розвитку галузей народного господарства, сфери споживання технології, експорту та імпорту товарів, в яку передбачається передати технологію; пошук потенційних інвесторів; участь у міжнародних програмах і проєктах. Маркетингова складова забезпечить сукупність активних суб'єктів і сил, та дозволить усім учасникам інноваційної екосистеми отримати синергетичний ефект та стати повноцінними гравцями ринку комерціалізації розробок як в 3 регіональній екосистемі так і на національному та міжнародному ринках; надання інформаційної та консультативної підтримки інституціям, що займаються питаннями технологічного трансферу; здійснення супроводу перспективних наукових проєктів на всіх етапах просування та впровадження інновацій. Тобто, завданням будь-якої мережі трансферу технологій є забезпечення впровадження та масштабування ефективної бізнес-моделі з комерціалізації передових вітчизняних інноваційних технологій з обов'язковою перспективою залученням закордонних інновацій.

Вже на сьогодні, в умовах воєнного стану прем'єр-міністр України Денис Шмигаль у Луганно представив проєкт Плану відновлення України (надалі – План) [6] та створення координаційної платформи між урядом України та всіма двосторонніми та багатосторонніми партнерами, організаціями та міжнародними фінансовими організаціями для підготовки та реалізації плану. Зазначається, що «проєкт Плану відновлення та розвитку під керівництвом України було визнано основним рамковим документом, що задає напрямок процесу відновлення». У відповідності до визначеного переліку Національних програм для досягнення ключових результатів виконання Плану кардинально змінилась географія запитів на інноваційні технології.

Хоча політика країн стосовно інноваційної діяльності та стимулювання НДДКР різняться, проте спільними напрямками діяльності є створення спеціальних технологічних кластерів, розвиток венчурних фондів, податкові преференції компаніям, що проводять НДДКР та інвестують у такі ключові галузі, як біотехнології, нанотехнології, телекомунікації, нові матеріали, передові методи обробки інформації тощо. Тому, з плином часу, виникає потреба розбудови вже існуючих та створення нових гібридних структур (технопарків, технологічних платформ, екосистем партнерів, технополісів, кластерів тощо) з інноваційною траєкторією розвитку, ключовим «гравцем» яких, враховуючи багаторічний досвід трансферу технологій, стає УкрІНТЕІ. Інститут, на сьогодні, є ланкою загальної державної інноваційної інфраструктури, що забезпечує розвиток і підтримку інноваційного циклу, як на внутрішньому, так і на зовнішньому технологічних ринках. Розроблення та впровадження концептуальної моделі спільних електронних ресурсів дозволить наблизитись до вирішення проблем в сфері енергетики та енергоефективності, екології та раціонального природокористування; науки про життя, нових технологій лікування та профілактики найпоширеніших хвороб, дослідження у сфері біотехнології та медицини; нових речовин та матеріалів; будівництва; пріоритетних проблем у сфері соціальних та гуманітарних наук; технологій оборонного спрямування.

### **Висновок**

Отже, намір України інтегруватися до європейського співтовариства та забезпечити суспільний добробут європейського рівня в контексті реалізації інноваційної політики виглядає безальтернативним і на цей час має реальні передумови (інноваційний потенціал) такої перебудови. Поступово Україна переходить до технологічного динамізму («постійної» технологічної революції) у сфері науково-технологічного розвитку. Напрямами реалізації державної науково-технічної політики є: формування та стимулювання розвитку вітчизняного науково-технічного потенціалу, розроблення власних інноваційних технологій та використання можливостей технологічного трансферу для пришвидшення прогресивних технологічних змін у країні. Така політика передбачає низку основних заходів, зокрема: активне залучення передового світового науково-технічного досвіду, виражену патентну ліцензійну політику, сприяння господарчим суб'єктам у придбанні іноземних технологічних розробок та створення таких спільних міжнародних структур за участі держави, що сприятимуть пришвидшенню наукового і технологічного розвитку України у післявоєнний час.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизована система формування інтегрованих міждержавних інформаційних ресурсів (АСФІМІР) [Електронний ресурс]. – 2017. - Режим доступу: <http://store.uitei.kiev.ua/transfer/ua/pages/asfimir.html>. - Дата доступу: 28.04.2023.
2. Керцнер Г. Стратегічне планування управління проектами з використанням моделі зрілості: Пер. з англ. – М.: Компанія АйТі; М.: ДМК Прес, 2003. – С. 118-124.
3. Бенчмаркетинг. Записки маркетолога [Електронний ресурс]. – 2005. - Режим доступу: [http://www.marketech.ru/marketing\\_dictionary/marketing\\_terms\\_b/benchmark/](http://www.marketech.ru/marketing_dictionary/marketing_terms_b/benchmark/). – Дата доступу: 28.04.2023.

**Аврамчук Богдан Олегович** – к.е.н., старший дослідник, заступник директора УкрІНТЕІ з науково-експертної діяльності, Державна наукова установа «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації», Київ, [slavira218@gmail.com](mailto:slavira218@gmail.com), тел. +38 (098) 419-9186

### *Ukrintei as an independent component of the innovation system of ukraine*

#### **Abstract**

*Ukraine's intention to integrate into the European community and ensure social welfare of the European level in the context of the implementation of innovation policy seems to have no alternative and at this time has real prerequisites (innovation potential) for such a restructuring. Ukraine is gradually transitioning to technological dynamism ("permanent" technological revolution) in the field of scientific and technological development. The directions of implementation of the state science and technology policy are: formation and stimulation of the development of domestic science and technology potential, development of own innovative technologies and use of technology transfer opportunities to speed up progressive technological changes in the country. Such a policy involves a number of basic measures, in particular: the active involvement of the world's leading scientific and technical experience, a balanced patent licensing policy, assistance to economic entities in the acquisition of foreign technological developments and the creation of such joint international structures with the participation of the state, which will contribute to the acceleration of scientific and technological development of Ukraine in the post-war period.*

**Keywords:** technology transfer, information, management, research, information support.

**Avramchuk, Bogdan** – PhD. (Economics), senior researcher, deputy director of UkrINTEI for scientific and expert activities, State Scientific Institution "Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information", Kyiv, [slavira218@gmail.com](mailto:slavira218@gmail.com), tel. +38 (098) 419-9186

# ECOLOGICAL ENGINEERING AND RESILIENT GREEN INFRASTRUCTURE AS A NEW INDUSTRIAL BASE FOR THE POST-WAR RECOVERY OF UKRAINE: INSTITUTIONAL, INNOVATIVE AND EDUCATIONAL PRIORITIES

Ukraine-Slovak International Center for Innovation and Technology Transfer  
(Kosice, Slovakia)  
National Science-Technological Association of Ukraine  
(Kyiv, Ukraine)

**Abstract.** *Actually, such a platform, with some later modifications, is considered as the basis of a digital infrastructure for supporting and promoting international innovation and investment cooperation of SMEs in cluster forms with the key role of USICITT as a pilot cross-border institutional interface. In turn, the successful construction and operation of such a Center on the border with Slovakia, as well as other European neighboring states, will become an important condition for building a truly innovative Ukraine, and not a simple reconstruction of the old industrial base or even its modernization with using imitative technological innovations and borrowed institutional forms in framework of the future International Plan of post-war recovery of the country. Therefore, it is so important to understand and implement in such recovery activities, first of all, institutional, innovative and educational priorities*

**Key word:** *bioeconomy of health, innovative businesses, socio-economic reproduction, European Grouping of Territorial Cooperation, Scientific and Technological Council*

The Russian armed aggression and the devastating consequences it caused for the economy and industry made the country face the need to find adequate responses to the global innovative challenges, unprecedented in their level of complexity and geopolitical uncertainty. Together with high innovative expectations of the partner countries in the development and financing of the future Program for the post-war recovery of Ukraine, this puts the intellectual forces and political elite of the nation in front of a cultural and creative problem of building a qualitatively new post-industrial reality, and not just restore the old post-soviet base and socio-economic infrastructure. From a theoretical and model point of view, this means the need to combine external, exogenous, and internal, endogenous factors of accelerating economic growth into a single innovative model of institutionally managed inclusive human-centered sustainable development, with a leading role of humanitarian and institutional capital. In turn, inclusiveness implies a decentralized approach to sustainable development, which opens access to its institutions to everyone, and human-centricity puts the human health into the focus of the whole system of the socio-economic reproduction as a living basis of humanitarian capital. In principle, such a transformation from a vertically integrated, in the extreme version - centralized, approach to the organization of industrial sectors with a manufacturing enterprise in the center to a decentralized human-centric and health-oriented economic activity of local community corresponds to the global trends of the post-pandemic transformation of the world economy. And even more than that, taking into account the fact that in a war the enemy's efforts are primarily aimed at inflicting maximum damage to the life and health of the enemy, and the focus of post-war recovery is also the life and the health of the population, the construction of a qualitatively new socio-economic reality actually means the need to build an innovative Bioeconomy of health. Such an economy, whose target function, in contrast to past models of Industrial and "green" Bioeconomy, focused on the production and distribution of goods and services as the tools for life and health, is aimed on the expanded reproduction of both individual and group (public) health of local community. It is important to note that the very term and model of the Bioeconomy of health as a new type of economic reality was first publicly presented here, in Vinnitsa in May 2021 in framework of the same II International Conference /1/.

In contrast to the linear sectoral structure of the previous two models of the Industrial and "Green" economy, the Bioeconomy of health ("Blue") model is based on the non-linear, ecospheric principle of the "nuclear system", the core of which is an innovative territorial system of public health of the local community. Unlike medicine, which is a centralized costly social sector that does not create added value in the logic of the econometric model of the productive function, the decentralized Public Health (PH) system is focused on the expanded reproduction of humanitarian capital as the leading productive factor of the "Blue" economy of the post-war

future. In the logic of this model, PH is an endogenous core, and the exogenous decentralized Bioeconomy of Health (BoH), aimed at preserving and increasing it, acts as a comprehensive means of ensuring its reproduction, acting as the first spherical “shell” of such system. The role of the second shell is given to the residential sphere, and since this entire complex bio-socio-economic sphere, pulsating in the daily rhythm of the reproduction of being, co-evolves in a dynamic balance with the environment, this whole complex harmonized ensemble must function like a living cell in a single human organism. Of course, to ensure the connection of such a primary “living ecospheric cell” as a proto-forming system-element, required to create a smart hub at regional level that performs a function similar to one of the organs in the human body, , an appropriate multi-level digital infrastructure will be required. In turn, on the basis of such regional innovative ecosystems, with the help of an appropriate digital multi-level infrastructure, a neuro-semantic network framework of the national PH system as a single organism is formed.

And it is clear that building such multi-level “organismic” system in the “bottom-up” direction, in addition to the vertically-integrated existing “top-down” industry-segmented reality, will require both its own institutional innovations and the creation of its own institutional architecture, focused on sustainable inclusive development. And since economic development, in contrast to economic growth, involves not so much a change in quantitative dynamics as quality, and hence the very capital and institutional framework, then, having in mind not only the post-war perspectives, but also the current political and economic situation, we are actually talking about creating a multi-level system of international horizontally-integrated innovation-Industrial cooperation on a cluster base. And here we have two problems that should be the innovative focus of our conference. One of them is that spatially distributed technological and value chains in form of clusters, both industrial, initiated by existing manufacturers, and innovative, generated by high-tech start-ups focused on the industrialization of new technological solutions, are widespread and effectively supported by European Commission forms of horizontal cooperation of small and medium-sized enterprises (SMEs) in the European Union, but not in Ukraine, where such an institutional form is not yet provided for by the Legislator in the legal space. The other is that SMEs, on their own, are generally not capable of designing, investing, building and managing such complicated international cooperation, not least due to both the lack of necessary professional knowledge and access to the investment required for this. As a result, an innovative demand arises for the creation of new development institutions responsible for designing, investing, building and management or coordination the activities of such clusters both at local, regional and national, as well as cross-border, transnational and global levels. The key role here in the current conditions for Ukraine as a candidate for EU membership, which is in the process of intensifying adaptation procedures that bring us closer to the normative and regulatory space of the United Europe, belongs to the cross-border hub as an innovation interface between two converging realities. And as such a pilot hub, it was established on March 27, 2023 at the initiative of the National Science-Technological Association of Ukraine on the basis of Uzhgorod National in Ukraine (UNU) and Kosice Technical University (TUKE) in Slovakia as well as their science parks, with the involvement of other national universities and leading institutions accompanied by innovative businesses of both countries, the Ukrainian-Slovak International Center for Innovations and Technology Transfer (USICITT). The general scientific and methodological management of the innovative activity of this Center is called upon to be carried out by the Scientific and Technological Council (STC) under the co-chairmanship of the rectors of TUKE and UNU.

Using its powers, STC immediately approved 10 priority areas for innovative cluster formation, focused primarily on joint selection, refinement and production of the best innovative typological modular solutions for ecological engineering and decentralized “green” smart infrastructure for the needs of the post-war recovery and modernization of the local communities in Ukraine. Of this 10 areas, 7 in one way or another relate to “green small-scale energy”, including not only distributed generation and storage of electricity (end heat) using solar, hydrogen, wind-, hydro and bio-energy plants, but also their aggregation and smart consumption within the framework of local autonomous closed-cycle energy systems for United Territorial Communities (UTC), integrated, at the same time, into a single national power supply system of Ukraine. This kind of decentralized and independent from the national power supply system in emergency situations, including those of a military nature, is a strategic direction for ensuring the safety of UTC’s critical infrastructure, and therefore the vital needs of the population. Instructive examples for us and legislative initiatives based on the study of the lessons of the Russian aggression against Ukraine and related with this war threats to the country’s energy security, as well as innovative solutions required for the implementation of such approaches was shown by Slovakia, having changing the national legislation accordingly and thus paving the way for innovative restructuring of the energy market. Of course, this kind of technological and institutional transformation in order to create decentralized autonomous energy power systems requires the appropriate construction of local smart grid networks, as well as digital platforms for managing the entire power generation cycle, optimizing the distribution of capacities, loads, consumption and financial settlements in UTCs, and hence the radical innovation of local economy. In addition, the 8th cluster direction is focused on the joint production and installation of standard modular mini-systems for water supply and sanitation, as well as territorial digital platforms for the integrated management of water resources of subregions. At the same time, the 9th direction is oriented on the construction of PH clusters, while

the 10th is aimed at the development of the local BoH. The practical implementation, if not all, then the absolute majority of these cluster areas requires the selection, refinement and co-production of the most effective technological innovations embodied in ecological engineering, as well as advanced sensors for appropriate smart control systems using AI and IoT.

However, as the experience of successful post-industrial transformation of the most rapidly developing economies shows, the key role in their innovation is played not so much by technological as by institutional innovations. This provision is especially important for Ukraine, which is counting on the accelerated granting of EU membership. In this sense, for the formation of international industrial and innovative clusters, a fundamentally important role is given toUSICITT as an infrastructural bridge for rapid integration into the cooperation space of the European Union. Given its typical cross-border nature, it is worth paying attention to its institutional form.USICITT as a subject of innovative activity under the laws of the Slovak Republic was created in the format of an international innovation consortium without creating a legal entity, but managed by legal entity represented by the International Center for Innovative Technologies (ICIT). The main mission of theUSICITT is to consolidate, configure and coordinate the designing, investment, construction and management of cross-border innovation clusters and promote their integration with national, regional and local clusters on both sides of the border with the EU. And such a European legal personality is fundamentally important from the point of view of the use of already established structures for the implementation of innovation and investment cooperation between the regions of Ukraine and EU in form of European Grouping of Territorial Cooperation (EGTC), based on partner access to EU structural funds, open exclusively to the Member States. In contrast to the practice of implementing such inter-regional cooperation in the form of Euroregions, which was previously used in the European Union, EGTC involves the creation of a joint company as an EU resident, which manages such cooperation. From this point of view,USICITT has the prospect of participating in the process of institutionalization of International cooperation between the regions of Ukraine and the European Union in the form of EGTC. At the same time, for its successful operating, such a Center needs to be paired with initial information about digital business profiles and unused capabilities and outsourcing opportunities for SMEs interested in integrating into cluster technology and value chains from both sides of the EU border. In addition, this implies the need to create a digital infrastructure for multi-level integration of such capabilities and opportunities into different cluster chains being designed based on using AI, starting from local ones and ending with Global Value Chains (GVC).

Undoubtedly, such a complex multi-level system of internationally distributed horizontally integrated business activity aimed at the industrialization of technological innovations on a new institutional basis, requires the formation of relevant competencies and training of innovative entrepreneurs. In turn, this implies not only the existence of entrepreneurial universities (University 3.0), but also the creation on their basis of the Higher School of Innovative Entrepreneurship (HSIE) /2/. Meanwhile, in Ukraine, from a formal point of view, only classical universities (U1.0), traditionally focused on training specialists, are presented, although a certain number of leading Ukrainian universities, primarily technical ones, are quite close to the actual status of a research university (U2.0), more or less, but still with the help of technological businesses incubators and science parks focused on the commercialization of technological innovations. However, as a rule, such commercialization is usually carried out in the form of the sale of innovative start-ups abroad, when new capital is also created beyond Ukraine. It is quite obvious that such commercialization of innovations does not contribute much to economic development, since its necessary condition is not only the outstripping quantitative growth of the National fixed capital, but also the qualitative diversification of its structure. Such a situation for its changing in stationary conditions of peace and stability usually involves a gradual innovation-oriented market reforming “from above”, synchronized with an adequate institutional transformation “from below”. However, in the context of the ongoing brutal and destructive war, different, intensive approaches and faster and more decisive institutional innovations are needed, relying on broad international support, primarily from the EU side. In this sense, withinUSICITT, the “first stage” of the development of an innovative digital platform in the form of the International Virtual University 4.0 is now nearing completion. Such an University 4.0 is designed to implement the “triple integration” model, the schematic diagram of which is shown in Fig.1.



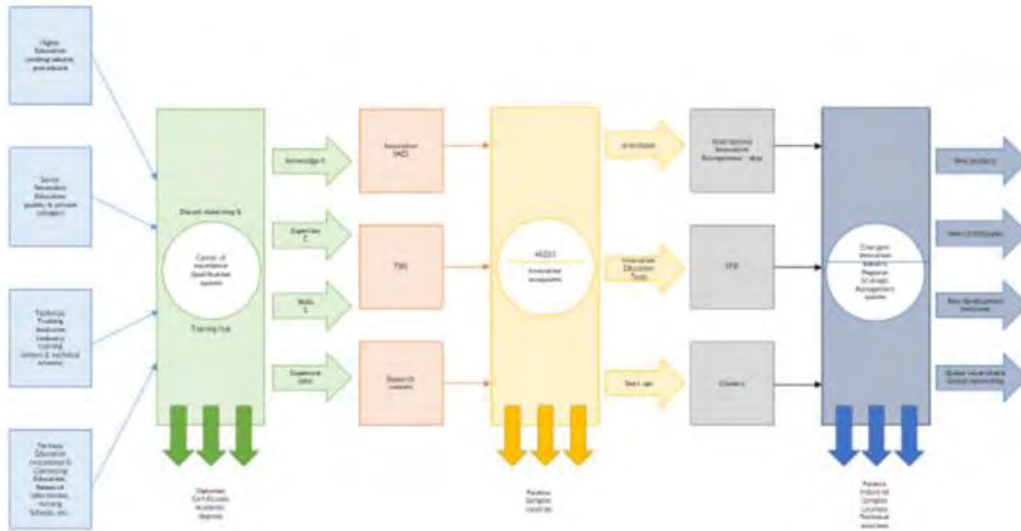


Figure 1. The model of «triple integration» e-Learning innovation educational platform  
(Source: Seniuk (2017))

This figure shows parts integrated in framework of a single model: eLearning & training center; prototype center and regional innovation development system. The first part aimed to integrate advanced opportunities of higher, senior secondary and technical schools. And in their totality, all these 3 integrated parts form the institutional basis of HSIE. At the same time, the integration of qualified foreign assistance, the sharing of new knowledge and competencies within the framework of international cooperation and clustering is supposed to be implemented using a cross-border digital multi-level service platform, the architecture of which is shown in Fig. 2.

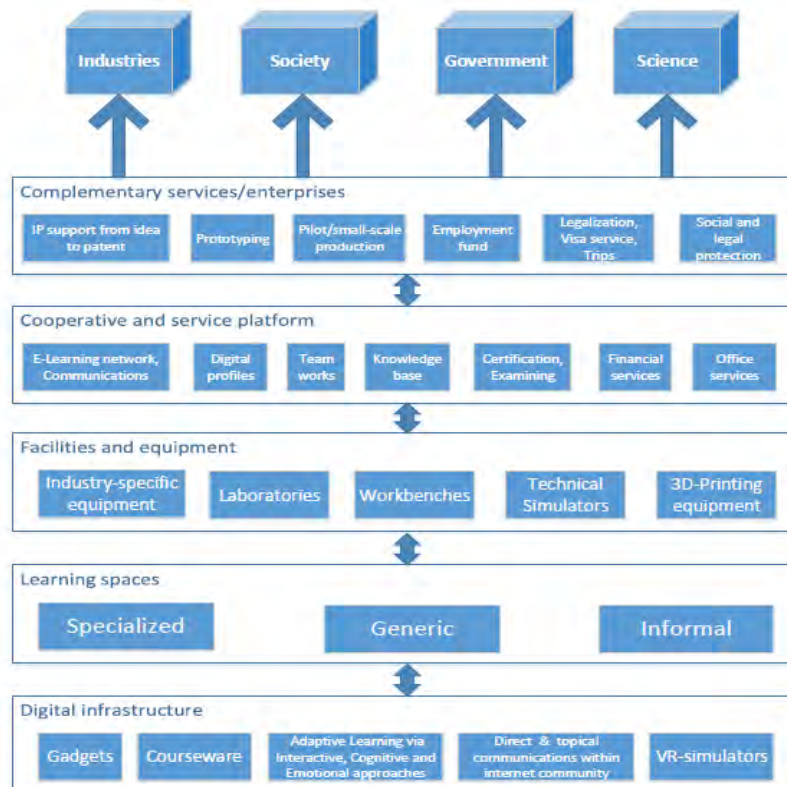


Figure 2. Transborder multi-level digital interactive eLearning service platform  
(Source: Seniuk (2017))

Actually, such a platform, with some later modifications, is considered as the basis of a digital infrastructure for supporting and promoting international innovation and investment cooperation of SMEs in cluster forms with the key role of USICITT as a pilot cross-border institutional interface. In turn, the successful construction and operation of such a Center on the border with Slovakia, as well as other European neighboring states, will become an important condition for building a truly innovative Ukraine, and not a simple reconstruction of the old industrial base or even its modernization with using imitative technological innovations and borrowed institutional forms in framework of the future International Plan of post-war recovery of the country. Therefore, it is so important to understand and implement in such recovery activities, first of all, institutional, innovative and educational priorities

## References

1. Seniuk, Y. (2021). Bioeconomics of health as a global innovation challenge and the main trend of institutional transformation of the post-pandemic economy. - 3б. тез доповідей II Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту - 2021», Вінниця, 13-15 травня, 2021, с.10-16. ISBN 978-966-641-849-7
2. Seniuk, Y. (2018). Entrepreneurial University as Innovation Hub in Transitional Economy: New Digital Platform for SME Globalization. In: Proceedings of the 16th International Conference on Emerging eLearning technologies and applications ICETA2018. Stary Smokovec, the High Tatras, Slovakia, November, 2018. DOI: 10.1109/ICETA.2018.8572033
3. Seniuk, Y. (2017). Transborder Multi-Level Digital Interactive Education-Training Platform for Innovation-oriented Co-Development. - In :Proceedings of the 15th International conference on Emerging eLearning technologies and applications ICETA2017. Stary Smokovec, the High Tatras, Slovakia, October 26-27, 2017, pp.413-420. IEEE Catalogue number CFP1748M-PRT, 2017.

**SENIUK Yuriy** – Head of Ukraine-Slovak International Center for Innovation and Technology Transfer (Kosice, Slovakia), National Science-Technological Association of Ukraine (Kyiv, Ukraine), e-mail: [iuriiseniuk@ukr.net](mailto:iuriiseniuk@ukr.net)

## **Екологічна інженерія та стійка зелена інфраструктура як нова промислова база післявоєнного відновлення України: інституційні, інноваційні та освітні пріоритети**

**Анотація.** Запропонована платформа з деякими модифікаціями розглядається як основа цифрової інфраструктури для підтримки та просування міжнародного інноваційного та інвестиційного співробітництва SMEs у кластерних формах з ключовою роллю USICITT як пілотного транскордонного інституційного інтерфейсу. У свою чергу, успішне будівництво та функціонування такого Центру на кордоні зі Словаччиною, а також іншими європейськими державами-сусідами стане важливою умовою розбудови справді інноваційної України, а не простої реконструкції старої промислової бази чи навіть його модернізація з використанням імітаційних технологічних інновацій та запозичених інституційних форм у рамках майбутнього Міжнародного плану післявоєнного відновлення країни. Тому так важливо розуміти та реалізовувати в такій відновлювальній діяльності насамперед інституційні, інноваційні та освітні пріоритети.

**Ключові слова:** біоекономіка здоров'я, інноваційний бізнес, соціально-економічне відтворення, Європейське об'єднання територіального співробітництва, Науково-технічна рада

**Сенюк Юрій Володимирович** - Голова Ukraine-Slovak International Center for Innovation and Technology Transfer (Kosice, Slovakia), Національної соціологічно-технічної Асоціації України (Kyiv, Ukraine), e-mail: [iuriiseniuk@ukr.net](mailto:iuriiseniuk@ukr.net)



## РОЛЬ НАУКОВОЇ ШКОЛИ В ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ

Київський національний університет будівництва і архітектури

### Анотація

Розглянута методологія та методи підготовки фахівців на основі результатів наукової школи, в якій одним із напрямків діяльності для здійснення досліджень являється залучення студентів на ранніх курсах. Запропонована методика виявлення здібних, талановитих студентів на першому (2-й семестр) та другому (1-й, 2-й семестри) курсах на основі оцінки успішності та власного бажання студентів займатися науковими дослідженнями.

**Ключові слова:** наукова школа, методи, підготовка, фахівці, дослідження, наскрізна програма, структурно-логічні схеми, кластер.

### Вступ

Методика досліджень. За роки існування незалежної України в системі освіти накопичувалися численні проблеми, що обумовлені старінням існуючої матеріально-технічної бази, надмірною комерціалізацією освіти шляхом створення великої кількості приватних початкових закладів без належного обґрунтування. Також можна відмітити зниження якості освіти та падіння рівня знань і вмінь студентами, моральне старіння методів і методики навчання, обумовлене цілою низкою невирішених проблем та відсутність належного контролю за якістю навчальної літератури та відсутність впровадження передових технологій в системі навчання[1]. На засадах поглибленого та системного аналізу чинних систем освіти було визначено їхні переваги та недоліки. Запропоновано структурну схему підготовки магістрів та об'єднаного закладу освіти з єдиною наскрізною програмою навчання для отримання відповідної професійної кваліфікації світового рівня. Упровадження такої системи відкриє нові можливості для підвищення ефективності освіти шляхом створення системного (кластерного) підходу до навчання з використанням структурно-логічних схем формування навчальних дисциплін та використання результатів діяльності наукової школи.

Викладення основного матеріалу. Методика виявлення здібних студентів до участі в наукових дослідженнях сформована на основі наступних підходів: оцінка успішності за дисциплінами (математика, фізика, теоретична механіка); володіння комп'ютерними технологіями та програмним забезпеченням; власне бажання студентів займатися науковими дослідженнями; тестування знань студентів за результатами навчання. Запропонована низка дисциплін, які відносяться до переліку спеціальних факультативних дисциплін: методологія та методи наукових досліджень; системний аналіз та синтез в наукових дослідженнях; методи генерації нових ідей; фізичне та математичне моделювання; критерії оцінки та прийняття оптимальних рішень; спеціальні розділи фізики, математики, теоретичної механіки. Так реалізується набуття студентами практичних навичок на реальному обладнанні наукової школи. Формування системи підготовки магістрів випусковою кафедрою за запропонованою системою наведена на рисунку 1.



Рисунок 1 – Формування системи підготовки магістрів випусковою кафедрою.

Важливим фактором успіху в отриманні сучасних знань є здатність такої системи створення системного (кластерного) підходу до навчання, який набуває широкого впровадження в сучасних високоефективних технологіях виробництва. Кластерна система освіти, що може бути реалізована виключно формування дисциплін має ще одну суттєву відмінність від чинної системи, а саме – здатність до швидкої (у разі необхідності) адаптації до впровадження нових навчальних дисциплін. Так реалізується підвищення рівня навчального процесу в запропонованому методі (рис. 2) [2]. Вступ до навчального закладу здійснюється після 9-го класу в порівнянні зі вступом до університету після 11 років навчання в закладі загальної середньої освіти.

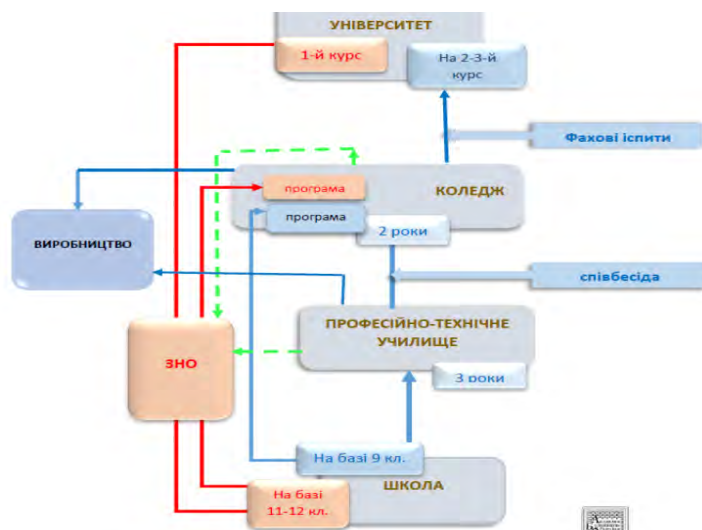


Рисунок - 2. Структурна схема навчання в навчальному закладі за єдиною наскрізною програмою.

Програма реформування системи освіти є ключовою для розвитку людського капіталу, пост-індустріальної економіки, а також реформування її якості й ефективності та створює умови для розвитку середнього класу – соціальної основи сталої демократії.

### Висновки

1. Запропоновані методи підготовки фахівців на основі результатів наукової школи, в якій одним із напрямків діяльності для здійснення досліджень являється залучення студентів на ранніх курсах.
2. Упровадження новітніх форм навчання та передових інноваційних технологій (кластерна система, дуальна система навчання, підготовка фахівців інноваційних технологій, зокрема ВІМ, тощо).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Молодь України – 2018 / Результати репрезентативного соціологічного дослідження. – Київ : ДП «Редакція інформаційного бюлетеня «Офіційний вісник Президента України», 2018. – 72 с.
2. Назаренко І. І. Формування системного оновлення структури та змісту технічної освіти. Матеріали XXIV міжнародної науково – технічної конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» Секція 5. «Проблеми та перспективи розвитку вищої інженерної освіти в Україні». – Київ : Національний технічний університет України «КПІ», 2019. – С. 210–212.

**Назаренко Іван Іванович** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри машини і обладнання технологічних процесів, Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, e-mail: [ii\\_nazar@ukr.net](mailto:ii_nazar@ukr.net)

#### *The role of the scientific school in the training of specialists*

##### **Abstract**

*The methodology and methods of training specialists are considered based on the results of a scientific school, in which one of the areas of activity for carrying out research is the involvement of students in early courses. A method of identifying capable, talented students in the first (2nd semester) and second (1st, 2nd semesters) courses is proposed based on the assessment of success and students' own desire to engage in scientific research.*

**Keywords:** scientific school, methods, training, specialists, research, end-to-end program, structural and logical schemes, cluster.

**Nazarenko Ivan I.** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, head of the department of machines and equipment of technological processes, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv: e-mail: [ii\\_nazar@ukr.net](mailto:ii_nazar@ukr.net)

## ПОКРАЩЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МЕШКАНЦІВ ВІННИЦЬКОЇ МІСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Описані основні переваги та недоліки автомобільного та електротранспорту. Розглянуті основні етапи покращення транспортного обслуговування мешканців Вінницької міської територіальної громади.

**Ключові слова:** звичайний режим руху; маршрутні таксі; громадський транспорт, система міського пасажирського транспорту; оновлення рухомого складу; якість перевезень.

Основною метою побудови ефективної мережі громадського транспорту з чіткою і злагодженою організацією транспортного процесу є забезпечення високої якості обслуговування мешканців, основним критерієм оцінки якості обслуговування пасажирів громадського транспорту. Окрім часу поїздки, для аналізу ефективності системи громадського транспорту важливими показниками також є регулярність руху по всьому шляху слідування, належне і раціональне використання рухомого складу, висока культура обслуговування пасажирів з найменшими витратами.

Існують два напрямки в сфері транспортного обслуговування це насамперед обслуговування яке забезпечується за допомогою автоперевізників та не менш важливий напрямок – обслуговування електротранспортом.

Надійна і ефективна робота електричного транспорту є найважливішим показником соціально-політичної та економічної стабільності міста. А також це екологічність, знижений рівень шуму, низька пожежо- і вибухонебезпечність під час аварії. У всіх містах Європи й України, де турбуються про чистоту повітря, намагаються «пересадити» пасажирів в громадський транспорт і розвивати електротранспорт.

Переваги електротранспорту:

1. Доступність транспортних послуг: найнижча вартість проїзду; безплатне перевезення пільгових категорій населення за повним переліком згідно законодавству.
2. Наявність розкладів руху тролейбусів на кожній зупинці.
3. Комфортні умови перевезення: велика пасажиромісткість; наявність безкоштовного Wi-Fi та/або USB в рухомому складі.
4. Екологічність транспорту.

Але електротранспорт не може повністю задовільнити потребу в перевезенні пасажирів, тому паралельно з електротранспортом обов'язково розвивається автомобільний транспорт, який є провідним з-поміж усіх видів транспорту за обсягами перевезень і масштабами впливу на майже всі аспекти нашого життя.

Крім того, надійні і якісні послуги, що надаються автомобільним пасажирським транспортом, мають велике соціальне значення. Це забезпечує зручний доступ до місця роботи, сфери обслуговування, до медичних, освітніх і культурних закладів.

Переваги автомобільного транспорту:

- краща маневреність рухомого складу;
- більша швидкість руху;
- більш розгалужена система маршрутів.

Недоліки автомобільного транспорту:

- висока аварійність;

- не пристосованість для перевезення інвалідів, пасажирів з дитячими колясками або багажем.

Щоб змінити складну ситуацію, яка панувала в системі міського пасажирського транспорту на початку 2000-их років, Вінницька міська влада пішла на безпрецедентні кроки і першою в Україні розпочала системно наводити лад в міських пасажирських перевезеннях.

У 2006-му році, після підписання Україною міжурядового меморандуму зі Швейцарією, місто Цюрих погодився безкоштовно виділити одному з українських міст списані трамваї 60-х років виробництва, але після ремонту, для вузькоколіїних шляхів. Ходять чутки, що представники міста інкогніто відвідували міста України, де існують вузькоколіїні мережі вивчаючи, у якому з міст краще «житиметься» їх трамваєм. Цей вибір припав на Вінницю. В результаті в місті був реалізований проект передачі трамваїв зі швейцарського Цюриха з 2007 по 2011 рік.

В рамках проекту було передано 116 трамваїв. Витрати на доставку та запчастини, які склали 3,9 млн швейцарських франків, оплатила швейцарська сторона.

За дорученням Міського голови міста Вінниці колектив кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету у 2008 році розробив концепцію розвитку пасажирського автомобільного транспорту з метою оптимізації маршрутної мережі у м. Вінниця, яка впроваджена в 2012 році та успішно функціонує на даний час. Протягом усього періоду колектив кафедри проводить авторський супровід розроблених рекомендацій, аналізує реальну ситуацію на маршрутній мережі та за необхідності корегує запропоновані розробки.

Реалізація основних положень концепції дозволила досягти поставлених завдань. Збільшились обсяги перевезень пасажирів електротранспортом з 58% до 76%. Значно зменшилась кількість автобусів малої пасажиромісткості що використовуються при перевезенні пасажирів з 356 одиниць до 212. Кількість автобусів великої пасажиромісткості при цьому збільшилась з 14 до 60 одиниць. Зросла кількість маршрутів на яких перевезення здійснюються в загальному режимі руху. Створено автобусний парк в складі Вінницького трамвайно - тролейбусного управління яке реорганізовано у Вінницьку транспортну компанію (ВТК).

На сьогодні ВТК – одне з небагатьох в країні комунальне транспортне підприємство, яке працює з мінімальними збитками. Це вдається за рахунок оптимізації виходу транспорту на маршрут, існує спеціальна служба вивчення трафіку пасажирів і коригування випуску одиниць техніки на вулиці міста. Весь комунальний транспорт оснащений системою Wi-Fi.

Тепер, мешканці окраїн (Тяжилова, Бучми, Агрономічного) міста звертаються до міськради та «Вінницької транспортної компанії» з вимогами продовжити маршрути міського транспорту до них та продовжити час курсування тролейбусів і маршруток у їх віддалених районах.

У 2013-2014 роках у Вінниці збудовано нову трамвайну колію протяжністю 4,2 км - з мікрорайону «Вишенька» до Західного автовокзалу. Для цього з міського бюджету було виділено 87 млн грн. Також був побудований новий відрізок колії протяжністю 0,44 км, завдяки чому введено новий трамвайний маршрут від мікрорайону «Електромережа» до Західного автовокзалу.

У 2016 році містом почали курсувати новітні трамваї «WinWay». Ця модель уміщує понад 300 пасажирів. Салон освітлюється світлодіодними лампами, в кабіні водія є кондиціонер, а замість дзеркал – камери зовнішнього і внутрішнього відеоспостереження. Особливістю цих вагонів є універсальна низькопідлогова вставка для комфорту маломобільних груп населення.

Завдяки реорганізації транспортної системи у Вінниці збільшилася кількість маршрутів та, відповідно, додалось одиниць рухомого складу муніципального транспорту.

Крім того, у Вінниці активно розвивається велосипедний рух – облаштовується мережа велодоріжок, яка з'єднає усі мікрорайони з центром міста.

Результати реорганізації громадського транспорту та реалізації Стратегії громадського транспорту-2030:

- збільшилася кількість маршрутів та одиниць рухомого складу громадського транспорту;
- зменшилася кількість маршрутних таксі;
- зросла на 20 відсотків чисельність пасажирів, які користуються електротранспортом;
- рух громадського транспорту став більш інтенсивним та регулярним (очікування транспорту займає 1-1,5 хв.);
- підвищилася пропускна спроможність вулично-шляхової мережі міста;
- подовжено трамвайну мережу на 4,64 км;

- побудовано 50 км велосипедних доріжок (усього заплановано 80 км).

Окрім того, у громадському транспорті міста доступний безкоштовний Wi-Fi.

За останні роки Вінниця стала містом із сучасною, розвиненою транспортною системою, що позитивно впливає на мобільність та комфортність життя вінничан і гостей міста.

До Вінниці 12 квітня 2023 року прибув вже 8-й трамвай Tram 2000 зі Швейцарії. Це останній трамвай у рамках першої поставки другого етапу проекту "Цюрихські трамваї". Загалом Вінниця має отримати 35 трамвайних вагонів Tram 2000 зі Швейцарської Конфедерації.

Отримані трамваї Tram 2000 відрізняються від уже звичних для вінничан Mirage та Karpfen більш комфортними умовами для пасажирів, а також певними технічними характеристиками.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Біліченко В.В., Цимбал С.В. Методика визначення базових параметрів автобусних маршрутів загального користування. Вісник СевНТУ. Серія машинобудування та транспорт: збірник наукових праць. Севастополь, 2012. № 134. С. 230-233.

2. Біліченко В.В., Цимбал С.В., Романюк С.О. Евристичний підхід до формування маршрутної мережі міських пасажирських перевезень. Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні: тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції, Львів, 24-25 вересня 2015 р. Львів, 2015. С. 59-61.

3. Біліченко В.В., Цимбал С.В., Крещенецький В.Л., Тодорашко Г.Ю. Комплексний підхід до вирішення існуючих проблем функціонування транспортної системи міста. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»). Луцьк, 2016. № 55. С. 22-25.

4. Біліченко В.В., Цимбал С.В., Біліченко Н.О. Системний підхід до вдосконалення виробничої системи міських пасажирських перевезень. II Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання», 16–18 березня 2017 року: Тези доповідей. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. С. 35-36.

5. Біліченко В.В., Цимбал С.В., Лановий Р.С., Цимбал О.В. Розробка системи підтримки прийняття рішень з вдосконалення маршрутної мережі міських пасажирських перевезень. Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів. Миколаїв: МТУ «Миколаївська політехніка», 2017. С. 10-11.

6. Біліченко В.В., Цимбал С.В., Цимбал О.В. Аналіз методів визначення кількості та пасажиромісткості рухомого складу на міських маршрутах пасажирських перевезень. Вісник машинобудування та транспорту Вінниця, 2020. № 2(12). С. 11-18.

**Біліченко Віктор Вікторович** – доктор технічних наук, професор, ректор Вінницького національного технічного університету, e-mail: [bilichenko.v@gmail.com](mailto:bilichenko.v@gmail.com)

**Цимбал Сергій Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент» Вінницького національного технічного університету, e-mail: [tsymbal\\_s\\_v@ukr.net](mailto:tsymbal_s_v@ukr.net)

## IMPROVEMENT OF TRANSPORT SERVICE FOR THE RESIDENTS OF THE VINNYTSIA CITY TERRITORIAL COMMUNITY

### Abstract

The main advantages and disadvantages of automobile and electric transport are described. The main stages of improving transport services for the residents of the Vinnytsia city-territorial community were considered.

**Keywords:** normal mode of movement; shuttle taxis; public transport, urban passenger transport system; renewal of rolling stock; quality of transportation.

**Bilichenko Viktor** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of Vinnytsya National Technical University, e-mail: [bilichenko.v@gmail.com](mailto:bilichenko.v@gmail.com)

**Tsymbal Serhii** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsya National Technical University, e-mail: [tsymbal\\_s\\_v@ukr.net](mailto:tsymbal_s_v@ukr.net)

## APPLICATION OF THE FINITE ELEMENT METHOD FOR MODELING SOME MECHANICAL PROPERTIES OF POLYCRYSTALS

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

<sup>2</sup>University for Continuing Education Krems (Austria)

**Abstract.** Approaches for modelling of polycrystalline metals and alloys using single crystal fundamental characteristics are considered. An example of modelling is the simulation of the hardening curve of a high-strength titanium alloy. The simulation results have proved satisfactory for further use of this approach in determining other characteristics used in process calculations of forming.

**Keywords:** simulation, polycrystalline metals and alloys, single crystal, finite element method, strain-stress curve, mechanical characteristics.

The mechanical properties of polycrystals and creation of their models can be obtained in two ways - the direct way, by study of full-scale specimens with the use of phenomenological theory of elasticity, plasticity and deformability and the calculation way, based on simulation, using the properties of single crystals and their interaction with each other under the influence of external loads. Until recently, implementation of the second way has been rather problematic, because such calculations required considerable computational resources, corresponding methodology and software. The first approach requires the large experimental base of research and therefore is both labour-intensive and expensive. At the same time, obtaining data on the behaviour of materials under new conditions usually requires setting up new experiments, which in addition to the above mentioned is not flexible and is costly. The second way is devoid of such disadvantages, as it uses the basic properties of single crystals for simulation of macro-characteristics of mechanical properties of polycrystalline samples. In this case, there is calculation error, however, in case of search for optimal solutions the second way is undoubtedly preferable. Also, using the second approach it is possible to simulate some mechanical properties even of materials which do not exist in the reality [1]. The most important characteristics used for practical calculations of polycrystalline material forming processes should be noted: Average Young's modulus, Shear modulus, Poisson's ratio, Hill's parameters, YTS, UTS, Relations true strain - true stress; Diagram of Bauschinger for anisotropic hardening; Diagram of plasticity etc. All of above are functions of temperature, chemical composition, technology of obtaining etc (microstructure, phase). Today's software [free software NEPER (<https://neper.info/>), FEpX (<https://fepx.info/>), DAMASK (<https://damask.mpie.de/>), commercial finite element software ABAQUS] and hardware already allow to implement the phenomenological approach quite effectively. The basic software used to investigate the mechanical properties of polycrystalline materials is Neper and FEpX. Neper was used as the basic program to prepare a geometric model of materials with a polycrystalline structure; FEpX was used to simulate the plastic properties of polycrystalline materials. The main focus has been on exploring the capabilities of FEpX and the theoretical basis of the models used in the program. A number of elasticity and plasticity characteristics, which are part of the model of the mechanical properties of the material, were investigated on their basis. The elastic properties of polycrystals are described using generalized Hooke's law and plasticity properties are described using models proposed by Garson [2] using Voce phenomenological models. It is concluded that the description of the plastic and elastic properties of crystals at the microlevel is phenomenological, i.e. the model constants are studied on the experimental research ground. In this case, a part of the experiments is rationally performed in an ad-initio simulation mode. For instance, such studies are important for polycrystalline magnetic materials with new chemical composition based on manganese, aluminium, nickel, copper and other materials.

For polycrystalline materials the most important characteristic for modelling different shaping processes is the stress-strain curves. These relationships can be obtained using a simulation with FEpX by loading of a cubic specimen with unit dimensions. Verification of the simulation results was done with using known literature data of polycrystalline materials (copper, high-strength titanium alloy Ti-6Al-4V [3], as well as the experimental data obtained in our earlier studies [4]. A satisfactory correspondence between the calculated curves and the experimental data  $R_{adj} = 0,95$  has been obtained. One of the important results of these studies was the study of influence of particular model parameters (Garson17) on plasticity characteristics. Thus the number of crystal plasticity parameters for titanium alloy may be taken as constants (in particular, fixed-state strain rate scaling, saturation strength rate scaling coefficient and power on modified Voce hardening term equal 1, saturation strength rate scaling exponent equal 0,01).

Another important aspect of modelling is the calculation of residual thermal stresses in polycrystalline solids, which in some cases can achieve values that have a significant impact on their functional performance. Such materials include, for example, permanent magnetic materials based on neodymium-iron-boron. Using FEM simulation it is possible to obtain reliable values of the stress-strain state after heat treatment, which in turn is the basis for further optimization of the material structure.

## REFERENCES

1. J. Pokluda, M. Cern. Pokluda, M. Cerny, M. Šob, Y. Umeno. Ab initio calculations of mechanical properties: Methods and applications. Progress in Materials Science. Volume 73, August 2015, Pages 127-158
2. R. Carson, M. Obstalecki, M. Miller, and P. R. Dawson. Characterizing heterogeneous intragranular deformations in polycrystalline solids using diffraction-based and mechanics-based metrics. Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering, 25:055008, 2017
3. K. Chatterjee, M.L.P. Echlin, M. Kasemer, P.G. Callahan, T.M. Pollock, P. Dawson, Prediction of tensile stiffness and strength of Ti-6Al-4V using instantiated volume elements and crystal plasticity. Acta Materialia, 2018
4. Hrushko O.V. Material charts in cold forming / Monograph. - Vinnytsia: VNTU, 2015 - 348 P. (in Ukrainian)

*This project has received funding through the MSCA4Ukraine project, which is funded by the European Union.*

*Oleksandr Hrushko, Professor, Dr. of Sc., Head of the Department of Strength of Materials, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia; Reseacher DISS, University for Continuing Education Krems, e-mail: grushko@vntu.edu.ua.*

*Thomas Schrefl, Univ.-Doz.Dipl.-Ing.Dr., Head of Center for Modelling and Simulation DISS, University for Continuing Education Krems, Austria, e-mail: thomas.schrefl@donau-uni.ac.at.*

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ У МОДЕЛЮВАННІ ДЕЯКИХ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛІКРИСТАЛІВ

**Анотація.** Розглянуто підходи до моделювання полікристалічних металів і сплавів з використанням фундаментальних характеристик монокристалів. Прикладом такого моделювання є розрахунок кривої зміцнення високоміцного титанового сплаву. Результати симуляції виявилися задовільними для подальшого використання цього підходу при визначенні інших характеристик, що використовуються в технологічних розрахунках процесів формоутворення.

**Ключові слова:** моделювання, полікристалічні метали і сплави, монокристал, метод скінченних елементів, крива "деформація-напруження", механічні характеристики

*Олександр Грушко, професор, д.т.н., завідувач кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки Вінницького національного технічного університету, grushko@vntu.edu.ua.*

*Томас Шрефл, доктор інженерії, завідувач центру моделювання та симуляцій, професор, Університет неперервної освіти Крему, Австрія, e-mail: thomas.schrefl@donau-uni.ac.at.*



# ASSESSMENT OF THE DURABILITY OF ELECTRICAL MACHINE STRUCTURES

University College Cork, Ireland

**Abstract.** A technique for evaluating the durability of structures of power electrical machines is proposed, which is implemented on the basis of the simultaneous use of the functions of the instantaneous amplitude and the module of the instantaneous frequency.

**Keywords:** structural durability, vibration loads, oscillatory process of loads, frequency, amplitude.

When assessing the durability of structures of power electrical machines (EM) under the action of random vibration loads, an important task is to schematize the oscillatory processes of the load [1-3]. To effectively solve this problem, a method based on the use of the instantaneous frequency and instantaneous amplitude of a random loading process is proposed.

Traditionally, in durability problems, an integer number of closed cycles of the loading process is considered,  $n = f^*t$ , where  $n$  is the number of cycles of the harmonic process with frequency  $f$  and duration  $t$ . Damage that accumulates gradually and continuously during even the shortest duration of each cycle can be described by the expression

$$dn = \text{module}[f(t)]dt, \quad (1)$$

where  $dn$  - increase in the number of cycles;  $\text{module}[f(t)]$  - module of instantaneous frequency;  $dt$  - increase in the duration of the process.

The modulo sign for the instantaneous frequency means that damage can only increase (accumulate) over time. The expression for the instantaneously limiting number of cycles  $N(t)$  before the appearance of damage using the power-law approximation of the fatigue curve can be written as

$$N(t) = \frac{\sigma_{-1}^z}{A(t)} N_0, \quad (2)$$

where  $\sigma_{-1}^z$  is endurance limit;  $z$  is the slope of the fatigue curve;  $N_0$  is the number of cycles corresponding to endurance limits;  $A(t)$  is instantaneous amplitude (envelope).

To estimate the durability of the structure, we will accept the hypothesis of adding tiresome damage. Tiresome destruction at a continuously changing frequency and amplitude occurs at the time  $t = T$ . Then the integral of the instantaneous relative damage  $dn/N(t)$  in the range from 0 to  $T$  reaches unity:  $\int_0^T \frac{dn}{N(t)} = 1$ .

1. Expanding the integrand, taking into account formulas (1) and (2), we obtain:

$$\sigma_{-1}^z N_0^{-1} \int_0^T A^z(t) |f(t)| dt = 1. \quad (3)$$

Denoting by  $k_{A,f}$  the mixed moment of two random processes  $A^z(t)$  and  $|f(t)|$ , we obtain:

$$k_{A,f} = \lim_{T \rightarrow \infty} T^{-1} \int_0^T A^z(t) |f(t)| dt = 1. \quad (4)$$

From expression (3) we obtain a formula for estimating the value of durability:  $T = \sigma_{-1}^z N_0 k_{A,f}$ , which includes the theoretically mixed moment. In the case of replacing the theoretical moment by its estimate, we obtain a sample estimate for the value of durability in a general form:

$$\bar{T}(t) = \sigma_{-1}^z N_0 t \left[ \int_0^T A^z(t) |f(t)| dt \right]^{-1}. \quad (5)$$

If there are no deterministic components in the original random process, that is, there is a statistical independence of the instantaneous amplitude and frequency of the process, then the formula for estimating the durability is greatly simplified:

$$\bar{T}(t) = \sigma_{-1}^z N_0 \left[ \bar{A}^z(t) \bar{|f(t)|} \right]^{-1}. \quad (6)$$

In expression (6),  $\bar{A}$  and  $\bar{|f(t)|}$  denote the average sample values. Thus, in order to obtain an estimate of the durability of a structure under random stationary random loads, it is necessary, in addition to the characteristics of the fatigue curve, to have the statistical characteristics of the functions of the instantaneous amplitude and the modulus of the instantaneous frequency. To assess the durability at various loads, we describe the process of changing loads by the sum of two oscillations  $X(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 t) + A_2 \cos(2\pi f_2 t)$ . Then the Gilbert-adjoint process takes the form:  $X_G(t) =$



$A_1 \sin(2\pi f_1 t) + A_2 \sin(2\pi f_2 t)$ . And the instantaneous amplitude and instantaneous frequency will be described by the formulas:

$$A(t) = A_1 [1 + k^2 + 2k \cos(2\pi(f_2 - f_1)t)]^{0.5}; \quad (7)$$

$$f(t) = f_1 + \frac{k(f_2 - f_1)[k + \cos(2\pi(f_2 - f_1)t)]}{1 + k^2 + 2k \cos(2\pi(f_2 - f_1)t)}, \quad (8)$$

where  $k = A_2/A_1 < 1$ ,  $(f_2 - f_1) > 0$ .

For the most common normal random loads, the instantaneous amplitude will be distributed according to the Rayleigh law [4 - 6], and at a high level of loads on the power EM structures, an expression for the mathematical expectation can be written:

$$\bar{A}^z(t) = \sigma_x^z 2^{\frac{z}{2}} G\left(1 + \frac{z}{2}\right), \quad (9)$$

where  $\sigma_x$  is standard deviation of the initial process;  $G(\cdot)$  — Gamma function.

For the initial process as a sum of two statistically independent stationary narrow-band normal center processes  $x(t) = x_1(t) + x_2(t)$  with different center frequencies  $f_1$  and  $f_2$ , the mathematical expectation of the instantaneous amplitude of the total process will be determined by expression (9), in to which  $(\sigma_x)^2 = (\sigma_1)^2 + (\sigma_2)^2$  is the variance of the total process [7 - 12];  $(\sigma_1)^2$ ,  $(\sigma_2)^2$  are the variance of the response of one and the other narrowband process. Using formulas (6) and (9), we obtain an expression for the durability of the design of power EM:

$$T = 2^{-z/2} \sigma_x^{-z} N_0 [\sigma_1^2 f_1^2 + \sigma_2^2 f_2^2]^{-0.5} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{\frac{1-z}{2}} G\left(1 + \frac{z}{2}\right). \quad (10)$$

It can be seen from formula (10) that the durability depends on the ratio of dispersions and the central parts of narrow-band oscillatory processes.

#### REFERENCES

1. Wang, H., Liu, Z., Peng, D., & Zuo, M. J. Interpretable convolutional neural network with multilayer wavelet for Noise-Robust Machinery fault diagnosis // *Mechanical Systems and Signal Processing*. – 2023. – T. 195. – p. 110314.
2. Cunha, B., Droz, C., Zine, A., Foulard, S., & Ichchou, M. A review of machine learning methods applied to structural dynamics and vibroacoustic // arXiv preprint arXiv:2204.06362. – 2022.
3. Shuai, Z., Huang, W., Shen, Z. J., Luo, A., & Tian, Z. Active power oscillation and suppression techniques between two parallel synchronverters during load fluctuations // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2019. – T. 35. – №. 4. – P. 4127-4142.
4. Vasilevskiy, O.M., Ignatenko, O.G. Rationing of indicators of reliability of technical means : [training manual]. - VNTU. – 2013. – 160 p.
5. Vasilevskiy O. M. Means for measuring the dynamic torque electric motors and an analysis of its accuracy // *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia*. – 2012. – T. 73. – P. 52-56.
6. Vasilevskiy O. M. et al. Vibration diagnostic system for evaluation of state interconnected electrical motors mechanical parameters // *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017*. – SPIE, 2017. – T. 10445. – P. 1883-1888.
7. Vasilevskiy O. M. Algorithm for Estimating Uncertainty in Measurements When Performing Metrological Works // *Information technology and computer engineering*. – 2006. - № 3. – P. 147-151.
8. Vasilevskiy, O. M., Kulakov, P. I., Ovchynnykov, K. V., Didych, V. M. Evaluation of dynamic measurement uncertainty in the time domain in the application to high speed rotating machinery // *International Journal of Metrology and Quality Engineering*. – 2017. – 8. – P. 25.
9. Vasilevskiy O. M. Rationing of indicators of metrological reliability // *Bulletin of the Vinnitsa Polytechnic Institute*. – 2011. - №4. – pp. 9-13.
10. Soprunuk, P.M., Vasilevskiy, O.M., Chabanuk, Y.A. Uncertainty of measurement results in the control of asynchronous rotation of electromechanical converters // *Information processing systems*. – 2006. - №7. – pp. 72-75.
11. Vasilevskiy O. M. Method for assessing the durability of structures of power electrical machines under random vibration load // *Bulletin of the Vinnitsa Polytechnic Institute*. – 2010. - № 5. – pp. 58 - 61.
12. Vasilevskiy O. M. Metrological characteristics of the torque measurement of electric motors // *International Journal of Metrology and Quality Engineering*. – 2017. – 8. – P. 7.

*Vasilevskiy Oleksandr, DSc., prof., University College Cork, Cork, Ireland, [ovasilevskiy@ucc.ie](mailto:ovasilevskiy@ucc.ie)*

## ОЦІНКА ДОВГОВІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

**Анотація.** Запропоновано методику оцінки довговічності конструкцій електричних машин, що реалізована на основі одночасного використання функцій миттєвої амплітуди і модуля миттєвої частоти.

**Ключові слова:** міцність конструкції, вібраційні навантаження, коливальний процес навантажень.

**Васілевський Олександр, д.т.н., проф., Національний університет Ірландії, м. Корк, Ірландія, [ovasilevskiy@ucc.ie](mailto:ovasilevskiy@ucc.ie)**

## МОДЕЛЮВАННЯ ДІАГОНАЛЬНОГО ВИВІШУВАННЯ СПОРТИВНОГО АВТО – “TOMCAT 100” LAND ROVER DEFENDER

Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

### Анотація

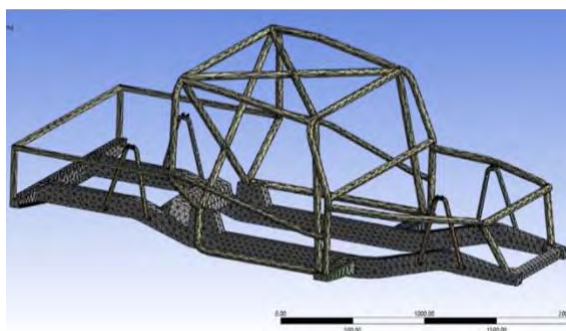
Дослідження міцності та рівномірності силових структур й просторових ферм спортивних авто є складною і комплексною задачею, що передбачає цілу низку різноманітних випробувань на режими статичного згину, кручення, динамічних ударів, власних та вимушених коливань й вібраційних навантажень, вторму міцність та пасивну безпеку (фронтальні та бокові краш-тести та перекидання) тощо. В рамках наших досліджень буде проаналізовано один з найскладніших статичних режимів – діагональне вивішування.

**Ключові слова:** міцність, діагональне вивішування, напруження, переміщення, жорсткість, навантаження, просторова ферма, Ansys.

Bowler є виробником позашляхових спортивних автомобілів на базі Land Rover, розташованих у Дербіширі у Великобританії. У грудні 2019 року компанія Land Rover придбала компанію, щоб стати дочірньою компанією підрозділу Land Rover Special Vehicle Operations. За назвою це Land Rover Defender, але конструктивно - це повноцінний ралі-рейд з V8 на 500 к.с. для перегонів по бездоріжжю (рис. 1а), що має просторову раму гібридного типу: повздовжні лонжерони закритого прямокутного профілю з об'ємною поперечною за кабіною та зварним просторовим каркасом з труб круглого січення (МКЕ-сітка solid-моделі представлена на рис. 1б).



а)



б)

Рис. 1. Об'єкт досліджень для моделювання діагонального вивішування: а) фото Tomcat 100; б) МКЕ-модель рами

STEP-модель просторової рами імпортована у Ansys Static Structural та складається з 31467 елементів та 63620 вузлів. До крайових умов відносяться: 1) 550 кг у підкапотному просторі, що відповідає масі двигуна, КПП та іншого навісного обладнання (маркер А - рис. 1а); 2) 500 кг у центральній частині, що відповідає обладнанню, пасажирам, масі кузова (маркер В - рис. 1а); 3) 400 кг у задній частині у вигляді корисного навантаження та інших елементів (паливного бака, акумуляторів, заднього моста, тощо); 4) прикладене консольне заземлення (Fixed support) в області кріплення заднього моста до правого по ходу руху авто лонжерона; 5) в'язь типу Displacement з обмеженням переміщення по вертикалі (вісь Z) в області кріплення переднього моста до лівого по ходу руху авто лонжерона.

Слід зауважити, що підресорені маси виключені зі схеми навантаження, проте у розрахунках застосовано коефіцієнт динамічності  $k_d$  при розрахунку сумарного навантаження  $F_p$ :

$$F_p = (m_1 + m_2 + \dots + m_n)g \cdot k_d = \sum m_n g k_d, \quad (1)$$

де:  $m_1, m_2, \dots, m_n$  - маси відповідних вузлів, агрегатів, сидячих пасажирів та корисного навантаження, кг;  $g$  - прискорення вільного падіння,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .  $k_d = 1 \dots 2.5$  – в залежності від умов експлуатації.

За результатами досліджень отримаємо значення напружень та переміщень (рис. 2). За умов  $k_d = 1$  максимальні напруження не перевищили межу текучості матеріалу ( $\sigma_T = 210 \text{ МПа}$ ) виготовлення ферми (еквівалент Сталі 20), а найбільші переміщення виявлені у правій вертикальній стійці кабіни й складають 8.5 мм.

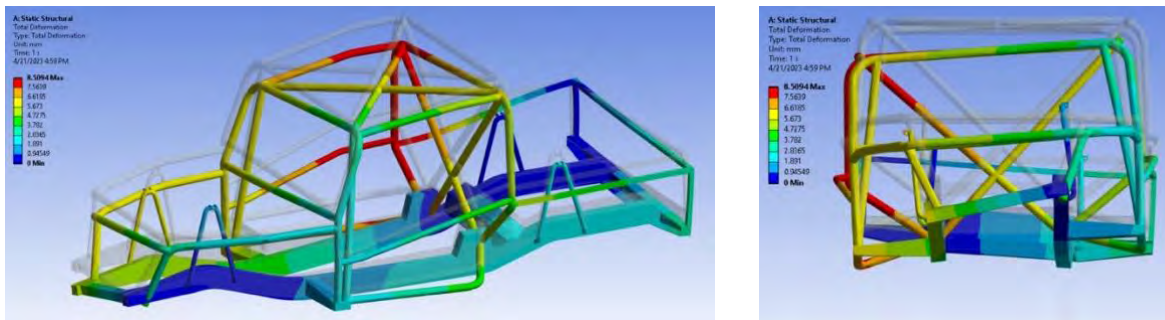


Рис. 1. Об'єкт досліджень для моделювання діагонального вивішування: а) фото Tomcat 100; б) МКЕ-модель рами

В даному випадку можна констатувати достатню жорсткість рами, виходячи з відносні деформації в критичних зонах не більше 5-6 мм (пройма лобового скла, точки кріплення двигуна та КПП, що визначають безпечність їх сумісної експлуатації).

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Wang, Bin & Yuan, Zilong & Hu, Jiale & Yao, Wentao. (2023). Simulation Analysis and Experimental Study of Baja Racing Car Frame Based on Special Working Conditions. 10.4271/2023-01-0812.
2. Liu, Meng & Liu, Jing. (2022). Strength Analysis and Research of one Touring Car Frame. Journal of Physics: Conference Series. 2338. 012020. 10.1088/1742-6596/2338/1/012020.
3. Singh, Manoj & Vali, R & Padma, Yagnasri. (2016). THICKNESS OPTIMIZATION OF CAR FRAME FOR STRENGTH. 6. 62 - 76.

**Голенко Костянтин Едуардович**, кандидат технічних наук, викладач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницького національного університету, e-mail: kgolenko@gmail.com. ORCID: 0000-0002-6140-4573.

**Диха Олександр Володимирович**, доктор технічних наук, завідувач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницького національного університету, e-mail: tribosenatoro@gmail.com. ORCID: 0000-0003-3020-9625

**Бабак Олег Петрович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницького національного університету, e-mail: ang.babak@gmail.com. ORCID: 0000-0002-1068-0631

### SIMULATION OF DIAGONAL HANGING OF A SPORTS CAR – “TOMCAT 100” LAND ROVER DEFENDER

#### Abstract

The study of the strength and uniformity of carrying structures and spatial trusses of sports cars is a complex task, which involves a whole series of various tests for modes of static bending, torsion, dynamic shocks, natural and forced oscillations and vibration loads, fatigue strength and passive safety (frontal and side crash tests and overturning), etc. As part of our research, one of the most complex static modes will be analyzed - diagonal hanging.

**Key words:** strength, diagonal hanging, stress, displacement, stiffness, load, spatial truss, Ansys.

**Holenko Kostyantyn**, PhD, Department of Tribology, Automobiles and Materials Science. Khmelnytskyi National University, e-mail: kgolenko@gmail.com. ORCID: 0000-0002-6140-4573.

**Oleksandr Dykha**, Dr. Sc. Eng., Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, e-mail: tribosenatoro@gmail.com. ORCID: 0000-0003-3020-9625

**Oleg Babak**, PhD, Department of Tribology, Automobiles and Materials Science. Khmelnytskyi National University, e-mail: ang.babak@gmail.com. ORCID: 0000-0002-1068-0631

## DYNAMIC LOADS ARISING IN TOWER CRANES DURING THEIR OPERATION

Kyiv National University of Construction and Architecture

**Abstract.** *In order to simplify calculations of structures under dynamic loads in operation, a diagram is given according to which the rest of all elements of the mechanism are brought to its first element (engine). This allows you to greatly simplify the equation for solving and determine the values of the elasticity or stiffness factors of the elements. The method of determining the elasticity and stiffness factors of dynamic load elements given in the work makes it possible to significantly simplify the solution of complex equations and determine their values with sufficient accuracy.*

**Keywords:** crane, mechanism, indicator, element, load, moment.

Loading and unloading works are an integral part of the technological process of construction. Cranes of different types are mainly used to perform these works [1].

Cranes as lifting machines are widely used in construction for the movement of goods and installation of structures.

The scientific and technological progress taking place in all countries of the world strongly requires an increase in productivity, load lifting and an increase in the working speeds of lifting machines, which leads to a reduction in transients, that is, to a decrease in the time of acceleration and braking of machines.

All this leads to an increase in the intensity of the load-lifting machine, causes additional forces on all elements of the machine, received in the technique the name – external dynamic loads [2].

On the other hand, any machine has structural features of its kinematics, deviations in the size of individual parts within the established tolerance, clearance in gear gears and couplings, deformability of the system – all this causes vibrational processes in the machine transmission and refers to phenomena – internal dynamics of the machine

For safe operation of cranes, it is important to take into account the value of all types of dynamic loads operating when calculating their structures and selecting component elements [3, 4].

Therefore, at present, the actual problem is the development of a technique for determining dynamic loads in the mechanism of lifting the cargo of cranes in case of lack of movement in order to simplify complex calculations.

Therefore, to ensure trouble-free operation and improve the reliability of cranes when calculating the structures and components of their working equipment, it is important to take into account dynamic loads that are several times higher than static ones.

Elements of dynamic loads of the crane load lifting mechanism are its elastic components – ropes and shafts, which are deformed under the influence of loads. The value of this deformation of the elements is taken into account by the coefficients of elasticity or compliance with linear and steep or their inverse value – stiffness coefficients. These coefficients depend respectively on linear or angular strains.

Due to the fact that the lifting mechanism consists of a large number of elastic elements, the assembly and solution of equations for determining these coefficients is difficult. In order to simplify the equations and these calculations, the given calculation scheme according to which the remaining elements of the mechanism are brought to its first element (engine) is recommended. This allows you to greatly simplify the equation for solving and determine the values of the elasticity factors or stiffness of the elements of the dynamic loads of the crane lifting mechanism.

Therefore, it is necessary to develop a methodology for determining dynamic loads in the mechanism of lifting the crane load in case of non-stop movement with the use of the given design schemes in order to simplify complex calculations.

Any mechanism or any machine has elements or assemblies of massive or rigid bodies, which in the course of the transition process move as a whole. Such elements can be considered absolutely rigid

bodies, and their entire mass can be concentrated at a point coinciding with the center of weight of this element or node.

Thus, the mechanism or machine consists of "point masses" which include: transported cargo, rotating parts of the engine, brake pulley, drum, gear wheels, etc. [5].

The elastic elements of the machine under its load are appropriately deformed. The amount of this deformation of the element is taken into account by the coefficient of elasticity or compliance.

The coefficient of elasticity or compliance is defined as the ratio of the value of linear deformation or the angle of twist of this element to the value of the force or torque acting on it.

In practice, more often use the value of the inverse coefficient of elasticity, which is called the stiffness coefficient.

Thus, the design scheme can be represented by a number of "point masses" connected by weightless absolutely elastic bonds.

To illustrate the dynamic action of individual masses, depending on the task, they are led to some one elastic link located on one elastic link. Due to the fact that each mechanism has both rotating and progressively moving masses, two design drive schemes are possible.

If the drive is made to some shaft of the mechanism, then the given scheme of rotational motion is applied.

For such a scheme, external loads (torques), inertial forces (moments of inertia or flywheels), elasticity of kinematic elements (coefficients of torsion stiffness), backlash or clearances are specified.

If brought to the translational moving elastic element - rope, chain, rod, then the given scheme of translational stroke is applied.

It follows from the analysis of data of calculation schemes that if we take into account all the elements of the machine in the design scheme, then the scheme is very difficult, and the definition of dynamic loads is an intractable task. Therefore, in order to study dynamic processes in a mechanism or machine, it is advisable to use the so-called given calculation schemes that reflect the actual operation of the mechanism or machine and allow non-difficult decisions to obtain and analyze dynamic loads.

#### REFERENCES

1. Determination of dynamic loads in the crane lifting mechanism / Volianiuk V.O., Gorbatiuk Ie.V., Terentyev A.A., Bulavka O.O. Modern engineering and innovative technologies. Issue №22. Part 1. August 2022. P. 3-14. doi:10.30890/2567-5273.2022-22-01-006.
2. Volyanyuk V.O., Gorbatiuk Ie.V. (2021). Rozrahunok mehanizmiv vantazhopidijmal'nyh mashyn [Calculation of mechanisms of lifting machines] Kyiv: KNUCA [in Ukrainian].
3. Volyanyuk V. Determination of inertial loads of the rotary boom of a self-propelled crane / V. Volyanyuk, D. Mishchuk, E. Gorbatiuk. Kyiv: Mining, construction, road and reclamation machines, 2020, 96. 13-21. <https://doi.org/10.3247/gbdmm2020.96.05.25> [in Ukrainian].
4. B. Jerman, P. Podržaj, J. Kramar. (2004). An investigation of slewing-crane dynamics during slewing motion—development and verification of a mathematical model. International Journal of Mechanical Sciences. 46 (5), 729-750. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2004.05.006>.
5. Volianiuk V. Michuk D., Gorbatiuk E. (2021). The inertial loads of a telescopic boom of a truck crane. Automobile transport, 49, 54-62. <https://doi.org/10.30977/AT.2019-8342.2021.0.49.01.25> [in Ukrainian].

**Gorbatiuk Ievgenii Volodimirovich**, c. t. s., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction Machinery, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, [gek\\_gor@i.ua](mailto:gek_gor@i.ua)

## ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ, ЯКІ ВИНИКАЮТЬ У БАШТОВИХ КРАНАХ ПРИ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

**Анотація.** З метою спрощення розрахунків конструкцій баштових кранів при динамічних навантаженнях в роботі наводиться схема, згідно з якою решта всіх елементів механізму доводяться до його першого елемента (двигуна). Це дозволяє значно спростити рівняння для вирішення і визначити значення коефіцієнтів пружності або жорсткості елементів. Наведений у роботі метод визначення коефіцієнтів пружності і жорсткості елементів динамічного навантаження дозволяє значно спростити розв'язання комплексних рівнянь і з достатньою точністю визначити їх значення.

**Ключові слова:** кран, механізм, індикатор, елемент, навантаження, момент.

**Горбатюк Євгеній Володимирович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, [gek\\_gor@i.ua](mailto:gek_gor@i.ua)

# ЧИСЛОВИЙ АНАЛІЗ ДВОСТОРОННЬОЇ ЗАДАЧІ ГІДРОПРУЖНОСТІ ДЛЯ ТОРЦЕВОГО САЛЬНИКОВОГО УЩІЛНЕННЯ, ВПЛИВ РІЗНИХ ПАРАМЕТРІВ І ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ

<sup>1</sup> Сумський державний університет

## Анотація

Запропоновано метод розв'язання двосторонньої задачі гідропружності (2-way FSI) для торцевого сальникового ущільнення, що дозволило визначити розподіл гідравлічного та контактних тисків по ширині пари тертя, і як наслідок визначити комбінацію параметрів, що забезпечують вирівнювання контактних тисків.

**Ключові слова:** торцеве сальникове ущільнення, задача гідропружності, сальникова набивка, гідравлічний тиск, контактний тиск.

## Вступ

В сучасному машинобудуванні однією із головних проблем залишається забезпечення герметичності насосів та компресорів через наявність зазору між їх рухомими і нерухомими компонентами [1]. Для визначення ресурсу механічних ущільнень, до яких відносять сальникові ущільнення, важливим є визначення контактних тисків по ширині пари тертя. На сьогодні визначення контактних тисків є можливим за допомогою чисельних методів.

Метою роботи є визначення розподілу гідравлічного та контактних тисків по ширині пари тертя при зміні параметрів: робочого тиску, коефіцієнту навантаження, коефіцієнту тертя, модуля пружності та коефіцієнта Пуассона, а також змінювалась товщина кільцевої пластинки на дні сальникової обойми. Визначались параметри при яких досягається вирівнювання контактних тисків [2].

## Результати дослідження

Розглядалися три моделі конструкцій торцевого сальникового ущільнення: традиційна, із кільцевою пластинкою на дні сальникової обойми та з пазами в кільцевій пластинці (рис.1).

За допомогою програмного комплексу ANSYS було створено комп'ютерну модель, в якій рідинна область визначається осередненим зазором між мікронерівностями в парі тертя [3]. Таким чином утворено твердий і рідкий домени між якими відбувається передача даних – тобто вирішується задача гідропружності. Задача розв'язується на основі розподіленого підходу із міцним зв'язком між елементами вирішувача.

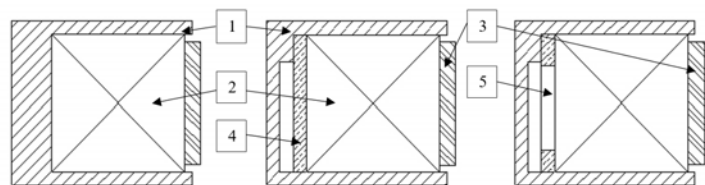


Рис. 1. а) традиційна конструкція ТСУ; б) ТСУ із кільцевою пластинкою на дні сальникової обойми; в) ТСУ із пазами в кільцевій пластинці; сальникова камера 1, кільце сальникової набивки 2, втулка опорний диск 3, кільцева пластинка 4, пластинка із трапецевидними пазами 5

Аналіз зміни параметрів показав, що змінення коефіцієнтів тертя та коефіцієнтів Пуассона має замалий вплив на розподіл гідравлічного та контактних тисків. Найбільш суттєвий вплив



має збільшення величини модуля пружності ( $E$ ) сальникової набивки та зменшення товщини пластинки ( $h$ ) на дні сальникової обойми. Таким чином найбільш ефективною конструкцією ТСУ є конструкція із кільцевою пластинкою на дні сальникової обойми із параметрами  $E = 350$  МПа,  $h = 0.3$  мм. Найбільша і найменша досліджувана величина відповідно.

На рис.2 наведено розподіл гідравлічного та контактних тисків де змінювались окремо параметри  $E$  та  $h$ , а також їх спільна комбінація. У конструкції ТСУ з кільцевою пластинкою виконується плавне вирівнювання контактних тисків, що в подальшому позитивно впливає на інтенсивність зношування всієї поверхні сальникової набивки у місці контакту з опорним диском. При цьому досягається незначний рівень витоків.

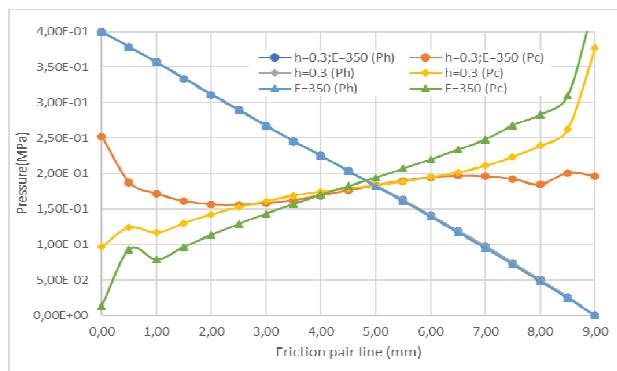


Рис. 2 - Розподіл гідравлічного (Ph) та контактних тисків для конструкції ТСУ з суцільною кільцевою пластинкою

## Висновки

Створена модель дозволила визначити параметри, які найбільше впливають на розподіл контактних тисків по ширині пари тертя. Це, в свою чергу, дозволило визначити найбільш ефективну конструкцію ТСУ із найкращою комбінацією параметрів в якій досягається вирівнювання контактних тисків. На практиці це означає, що сальникова набивка при такому режимі роботи матиме більш рівномірне зношення і тому ресурс роботи ущільнення буде збільшений.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Martsynkovskyy V.A. (2005). Hermomechanics, its role in ensuring the efficiency and environmental friendliness of pumping and compressor equipment. Bulletin of Sumy State University, Series "Technical Sciences", Vol. 1(73), pp. 5–10.
2. Sapozhnykov Y., Zahorulko A., Peczkis G. (2022). Numerical simulation of 2-way FSI problem of face packing seal: Impact of parameters change. Journal of Engineering Sciences, Vol. 9(2), pp. E12-E27, doi: 10.21272/jes.2022.9(2).e3
3. Gweenwood J.A., Williamson J. B. P., 1966, Contact of Nominally Flat Surfaces. Proceeding of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol.295, No. 1442, PP. 300-319

**Сапожников Ярослав Игоревич** — аспірант кафедри комп'ютерної механіки імені Володимира Марцинковського, факультет технічних систем та енергоефективних технологій, Сумський державний університет, Суми, e-mail: y.sapozhnykov@cm.sumdu.edu.ua

### *Numerical Analysis of Two-Way Fluid-Structure Interaction in a Face Packing Seal, Parameter influence and Seal Design Improving*

#### **Abstract**

A method for solving the two-way FSI problem for an face seal was proposed, which made it possible to determine the distribution of hydraulic and contact pressures over the width of the friction pair, and as a result, to determine the combination of parameters that ensure contact pressure equalization.

**Keywords:** face packing seal, FSI problem, stuffing box, hydraulic pressure, contact pressure.

**Sapozhnykov Yaroslav I.** — Volodymyr Martsynkovskyy Computational Mechanics Department, Sumy State University, Sumy, email: y.sapozhnykov@cm.sumdu.edu.ua

## ОПТИМАЛЬНИЙ ПРОФІЛЬ ЛОПАТКИ РОТОРНОГО МЕТАЛЬНИКА ГРУНТУ

<sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.Е. Жуковського  
“Харківський авіаційний інститут”

### Анотація

Розроблено метод визначення оптимальної форми профілю лопатки роторного металника ґрунту як розв'язок задачі про брахістохрону для поля відцентрових сил інерції. Побудовано функціонал часу у полярній системі координат. Отримано перший інтеграл рівняння Ейлера у формі диференціального рівняння першого порядку та знайдено його аналітичний розв'язок. Наведено результати розрахунків оптимальних траєкторій. Побудовано лопатку металника ґрунту з профілем брахістохрони.

**Ключові слова:** оптимальний профіль лопатки, брахістохрона, відцентрова сила інерції, функціонал, полярні координати, рівняння Ейлера.

При створенні технічних пристроїв певного класу виникає проблема вибору форми напрямних, у яких рухаються матеріальні частинки (наприклад, ґрунту) під дією відцентрових сил. Зокрема, актуальною є проблема створення роторних ґрунтометальних механізмів (рис. 1), які використовуються у дорожніх, сільськогосподарських машинах, гасінні лісових пожеж у місцевостях з дефіцитом джерел води [1] тощо. Технологічні характеристики цих пристроїв істотно залежать від геометричної форми й розташування лопаток. Це вказує на актуальність дослідження форми профілю лопаток – включаючи і пошук їхньої оптимальної форми.

Доповідь присвячена результатам досліджень по розробки методу визначення оптимального за геометричною формою профілю лопатки металника ґрунту.

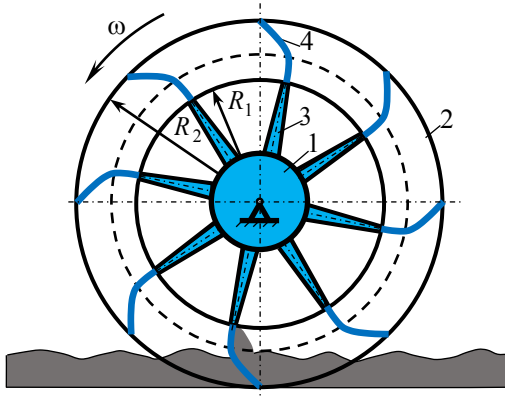


Рис. 1. Схема ґрунтометального механізму

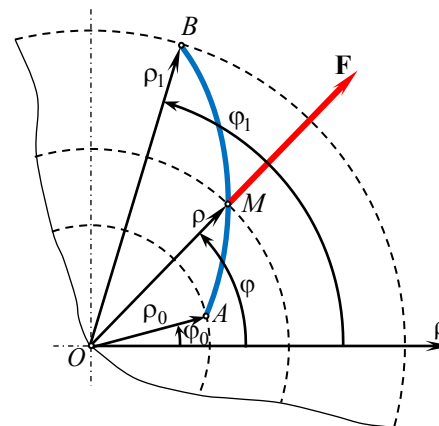


Рис. 2. Схема для побудови брахістохрони у полі відцентрових сил

1. Задачу схематизовано як задачу визначення форми кривої в полі відцентрових сил інерції, яка забезпечує мінімальний час руху частинки (задача про брахістохрону для відцентрової сили). На рис. 2 показані точки  $A$  і  $B$  в полі відцентрових сил із центром у точці  $O$ . У площині, що проходить через зазначені точки, розшукається крива, для якої матеріальна точка  $M$ , що виходить з  $A$  зі швидкістю  $v_0 = 0$ , досягне  $B$  за мінімальний час.

Якщо знехтувати силами тертя й опору, то має місце закон збереження енергії у відносному русі для системи координат, що рівномірно обертається навколо нерухомої осі [2]:

$$T + \Pi = h = const, \quad (1)$$

де  $T = \frac{1}{2}mv^2$  – кінетична енергія точки у відносному русі;  $\Pi = \int_{\rho}^0 F_{\rho} d\rho = -\frac{m\omega^2}{2}\rho^2$  – потенціальна



енергії відцентрової сили інерції;  $F_p = ma^\omega = m\omega^2\rho$  – проекція відцентрової сили інерції точки на напрямок радіуса  $\rho$ ;  $h = -\frac{m\omega^2}{2}\rho^2$  – постійна енергія;  $m$  – маса точки;  $a^\omega = \omega^2\rho$  – відцентрове (нормальне) прискорення;  $\omega$  – кутова швидкість.

З формули (1) з урахуванням прийнятих позначень, виразу для квадрата диференціала дуги в полярних координатах отримані вирази для алгебраїчної величини швидкості і диференціала часу. Інтегрування останнього виразу і приводить до **функціоналу часу**

$$\tau[\rho(\varphi)] = \frac{1}{\omega} \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{\sqrt{\rho'^2 + \rho^2}}{\sqrt{\rho^2 - \rho_0^2}} d\varphi, \quad (2)$$

де  $\rho' = \frac{d\rho}{d\varphi}$ .

2. Для **пошуку екстремуму функціоналу** (2) використано необхідні умови екстремуму функціоналу [3]. Встановлено, що функція, яка розшукається, є розв'язком диференціального рівняння другого порядку (рівняння Ейлера) і має перший інтеграл

$$\frac{d\rho}{d\varphi} = \rho \sqrt{\frac{C^2\rho^2}{(\rho^2 - \rho_0^2)} - 1}. \quad (3)$$

Диференціальне рівняння (3) допускає аналітичний розв'язок ( $C = const$ ). На рис. 3 представлено графік залежності  $\rho = \rho(\varphi)$  одного з таких розв'язків, яка і була використана при створенні реальної лопатки.

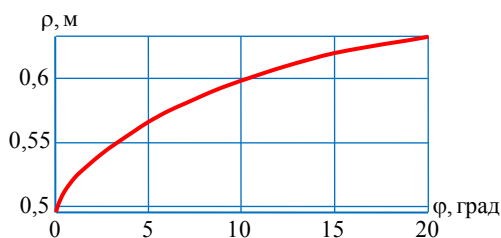


Рис. 3. Графік функції  $\rho(\varphi)$

( $\rho_0 = 0,496$  м;  $\rho_1 = 0,632$  м;  $\varphi_0 = 0$ ;  $\varphi_1 = 20^\circ$ )

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шатохін В. Вибір оптимальної форми лопатки роторного металника ґрунту / В. Шатохін, О Семків, Н. Шатохіна // *Машинознавство*. – 2013. – № 3-4 (189-190). – С. 11-15.
2. Лойцянский Л.Г. Курс теоретической механики. В 2-х томах. т. II. Динамика. / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. – М.: Наука, 1983. – 640 с.
3. Эльсгольц Л.В. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление / Л.В. Эльсгольц. – М.: Наука, 1969. – 279 с.

**Шатохін Володимир Михайлович** – д.т.н., проф., проф. кафедри теоретичної і будівельної механіки, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, [shatokhinvlm@gmail.com](mailto:shatokhinvlm@gmail.com),

**Соболь Володимир Миколайович** – к.т.н., доц. кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М.Е. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”, м. Харків, [sobol\\_vn@ukr.net](mailto:sobol_vn@ukr.net).

#### *Simulation of dynamic processes in a nonholonomic ball mill model*

##### **Abstract**

*A method has been developed for determining the optimal shape of the blade profile of a rotary soil thrower as a solution to the brachistochrone problem for the field of centrifugal inertial forces. The time functional is constructed in the polar coordinate system. The first integral of the Euler equation in the form of a first-order differential equation is obtained and its analytical solution is found. The results of calculations of optimal trajectories are presented. A soil thrower blade with a brachistochrone profile was built.*

**Keywords:** optimal blade profile, brachistochrone, centrifugal force of inertia, functional, polar coordinates, Euler equation.

**Shatokhin Volodymyr M.** – Doct. of Sciences, Professor, Professor of the department of Theoretical and Structural mechanics, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, [shatokhinvlm@gmail.com](mailto:shatokhinvlm@gmail.com),

**Sobol Volodymyr M.** – Ph.D., Associate Professor of the department of Theoretical Mechanics, Engineering and Robomechanical Systems, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, [sobol\\_vn@ukr.net](mailto:sobol_vn@ukr.net).

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В НЕГОЛОНОМНІЙ МОДЕЛІ КУЛЬОВОГО МЛИНА

<sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.Е. Жуковського  
“Харківський авіаційний інститут”

### Анотація

Створено неголономну математичну модель динамічних процесів у кульовому млині. Диференціальні рівняння руху кулі в сферичній оболонці, що робить круговий поступальний рух, отримані у формі рівнянь Аппеля. При записі функції прискорень використані квазішвидкості. Запропоновано алгоритм перетворення рівнянь Аппеля до диференціальних рівнянь першого порядку у формі Коші. Проведені розрахункові дослідження дозволили встановити важливі закономірності функціонування пристрою.

**Ключові слова:** кульовий млин, динамічний процес, неголономна математична модель, рівняння Аппеля, квазішвидкість.

У багатьох областях виробництва поширення отримали **кульові млини** [1]. Їх використання, зокрема, веде до зниження витрат і підвищення продуктивності при виготовленні будівельних матеріалів.

Доповідь присвячена результатам досліджень по розробці універсальної математичної моделі динамічних процесів у новій конструкції кульового млина [2] для визначення технологічних якостей пристрою, вибору його раціональних параметрів. Запропонована схема (рис. 1) виключає ударний режим і “мертву зону” [1]. Прийняті наступні позначення: 1 – нерухома опора; 2 – вал; 3, 6 – зубчасте колесо; 4 – ведуче зубчасте колесо; 5 – привод відносного обертання; 7 – рама (вал); 8 – привод обертання; 9, 15 – кривошип; 10 – платформа (здійснює круговий поступальний рух); 11 – кришка; 12 – куля; 13 – оболонка; 14 – матеріал (клинкер).

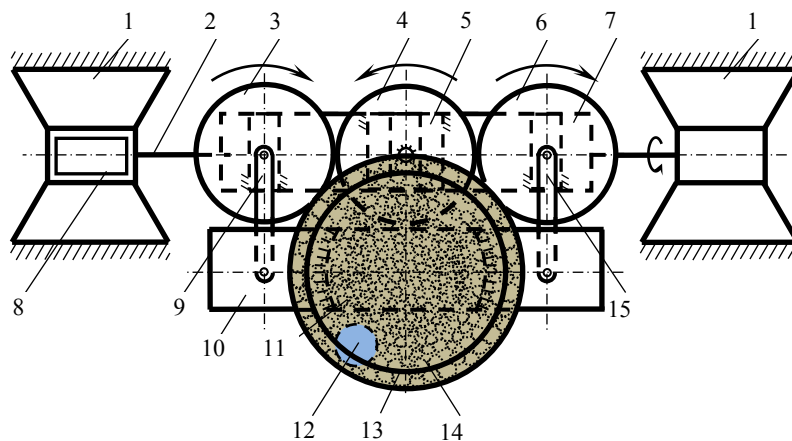


Рис. 1. Схема кульового млина (вид у плані)

В сферичній оболонці, яка закріплена на платформі, знаходиться куля, що є робочим тілом млина; куля під час руху оболонки обкатує її внутрішню поверхню, руйнуючи і стираючи цементну чи іншу сировину.

Схема для моделювання руху кулі радіусом  $r$  у сферичній камері із центром у точці  $A$  і радіусом  $R$ , що робить заданий круговий поступальний рух, показана на рис. 2, а ( $P$  – точка торкання кулі зі сферичною поверхнею).

1. Створено математичну модель динамічних процесів у кульовому млині: отримані диференціальні рівняння руху кулі в сферичній оболонці, на яку накладені **неголономні** в'язі, у формі **рівнянь Аппеля** з використанням **квазішвидкостей**.

2. Запропоновано алгоритм перетворення рівнянь Аппеля до диференціальних рівнянь першого порядку у формі Коші.

3. Проведені розрахункові дослідження динамічних процесів дозволили встановити важливі закономірності функціонування пристрою, наприклад, залежність властивостей “кільця” траєкторій (*каустик*) від кутової швидкості кривошипа.

На рис. 2, б наведено характерні залежності координат точки торкання кулі і сфери для моделі з параметрами:  $r = 0,025\text{ м}$ ;  $R = 0,25\text{ м}$ ;  $l = 0,5\text{ м}$  – довжина кривошипа;  $n_0 = 60\text{ хв}^{-1}$  – стала частота обертання кривошипа.

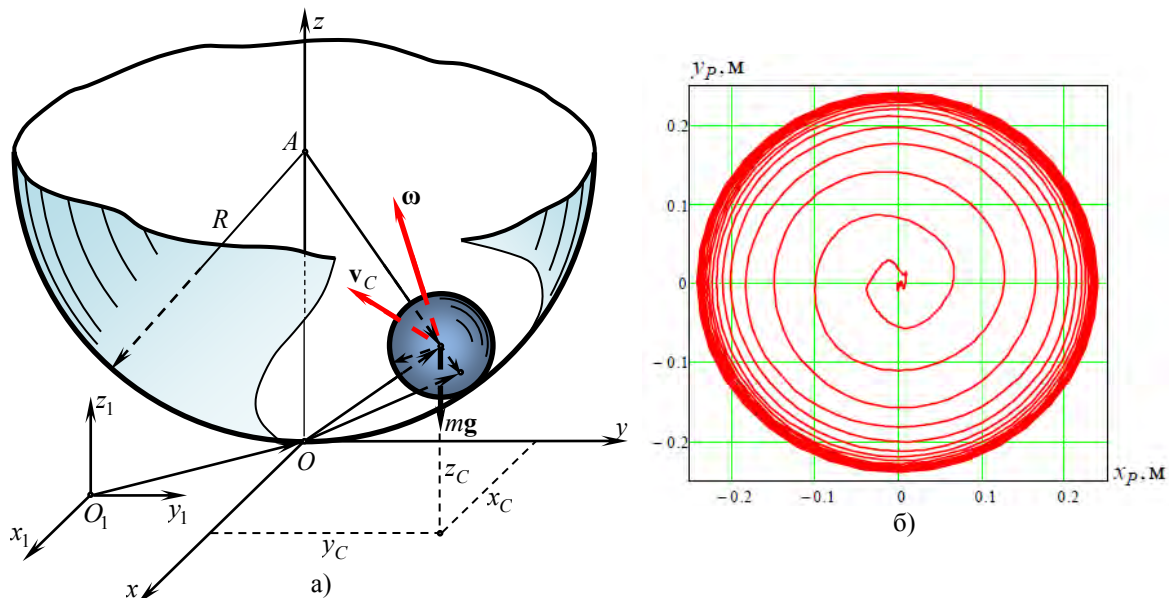


Рис. 2. Кульовий млин: а) – схема для моделювання руху кулі в сферичній камері; б) – траєкторія руху точки контакту кулі і сфери в проекції на площину  $Oxy$

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Балера Н.Д. Комплекс для тонкого измельчения материалов / Н.Д. Балера, А.Т. Гордиенко, С.А. Касай // Научный вестник строительства.– 2017.– Т. 89, № 3.– С. 248-252.
2. Шатохин В.М. К динамике роторной резонансной шаровой мельницы с одним шаром и двумя степенями свободы / В.М. Шатохин, Н.И. Деревянко, Б.Ф. Гранько, М.В. Клименко // Научный вестник строительства. – Харьков: ХНУБА – 2018.– № 2 (92).– С. 241-244.

**Шатохин Володимир Михайлович** – д.т.н., проф., проф. кафедри теоретичної і будівельної механіки, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, [shatokhinvlm@gmail.com](mailto:shatokhinvlm@gmail.com).

**Соболь Володимир Миколайович** – к.т.н., доц. кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М.Е. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”, м. Харків, [sobol\\_vn@ukr.net](mailto:sobol_vn@ukr.net).

### *Simulation of dynamic processes in a nonholonomic ball mill model*

#### **Abstract**

*A nonholonomic mathematical model of dynamic processes in a ball mill has been created. Differential equations of motion of a ball in a spherical shell that performs circular translational motion are obtained in the form of the Appel equations. When writing the acceleration function, quasi-velocities were used. An algorithm for converting the Appel equations into first-order differential equations in the Cauchy form is proposed. The computational studies carried out made it possible to establish important regularities in the operation of the device.*

**Keywords:** ball mill, dynamic process, nonholonomic mathematical model, Appel equations, quasi-velocity.

**Shatokhin Volodymyr M.** – Doct. of Sciences, Professor, Professor of the department of Theoretical and Structural mechanics, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, [shatokhinvlm@gmail.com](mailto:shatokhinvlm@gmail.com).

**Sobol Volodymyr M.** – Ph.D., Associate Professor of the department of Theoretical Mechanics, Engineering and Robomechanical Systems, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, [sobol\\_vn@ukr.net](mailto:sobol_vn@ukr.net).

## ПРО ВІБРАЦІЙНЕ ЗАХОПЛЕННЯ ОБЕРТАННЯ ДЕБАЛАНСНОГО ВІБРОЗБУДНИКА

Луцький національний технічний університет

### Анотація

Розглядається динаміка дебалансного віброзбудника з приводом від асинхронного електродвигуна обмеженої потужності. Досліджуються стаціонарні (близько стаціонарні) режими обертання віброзбудника з частотою, що дорівнює частоті вібрації його осі.

**Ключові слова:** вібраційні ефекти, дебалансний віброзбудник, вібраційне захоплення обертання, ефект Зоммерфельда.

### Вступ

Вібраційне захоплення та підтримання обертання незрівноважених роторів, а також їхня самосинхронізація є важливими нелінійними ефектами, які покладені в основу принципів дії низки вібраційних машин та пристроїв. Дані ефекти широко застосовуються в вібраційних грохотах, конвеєрах, вібромайданчиках, млинах та живильниках, а також у вібраційних перетворювачах руху. Огляд і узагальнення основних результатів дослідження вібраційних нелінійних ефектів наведено в [1, 2]. На даний час теорія вібраційних ефектів вивчена достатньо повно, розроблені методи розрахунку вібромашин з інерційними збудниками. Проте, складність цієї теорії, високий рівень математизації наявних робіт, й те, що її висновки деколи несподівані та сприймаються як парадоксальні, обмежує прикладне застосування вібраційних ефектів.

**Метою роботи** є розширення практичного використання вібраційних ефектів, які виникають під час обертання дебалансного віброзбудника на віброуючій основі.

### Результати дослідження

Розглядається дебалансний віброзбудник (неврівноважений ротор), вісь якого здійснює задані гармонійні коливання, що збуджуються ідеальним джерелом енергії за законом  $x = A_x \cos \omega t$ , де  $A_x, \omega$  – амплітуда та частота коливань осі віброзбудника (рис. 1). Для дослідження було використано підхід вібраційної механіки та метод прямого розділення рухів [1]. Слідуючи загальній методиці даного методу, одержано рівняння повільних та швидких рухів дебалансного віброзбудника і знайдено вираз для вібраційного моменту (додаткового динамічного моменту, виникаючого внаслідок вібрації осі віброзбудника). Умову можливості існування режиму вібраційного підтримання обертання дебалансного віброзбудника подано у вигляді, зручному для практичного використання.

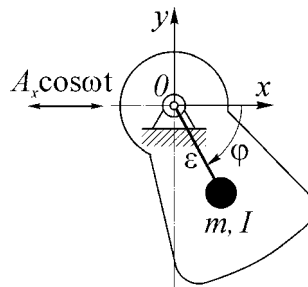


Рис. 1. Динамічна модель дебалансного віброзбудника з горизонтальними коливаннями осі обертання

Продемонстровано, що вплив вібрації зручно оцінювати за вібраційним моментом. З формули для вібраційного моменту випливає, що при фіксованих для конкретного механізму параметрах віброзбудника та коливань осі, вібраційні ефекти визначаються, перш за все, величиною зсуву між фазами коливань осі та обертання віброзбудника.

Звертається увага, що рівняння повільних рухів є як рівнянням рівноваги середніх моментів, що діють на ротор, так і рівнянням енергетичного балансу в системі; що у режимі вібраційного захоплення обертання віброзбудника неодмінно має місце передача енергії лише в одному напрямку.

Показано, що режим вібраційного захоплення обертання має властивість до саморегулювання: зміна навантаження на двигун привода віброзбудника компенсується зміною величини вібраційного моменту. Тим самим, частота збудника підтримується на рівні частоти вібрації. Ця обставина дозволяє використовувати ефект вібраційного захоплення для стабілізації частоти обертання дебалансного віброзбудника.

Одержані результати аналітичних досліджень добре узгоджуються з результатами комп'ютерного моделювання ефекту з використанням динамічної моделі асинхронного електродвигуна.

### Висновки

Характерними особливостями режиму вібраційного захоплення обертання є: встановлення стійкого та цілком певного зсуву фаз між обертальним рухом віброзбудника та коливаннями його осі; в середньому, однозначна (гальмівна чи обертальна) дія вібрації на віброзбудник; передача енергії від дебалансного віброзбудника до джерела вібрації, чи навпаки; здатність режиму вібраційного захоплення до саморегулювання.

Ефект Зоммерфельда в коливальній системі з дебалансним віброзбудником можна пояснити вібраційним захопленням обертання віброзбудника резонансними коливаннями несучого тіла.

Виконані дослідження сприятимуть більш широкому використанню вібраційних нелінійних ефектів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] I.I. Blekhman, «Vibrational mechanics – Nonlinear dynamic effects. General approach, Applications». Singapore at al., *World Scientific*, 2018. 312 с.
- [2] Blekhman I.I., Blekhman L.I. H. Dresig and others. Selected Topics in Vibrational Mechanics. - New Jersey, London, Singapore, Hong Kong, Taipei, Chennai: World Scientific, 2003.-427p

**Ярошевич Микола Павлович** – доктор техн. наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Луцький національний технічний університет, Луцьк, e-mail: yaroshevichmp@gmail.com

**Ярошевич Тетяна Серафимівна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри товарознавства та експертизи в митній справі, Луцький національний технічний університет, Луцьк, e-mail: tyaroshevych@gmail.com

### **On the effect of vibrational capture of rotation of an unbalanced vibration exciter**

#### **Abstract**

*The dynamics of an unbalanced vibration exciter driven by an asynchronous electric motor of limited power is considered. Stationary (near stationary) modes of rotation of the vibration exciter with a frequency equal to the vibration frequency of its axis are investigated.*

**Keywords:** vibrational effects, unbalanced rotor, vibrational capture of rotation, Somerfeld effect.

**Yaroshevich Mykola P.** – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of industrial Engineering, Lutsk National Technical University, Lutsk, email : yaroshevichmp@gmail.com

**Yaroshevich Tetjana S.** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Department of Commodity Science and Expertise in Customs Affairs, Lutsk National Technical University, Lutsk, e-mail: tyaroshevych@gmail.com

## **ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ТРАНСПОРТУВАННЯ БЕТОНУ З КРУПНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ ТРУБЧАСТОЮ СТРІЧКОЮ З ПЕРЕГОРОДКАМИ**

Київський національний університет будівництва і архітектури

### *Анотація*

*Проведені дослідження щодо утримуючої здатності трубчастою стрічкою з перегородками суміші бетону і впливу способу завантаження трубчастої стрічки на збільшення тиску матеріалу на перегородку.*

**Ключові слова:** трубчаста стрічка з перегородками, утримуюча здатність, бетон з крупним наповнювачем, зусилля на перегородці, спосіб завантаження бетону на конвеєр.

### **Вступ**

Трубчасті конвеєри можуть переміщувати матеріали не тільки під великими кутами, а і застосовуватися для просторової конфігурації траси з перегинами в горизонтальній і вертикальній площинах одночасно. Можливе застосування трубчастого конвеєра з пневмоперегородками для вертикального транспортування бетону з крупним наповнювачем є актуальною задачею при зведенні висотних споруд

Мета роботи є встановлення закономірностей процесу транспортування бетону з крупним наповнювачем. Це дасть можливість визначення конструкторсько-технологічного рішення транспортування бетону з крупним наповнювачем, наприклад крана – бетонороздавача [1].

### **Результати дослідження**

В роботі [2] наведена залежність середнього зусилля вище розміщених шарів матеріалу на перегородку при пуску або зміні довжини транспортування  $P_{пер}$  конвеєра

$$P_{пер} = \omega \cdot \sigma = \frac{\omega(\gamma \cdot \omega \cdot (\sin \beta \pm j / g) - z \cdot \tau_0)}{k_b \cdot f \cdot z} \left( 1 - e^{-\frac{h \cdot k_b \cdot f \cdot z}{\omega}} \right), \quad (1)$$

де  $\omega$  – площа отвору (перерізи) труби стрічки,  $m^2$ ;  $z$  – периметр отвору (перерізи) труби стрічки,  $m$ ;  $j$  – прискорення стрічки під час пуску або зміні довжини транспортування конвеєра,  $m/c^2$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $m/c^2$ ;  $k_b$  – коефіцієнтом бічного тиску;  $\sigma$  – питомого тиску уздовж осі конвеєра від дії вище розміщених шарів матеріалу,  $H/m^2$ ;  $f$  – коефіцієнту внутрішнього тертя матеріалу;  $\gamma$  – об'ємна вага насипна матеріалу,  $H/m^3$ ;  $\tau_0$  – початковий опір зрушенню матеріалу,  $H/m^2$ .

Для перевірити працезданість за конкретних початкових (чисельних) даних отриманих теоретичних залежностей для визначення тиску на перегородку в трубчастій стрічці з рифленою і гладкою поверхнею були виконані експериментальні дослідження [3].

Експериментально встановлювались: вплив фізико-механічних властивостей бетонної суміші і кута нахилу трубчастої стрічки на величину зусиль на перегородці трубчастої стрічки з рифленою і гладкою поверхнею при завантаженні з поворотом; характер зміни зусилля на поперечній перегородці трубчастої стрічки з рифленою і гладкою поверхнею від висоти стовпа і фізико-механічних властивостей бетонної суміші при пошаровому завантаженні.

## Висновки

1. Зусилля на перегородку від вантажу, що знаходиться в трубчастій гладкій стрічці, більше, ніж від вантажу, що знаходиться в трубчастій рифленій стрічці. На величину зусилля від вантажу суттєво впливають фізико – механічні властивості бетонної суміші і кут нахилу трубчастій стрічці. Із зменшенням кута нахилу трубчастої стрічки зусилля, що передається вантажем перегородці, зменшується від декількох разів до десятків разів в залежності від кута повороту і вологості суміші.

2. Зусилля на перегородку вантажу, що знаходиться в трубчастій стрічці, збільшується із збільшенням ваги (висоти шару) матеріалу, що завантажуються до певної межі після чого залишається постійним. Зусилля на перегородці залежить від властивостей вантажу, що знаходиться в трубчастій стрічці. Із збільшенням осадки конуса бетону зусилля на перегородці збільшується.

3. Експериментально підтверджена працезданість за конкретних початкових (чисельних) даних отриманих теоретичних залежностей, що описують виникаючі зусилля на перегородки розташованої в трубчастій стрічці. Розбіжність теоретичних та експериментальних результатів не перевищує 10 %. Отримані результати можуть бути використані для проектування трубчастого конвеєра з перегородками, що транспортує бетонну суміш з крупним наповнювачем.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент на корисну модель № 1145580 «Кран - бетонодозадавач». Зареєстрований 10.03.2017 р. Автори: Гаврюков О.В., Кльон А.М., Трет'як А. В., Кузнецов М.М., Морісенков Ю.П., Гололобов Б.Д.

2. А.В. Гаврюков, О.Е. Шабаев. Удерживающая способность груза трубчатой лентой конвейера, работающего при изменяющейся длине. Вісті Донецького гірничого інституту. Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. – 2011. – Вип. 2(30) С. 192-207.

3. Гаврюков О.В., Трет'як А.В., Запривода А.В., Іносов С.В. Встановлення закономірностей транспортування бетону з крупним наповнювачем трубчастою стрічкою з перегородками. Східно-Європейського журналу передових технологій №2/1 (122). - Харків: ПП "Технологічний Центр", 2023. С.82 – 91.

**Гаврюков Олександр Володимирович** — професор кафедри АТП, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, e-mail: gavryukov@ukr.net

**Запривода Андрій Віталійович** — завідувач кафедри АТП, Київський національний університет будівництва і архітектури

**Іносов Ігор Вікторович** — доцент кафедри АТП, Київський національний університет будівництва і архітектури

**Луценко Вадим Юрійович**— доцент кафедри АТП, Київський національний університет будівництва і архітектури

### ***Establishing regularities in the transportation of concrete with coarse filler by a tubular belt with partitions***

#### ***Abstract***

*This paper reports a study into the holding capacity of tubular belt with partitions of a mixture of concrete and the effect of the technique of loading the tubular belt on increasing the pressure of the material on the partition.*

**Keywords:** *tubular belt with partitions, holding capacity, concrete with coarse filler, force on the partition, technique of loading concrete on the conveyor*

**Alexandr Gavryukov** — Professor of the Department of PA, Kyiv National University of Life and Architecture, Kyiv, email : Ivanov@sens.ua

**Andriy Zaprivoda** — Head of the Department of PA, Kyiv National University of Life and Architecture, Kyiv

**Sergiy Inosov** — Associate Professor of the Department of PA, Kyiv National University of Life and Architecture, Kyiv

**Lutsenko Vadim** — Associate Professor of the Department of PA, Kyiv National University of Life and Architecture, Kyiv



## ОЦІНКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД ДИСБАЛАНСУ РОТОРА

<sup>1</sup> Хмельницький національний університет

### Анотація

Досліджено зв'язок між величиною дисбалансу ротора і працездатністю підшипників кочення. Показано, що зменшення величини дисбалансу призводить до збільшення величини проковзування кульок в підшипнику. Встановлено, що одночасно зі зменшенням значення збуджувальних сил за рахунок встановлення автобалансувального пристрою (АБП) доцільним є перехід на підшипники більш легкої серії або підшипники ковзання.

**Ключові слова:** дисбаланс, працездатність підшипника кочення, автобалансувальний пристрій.

### Вступ

Практика експлуатації машин зі змінним дисбалансом ротора показує, що одним із видів механічного руйнування, що найчастіше зустрічається, є вихід з ладу підшипників кочення у вузлі кріплення ротора [1]. Для визначення можливих причин їх незадовільної роботи, впливу на їх працездатність величини дисбалансу ротора були проведені експериментальні дослідження на спеціальному стенді з дослідною установкою, що моделює ротор на пружних опорах з горизонтальною віссю обертання, і розробленими експериментальними зразками АБП.

Метою роботи є визначення зв'язку між величиною дисбалансу ротора і працездатністю підшипників кочення.

### Результати дослідження

Нормальним режимом роботи кулькового підшипника є режим, за якого кульки котяться без проковзування. За наявності проковзування кульок в підшипнику тертя кочення замінюється тертям проковзування, що може призвести до збільшення зношення як бігових доріжок, так і самих кульок, а загалом – до заклинювання кульок, обриву сепаратора, тощо [2].

Тому дослідження працездатності підшипників кочення зводились до вимірювання величини проковзування кульок за різних значень дисбалансу ротора. Апаратура для таких вимірів описана в [3]. Оцінка роботи кулькового підшипника проводилась на основі вимірювання числа обертів сепаратора та порівняння виміряних значень із теоретичними. В ідеально підбраному підшипнику число обертів сепаратора і вала ротора, на якому міститься внутрішня обойма підшипника, пов'язані співвідношенням [2]:

$$n_s = 0,5 \cdot n_r \cdot (1 - d \cdot \cos \alpha / D), \quad (1)$$

де  $n_r$  – число обертів ротора;  $D$  – діаметр розташування центрів тіл кочення;  $d$  – діаметр тіла кочення (кульки);  $\alpha$  – кут контакту тіла кочення з доріжкою зовнішньої обойми.

Для кулькового підшипника за відсутності осьової сили кут контакту  $\alpha = 0$ , тоді вираз (1) набуває вигляду:

$$n_s = 0,5 \cdot n_r. \quad (2)$$

Вираз (2) є справедливим коли кульки в підшипнику котяться без проковзування.

Вимірювання числа обертів сепаратора підшипників проводились за дисбалансу ротора 20000 г·см, без дисбалансу та за дії на ротор осьової сили. Запис здійснювався на прохід від 0 до максимальних обертів двигуна дослідної установки. Експерименти здійснювались з новими і зношеними підшипниками. Залежності частоти обертання сепаратора  $n_s$  підшипника типу 6204 Z від частоти обертання вала  $n_r$ , наведені на рис. 1.

З рис. 1 випливає, що як для нових, так і для зношених підшипників, має місце відставання



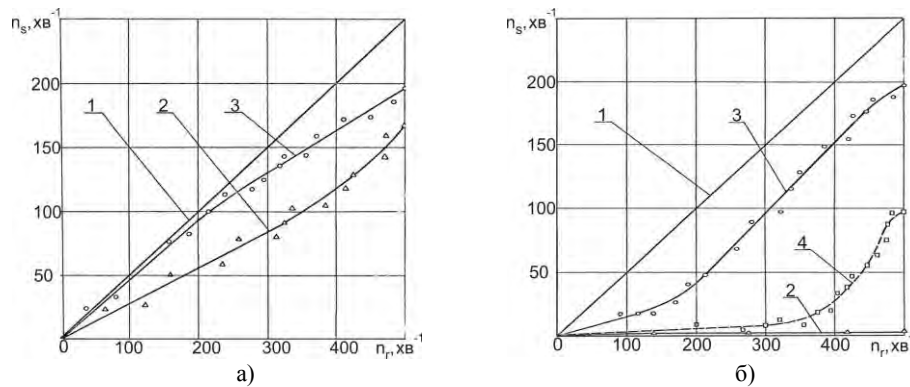


Рис. 1. Залежність частоти обертання сепаратора нового (а) і зношеного (б) підшипника 6204 Z від частоти обертання вала: 1 – теоретична залежність; 2 – без дисбалансу ротора (2); 3 – з дисбалансом 20000 г·см; 4 – з осьовим навантаженням у 40 Н без дисбалансу ротора

числа обертів сепаратора від його теоретичного значення, що свідчить про наявність проковзування кульок в підшипнику. Для зношеного підшипника (крива 2) за відсутності дисбалансу ротора кульковий підшипник працює як підшипник ковзання. З аналізу побудованих залежностей визначено, що зі збільшенням навантаження на підшипник або за рахунок збільшення величини дисбалансу ротора, або – осьового навантаження, проковзування зменшується.

### Висновки

Для зменшення величини проковзування кульок необхідно експлуатувати підшипники за деякого початкового навантаження, до прикладу, створюючи деяке попереднє осьове навантаження або переходити на кулькові підшипники більш легкої серії.

Крім того, проведені дослідження показують, що зменшення дисбалансу ротора, до прикладу, за допомогою автобалансера (АБП), призводить до збільшення проковзування кульок. Тому є доцільним разом із встановленням на роторі АБП або здійсненням заходів для зменшення дисбалансу ротора застосовувати підшипники більш легкої серії або підшипники ковзання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Xin Pan A Review on Self-Recovery Regulation (SR) Technique for Unbalance Vibration of High-End Equipment. Chinese Journal of Mechanical Engineering . 2020. № 33(1):89. P. 23-34.
2. Гайдамака А. В. Г Підшипники кочення. Базові знання та напрямки вдосконалення : навч. посіб. / А. В. Гайдамака. – Х. : НТУ «ХП», 2009. 250 с.
3. Драч І. В., Ройзман В. П. Автоматичне балансування обертових тіл рідиною : монографія. Хмельницький : ХНУ, 2018. 189 с.

**Драч Ілона Володимирівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, Хмельницький національний університет.

**Ткачук Віталій Павлович** — канд. техн. наук, завідувач кафедри технологій машинобудування, Хмельницький національний університет.

### *Evaluation of the performance of rolling bearings depending on the rotor imbalance*

#### **Abstract**

*The relationship between the amount of rotor imbalance and the performance of rolling bearings was studied. It is shown that a decrease in the amount of imbalance leads to an increase in the amount of slippage of the balls in the bearing. It was established that simultaneously with the reduction of the value of the exciting forces due to the installation of the self-balancing device, it is advisable to switch to bearings of a lighter series or sliding bearings.*

**Keywords:** imbalance, performance of rolling bearing, self-balancing device.

**Drach Iona V.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Department of Computer Sciences, Khmelnytskyi National University, Khmelnytsky.

**Tkachuk Vitaliy P.** — Cand. Sc. (Eng), Head of the Department of Mechanical Engineering Technology, Khmelnytskyi National University, Khmelnytsky.

# АСИМПТОТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНИХ ЗГИННИХ КОЛИВАНЬ ТІЛ, ЯКІ ОБЕРТАЮТЬСЯ НАВКОЛО НЕРУХОВОЇ ОСІ

<sup>1</sup> Національний університет «Львівська політехніка»

## Анотація

Розроблено методику дослідження згинних коливань пружного одновимірного тіла з урахуванням кутової швидкості його обертання навколо нерухомої осі та відносного руху вздовж нього однорідного середовища. Отримані рівняння у стандартному вигляді, які визначають основні параметри нелінійних коливань тіла.

**Ключові слова:** частота, дисперсійне співвідношення, хвильовий розв'язок, асимптотичний метод.

## Вступ

Дослідження динамічних процесів у різних середовищах і системах на підставі асимптотичних підходів та хвильової теорії руху набули останнім часом широкого поширення [1-3]. Основні ідеї хвильової теорії широко використовуються в тих прикладних задачах, де не завжди вдається застосувати класичні методи інтегрування рівнянь з частинними похідними. Це стосується в першу чергу завдань, що описують динамічні процеси в поздовжньо-рухомих середовищах: поздовжні та згинні коливання ременних, канатних або ланцюгових передач, трубопроводів, по яких переміщується рідина, шнекових машин, вздовж яких рухається в'язке або сипуче середовище, в певній мірі процес віброізоляції та ін. Поздовжня складова швидкість руху середовища впливає не тільки на кількісні характеристики динаміки наведених систем, але може істотно вплинути також на якісний бік процесу - призвести до зриву коливань або до їх нестійкості тощо. Наведені міркування підтверджують актуальність та практичну цінність досліджень зі вказаної тематики.

## Результати дослідження

Досліджено математичну модель згинальних коливань пружного тіла, яке обертається навколо нерухомої осі з кутовою швидкістю і вздовж якого рухається з постійною відносною лінійною швидкістю середовище (рідина, сипуча або в'язка середовище). Вказану модель записано у вигляді системи рівнянь

$$\begin{aligned} & (\rho_1 + \rho_2) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2\rho_2 V \frac{\partial^2 u}{\partial t \partial z} - 2(\rho_1 + \rho_2) \Omega \frac{\partial w}{\partial t} - (S - \rho_2 V^2) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - M \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} - \\ & - 2(\rho_1 + \rho_2) I \Omega \frac{\partial^3 w}{\partial t \partial x^2} + EI \frac{\partial^4 u}{\partial z^4} - (\rho_1 + \rho_2) \Omega^2 u = \text{ef} \left( u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial z}, \dots, \frac{\partial^3 u}{\partial z^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3} \right), \\ & (\rho_1 + \rho_2) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + 2\rho_2 V \frac{\partial^2 w}{\partial t \partial z} + 2(\rho_1 + \rho_2) \Omega \frac{\partial u}{\partial t} - (S - \rho_2 V^2) \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} - M \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} + \\ & + 2(\rho_1 + \rho_2) I \Omega \frac{\partial^3 u}{\partial t \partial x^2} + EI \frac{\partial^4 w}{\partial z^4} - (\rho_1 + \rho_2) \Omega^2 w = \text{eg} \left( u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial z}, \dots, \frac{\partial^3 u}{\partial z^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3} \right). \end{aligned}$$

У цій системі рівнянь  $u(t, z), w(t, z)$  - компоненти вектора переміщення точки пружного одновимірного тіла в довільний момент часу  $t$  в проєкціях на осі рухомої системи координат  $Oxuz$ , вісь  $Oz$  якої збігається з недеформованим прямолінійним його станом,  $\rho_1, \rho_2$  - відповідно маса

одиниці довжини тіла і середовища, що рухається,  $S$  - зусилля розтягу,  $M$  - момент кручення;  $\Omega$  - кутова швидкість обертання тіла навколо осі, що впадає з її недеформованим положенням;  $EI$  - згинна жорсткість тіла;  $f$  і  $g$  - функції, що описують нелінійні складові відновлюючої сили, сили опору та інші сили, максимальне значення яких значно менше значення відновлюючої сили, на що вказує малий параметр  $\varepsilon$ . Додатково до системи рівнянь долучено крайові умови типу шарнірно закріплених кінців.

Розроблена методика дослідження класів коливальних систем - пружних тіл, що по-перше обертаються навколо нерухомої осі з постійною кутовою швидкістю (колони для буріння свердловин, шнекові машини тощо) і, по-друге, вздовж яких рухається середовище. Методика базується на основній ідеї асимптотичного інтегрування рівнянь з частинними похідними, яка поєднує в собі основні положення хвильової теорії руху, принцип одночастотності коливань у нелінійних системах. Отримано визначальні характеристики динамічного процесу як у резонансному, так й у нерезонансному випадках.

### Висновки

Розроблена в роботі методика дозволяє визначити вплив широкого спектру зовнішніх і внутрішніх факторів на згинні коливання пружних одновимірних моделей тіл, що обертаються навколо нерухомої осі.

Отримані залежності показують:

а) для великих значень кутової швидкості обертання власна частота коливань пружного тіла менша; швидкість падіння частоти власних коливань із зростанням відстані між опорами є більшою для великих значень швидкості рідини;

б) вплив швидкості руху середовища на власні коливання більшою мірою проявляється для більшого значення міжопорної відстані;

в) при значеннях кутової швидкості  $\Omega_{кр} = \sqrt{\frac{(S - \rho_2 V^2) + EI\kappa^2}{(\rho_1 + \rho_2)(2I - \kappa^2 I^2)}}$  та швидкості руху рідини  $V_{кр} = \sqrt{\frac{\Omega^2(\kappa^2 I^2 - 2I)(\rho_1 + \rho_2) + EI\kappa^2 + S}{\rho_2}}$  відбувається зрив динамічного процесу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Pukach P. Ya. Asymptotic method for investigating resonant regimes of nonlinear bending vibrations of elastic shaft / P. Ya. Pukach, I. V. Kuzio, Z. M. Nytrebych, V. S.Ilkiv.- Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.- 2018.- № 1.- P. 68-73.
2. Slipchuk A. Advancing asymptotic approaches to studying the longitudinal and torsional oscillations of a moving beam / A. Slipchuk, P. Pukach, M. Vovk, O. Slyusarchuk.-Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.- 2022.- 3(7-117).- P. 31-39.
3. Slipchuk A. Asymptotic Study of Longitudinal Velocity Influence and Nonlinear Elastic Characteristics of the Oscillating Moving Beam / A.Slipchuk, P. Pukach, M. Vovk. - Mathematics.- 2023.- 11.- 322.

**Пукач Петро Ярославович** — доктор техн. наук, професор, директор Інституту прикладної математики та фундаментальних наук, Національний університет «Львівська політехніка»

*Asymptotic methods of investigating nonlinear bending oscillations of bodies rotating around a motionless axis*

#### Abstract

A methodology for studying bending vibrations of an elastic one-dimensional body has been developed. The angular velocity of its rotation around a fixed axis and the relative movement along it of a homogeneous medium were taken into account. Equations, which determine the main parameters of nonlinear body vibrations, were obtained in the standard forms.

**Keywords:** frequency, dispersion relation, wave solution, asymptotic method.

**Pukach Petro Ya.** — Doctor of Tech. Sciences, Professor, Director of the Institute of Applied Mathematics and Fundamental Sciences, Lviv Polytechnic National University

## THE INFLUENCE OF THE RESERVE POWER OF THE HYDRAULIC DRIVE ON ITS STATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS

<sup>1</sup> Vinnytsia National Technical University;

<sup>2</sup> Lublin University of Technology

### Abstract

A mathematical model of a belt conveyor hydraulic drive in the MATLAB-Simulink software environment has been studied. The influence of the reserve power of the hydraulic drive on its static and dynamic characteristics is calculated.

**Keywords:** transitional processes, hydraulic drive, belt conveyor.

### Introduction

Today the belt conveyors with the hydraulic equipment are specialized in various branches of economic activity. The hydraulic equipment of the belt conveyor allows are provided the operation of his nodes during emergency overloads (2...2.5 times) due to the means of hydraulic automation [1, 2]. Except this, the reserve power allows does not to stop the belt conveyor during emergency overloads [3].

The aim of the work is to calculate the influence of the reserve power of the hydraulic drive on its static and dynamic characteristics.

### Research results

The solution of the mathematical model of the belt conveyor hydraulic drive was performed using the software package MATLAB-Simulink [3].

On Fig. 1 and Fig. 2 show how the reserve power of the belt conveyor hydraulic drive are influenced the accuracy of speed stabilization  $\delta$ , the amount of overregulation  $\sigma_{on}$  when the reserve hydraulic motor is turned "ON" and when it is turned "OFF"  $\sigma_{off}$ .

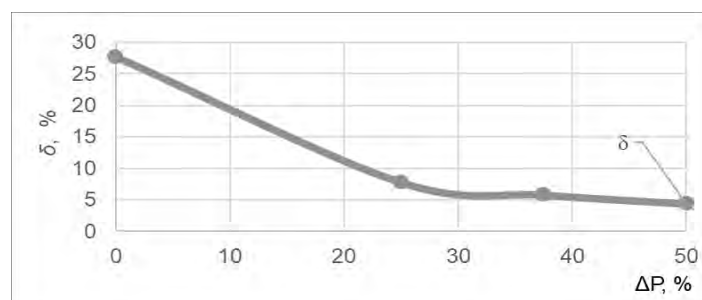


Fig. 1. The static characteristic of the belt conveyor hydraulic drive

On the abscissa axis (Fig. 1 and Fig. 2) is the reserve power parameter of the belt conveyor with the reserve hydraulic motor and without the reserve pump, that is why  $\Delta P=0$ . Under these conditions, the hydraulic drive of the belt conveyor reduces its performance. The speed of rotation his drum is dropped significantly and the obtained transitional processes are the worst. Options for increasing the reserve power to 25%, 37.5% and 50% were also considered, which in turn significantly affects the dynamic characteristics.

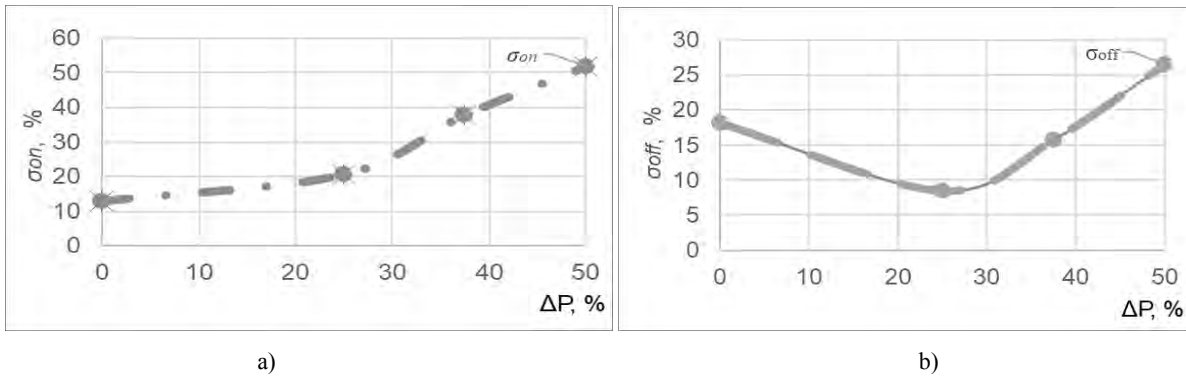


Fig. 2. The dynamic characteristics of the belt conveyor hydraulic drive

## Conclusions

Transient processes during the activation and the deactivation of the reserve power in the hydraulic drive of the belt conveyor are calculated. It is recommended to use the reserve power of the capacity  $\Delta P=25\%$ , which provides high-quality static and dynamic characteristics:  $\delta=7.8\%$ ;  $\sigma_{on}=20.7\%$ ;  $\sigma_{off}=8.4\%$ .

## REFERENCES

1. Polishchuk L., Kharchenko Ye., Piontkevych O., Koval O.: The research of the dynamic processes of control system of hydraulic drive of belt conveyors with variable cargo flows. Eastern Eur. J. Enterp. Technol. 2(8(80)), 2016, 22–29.
2. Polishchuk L. K., Kozlov L. G., Piontkevych O. V., Gromaszek K., Mussabekova A.: Study of the dynamic stability of the conveyor belt adaptive drive. Proc. of SPIE 10808, 10808, 2018, 1–10.
3. Polishchuk, L., Khmara, O., Piontkevych, O., Adler, O., Tungatarova, A. and Kozbakova, A. Dynamics of the conveyor speed stabilization system at variable loads. Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska. 12, 2 (Jun. 2022), 60-63. DOI: <https://doi.org/10.35784/iapgos.2949>.

**Polishchuk Leonid K.** — Doctor of Engineering Sciences, Head of Department of «Industrial Engineering», Vinnytsa National Technical University, e-mail: [leo.polishchuk@gmail.com](mailto:leo.polishchuk@gmail.com),

**Gromaszek Konrad** — D.Sc. Eng. prof. university (Faculty of Electrical Engineering and Computer Science) at Lublin University of Technology, e-mail: [k.gromaszek@pollub.pl](mailto:k.gromaszek@pollub.pl),

**Hmara Oleh V.** — postgraduate student of Department of «Industrial Engineering», Vinnytsa National Technical University, e-mail: [khmara211@ukr.net](mailto:khmara211@ukr.net),

**Piontkevych Oleh V.** — Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [piontkevych@vntu.edu.ua](mailto:piontkevych@vntu.edu.ua).

### *Вплив резервної потужності гідроприводу на його статичні та динамічні характеристики*

#### *Анотація*

*Досліджено математичну модель гідроприводу конвеєра в середовищі програмного продукту MATLAB-Simulink. Розраховано вплив резервної потужності гідроприводу на його статичні та динамічні характеристики.*

**Ключові слова:** перехідні процеси, гідропривод, стрічковий конвеєр.

**Полищук Леонід Клавдійович** — д.т.н., проф., завідувач кафедри Галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [leo.polishchuk@gmail.com](mailto:leo.polishchuk@gmail.com),

**Громашек Конрад** — доктор наук інж., проф. факультету Електротехніки та комп'ютерних наук, Люблінського технічного університету, e-mail: [k.gromaszek@pollub.pl](mailto:k.gromaszek@pollub.pl),

**Хмара Олег В.** — аспірант кафедри Галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [khmara211@ukr.net](mailto:khmara211@ukr.net),

**Піонткевич Олег Володимирович** — канд. техн. наук, старший викладач кафедри Технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [piontkevych@vntu.edu](mailto:piontkevych@vntu.edu).

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ДОВГИХ БАРАБАНІВ ШАХТНИХ ПІДІЙМАЛЬНИХ МАШИН НА ОСЬОВУ ЖОРСТКІСТЬ

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

### Анотація

Розроблено методику розрахунку довгих барабанів шахтних підіймальних машин на осьову жорсткість, яка оцінює значення осьового биття гальмівних дисків.

**Ключові слова:** метод усереднення, осьова жорсткість, барабан підіймальної машини, підкріплення косинками та ребрами, дискові гальма.

На рис.1 наведено довгий циліндричного барабан підіймальної машини з дисковими гальмами, який складається з трьох секцій. Для барабанів такої конструкції характерна можливість великих осьових переміщень підкріпленої конструкції. Оскільки на барабані встановлені дискові гальма, які мають регламентоване значення осьового биття дисків, то розрахунок осьових переміщень барабанів під час роботи машини є актуальною задачею. Дослідження полягає у аналізі механічних процесів, які протікають при роботі такої машини.

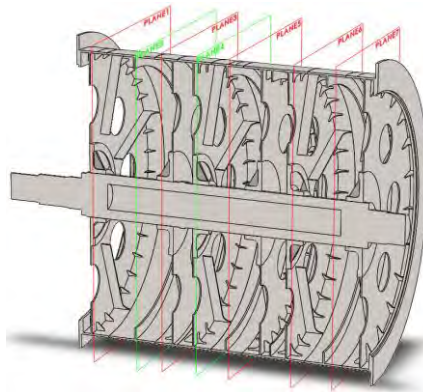


Рис. 1. Конструкція барабана

Для розробки методики розрахунку таких машин у якості основи використаємо метод усереднення [1], який у нашому випадку можна описати наступним алгоритмом:

1. Вихідну конструкцію представляємо у вигляді сукупності вузлів (рис. 1), що допускають апріорне уявлення про їх навантаженні і НДС.
2. Вибирається параметр усереднення, як правило, це товщина оболонки або лобовини і т.д.
3. Будуються параметричні моделі кожного такого вузла.
4. Вибираються характерні розрахункові випадки для всіх вузлів, наприклад для підкріплених барабанів – це вісесиметричне стиснення або вигин барабана як балки.
5. Знаходяться значення параметрів оптимізації для кожного вузла, при якому жорсткість усередненого вузла при обраному розрахунковому випадку навантаження збігається з жорсткістю вихідного підкріпленого вузла.
6. Для кожного розрахункового випадку навантаження підкріпленої конструкції виконується збірка з відповідних усереднених вузлів.
7. Виконується порівняння розрахунків і вибирається найбільш небезпечний.

В якості граничних умов розглянемо навантаження барабана силою тяжіння, двома силами розтягування від канатів, що набігає і збігає та тиску від навитого канату.

Як параметр усереднення застосуємо змінну товщину лобовини в конструкції вузла без косинок і ребер та обчислюємо два розрахункових випадки: «зсув» та «зовнішній тиск».

Виходячи зі знайдених значень параметрів моделей кожного вузла створимо ескізи відповідних тіл обертання з вирізом восьми симетрично розташованих отворів в лобовині.

В якості параметричної моделі вала з маточинами виберемо вихідну конструкцію вузла.

В результаті отримані осьові переміщення кромek гальмівних дисків барабана (рис. 2) для випадків:

- «зсув»: для заклиненої частини (рис 2а)  $\max = 0,654$  мм,  $\min = -0,355$  мм, для переставної частини (рис 2б) –  $\max = 1,766$  мм,  $\min = -0,176$  мм.

- «зовнішній тиск»: для заклиненої частини (рис 3а)  $\max = 0,584$  мм,  $\min = -0,433$  мм, для переставної частини (рис 3б) –  $\max = -1,327$  мм,  $\min = -3,246$  мм.

Максимальна похибка склала 8,1 % для «зсуву» і 69 % для «тиску».

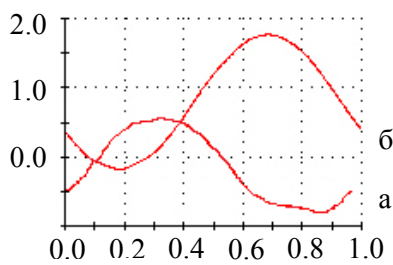


Рис. 2. Осьові переміщення кромek гальмівних дисків при розрахунковому випадку «зсув»: а) заклиненої частини барабана; б) переставної частини барабана

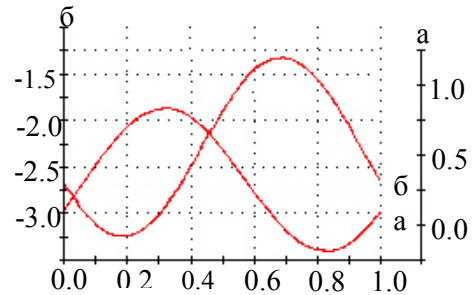


Рис. 3. Осьові переміщення кромek гальмівних дисків при розрахунковому випадку «тиск»: а) заклиненої частини барабана; б) переставної частини барабана

## Висновки

У запропонованій методиці розрахунку істотну роль відіграє вибір, так званого, пробного навантаження, яким навантажується окремий елемент (вузол) конструкції з обраним способом закріплення. Похибка максимальних осьових переміщень кромek гальмівних дисків склала: для «зсуву» – 8,1 %, а для «тиску» – 69 %.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zabolotnyi K., Zhupiiiev O., Panchenko O., Tipikin A. Development of the concept of recurrent metamodeling to create projects of promising designs of mining machines. E3S Web of Conferences, 2020, 201, 01019

**Симоненко Віталій Вадимович** – аспірант кафедри Інжинірингу та дизайну в машинобудуванні, механіко-машинобудівний факультет, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, e-mail: [symonenko.vi.v@nmu.one](mailto:symonenko.vi.v@nmu.one)

**Панченко Олена Володимирівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри Інжинірингу та дизайну в машинобудуванні, механіко-машинобудівний факультет, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

### *Development of the method of calculation long drums of mine hoisting machines for axial stiffness*

#### **Abstract**

*The method of calculation long drums of mine hoisting machines for axial stiffness which assesses the axial runout of the brake discs.*

**Keywords:** *method of averaging, axial stiffness, hoisting machine drum, strengthening with gussets and ribs, disc brake.*

**Symonenko Vitalii V.** – PhD student of department of engineering and design in machinery industry, Faculty of Mechanical Engineering, Dnipro University of Technology, Dnipro, e-mail: [symonenko.vi.v@nmu.one](mailto:symonenko.vi.v@nmu.one)

**Panchenko Olena V.** – Cand. Sc. (tech.), Senior Lecturer, of department of engineering and design in machinery industry, Faculty of Mechanical Engineering, Dnipro University of Technology, Dnipro

## **COMPUTER STUDY OF THE PERFORMANCE OF COUPLINGS WITH HIGH COMPENSATING ABILITY**

Zaporizhzhia National University

### **Abstract**

The work examines the performance of elastic compensating couplings with a toroidal shell. The SolidWorks program was used for calculations. Zones of critical stresses arising in the toroidal shell are determined. The results of the study make it possible to predict the service life of such couplings under different load schemes.

**Keywords.** elastic couplings, performance characteristics, stress diagrams

### **Introduction**

The main purpose of elastic compensating couplings is to reduce the dynamic load and prevent oscillations. Also, elastic couplings allow compensation of the relative position of the connecting shafts.

Elastic couplings are divided into couplings with metallic and non-metallic elastic elements. The most common are elastic compensating couplings with a rubber (rubber cord or polyurethane) elastic element, due to a number of useful properties. The specified elastic elements are able to withstand larger deformations, have greater overloading capacity, high internal friction, etc. The disadvantages include their large diameter and the appearance of significant axial loads on the shaft supports. The intensity and nature of dynamic loads (shocks, vibrations) due to the nature of the machine's operation have a significant impact on the operation of the clutches.

One of the types of elastic compensating couplings with non-metallic elements is couplings with toroidal shell. Flexible toroidal shell couplings transmit torque through rubber and rubber cord elastic inserts. Semi-couplings are installed on both cylindrical and conical shaft ends. The torque from the semi-coupling to the shell is transmitted by the frictional forces created when the screws are tightened [1].

The purpose of the work is research the effect of axial, radial and angular displacement of connecting shafts on stresses arising in coupling elements.

### **Results and discussion**

Elastic couplings are characterized by: stiffness, damping, energy consumption. During the operation of elastic couplings, there is always a loss of energy due to friction, which is accompanied by deformation of its elastic elements and their movement relative to other parts of the coupling. Torus couplings are ideal for reverse operation because the working cord rotates in two directions. Also, the advantage of this coupling is the possibility of external inspection to detect signs of wear. Moreover, the replacement of the elastic element itself can be carried out without shifting the shafts.

We will use the program for modeling and research SolidWorks. The studied design corresponds to the parameters of Stromag Periflex Shaft Couplings [2]. These couplings have the following main characteristics: max speed: 1000 - 5000 rpm, static torque: 35 - 20500 Nm. Couplings of this type also include couplings from other manufacturers, in particular SKF Flex coupling [3].

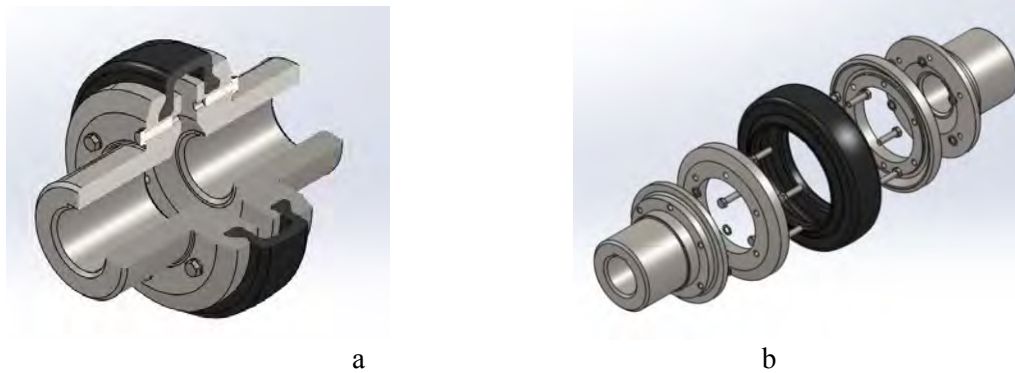
A visual representation of nonlinear stress-displacement relationships is provided by hysteresis loops obtained during cyclic loading of nonlinear (elastic) material. The area of the hysteresis loop is numerically equal to the energy that is absorbed during the deformation of the shell and turns into heat.

Thus, to determine the torsional flexibility of the rubber shell, it is necessary to construct a characteristic of the dependence between its torsional deformation and the transmitted elastic moment. At the same time, static loading of the shell is used, which assumes that the speed of the load program does not exceed the



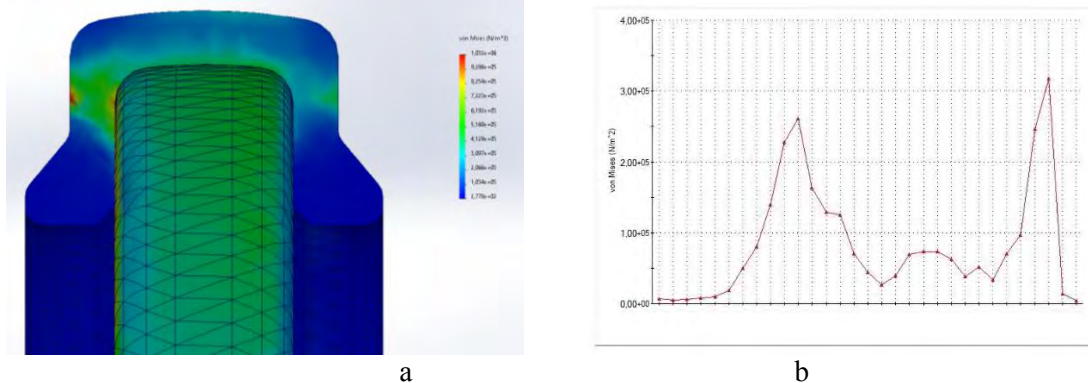
speed of relaxation processes in the polymer materials from which it is made. Such load modes allow determining the dependence of the elastic-damping properties of the shells on the technological parameters.

Data on resistance to static deformation under a single load indicate significant nonlinearity of integral characteristics that determine the relationship between torque and angular displacements. In turn, these forces and displacements generate radial and axial displacements, and their overall combination determines the zones of accumulation of damage and destruction. The real load conditions of torus-shaped rubber cord sheaths require a transition to the analysis of not only cyclic, but also thermocyclic processes of deformation and destruction.



a- section of the elastic coupling model;  
b – model with different elements

Figure 1. Diagram of a model of an elastic coupling with a toroidal element



a- stress plots in the cross section;  
b – stress graph on the outer surface

Figure 2. Plots of stress distribution Von Mises in a toroidal elastic element

The analysis showed that the greatest stresses occur in the torus-shaped elastic element (Fig. 2). The stress graph on the outer surface of the toroidal elastic element indicates the presence of the greatest stresses on two sides. This testifies to the probability of cracking precisely at the boundary of the zone of attachment of the elastic element to the right and left half-couplings.

### Conclusions

After conducting a study of the relationship between the twisting angle of an elastic coupling with a toroidal shell and the torque, we obtained an exponential dependence, which indicates the presence of a critical value of the torque, after which the twisting angle does not change. With a further increase in torque, damage accumulation zones appear.

In turn, external radial and axial forces lead to radial and axial displacements of the half-couplings, respectively. It was established that with the same values, axial forces have a greater influence on the occurrence of displacements and subsequently on the occurrence of damage than radial forces. Due to the

design of couplings with a torus-shaped elastic element, the angular displacement of the shafts can reach 3 degrees. Radial misalignment, depending on the size of the coupling, can reach 2.8 mm.

#### REFERENCES

1. Муфти. З'єднання деталей з валами (нові розробки та елементи розрахунків): [монографія] / Б. Ф. Піпа, О. М. Хомяк, А. І. Марченко. - К. : КНУТД, 2011. - 166 с.
2. DocumentationStromag Periflex Shaft Couplings<https://www.stromag.com/-/media/Project/Altramotion/shared/files/Literature/brand/stromag/catalogs/p-8467-sg-a4.pdf?rev=51faa3c4664e49a7ac9320dc4191f607>
3. SKF Couplings[https://www.skf.com/binaries/pub20/Images/0901d196806fd7be-SKF-Couplings---15822\\_2-EN\\_tcm\\_20-317965.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub20/Images/0901d196806fd7be-SKF-Couplings---15822_2-EN_tcm_20-317965.pdf)

**Taratuta Kostiantyn** - Ph.D., Associate Professor of the Department of Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, e-mail: taratutazp@gmail.com

**Vostotskyi Sergii** - researcher at the Department of Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia

#### КОМП'ЮТЕРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МУФТ З ВИСОКОЮ КОМПЕНСУЮЧОЮ ЗДАТНІСТЮ

##### Анотація

В роботі досліджено працездатність пружних компенсуючих муфт з тороподібною оболонкою. Для розрахунків використовувалась програма SolidWorks. Визначені зони критичних напружень, що виникають у тороподібній оболонці. Результати дослідження дозволяють прогнозувати ресурс експлуатації подібних муфт при різних схемах навантаження.

**Ключові слова:** пружні муфти, характеристики роботи, епюри напружень

**Таратута Костянтин Васильович** - к.т.н., доцент кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет, м. Запоріжжя, e-mail: taratutazp@gmail.com

**Востоцький Сергій Миколайович** - науковий співробітник кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет, м. Запоріжжя

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛОКАЛЬНИХ ПОШКОДЖЕНЬ НА ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ КОМПОЗИТНИХ СТЕРЖНІВ

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України

### Анотація

В роботі розглянуто результати експериментального дослідження впливу локального пошкодження типу паз, а також пошкодження від локального удару на характеристики вимушених коливань консольного стержня із багатошарового вуглепластика та приведено аналіз амплітудно-залежного розсіювання енергії.

**Ключові слова:** вимушені коливання, багатошаровий композитний стержень, пошкодження, демпфювання.

### Вступ

Полімерні композитні матеріали завдяки високому співвідношенню міцності та жорсткості до ваги широко використовуються у конструктивних елементах сучасної авіаційної та ракетокосмічної техніки. Водночас, при експлуатації таких конструктивних елементів, внаслідок дії зовнішніх чинників можуть виникати локальні пошкодження, які суттєво знижують їх міцність та надійність. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки методів діагностики таких пошкоджень при виготовленні та експлуатації композитних конструктивних елементів.

Метою роботи є дослідження впливу пошкодження типу паз різної глибини та пошкодження від локального удару на характеристики вимушених резонансних коливань консольного стержня із багатошарового вуглепластика та аналіз амплітудно-залежного розсіювання енергії.

### Результати дослідження

З використанням розробленого експериментального стану (рис. 1), було проведено дослідження резонансних коливань та розсіювання енергії для консольного зразка призматичної форми  $L \times b \times h = 195 \times 20 \times 4$  мм, виготовленого з плетеного вуглепластика Т300 зі структурою типу саржі. Досліджувані зразки, що складаються з 12 шарів вуглепластика та були вирізані із пластини у напрямку утоку.

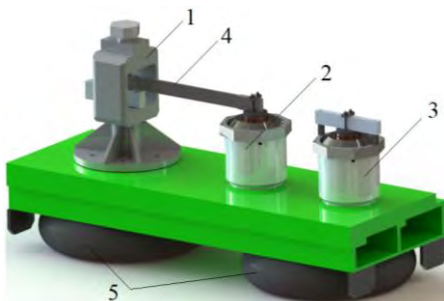


Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної установки для визначення дисипативних характеристик коливань стрижневих зразків: 1 – затискач; 2, 3 – електродинамічні вібратори; 4 – зразок; 5 – гумові віброізоляційні камери.

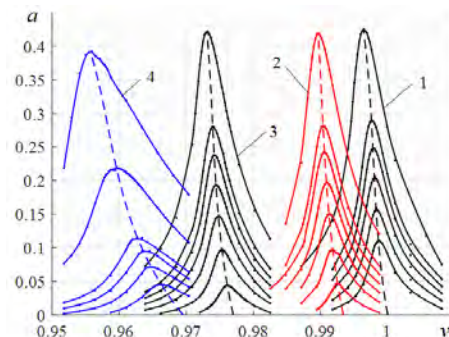


Рис. 2. Резонансні криві для непошкодженого зразка (1) та за наявності поперечного пазу з відносною глибиною 0,16 (2), 0,25 (3) і пошкодженням від удару (4).

Розглядалися пошкодження типу прямокутний паз шириною 1 мм і відносною глибиною 0,16 та 0,25 та локальне пошкодження від удару енергією 10 Дж напівсферичним пуансоном діаметром 5 мм. Пошкодження розташовувалися на відстані, що становила  $0,1 \cdot L$  від закріплення.

Експериментальні залежності відносної амплітуди ( $a = a_0/h$ ) переміщення вільного кінця композитного стержня при його консольному закріпленні від відносної частоти ( $\nu = p/\omega$ ) збудження коливань показані на рис. 2. На ньому представлено залежності для непошкодженого зразка, для зразків з прямокутним пазом різної глибини, а також з пошкодженням від удару. Резонансні криві для кожного випадку отримані при збудженні гармонічних коливань з частотою  $p$  змусувальної сили, що задавалася генератором частот з амплітудою в діапазоні від 0,002 до 0,02 В.

Отримані амплітудні резонансні криві досліджуваних стержнів свідчать про неідеально пружні властивості їх матеріалу. Як можна побачити з характеру скелетних кривих (шрихові лінії), отриманих як для непошкоджених зразків (крива 1), так і з пошкодженням (2-4), композитний стержень має м'яку характеристику відновлювальної сили, що вказує на непружний опір його матеріалу. Зазначимо, що залежність власної частоти  $\omega$  від амплітуди  $a$  коливань для стержнів з різною глибиною пазу не збільшилась у порівнянні з непошкодженим. Водночас, за наявності пазу скелетні криві зміщуються у бік нижчих частот, що пов'язано зі зменшенням жорсткості стержня. Однак для пошкодження, обумовленого ударним навантаженням, таке зниження власної частоти коливань також супроводжується значним збільшенням її амплітудної залежності, що свідчить про чітко виражену наявність дефекта ефективного модуля пружності, і, відповідно, неідеально пружних втрат енергії коливань, які характеризуються амплітудною залежністю логарифмічного декременту коливань.

### Висновки

Представлені результати можуть бути використані для обчислення дефекта модуля, а відтак і емпіричного визначення ступеня пошкодженості композитного конструктивного елемента. Водночас збільшення градієнта амплітудної залежності логарифмічного декременту коливань для вуглепластиків може бути ефективним показником наявності пошкоджень, які обумовлюють зростання гістерезисних втрат.

**Кабанник Сергій Миколайович** — канд. техн. наук, с.н.с. відділу коливань і вібраційної надійності, Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ, e-mail: kabannyk@ipp.kiev.ua

**Деркач Олег Леонідович** — канд. техн. наук, завідувач відділу коливань і вібраційної надійності, Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ, e-mail: derkach@ipp.kiev.ua

**Савченко Кирило Валентинович** — канд. техн. наук, с.н.с. відділу коливань і вібраційної надійності, Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ

**Круц Вадим Олексійович** — канд. техн. наук, с.н.с. відділу коливань і вібраційної надійності, Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ

#### *An influence of a damage on the forced vibrations of a laminated composite beam*

##### **Abstract**

*The work presents the result of the experimental study of the influence of the local notch-type and impact damages on the characteristics of forced harmonic vibrations of a multilayer cantilever beam made of woven carbon fibre reinforced plastic and its amplitude-dependent energy dissipation.*

**Keywords:** forced vibrations, composite beam, damage, damping.

**Kabannyk Serhii M.** — Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Oscillations and Vibration Reliability Department, G.S. Pisarenko IPS NAS of Ukraine, Kyiv, email : kabannyk@ipp.kiev.ua

**Derkach Oleh L.** — Candidate of Technical Sciences, Head of Oscillations and Vibration Reliability Department, G.S. Pisarenko IPS NAS of Ukraine, Kyiv

**Savchenko Kyrylo V.** — Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Oscillations and Vibration Reliability Department, G.S. Pisarenko IPS NAS of Ukraine, Kyiv

**Kruts Vadym O.** — Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Oscillations and Vibration Reliability Department, G.S. Pisarenko IPS NAS of Ukraine, Kyiv

## ДИНАМІЧНА ВЗАЄМОДІЯ КОЛОНИ БУРИЛЬНИХ ТРУБ З ПОТОКОМ ПРОМИВАЛЬНОЇ РІДИНИ

Національний університет «Львівська політехніка»

**Анотація.** Розглядається математична модель динамічних явищ взаємодії колони бурильних труб з потоком промивальної рідини (бурового розчину). Бурильна колона моделюється прямим стрижнем, рух якого описується хвильовим рівнянням, пульсуючий потік бурового розчину описується рівнянням руху неньютонівської рідини. Внутрішньою поверхнею колона взаємодіє з рідиною силами тертя. Систему нелінійних диференціальних рівнянь з частинними похідними розв'язуємо методом скінченних різниць. Для цього виконуємо дискретизацію диференціальних рівнянь і граничних умов за часом та за просторовою координатою із застосуванням явного методу другого порядку.

На розрахункових прикладах ілюструється вплив пульсації потоку промивальної рідини на поздовжні коливання бурильної колони та даються практичні рекомендації щодо уникнення резонансних явищ в колоні під час поглиблення свердловини.

**Ключові слова:** бурильна колона, пружний стрижень, потік промивальної рідини, взаємодія потоку рідини з пружним тілом, метод скінченних різниць.

Дослідження динамічних явищ, які виникають під час буріння свердловин, становлять значний інтерес як з точки зору прикладного застосування так і з огляду розв'язання достатньо складних задач динаміки багатокомпонентних систем, якими є бурові установки. Зокрема, у роботах [1-4] на основі уточнених моделей розглянуто динамічні явища, які включають взаємодію таких елементів як буровий інструмент, бурова колона, свердловина, трансмісія, привід, підймальна система, конструкція бурової вежі тощо.

Буріння глибоких свердловин технологічно здійснюється із застосуванням бурового розчину, який виносить на поверхню розбурену породу, а також виконує інші важливі функції. Буровий розчин під тиском нагнітається в бурову колону, всередині якої рухається вниз, і, досягаючи бурового інструменту, закріпленого на нижньому кінці колони, піднімається разом з частинками подрібненої породи по простору між буровою та обсадною колонами на поверхню. За реологічними властивостями буровий розчин є в'язко-пластичною (із нелінійною залежністю в'язкості від швидкості деформацій зсуву) неньютонівською рідиною. Найбільш популярними реологічними моделями, які застосовуються для опису бурових розчинів є: степеневий закон псевдо пластичної рідини Оствальда-де-Валя, пластична модель Бінгама [5], моделі Гершеля-Балклі та Робертсона-Стіфа.

Питання динаміки та чисельних методів розрахунку неусталеного потоку рідини розглянуто, зокрема, у роботах [6-9]. До важливих задач, що знаходять широке застосування, слід віднести дослідження взаємодії пульсуючого потоку рідини з деформівним пружним тілом [3]. Зв'язані задачі такого типу, в силу істотних труднощів знаходження розв'язків системи нелінійних диференціальних рівнянь, розв'язують чисельно із застосуванням методу сіток, методу скінченних об'ємів, методу скінченних елементів та інших методів. Огляд задач та числових методів динаміки взаємодії потоку рідини з пружним тілом у різних постановках розглянуто у роботах [10, 11]. Численні дослідження показують, що за певних параметрів механічної системи і параметрів руху рідини проявляється істотний взаємовплив поведінки рідини й динамічних явищ у деформівному твердому тілі.

У даній доповіді розглядається математична модель динамічних явищ взаємодії колони бурильних труб з потоком промивальної рідини. Бурильна колона моделюється прямим стрижнем, рух якого описується хвильовим рівнянням, пульсуючий потік бурового розчину описується рівняннями руху неньютонівської рідини. Внутрішньою поверхнею колона взаємодіє з рідиною силами тертя. Нелінійну систему диференціальних рівнянь з частинними

похідними, яка дає можливість досліджувати нестационарні процеси та хвильові явища у механічній системі, розв'язуємо методом скінченних різниць. Для цього дискретизуємо диференціальні рівняння і граничні умови за часом та за просторовою координатою.

Для отримання розв'язків задачі застосовуємо явний метод Мак-Кормака другого порядку [12]. На розрахункових прикладах ілюструється вплив пульсацій потоку промивальної рідини на поздовжні коливання бурильної колони та даються практичні рекомендації щодо уникнення резонансних явищ у колоні під час поглиблення свердловини.

Числові експерименти показують, що запропонований підхід дає можливість ефективно досліджувати динамічну взаємодію потоку промивальної рідини і колони бурильних труб, перехідні процеси та хвильові явища у механічній системі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tucker R. W., Wang C. An integrated model for drill-string dynamics. *Journal of Sound and Vibration*, 224 (1), (1999), pp. 123–165.
2. Моделирование нештатных ситуаций при бурении глубоких скважин: монография / [В. И. Гуляев, С. Н. Глазун, О. В. Глушакова и др.]—Киев: Издательство «Юстон». – 2017. – 544 с.
3. Харченко Е.В. Динамические процессы буровых установок. Львів, Світ, - 1991. – 175 с.
4. Kharchenko Ye., Hutyi A., Haiduk V. The influence of friction forces on longitudinal waves propagation in a drill string under release of a stuck borehole, *Tribologia*, 2018, Volume 282, № 6, pp. 79-87.
5. Bingham E.C. *Fluidity and plasticity*. McGraw-Hill, NY, 1922, 440p.
6. Огибалов П. М., Мирзаджанзаде А. Х. Нестационарные движения вязкопластичных сред - М., МГУ, 1977. – 372с.
7. Чарний И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах.- Недра, - 1975. – 296 с.
8. MacCormack R. W. *Numerical Computation of Compressible and Viscous Flow*. AIAA, 2014, 521 p.
9. *Fluent 12.0. Theory Guide, Vol. 5*, Ansys Inc., USA, 2009
10. Ferras D., Manso P.A., Anton J., Schleiss A.J., Covas D.I. One-Dimensional Fluid-Structure Interaction Models in Pressurized Fluid-Filled Pipes: A Review. *MDPI, Applied Sciences, Acoustics and Vibrations* 8(10):1844, 2018
11. Hou G., Wang J., Layton A. Numerical methods for fluid structure interaction: a review. *Communications in Computational Physics*, vol. 12, no. 2, pp. 337–377, 2012.
12. MacCormack R. W. The Effect of Viscosity in Hypervelocity Impact Cratering. *Frontiers of Computational Fluid Dynamics*, 2002, pp.27-43.

**Харченко Євген Валентинович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Опір матеріалів та будівельна механіка», Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: [yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua](mailto:yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua);

**Бутринський Дмитро Ігоревич**, аспірант, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: [dmytro.butrynskyv@gmail.com](mailto:dmytro.butrynskyv@gmail.com);

**Бутринський Ігор Зіновійович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра «Опір матеріалів та будівельна механіка», Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: [ihor11@ukr.net](mailto:ihor11@ukr.net).

## DYNAMIC INTERACTION OF THE DRILL STRING AND THE DRILLING FLUID FLOW

**Abstract.** *The model and phenomena of the interaction of the drill string pipe with the flow of the drilling fluid are considered. The drill string is modeled by the equations of longitudinal oscillations of the elastic rod, the drilling fluid by the equations of motion of a non-Newtonian fluid. The surface of the rod interacts with the fluid through frictional forces. A system of coupled nonlinear differential equations of the hyperbolic type was formulated, which describe the longitudinal oscillations of the rod-fluid flow system taking into account their interaction and wave phenomena. The system of coupled equations is solved numerically on the basis of the finite difference method with the discretization in time and one spatial coordinate and the application of the explicit second order method.*

**Keywords:** *drill string, elastic rod, drilling fluid flow, fluid-structure interaction, finite difference*

**Kharchenko Yevhen**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Strength of Materials and Structural Mechanics Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: [yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua](mailto:yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua);

**Dmytro Butrynskyv**, postgraduate, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: [dmytro.butrynskyv@gmail.com](mailto:dmytro.butrynskyv@gmail.com);

**Ihor Butrynskyi**, Ph.D., Associate Professor, Strength of Materials and Structural Mechanics Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: [ihor11@ukr.net](mailto:ihor11@ukr.net).



## РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ З ДОВГОМІРНИМИ БАЛКОВИМИ І КАНАТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

**Анотація** Розглянуто проблеми комп'ютерного моделювання механічних систем з балковими та канатними елементами, таких як різноманітні підйомні машини чи канатні транспортні системи. Для довгих балкових конструкцій, що володіють відносно високою гнучкістю, необхідно враховувати значні деформації та стискаючі зусилля, а для канатних елементів – жорсткість на згин. Для цього розроблено скінченно-елементні моделі на основі сплайн-апроксимації кривих деформації елементів.

**Ключові слова:** балка; канат; скінченно-елементні моделі; сплайн-апроксимація

Розглядаються проблеми розроблення комп'ютерно-орієнтованих математичних моделей механічних систем з довгомірними балковими і канатними елементами такі як різноманітні вантажопідіймальні машини або канатні транспортуючі системи [1,2], які працюють в умовах значних статичних і динамічних навантажень.

Сучасні розрахункові моделі механічних систем, що включають довгомірні балкові і канатні елементи як правило формуються на основі їх дискретизації і застосування методу скінченних елементів, однак вони формуються для кожної конкретної механічної системи індивідуально і не можуть бути повністю формалізованими.

Для довгомірних балкових конструкцій, з відносно великою податливістю, необхідно враховувати значні деформації і стискаючі зусилля, а для канатних елементів згинну жорсткість. Для цього розроблені скінченно-елементні моделі на основі сплайн апроксимації кривих деформації елементів.

Запропоновано представлення кривої згину балкового елемента у вигляді апроксимації кубічними сплайнами через дискретні значення у вузлах  $y_i$  [3].

$$y(x) = \sum_{j=1}^n v_{i,j}(x) \cdot y_i, \quad y'(x) = \sum_{j=1}^n v'_{i,j}(x) \cdot y_i, \quad y''(x) = \sum_{j=1}^n v''_{i,j}(x) \cdot y_i.$$

Відповідні пружні і інерційні коефіцієнти дискретної моделі балкового елемента матимуть вигляд

$$c_{i,j} = \sum_{k=1}^n \int_0^{l_k} EJ_k(x) \cdot v''_{k,i}(x) \cdot v''_{k,j}(x) \cdot dx, \quad a_{i,j} = \sum_{k=1}^n \int_0^{l_k} m_k(x) \cdot v_{k,i}(x) \cdot v_{k,j}(x) \cdot dx.$$

Тут:  $EJ_k(x)$  і  $m_k(x)$  відповідно згинна жорсткість і погонна маса ділянки дискретної моделі балки.

Розроблений алгоритм і комп'ютерні програми обчислення коефіцієнтів матриць жорсткості  $C$  і інерції  $A$  як для балок постійного перерізу та і змінних по довжині параметрів. В останньому випадку інтегрування у вищенаведених виразах виконується числовими методами. Коректність розроблених комп'ютерних програм перевірені на прикладах балок з відомими точними розв'язками. При цьому точність дискретних моделей на основі запропонованої сплайн апроксимації виявилась на порядок вища ніж у випадку лінійної апроксимації кривої згину.

Окрім поперечних навантажень балкові елементи сприймають ще й значні поздовжні зусилля і тому пружні параметри дискретної балкової моделі необхідно доповнити параметрами, що враховують ефект поздовжнього стиску. Для цього вводиться матриця геометричної жорсткості  $G$ , яка залежить від внутрішніх поздовжніх зусиль і тоді результуюча матриця пружності  $C'$  матиме вигляд

$$C' = C + G.$$

Для дискретних балкових елементів коефіцієнти матриці геометричної жорсткості  $G$  можна одержати за допомогою енергетичних залежностей. Зміна потенціалу поздовжніх сил дискретного балкового елемента відповідно дорівнює

$$U_G = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} N(x) \cdot [y'(x)]^2 \cdot dx .$$

Відповідні коефіцієнти геометричної жорсткості визначаються з умови

$$g_{i,j} = \frac{\partial^2 U_G}{\partial y_i \partial y_j} .$$

Використавши представлення першої похідної прогинів на ділянках балки апроксимуючими функціями на основі сплайн апроксимації кривої згину одержимо

$$g_{i,j} = \sum_{k=1}^n \int_0^{l_k} N_k(x) \cdot v'_{k,i}(x) \cdot v'_{k,j}(x) \cdot dx .$$

У той же час метод, оснований на використанні матриці геометричної жорсткості  $G$  для дискретних балкових моделей, дозволяє організувати достатньо точний і ефективний розрахунок на стійкість балкових елементів при навантаженні їх поздовжньою силою  $P$ .

З матриці  $G$  може бути виділена в якості загального множника сила  $P$ , а саме  $G = P \cdot G'$ , де  $G'$  це матриця геометричної жорсткості при  $P = 1$ .

Таким чином задача визначення критичної сили, що відповідає втраті стійкості балки, може бути представлена у вигляді

$$\det \left( C^{-1} \cdot G - \frac{1}{P_{kr}} \cdot E \right) = 0$$

де  $C$  – елементи матриці пружних коефіцієнтів дискретної моделі балки, а  $E$  – одинична матриця. Таким чином сила, що відповідає втраті стійкості балки  $P_{kr}$  визначається як найбільше власне значення матриці  $C^{-1} \cdot G$ .

Дискретна балкова модель з врахуванням поздовжнього навантаження може бути використана для моделювання канатних елементів, навантажених розподіленими та зосередженими поперечними зусиллями з врахуванням згинної жорсткості канату.

На основі наведених алгоритмів розроблена система комп'ютерних програм деформаційного розрахунку механічних систем з балковими і канатними елементами і розрахунку на стійкість балок. Комп'ютерна процедура виконується в діалоговому режимі і дозволяє оперативно міняти вхідні дані і в тому числі довжини і кількість ділянок дискретизації елементів, що дозволяє оцінювати похибку і надійність результатів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гелетій В.М. Розрахунок довгомірних металоконструкцій кранів з врахуванням геометричної нелінійності. / Вісник НУ «Львівська політехніка». «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів.» 2011 р. № 701, с. 12.
2. Гелетій В.М., Ланець О.В. Моделювання динаміки канатних систем для підвищення ефективності технологічних операцій. Матеріали доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні РТМЕ-2019» 4-8 лютого 2019 р. – Івано-Франківськ – Яремча. 2019. – 116-117с..
3. Клаф Р., Пензиен Дж. Динаміка сооружений: пер. с англ. –М.. Стройиздат, 1979.320 с.

**Гелетій Володимир Миколайович** к.т.н., доцент, Національний університет Львівська політехніка, [heletiy.v@gmail.com](mailto:heletiy.v@gmail.com)

## DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF MECHANICAL SYSTEMS WITH LONG-DIMENSIONAL BEAM AND ROPE ELEMENTS

**Abstract** Problems of computer modeling of mechanical systems with long beam and rope elements such as various hoisting machines or rope transport systems are considered. For long beam structures, with relatively high flexibility, it is necessary to take into account significant deformations and compressive forces, and for rope elements bending stiffness. For this purpose, finite element models based on spline approximation of element deformation curves are developed

**Keywords:** beam, rope; finite element models; spline approximation

**Heletiy Volodymyr** Ph.D., associate professor, Lviv Polytechnic National University, [heletiy.v@gmail.com](mailto:heletiy.v@gmail.com)



## ГРАНИЧНО-РІВНОВАЖНИЙ СТАН ФРАГМЕНТУ ТРУБОПРОВОДУ ПОСЛАБЛЕНОГО ВНУТРІШНЬОЮ ЕЛІПТИЧНОЮ ТРІЩИНОЮ

Національний університет «Львівська політехніка»

### Анотація

Запропоновано модифікований гранично-інтегральний метод визначення концентрації напружень у фрагменті надземної ділянки трубопроводу, що містить внутрішню еліптичну тріщину за сумісної дії внутрішнього тиску, згину та розтягу. Використано апарат теорії пружних потенціалів та методу граничних елементів, що уможливило врахування впливу криволінійної поверхні труби на КІН в околі контуру тріщини.

**Ключові слова:** еліптична тріщина, метод граничних елементів, коефіцієнти інтенсивності напружень, граничні інтегральні рівняння.

### Вступ

Трубопровідний транспорт за економічними та технологічними показниками є найефективнішим способом транспортування енергетичних ресурсів завдяки низькій собівартості транспортування, незначним відносним капітальним затратам, безперервності технологічного процесу, що практично не залежить від кліматичних умов. За умов транспортування значних обсягів енергетичних ресурсів (нафти, газу) важливо забезпечити надійність магістральних трубопроводів для запобігання відмовам та аваріям.

За оцінкою фахівців більшість аварій нафтогонів України зумовлено людським фактом або утворенням і подальшим розвитком тріщиноподібних дефектів [1]. Поєднання методів неруйнівного контролю технічної діагностики магістральних трубопроводів з розробленням адекватних розрахункових моделей міцності тіл з тріщинами за умови їх взаємодії з поверхнею труби є ключовим засобом для точної оцінки ресурсу магістральних трубопроводів та можливості їх подальшої безпечної експлуатації. На стадії неруйнівного контролю сучасні інтелектуальні поршні, озброєні чутливим та надійним акустичним і магнітним обладнанням і потужними процесорами, виявляють тріщиноподібні дефекти, класифікують їх визначають розміри, топологічну форму, орієнтацію відносно осі труби і глибину залягання [2].

Однак на етапі прийняття рішення, щодо допустимості дефекту чи встановлення його в ремонтну чергу для забезпечення безпечної експлуатації нафтопроводу, зібрана в процесі діагностики інформація використовується далеко не у повному обсязі. Кривизна зовнішньої та внутрішньої поверхні труби, орієнтація площини тріщини відносно її осі має суттєвий вплив на КІН на контурі тріщини. Все це значно обмежує можливість використання наявних аналітичних методів механіки руйнування. Натомість, запропонований в роботі модифікований метод ГР таких обмежень не має.

### Результати дослідження

Розглядається фрагмент трубопроводу  $\Omega$  – пружне однорідне тіло обмежене двома циліндричними поверхнями:  $S_{out}$  радіусом  $R+h$  та  $S_{in}$  радіусом  $R$  (рис. 1) і торцевими поверхнями  $S_{ef}$  перпендикулярними до осі труби. Нехай тіло  $\Omega$  містить еліптичну тріщину  $S_c$  та знаходиться під дією статичного зовнішнього навантаження (розтяг, згин) прикладеного до торців та постійного тиску  $p$  на внутрішній поверхні  $S_{in}$ . Поверхні тріщини вільні від навантажень. Механічні властивості труби визначаються модулем зсуву і коефіцієнтом Пуассона.

Використовуючи принцип суперпозиції та інтегральні представлення Сомільяно компонент напружено-деформованого стану, здійснюючи граничний перехід до точок поверхні труби та

поверхонь тріщини, враховуючи граничні властивості пружних потенціалів простого і подвійного шару та задовольняючи крайові умови на поверхнях тріщини та внутрішній і зовнішній поверхні труби, отримуємо систему шести граничних інтегральних сингулярних рівнянь відносно компонент вектора поверхневих переміщень та функцій розкриття тріщини.

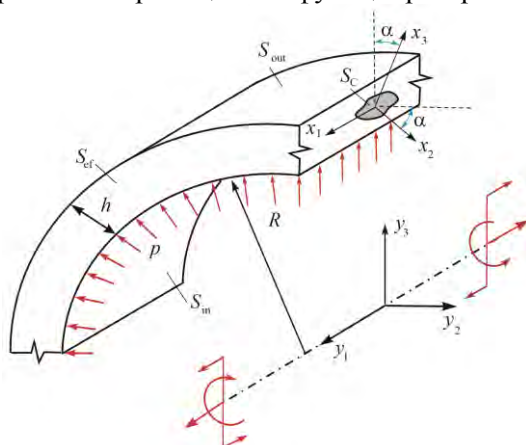


Рис. 1. Розташування осевої тріщини у фрагменті трубопроводу.

Числове розв'язування отриманої системи рівнянь здійснюємо шляхом апроксимації зовнішніх поверхонь тіла сіткою суперпараметричних восьмивузлових граничних елементів, а поверхонь тріщини сіткою колокаційних точок на перетині концентричних кривих до контуру області тріщини з її радіусами. Дискретизацію системи інтегральних рівнянь здійснюємо заміною інтегралів по поверхнях моделі сумою інтегралів по граничних елементах з попередньою їх регуляризацією. Значення функцій розкриття тріщини у колокаційних точках використовуємо для визначення КІН на контурі тріщини.

### Висновки

Досліджено залежності КІН приповерхневої еліптичної тріщини від кутової координати точки її контуру за різної глибини залягання та зміни ексцентриситету її області. Встановлено тенденцію до зменшення КІН в точках контуру тріщини, що наближені до поверхні від'ємної кривини та поверхні навантаженої тиском. Доведено можливість зміщення локальних максимумів КІН на контурі внутрішньої еліптичної тріщини за умови, що у трубі, яка її містить з'являється внутрішній тиск.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дмитрах І. М., Панасюк В. В. Вплив корозійних середовищ на локальне руйнування металів біля концентраторів напружень / НАН України. Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка. – Л., 1999. – 341 с.
2. Скальський В. Р., Божидарник В. В., Станкевич О. М. Акустико-емісійне діагностування типів макроруйнування конструкційних матеріалів. Київ : Наукова думка, 2014. 264 с.

**Стасюк Богдан Мирославович** – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри опору матеріалів та будівельної механіки, Національний університет «Львівська політехніка»

#### *Boundary-equilibrium state of a pipeline fragment weakened by an internal elliptical crack*

##### **Abstract**

*A modified boundary integral method is proposed for determining the stress concentration in a segment of an aboveground pipeline containing an internal elliptical crack under the combined action of internal pressure, bending, and tension. The approach utilizes the theory of elastic potentials and the boundary element method, allowing for the consideration of the influence of the curved surface of the pipe on the stress intensity factors in the vicinity of the crack contour.*

**Keywords:** elliptical crack, boundary element method, stress intensity factors, boundary integral equations.

**Stasyuk Bohdan M.** – Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor at the Department of Strength of Materials and Structural Mechanics, Lviv Polytechnic National University.

Є. В. Харченко  
А. Р. Біловус

## ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ У МЕХАНІЧНІЙ СИСТЕМІ ТРАМВАЯ ПІД ЧАС ЗІТКНЕННЯ З НЕРУХОМОЮ ПЕРЕШКОДОЮ

Національний університет «Львівська політехніка»

**Анотація.** Розглядається математична модель динамічних процесів, які виникають у механічній системі п'ятисекційного трамвая під час його зіткнення з нерухомою жорсткою перешкодою. Секції трамвая на розрахунковій схемі подано як тверді тіла з податливими частинами (елементами), що зазнають пружно-пластичного деформування. Такі елементи мають: крайні секції спереду і ззаду транспортного засобу, тобто, у місцях, якими трамвай може ударятися об перешкоду; усі секції – у місцях, якими вони з'єднані з сусідніми секціями. Для деформованих частин секцій застосовано білінійні характеристики пружно-пластичного деформування. Відповідно до розглядуваного сценарію, вважаємо, що перед зіткненням з перешкодою усі секції транспортного засобу рухаються прямолінійно і рівномірно. Розрахунок на ударостійкість полягає у визначенні розмірів ушкоджуваних зон життєвого простору трамвая.

На розрахункових прикладах ілюструється вплив маси трамвая, швидкості його руху перед зіткненням, а також характеристик пружно-пластичного деформування секцій на ударостійкість транспортного засобу.

**Ключові слова:** багатосекційний трамвай, динамічний процес зіткнення, математичне моделювання, ударостійкість.

Відповідно до європейського стандарту EN-15227 [3], в процесі проектування, виготовлення і введення в експлуатацію трамваїв, які відносяться до категорії С-IV рейкових транспортних засобів, необхідно проводити оцінку ударостійкості конструкцій кузовів за певними проектними сценаріями зіткнень. До таких сценаріїв відносяться торцевий удар рухомого трамвая по нерухомому, а також удар транспортного засобу об жорстку дорожню перешкоду. У разі зіткнення застосування згаданого стандарту забезпечує захист пасажирів створюваних конструкцій ударостійких транспортних засобів за рахунок збереження структурної цілісності, а також зменшення ризику перевищення уповільнень. Конструкційні рішення та добір характеристик елементів конструкцій, що спрямовані на зменшення наслідків зіткнення, становлять пасивну безпеку транспортного засобу.

Основні труднощі дослідження ударостійкості транспортного засобу пов'язані зі складністю конструкції кузова, який може налічувати декілька тисяч стрижневих та оболонкових елементів, а також з необхідністю урахування пружно-пластичного деформування деталей, що потрапляють у зони зминання секцій. У зв'язку з цим, проблемі аналізу напружено-деформованого стану кузовів транспортних засобів, їх міцності, жорсткості та ударостійкості приділяється значна увага.

Так, у праці [1] оцінюється ударостійкість залізничного пасажирського вагона шляхом моделювання його наїзду на тверду стіну із застосуванням методу скінченних елементів та виробляються практичні рекомендації щодо підсилення металоконструкції вагона. У праці [2] проводяться теоретичні дослідження ударостійкості, міцності і вібраційних властивостей пасажирського вагону, виготовленого із сталі, а також вагону, конструкція якого одержана шляхом заміни сталевих елементів на алюмінієві. Наводиться експериментальна перевірка розрахункових результатів і відзначається висока точність розрахунків, виконаних методом скінченних елементів. Встановлено,

що остаточною алюмінієвою конструкцією, вага якої втричі менша від ваги сталевий, має цілком допустимі характеристики жорсткості. На основі аналогічного підходу у праці [7] оцінюється ударостійкість залізничного транспортного засобу шляхом аналізу його зіткнення з жорсткою стіною та пропонується нова конструкція кабіни водія. У праці [4] розглядається методика оптимізації топології, розмірів і форми ефективної ударостійкої рами вагона з огляду на гармонізацію розподілу енергії поглинання, безпеку пасажирів, комфортабельність транспортного засобу. Основні принципи концепції пасивного захисту швидкісних пасажирських поїздів залізниць колії 1520 мм в умовах аварійного зіткнення розглядаються у праці [6].

У праці [8] за допомогою методу скінченних елементів розроблено моделі жорсткого бар'єрного зіткнення транспортних засобів, виготовлених із типових матеріалів: вуглецевої сталі, нержавіючої сталі та алюмінієвого сплаву. Такі матеріали використовуються у конструкціях кузовів вагонів метро. Порівнюються різні реакції трьох матеріалів під час зіткнення. Відповідно до характеристик потоків поглинання енергії, швидкості, деформації та сили зіткнення кожного транспортного засобу запропоновано співвідношення між коефіцієнтом поглинання енергії кузовом та коефіцієнтом поглинання енергії його ключовими компонентами. Аналізуються причини деформування ключових компонентів. Шляхом визначення характерних параметрів, що описують динамічну жорсткість транспортного засобу, створено модель лобового зіткнення поїзда метро з перешкодою із використанням зосереджених параметрів. Зазначена модель забезпечує простий та ефективний концептуальний метод проектування безпеки залізничного поїзда.

Актуальні питання теорії непружних конструкцій викладені у книзі [5].

У даній доповіді розглядається математична модель динамічних процесів, які виникають у механічній системі п'ятисекційного трамвая під час його зіткнення з нерухомою жорсткою перешкодою. Секції трамвая на розрахунковій схемі подано як тверді тіла з податливими частинами (елементами), що зазнають пружно-пластичного деформування. Такі елементи мають: крайні секції спереду і ззаду транспортного засобу, тобто, у місцях, якими трамвай може ударитися об перешкоду; усі секції – у місцях, якими вони з'єднані з сусідніми секціями. Для деформованих частин секцій застосовано білінійні характеристики пружно-пластичного деформування. Відповідно до розглядуваного сценарію, вважаємо, що перед зіткненням з перешкодою усі секції транспортного засобу рухаються прямолінійно і рівномірно. Розрахунок на ударостійкість полягає у визначенні розмірів ушкоджуваних зон життєвого простору трамвая.

На розрахункових прикладах ілюструється вплив маси трамвая, швидкості його руху перед зіткненням, а також характеристик пружно-пластичного деформування секцій на ударостійкість транспортного засобу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Baykasoglu C, Sunbuloglu E, Bozdag S E, Aruk F, Toprak T & Mungan A (2011) Railroad passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness, *International Journal of Crashworthiness*, 16:3, 319-329, DOI: 10.1080/13588265.2011.566475
2. Baykasoglu C, Sunbuloglu E, Bozdag S E, Aruk F, Toprak T & Mungan A (2012) Crash and structural analyses of an aluminium railroad passenger car, *International Journal of Crashworthiness*, 17:5, 519-528, DOI:10.1080/13588265.2012.690591
3. British Standards Institution. BS EN 15227. Railway Applications. Crashworthiness Requirements for Rail Vehicles. 2022.
4. Hosseini-Tehrani P & Bayat V (2011) Study on crashworthiness of wagon's frame under frontal impact, *International Journal of Crashworthiness*, 16:1, 25-39, DOI: 10.1080/13588265.2010.499698
5. Саймондс П. С. Динамика неупругих конструкцій. М.: Мир. 1982. 224 р. [Dynamics of nonelastic constructions. Moscow. Mir].

6. Sobolevska M. & Telychko I. Passive safety of high-speed passenger trains at accident collisions on 1520 mm gauge railways. *Transport problems*. 2017;12(1):51-62. Doi:10.20858/tp.201712.1.5
7. Xue X, Smith R A & Schmid F (2005) Analysis of crush behaviours of a rail cab car and structural modifications for improved crashworthiness, *International Journal of Crashworthiness*, 10:2, 125-136, DOI:10.1533/ijcr.2005.0332
8. Zhu T, Xiao S-N, Hu G-Z, Yang G-W, Yang C. Crashworthiness analysis of the structure of metro vehicles constructed from typical materials and the lumped parameter model of frontal impact. *Transport*. 2019;34(1):75–88. doi:10.3846/transport.2019.7552

*Харченко Євген Валентинович*, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Опір матеріалів та будівельна механіка», Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: [yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua](mailto:yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua);

*Біловус Андрій Романович*, аспірант, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: [andrii.r.bilovus@lpnu.ua](mailto:andrii.r.bilovus@lpnu.ua).

## DYNAMIC PROCESSES IN THE MECHANICAL SYSTEM OF A TRAM DURING COLLISION WITH A FIXED OBSTACLE

**Abstract.** *A mathematical model of dynamic processes that occur in a five-section tram mechanical system during its collision with a stationary rigid obstacle is considered. The tram sections are represented as rigid bodies with flexible parts (elements) that undergo elastic-plastic deformation in the computational scheme. These elements include the end sections at the front and rear of the vehicle, that is., the areas where the tram may collide with the obstacle, and all the sections where they are connected to neighboring sections. Bilinear characteristics of elastic-plastic deformation are applied to the deformed parts of the sections. According to the considered scenario, it is assumed that all sections of the vehicle move in a straight and uniform motion before the collision with the obstacle. The calculation for impact resistance involves determining the dimensions of the damaged zones in the tram's living space.*

*The influence of the tram's mass, its velocity before the collision, as well as the characteristics of elastic-plastic deformation of the sections on the impact resistance of the vehicle, is illustrated through computational examples.*

**Keywords:** *dynamic collision process, impact resistance, mathematical modeling, multi-section tram.*

*Kharchenko Yevhen*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Strength of Materials and Structural Mechanics Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: [yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua](mailto:yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua);

*Bilovus Andriy*, postgraduate, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: [andrii.r.bilovus@lpnu.ua](mailto:andrii.r.bilovus@lpnu.ua).

## ВПЛИВ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЯХ НА ГРАНИЧНІ НАПРУЖЕННЯ ЦИКЛУ

Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, Україна

### Анотація

Запропоновано метод розрахунку діаграм граничних напружень циклу зварних з'єднань з будь-якою величиною залишкових напружень за результатами випробувань зразків без залишкових напружень.

**Ключові слова:** діаграма граничних напружень циклу, зварне з'єднання, залишкове напруження.

### Вступ

В літературі прийнято вважати залишкові напруження розтягування (ЗН) високими, що впливають на міцність зварних конструкцій, коли дотримується умова  $\sigma_{зал} > 0,5\sigma_T$ , де  $\sigma_T$  - границя плинності матеріалу. ЗН, які рівні  $\sigma_{зал} < 0,5\sigma_T$ , вважаються низькими і на міцність не впливають. Але це поділ суто умовно, тому що, залежно від величини максимального напруження від зовнішнього навантаження, вони змінюються у широкому діапазоні з різним ступенем впливу на опір втомних зварних елементів металоконструкцій.

Мета роботи передбачала розробку методу розрахунку граничних напружень циклу зварних з'єднань з будь-якою величиною залишкових напружень за результатами випробувань зразків без залишкових напружень.

### Результати дослідження

Обробка результатів втомних випробувань стикових з'єднань низьковуглецевої та низьколегованої 09Г2С сталей з різним рівнем вихідних ЗН показала, якщо спільно врахувати вплив усталеного залишкового ЗН  $\sigma_{зал}^y$  та границю витривалості  $\sigma_R$  при будь-якому значенні коефіцієнта асиметрії циклу  $R_\sigma$ , то діаграма граничних напружень циклу (ДГНЦ) з ЗН збігається з ДГНЦ зразків без ЗН (пряма 1).

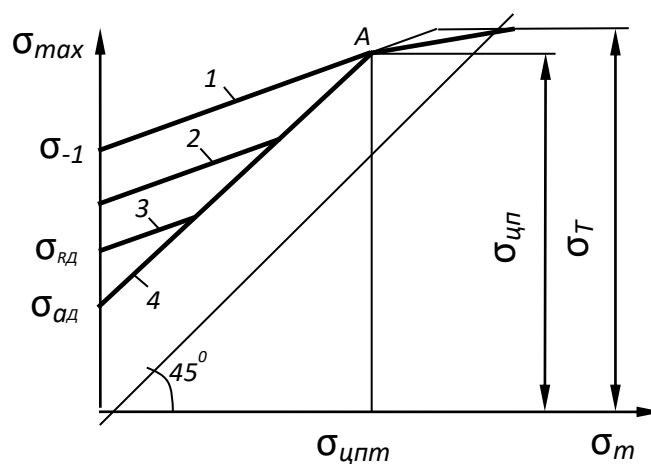


Рис. 1 – Діаграми граничних напружень циклу зварних з'єднань

Задаючись на прямій 1 будь-якою точкою та розглядаючи її у вигляді суми напружень  $\sigma_{R\Sigma} = \sigma_{ocm}^y + \sigma_R$ , можна визначити середнє напруження циклу  $\sigma_m$  і граничну амплітуду циклу  $\sigma_a^n$ , при дії яких у зразку залишається  $\sigma_{зал}^y$ , що є граничним у вигляді

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{R\Sigma} - \sigma_R}{1 - \Psi_\sigma} + \sigma_{mR} - \sigma_{зал}^y, \quad (1) \quad \sigma_a^n = \frac{\sigma_B - \sigma_{R\Sigma}}{\sigma_B / \sigma_{-1} - 1}. \quad (2)$$

де  $\sigma_{-1}$ -границя витривалості зварного з'єднання без ЗН при симетричному циклі навантаження,  $\Psi_\sigma$ - коефіцієнт впливу асиметрії навантаження,  $\sigma_{mR}$ - середнє напруження циклу в зразку без ЗН,  $\sigma_B$ -границя міцності матеріалу. Після деяких перетворень границю витривалості з'єднання з  $\sigma_{зал}^y$  можна визначити за формулою

$$\sigma_{RD} = \frac{\sigma_{-1}(\sigma_B - \sigma_{ocm}^y) + \sigma_m(\sigma_B - \sigma_{-1})}{\sigma_B}. \quad (3)$$

При дотриманні умови  $\sigma_{зал}^y = \sigma_{цп} - \sigma_{RD}$  неважко переконатися, що чим більша границя витривалості, тим менше  $\sigma_{зал}^y$ , де  $\sigma_{цп}$  - мінімальна границя циклічної повзучості (к. А), яка, як показали дослідження низьколегованих сталей, на 10-14 % менша за  $\sigma_T$ . Запропонована методика повною мірою буде реалізована у разі дотримання умови  $\sigma_R + \sigma_{зал}^y < \sigma_{цп}$ . У цьому випадку вихідні залишкові напруження при циклічному навантаженні зварного з'єднання не досягають граничної величини і не змінюються. Тому у всіх вищенаведених формулах можна використовувати значення вихідного ЗН, визначене після зварювання виробу. Було також встановлено, що ДГНЦ з'єднань не тільки паралельні між собою (прямі 2,3), а й паралельні ДГНЦ зразків без ЗН. Причому зі збільшенням усталених ЗН кожна діаграма розташовується трохи нижче попередньої. Закінчуються такі діаграми на прямій 4, яка вважається ДГНЦ зварного з'єднання з високим значенням ЗН, у якій гранична амплітуда циклу  $\sigma_{ад}$  не залежить від  $\sigma_m$ , а сама діаграма при  $\sigma_{K\Sigma} = \sigma_{цп}$ , задаючись любим значенням  $R_\sigma$ , описується рівнянням

$$\bar{\sigma}_{RD} = \frac{2 \cdot \sigma_{ад}}{1 - R_\sigma} = \frac{2}{1 - R_\sigma} \left( \frac{\sigma_R - \Psi_\sigma \cdot \sigma_{цп}}{1 - \Psi_\sigma} - \sigma_{mR} \right). \quad (4)$$

Кожна точка на цій прямій відповідає границі витривалості зварного з'єднання зі своїм значенням  $\sigma_{зал}^y$ . У виразі 4 замість  $\sigma_{цп}$  можна використовувати границю плинності, проте використання  $\sigma_{цп}$  підвищує точність розрахунку. Встановлено, що зі збільшенням залишкового напруження відбувається зниження границі витривалості досліджуваних зварних з'єднань на більш значиму величину. Залежно від марки матеріалу вплив залишкових напружень виявляється дещо різним. Якщо до теперішнього часу вважалось, що ЗН рівні  $0,5\sigma_T$ , низькі і не впливають на опір втоми, то така їх величина знижує опір втоми з'єднання з низьковуглецевої сталі на 30 %, а з низьколегованої на 33 %.

## Висновок

Аналіз діаграм граничних напружень циклу стикових зварних з'єднань низьковуглецевих і низьколегованих сталей з високими залишковими напруженнями і без них дозволив отримати рівняння, що дозволяє визначати границі витривалості зварних з'єднань з усталеними залишковими напруженнями за результатами випробувань невеликих зразків без залишкових напружень.

*Дегтярев Вячеслав Олексійович* - канд. техн. наук, ст. наук. співробітник, Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України

***THE INFLUENCE OF RESIDUAL STRESSES IN WELDED STRUCTURES ON THE LIMIT STRESSES OF THE CYCL***

**Abstract**

Author proposes a method of determination of the diagrams of ultimate stresses in a cycle for welded components structural elements with different level of steady-state residual stresses based on test results for small specimens.

**Keywords:** cycle limit stress diagram, welded joint, residual stress.

*Dehtiarev Viacheslav* – Cand. Sc, Art. of science employee, G.S. Pisarenko Institute for problems of strength of the NAS of Ukraine.



Я.С. Гриджук<sup>1</sup>  
І.І. Чудик<sup>1</sup>  
О.О. Слабий<sup>1</sup>  
Т.І. Кондур<sup>2</sup>  
І.Ю. Мохній<sup>3</sup>

## ПРО АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ ЗОНИ КОНТАКТУВАННЯ ПРОГНУТОЇ ДІЛЯНКИ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ ІЗ СТІНКОЮ СВЕРДЛОВИНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу<sup>1</sup>  
ТОВ “Шлюмберже Сервісес Україна”<sup>2</sup>, Філія “УГВ-Сервіс” АТ “Укргазвидобування”<sup>3</sup>

### Анотація

*З урахуванням особливостей напружено-деформованого стану прогнутої ділянки бурильної колони, притиснутої до стінки свердловини, а також геометрії їх взаємного просторового розташування, обґрунтовано аналітичний спосіб визначення площі зони їх в'язко-пружного контактування.*

**Ключові слова:** бурильна колона, свердловина, напружено-деформований стан, площа контакту, тор, циліндр.

Під час проектування осьового навантаження на долото на інтервалах похило-скерованих і горизонтальних ділянок свердловин необхідно враховувати сили опору руху бурильної колони, так як осьове навантаження, яке створюється компоновкою бурильної колони, повністю не передається породоруйнівному інструменту. Така особливість є однією з причин зниження темпів поглиблення свердловин. Суттєвий інтерес мають питання дослідження процесу подальшого (закритичного) деформування бурильної колони, коли остання в результаті втискання в стінки свердловини з геометричними недосконаlostями продовжує змінювати свою форму під дією осьового навантаження, розподілених контактних сил і крутного моменту. Крім того, важливо знати величину контактної тиску і площі зон в'язко-пружної взаємодії прогнутих ділянок бурильної колони із стінками свердловини, при яких відбувається усталений процес буріння.

У процесі буріння конфігурація стовбура свердловини немає постійної прямолінійної циліндричної форми. Однією з причин утворення виробок на стінках свердловини є механічна дія на неї бурильної колони, яка втратила стійкість [1, 2]. Сила притискання бурильних труб до стінок свердловини обумовлена власною вагою елементів бурильної колони, їх конструктивними параметрами, пружністю на згин, перепадом тиску і повною величиною гідростатичного тиску. Її збільшення сприяє покращенню прилипання бурильної колони до фільтраційної кірки [3, 4]. Тому відомості про фактичні величини сил, діючих в місцях взаємодії окремих ділянок бурильної колони із стінками свердловини, форму і площу зон контактування дозволять точніше проектувати розміри вибійних компонок, попередити жолобоутворення і визначити найбільш вразливі ділянки бурильної колони. Вирішенню цих питань присвячено багато наукових праць. Одні з авторів не враховують площу контактування, беручи до уваги лише лінійний контакт по всій довжині колони труб, інші приймають умовну величину, рівну певній долі від половини діаметра, коли бурильна колона притиснута до стінки свердловини [3, 4, 5]. Незважаючи на це, не враховується контакт різних елементів труби (замок, тіло труби) із стінками свердловини, покритої фільтраційною кіркою при можливому протиранні жолобів по стінці гірничої виробки.

Тому, при розгляді задач контактної взаємодії ділянок бурильної колони із стінками свердловини важливим питанням є визначення площ контактуючих поверхонь. Розміри площ контактуючих поверхонь суттєво впливатимуть на параметри напружено-деформованого стану бурильної колони і стінок свердловини та можуть стати причиною зміни розмірів проектного профілю [3, 4]. Через відсутність точних аналітичних формул для визначення площі зон

контактної взаємодії елементів бурильної колони із стінками свердловини в практиці буріння на даний час обмежуються емпіричними залежностями [6].

Розглянемо процес втискання прогнутої півхвилі бурильної колони у стінку свердловини. Вважатимемо, що основою стінки свердловини є речовина з пружно-анізотропними властивостями, а її поверхня вкрита суцільною фільтраційною кіркою. При локальному торканні до в'язкої поверхні стінки свердловини бурильна колона продовжує втискатися в неї з подальшим утворенням жолобоподібної поверхні до того часу, коли максимальна реакція стінки стане рівною максимальній силі пружного втискання. При остаточному впиранні прогнутої ділянки колони в стінку її реакція досягає максимального значення, а швидкість втискання при цьому стає рівною нулю. Результати аналізу напружено-деформованого стану деформованої ділянки бурильної колони [1, 2] та процесу її втискання у стінку свердловини дають можливість сформулювати необхідні дані для постановки та розв'язку геометричної задачі про визначення площі зони їх взаємного контактування. З достатньою точністю зовнішню поверхню ділянки бурильної колони, прогнутої у площині паралельній осі свердловини, можна ототожнити з поверхнею ділянки тора, а внутрішню поверхню стінки свердловини – із поверхнею кругового циліндра [7] (рис. 1). Рівняння тора з радіусом твірного кола  $r$  і відстанню від центра цього кола до осі (центру) тора  $R$  задається у наступному вигляді:

$$(x^2 + y^2 + z^2 + R^2 - r^2)^2 - 4R^2(x^2 + y^2) = 0, \quad (1)$$

а кругового циліндра з радіусом твірного кола  $\rho$  задається у такому:

$$x^2 + y^2 = \rho^2. \quad (2)$$

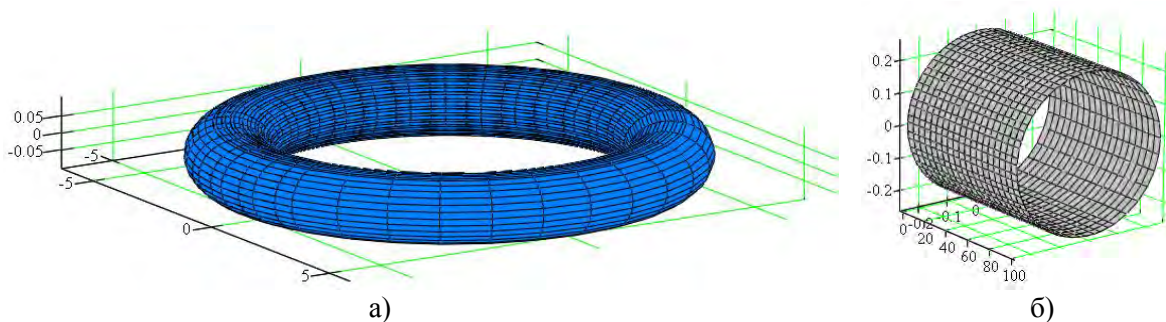


Рисунок 1 – Модельні поверхні тора а) та кругового циліндра б)

Зону локального контактування прогнутої ділянки бурильної колони із стінкою свердловини можна моделювати як частину поверхні тора, яка вирізається круговим циліндром. Тоді визначення площі зони контактування можна звести до визначення площі поверхні взаємного перетину поверхонь четвертого (1) та другого (2) порядку (рис. 2).

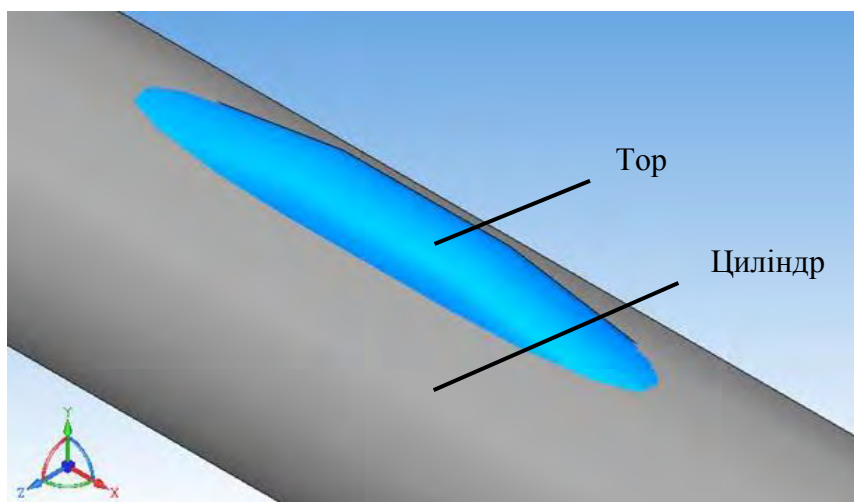


Рисунок 2 – Модельна поверхня зони контактування прогнутої ділянки бурильної колони, яка втиснута у стінку свердловини

У результаті взаємного вирізання частини тору (1) круговим циліндром (2) отримаємо поверхню, яка описуватиметься функцією:

$$F = f(x; y). \quad (3)$$

Згідно [7] площу зони контактування деформованої ділянки бурильної колони із стінкою свердловини можна визначити із застосуванням наступного інтегралу:

$$S = \iint_D \sqrt{1 + \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2} dx dy; \quad (4)$$

де  $D$  – проекція поверхні перетину на площину, перпендикулярну осі свердловини.

Таким чином, враховуючи геометричні розміри поперечних перерізів бурильної колони і свердловини, за допомогою залежностей (1-4) можна аналітично визначити площу зони їх контактування. Реалізація даного способу дасть можливість точніше оцінювати сили опору руху бурильної колони та її контактного тиску на стінки скерованих і горизонтальних ділянок свердловин при проектуванні осьового навантаження на долото. Також даний спосіб буде корисним при дослідженні процесу закритичного деформування бурильної колони при усталеному процесі буріння.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лисканич М.В., Попадюк І.Й., Гриджук Я.С. Оцінка впливу згинальних навантажень та вібрацій на напружений стан бурильної колони. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2003. №4 С. 56-61.
2. Гриджук Я.С., Андрусак А.В., Кичма М.В. Дослідження залежності між напруженнями в елементах бурильного інструменту та характеристиками його коливального руху. Нафтогазова енергетика. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. №1(21) С. 7-15.
3. Чудик І. І., Юрич А. Р., Козлов А. А. Врахування каверно- і жолобоутворення при проектуванні неорієнтованих КНБК. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. №2(23) 2007. С. 45-50.
4. Чудик І. І. Узагальнена методика розрахунку енергетичних витрат при роботі неорієнтованих компоновок низу бурильної колони для роторного способу буріння. Науковий вісник ІФНТУНГ. 2013. № 2(35). С.121-128.
5. Ja . Grydzhuk, I. Chudyk, A. Velychkovych, A. Andrusyak. Analytical evaluation of inertial properties of the range of the drill string in its rotation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. №1/7 (97). P. 6-14.
6. Кондур Т.І. Планування робіт з MWD/LWD (каротаж та вимірювання під час буріння). Стандартні операційні процедури. 22с.
7. Дубовик В.П., Юрик І.І. Вища математика: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Київ: Ігнатекс-Україна., 2013. 648с.

**Гриджук Ярослав Степанович**, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри технічної механіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, [jaroslav.gridzhuk@gmail.com](mailto:jaroslav.gridzhuk@gmail.com)

**Чудик Ігор Іванович**, доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, [chudoman@ukr.net](mailto:chudoman@ukr.net)

**Слабий Орест Олегович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної механіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, [burewisnyk@gmail.com](mailto:burewisnyk@gmail.com)

**Кондур Тарас Ігорович**, керівник виробничого підрозділу з буріння та вимірювання параметрів буріння, ТОВ "Шлюмберже Сервісез Україна", м. Полтава, [tkondur@gmail.com](mailto:tkondur@gmail.com)

**Мохній Ігор Юрійович**, директор, Філія "УГВ-Сервіс" АТ "УкрГазвидобування", м. Полтава, [office@ugv.com.ua](mailto:office@ugv.com.ua)

**Keywords:** drill string, well, stress-strain state, contact area, torus, cylinder.

**Jroslaw Grydzhuk**, Dr-Ing., Assoc. Prof., chair technical mechanics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, [jaroslav.gridzhuk@gmail.com](mailto:jaroslav.gridzhuk@gmail.com)

**Igor Chudyk**, Dr-Ing., Prof., vice-rector for scientific work, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, [chudoman@ukr.net](mailto:chudoman@ukr.net)

**Orest Slabyi**, Candidate of Science PhD, chair technical mechanics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, [burewisnyk@gmail.com](mailto:burewisnyk@gmail.com)

**Taras Kondur**, Product and Service Delivery Manager, "Schlumberger Services Ukraine LLC", Poltava, [tkondur@gmail.com](mailto:tkondur@gmail.com)

**Igor Mokhniy**, director, Branch "UGV-Service" JSC "UkrGazvydobuvannya", Poltava, [office@ugv.com.ua](mailto:office@ugv.com.ua)

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ КОЛИВАНЬ ПРУЖНИХ ТІЛ

<sup>1</sup>Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П.Сагайдачного,  
<sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка»

### Анотація

Для опису складних коливань пружних тіл застосовується аналітично-експериментальний метод. Цей метод полягає в тому, що відома раніше інформація про одну з форм коливань використовується при побудові математичних моделей інших форм. Аналізується застосування ідей методів збурень (методу Ван-дер-Поля) та теорії спеціальних періодичних Атеб-функцій стосовно побудови аналітичних розв'язків відповідних систем диференціальних рівнянь.

**Ключові слова:** динаміка, коливання, математична модель, нелінійність.

У переважній більшості випадків пружні елементи машин і механізмів здійснюють складні коливання – поєднання в різних комбінаціях двох або трьох простих: згинальних, поздовжніх і крутильних. Таке поєднання декількох рухів зумовлює значні труднощі при аналітичному дослідженні динаміки процесів у пружних елементах. У загальному випадку математичними моделями таких складних процесів у пружних тілах навіть у випадку одновимірних розрахункових моделей є крайові задачі для систем диференціальних рівнянь у частинних похідних. Аналітичні дослідження коливальних процесів у них є складною математичною проблемою, чисельна ж симуляція таких математичних моделей не дає відповідей на низку практичних питань, зокрема, щодо зовнішніх і внутрішніх резонансів. Для часткового розв'язання цієї проблеми розроблено аналітико-експериментальний метод, основні ідеї якого полягають у наступному: наперед відому інформацію про одну із форм коливань використовують при побудові математичних моделей інших [1]. Це певною мірою спрощує математичну модель динаміки процесу розглядуваного пружного тіла. До того ж, якщо апріорна інформація описує динаміку процесу малих коливань у порівнянні з іншими, то для опису невідомих форм коливань достатньо ефективними методами дослідження є асимптотичні методи нелінійної механіки [2], які ґрунтовно розроблені для нелінійно пружних тіл [3–5].

Резонансні явища в пружних тілах, які здійснюють згинальні та крутильні коливання, вивчалися, наприклад, у праці [6]. Для випадку проведення динамічного розрахунку пружних елементів складних інженерних конструкцій відповідна методика запропонована в роботі [7].

Особливо ефективним виявилось застосування ідей методів збурень (методу Ван-дер-Поля) та теорії спеціальних періодичних Атеб-функцій стосовно побудови аналітичних розв'язків систем диференціальних рівнянь, які описують нелінійні математичні моделі динаміки руху транспортних засобів у залежності від умов їх руху, характеристик системи підресорювання, типу коливань, наприклад, [8, 9].

Отримані результати можуть бути базою для вибору оптимальних режимів роботи машин і механізмів з метою уникнення в них резонансних явищ, втрати стійкості тощо.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сокіл Б. І. Методологія дослідження поздовжньо-згинальних коливань пружних тіл із використанням часткової інформації про них / Б. І. Сокіл, А. П. Сенік, М. Б. Сокіл, А. І. Андрухів // Міжнародний науковий журнал «Грааль науки». – 2021. – № 9 (жовтень). – С. 233 – 240.
2. Боголюбов Н. Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н. Н. Боголюбов, Ю. А. Митропольский. – М.: Наука, 1974. – 501 с.
3. Митропольский Ю. А. Асимптотические решения уравнений в частных производных / Ю. А. Митропольский, Б. И. Моисеенков. – Киев: Вища школа, 1976. – 584 с.
4. Митропольский Ю. О., Сокіл Б. І. Про застосування Атеб-функцій для побудови асимптотичного розв'язку збуреного нелінійного рівняння Клейна-Гордона // Український математичний журнал. – 1998. – Т. 50. – № 5. – С. 665 – 670.

5. Andrukhiv A., Sokil B., Sokil M. Resonant phenomena of elastic bodies that perform bending and torsion vibrations. Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science. – 2018. – Vol. 4. – No 2. – P. 58 – 67.

6. Andrukhiv A., Sokil M., Fedushko S., Syerov Y., Kalambet Y. and Peracek T. (2021) Methodology for increasing the efficiency of dynamic process calculations in elastic elements of complex engineering constructions // Electronics (Switzerland). – 10 (1). – P. 1 – 20. Doi: 10.3390/electronics10010040.

7. Andrukhiv A., Huzyk N., Sokil B. and Sokil M. (2023) Methodology of investigation the dynamics of longitudinally moving systems under the action of impulse perturbations. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 1277 012005. DOI 10.1088/1757-899X/1277/1/012005.

8. Сокіл Б. Резонансні поздовжньо-кутові коливання колісних транспортних засобів із нелінійною характеристикою системи підресорювання / Б. Сокіл, Я. Романчук, М. Сокіл, А. Баранов. – Збірник наукових праць Національної академії державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки. 2022. – № 1,2 (78). С. 246 – 265. <https://doi.org/10.32453/3.v87i1-2.1093>.

9. Сокіл Б.І., Сокіл М.Б., Романчук Я.П. Динаміка підресореної частини КТЗ і стійкість руху. Автошляховик України: науково-виробничий журнал. – 2023. – № 1 (273). – С. 53 – 60.

**Сокіл Богдан Іванович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерної механіки Національної академії сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, sokil\_b\_i@ukr.net.

**Романчук Ярослав Петрович**, кандидат фізико-математичних наук, ст.н.с., доцент кафедри інженерної механіки Національної академії сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, romanchuky@ukr.net.

**Сокіл Марія Богданівна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка», Львів, mariia.b.sokil@lpnu.ua.

## MATHEMATICAL MODELS AND ANALYTICAL METHODS OF INVESTIGATION OF COMPLEX OSCILLATIONS OF ELASTIC BODIES

### Abstract

*An analytical-experimental method is used to describe complex vibrations of elastic bodies. This method consists in the fact that previously known information about one of the forms of oscillations is used in the construction of mathematical models of other forms. The application of the ideas of perturbation methods (the Van der Pol method) and the theory of special periodic Ateb functions in relation to the construction of analytical solutions of the corresponding systems of differential equations is analyzed.*

**Keywords:** dynamics, oscillations, mathematical model, nonlinearity.

**Bohdan Sokil**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Engineering Mechanics of the National Academy of Land Forces named after Hetman P. Sahaidachny, Lviv, sokil\_b\_i@ukr.net.

**Yaroslav Romanchuk**, Candidate of physical and mathematical Sciences, Associate Professor, and Department of Engineering Mechanics of the National Academy of Land Forces named after Hetman P. Sahaidachny, Lviv, romanchuky@ukr.net.

**Maria Sokil**, Candidate of Philology Technical Sciences, Associate Professor, Department of Transport Technologies of the National University "Lviv Polytechnic", Lviv, mariia.b.sokil@lpnu.ua.

Є. В. Харченко<sup>1</sup>  
К.-Г. Нойман<sup>2</sup>  
В. Дудда<sup>3</sup>  
С. Клиш<sup>3</sup>  
А. Р. Біловус<sup>1</sup>

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОПЕРЕЧНИХ І КРУТИЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ДОВГОМІРНИХ СКЛАДЕНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»

<sup>2</sup>Західно-Саксонська вища школа у м. Цвіккау, Німеччина

<sup>3</sup>Вармінсько-Мазурський університет в Ольштині, Польща

**Анотація.** Розглядаються математичні моделі поперечних і крутильних коливань довгомірних складених металоконструкцій, побудовані із застосуванням засобів континуалізації. Моделювання поперечних коливань висотних споруд (бурова вежа, щогла будівельного підіймального пристрою, кузови автомобіля та автобуса) проводиться із застосуванням теорії балок С. Тимошенка. Математичний опис крутильних коливань довгомірних конструкцій виконується на основі аналізу напружено-деформованого стану механічної системи або експериментального визначення її характеристик жорсткості. Розробляються алгоритми розрахунків вільних і вимушених коливань із застосуванням матричного методу початкових параметрів. Розглядаються особливості динамічного розрахунку конструкцій зі змінними пружно-інерційними параметрами по довжині.

Наводяться приклади модального аналізу висотних металоконструкцій, а також кузовів легкового автомобіля і автобуса та проводиться порівняльний аналіз результатів визначення власних частот теоретичним і експериментальним шляхом.

**Ключові слова:** довгомірна складена металоконструкція, моделювання механічних коливань, засоби континуалізації, матричний метод початкових параметрів.

У машинобудуванні та в будівельній індустрії широко застосовуються складені металоконструкції, наприклад, бурові вежі, щогли підіймальних пристроїв, кузови автомобілів та автобусів, колони і ферми дорожніх мостів тощо. Під час експлуатації вони зазнають інтенсивних динамічних навантажень, що може призвести до вимушених коливань зі значними амплітудами, резонансних явищ і, як наслідок, до виникнення надмірних деформацій і, навіть, до руйнування. Тому проведення модального аналізу, а також досліджень вимушених коливань таких металоконструкцій на стадії проектування має істотне практичне значення. Динамічний розрахунок складених конструкцій нерідко становить значну проблему у зв'язку з великим числом елементів, що утворюють механічну систему, їх різноманітністю, складністю геометрії, а також труднощами урахування властивостей з'єднань. Тому актуальним завданням є розроблення методів динамічного розрахунку зазначених механічних систем із застосуванням засобів континуалізації.

Так, у сучасних машинних комплексах для буріння глибоких та надглибоких нафтогазових свердловин застосовують висотні споруди баштового типу. Їх виконують, здебільшого, у вигляді чотиригранних пірамід, ребра яких виготовляють із труб або прокатної сталі і з'єднують у площинах граней стрижневими ґратками. Під час роботи бурової установки башта зазнає значних динамічних навантажень з боку інших елементів комплексу, що нерідко призводить до виникнення небажаних динамічних явищ. Найбільшою мірою на міцність вежі впливають її поперечні коливання. Однак, істотну роль у динамічному процесі висотної споруди відіграють також крутильні коливання, що виникають, перш за все, внаслідок дії на вежу обертальних динамічних навантажень з боку ротора під час поглиблення свердловини. Крім цього, здійснюючи поперечні коливання, вежа сприймає обертальні навантаження,

зумовлені асиметричним розташуванням трапів та інших масивних елементів щодо головних площин згину.

Металоконструкції бурових веж включають значне число стрижневих елементів та їхніх вузлів, через що детальне урахування структури механічної системи є значно утрудненим. Раціональний підхід до дослідження динаміки таких конструкцій знайдено у еквівалентній заміні з'єднувальної стрижневої ґратки пружним шаром. Результати досліджень динаміки бурових установок наведено, зокрема, у працях [1-3, 11]. Аналогічні підходи застосовано у дослідженнях динаміки будівельних підймальних пристроїв [7-10].

З метою добору раціонального варіанту конструкції кузова автомобіля чи автобуса практичне значення має наближене (з похибкою до 15-20%) визначення основних частот вільних коливань дослідних зразків. Застосування для цього складних програмних комплексів і, відповідно, просторових оболонкових або гібридних розрахункових моделей недоцільне через надмірні затрати часу на розв'язання задачі. Надто трудомістким і тривалим є також експериментальне дослідження вільних коливань механічної системи. Тому слід надавати перевагу спрощеним методам розрахунку, які дають можливість оцінювати динамічні характеристики металоконструкції із застосуванням обмеженого числа узагальнених пружно-інерційних параметрів, що визначаються теоретично або експериментально [4-6].

У даній праці розглядаються математичні моделі поперечних і крутильних коливань довгомірних складених металоконструкцій, побудовані із застосуванням засобів континуалізації. Моделювання поперечних коливань висотних споруд (бурова вежа, щогла будівельного підймального пристрою, кузови автомобіля та автобуса) проводиться із застосуванням теорії балок С. Тимошенка. Математичний опис крутильних коливань довгомірних конструкцій виконується на основі аналізу напружено-деформованого стану механічної системи або експериментального визначення її характеристик жорсткості. Розробляються алгоритми розрахунків вільних і вимушених коливань із застосуванням матричного методу початкових параметрів. Розглядаються особливості динамічного розрахунку конструкцій зі змінними пружно-інерційними параметрами по довжині.

Наводяться приклади модального аналізу висотних металоконструкцій, а також кузовів легкового автомобіля і автобуса та проводиться порівняльний аналіз результатів визначення власних частот теоретичним і експериментальним шляхом.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Харченко Е.В. Динамічні процеси бурових установок. Львів, Світ, - 1991. – 175 с.
2. Харченко Є. В. Континуально-дискретна математична модель крутильних коливань баштових бурових вишок. *Машинознавство*. 1997. №1. С. 41-46.
3. Харченко Є. В., Підгайний Т. Ю. Визначення частот і форм вільних коливань складеного стрижня як тришарової конструкції. Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. Вісник Національного університету «Львівська політехніка» № 641. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». 2009. С. 80–86.
4. Харченко Є. В., Підгайний Т. Ю. Визначення власних частот крутильних коливань кузова автобуса ЛАЗ А152. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2009. № 1 (53). С. 80–83.
5. Kharchenko Ye., Pidhaynyy T. Mathematical modelling of transverse and torsion vibrations of compound metalwares. *Budownictwo i inzynieria środowiska. Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej*. Z.52. NR 264. P. 81-92.
6. Kharchenko Y., Sobkowski S. Zastosowanie analizy modalnej w diagnostyce stanu technicznego konstrukcji masztowych dźwigów budowlanych. *Diagnostyka*, 2002. Vol. 27. S. 75–81.
7. Kharchenko Y., Sobkowski S. Wpływ podatności połączeń na częstotliwości i postaci drgań swobodnych konstrukcji masztowych dźwigów budowlanych. *Konstrukcje stalowe*. 2003. Nr specjalny: Materiały VIII Konferencji Naukowej „Połączenia i węzły w konstrukcjach metalowych”. S. 27–29.
8. Kharchenko Y., Sobkowski S. Modelowanie matematyczne procesów rozruchu układów napędowych podnośników budowlanych. *Diagnostyka*. 2005. Vol. 35. S. 37–42.
9. Kharchenko Y., Levrync V., Sobkowski S. Zastosowanie metody przemieszczeń uogólnionych do analizy drgań poprzecznych konstrukcji masztowych. *Diagnostyka*. 2007. Nr 3(43). S. 35–40.
10. Kharchenko Ye., Hutyi A., Haiduk V. The influence of friction forces on longitudinal waves propagation in a drill string under release of a stuck borehole. *Tribologia*. 2018. Volume 282. Nr 6. P. 79-87.
11. Tucker R. W., Wang C. An integrated model for drill-string dynamics. *Journal of Sound and Vibration*. 224 (1). 1999. P. 123–165.



**Харченко Євген Валентинович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Опір матеріалів та будівельна механіка», Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: [yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua](mailto:yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua);

**Нойман Карл-Гайнц**, доктор-інженер, професор, кафедра елементів машин, Західно-Саксонська вища школа у м. Цвіккау, Німеччина, Цвіккау, e-mail: [karl.heinz.neumann@fh-zwickau.de](mailto:karl.heinz.neumann@fh-zwickau.de);

**Дудда Вальдемар**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри механіки та основ конструювання, Вармінсько-Мазурський університет в Ольштині, Польща, Ольштин, e-mail: [dudda@uwm.edu.pl](mailto:dudda@uwm.edu.pl);

**Клиш Сильвестер**, доктор технічних наук, професор, кафедра механіки та основ конструювання, Вармінсько-Мазурський університет в Ольштині, Польща, Ольштин, e-mail: [sylwesterklysz3@uwm.edu.pl](mailto:sylwesterklysz3@uwm.edu.pl);

**Біловус Андрій Романович**, аспірант, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: [andrii.r.bilovus@lpnu.ua](mailto:andrii.r.bilovus@lpnu.ua).

## MATHEMATICAL MODELING OF TRANSVERSE AND TORSIONAL OSCILLATIONS OF LONG-SPAN COMPOUND METAL STRUCTURES

**Abstract.** *Mathematical models of transverse and torsional vibrations of long-span compound metal structures are considered, constructed using the methods of continuum mechanics. Modeling of transverse vibrations of tall structures (drilling tower, the mast of a construction lifting device, car and bus bodies) is carried out using the theory of beams by S. Timoshenko. The mathematical description of torsional oscillations of long-span structures is based on the analysis of the stress-strain state of the mechanical system or experimental determination of its stiffness characteristics. Algorithms for calculating free and forced oscillations are developed using the matrix method of initial parameters. The peculiarities of dynamic analysis of structures with variable elastic and inertial parameters along their length are considered.*

*Examples of modal analysis of tall metal structures, as well as car and bus bodies, are provided, and a comparative analysis of the results of determining natural frequencies by theoretical and experimental methods is conducted.*

**Keywords:** long-span compound metal structure, modeling mechanical vibrations, continuum mechanics, matrix method of initial parameters.

**Kharchenko Yevhen**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Strength of Materials and Structural Mechanics Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: [yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua](mailto:yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua);

**Neumann Karl-Heinz**, Dr.-Ing., Professor, Westsächsische Hochschule Zwickau, Deutschland, Zwickau, e-mail: [karl.heinz.neumann@fh-zwickau.de](mailto:karl.heinz.neumann@fh-zwickau.de);

**Dudda Waldemar**, Dr hab. inż., Professor, Mechanics and Fundamentals of Design Department, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland, Olsztyn, e-mail: [dudda@uwm.edu.pl](mailto:dudda@uwm.edu.pl);

**Klysz Sylwester**, Prof. dr hab. inż., Professor, Mechanics and Fundamentals of Design Department, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland, Olsztyn, e-mail: [dudda@uwm.edu.pl](mailto:dudda@uwm.edu.pl);

**Bilovus Andriy**, postgraduate, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: [andrii.r.bilovus@lpnu.ua](mailto:andrii.r.bilovus@lpnu.ua).



## ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ СТАНИНИ ПРОШИВНОЇ КЛІТІ ТРУБОПРОКАТНОГО АГРЕГАТУ 350

Український державний університет науки і технологій

### Анотація.

*Робота присвячена оцінці динамічних навантажень, що виникають при прошивці трубної заготовки на прошивному стані трубопрокатного агрегату 350, їх впливу на якість труби – різновіщинність гільзи та на напружено-деформований стан станини прошивної кліти. Запропоновано пристрій для фіксації кришки на станині.*

**Ключові слова:** трубопрокатний агрегат 350, прошивна кліть, динаміка, різновіщинність, станина, пристрій фіксації

Більшість важко навантажених машин і обладнання знаходяться в експлуатації 30-50 і більше років. Наприклад, станина робочої кліти прошивного стану трубопрокатного агрегату 350 знаходяться в експлуатації більше 80 років. Аварійні ситуації, що виникають внаслідок поломки базових деталей потужних металургійних машин, можуть призвести не тільки до тривалих простоїв цілих виробничих ліній, але також можуть супроводжуватись людськими жертвами. Станини трубопрокатних агрегатів, які є найбільш відповідальними деталями, проєктувалися без встановлення (регламентації) терміну служби. Коефіцієнт запасу по статичній міцності в найбільш небезпечних перетинах приймали не нижче 8-10. Однак навіть такий запас міцності не завжди забезпечує безаварійну надійну роботу станини, так як діючі змінні напруження виявляються вищими межі витривалості для них [1].

Трубопрокатні агрегати з автоматичним станом ТПА 350 відносяться до числа найбільш поширених для виробництва безшовних гарячекатаних труб.

Однією з технологічних операцій при виробництві гарячекатаних труб є прошивка заготовки в гільзу на прошивному стані (рис. 1).

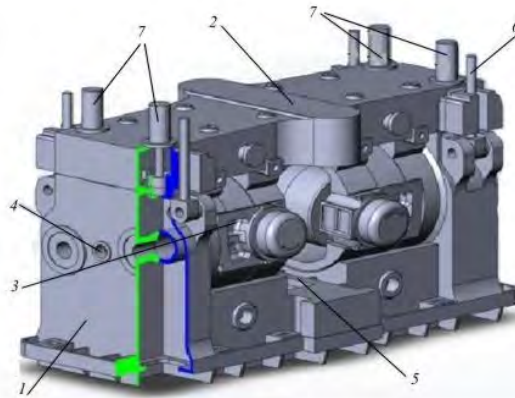


рис. 1 – 3D модель робочої кліти прошивного стану трубопрокатного агрегату 350 (ТПА 350):

1 – станина; 2 – кришка станини; 3 - барабани з подушками та валками; 4 - механізми встановлення валків;  
5 - верхню та нижню лінійки з лінійкоутримувачами; 6 - вузли кріплення кришки до станини; 7 - пристрій фіксації кришки на станині

Недоліком роботи прошивного стану поперечно-гвинтової прокатки є поява в процесі її експлуатації зазорів між кришкою та станиною від послаблення різьбового закріплення кришки до станини. Це веде до зменшення жорсткості станини, зростання навантажень на станину,

збільшення її вібрації. Відповідно, з однієї сторони це призводить до зниження якості труб. З іншої сторони, зазори в місці з'єднання сприяють зростанню локальних напружень, що призводить до появи дефектів, період живучості яких становить близько 5 років. Після цього дефекти трансформуються в тріщини, які, відповідно, призводять до руйнації станини. Таким чином, з'являється небезпека передчасного вичерпання резервів міцності станини та її ресурсу. Особливо це стосується прошивних станів, які входять до складу трубопрокатних агрегатів, що виготовляють труби з металів, що важко деформуються [1, 2].

Однією з причин цього є динамічні навантаження, що виникають при прошивці заготовки.

В даній роботі розглянуто динаміку робочої кліти прошивного стану в горизонтальній площині. Багатомасова динамічна модель робочої кліти прошивного стану в горизонтальній площині представлена на рис. 2, де  $m_1, m_2$  – маса валків;  $m_3, m_4$  – маса станини з кришкою;  $c_1, c_2$  – жорсткість валків;  $c_3, c_4$  – жорсткість станини та кришки станини.

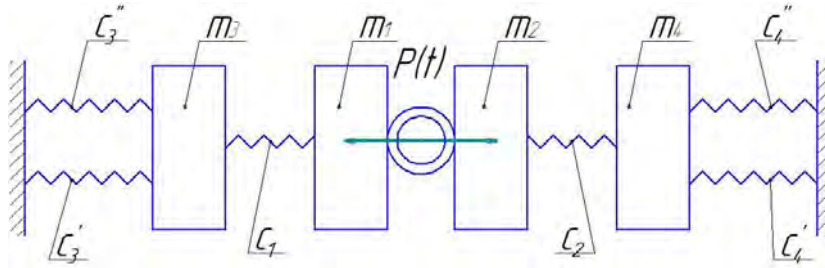


рис. 2 – Багатомасова динамічна модель робочої кліти прошивного стану в горизонтальній площині

Згідно з рис. 3, на яких приведено результати дослідження динаміки, при коливаннях пересування валків складають до 6 мм. А це веде до зміни товщини гільзи, що отримується (рис. 4) від номінального розміру і, відповідно, до зниження якості труб.

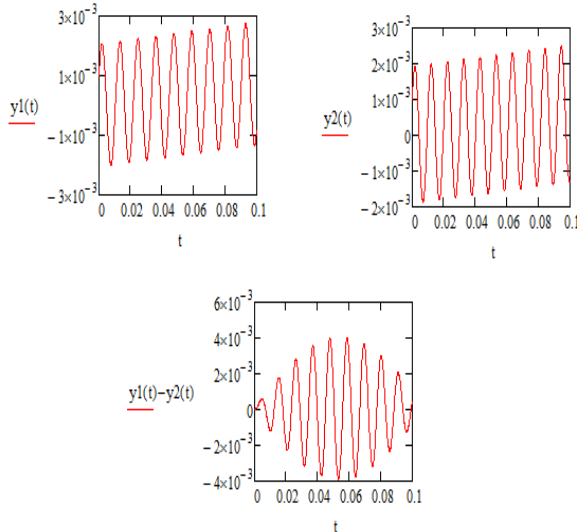


рис. 3 - Динаміка перехідного процесу при прошивці трубної заготовки

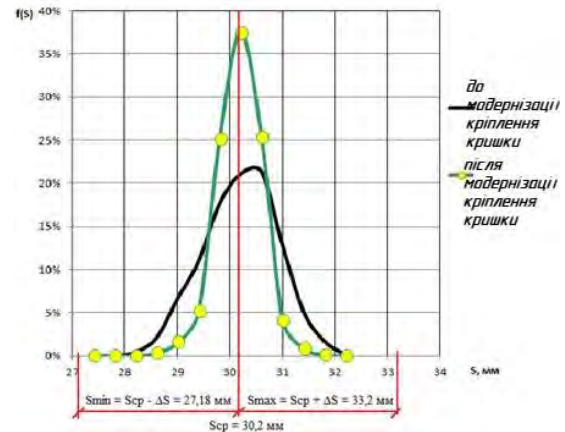


рис. 4 – Різностійність при прошивці гільз на прошивних станах №1 та №2 – закони розподілу значень товщини стінки гільзи Ø327x29

Для більш зручної експлуатації гвинтові пристрої фіксації кришки на станині можна виконати вигляді гідравлічних циліндрів зі штоками (рис. 5), які на кінці мають конусну ділянку, що контактують зі стаканами, які мають конічні ділянки з однаковими параметрами конічності з ділянками штока, та нерухомо встановлені в станині [3].

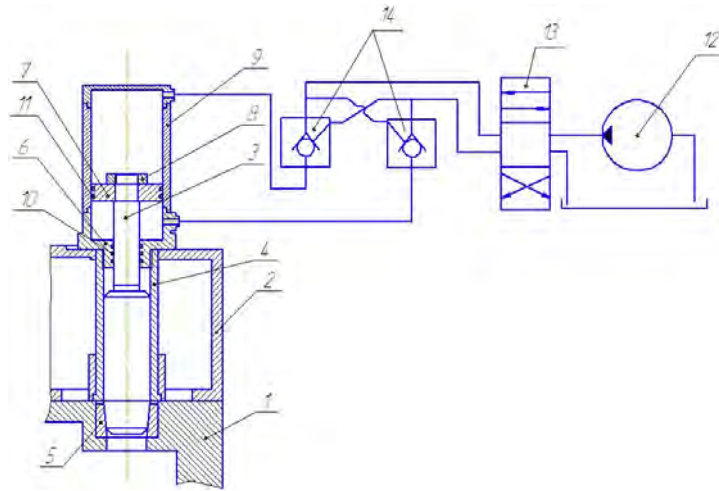


рис. 5 – Схема гідравлічного пристрою фіксації кришки на станині робочої кліті прошивного стану:  
 1 – станина; 2 – кришка станини; 3 – шток гідравлічного циліндра; 4 – циліндричний стакан; 5 – конусний стакан; 6 – кришка; 7 – поршень; 8 – гайка; 9 – гідравлічний циліндр; 10 – ущільнення; 11 – ущільнення; 12 – насос; 13 – гідравлічний розподільник; 14 – двосторонній гідравлічний замок

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Забезпечення надійності станини робочої кліті прошивного стану ТПА 350 після її довготривалої експлуатації /С. Р. Рахманов, С. В. Білодіденко, В. І. Гануш та інші. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. - 2020. - №3. - С. 3-17.
2. Робоча кліть прошивного стану трубопрокатного агрегату. Патент на корисну модель UA 148958 U. Україна: МПК В21В 13/00, В21В 19/02, В21В 31/02 /С. Р. Рахманов, С. В. Білодіденко, В. І. Гануш та інші. Заявник та патентовласник Національна металургійна академія України. Заява у 2021 01403 від 19.03.2021; опубл. 05.10.2021, Бюл. №40.
3. Робоча кліть прошивного стану трубопрокатного агрегату. Патент на корисну модель UA 148972 U. Україна: МПК В21В 13/00, В21В 19/02, В21В 31/02. /С. Р. Рахманов, С. В. Білодіденко, В. І. Гануш. Заявник та патентовласник Національна металургійна академія України. Заява у 2021 02197 від 26.04.2021; опубл. 05.10.2021, Бюл. №40.

*Білодіденко Сергій Валентинович, д.т.н., професор, завідувач кафедри галузевого машинобудування, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро,*

*Гануш Василь Іванович, старший викладач кафедри галузевого машинобудування, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро*

*Біліченко Галина Миколаївна, асистент кафедри галузевого машинобудування, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро*

## DYNAMIC LOADS OF HOUSING OF THE PIERCING CAGE OF 350 PIPE ROLLING UNIT

### Abstract.

*The work is devoted to the assessment of dynamic loads that occur during the piercing of a pipe billet on the piercing stage of the pipe-rolling unit 350, their impact on the quality of the pipe - different thicknesses of the sleeve and on the stress-deformed state of the piercing housing. A device for fixing the cover on the housing is proposed.*

**Key words:** pipe-rolling unit 350, piercing cage, dynamics, different thicknesses, housing, fixing device

## МЕТОД РОЗРАХУНКУ ДЕФОРМУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ ЕЛІПТИЧНОГО ПЕРЕРІЗУ З НЕЛІНІЙНО-ПРУЖНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАНУ

**Анотація.** Класичний підхід до виведення рівнянь теорії тонких оболонок на основі гіпотез Кірхгофа-Лява з використанням функціонала Лагранжа призводить до появи других похідних під інтегралом, що суттєво ускладнювало процес дискретизації при застосуванні варіаційно-різницевого методу (ВРМ). Розділення класичного функціоналу на лінійну і нелінійну частини, використання в лінійній частині множників Лагранжа для реалізації гіпотез Кірхгофа-Лява і подібного підходу для уникнення мембранного замикання, дозволяє вирішувати задачу в рамках лінійної теорії оболонок. Лінеаризація функціоналу, використання методу послідовних наближень (МПН) і ВРМ дають більш алгоритмічний підхід як до побудови системи рівнянь, так і до їх чисельного розв'язання при незначному збільшенні обчислювальних витрат.

**Ключові слова:** еліптичний циліндр, напружено-деформований стан, мембранне замикання, нелінійно-пружний композит, варіаційно-різницевий метод.

Застосування нелінійно-пружних композитних матеріалів для виготовлення циліндричних оболонок веде до необхідності врахування в теорії оболонок нелінійних властивостей композитів [1], а некругова форма поперечного перерізу оболонки - ще й до врахування можливого мембранного замикання (locking).

В декартовій системі координат  $(x, y, z)$  рівняння серединної поверхні оболонки з півосями еліпса  $a$  і  $b$  має вигляд [2]

$$F(x, y) = \left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 - 1 = 0. \quad (1)$$

Віднесемо цю поверхню до криволінійної системи координат  $(s, z, \gamma)$ , в якій координата  $\gamma$  направлена вздовж нормалі до поверхні, а  $s$  є довжиною дуги еліпса, що відрховується від точки  $(x = 0, y = b)$ . Нелінійні фізичні співвідношення в довгій оболонці ( $e_{zz} = 0$ ) за плоского напруженого стану для простих навантажень згідно з теорією пластичності анізотропних середовищ [3] матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{E_{ss}} + \Psi q_{ss}\right) \sigma_{ss} + \left(-\frac{\nu_{sz}}{E_{zz}} + \Psi q_{sz}\right) \sigma_{zz} &= e_{ss}, \\ \left(-\frac{\nu_{zs}}{E_{zz}} + \Psi q_{zs}\right) \sigma_{ss} + \left(\frac{1}{E_{zz}} + \Psi q_{zz}\right) \sigma_{zz} &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $e_{ss}$  – колова деформація;  $\sigma_{ss}$  і  $\sigma_{zz}$  – компоненти колових і поздовжніх напружень;  $E_{ss}$ ,  $E_{zz}$  та  $\nu_{sz}$ ,  $\nu_{zs}$  – модулі пружності та коефіцієнти поперечної деформації ортотропного матеріалу. Нелінійні властивості матеріалу в (2) описуються функцією [1]  $\Psi(f)$ , де  $f$  – квадратична функція напружень, з коефіцієнтами, що є компонентами тензора, що враховує анізотропію нелінійних властивостей. Система рівнянь (2) є суттєво нелінійною, розв'язати її відносно напружень можна чисельно за допомогою методу Ньютона. З огляду на застосування в подальшому МПН в напруженнях виділяються, як доданки, нелінійні та лінійні члени

$$\sigma_{ss}^N = \sigma_{ss} - \sigma_{ss}^L; \quad \sigma_{zz}^N = \sigma_{zz} - \sigma_{zz}^L; \quad \sigma_{ss}^L = \frac{E_{ss}}{1 - \nu_{sz}\nu_{zs}} e_{ss}; \quad \sigma_{zz}^L = \nu_{sz} \sigma_{ss}^L. \quad (3)$$

Відповідно до (3) середні по товщині оболонки внутрішні зусилля  $T_{ss}$ ,  $T_{zz}$  та момент  $M_{ss}$  також подаються у вигляді суми лінійних та нелінійних доданків [1].

Моделювання напружено-деформованого стану оболонки базується на основі варіаційних принципів з використанням змішаного функціонала [1, 3]. Виходячи з принципу віртуальної роботи, вважаючи, що згідно з МПН у формі додаткових напружень величини нелінійних складових відомі з попереднього наближення і не варіюються, варіаційне рівняння можна подати у вигляді

$$\delta \Pi = \delta (\Pi^L + \Pi^N) = 0,$$

$$\text{де } \Pi^L = \frac{1}{2} \iint_{\Omega} (T_{ss}^L \varepsilon_{ss} + T_{zz}^L \varepsilon_{zz} + M_{ss}^L \kappa_{ss}) d\Omega - \iint_{\Omega} p w d\Omega + \iint_{\Omega} T_{s\gamma}^f \varepsilon_{s\gamma} d\Omega - \frac{1}{2} \iint_{\Omega} C_{ss} (\varepsilon_{ss} - \varepsilon_{ss}^f)^2 d\Omega,$$

$$\Pi^N = \iint_{\Omega} (T_{ss}^{Nf} \varepsilon_{ss} + T_{zz}^{Nf} \varepsilon_{zz} + M_{ss}^{Nf} \kappa_{ss}) d\Omega.$$

Функціонал  $\Pi(u, w, \phi, T_{s\gamma}^f, \varepsilon_{ss}^f)$  залежить від чотирьох варіюваних функцій: двох переміщень, кута повороту, зусилля  $T_{s\gamma}^f$ , яке має фізичний зміст перерізуючої сили, та колової деформації-функції  $\varepsilon_{ss}^f$ . Переваги такої побудови функціонала викладено в [3].

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Концентрация напряжений / Гузь А.Н., Космодамианский А.С., Шевченко В.П. и др. – К.: “А.С.К.”, 1998. – 387с. – (Механика композитов: В 12-ти т.; Т. 7).
2. Abrosov Yu. Yu., Maksimyuk V.A., Chernyshenko I.S. Physically Nonlinear Deformation of a Long Orthotropic Cylindrical Shell with Elliptic Cross-Section // Int. Appl. Mech. – 2021. – 57, N 3. – P. 282 – 289.
3. Maksimyuk V.A., Storozhuk E.A., Chernyshenko I.S. Variational Finite-Difference Methods in Linear and Nonlinear Problems of the Deformation of Metallic and Composite Shells (review) // Int. Appl. Mech. – 2012. – 48, N 6. – P. 613 – 687.

*Абросов Юрій Юрійович, здобувач н.с., м.н.с., Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАНУ, м.Київ, [abrosovyuriy@gmail.com](mailto:abrosovyuriy@gmail.com)*

*Максимиук Володимир Ананійович, доктор ф.-м.н., професор, п.н.с., Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАНУ, м.Київ, [volodymyr@inet.ua](mailto:volodymyr@inet.ua)*

#### THE CALCULATING METHOD OF CYLINDRICAL SHELL DEFORMATION WITH ELLIPTICAL CROSS SECTION FROM NONLINEAR-ELASTIC COMPOSITE MATERIALS

**Abstract.** *The classical approach to obtain the equations of the theory of thin shells based on the Kirchhoff–Love hypotheses using the Lagrange functional led to the appearance of second derivatives under the integral, which significantly complicated the discretization process when applying the variational-difference method (VDM). The classical functional division into linear and nonlinear parts, Lagrange multipliers usage in the linear part to implement the Kirchhoff–Love hypotheses and a similar approach to avoid membrane locking allows to solve the problem within the framework of the linear theory of shells. The linearization of the functional, usage of the method of successive approximations and VDM provide a more algorithmic approach both to the construction of a system of equations and to their numerical solution with a slight increase in computational costs.*

**Keywords:** *elliptical cylinder, stress-strain state, membrane locking, nonlinear-elastic composite, variational-difference method.*

*Abrosov Yu. Yu., degree seeker, junior researcher, Institute of Mechanics named by S.P. Tymoshenko, NASU, Kyiv, [abrosovyuriy@gmail.com](mailto:abrosovyuriy@gmail.com)*

*Maksymiuk V. A., doctor of physical and mathematical sciences, professor, leading researcher, Institute of Mechanics named by S.P. Tymoshenko, NASU, Kyiv, [volodymyr@inet.ua](mailto:volodymyr@inet.ua)*

## ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНИЙ СТАН ДОВГОЇ ОВАЛЬНОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ ЗМІННОЇ ТОВЩИНИ

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

### Анотація

Дано постановку і розроблено аналітично-чисельну методику розв'язання пружно-пластичних задач статички для довгої ованої цилиндричної оболонки змінної товщини. Наведено вирази для внутрішніх силових факторів і узагальнених переміщень замкненої оболонки, навантаженої поверхневими і погонними силами. Інтеграл у вказаних виразах обчислюються чисельно з використанням формули трапецій. Отримано конкретні числові результати для оболонки змінної товщини за дії рівномірного внутрішнього тиску.

**Ключові слова:** цилиндрична оболонка, овалний поперечний переріз, змінна товщина, пластичність, аналітично-чисельна методика.

Циліндричні оболонки некругового поперечного перерізу (еліптичного, овалного, суперколового, параболічного, тощо) широко застосовуються в різних галузях сучасної техніки: фюзеляжі пасажирських і вантажних літаків; двигуни військових літаків; корпуси (обтікачі) ракет; канали парогенераторів і оболонки ТВЕЛів ядерних реакторів; резервуари автоцистерн; економайзери парових котлів тощо. У ряді випадків вони виявляються міцнішими, стійкішими і легшими від оболонкових елементів кругового перерізу [1]. При значних рівнях навантажень, що діють на дані елементи конструкцій, властивості їх матеріалів характеризуються нелінійними діаграмами деформування.

Розглянемо нескінченно довгу цилиндричну оболонку овалного поперечного перерізу, виготовлену з однорідного ізотропного матеріалу й навантажено поверхневими  $q$  та погонними  $P_y$  і  $P_z$  силами. Приймаємо, що товщина оболонки  $h$  стала уздовж твірної й змінюється неперервно за напрямною. Навантаження, що діє на оболонку, розподілене уздовж твірної рівномірно. З викладеного вище випливає, що переміщення, деформації й напруження в кожному поперечному перерізі оболонки будуть однаковими, а всі шукані величини будуть змінюватися тільки уздовж напрямної.

Геометрія серединної (координатної) поверхні оболонки задається в глобальній декартовій системі координат  $(X, Y, Z)$ , вісь  $OX$  якої спрямована за віссю циліндра, параметричними рівняннями виду [2, 3]:

$$Y = r_0 \left[ \left( 1 + \frac{\xi}{2} \right) \sin \varphi + \frac{\xi}{6} \sin 3\varphi \right]; \quad Z = r_0 \left[ \left( 1 - \frac{\xi}{2} \right) \cos \varphi + \frac{\xi}{6} \cos 3\varphi \right], \quad (1)$$

де  $r_0 = \frac{a+b}{2}$ ;  $\xi = 3 \frac{a-b}{a+b}$ ;  $\varphi$  – кут між нормаллю до серединної поверхні і вертикальною віссю  $OZ$  ( $-\pi \leq \varphi \leq \pi$ );  $a, b$  – велика і мала півосі поперечного перерізу.

В цьому випадку радіус кривини овалу обчислюється за такою формулою:

$$r = r_0 (1 + \xi \cos 2\varphi). \quad (2)$$

Система нелінійних розв'язувальних рівнянь отримана на основі співвідношень класичної теорії непологих оболонок Кірхгофа–Лява і теорії малих пружно-пластичних деформацій [4].

В роботі запропонована методика розв'язання фізично нелінійних задач статички для довгої ованої цилиндричної оболонки змінної товщини, яка базується на методі додаткових напружень і аналітичному та чисельному (за правилом трапецій) інтегруванні [3].

Виконуючи на кожній ітерації методу додаткових напружень послідовне інтегрування з використанням рівнянь рівноваги, фізичних та геометричних співвідношень, отримуємо такі

вирази для внутрішніх силових факторів  $(N, Q, M)$  і узагальнених переміщень  $(u, w, \mathcal{G})$  овальної оболонки:

$$\begin{aligned}
 N &= -\frac{P_z}{2} \sin \varphi - \frac{P_y}{2} \cos \varphi + \sin \varphi \int_0^{\varphi} r q \cos x \, dx + \cos \varphi \int_{\varphi}^{\pi/2} r q \sin x \, dx; \\
 Q &= \frac{P_z}{2} \cos \varphi - \frac{P_y}{2} \sin \varphi - \cos \varphi \int_0^{\varphi} r q \cos x \, dx + \sin \varphi \int_{\varphi}^{\pi/2} r q \sin x \, dx; \\
 M &= M^* - \frac{1}{L} \int_0^{\varphi} \frac{r(M^* - M^P) dx}{D_M}; \quad \mathcal{G} = -\int_0^{\varphi} \frac{r(M - M^P) dx}{D_M}; \\
 u &= \cos \varphi \int_0^{\varphi} f_1 dx - \sin \varphi \int_{\varphi}^{\pi/2} f_2 dx; \quad w = \sin \varphi \int_0^{\varphi} f_1 dx + \cos \varphi \int_{\varphi}^{\pi/2} f_2 dx.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Тут позначено:  $f_1 = r(\varepsilon \cos x + \mathcal{G} \sin x)$ ;  $f_2 = r(\varepsilon \sin x - \mathcal{G} \cos x)$ ;  $\varepsilon = \frac{N - N^P}{D_N}$ ;  $M^* = \int_0^{\varphi} r Q dx$ ;

$L = \int_0^{\pi/2} \frac{r dx}{D_M}$ ;  $N^P, M^P$  – нелінійні складові тангенціального зусилля і моменту, які враховують

пластичні деформації матеріалу;  $D_N, D_M$  – характеристики жорсткості оболонки.

Ітераційний процес продовжується до збігу результатів у двох сусідніх наближеннях з заданою точністю.

Для овальної циліндричної оболонки змінної товщини  $h = h_0(1 + \beta \cos 2\varphi)$ , яка виготовлена з сплаву АМг-6 і знаходиться під дією рівномірного внутрішнього тиску, з використанням розробленої методики досліджено вплив пластичних деформацій і геометричних параметрів овалу на напружено-деформований стан оболонки та знайдено оптимальне значення параметра  $\beta$ , при якому максимальне напруження є мінімальним за незмінної ваги оболонки.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Soldatos K. P. Mechanics of cylindrical shells with non-circular cross-section: a survey // Appl. Mech. Rev. – 1999. – 52, N 8. – P. 237–274.
2. Chen Y.N., Kempner J. Buckling of oval cylindrical shell under compression and asymmetric bending // AIAA J. – 1976. – 14, No. 9. – P. 1235–1240.
3. Storozhuk E.A., Yatsura A.V. Analytical-Numerical Solution of Static Problems for Noncircular Cylindrical Shells of Variable Thickness // Int. Appl. Mech. – 2017. – 53, N 3. – P. 313–325.
4. Storozhuk E.A., Chernyshenko I.S., Pigoł O.V. Elastoplastic State of an Elliptical Cylindrical Shell with a Circular Hole // Int. Appl. Mech. – 2017. – 53, N 6. – P. 647–654.

**Сторожук Євген Анатолійович**, доктор фізико-математичних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу динаміки і стійкості суцільних середовищ Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ, stevan@ukr.net.

### ELASTO-PLASTIC STATE OF A LONG OVAL CYLINDRICAL SHELL OF VARIABLE THICKNESS

#### Abstract

The statement is given and the analytical-numerical method of solving elastic-plastic problems of statics for a long oval cylindrical shell of variable thickness is developed. Expressions for internal force factors and generalized displacements of a closed shell loaded with surface and linear forces are presented. The integrals in these expressions are calculated numerically using the trapezoid formula. Specific numerical results are obtained for a shell of variable thickness under the action of a uniform internal pressure.

**Key words:** cylindrical shell, oval cross-section, variable thickness, plasticity, analytical-numerical method.

**Evgen Storozhuk**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Leading Researcher of the Department of Dynamics and Stability of Continuous Environments of the Institute of Mechanics named after S.P. Tymoshenko National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, stevan@ukr.net.

## ВПЛИВ ЖОРСТКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ І УМОВ КОНТАКТУ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН НЕСТИСЛИВОГО ПІВПРОСТОРУ З ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ

Інститут механіки імені С.П. Тимошенка Національної академії наук України

### Анотація

*Розглядається попередньо напружений нестисливий півпростір з неоднорідністю у вигляді тонкого поверхневого шару. Зосереджена сила рухається по вільній поверхні захисного шару з постійною швидкістю під певним кутом до поверхні півпростору. Досліджено вплив рухомого навантаження, початкових напружень механічних параметрів елементів шаруватої основи і умов їх сполучення на основні характеристики її напружено-деформованого стану.*

**Ключові слова:** шаруватий нестисливий півпростір, початкові напруження, рухоме навантаження.

Розглядається попередньо напружений нестисливий півпростір з неоднорідністю у вигляді тонкого поверхневого шару. Граничні поверхні плоскі і паралельні між собою. Початковий напружено-деформований стан півпростору вважається однорідним. Зосереджена сила рухається по вільній поверхні захисного шару з постійною швидкістю.

Шар товщиною  $h$  моделюється зосередженими масами з густиною  $\rho_1$ . Розглядається два варіанти контакту між шаром і основою: жорсткий і нежорсткий.

Дослідження проведені у рамках лінеаризованої теорії пружності для тіл з початковими напруженнями [1]. Для розв'язку задачі застосовується метод інтегральних перетворень Фур'є.

Розв'язок отримано в загальному вигляді для матеріалів з довільним пружним потенціалом, для випадків нерівних і рівних коренів характеристичних рівнянь, для різних умов сполучення елементів шаруватого середовища і для будь-якої швидкості руху.

Аналітичні результати свідчать, що напружено-деформований стан попередньо напруженого нестисливого півпростору з неоднорідністю у вигляді тонкого поверхневого шару залежить від механічних параметрів поверхневого шару і півпростору, швидкості руху навантаження, початкових напружень, умов контакту і координат точки, що досліджується.

Чисельні дослідження проведені в рамках теорії скінченних початкових деформацій для матеріалу з пружним потенціалом типу Бартенєва-Хазановича.

Нижче приведені результати дослідження напружено-деформованого стану півпростору при докритичних швидкостях поверхневого навантаження [2]. Вважаємо, що початковий деформований стан плоский і поверхневе навантаження відсутнє.

На рис. 1 і 2 показаний розподіл узагальненого напруження  $\tilde{Q}_{22}$  в півпросторі при  $y_2 = -2h/\lambda_2$  для  $v^2 = 0,1c_0^2$ . Тут  $c_0^2 = \mu/\rho$ . Криві 1, 2, 3, 4 і 5 на рис. 1 і 2 відповідають значенням  $\lambda_1 = 0,8$ ,  $\lambda_1 = 0,9$ ,  $\lambda_1 = 1$ ,  $\lambda_1 = 1,1$  і  $\lambda_1 = 1,2$ . Тут  $v$  - швидкість поверхневого навантаження,  $\mu$  - модуль зсуву півпростору,  $\rho$  - густина матеріалу півпростору,  $\lambda_1$  - початкове видовження.

Аналіз отриманих числових результатів дозволяє зробити наступні висновки. Значення параметрів, що характеризують напружено-деформований стан основи і їх залежність від початкових напружень та механічних параметрів шару та півпростору, визначаються координатами даної точки. Існують області півпростору, в яких значення напружень і швидкостей переміщень мало залежать від початкових деформацій. При заданих  $\lambda_1$  темп росту значень величин, що досліджується, при стискуванні більше, ніж при розтягуванні. Загасання на відстані від точки прикладання навантаження відбувається повільніше при стискуванні, ніж при розтягуванні. При заданих  $\lambda_1$  темп росту значень величин, що досліджується, при стискуванні більше, ніж при розтягуванні.



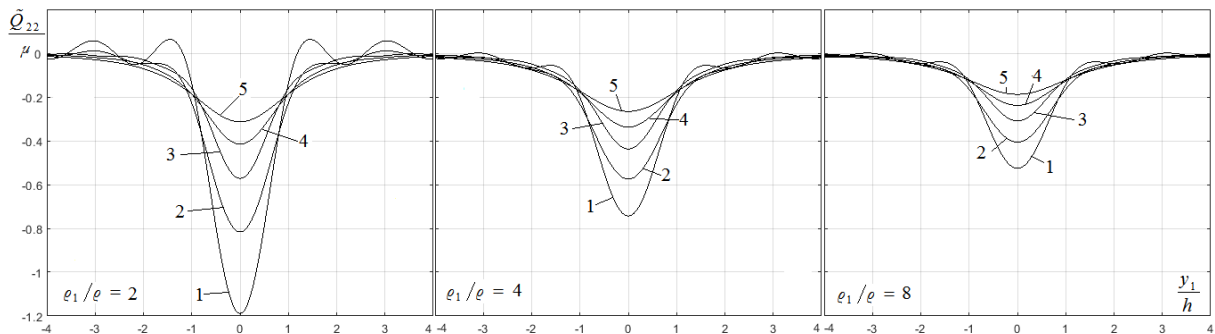


Рис. 1. Нежорсткий контакт.

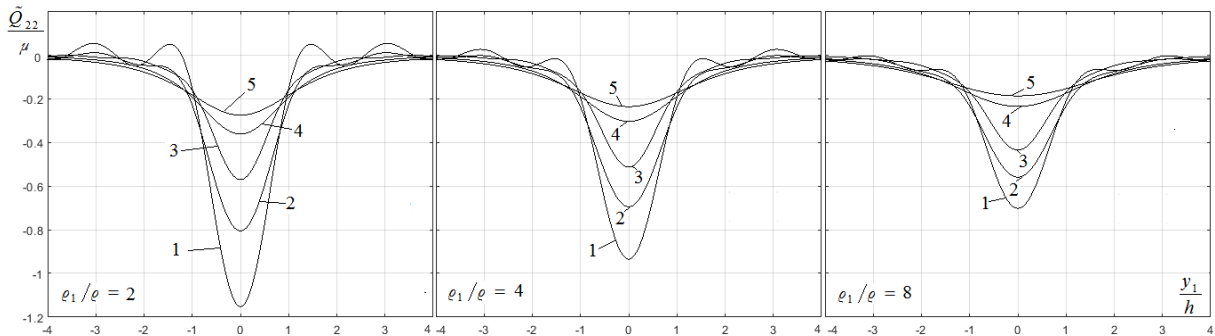


Рис. 2. Жорсткий контакт.

Загасання на відстані від точки прикладання навантаження відбувається повільніше при стискуванні, ніж при розтягуванні. Зі збільшенням швидкості руху навантаження вплив початкових напружень значно посилюється. Особливо це має місце для матеріалу, що попередньо стиснений.

Для більш жорсткого шару вплив швидкості поверхневого навантаження і початкових напружень зменшується.

Значення умов контакту шару і півпростору є суттєвим при збільшенні співвідношення  $e_1/e$ .

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гузь А.Н. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями/ А.Н. Гузь. – Киев: «А.С.К», 2004. – 672 с.

2. Гузь А.Н., Бабич С.Ю., Глухов Ю.П. Смешанные задачи для упругого основания с начальными напряжениями / А.Н. Гузь, С.Ю. Бабич, Ю.П. Глухов. – Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 468 с.

**Глухов Юрій Петрович**, кандидат фізико-математичних наук, доцент, старший науковий співробітник відділу динаміки і стійкості суцільних середовищ, Інститут механіки імені С.П. Тимошенка Національної академії наук України, Київ, [gluchov.uriy@gmail.com](mailto:gluchov.uriy@gmail.com)

### INFLUENCE OF SURFACE LAYER STIFFNESS AND CONTACT CONDITIONS ON STRESS-STRAIN STATE OF INCOMPRESSIBLE HALF-SPACE WITH INITIAL STRESSES

#### Abstract

*A prestressed incompressible half-space with inhomogeneity in the form of a thin surface layer is considered. The concentrated force moves along the free surface of the protective layer at a constant speed at a certain angle to the surface of the half-space. The impact of the moving load, initial stresses and mechanical parameters of the elements of the layered base and conditions of their conjugation on the main characteristics of its stress-strain state was studied.*

**Key words:** layered incompressible half-space, initial stresses, moving load

**Yuriy Glukhov**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Senior Research Fellow at Department of Dynamics and Stability Continuum, S.P. Timoshenko Institute of Mechanics of the NAS of Ukraine, Kiev, [gluchov.uriy@gmail.com](mailto:gluchov.uriy@gmail.com)

## АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАТЕРІАЛУ ПРИ ВИСАДЖУВАННІ ЗОВНІШНІХ ФЛАНЦІВ НА КІЛЬЦЕВИХ ЗАГОТОВКАХ МЕТОДОМ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ

Вінницький національний аграрний університет<sup>1</sup>, Вінницький національний технічний  
університет<sup>2</sup>

### Анотація

*Розглянуто результати дослідження напружено-деформованого стану матеріалу кільцевих заготовок при висаджуванні зовнішніх фланців методом штампування обкочуванням. Математична модель шляхів деформування побудована у вигляді базисної сплайн подібної функції «склеєної» з двох різних функцій з подальшим поворотом на деякий кут навколо початку координат та зсуненням вздовж осі показника напруженого стану. На основі задання шляху деформування у параметричному вигляді та з використанням лінійного та нелінійного принципів підсумовування пошкоджень побудовані моделі деформованості матеріалу небезпечної зони заготовки.*

**Ключові слова:** штампування обкочуванням, висаджування фланців, напружено-деформований стан, шлях деформування, модель деформованості.

Розглядаються експериментальні та аналітичні методики, а також результати аналізу напружено-деформованого стану (НДС) матеріалу кільцевих заготовок при висаджуванні зовнішніх фланців методом штампування обкочуванням (МШО). Актуальність дослідження обумовлена необхідністю пошуку шляхів для розширення технологічних можливостей МШО та підвищення якості отримуваних виробів.

Аналіз НДС здійснювався з використанням експериментально-розрахункових методів сіток і вимірювання твердості, а також моделюванням процесу з використанням програмного комплексу DEFORM – 3D, а його результати наведено у працях [1÷7]. За результатами проведених експериментів були схематично побудовані шляхи (траєкторії) деформування часток матеріалу небезпечних зон заготовки в координатах « $\varepsilon_i - \eta$ » (інтенсивність деформацій – показник напруженого стану). На їх основі побудована математична модель цих траєкторій. За базисну було взято однопараметричну функцію, що «склеєна з елементарної функції синус та дотичної до неї в деякій точці».

Базисна функція набула вигляду:

$$\varepsilon_i = \begin{cases} \sin(\eta), & 0 \leq \eta \leq \eta_1 \\ \sin(\eta_1) + \cos(\eta_1) \cdot (\eta - \eta_1), & \eta > \eta_1 \end{cases} \quad (1)$$

Ця функція є сплайн подібною, тобто «склеєна» з двох різних функцій: частин синусоїди та дотичної до неї. В точці «склейки»  $\eta = \eta_1$  виконується не тільки умова неперервності функції, а й її першої похідної.

З метою описання довільного діапазону зміни накопиченої пластичної деформації отримана крива апроксимація шляху деформування за допомогою повороту навколо початку координат та зсунення вздовж осі показника напруженого стану була узагальнена до вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta' = \begin{cases} \eta \cdot \cos(\alpha) - \sin(\eta) \cdot \sin(\alpha) - 1, & 0 \leq \eta \leq \eta_1 \\ \eta \cdot \cos(\alpha) - [\sin(\eta_1) + \cos(\eta_1) \cdot (\eta - \eta_1)] \cdot \sin(\alpha) - 1, & \eta > \eta_1 \end{cases} \\ \varepsilon'_i = b \cdot \begin{cases} \eta \cdot \sin(\alpha) + \sin(\eta) \cdot \cos(\alpha), & 0 \leq \eta \leq \eta_1 \\ \eta \cdot \sin(\alpha) + [\sin(\eta_1) + \cos(\eta_1) \cdot (\eta - \eta_1)] \cdot \cos(\alpha), & \eta > \eta_1 \end{cases} \end{array} \right. \quad (2)$$

де  $b$  - стала, що залежить від параметрів технологічного процесу.

Використовуючи параметричне завдання шляху деформування  $\varepsilon_i - \eta$  нами був вперше описаний загальний вираз моделі лінійного підсумовування пошкоджень матеріалу небезпечної зони заготовки. Для визначення використаного ресурсу пластичності було прийнято модель підсумовування пошкоджень зі степеневою апроксимацією функції пошкоджень, обґрунтованість якої надано у працях [8÷14]. Використовуючи розроблену модель підсумовування пошкоджень можна проводити моделювання шляхом зміни значень параметрів моделі для різних матеріалів та технологічних параметрів процесу штампування обкочуванням, визначаючи таким чином величину використаного ресурсу пластичності або граничні до руйнування деформації.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матвійчук В. А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: Монография / В. А. Матвійчук, И. С. Алиев. – Краматорск: ДГМА, 2009. – 268 с. —ISBN 978-966-379-317-7.
2. Михалеви́ч В. М. Оцінка деформовності матеріалу при висаджуванні елементів заготовок методом штампування обкочуванням / В. М. Михалеви́ч, В. А. Матвійчук, М. А. Колісник // ТЕХНІКА, ЕНЕРГЕТИКА, ТРАНСПОРТ АПК. – Вінниця: ВНАУ – 2022. № 2 (117). С. 104-114.
3. Matviichuk, V., Bubnovska, I., Mykhalevych, V., Kovalchuk, M., Wójcik, W., Tuleshov, A., & Imanbek, B. Tensor models of accumulation of damage in material billets during roll forging process in several stages. // «Mechatronics» Vol. II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 2021. p. 111-120. - ISBN 9781032105857. doi: 10.1201/9781003225447-10.
4. Mikhalevich V. M. Modeling of plastic deformation in a cylindrical specimen under edge compression / V. M. Mikhalevich, A. A. Lebedev and Yu. V. Dobranyuk // Strength of Materials. - Volume 43, Number 6 (2011), P. 591-603, doi:10.1007/s11223-011-9332-7.
5. Краєвський В. О., Матвійчук В. А., Михалеви́ч В. М. Вплив технологічних параметрів на кінематику холодного торцевого розкочування. Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії. Краматорськ-Слов'янськ. 2003. С. 286–291.
6. Матвійчук В.А., Колісник М.А., Штуць А.А. Дослідження напружено-деформовного стану матеріалу заготовок при прямому витискуванні методом штампування обкочування. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018. № 3(102). С. 77-84.
7. Viktor Matvijchuk., Andrii Shtuts., Mykola Kolisnyk., Ihor Kupchuk., Iryna Derevenko. Investigation of the Tubular and Cylindrical Billets Stamping by Rolling Process with the Use of Computer Simulation. Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering. 2022. №1 (66), P. 51–58.
8. Михалеви́ч В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень / В. М. Михалеви́ч. — Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1998. — 195 с. — ISBN 966-7199-20-7.
9. Матвійчук В. А. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому і зворотному витискуванні методом штампування обкочуванням/ В. А. Матвійчук, В. М. Михалеви́ч, М. А. Колісник // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця: ВНАУ – 2022. – № 1(104). – С. 81 91.
10. Михалеви́ч В. М. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому видавлюванні методом штампування обкочуванням/ В. М. Михалеви́ч, В. А. Матвійчук, М. А. Колісник // Обробка матеріалів тиском: збірник наукових праць. — Краматорск : ДДМА. — 2022. — №1(51). — С. 87—97. DOI: 10.37142/2076-2151/2022-1(51)87.
11. Михалеви́ч В. М. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при вальцюванні / В. М. Михалеви́ч, В. А. Матвійчук, І. А. Бубновська // ТЕХНІКА, ЕНЕРГЕТИКА, ТРАНСПОРТ АПК. – Вінниця: ВНАУ – 2021. – № 2(113). – С. 22-30.
12. Михалеви́ч В. М. Моделі підсумовування розсіяних пошкоджень в процесах пластичного деформування / В. М. Михалеви́ч, Ю. В. Добранюк, В. А. Матвійчук, Є. А. Трач // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. пр. Темат. вип. : Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 43 (1086). – С. 98 103.
13. Михалеви́ч В. М. Порівняльне дослідження моделей граничних пластичних деформацій / В. М. Михалеви́ч, Ю. В. Добранюк, О. В. Краєвський // Вісник машинобудування та транспорту. – Вінниця: ВНТУ – 2018. – № 2(8). – С. 56 64.
14. Volodymyr Mykhalevych, Yurii Dobraniuk, Victor Matviichuk, Volodymyr Kraievskiy, Oksana Tiutiunnyk, Saule Smailova, Ainur Kozbakova. A comparative study of various models of equivalent plastic strain to fracture. Informatyka, Automatyka, Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Środowiska. 2023. № 1. P. 54-70. DOI: <http://doi.org/10.35784/iapgos.3496>

**Віктор Андрійович Матвійчук** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки», Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, e-mail: [vamatv50@gmail.com](mailto:vamatv50@gmail.com);

**Володимир Маркусович Михалеви́ч** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [vmikhail@gmail.com](mailto:vmikhail@gmail.com)

**Колісник Микола Анатолійович** — асистент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки», Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [kolisnik30@gmail.com](mailto:kolisnik30@gmail.com)

ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE MATERIAL WHEN PRODUCING EXTERNAL FLANGES ON RING BLANKS BY THE METHOD OF FORGING RUN

**Abstract**

*The results of the study of the stress-strain state of the material of the ring blanks during the upsetting of the outer flanges by the method of forging by running are considered. The mathematical model of deformation paths is constructed as a basic spline-like function "glued" from two different functions with subsequent rotation by some angle around the origin and a shift along the axis of the stress state index. Based on the specification of the deformation path in a parametric form and using the linear and nonlinear principles of damage summation, models of material deformation of the dangerous zone of the workpiece are constructed..*

**Keywords:** rolling stamping, flange upsetting, stress-strain state, deformation path, deformation model.

**Matviichuk Viktor A.** — *Dr. Sc. (Eng.), Head of the Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, [vamatv50@gmail.com](mailto:vamatv50@gmail.com)*

**Mykhalevych Volodymyr M.** — *Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair for Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [mykhalevych@yntu.edu.ua](mailto:mykhalevych@yntu.edu.ua)*

**Kolisnyk Mykola A.** — *Assistant Professor, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, e-mail: [kolisnik30@gmail.com](mailto:kolisnik30@gmail.com)*

## ОЦІНКА ДЕФОРМІВНОСТІ МАТЕРІАЛУ ПРИ ВИСАДЖУВАННІ ЗОВНІШНІХ ФЛАНЦІВ НА ТРУБНИХ ЗАГОТОВКАХ КОНІЧНИМ ВАЛКОМ

Вінницький національний технічний університет<sup>1</sup>, Вінницький національний аграрний  
університет<sup>2</sup>

### Анотація

*Розглянуто математичну модель оцінки деформівності матеріалу під час пластичного деформування. Модель складається з трьох компонентів, що враховують властивості матеріалу, зміни напружено-деформованого стану та закон підсумовування пошкоджень. Параметри моделі визначено методом найменших квадратів шляхом розв'язанням числовим методом мінімізації нелінійної функції двох аргументів. Показано, що певні зміни технологічних параметрів процесу штампування обкоченням для окремих матеріалів можуть помітно знизити деформівність заготовки без руйнування.*

**Ключові слова:** штампування обкочуванням, конічний валок, висаджування фланців, шлях деформування, модель деформівності, траєкторія накопичення пошкоджень.

Оцінка деформівності традиційно здійснюється за допомогою певної математичної моделі, що складається з трьох основних компонентів.

Перший компонент відображує властивості матеріалу заготовки за умови так званого стаціонарного деформування [1÷5]. Під час стаціонарного деформування залишаються незмінними всі показники, від яких залежить гранична деформація до руйнування матеріалу.

Другий компонент відображує особливості зміни напружено-деформованого стану (НДС) матеріалу заготовок під час технологічної операції обробки тиском [6÷10].

Третій компонент відображує обраний закон підсумовування пошкоджень [11÷14].

Всі три компоненти є окремими математичними моделями, поєднання яких надає можливість отримати математичну модель оцінки деформівності матеріалу при пластичному деформуванні.

Модель шляху деформування будували за допомогою створення диференціального рівняння, що задовольняє низці вимог

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = -\frac{3 \cdot (1 + \theta)}{4} \cdot \left( \frac{1}{3} + \frac{1}{1 + \left(\frac{\varepsilon_\varphi}{m}\right)^2} \right), m > 0, 0 \leq \theta \leq 1, \quad (1)$$

де  $\varepsilon_z, \varepsilon_\varphi$  - осьова та колова логарифмічні деформації в області небезпечної ділянки матеріалу заготовки;  $m, \theta$  - параметри моделі, що відображують особливості параметрів технологічного процесу.

Числові значення параметрів моделі визначалися методом найменших квадратів на основі результатів замірів спотвореної ділянової сітки на окремих етапах деформування. Задачу мінімізації нелінійної функції двох аргументів розв'язували числовим методом за допомогою стандартної функції LSSolve в середовищі СКМ Maple.

З метою наочного зображення процесу накопичення пошкоджень в небезпечній ділянці матеріалу заготовки під час пластичного деформування отримано аналітичний опис відповідних траєкторій

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta(t) = \frac{3 + \sqrt{3} \cdot f(\theta, t)}{\sqrt{9 + f^2(\theta, t)}}, \quad \theta \in [0, 1], t \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right], m \in [0, \infty), \\ \psi(t) = \frac{\sqrt{3}}{6 \cdot e_k} \cdot m \cdot \int_0^t \frac{\sqrt{3 \cdot \left( \left( \frac{f^2(\theta, x)}{3} \right)^2 + 1 \right)}}{\cos^2(x)} \times \\ \times \left[ \frac{(e_k^2 - e_c \cdot e_p) \cdot \frac{3 + \sqrt{3} \cdot f(\theta, t)}{\sqrt{9 + f^2(\theta, t)}} + e_k^2 + e_c \cdot e_p}{e_k \cdot e_p} \right]^{\frac{3 + \sqrt{3} \cdot f(\theta, t)}{\sqrt{9 + f^2(\theta, t)}}} dx \\ f(\theta, x) = \sqrt{3} \cdot \left( 1 - \frac{(1 + \theta) \cdot (1 + 3 \cos^2(t))}{2} \right), \end{array} \right. \quad (2)$$

$$(3)$$

де  $\eta$  - показник напруженого стану;  $\psi$  - ресурс пластичності;  $e_c, e_k, e_p$  - граничні значення деформації матеріалу під час випробувань за умов стиску, зсуву та розтягу відповідно.

Графік залежності накопиченого ресурсу пластичності в залежності від зміни показника напруженого стану є наочним тільки за умови розміщення разом з кривою відповідного шляху деформування в координатах «показник напруженого стану – накопичена деформація».

В результаті моделювання деформівності показано, що особливості технологічних параметрів процесу штампування обкоченням, зокрема, зміщення вершини конічного валка, для окремих матеріалів може помітно знизити здатність заготовки сприймати пластичну деформацію без руйнування зони матеріалу бічної поверхні.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Volodymyr Mykhalevych, Yurii Dobraniuk, Victor Matviichuk, Volodymyr Kraievskiy, Oksana Tiutiunyk, Saule Smailova, Ainur Kozbakova. A comparative study of various models of equivalent plastic strain to fracture. *Informatyka, Automatyka, Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Środowiska*. 2023. № 1. P. 54-70. DOI: <http://doi.org/10.35784/iapgos.3496>.
2. Михалевич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень / В. М. Михалевич. — Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1998. — 195 с. — ISBN 966-7199-20-7.
3. Михалевич В. М. Оцінка деформовності матеріалу при висаджуванні елементів заготовок методом штампування обкочуванням / В. М. Михалевич, В. А. Матвійчук, М. А. Колісник // ТЕХНІКА, ЕНЕРГЕТИКА, ТРАНСПОРТ АПК. – Вінниця: ВНАУ – 2022. № 2 (117). С. 104-114.
4. Михалевич В. М. Порівняльне дослідження моделей граничних пластичних деформацій / В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк, О. В. Краєвський // Вісник машинобудування та транспорту. – Вінниця: ВНТУ – 2018. – № 2(8). – С. 56-64.
5. V. Mykhalevych, V. Kraievskiy, O. Mykhalevych, O. Hrushko, A. Kotyra, P. Drożdziel, O. Mamyrbayev, S. Orazalieva. Modeling of the exhaustion and regeneration of the resource regularities of objects with different natures // «Mechatronics» Vol. II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 2021. p. 27-38. - ISBN 9781032105857. doi: 10.1201/9781003225447-3.
6. Matviichuk, V., Bubnovska, I., Mykhalevych, V., Kovalchuk, M., Wójcik, W., Tuleshov, A., & Imanbek, B. Tensor models of accumulation of damage in material billets during roll forging process in several stages. // «Mechatronics» Vol. II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 2021. p. 111-120. - ISBN 9781032105857. doi: 10.1201/9781003225447-10.
7. Mikhalevich V. M. Modeling of plastic deformation in a cylindrical specimen under edge compression / V. M. Mikhalevich, A. A. Lebedev and Yu. V. Dobranyuk // *Strength of Materials*. - Volume 43, Number 6 (2011), P. 591-603, doi:10.1007/s11223-011-9332-7.
8. Краєвський В. О., Матвійчук В. А., Михалевич В. М. Вплив технологічних параметрів на кінематику холодного торцевого розкочування. Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії. Краматорськ-Слов'янськ. 2003. С. 286–291.

9. Матвійчук В.А., Колісник М.А., Штуць А.А. Дослідження напружено-деформовного стану матеріалу заготовок при прямому витискуванні методом штампування обкочування. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018. № 3(102). С. 77-84.
10. Viktor Matvijchuk., Andrii Shtuts., Mykola Kolisnyk., Ihor Kupchuk., Iryna Derevenko. Investigation of the Tubular and Cylindrical Billets Stamping by Rolling Process with the Use of Computer Simulation. Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering. 2022. №1 (66), P. 51–58.
11. Матвійчук В. А. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому і зворотному витискуванні методом штампування обкочуванням/ В. А. Матвійчук, В. М. Михалевич, М. А. Колісник // Вібраційтехнікатехнологіях. – Вінниця: ВНАУ – 2022. – № 1(104). – С. 81-91.
12. Михалевич В. М. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому видавлюванні методом штампування обкочуванням/ В. М. Михалевич, В. А. Матвійчук, М. А. Колісник // Обробка матеріалів тиском: збірник наукових праць. — Краматорск : ДДМА. — 2022. — №1(51). — С. 87—97. DOI: 10.37142/2076-2151/2022-1(51)87.
13. Михалевич В. М. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при вальцюванні / В. М. Михалевич, В. А. Матвійчук, І. А. Бубновська // ТЕХНІКА, ЕНЕРГЕТИКА, ТРАНСПОРТАПК. – Вінниця: ВНАУ – 2021. – № 2(113). – С. 22-30.
14. Михалевич В. М. Моделі підсумовування розсіяних пошкоджень в процесах пластичного деформування / В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк, В. А. Матвійчук, С. А. Трач // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. пр. Темат. вип. : Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 43 (1086). – С. 98-103.

**Володимир Маркусович Михалевич**— д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail:[ymykhal@gmail.com](mailto:ymykhal@gmail.com)

**Віктор Андрійович Матвійчук**— д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки», Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, e-mail:[yamatv50@gmail.com](mailto:yamatv50@gmail.com);

**Штуць Андрій Анатолійович**— асистент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки», Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail:[shtuts1989@gmail.com](mailto:shtuts1989@gmail.com)

#### ASSESSMENT OF MATERIAL DEFORMABILITY DURING EXTERNAL FLANGE FORMING ON TUBULAR BLANKS USING A CONICAL ROLL

##### Abstract

*A mathematical model for assessing material deformability during plastic deformation has been considered. The model consists of three components that account for material properties, changes in stress-strain state, and a damage accumulation law. The model parameters were determined using the least squares method by solving a numerical minimization problem of a nonlinear function with two variables. It has been demonstrated that certain changes in the technological parameters of the coining stamping process for specific materials can significantly reduce the deformability of the workpiece without causing failure.*

**Keywords:** *rolling stamping, flange upsetting, mathematical model, deformation path, deformation model.*

**Mykhalevych Volodymyr M.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair for Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [mykhalevych@vntu.edu.ua](mailto:mykhalevych@vntu.edu.ua)

**Matvijchuk Viktor A.**— Dr. Sc. (Eng.), Head of the Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, [yamatv50@gmail.com](mailto:yamatv50@gmail.com)

**Shtuts Andrii A.** — Assistant Professor, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, e-mail:[shtuts1989@gmail.com](mailto:shtuts1989@gmail.com)

## НАПРЯМКИ ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОШАРОВОГО ЛОКАЛЬНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Розглянуто сучасний стан та тенденції розвитку процесу пошарового локального деформування листових заготовок. Описані основи процесу та обладнання для його реалізації. Проаналізовано вплив параметрів інструменту та матеріалу заготовки на напружено-деформований стан та визначено напрямки покращення процесу пошарового локального деформування.*

**Ключові слова:** пошарове локальне деформування, напружено-деформований стан, використаний ресурс пластичності.

### **Вступ**

Основними напрямками сучасного розвитку обробки металів тиском є підвищення якості та збезпечення технологічної спадковості готових виробів з листових заготовок. Однією із важливих задач при виготовленні деталей є забезпечення високої якості робочих поверхонь і покращення фізико-механічних характеристик виробів з листових заготовок. Одним з напрямків удосконалення обробки тонкостінних заготовок в дрібносерійному виробництві є процеси локального деформування. Перевагою цих процесів є точкове прикладання зовнішнього навантаження, що в порівнянні з традиційними процесами штампування знижує деформуєче зусилля, а характер її застосування істотно підвищує пластичні властивості матеріалу [1].

### **Результати дослідження**

Пошарове локальне деформування (incremental metal forming) - процес деформування листового металу, у якому невеликий пуансон діаметром 5 - 15 мм використовується для локальної деформації заготовки вздовж заданої траєкторії. Торець пуансона найчастіше напівсферичний, кулястий або плоский. Даний процес використовується для утворення різноманітних заглиблень, канавок та ребер у невеликих деталях, які виготовляються з листових заготовок. Під час формозміни пуансон деформує заготовку шляхом натискання на неї. Величина прикладеного тиску визначає глибину та форму створюваного елемента.

Існує два основних способи переміщення пуансона при утворенні заглиблень в заготовці: по спіралі або пошарово. Переміщення пуансона вздовж спіралі має перевагу у створенні гладкої внутрішньої поверхні без дефектів, оскільки відсутній перехід між шарами. Величина кроку деформації (осьова і/або радіальна відстань між сусідніми витками) коливається від 0,1 до 1 мм в залежності від діаметра пуансона і товщини заготовки [2].

Основною перевагою використання технології пошарового локального деформування є використання існуючого парку обладнання будь-якого машинобудівного підприємства, а саме: фрезерних верстатів з ЧПК та промислових роботів-манипуляторів.

Найбільша частка теоретичних та експериментальних досліджень процесу пошарового локального деформування [3,4] спрямована на визначення напружено-деформованого стану матеріалу в точці формозміни та визначенні залишкових напружень в порівнянні з традиційними процесами штампування листових заготовок.

У статті [5] зазначається, що гранична деформаційна здатність матеріалів, яка є максимальною величиною деформації, яку може зазнати матеріал, перш ніж він вийде з ладу, зростає зі зменшенням діаметра пуансона. Це пояснюється тим, що менший пуансон створює більш локалізовану деформацію, яка з меншою ймовірністю призведе до руйнування матеріалу.

В роботі [6], приведені результати моделювання процесу пошарового локального деформування методом скінчених елементів. При цьому, в основному розглядаються вироби простої геометричної



форми, а траєкторії переміщення деформуючого інструменту задаються досить простими математичними рівняннями. На даний момент відсутні дослідження напружено-деформованого стану матеріалу для поверхонь складної просторової форми з різнонаправленими кутами нахилу. Також відсутні дослідження впливу параметрів процесу та характеристик матеріалу листової заготовки на використаний ресурс пластичності.

### Висновки

Однією із основних задач щодо дослідження та покращення процесу пошарового локального деформування є визначення впливу геометричних характеристик поверхонь деталі, фізико-механічних характеристик матеріалу деталі та форма і геометрія переміщення інструменту на неоднорідність напружено-деформованого стану та величину використаного ресурсу пластичності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Behera A.K. Single point incremental forming: An assessment of the progress and technology trends from 2005 to 2015 / A.K. Behera, R.A. de Sousa, G. Ingarao, V. Oleksik // Journal of Manufacturing Processes. 2017. V. 27. P. 37-62. DOI: 10.1016/j.jmapro.2017.03.014
2. Behera A. K. Tool path compensation strategies for single point incremental sheet forming using multivariate adaptive regression splines / A. K. Behera, J. Verbert, B. Lauwers, J. R. Duflou // Comput. des., 45(3), 2013. – pp. 575–590.
3. Shim M.-S. The formability of aluminum sheet in incremental forming / M.-S. Shim, J.-J. Park // Journal of Materials Processing Technology. 2001. V. 113, Iss. 1-3. P. 654-658. DOI: 10.1016/S0924-0136(01)00679-3
4. Park J.-J. Fundamental studies on the incremental sheet metal forming technique / J.-J. Park, Y.-H. Kim // Journal of Materials Processing Technology. 2003. V. 140, Iss. 1-3. P. 447-453. DOI: 10.1016/S0924-0136(03)00768-4
5. Centeno G. Critical analysis of necking and fracture limit strains and forming forces in single-point incremental forming / G. Centeno, I. Bagudanch, A.J. Martínez-Donaire, M.L. Garcia-Romeu, C. Vallellano // Materials and Design. 2014. V. 63. P. 20-29. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.05.066.
6. Zettler J. Incremental sheet forming – process simulation with LS-DYNA / J. Zettler, H. Rezai, B. Taleb-Araghi, M. Vambach, G. Hirt // 6th German LS-DYNA forum (October, 11-12, 2007, Frankenthal, Germany).

**Баранов Владислав Анатолійович** — аспірант, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 1tt.17b.baranov@gmail.com

**Сухоруків Сергій Іванович** — канд. технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет

### DIRECTIONS FOR IMPROVING THE PROCESS OF INCREMENTAL METAL FORMING OF SHEET BLANKS

#### **Abstract**

*The current state and development trends of the process of incremental metal forming of sheet blanks are considered. The basics of the process and equipment for its implementation are described. The influence of tool parameters and blank material on the stress-strain state was analyzed, and directions for improving the process of incremental metal forming were determined.*

**Keywords:** incremental metal forming, stress-strain state, used plasticity resource

**Baranov Vladyslav A.** – PHD student of the Department of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 1tt.17b.baranov@gmail.com

**Sukhorukov Sergiy I.** – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

## ВИГОТОВЛЕННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ХОЛОДНИМ ЛИСТОВИМ ШТАМПУВАННЯМ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

В роботі розглядається методика визначення раціональних параметрів процесу виготовлення заготовок з листових матеріалів вісесиметричних деталей пластичним деформуванням. Досліджено вплив геометричних параметрів заготовки та технологічного зазору між матрицею та пуансоном на пошкодженість матеріалу в об'ємі навколо пробитого отвору. Встановлено, що зміна розмірів заготовки та штампової оснастки дозволяє зменшити прогнозовану кількість браку за критерієм виникнення граничних пошкоджень на заключних операціях.

**Ключові слова:** листовий матеріал, холодне пластичне деформування, гранична деформація, виробування, пуансон, пошкодження.

### Вступ

Деталь типу "Фланець", виготовлені з листового матеріалу, знайшли широке застосування у різних виробках. На рисунку 1 показано приклад заготовок таких деталей. Основною проблемою у виготовленні зазначених заготовок пластичним деформуванням є виникнення та розвиток пошкоджень на циліндричній частині, яка формується витягуванням або відбортовуванням. В результаті емпіричного призначення розмірів оснастки для операцій деформування, коливання фізико-механічних властивостей листа виникають дефекти та брак. Кількість браку пов'язаного з наявністю тріщини може сягати 30% від партії деталей.

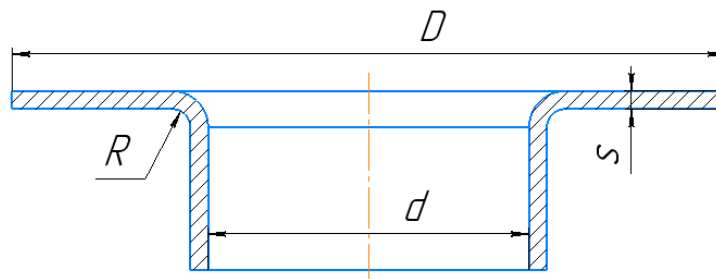


Рисунок 1 – Приклад заготовки деталі типу «Фланець»

### Результати досліджень

В літературних джерелах [1, 2, 3] основними геометричними параметрами, що впливають на процес витягування, вважають: 1) радіус витяжного ребра матриці (радіус округлення на матриці)  $R$ ; 2) радіус округлення торця пуансона; 3) зазор між пуансоном і матрицею; 4) розміри заготовки  $d$  (визначається пуансоном чи матрицею в залежності від способу формування) і  $D$ ; 5) товщина листа заготовки.

З метою встановлення впливу геометричних параметрів на пошкодженість поверхонь заготовки розглянуто деталь типу «Фланець» з такими параметрами: внутрішній діаметр  $d$  – 28,3 мм, а зовнішній  $D$  – 62,7 мм, товщина листа – 2 мм. Тому, для розрахунків розмірів заготовки методом рівної ваги приймали діапазон зміни внутрішнього отвору під відбортовування в межах від 10 до 35 мм та відповідні їм зовнішні діаметри в межах 59–68 мм.

Згідно різноманітних довідникових джерел для сталевих листів товщиною 2 мм рекомендовано приймати радіуси заокруглення матриці величиною від 12 до 20 мм.

За результатами розрахунків, проведених за допомогою програми Deform 2D3D, отримано

залежності впливу внутрішнього діаметра заготовки, радіуса заокруглення пуансона та величини зазору на пошкодженість матеріалу  $\psi$ . Ці залежності демонструють наявність локальних максимумів і мінімумів (рисунок 2 і 3), а у випадку зазору – його зростання призводить до поступового зменшення рівня пошкодженості циліндричної поверхні в процесі витягування.

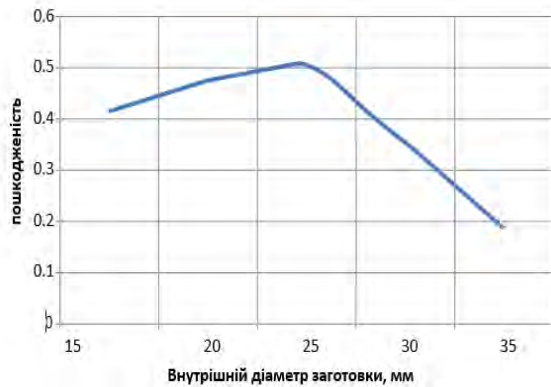


Рисунок 2 – Залежність пошкодженості матеріалу від діаметра отвору в заготовці

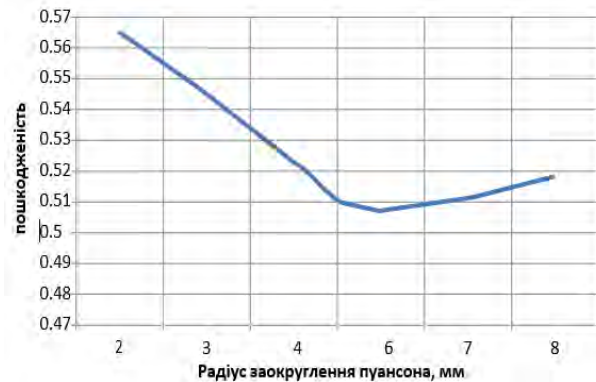


Рисунок 3 – Залежність пошкодженості матеріалу від радіуса заокруглення пуансона

З залежності, показаної на рисунку 2 випливає, що доцільно збільшувати діаметр отвору в заготовці, але не більше 30 мм, оскільки такі розміри не дозволяють отримувати необхідну геометричну форму.

Збільшення радіуса заокруглення пуансона (рисунок 3) призводить до поступового зменшення величини  $\psi$  за рахунок полегшення переміщення матеріалу листа вздовж пуансона і зменшення внутрішніх напружень. Разом з тим, подальше збільшення радіусу пуансона вище певної межі призводить до збільшення пошкодженості за рахунок збільшення взаємодії листа і пуансона. Отже мінімум пошкодженень проявляється при радіусах заокруглення пуансона в межах  $2 \div 4$  товщини листа  $s$ .

Збільшення зазору до 2s мм призводить до різкого зменшення пошкодженості матеріалу, проте випробування показали, що при таких зазорах втрачається форма деталі. Відтак більш доцільним є використання зазорів до 1.5s мм.

На основі вище наведених міркувань та розрахунків рекомендованими до використання на виробництві є заготовка з зовнішнім діаметром 64 мм та внутрішнім діаметром – 29 мм.

Відповідно до ГОСТ 9045-93 розсіювання параметрів пластичності сталі 08кп становить близько 30%. На основі [4,5] та величини інтенсивності деформацій під час витягування ( $\epsilon_u=0,5$ ) можна сказати, що розсіювання величини пошкодженості в циліндричній частині деталі буде становити близько 0,6 ( $\pm 0,3$ ). Це означає, що частина деталей партії з середнім рівнем пошкодженень близьким до 0,7 матимуть тріщини та дефекти і цей параметр варіюватиметься від 0,4 до 1 в залежності від конкретних умов. При цьому частина деталей матиме приховані дефекти, що можуть проявити себе на стадії подальшої обробки, складання чи експлуатації.

Для визначення відсотку деталей у партії, що матимуть явні та приховані дефекти, та з метою врахування пошкодженень матеріалу (мікротріщини, надриви) після попередньої операції вирубування вважатимемо, що граничною величиною пошкодженень, які призводять до появи видимих дефектів і браку буде величина пошкодженень 0,8. Оскільки немає домінуючих факторів, що впливають на пластичність матеріалу, його міцність та рівень пошкодженості вважатимемо, що максимальна величина пошкодженість деталі в партії розподілиться за нормальним законом. Визначення кількості браку, у частинах, здійснюється на основі формули закону розподілу Гауса.

Відповідно до прийнятих допущень, був визначений відсоток браку для усередненого (прийнятого за середніми значеннями діапазонів параметрів) та уточненого варіантів

$$P_{\text{браку}} = 0,5 - \Phi((0,5 - 0,423)/0,1) = 0,5 - 0,28 = 0,22.$$

Тобто очікується 22% браку. Для уточненого варіанту

$$P_{\text{браку}} = 0,5 - \Phi((0,5 - 0,313)/0,1) = 0,5 - 0,465 = 0,035.$$

Таким чином, у випадку застосування уточнених параметрів очікується зменшення відсотку браку.

## Висновки

1. На основі математичного моделювання процесу витягування деталі "Фланець" запропоновано уточнені параметри заготовки та елементи штампової оснастки – внутрішній діаметр заготовки встановити 29 мм, зовнішній діаметр заготовки – 64 мм, радіус заокруглення пуансону –  $2\div 4s$ , зазор між матрицею і пуансоном –  $1.5s$ .

2. В результаті зміни розмірів заготовки очікувана відсоток дефектних і бракованих деталей зменшується з 22% до 3,5%.

3. Великий вплив на відсоток дефектних деталей, за умови інтенсивних деформацій, чинить розсіювання параметрів пластичності матеріалу, яка має кумулятивний ефект і зростає зі збільшенням інтенсивності деформацій матеріалу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Калюжний, В. Л. Інтенсифікація технологій виготовлення виробу «Балон 180×184» / В. Л. Калюжний, А. С. Запорожченко, В. В. Піманов // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2012. – № 2 (31). – С. 136–140.

2. Yang, C. Blank Shape Design for Sheet Metal Forming based on Geometrical Resemblance / C. Yang, P. Li, L. Fan // Procedia Engineering. – 2014. – 81. – P. 1487-1492. – doi: 10.1016/j.proeng.2014.10.178.

3. Altınbalık, T. Numerical and experimental study of sheet thickness variation in deep drawing processes / T. Altınbalık, A. Tonka // International Journal of Modern Manufacturing Technologies. – 2012. – IV № 2. – P. 9 – 16.

4. Писаренко В. Г. Вплив різнотовщинності листових зразків для випробувань на розтяг на поверхню граничних деформацій [Текст] / В. Г. Писаренко, В. В. Савуляк, В. Є. Билічкіна // Проблеми трибології. – 2014. – № 4. – С. 106–111.

5. Савуляк В. В. Оцінка розсіювання значення використаного ресурсу пластичності для процесів обробки тиском листових матеріалів / В. В. Савуляк, В. Г. Писаренко, Р. О. Мордач, М. О. Мордач // Наукові нотатки. – 2016. - Вип. 54. - С. 268-272.

**Савуляк Віктор Валерійович** — к.т.н., доцент, доцент кафедри технології та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [vsav81@gmail.com](mailto:vsav81@gmail.com).

## *MANUFACTURE OF AXISYMMETRIC PARTS BY COLD SHEET STAMPING*

### *Abstract*

The work deals with the method of determining the rational parameters of the process of manufacturing workpieces from sheet materials of axisymmetric parts by plastic deformation. The influence of the geometric parameters of the workpiece and the technological gap between the matrix and the punch on the damage of the material in the volume around the punched hole was investigated. It has been established that changing the dimensions of the workpiece and die tooling allows to reduce the predicted number of defects based on the criterion of the occurrence of marginal damage in the final operations.

**Keywords:** sheet material, cold plastic deformation, ultimate deformation, cutting, punching, damage.

**Savulyak Victor V.** — Associated Professor, Ph.D., Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [vsav81@gmail.com](mailto:vsav81@gmail.com).

## АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРОЦЕСУ ГНУТТЯ МАТЕРІАЛІВ З ПОКРИТТЯМ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*В роботі представлені результати скінчено-елементного аналізу напружено-деформованого стану матеріалів із покриттям в процесі гнуття із різними технологічними умовами.*

**Ключові слова:** згинання, деформовність, пластичність, метод скінченних елементів

Тенденції у розвитку високотехнологічних матеріалів з покриттям для автомобільних компонентів, машинобудівної та будівельної галузі пов'язані з їхньою високою стійкістю до корозії, широким температурним діапазоном, міцністю, простотою у використанні та екологічною безпекою [1]. Головним металевим покриттям для захисту сталевих листів є цинк, який може бути нанесений гарячим або електролітичним способом [2]. Гаряче цинкування сталі має кращі захисні властивості та міцність порівняно з електролітичним цинкуванням, тому близько 70% поверхонь цинкують гарячим способом.

Під час формоутворення спостерігається розрив поверхні цинкованої заготовки під значними контактними напруженнями, а при незадовільній якості покриття спостерігається прилипання покриття до формувального валка [3]. Сучасні методи покриття дозволяють отримувати матеріали з органічним покриттям, які відповідають ряду вимог: відносно короткий термін утворення та висихання покриття, хороші декоративні властивості, достатня стійкість до корозії та стійкість під час подальшої обробки, і все це частіше застосовується в сучасному виробництві.

Метою роботи є моделювання та аналіз впливу технологічних параметрів процесу гнуття на напружено-деформованого стан заготовки для запобігання руйнування багат шарових покриттів при виготовленні складнопрофільних виробів в умовах гнучкого виробництва.

Сучасні тенденції полягають у застосуванні комбінованих багат шарових покриттів – поєднання полімерних та цинкових покриттів. Такі матеріали виявляють підвищені антикорозійні властивості. Покриття може бути одностороннім або двостороннім у різних комбінаціях. У стандартному варіанті захисне полімерне покриття наноситься на передню поверхню цинкованого сталевих листа, а задня сторона листа фарбується [4].

Полімерні покриття на сталевих листах можна деформувати різними методами: згинанням, флангуванням, заокругленням та глибоким розтягуванням. Еластичність покриттів є важливою фізико-механічною властивістю. Деформація залежить від матеріалу основи, шару цинку та товщини покриття. Дефекти, такі як потертості, подряпини та руйнування покриття виникають під час формування профілів з покритих матеріалів через різні причини, включаючи жорсткі формувальні схеми та незадовільну якість формувальних валків. Аналіз показав, що покриття без дефектів спостерігаються при використанні матеріалів без покриття. Дослідження напружено-деформованого стану матеріалів з покриттям допоможе покращити технологію формування профілів.

Для дослідження в роботі були вибрані профілі, що використовуються в будівництві, зокрема профілі типу П і С, які виготовляються з листового матеріалу товщиною (0,4 – 1,0) мм з полімерним покриттям (рис.1).

Запропоновані для дослідження типи профілів виконують декілька будівельних та архітектурних завдань одночасно – вони забезпечують високу жорсткість та міцність, швидкий монтаж, конструктивну надійність, а також підвищену стійкість до корозії завдяки використанню полімерних покриттів і, як наслідок, довгий термін служби. Для подальших розрахунків було взято два стандартних розміри для кожного типу профілю, щоб визначити вплив геометричних параметрів профілю на процеси профілювання.

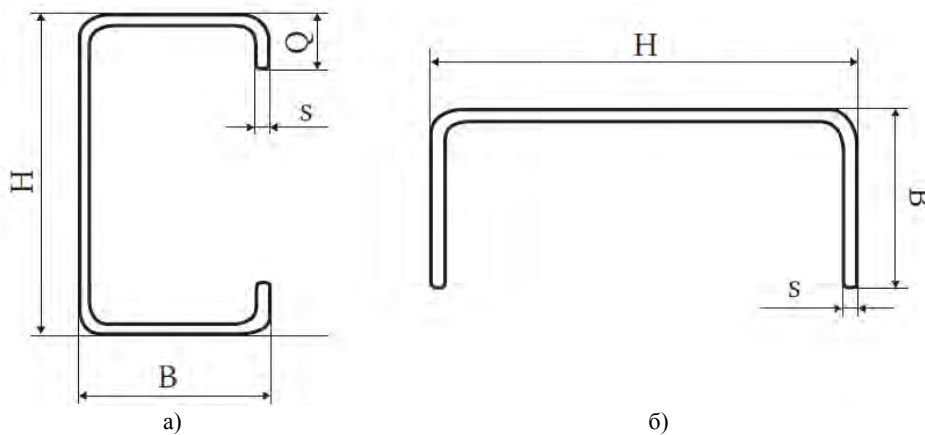


Рис. 1 – Типи профілю: а) С-подібний профіль; б) П-подібний профіль.

Робота базується на положеннях теорії обробки матеріалів тиском, термофізичних законів, фізики твердого тіла, науки про матеріали та теорії дисперсних систем. Для моделювання процесів формування та аналізу напружено-деформованого стану були використані методи скінченних елементів (МСЕ), які широко використовуються інженерами для вивчення технологічних процесів виготовлення різних деталей. Для таких досліджень ефективно використовується програмне забезпечення ANSYS, яке також використовувалось в роботі. Для адекватного моделювання необхідно ввести правильні параметри моделі матеріалу. З цією метою було проаналізовано серію експериментальних досліджень, проведених в роботах [3-5]. Під час профілювання контактне моделювання включає визначення зон максимального тиску, визначення кривизни інструменту в зоні контакту, визначення контактних сил, порівняння їх з допустимими значеннями для покриттів і встановлення прийнятних параметрів процесу. Для обробки результатів досліджень використовувалися методи математичної статистики.

Результати роботи дають змогу детальніше зрозуміти процеси, які відбуваються із матеріалами з покриттям під час формоутворення виробів із складним профілем. Надано практичні рекомендації щодо технологічних параметрів обробки, які дозволять отримати вироби без дефектів попередньо нанесеного покриття.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kutz M. *Handbook of environmental degradation of materials*. London: Elsevier Science; 2018. 684 p..
2. Wang X, Wei L, Zhao J, Cheng H, Wang X, Liu Y, Hao Y. Research on dynamic mechanical behavior and damage of steel structure galvanized coating. *Proceedings of the ICSCSE*. 2017;(2017):244-47.
3. Lee S, Joun M, Kim D, Lee J. Effect of elastic-plastic behavior of coating layer on drawability and frictional characteristic of galvanized steel sheets. *J. Mech. Sci. Technol.* 2016;(30):3313-19.
- 4 Bahadori A. *Essentials of coating, painting, and lining for the oil, gas and petrochemical industries*. Oxford: Gulf Professional Publishing; 2015. 830 p.
5. Грушко О. В. Моделювання зміцнення матеріалу в процесі штампування z-подібних заготовок / О. В. Грушко, Т. І. Молодецька // Обробка матеріалів тиском : сб. науч. тр. – 2012. – № 1 (30). – С. 31–37.

**Молодецька Тетяна Ігорівна к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, [molodetska\\_tanya@ukr.net](mailto:molodetska_tanya@ukr.net)**

#### ANALYSIS OF THE STATE OF STRESS AND DEFORMATION OF THE BENDING PROCESS OF COATED MATERIALS

##### **Abstract**

*The paper presents the results of finite-element analysis of the stress-strain state of coated materials during bending with different technological conditions.*

**Keywords:** bending, deformability, plasticity, finite element method.

**Molodetska Tatyana Igorivna, candidate of engineering sciences, docent, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [molodetska\\_tanya@ukr.net](mailto:molodetska_tanya@ukr.net)**

## PERSPECTIVE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF EXTRUSION TECHNOLOGIES

<sup>1</sup>Donbass State Engineering Academy, <sup>2</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», <sup>3</sup>O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics NAS of Ukraine

**Abstract.** Prospective methods of combined plastic deformation, which contribute to the development of technological capabilities, scope and competitiveness of precise volumetric extrusion processes, are considered.

**Keywords:** extrusion, combined deformation, force action, kinematic action, friction forces.

The development and implementation of new science-intensive technological processes is one of the most important areas for intensification of machine-building production. Cold and hot extrusion processes are resource-saving and competitive technologies for manufacturing precision parts of machines and devices. Combined and hybrid processing methods based on a combination of traditional working by pressure methods with additional effecting methods are becoming more widespread in machine-building [1–4]. In working by pressure this has led to the proposal of number of original technologies for combined action and processing, such as thixo stamping, isothermal stamping, roll and thermal friction stamping, local deformation, hydro- and screw extrusion.

Now, deformation processes with additional force and kinematic influences are becoming actively spread, which makes it possible to ensure optimal control and regulation of the metal flow in the deformation zone, the stress-strain state of the workpiece and, consequently, the quality of the formed part [2, 4]. The process can be considered as combined one if, in addition to the main action (method), it also uses an additional action on the workpiece, which can be a force and (or) kinematic effect. Creation of additional force actions by tension, counterpressure, directed friction forces, support, twisting, etc. requires, as a rule, the applying additional energy and additional movement to other parts of the technological tooling (equipment, dies). This may also require a special (generating) force action [4, 5].

Under the kinematic influence one should understand the influence on the kinematics of the flow process of the deformed workpiece by purposefully regulating (controlling) the direction of the flow, the nature of the deformation, ensuring freedom of flow, creating a different stress-strain state for the prevailing deformation scheme. The kinematic effect can contribute to a significant improvement in structure working of the deformed metal, even out deformation unevenness and eliminate stagnant zones. For processes of cold extrusion of hollow parts such as sleeves and cups with characteristic high total and unit loads, one of the main objectives of the kinematic action is to increase the degree of freedom of the flow [3–6].

A promising direction in the development of precision stamping technologies is the implementation of methods for combined extrusion of complexly profiled parts based on a combination of traditional longitudinal extrusion schemes with transverse (radial and side) extrusion methods in split dies [3, 4, 7]. These methods are distinguished by their multivariate versions. In addition to the advantages characteristic of combined schemes (optimal and self-regulating force mode, high degrees of forming), the inclusion of transverse radial flow schemes leads to a decreasing hydrostatic pressure in the deformation zone (Fig. 1, schemes 1–3) and to a noticeable increasing the complexity of the shape of the parts obtained.

The useful applying of contact friction forces is also an important reserve in the intensification of volumetric deformation processes. In this case, both the forces of active friction (created by the movement of the die in the direction of the flow of the metal or the support punch in the direction of movement of the punch) (see Fig. 1, scheme 4), and the forces of reactive friction acting on the surface of the part (scheme 5) [4] are useful. The application of tension forces to the formed part (scheme 6) is



aimed at reducing the load on the punch, and the counterpressure is aimed at improving the quality of the stamped parts [1, 5, 7].

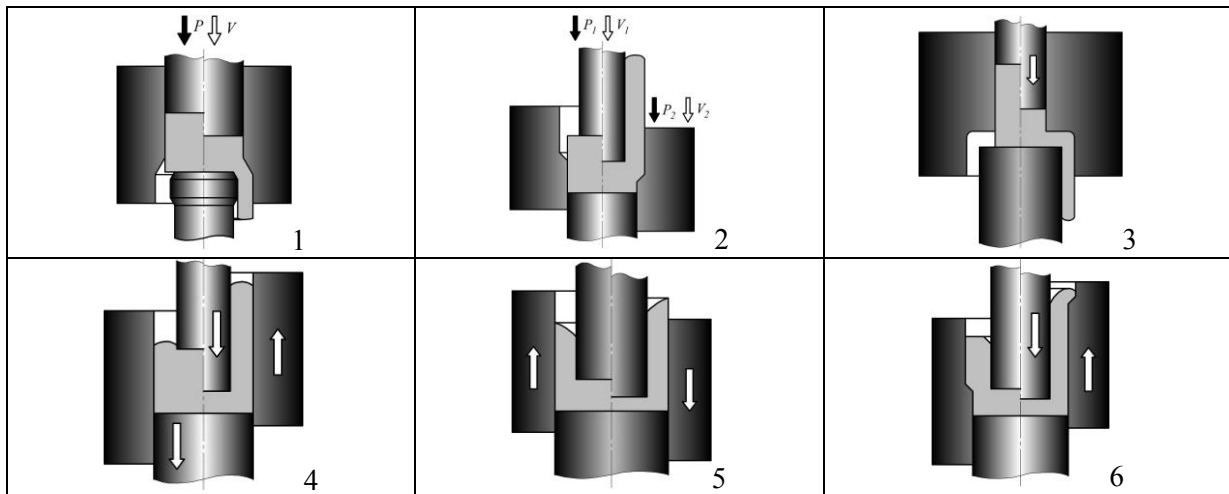


Fig. 1. Methods for extrusion of hollow parts

#### REFERENCES

1. Bhaduri A. Extrusion. In: Mechanical Properties and Working of Metals and Alloys. Springer Series in Materials Science. 2018. Vol. 264, pp. 599-646.
2. Aliieva L.I. Improvement of combined extrusion processes: monograph. Kramatorsk: LLC "Tiraj – 51". 2018. 352 p. ISBN 978-966-379-846-2. (Rus.).
3. Aliev I.S. Radial extrusion process. Soviet Forging and Metal Stamping Technology (English Translation of Kuznechno-Shtampovnoe Proizvodstvo). New York: Allerton Press. 1988. Part 3, pp. 54–61. ISSN: 0891-334x. 7
4. Aliyeva L.I.; Gumenuk U.I., Usmanov D.V. Predictions of deviations of the shape of details at cold extrusion. In: *Proceedings of the 6th International Conference "New technologies and achievements in metallurgy, material engineering"*. Czenstchowa. 2005, pp. 383 -391. 9
5. Aliieva L.I. Controlling the forming of parts with a flange during cold extrusion. *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*. 2016. 30 (1202), pp. 13-20. (Rus.). 13
6. Aliiev I., Aliieva L., Abhari P., Goncharuk K. Investigation of defect in combined precision extrusion process with multiple ram. *Proceedings of the 16th International Conference "New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering"*. Czestochowa. 2015, pp. 90–93. 14

**Igramotdin Serajutdinovich Aliiev**, Dr. Sc., Full Professor, Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, [igramaliev@gmail.com](mailto:igramaliev@gmail.com); **Volodymyr Leonidovych Kaliuzhnyi**, Dr. Sc., Full Professor, Professor of the Department of Aircraft Manufacturing Technologies, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», [kwl\\_2011@ukr.net](mailto:kwl_2011@ukr.net); **Volodymyr Mykolaiovych Levchenko**, Ph. D., Senior Researcher, Junior Researcher of Department of Radiowave Propagation in Natural Media, O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics NAS of Ukraine, Kharkiv, [goldangel271@gmail.com](mailto:goldangel271@gmail.com)

#### ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИДАВЛЮВАННЯ

**Анотація.** Розглянуто перспективні способи комбінованого пластичного деформування, які сприяють розвитку технологічних можливостей, сфери застосування та конкурентоспроможності процесів точного об'ємного штампування видавлюванням.

**Ключові слова:** видавлювання, комбіноване деформування, силовий вплив, кінематичний вплив, сили тертя.

**Алієв Іграмотдін Серажутдінович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, [igramaliev@gmail.com](mailto:igramaliev@gmail.com)

**Калюжний Володимир Леонідович** – д.т.н., професор, професор кафедри технології виробництва літальних апаратів, НТУ України «КПІ ім. І. Сікорського», Київ, [kwl\\_2011@ukr.net](mailto:kwl_2011@ukr.net)

**Левченко Володимир Миколайович** – к.т.н., ст. наук. співроб., молодший науковий співробітник відділу поширення радіохвиль в природних середовищах, Інститут радіофізики і електроніки НАН України, Харків, [goldangel271@gmail.com](mailto:goldangel271@gmail.com)



L.I. Aliieva<sup>1</sup>  
V.M. Levchenko<sup>2</sup>  
I.S. Aliiev<sup>1</sup>  
P.B. Abhari<sup>1</sup>

## METHODS FOR PREDICTING THE QUALITY OF EXTRUDED PARTS

<sup>1</sup>Donbass State Engineering Academy, <sup>2</sup>O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics NAS of Ukraine

**Abstract.** Methods for modeling extrusion processes aimed at predicting the margin of plasticity, shaping and shape deviations in the form of sinks, which characterize the quality of stamped parts, are considered.

**Keywords:** extrusion, modeling methods, shaping, defect prediction, deformability.

Extrusion methods are distinguished by a variety of technological options in comparison with other processes of forming parts and make it possible to obtain precision parts of very complex shapes that in most cases do not require refinement [1–4]. Cold extrusion processes have inherent limitations and disadvantages, among which characteristic defects of parts can be distinguished, such as curvature, non-adherence, non-filling of mold elements, sinks, clamps, cracks, ruptures, etc. [3].

Therefore, predicting the quality of stamped parts, including the assessment of the forming limit for workpieces and the final forming of parts, is an urgent task, the solution of which is important for designing technologies [2, 3]. To solve these problems, various methods of theoretical analysis, computer simulation and physical modeling are used. [2–6].

The problem of prediction of deformability is important for cold volumetric stamping processes occurring in extreme power and deformation modes. The application of the phenomenological theory of deformability for solving these problems allows to answer the following questions: what is the strain degree limit for the workpiece and what is the degree of using the plasticity reserve in the performed deformation operations [2]. This is necessary to clarify the possibility of implementing the next plastic deformation operations, including intermediate heat treatment. Exceeding the limit value of the degree of using the plasticity reserve for material leads to a sharp deterioration in the performance properties of the products. One can note the advantage of applying the deformation criteria taking into account the treatment history for technological processes of complex monotonic and nonmonotonic deformation [2, 3].

The energy upper bound method is effective in predicting forming, deformation unevenness and the formation of defects in parts [1, 3]. Determining the direction of the predominant metal flow and predicting the sequential forming of a stamped part based on the procedure of minimizing the solution obtained by the energy method was difficult for combined extrusion processes. It was considered to be that the using kinematic (velocity) parameters as variable ones is inefficient. But, as studies have shown, considering the speed as a variable parameter that optimizes the reduced deformation pressure for given kinematic module, taking into account the power of cuts on all boundaries, is permissible [1].

Finite element models of cold and hot extrusion processes show very accurate predictions of the shape deviation of parts extruded using hollow and solid workpieces, as well as the stress-strain state of parts. Predicting the formation of defects in the form of hole expansion sinks, clamps, non-adherence and spatial deviations during radial, backward and forward extrusion using FE models help to establish the area of rational parameters and the possibility of defect-free manufacturing of parts [3–5]. By comparing the simulation results with the shape of experimentally obtained steel (steel 10) samples and parts made of aluminum alloys, it was found that on real samples sinks are formed, the shape and dimensions of which correspond to the sinks on the FEM models [6] (Fig. 1).

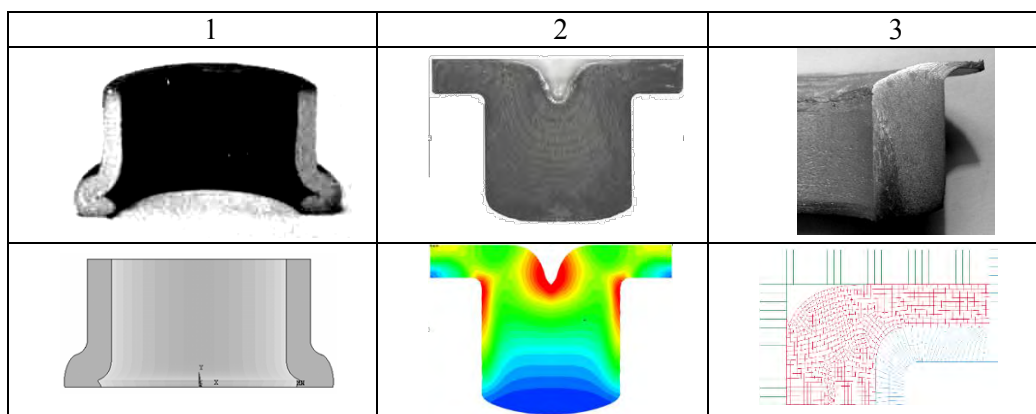


Fig. 1. Comparison of the results of experimental and computer studies on the prediction of defects such as sinks when extruding parts with a flange

#### REFERENCES

1. Aliiev I.S., Hrudkina N.S., Malii Kh.V., Tahan L.V. Modeling and development of precision volumetric extrusion stamping processes: monograph. Kramatorsk: DSEA. 2021. 208 p. ISBN 978-617-7889-08-2. (Ukr.).
2. Ogorodnikov V.A., Derevenko I.A., Aliieva L.I. Plasticity resource of metals during cold volumetric forming: monograph. Vinnitsa: VNTU. 2016. 176 p. (Rus.).
3. Aliieva L.I. Improvement of combined extrusion processes: monograph. Kramatorsk: LLC "Tiraj – 51". 2018. 352 p. ISBN 978-966-379-846-2. (Rus.).
4. Kalyuzhnyi V.L., Aliieva L.I., Kartamyshev D.A., Savchinskii I.G. Simulation of cold extrusion of hollow parts. *Metallurgist*. 2017. 61. 5-6, pp. 359-365. <https://doi.org/10.1007/s11015-017-0501-1>
5. Aliyeva L.I.; Gumenuk U.I., Usmanov D.V. Predictions of deviations of the shape of details at cold extrusion. In: *Proceedings of the 6th International Conference "New technologies and achievements in metallurgy, material engineering"*. Czenstchowa. 2005, pp. 383 -391. 9
6. Aliieva L.I. Controlling the forming of parts with a flange during cold extrusion. *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*. 2016. 30 (1202), pp. 13-20. (Rus.). 13

**Leila Igramotdinovna Aliieva**, Dr. Sc., Full Professor, Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, [levliali2017@gmail.com](mailto:levliali2017@gmail.com); **Volodymyr Mykolaiovych Levchenko**, Ph. D., Senior Researcher, Junior Researcher of Department of Radiowave Propagation in Natural Media, O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics NAS of Ukraine, Kharkiv, [goldangel271@gmail.com](mailto:goldangel271@gmail.com); **Igramotdin Serajutdinovich Aliiev**, Dr. Sc., Full Professor, Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, [igramaliev@gmail.com](mailto:igramaliev@gmail.com); **Payman Bahmenovich Abhari**, Dr. Sc., Full Professor, Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, [payharies@gmail.com](mailto:payharies@gmail.com).

#### МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ОДЕРЖАНИХ ВИДАВЛЮВАННЯМ

**Анотація.** Розглянуто методи моделювання процесів видавлювання, спрямовані на прогнозування запасу пластичності, формоутворення та відхилень форми у вигляді утяжсин, які характеризують якість деталей, що штампуються.

**Ключові слова:** видавлювання, методи моделювання, формоутворення, прогнозування дефектів, деформовність.

**Алієва Лейла Іграмотдіновна** – д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютеризований дизайн та моделювання, Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, [levliali2017@gmail.com](mailto:levliali2017@gmail.com)

**Левченко Володимир Миколайович** – к.т.н., ст. наук. співроб., молодший науковий співробітник відділу поширення радіохвиль в природних середовищах, Інститут радіофізики і електроніки НАН України, Харків, [goldangel271@gmail.com](mailto:goldangel271@gmail.com)

**Алієв Іграмотдін Серажутдінович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, [igramaliev@gmail.com](mailto:igramaliev@gmail.com)

**Абхарі Пейман Бахменович** – д.т.н., професор, професор кафедри обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, [payharies@gmail.com](mailto:payharies@gmail.com)

## ВПЛИВ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ІНСТРУМЕНТУ ІЗ ПКНБ ГРУПИ VL НА ЯКІСТЬ ОБРОБКИ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ

<sup>1</sup> Державний університет «Житомирська політехніка»

### Анотація

Досліджено причини інтенсивного зношування інструментів із надтвердих матеріалів на основі ПКНБ групи VL та утворення макротріщин в контактних зонах різання. Інструменти виготовлені з додаванням керамічних компонентів TaN, TiC, TiN, що відносяться до керамо-матричних композитів. Експериментальні дослідження проводилися в умовах високошвидкісної обробки загартованих сталей ШХ15. Вивчено працездатність інструментів із надтвердих композитів за критерієм відсутності крихкого руйнування різальної кромки інструменту та ефективність нових композитів за критерієм мінімальної інтенсивності зношування задньої поверхні різців при різанні.

**Ключові слова:** надтверді матеріали, кубічний нітрид бору, інтенсивність зношування, загартована сталь, трибологічні властивості.

### Вступ

Застосування інструментів із надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору є розповсюдженим явищем в сучасному машинобудуванні для забезпечення ефективності обробки загартованих сталей. Одним із найтвердіших та інертних до заліза є полікристалічний кубічний нітрид бору груп VL. Розробка таких нових модифікацій з покращеними властивостями дозволяє підвищити продуктивність лезової обробки важкооброблюваних матеріалів [1, 2].

Метою роботи є визначення працездатності інструмента за критерієм інтенсивності зношування надтвердих композитів на основі КНБ групи VL при обробці загартованих сталей.

### Результати дослідження

Досліджувалися композити групи VL на базі чотирьох основних компонентів: cBN, TaN, TiC, TiN. Застосовувалися непереточувані різальні пластини 09T300 (круглої форми діаметром 9,52 мм, товщиною 3,97 мм). Шорсткість робочих поверхонь пластин становила Ra 0,038-0,067. Дослідження проводилося при високих швидкостях різання 140-350 м/хв. Величина подачі та глибини різання були постійними:  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,2$  мм. Процес різання зі швидкістю різання 215 м/хв характеризується поступовим рівномірним зношуванням дослідних пластин (Рис.1). Швидкість зношування дослідних партій знаходиться в межах 10-12 мкм/хв [3].



Рис. 1. Контактна ділянка задньої поверхні зразка (ШХ15 58 HRC,  $v = 215$  м/хв,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,2$  мм,  $h_z = 0,05$  мм,  $T = 5$  хв)

При обробці із швидкістю різання  $v = 215$  м/хв пластини втрачали працездатність вже після 2 хв роботи. За цей час складові сили різання стрімко зростають:  $P_y$  – з 110 до 300 Н,  $P_z$  – з 100 до 160 Н. Спостерігається утворення в пластинах макротріщин, які можуть знаходитись як безпосередньо в контактній зоні інструментально-оброблюваного матеріалу, так і за її межами (Рис. 2) [3].

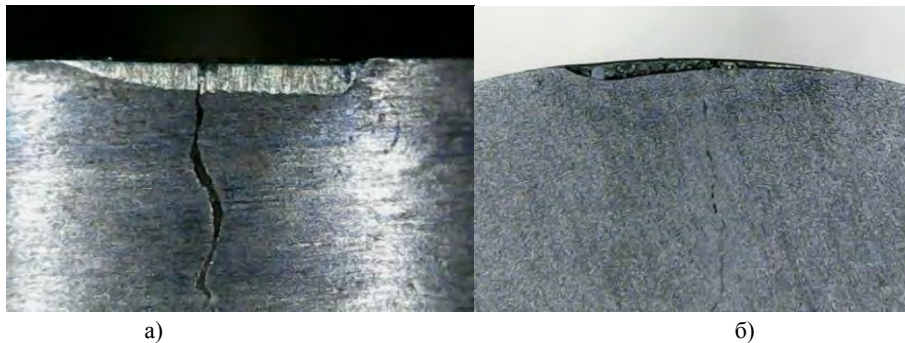


Рис. 2. Контактні ділянки задньої (а) та передньої (б) поверхні зразка (ШХ15 58 HRC,  $v = 215$  м/хв,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,2$  мм,  $h_z = 0,3$  мм,  $T = 5$  хв)

### Висновки

Дослідження показали, що основною причиною утворення макротріщин та інтенсивного зношування інструментів в процесі різання є неоднорідна структура ПКНБ групи ВЛ. Інструменти з ПКНБ групи ВЛ, до якого входять сBN 70–75 об.%, на 25–30 % поступаються за стійкістю, але вони дозволяють проводити обробку із динамічними навантаженнями, які відповідають умовам переривчастого різання, що поширює сферу застосування інструментів із надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору групи ВЛ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Slipchenko K. Investigation of the mechanical properties and cutting performance of cBN-based cutting tools with Cr3C2 binder phase / K. Slipchenko, I. Petrusha, V. Turkevich, J. Johansson, V. Bushlya, Jan-Eric Ståhlb// Procedia CIRP. – 2018. – Vol. 72. – pp. 1433-1438.
2. Sumiya H. Mechanical properties of nano-polycrystalline cBN synthesized by direct conversion sintering under HPHT / Sumiya H., Harano K., Ishida Y. // Diamond and Related Materials. – 2014. – vol. 41. – pp. 14-19.
3. Чумак А.О. Працездатність різального інструмента, оснащеного ПКНБ групи ВЛ при швидкісній обробці загартованої сталі / Чумак А.О., Мельничук Ю.О., Клименко С.А., Манохін А.С., Клименко С.Ан., Копейкіна М.Ю., Осіпов О.С., Найдено А.Г., Полонський Л.Г., Коваленко Я.П. // Технічна інженерія. – 2023. – № 1 (91).

**Коваленко Яна Павлівна** — аспірантка кафедри механічної інженерії, спеціальність 131 «Прикладна механіка», Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, e-mail: kmi\_kyap@ztu.edu.ua

**Мельничук Петро Петрович** — доктор технічних наук, професор кафедри механічної інженерії, Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, e-mail: melnychukpp1952@gmail.com

### *Determination of the quantitative content of liquefied gas components*

#### **Abstract**

*The causes of intensive wear of tools made of superhard materials based on BL group CBN and the formation of macrocracks in the cutting process are investigated. The tools were made with the addition of ceramic components TaN, TiC, and TiN, which are ceramic-matrix composites. Experimental studies were carried out under conditions of high-speed machining of cutting processes of hardened steels ШХ15 and ХВГ. The performance of tools made of superhard composites according to the criterion of the absence of brittle fracture of the cutting edge of the tool and the effectiveness of new composites according to the criterion of minimal wear of the back surface of the cutters during cutting were studied.*

**Keywords:** superhard materials, cubic boron nitride, wear rate, hardened steel, tribological properties.

**Kovalenko Yana P.** — Postgraduate student of the Department of Mechanical Engineering, specialty 131 "Applied Mechanics", State University of Zhytomyr Polytechnic, Zhytomyr, e-mail : kmi\_kyap@ztu.edu.ua

**Melnychuk Petro P.** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mechanical Engineering, State University of Zhytomyr Polytechnic, Zhytomyr, e-mail: melnychukpp1952@gmail.com

## ЕНЕРГІЯ ДЕФОРМУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ДТП

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Розглянуто підходи до визначення енергії деформування конструкцій транспортних засобів при ДТП та особливості їх застосування.*

**Ключові слова:** ДТП, енергія деформування.

### **Abstract**

*Approaches to Defining Energy of Deformation in Transportation Vehicle Structures during Accidents and Their Application have been Considered.*

**Keywords:** Road Traffic Accidents (RTA), deformation energy..

### **Вступ**

Аварійність на дорогах і безпека руху є нагальними питаннями, які мають велике значення для суспільства. Кожен рік тисячі людей стають жертвами дорожньо-транспортних пригод (ДТП), і ця проблема залишається однією з найбільш актуальних у багатьох країнах. Розуміння причин та обставин ДТП є ключовим елементом для розробки ефективних заходів з попередження та зменшення аварійності.

Одним із найважливіших аспектів розслідування ДТП є визначення швидкості транспортних засобів під час пригоди. Відомості про швидкість гратимуть вирішальну роль у встановленні причин і деталей зіткнення, а також у визначенні винуватця. Точні дані про швидкість є важливим елементом для судових розглядів, страхових виплат та розробки поліпшених стратегій безпеки дорожнього руху.

### **Результати дослідження**

Традиційні методи визначення швидкості, такі як показники гальмування, свідчення свідків та відомості про пошкодження автомобілів, часто є недостатньо точними або суперечливими. Тому, в останні роки, все більше уваги приділяється використанню новітніх технологій і методів для об'єктивного та точного визначення швидкості транспортних засобів [1].

З впровадженням нових технологій та методів, визначення швидкості транспортних засобів з урахуванням пошкоджень їх конструкцій стало можливим. Цей підхід базується на аналізі механічних пошкоджень та деформацій, що виникають на транспортних засобах під час ДТП.

Один з основних методів, який використовується для визначення швидкості з урахуванням пошкоджень, - це метод аналізу пошкоджень структурних елементів автомобіля. Він ґрунтується на тому, що масштаб та характер пошкоджень можуть бути пов'язані з енергією, що виникає під час зіткнення. Після ДТП проводяться детальні дослідження пошкоджень автомобіля, включаючи кузов, раму, двигун та інші важливі елементи. За допомогою фотографій, вимірювань та аналізу механічних характеристик пошкоджень, можна зробити висновки про мінімальну швидкість транспортного засобу під час пригоди [2-3].

Інший підхід до визначення швидкості з врахуванням пошкоджень полягає у використанні моделювання динаміки ДТП. Цей метод передбачає створення комп'ютерної моделі, яка відтворює фізичні властивості транспортного засобу, його рух та зіткнення. Модель враховує параметри пошкоджень, отриманих внаслідок ДТП, і на основі цих даних розраховується можлива швидкість транспортного засобу перед зіткненням [4].

Для створення точних моделей використовуються дані з експериментальних досліджень, реальних ДТП, а також інженерні розрахунки, що враховують фізичні властивості матеріалів, конструкцію транспортного засобу та інші фактори. Застосування комп'ютерних програм дозволяє точно моделювати динаміку ДТП та визначити швидкість на основі вхідних даних про пошкодження.

Однак, важливо зауважити, що визначення швидкості з урахуванням пошкоджень транспортного засобу є складним процесом, що вимагає високої кваліфікації та експертного аналізу. Для отримання найбільш точних результатів необхідно враховувати багато факторів, включаючи тип автомобіля, його масу, структуру та конструкцію, а також особливості самої пригоди.

У підсумку, визначення швидкості транспортних засобів з урахуванням пошкоджень конструкцій є важливим елементом розслідування ДТП. Використання методів аналізу пошкоджень та моделювання динаміки дозволяє отримати об'єктивні дані про швидкість транспортного засобу під час пригоди, що є цінною інформацією для встановлення причин та винуватців ДТП.

Визначення енергії деформування елементів конструкції транспортних засобів під час дорожньо-транспортних пригод (ДТП) відіграє важливу роль у розумінні механізмів зіткнень та наслідків пошкоджень. Одним із факторів, що впливають на деформацію транспортних засобів, є зміна твердості металу внаслідок деформації [1].

У процесі ДТП, коли транспортний засіб зазнає зіткнення, енергія переноситься на його структурні елементи, що призводить до деформації металу. Залежно від інтенсивності та типу зіткнення, метал змінює свою твердість, що слугує так званою "пам'яттю матеріалу" [5].

Одним із способів визначення енергії деформування є аналіз зміни твердості металу в результаті деформації. Застосування твердісних вимірювань на пошкоджених елементах транспортного засобу дозволяє отримати інформацію про рівень деформації, який відображається у зміні твердості матеріалу.

Для виконання таких вимірювань, часто використовуються портативні твердомірні пристрої, які можуть безпосередньо вимірювати твердість металу на місці пригоди. Ці пристрої засновані на різних методах вимірювання, таких як методи індентування або метод відскоку.

Отримані дані про зміну твердості металу використовуються для розрахунку енергії деформування. За допомогою цієї інформації і використання відповідних математичних моделей [1-3], можна визначити енергію, що була поглинута матеріалом під час деформації. Ця енергія деформування є показником міри пошкодження та механічного впливу, який зазнав транспортний засіб.

Оцінка енергії деформування має велике значення для розуміння механізмів ДТП та його наслідків. Вона може допомогти встановити силу зіткнення, швидкість транспортних засобів, а також інші параметри, необхідні для розслідування пригоди. Крім того, визначення енергії деформування може бути використано для оцінки безпеки конструкції транспортних засобів та розробки заходів для покращення їх стійкості та захисту пасажирів [5], а поєднання декількох методів дає змогу уточнювати коефіцієнти енергопоглинання розрахункових програм [6].

### **Висновки**

Визначення енергії деформування елементів конструкції транспортних засобів під час ДТП за зміною твердості металу є важливим кроком у розумінні механізмів та наслідків аварій. Ця інформація допомагає встановити ступінь пошкодження, оцінити силу зіткнення та швидкість транспортного засобу, а також розробити заходи для поліпшення безпеки та стійкості транспортних засобів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Огородников В. А. ЭНЕРГИЯ. ДЕФОРМАЦИИ. РАЗРУШЕНИЕ. Задачи автотехнической экспертизы : монография. / В. А. Огородников, В. Б. Киселев, И. О. Сивак – Винница : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 204 с.
2. Огородников В. А. Визначення енергії пластичної деформації елементів конструкцій транспортних засобів і параметрів відкриття подушок безпеки при ДТП [Текст] / В. А. Огородников, В. Є. Перлов // Збірник наукових праць ВДАУ. - 2009. - № 3. - С. 5-9.
3. Перлов В. Є. Енергія пластичного деформування елементів конструкцій транспортних засобів при ДТП [Текст] / В. Є. Перлов, І. Ю. Кириця // Вісник машинобудування та транспорту. - 2015. - № 2. - С. 69-75.
4. CRASH3 Technical Manual. NHTSA, Washington D.C. – 1986. – 458 p.
5. Огородников В. А. Керування технологічною спадковістю при листовому штампуванні з метою підвищення безпеки конструкцій [Текст] / В. А. Огородников, В. Є. Перлов, С. В. Войтків // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія "Машинобудування". - 2010. - № 60. – С. 133-137.
6. Перлов В. Є. Уточнення коефіцієнтів енергопоглинання конструкцій транспортних засобів для середовища PC-Crash [Електронний ресурс] / В. Є. Перлов // Матеріали XLV Науково-технічної конференції ВНТУ, Вінниця, 23-24 березня 2016 р. - Електрон. текст. дані. - 2016. - Режим доступу : <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2016/paper/view/1299>.

**Перлов Віктор Євгенійович** — канд. техн. наук, доцент кафедри ОМТМІГ, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [perlov@vntu.edu.ua](mailto:perlov@vntu.edu.ua)

**Perlov Viktor** — PhD, Associate Professor of the Department of Strength of Materials, Technical Mechanics, and Engineering Graphics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [perlov@vntu.edu.ua](mailto:perlov@vntu.edu.ua)



## ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ В СУМІЩЕНОМУ ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ ТИСКОМ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК ІЗ АЛЮМІНІЄВОГО ПРУТКА

Поліський національний університет

### Анотація

*Виконана оцінка напружено-деформованого стану в суміщеному процесі відрізання-штампування. Оскільки пластичне формозмінення здійснюється в два етапи, компоненти девіатора напружень в характерних точках заготовки визначали з використанням теорії анізотропно зміцнюваного тіла.*

**Ключові слова:** суміщений процес обробки тиском, поетапне деформування, напружено-деформований стан, анізотропно зміцнюване тіло.

В технологічному процесі закритої поперечної осадки в циліндричній матриці в якості вихідного напівфабрикату використовується заготовка, відрізана від круглого прокату (рис. 1). Отвір в матриці виконує роль нерухомого ножа, а пуансон є рухомих ножем та інструментом для осадки.

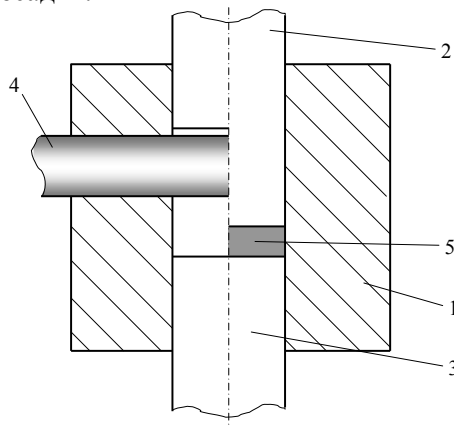


Рис. 1. Принципова схема процесу відрізання-штампування для виготовлення циліндричних заготовок з алюмінієвого прутка: 1 - матриця, 2 - пуансон, 3 - виштовхувач, 5 - пруток, 8 - заготовка, що осаджується

Відрізання пластичних алюмінієвих сплавів відбувається шляхом пластичного зсуву, з високою якістю поверхні, що полегшує використання відрізаних заготовок у подальших технологічних переходах штампування, без доопрацювання [1-3]. Найбільш важливими параметрами досліджуваного процесу є силові та геометричні параметри закритої штампування осадкою. Процес поздовжньої осадки можна розділити на три етапи: 1) відкрита осадка, 2) закрита (починається з торкання бічної поверхні заготовки матриці), 3) заповнення кутів. Перший етап відкритої осадки характеризується бочкоутворенням у вертикальній площині, частковий перехід

бічної поверхні на контактні, утворення зон ускладненої деформації на контактних поверхнях. На другому етапі відбувається утворення бічної поверхні заготовки та збільшення тиску за рахунок зростання площі контактної тертя та зміцнення в металі. На третьому етапі відбувається заповнення кутів елементів.

На рис. 2 наводиться схема позначень точок на поверхні циліндричної заготовки для оцінки напружено-деформованого стану у процесі відрізання-штампування. Розрахунки виконували для технічного алюмінію АД1 у зазначених точках.

Компоненти тензора швидкостей деформацій визначали по формулам [4]

$$\dot{\epsilon}_r = \frac{r}{r_0} \left[ \frac{\partial z}{\partial z_0} \frac{\partial^2 z}{\partial z_0 \partial \alpha} - \frac{\partial z}{\partial r_0} \frac{\partial^2 r}{\partial z_0 \partial \alpha} \right], \quad \dot{\epsilon}_\varphi = \frac{1}{r} \frac{\partial r}{\partial \alpha}, \quad \dot{\epsilon}_z = \frac{r}{r_0} \left[ \frac{\partial r}{\partial r_0} \frac{\partial^2 z}{\partial r_0 \partial \alpha} - \frac{\partial r}{\partial z_0} \frac{\partial^2 z}{\partial r_0 \partial \alpha} \right],$$

$$\dot{\gamma}_{rz} = \frac{r}{r_0} \left[ \frac{\partial r}{\partial r_0} \frac{\partial^2 r}{\partial z_0 \partial \alpha} + \frac{\partial z}{\partial z_0} \frac{\partial^2 z}{\partial r_0 \partial \alpha} - \frac{\partial r}{\partial z_0} \frac{\partial^2 r}{\partial z_0 \partial \alpha} - \frac{\partial z}{\partial r_0} \frac{\partial^2 z}{\partial z_0 \partial \alpha} \right]. \quad (1)$$

Компоненти девіатора напружень визначали по рівнянню



$$S_{ij} = \frac{2}{3} \sigma_u(e_u) \frac{\dot{e}_{ij}}{\dot{e}_u} - \frac{1}{3} \int_0^{e_u} (1 - \beta(e_u^*)) \sigma_u(e_u^*) \rho(e_u^* - e_u^0) \frac{d^2 e_{ij}(e_u^*)}{de_u^2} de_u^* . \quad (2)$$

На основі розрахунків побудовані залежності інтенсивності напружень від інтенсивності деформацій (рис. 3).

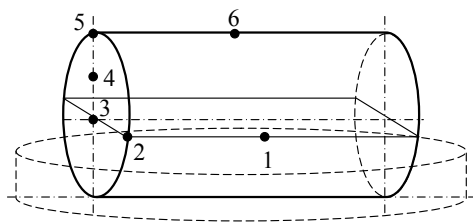


Рис. 2. Схема розташування досліджених точок на поверхні заготовки при осадці в циліндричній матриці

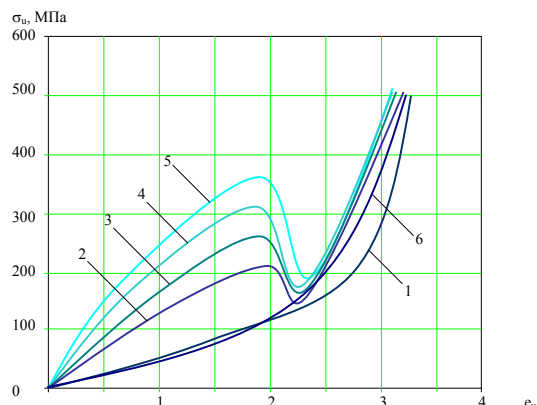


Рис. 3. Залежність інтенсивності напружень від накопиченої деформації в характерних точках на поверхні циліндричної заготовки

#### «СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ»

1. Aliiev I., Aliieva L., Grudkina N., Zhbakov I. Prediction of the variation of the form in the processes of extrusion. *Metallurgical and Mining Industry*. Dnepropetrovsk. 2011. 3. 7, pp.17–22.
2. Lin, L., Peng, W., Zhu, S., Oleksandr, M., Titov, V. Cross wedge roll bonding process for laminated shafts forming: Interface microstructure, bonding mechanism, and parameter influence. *Journal of Materials Processing Technology* [this link is disabled](#), 2023, 317, 117971.
3. N. L. Lisunets. Usage of physical and mathematical simulation for improvement of the process of metal shear cutting. *CIS Iron and Steel Review* — Vol. 17 (2019), p.34-35
6. Sivak R. Evaluation of metal plasticity and research of the mechanics of pressure treatment processes under complex loading. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. 6/7 (90), pp. 34-41.

**Сивак Роман Іванович, доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри механіки та інженерії агроєкосистем, Поліський національний університет, м. Житомир, [sivak\\_r\\_i@ukr.net](mailto:sivak_r_i@ukr.net).**

#### ASSESSMENT OF THE STRESSED AND DEFORMED STATE IN THE COMBINED PROCESS OF PRESSURE PROCESSING OF CYLINDRICAL BILLETS MADE OF ALUMINUM BAR

##### Abstract

*The assessment of the stress-strain state in the combined cutting-stamping process was carried out. Since the plastic deformation is carried out in two stages, the stress deviator components at characteristic points of the workpiece were determined using the theory of anisotropically strengthened body.*

**Key words:** combined process of pressure treatment, stepwise deformation, stress-strain state, anisotropically strengthened body.

**Roman Ivanovych Sivak, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanics and Engineering of Agroecosystems, Polissia National University, Zhytomyr, [sivak\\_r\\_i@ukr.net](mailto:sivak_r_i@ukr.net).**

#### ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ В СУМІЩЕНОМУ ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ ТИСКОМ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК ІЗ АЛЮМІНІЄВОГО ПРУТКА

##### Анотація

*Виконана оцінка напружено-деформованого стану в суміщеному процесі відрізання-штампування. Оскільки пластичне формозмінення здійснюється в два етапи, компоненти девіатора напружень в характерних точках заготовки визначали з використанням теорії анізотропно зміцнюваного тіла.*

**Ключові слова:** суміщений процес обробки тиском, поетапне деформування, напружено-деформований стан, анізотропно зміцнюване тіло.

**Сивак Роман Іванович, доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри механіки та інженерії агроєкосистем, Поліський національний університет, м. Житомир, [sivak\\_r\\_i@ukr.net](mailto:sivak_r_i@ukr.net).**

## ОТРИМАННЯ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ОБРОБКОЮ ТИСКОМ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

***Анотація.** В публікації розглянуто виготовлення колінчастих валів обробкою тиском, що мають низку переваг, які впливають на подальший ресурс механізму, де він використовується. Отримання колінчастих валів обробкою тиском на сьогоднішній день є актуальним, як для одиночного так і для серійного виробництва.*

***Ключові слова.** виробництво, колінчастий вал, обробка, кування.*

Важливим елементом двигуна є колінчастий вал, який у процесі роботи піддається вигину, скручуванню і механічному зношуванню. Для забезпечення надійності та запобігання раннього виходу з ладу, його зносостійкість має бути високою. Розташування волокон колінчастого валу у напрямку вздовж осі, яке можливо отримати обробкою тиском, що позбавить від перерізання або розриву волокон під час механічної обробки.

Під час вибору сталі колінчастих валів найкращими є вуглецеві, хромомарганцеві, хромонікельмолібденові сталі. Марку сталі вибирають так, щоб забезпечити міцність і пластичність і можливість загартування поверхонь, що труться. Найпоширенішими марками сталей для колінчастих валів є 45, 45Х, 45Г2, 50Г. Для важконавантажених колінчастих валів судових дизелів застосовують 40ХНМА, 18ХНВА, 20ХНЗА [1]. У зв'язку з неприпустимістю будь-яких вад у матеріалі (ужими, нарости та інше) ливарного виробництва, заготовки колінчастих валів отримують обробкою тиском.

Виробництво колінчастих валів розбите на кілька технологічних груп, які у свою чергу відрізняються технологією виготовлення, застосуванням устаткуванням, методом термічної обробки [2].

В одиночному і дрібносерійному виробництві колінчасті вали отримуються куванням. Розміри кінцевої деталі і форма сильно відрізняються від готових форм колінчастих валів. Поковки виконують на потужних гідравлічних пресах.

У серійному і великосерійному виробництві колінчасті вали отримують гарячим штампуванням. Що охоплює такі операції як: обрізка облою (обрізний штамп), гаряче виправлення в штампах, попереднє й остаточне штампування. Невеликі колінчасті вали, наприклад для компресорів холодильників, виготовляють із прутка - обробкою металів різанням.

Для колінчастих валів нескладної форми середніх розмірів, які виготовляють у багатосерійному і масовому виробництві, виконують методом штампування на молотах або КГШП з використанням згинання, в штампах на пресах або молотах .

Колінчасті вали для судових дизелів, які розрізняються числом колін і розміром, виготовляють цілісними або такими, що складаються з двох частин, які з'єднуються між собою за допомогою фланцевого з'єднання. У міру збільшення розмірів поковки, трудомісткість отримання виробу методом кування і штампування збільшується [3]. Виготовлення колінчастого валу згинанням з висаджуванням вирізняється високою продуктивністю і дає підвищення міцності, при такій обробці вал зазнає вигину, пластичної деформації та осевого стиснення в місці формування коліна.

**Висновок.** Колінчасті вали, що виготовляються обробкою тиском, мають низку позитивних якостей, які впливають на подальший ресурс механізму. Отримання колінчастих валів обробкою тиском на сьогоднішній день є актуальним, будь то одиночне виробництво або масове виробництво. Одиночним виробництвом отримують колінчасті вали, які мають великі

розміри, а саме для суднових дизельних двигунів. Масовим виробництвом, а саме штампуванням, можна виконувати колінчасті вали для мотоциклів, а також для автомобілів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Клемешов Е.С. Анализ путей повышения качества поковок коленчатых валов с применением осадки-протяжки слитка / Е.С. Клемешов, В.Л. Чухлеб // Обработка материалов давлением. Краматорск: ДГМА. - 2016. - No1 (42). - С. 84 - 91.
2. Каргин С. Б. Инновационные технологииковки валов : монографія / С. Б. Каргин, Б. С. Каргин, В. В. Кухарь. – Маріуполь : ПГТУ, 2016. – 145 с.
3. Кальченко П.П. Новые технологические процессыковки крупных прессовых поковок: монографія / П.П. Кальченко, О.Е. Марков – Краматорск: ДГМА, 2014. – 100 с.

**Чухліб Віталій Леонідович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Комп’ютерне моделювання та інтегровані технології обробки тиском», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, [profdnepro@gmail.com](mailto:profdnepro@gmail.com);

**Палиєнко Володимир Олексійович**, аспірант кафедри «Комп’ютерне моделювання та інтегровані технології обробки тиском», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, [mustmix13@gmail.com](mailto:mustmix13@gmail.com).

## PRODUCTION OF CRANKSHAFTS BY FORMING TECHNOLOGIES

### National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”

**Abstract.** *The publication examines the manufacture of crankshafts by pressure treatment, which have a number of advantages that affect the further life of the mechanism where it is used. Nowadays manufacturing of crankshafts by pressure treatment is actual both for the single manufacture, and for serial production.*

**Keywords.** *production, crankshaft, machining, forging.*

**Chukhlib Vitaliy**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Modeling and Integrated Forming Technologies, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, [profdnepro@gmail.com](mailto:profdnepro@gmail.com);

**Paliienko Volodymyr**, Post-graduate Student, Department of Computer Modeling and Integrated Forming Technologies, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, [mustmix13@gmail.com](mailto:mustmix13@gmail.com).

## ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ ЗАНУРЕННЯ ТВЕРДОГО ІНДЕНТОРА В СТАЛЬ ПІДВИЩЕНОЇ ТВЕРДОСТІ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

### Анотація

У роботі пропонується феноменологічний критерій оцінки енергетичних витрат, пов'язаних із проникненням твердого індентора в сталь підвищеної твердості. Розглянуто методику формування карти матеріалу сталі, за допомогою якої оцінюється енергія деформації, витраченої на проникнення твердого тіла. Отримано співвідношення, за якими розраховують масу індентора, час його руху в середовищі, що деформується, а також коефіцієнт опору середовища під час проходження індентором зміцнених матеріалів.

**Ключові слова:** сталь підвищеної твердості, індентор, карта матеріалу, енергія деформації.

Під час експлуатації сталей підвищеної твердості, з яких виготовляють різні захисні вироби, очевидно є необхідність оцінки якості цих виробів, їх деформаційної здатності поглинати енергію за ударного навантаження твердим індентором.

Для сталей підвищеної твердості з метою визначення коефіцієнту опору середовища під час проникнення твердого тіла було розроблено феноменологічний критерій та створено експрес-метод оцінки деформаційної здатності.

Розглянуто сталеву пластину товщиною  $h$  (рис. 1), в яку проникає твердий індентор зі швидкістю, що змінюється від  $v_0$  до  $v_1$ . Силу опору приймаємо пропорційну швидкості

$$R = kx, \quad (1)$$

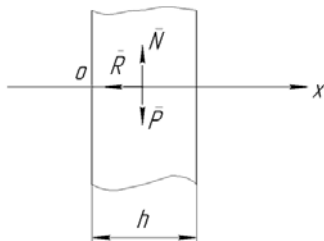


Рис. 1. Розрахункова схема

Основними фізичними величинами, які необхідно визначити під час розв'язування зазначеної задачі, є маса індентора, тривалість руху індентора у пластині, енергія деформації, яка витрачена для проникнення індентора в пластину та коефіцієнт опору середовища спеціальних сталей  $k$ .

Подано алгоритм розрахунку енергетичних витрат під час проникнення індентора в пластично деформівне середовище. В роботі [1], в якій розроблено феноменологічний підхід для визначення енергії деформації, що витрачена на деформацію та руйнування транспортних засобів, питому потенційну енергію визначають інтегруванням функції зміцнення металів, де верхня межа інтеграла може бути визначена експериментально. Використовуємо цей підхід до вирішення задачі щодо визначення коефіцієнта опору середовища під час проникнення в нього твердого індентора.

Використовуючи відомі рівняння з теоретичної механіки [2], отримано залежності: для визначення маси індентора:

$$m = \frac{h \cdot k}{(v_0 - v_1)^2}, \quad (2)$$

тривалості руху індентора:

$$\tau = \frac{h \cdot k}{(v_0 - v_1) \cdot k} \ln \frac{v_0}{v_1} = \frac{h}{(v_0 - v_1)} \ln \frac{v_0}{v_1}. \quad (3)$$

Алгоритм розрахунку енергетичних витрат під час проникнення індентора в пластично деформівне середовище передбачає формування карти матеріалу, що враховує ізотропне зміцнення, з врахуванням кривої плинності та діаграму пластичності у відповідних координатах. Використовуючи модель матеріалу чутливу до різних швидкостей деформування, що подано в роботі [1], отримали залежність, яка апроксимує криву плинності в умовах швидкісного ефекту. Визначивши питому потенційну енергію деформування, отримаємо енергію деформації. Вона дає можливість визначити шуканий коефіцієнт опору  $k$ .

### Висновки

1. Визначено масу індентора та час проходження індентора в сталь підвищеної твердості.
2. Розроблено експрес-метод оцінки деформаційної здатності сталей підвищеної твердості при ударному навантаженні твердим індентором, що дозволяє визначити енергію деформування. Цей метод заснований на реконструкції карти матеріалу за фізико-механічними характеристиками.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Огородников В.А. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы) : [монография] / Огородников В. А., Киселев В. Б., Сивак И. О. – В. : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 204 с.
2. Теоретична механіка: [підруч. для студ. вищ. навч. техн. закл.] / [Зінько Я. А., Ванькович Т.-Н. М., Векерик В. І. та ін.]; за ред. І. В. Кузьо; худож.-оформлювач В. М. Карасик. – Х. : Фоліо, 2017. – 780 с.

**Кириця Іна Юрївна** — канд. техн. наук, доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет e-mail: [kyrytsya@vntu.edu.ua](mailto:kyrytsya@vntu.edu.ua), tel. +380679843705.

**Поліщук Леонід Клавдійович** — докт. техн. наук, завідувач кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [leo.polishchuk@gmail.com](mailto:leo.polishchuk@gmail.com).

**Шенфельд Валерій Йосипович** — канд. техн. наук, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [leravntu@gmail.com](mailto:leravntu@gmail.com)

#### *Evaluation of the energy vitrate of the solid indenter into steel of advanced hardness*

##### **Abstract**

*The robot has a phenomenological criterion for evaluating energy vitrates due to penetration of a solid indenter into steel of increased hardness. The technique of molding the card to the material of steel is reviewed, for the help of which the energy of deformation, stained on the penetration of a solid body, is estimated. It is necessary to take away the stability, for which the mass of the indenter must be opened, the hour of the ruhu in the middle, which is deformed, and also the coefficient of the support of the middle when the materials are passed through the indenter, which are changed.*

**Keywords:** steel of increased hardness, material map, energy of deformation.

**Kyrytsya Inna Y.** – PhD, Assistant Professor of Materials Resistance and Applied Mechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [kyrytsya@vntu.edu.ua](mailto:kyrytsya@vntu.edu.ua), tel. +380679843705.

**Polishchuk Leonid K.** — Doctor of Engineering Sciences, Head of Department of «Industrial Engineering», Vinnytsa National Technical University, tel., 21021, Vinnytsa, st. Khmelnytsky Highway, 95, e-mail: [leo.polishchuk@gmail.com](mailto:leo.polishchuk@gmail.com).

**Shenfeld Valeriy** - Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [leravntu@gmail.com](mailto:leravntu@gmail.com)

## ОЦІНКА ПЛАСТИЧНОСТІ ТА ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ОТРИМАНИХ ОБРОБКОЮ ТИСКОМ

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

### Анотація

На основі огляду методів оцінки пластичності матеріалів при обробці тиском виконано прогнозування степені деформації, що забезпечує оптимальний розмір зерен в умовах плоского напруженого стану. Експериментально побудовані діаграми рекристалізації дозволяють вибрати необхідні параметри відпалу для підвищення несучої здатності деталей, отриманих обробкою тиском. Підтверджено можливість використання діаграми рекристалізації, побудованої для умов лінійного напруженого стану. Виконана оцінка пластичності напружено-деформованого стану при немонотонному навантаженні.

**Ключові слова.** Напружено-деформований стан, оцінка пластичності, підвищення працездатності, діаграми рекристалізації, відпал, степінь деформування, технологічні процеси

Основні операції обробки тиском такі як пресування, кування та прокатка залишаються такими, що передують іншим в технологічних процесах формоутворення. В умовах неправильного вибору виду та параметрів обробки руйнування металу починається з дрібних тріщин, які не виходять на поверхню, проте надалі викликають катастрофічне руйнування металу. Пластичність неможливо оцінити, не враховуючи зв'язок з конкретними умовами деформування [1]. Для забезпечення подальшого пластичного деформування метал піддають відпалу. При цьому в залежності від степеню деформування та температури відпалу в металі можливі рекристалізаційні процеси. Діаграми рекристалізації будують експериментальним шляхом, на яких зображують розмір зерна в залежності від степеню деформування та температури відпалу. Відомо, що підвищення степеню холодного пластичного деформування викликає появу більш дрібного рекристалізованого зерна. Діаграми рекристалізації дозволяють вибрати режим відпалу для отримання бажаної структури лише приблизно, тому що не враховують вплив таких факторів, як розмір попереднього зерна, вміст домішок, параметри відпалу та попереднього деформування тощо [2, 3].

Мета дослідження – оцінка пластичності попередньо деформованої сталі експериментальним шляхом побудови діаграми рекристалізації сталі при холодному осаджуванні до різних степенів деформації циліндричних зразків з наступним рекристалізаційним відпалом.

На побудовану діаграму рекристалізації накладено експериментальні результати випробовування зразків цієї ж сталі, які було випробувано в умовах послідовного кручення з розтягуванням. При цьому експериментальні точки, що відповідають інтенсивності деформації в координатах «інтенсивність деформації  $e_i$  – розмір зерна», співставлено з відповідною діаграмою рекристалізації для металу в умовах лінійного напруженого стану. Попереднє дослідження виявило близькість точок значень степені деформації – розмір зерна в умовах лінійного і плоского напружених станів [4].

Висновок: для прогнозування степені деформації, що забезпечує оптимальний розмір зерен в умовах плоского напруженого стану, можливе використання діаграми рекристалізації, побудованої для умов лінійного напруженого стану.

### Список використаних джерел:

1. Дель Г. Д. Технологічна механіка / Г.Д. Дель. – М. Машинобудування, 1982. – 174 с.
2. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. /В. А. Огородников.– Киев: Вища школа, 1983. – 175 с.
3. Дель Г. Д. Модель разрушения пластичных материалов. Теоретичні і прикладні задачі обробки тиском. – Вінниця, 2011. – С. 28-29.
4. Огородніков В. А. Штамповка листових заготовок та створення безпечних конструкцій / В. А. Огородніков, Т. Ф. Архіпова, В. О. Макаров, С. І. Сухоруков // Вісник машинобудування та транспорту. – 2019. - №2. – С. 65-71

*Архіпова Тетяна Федорівна* – доцент, к. т. н., доцент кафедри ОМТМГ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail – [tfarhipova@gmail.com](mailto:tfarhipova@gmail.com)

## ЕНЕРГІЯ ЗНОШУВАННЯ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Розроблено енергетичний критерій зносу вузлів на поверхнях, що труться деталей машин. Оцінюється коефіцієнт приросту твердості за рахунок затвердіння. Коефіцієнт приросту твердості встановлюється відповідно до співвідношення питомих потенційних енергій. Отримані формули, що дозволяють оцінити потенційну енергію, витрачену на знос за час експлуатації, що дозволяє визначити ресурс, який використовується при експлуатації машинобудівних виробів.*

**Ключові слова:** енергія зношування, твердість, феноменологічний критерій.

В процесі експлуатації деталей машин елементи конструкції сприймають знакозмінні динамічні навантаження, які викликають інтенсивне зношування контактних поверхонь.

Якість поверхневого шару може бути оцінена шляхом ідентифікації механічних властивостей в локальних точках поверхневого шару [1]. Однак часто виникає проблема кількісної оцінки міри працездатності вузлів деталей машин. В роботі розроблений метод оцінки граничних параметрів величини зношування, при досягненні яких елементи конструкції мають бути замінені.

Пропонується феноменологічний критерій зношування, який оснований на експериментальному методі вимірювання твердості поверхонь тертя [2] – вимірювання твердості до початку та в процесі експлуатації за вихідною твердістю визначають універсальну механічну характеристику матеріалу – криву течії в координатах – інтенсивність напружень  $\sigma_u$ , інтенсивність деформацій  $\varepsilon_u$ , яку можна описати рівнянням:

$$\sigma_u = A\varepsilon_u^n, \quad (1)$$

де  $A$ ,  $n$  – коефіцієнти апроксимації. Інтегрування кривої течії визначаємо питому потенціальну енергію, яка витрачається на зношування.

Верхня межа інтегралу  $\varepsilon_u^*$

$$W_{уд} = \int_0^{\varepsilon_u^*} \sigma_u d\varepsilon_u = A \int_0^{\varepsilon_u^*} \varepsilon_u^n d\varepsilon_u = \frac{A\varepsilon_u^{n+1}}{n+1}. \quad (2)$$

Перемножуємо отримане значення на об'єм, охоплений деформацією, розраховуємо енергію деформації:

$$W_{def} = W_{уд} \cdot V. \quad (3)$$

Метод дозволяє на стадії експлуатації вимірюванням твердості оцінювати можливість подальшої експлуатації деталей виробів машинобудування.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Никитин Ю. А. Новые направления в оценке качества поверхности материалов / Ю. А. Никитин, В. В. Запорожец // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин: Зб. наук. праць (серія Г «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти») НАН України ім. Бакуля. – Київ, 2003. – 332 с.
2. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение (Задачи автотехнической экспертизы). : Монография / В. А. Огородников, В. Б. Киселев, И. О. Сивак. – Винница : Универсум-Винница, 2005. – 204 с.



Губанов Андрій Васильович, інженер кафедри ОМТМІГ, ВНТУ, м. Вінниця, [gubanovav@ukr.net](mailto:gubanovav@ukr.net).

## ENERGY OF FRICTION WEAR UNITS OF MACHINE PARTS

### Abstract

*An energy criterion has been developed for the wear of knots on the rubbing surfaces of machine parts. The coefficient of hardness increment due to hardening is evaluated. The coefficient of hardness increment is set in accordance with the ratio of the specific potential energies. Formulas have been obtained that allow estimating the potential energy expended on wear during the operation time, which allows us to determine the resource used in the operation of engineering products.*

**Keywords:** wear energy, hardness, phenomenological criterion.

*Gubanov Andrei*, engineer of the department MSTMEG, VNTU, Vinnitsa, [gubanovav@ukr.net](mailto:gubanovav@ukr.net).

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОЛОЖЕННЯ ШТУЧНОГО ТРАНСПЛАНТАТУ СУХОЖИЛЛЯ ПІДКОЛІННОГО М'ЯЗА НА СТАБІЛЬНІСТЬ КОЛІННОГО СУГЛОБА

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

<sup>2</sup> Запорізький державний медичний університет;

<sup>3</sup> Дніпровський державний медичний університет

### **Анотація**

*В роботі виконується дослідження з оцінки впливу положення трансплантату сухожилля підколінного м'яза, яке необхідно обрати при проведенні операції з пластики структур задньолатерального кута, на стабільність колінного суглоба при зовнішньому ротаційному навантаженні.*

**Ключові слова:** штучний трансплантат, сухожилля підколінного м'яза, колінний суглоб, ротаційне навантаження, метод скінчених елементів.

### **Вступ**

Пошкодження задньолатерального кута становлять значну частину травм зв'язкового апарату колінного суглоба. Такі травми бувають як ізольованими, так і можуть поєднуватися з розривами задньої чи передньої хрестоподібних зв'язок. При цьому ушкодження задньолатерального кута колінного суглоба призводить до хронічної латеральної та зовнішньої ротаційної нестабільності.

Тут слід зауважити, що колінний суглоб є одним із найважливіших і великих суглобів в організмі людини. Тому питанням, пов'язаним із розробкою та дослідженням різних методів відновлення стабільності колінного суглоба, присвячено велику кількість наукових праць [1-3]. Зокрема, в [2] розглядається спосіб відновлення зв'язкового апарату, при комбінованих ушкодженнях колінного суглоба, проте виконується реконструкція тільки задньої хрестоподібної зв'язки. Проте, у роботі [1] вказується на те, що при відновленні стабільності колінного суглоба недостатня увага приділяється саме структурам задньолатерального кута. Це, в свою чергу, призводить до незадовільних результатів лікування.

Метою роботи є дослідження стабільності колінного суглоба при дії зовнішнього ротаційного навантаження в залежності від положення фіксації трансплантату сухожилля підколінного м'яза при пластиці структур задньолатерального кута.

### **Матеріали та методи**

Дослідження виконано з використанням програмного комплексу, що базується на методі скінчених елементів у програмному середовищі «ANSYS». Об'єктом дослідження був колінний суглоб та його зв'язки. Геометрична модель складалася з суглобових кінців великогомілкової, малогомілкової та стегнової кісток, які формують колінний суглоб.

Побудова розрахункової моделі здійснювалась за даними комп'ютерної томографії (КТ) колінного суглоба дорослої людини за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для обробки КТ-знімків «3D Slicer».

Для виконання дослідження з визначення найбільш оптимального положення фіксації трансплантату підколінного м'яза було побудовано 9 розрахункових схем, які відрізнялися місцем його кріплення на задній поверхні великої гомілкової кістки. Також була побудована і контрольна 10 модель, у якій сухожилля підколінного м'яза було відсутнє.

## Результати дослідження

За підсумками розрахунків отримано картини розподілу напружень, деформацій та переміщень в елементах моделі колінного суглоба (суглобові кінці кісток та зв'язки). Оскільки основною метою операції з відновлення структур задньолатерального кута є забезпечення стабільності гомілки при ротаційному навантаженні, то критеріями оцінки ефективності вибору точки фіксації трансплантата було визначено показники переміщень частин скінчено-елементної моделі. Основними величинами були максимальні переміщення точок чисельної моделі, які належать гомілці, в горизонтальній площині, а також величина повного переміщення.

## Висновки

З точки зору стабільності гомілки при ротаційному навантаженні, найбільш ефективною виявилась фіксація трансплантата при пластиці підколінного м'яза на задній поверхні великогомілкової кістки максимально латерально і ближче до її суглобової поверхні.

Найбільші переміщення у всіх напрямках отримані у контрольній моделі, в якій сухожилля підколінного м'яза було відсутнє.

При зміщенні точки фіксації трансплантату підколінного м'яза на задній поверхні великогомілкової кістки зовні всередину відбувається зростання переміщень, що означає зменшення стабільності гомілки при зовнішній ротації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Головаха, М. Л., Диденко, И. В., Красноперов, С. Н., & Орлянский, В. (2018). Результаты лечения комбинированных повреждений задней крестообразной связки и структур заднелатерального угла коленного сустава. Ортопедия, травматология и протезирование, (4), 92-101.
2. Lee, D. Y., Park, Y. J., Kim, D. H., Kim, H. J., Nam, D. C., Park, J. S., & Hwang, S. C. (2018). The role of isolated posterior cruciate ligament reconstruction in knees with combined posterior cruciate ligament and posterolateral complex injury. Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA, 26(9), 2669–2678. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4672-x>
3. LaPrade RF, Ly TV, Wentorf FA, Engebretsen L. The posterolateral attachments of the knee: a qualitative and quantitative morphologic analysis of the fibular collateral ligament, popliteus tendon, popliteofibular ligament, and lateral gastrocnemius tendon. Am J Sports Med. 2003 Nov-Dec;31(6):854-60. doi: 10.1177/03635465030310062101. PMID: 14623649

**Панченко Сергій Павлович** — к.т.н., доц., доцент кафедри механічної та біомедичної інженерії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Головаха Максим Леонідович** — д.мед.н., проф., завідувач кафедри травматології та ортопедії, Запорізький державний медичний університет

**Зуб Тетяна Олександрівна** — к.мед.н., асистент кафедри медико-соціальної експертизи і реабілітації ФПО, Дніпровський державний медичний університет

### *Estimation of influence of artificial hamstring tendon graft position on stability of knee joint*

#### **Abstract**

*In the work, a study is being carried out to estimate the influence of position of hamstring tendon graft, which must be chosen during surgery procedure for recovery of structures of posterolateral angle, on stability of knee joint under external rotational load.*

**Keywords:** artificial graft, hamstring tendon, knee joint, rotational load, finite element method.

**Panchenko Serhii P.** — PhD, Assistant Professor, Department of Mechanical and Biomedical Engineering, Dnipro University of Technology

**Golovakha Maksym L.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department of Traumatology and Orthopedics, Zaporizhzhia State Medical University

**Zub Tetiana O.** — PhD, Department of Medical and Social Assessment and Rehabilitation FPE, Dnipro State Medical University

## СТВОРЕННЯ ШТУЧНИХ ІМПЛАНТАТІВ У БІОМЕДИЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

<sup>1</sup> National University “Odessa Polytechnic”;

<sup>2</sup> Vinnytsia National Technical University

### **Анотація**

*Запропоновано огляд сучасних технологічних моментів у біомедичній інженерії, а саме штучні імплантати. На прикладах показано переваги використання цієї сучасної технології для людства в цілому.*

**Ключові слова:** штучні імплантати, протезування, біомедична інженерія, кінцівки людини, біомеханіка.

### **Вступ**

Нещодавно механічні руки і ноги, керовані думкою і улюблені багатьма шанувальниками фантастики, були просто далекою мрією. Але прогрес не стоїть на місці. Тепер такі ідеї письменників-фантастів вже реальність. Інженерні розробки стали невід'ємною складовою сучасної медицини. Завдяки їм лікарі отримали можливість успішно вживлювати штучні частини тіла.

Метою роботи є аналіз переваг та недоліків при створенні та застосуванні штучних імплантатів.

### **Результати дослідження**

Деякі галузі біомедичної інженерії частково зосереджені на розробці протезів та імплантатів. Розробка та використання протезів та штучних імплантатів є основною проблемою реабілітаційної техніки, галузі, яка займається розробкою технологічних рішень для проблем людей з обмеженими можливостями та порушеннями функцій. Для відновлення функції використовуються такі протези, як протези стегна, кінцівки, кардіостимулятори, синтезатори мови та імплантати сітківки та ін.

Використання протезів і штучних імплантатів піднімає питання людської ідентичності та гідності, оскільки передбачає додавання штучних структур і систем до людської біології або навіть заміну людських тканин і органів штучними версіями. Використання протезів та імплантатів, особливо тих, що мають функціональні частини, перетворює людей на кіборгів: істот, які частково є людьми, частково машинами. Також слід брати до уваги релігійні моменти. Так чи інакше, але використання протезів і штучних імплантатів покращує якість і, навіть, рятує людське життя в окремих випадках.[1-3]

Звичайно, існують певні технічні моменти на які потрібно звертати увагу, це – біосумісність імплантату, якість поверхні, точна хірургічна техніка, правильна ортопедична конструкція та інше.

Як це працює? Після ампутації кінцівки в організмі людини залишаються рухові нерви, їх хірурги з'єднують з ділянками великого м'яза — наприклад, грудної, якщо йдеться про ампутувану руку. Коли людина думає, що треба поворухнути пальцем, мозок відправляє сигнал грудному м'язу. Сигнал фіксується електродами, які відправляють імпульс по дротах у процесор усередині електричної руки до потрібної ділянки. Протез здійснює рух.

Ще один важливий напрямок - створення штучного серця. У цілому нині дослідження у цій галузі можна розділити на дві групи: конструювання біомеханічного серця чи «вирощування» біологічного. Розробки першого типу ведуться досить давно. Основні проблеми, які тривалий

час не знаходили рішення, були пов'язані зі створенням потужного, і при цьому досить невеликого джерела живлення, а також із міцністю матеріалів штучного серця, яке, на відміну від біологічного, не здатне самооновлюватися. На сьогодні існують проекти, які тією чи іншою мірою вирішують ці завдання.

Прикладом є проект BiVACOR, над яким працюють фахівці з Австралії та США, він пройшов стадію випробувань на тваринах. Перевага даної розробки – тривалий термін експлуатації, який розробники пристрою оцінюють у 5-10 років і більше. Ця модель не імітує пульсуючу роботу живого серця, а забезпечує постійні потоки артеріальної та венозної крові, для перекачування якої використовується двосторонній ротор, що обертається, підвищений в магнітному полі. Відсутність кріплень та інших зон механічного контакту дозволяє мінімізувати зношування деталей (рис.1). [4]



Рис. 1. Штучне серце BiVACOR [4]

BiVACOR також оснащений зовнішніми контролерами, які дозволяють змінювати швидкість кровотоку залежно від фізичної та емоційної активності пацієнта. Акумулятори цієї системи також зовнішні. Сам пристрій менший за серце дорослої людини, і, як повідомляють його розробники, у перспективі може імплантуватися навіть дітям.[4]

### Висновки

Через велику різноманітність конструкцій штучних імплантатів, лікар або поточний оператор повинен дуже ретельно обирати імплантати та ознайомитися з інформацією про їх властивості разом із запланованим планом лікування. Клініцисти повинні мати знання про клітинні та молекулярні події, які призводять до остеоінтеграції, оскільки такі знання важливо зв'язати з основним механізмом клінічних результатів.

Інноваційні матеріали та технології дозволяють виробляти імплантати безпосередньо під кожного конкретного пацієнта з урахуванням його анатомії, генетики, віку, гендерних особливостей. Також явно намітилася тенденція до скорочення часу від ідеї до застосування матеріалів у штучних імплантатах. Ці технології максимально враховують всі недоліки і в найближчому майбутньому увійдуть у звичну практику.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Greatbatch W, Holmes CF. History of implantable devices. IEEE Eng Med Biol Mag. 1991;10:38–41
2. ISO 13485:2003. Medical devices -- Quality management systems -- Requirements for regulatory purposes [Internet] Geneva: Switzerland: [cited 2013 Jun 15]. Available from: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=36786](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=36786)
3. Larsson B, Elmqvist H, Ryden L, Schuller H. Lessons from the first patient with an implanted pacemaker: 1958-2001. Pacing Clin Electrophysiol. 2003;26(1 Pt 1):114–124
4. Електронний ресурс - <https://bivacor.com/>

**Тітова Наталія Володимирівна** — завідувачка кафедру біомедичної інженерії, д.т.н., проф., Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, e-mail: [titova.n.v@op.edu.ua](mailto:titova.n.v@op.edu.ua)

**Павлов Сергій Володимирович** — д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua)

**Семашкін Валентин Олегович** — магістр з біомедичної інженерії, Національний університет «Одеська політехніка», Одеса email: [semaskin.valentin@gmail.com](mailto:semaskin.valentin@gmail.com)

## ***Creation of artificial implants in biomedical engineering***

### ***Abstract***

*An overview of modern technological aspects in biomedical engineering, namely artificial implants, is offered. Examples show the benefits of using this modern technology for humanity as a whole.*

**Keywords:** artificial implants, prosthetics, biomedical engineering, human limbs, biomechanics.

**Titova Nataliia V.** — Head of Department of Biomedical Engineering, National University “Odessa Polytechnic”, email; [titova.n.v@op.edu.ua](mailto:titova.n.v@op.edu.ua)

**Pavlov Sergiy V.** – Professor of the Department of Biomedical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua)

**Semashkin Valentin O.** — Master of biomedical engineering, National University “Odessa Polytechnic”, email; [semashkin.valentin@gmail.com](mailto:semashkin.valentin@gmail.com)

**В. Є. Кривонос**  
**О. Г Шайко-Шайковський**  
**Л. А. Кошева**

## **ПРИНЦИП БУДОВИ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЛІКУВАННЯ ПЕРЕЛОМІВ КІСТОК З ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

**Національний авіаційний університет**  
**Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича**

**Анотація.** У статті розглянуто питання застосування штучного інтелекту при дистанційному контролі лікування переломів трубчастих кісток при накістковому остеосинтезі. Побудовано система із використанням не інвазійного методу контролю та діагностики. Запропонована концепція розвитку медичної інформаційної системи для дистанційного контролю перебігу лікування переломів трубчастих кісток для відповідної групи хворих. Отримані результати дозволяють зменшити період лікування, знизити процент інвалідності, а у період пандемії – скоротити кількість контактних зустрічей з хворим.

**Ключові слова:** штучний інтелект, програмне забезпечення, остеосинтез, накісткова пластина, перелом кінцівки, інформаційна медична система, дистанційне лікування.

Світове суспільство у 21 столітті все частіше стикається із глобальними захворюваннями: такими як Ебола, короно-вірус, ВІЛ та інші, які переростають у пандемію та обмежують безпосередні контакти людей, країн та континентів. Контролювати в режимі «Of Iain» процеси лікування та реабілітації хворих стає все більш ускладненим [1]. Інформаційні системи діагностики стану хворого, дистанційного контролю процесу лікування, медикаментозної корекції в ході лікування на сьогоднішній день не можливі без використання штучного інтелекту.

Застосування штучного інтелекту дозволяє зменшити тривалість хворого на лікарняному, знизити відсоток інвалідності, а в період пандемії скоротити кількість контактів і зустрічей, дистанційно вирішувати психологічні та фінансові питання, що є важливим у наш час[2].

**Мета дослідження.** Розробка інформаційного комплексу дистанційного контролю лікування групи хворих із впровадженням не інвазійної діагностики контролю запальних процесів, швидкості утворення хрящового мозоля та спостереження за станом фіксуємого пристрою з застосуванням штучного інтелекту.

На рис. 1, представлена структурна схема інформаційного комплексу дистанційного лікування групи хворих. де позначено: 1 -«Smart –накісткова пластина(НП)», 2 -«блок прийняття рішень». 3 – мобільний телефон хворого, 4 – робочий стіл лікаря



Рис. 1. Структурна схема інформаційного комплексу

Функціональне призначення «блоку прийняття рішень» (у подальшому «блок»). В ньому встановлені, джерело живлення, температурний датчик вимірювання температури тіла хворого, приймач інформаційних сигналів, які поступають з передавача, встановленого у «Smart –НП», мікропроцесор для обробки та перетворення сигналів з датчиків, які розташовано у «Smart –НП», передатчик - «блютуз» зв'язок з мобільним телефоном хворого. Блок здійснює безпроводне передавання електроенергії для живлення елементів. Що розташовано у «Smart –НП», приймання даних вимірів та їх обробку, передавання оброблених даних у мобільний телефон хворого.

«Smart –НП» хірургічним шляхом встановлюється на пошкоджений ділянку кістки.

Робота інформаційної системи здійснюється наступним чином[3,4]. Підготовчий етап.

1. У мобільний телефон хворого та блок прийняття рішень встановлюється додаток, який підтримує «блютуз» зв'язок.
2. Встановлюється мобільний зв'язок хворого з лікарем
3. Лікар організує в системі E-health, персональну медичну картку хворого.
4. Активізація комплексного пристрою контролю, діагностики та лікування хворого відбувається при піднесенні блоку прийняття рішень до «Smart –НП». На рис 2, Представлено дослідний макет бездротової передачі інформації, виконаного на двох мікроконтролерах, частотною модуляцією 460 МГц.

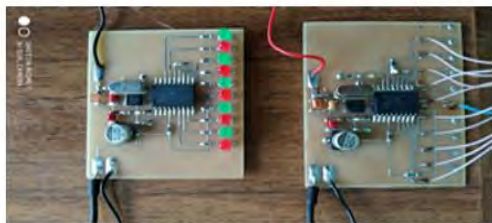


Рис. 2. Макет бездротової передачі інформації

**Висновок** Сформульовано критеріальні співвідношення інформаційних параметрів, які дозволили розробити метод, пристрій та програмне забезпечення для комплексу виявлення аномалій на ранній стадії в період лікування. Запропонована концепція розвитку медичної інформаційної системи, яка дозволяє проводити дистанційний контроль та лікування переломів трубчастих кісток групи хворих.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Біомеханічна оцінка різних варіантів остеосинтезу діафізарних переломів кістки The 11 th International scientific and practical conference “International scientific innovations in human life” (May 11-13, 2022) Cognum Publishing House, Manchester, United Kingdom. 2022. 74-82 p. Дудко А. Г., Кривонос В. Е., Шайко-Шайковський А. Г.
2. Fracture displacement sensors for bone osteosynthesis Kryvonosov V., Shayko-Shaykovskiy A., Titova N. Österreichisches Multiscience Journal (Innsbruck, Austria), No31 (2020) VOL 1, p. 62-69.
3. Пат. № 122486 Україна, МПК А61В 5/103 Спосіб контролю місця перелому кістки при накістковому остеосинтезі Кривонос В.Е ; Заявл. а2019 07284, 01.07.2019.; Опубл. 10.11.2020 Бюл. № 21.
4. Комп'ютерна програма «Неінвазійний контроль і діагностика стану перелому кістки при накістковому остеосинтезі» Кривонос В.Е., Шайко-Шайковський О.Г., Кривонос В.В. Свідчення про реєстрацію авторського права на твір № 104604 від 18.05.2021;

Кривонос Валерії Єгорович д.т.н., проф., проф. кафедри БІКАМ Національний авіаційний університет  
yhtverf007@ukr.net

Шайко-Шайковський Олександр Геннадійович д.т.н., проф., проф. кафедри ПТОі Ф, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича E-mail: O.Shaiko-Shaikovskiy@chnu.edu.ua

Кошева Лариса Олександрівна, д. т. н, проф., завідувача кафедри БІКАМ, Національний авіаційний університет/ [i.koch@ukr.net](mailto:i.koch@ukr.net).

#### PRINCIPLE OF BONE FRACTURE TREATMENT REMOTE CONTROL SYSTEM CONSTRUCTION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

**Abstract.** The article discusses the issue of using artificial intelligence in the remote control of the treatment of fractures of tubular bones during per osseous osteosynthesis. A system was built using a non-invasive method of control and diagnostics. The proposed concept of the development of a medical information system for remote control of the course of treatment of tubular bone fractures for the appropriate group of patients. The obtained results make it possible to reduce the period of treatment, reduce the percentage of disability, and during the pandemic - to reduce the number of contact meetings with the patient.

**Key words:** artificial intelligence, software, osteosynthesis, bone plate, limb fracture, medical information system, remote treatment.

Valerss Kryvonosov , Ph.D., prof., prof. Department of BIKAM, National Aviation University.  
yhtverf007@ukr.net

Oleksandr Shayko-Shaykovskii, Ph.D., prof., prof. of the department, professor of the department of professional and technological education and general physics, Chernivtsi National University named after Yuri Fedkovich E-mail: O.Shaiko-Shaikovskiy@chnu.edu.ua

Larisa Kosheva, Ph.D., Prof., Head of the BICAM Department, National Aviation University/  
[i.koch@ukr.net](mailto:i.koch@ukr.net)



## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРИСТИХ КІСТКОВИХ ЗАМІННИКІВ НА ОСНОВІ ГІДРОКСИПАТИТУ

Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна

### Анотація

Досліджено процеси біомінералізації кальцій-фосфатних матеріалів, механізми регуляції процесів кристалізації, а також властивості, які відповідальні за контрольовану доставку дозованої кількості протизапальних лікарських препаратів в дефектну зону кісткової тканини.

**Ключові слова:** інженерія кісткової тканини, 3D-друкований кістковий замітник, гідроксиапатит.

### Вступ

Кальцій-фосфатна біокераміка на основі гідроксиапатиту (НА) широко використовується як матеріал для регенерації кісткової тканини [1]. Пористість є важливою вимогою до кісткових заміників, оскільки архітектура пор впливає на ефективність посіву клітин, життєздатність клітин, міграцію, морфологію, клітинну проліферацію, клітинну диференціацію, ангиогенез, механічну міцність скелетів і, зрештою, формування кістки [2]. Метою цього дослідження було оцінити вплив трьох факторів (швидкість спікання, час перемішування та концентрація гідроксиапатиту) на пористість, міцність на стиск та кристалічність пористих тіл.

### Результати дослідження

Процес синтезу гідроксиапатит (НА) включає наступне: змішування трьох розчинів ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ;  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ;  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) у термостаті (скляна колба,  $V = 35$  мл) при температурах ( $50^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$ ) та витримування при заданій температурі не менше 10 хвилин. Формування твердого гідроксиапатиту включає дві стадії: осадження з розчину (утворення твердої фази); кристалізація (утворення далекого порядку) твердої фази. Співвідношення швидкостей цих стадій визначає кристалічність вихідного продукту, наприклад, його кристалічність. Співвідношення можна скорегувати варіацією перенасичення, часом кристалізації (залежність від співвідношення об'єму колби і інтенсивності подачі речовини) і температурою. При високій швидкості потоку (60 мл/хв) і низькій температурі ( $50^\circ\text{C}$ ) відбувається швидке осадження без кристалізації (середній час осадження =  $35 \text{ мл}/60 \text{ мл хв}^{-1} = 35 \text{ с}$ ). при швидкості потоку 30 мл/хв, середній час осадження-кристалізації дорівнює 70 с і продукт має певну кристалічність, а якщо при цих же умовах підняти температуру реакції до  $60^\circ\text{C}$ , то на виході будемо мати високо-кристалічний апатит, про що свідчать XRD і FTIR вимірювання. Спікання проводилося при  $1200^\circ\text{C}$  протягом 1 години. Досліджувався вплив трьох факторів (швидкість спікання, час перемішування та концентрація гідроксиапатиту) на пористість, міцність на стиск та кристалічність пористих тіл. Для оцінки швидкості спікання, порівнювали зразки 1 та 2. Концентрацію гідроксиапатиту та час перемішування підтримували сталими, коли швидкість спікання змінювалась. Розміри і маса всіх зразків вимірювалися до і після термообробки (Таблиця 1).

Таблиця 1 Умови отримання пористого НА.

Зразок	Вода (г)	Концентрація ГА (мас.%)	Час перемішування	Швидкість спікання
Sample 1	15,7	44	20	$25^\circ\text{C}/\text{хв}$
Sample 2	15,7	44	20	$220^\circ\text{C}/\text{год}$

Встановлено, що зразок 1 має вищу середню видиму щільність, міцність на стиск та модуль Юнга, тоді як середня пористість була нижчою. Середня міцність на стиск для зразка 1 становила 10 МПа, середня видима щільність - 2,03 г/см<sup>3</sup>, середня пористість - 35,9%. У експерименті було встановлено, що більш високий показник швидкості спікання призводить до вищої видимої щільності і вищої міцності на стиск (Рис. 1).

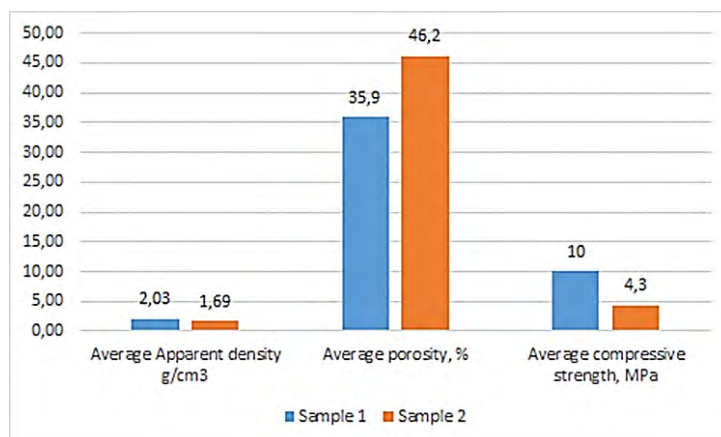


Рис. 1. Середня видима щільність, міцність на стиск і пористість зразків

### Висновки

На сьогодні існує велика потреба у біоматеріалах для відновлення кісткової тканини, яка обумовлена, з одного боку, збільшенням рівню побутових та виробничих травм, військових дій та терористичного травматизму, а з іншого – впровадженням нових сучасних методів лікування і протезування у травматичній хірургії, онкології, черепно-щелепній хірургії, стоматології, тощо. Досліджено структуровані гібридні матеріали на основі синтетичного кальцій дефіцитного гідроксиапатиту з метою їх подальшого використання в якості скаффолдів кістковоутворюючих клітин, а також для контрольованої доставки дозованої кількості протизапальних лікарських препаратів в дефектну зону кісткової тканини.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. El-Fiqi, A. Three-dimensional printing of biomaterials for bone tissue engineering: a review/ A. El-Fiqi, Front. Mater. Sci. 2023, 17, 230644.
2. Sari, M., Hening, P., Chotimah et al. Bioceramic hydroxyapatite-based scaffold with a porous structure using honeycomb as a natural polymeric Porogen for bone tissue engineering. Biomater Res. 2021, 25, 2.
3. Субмікронні та нанорозмірні структури електроніки / [З. Готра, І. Григорчак, С. Павлов та ін.]. - Чернівці : Технологічний Центр, 2014. – 839 с.
4. Information Technology in Medical Diagnostics //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press - 210 Pages.

**Прокопович Ігор Валентинович** — д.т.н., професор, директор інституту медичної інженерії, Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна, e-mail: igor.prokopovich@gmail.com

**Дядюра Костянтин Олександрович** — д.т.н., професор, кафедра біомедичної інженерії, Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна, e-mail: dyadyura.k.o@op.edu.ua

### Study of mechanical properties of porous bone substitutes based on hydroxyapatite

**Abstract.** The processes of biomineralization of calcium-phosphate materials, the mechanisms of regulation of crystallization processes, as well as the properties responsible for the controlled delivery of a dosed amount of anti-inflammatory drugs to the defective area of bone tissue were studied..

**Keywords:** bone tissue engineering, 3D printed scaffold, hydroxyapatite.

**Prokopovich, Igor V.** — doctor of technical sciences, professor, director of the Institute of Medical Engineering, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine, e-mail: igor.prokopovich@gmail.com

**Dyadyura Kostiantyn O.** — doctor of technical sciences, professor, Department of Biomedical Engineering, Odessa Polytechnic National University/Ukraine, e-mail: dyadyura.k.o@op.edu.ua

## FEATURES OF MANUFACTURING FIBER BRAGG GRATINGS

<sup>1</sup>Politechnika Lubelska, Lublin, Poland

<sup>2</sup>Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine

<sup>3</sup>M.H. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

**Abstract.** Features of manufacturing fiber Bragg gratings, which are sensors based on fiber Bragg gratings. The types of Bragg lattices are considered, i.e. straight homogeneous lattices, lattices with variable periods, lattices with a long period, oblique lattices.

**Keywords:** Fiber Bragg gratings, reflection spectrum, sensors, period.

One of the most commonly used fiber-optic sensors are sensors based on fiber-Bragg gratings. The gratings reflect a light signal, the spectral characteristic of which (wavelength) shifts along with the change in the measured parameter (temperature). In the manufacture of gratings, an area with a periodic change in the refractive index is created inside the core, and this area is directly called the VBR. A fiber Bragg lattice is a section of an optical fiber in the core of which the refractive index periodically changes in the longitudinal direction], which is shown in Figure 1 [1].

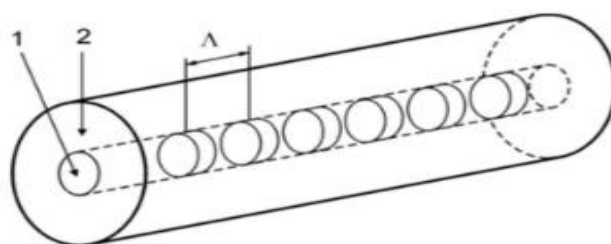


Figure 1. Fiber-bragg lattice where: 1- is the core, 2 - is the cloak,  $\lambda$  - is the lattice period

The reflection spectrum of the fiber bragg lattice, depending on the wavelength, is shown in figure 2.

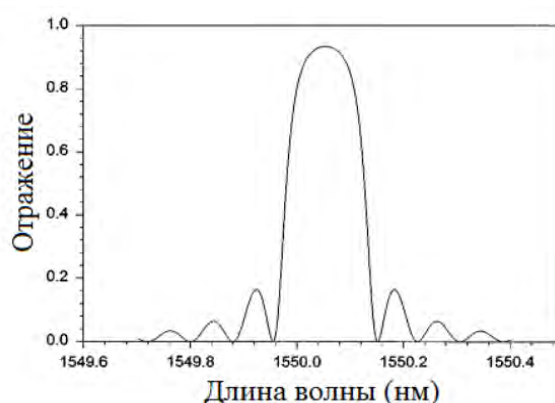


Figure 2. The reflection spectrum

Straight homogeneous gratings are a distributed bragg reflector formed in the light-carrying core of an optical fiber. straight homogeneous gratings have a narrow reflection spectrum, are used in fiber lasers, fiber-optic sensors, to stabilize and change the wavelength of lasers and laser diodes, etc. (fig.3).

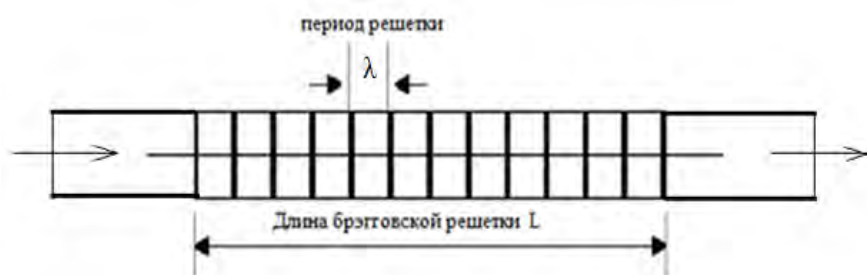


Figure 3. Structure of a straight homogeneous lattice

A chirped bragg lattice is called a bragg lattice, which has a period dependence along the direction of light propagation (chirp). Different wavelengths are reflected from the bbr at different depths having the corresponding period. the most common chirped bragg gratings with linear chirp. Thirped gratings are mainly used to compensate for dispersion [2]. The production of chirped bragg gratings (cbr) consists of the narrowing and bending of the optical fiber during recording and the linear stretching of the phase mask obtained when it is heated. phase masks with variable pitch are also used in the production of chirped bragg gratings. in lattices, chirp denotes an increase or decrease in the lattice period, and this change in the length of the period is most often linear. The cross-section of the structure formed on the fiber core is shown in figure 4.

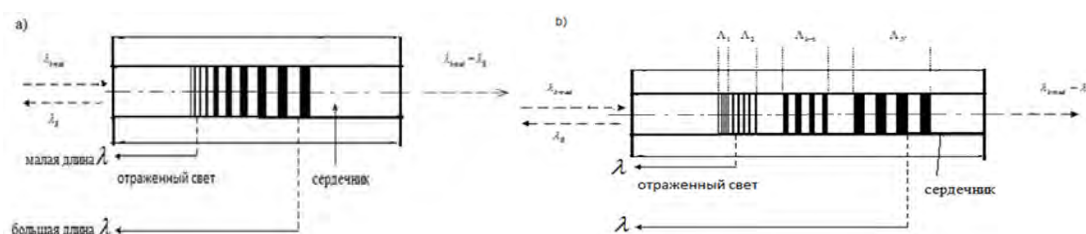


Figure 4. The structure of the chirped bragg lattice (cbr):  
 a) chirping of the bragg lattice, b) cascade chirped lattice

The lattices shown in figure 4 can be obtained using fixed changes in the lattice period  $\lambda$  or by changing the refractive index in the core. Such a lattice can be used for different wavelengths. In chirped lattices, the frequency resonance is a linear function symmetric along the lattice [3]. Individual frequencies are reflected in different places of the grid. This results in different delay times. a temporary extension of the pulse is possible (figure 5).

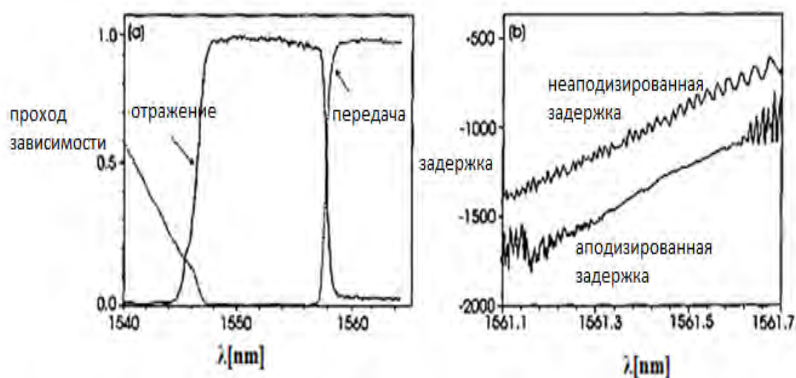


Figure 5. Characteristics of a typical bbr grating  
 a) transmission reflection profile, b) apodized and non-apodized group delay

In addition, fiber-optic amplifiers with light pumps are used in telecommunication systems [4]. They reduce the performance of the entire system by increasing the noise level by using wavelengths that have not been absorbed. This can be avoided by using chirped gratings that reject unoccupied wavelengths and leave only those that are really needed. this reduces the noise level. Such gratings can be used in the design of erbium optical amplifiers [5]. Chirped gratings are increasingly used as elements in telecommunication systems.

## REFERENCES

1. Wójcik W., Kisała P., „Modelowanie struktur światłowodowych siatek Bragga wykorzystywanych w układach czujnikowych”, *Pomiary Automatyka Kontrola*, Vol.53, nr 11’2007, s: 10-14.
2. Wójcik W., Kisała P., Ciężczyk S., „Nano-measurements of physical quantities by using of the Fiber Bragg Gratings”, *X International conference on Physics and Technology of Thin Films ICPTTF-X. Ivano-Frankivs, 2005*, pp. 99-102, ISBN 966-8207-30-0. Ukraine 2005.
3. Вуйцик В., Павлов С.В., Карнакова Г.Ж., Чепурная О.Н., Холин В.В. Оптические сенсоры для измерения температуры на основе брегговских решеток с линейным измерением периода// ЛАЗЕРНА ХІРУРГІЯ Матеріалознавчо-практичної конференції «Лазерні технології в клінічній медицині: сучасні тенденції розвитку в Україні». Черкаси. Україна, 2018. С 274-279
4. Goldberg D. E., Holland J. H., „Genetic Algorithms and Machine Learning”, *Machine Learning* 3: 95-99, 2008.
5. Vasylyuk V., Kukharchuk, Sergii V. Pavlov, Volodymyr S. Holodiuk, Valery E. Kryvonosov, Krzysztof Skorupski, Assel Mussabekova and Gaini Karnakova. Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors, *Sensors* 2022, 22, 271. <https://doi.org/10.3390/s22010271>.
6. Субмікронні та нанорозмірні структури електроніки / [З. Готра, І. Григорчак, С. Павлов та ін.]. - Чернівці : Технологічний Центр, 2014. – 839 с.

**Waldemar Wójcik** - Director of the Institute of Digitalization and Computing Technology of Poland, Doctor of Technical Sciences, Lublin Technical University. e-mail: [waldemar.wojcik@pollub.pl](mailto:waldemar.wojcik@pollub.pl)

**Sergey Vladimirovich Pavlov** - Professor of the Department of Biomedical Engineering of Optoelectronic Systems of Vinnytsia National Technical University, e-mail: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua)

**Gaini Zharaskhanovna Karnakova** —Ph.D., M.H.Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan, e-mail: [gaini.karnakova@mail.ru](mailto:gaini.karnakova@mail.ru)

## ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ВОЛОКОННИХ БРЕГГІВСЬКИХ РЕШІТОК

**Анотація.** Особливості виготовлення волоконних бреггівських решіток, які являють собою датчики на основі волоконних бреггівських решіток. Розглядаються типи бреггівських решіток, тобто прямі однорідні решітки, решітки зі змінними періодами, решітки з великим періодом, похилі решітки.

**Ключові слова:** Волоконні бреггівські решітки, спектр відбиття, датчики, період.

**Вуйцик Вальдемар** - директор Інституту цифровізації та обчислювальних технологій Польщі, доктор технічних наук, Люблінський технічний університет. e-mail: [waldemar.wojcik@pollub.pl](mailto:waldemar.wojcik@pollub.pl)

**Павлов Сергій Володимирович** -професор кафедри біомедичної інженерії оптоелектронних систем Вінницького Національного Технічного Університету, e-mail: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua)

**Карнакова Гайні Жарасханівна** – Ph.D., Таразський регіональний університет ім.М.Х.Дулати, Тараз, Казахстан, e-mail: [gaini.karnakova@mail.ru](mailto:gaini.karnakova@mail.ru)



## ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОРЕЛЬЄФУ ПОВЕРХОНЬ З МАТЕРІАЛУ СЕРІЇ TC-80DP ПІСЛЯ 3D ДРУКУ

Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна

### Анотація

У даній роботі досліджували мікрорельєф поверхонь зразків растровою мікроскопією і елементний аналіз методом рентгенівської енергодисперсійної спектроскопії. Матеріал Tera Harz TC-80DP. Зразки отримані 3D друком з використанням робочого процесу, рекомендованого виробником.

**Ключові слова:** інженерія кісткової тканини, 3D-друкований кістковий замітник, TC-80DP, стоматологічний матеріал для незнімного протезування.

### Вступ

Стоматологічний матеріал для незнімного протезування TC-80DP проходить випробування, ефективність якого вже доведена у багатьох клінічних застосуваннях по всьому світу [1]. TC-80DP може замінити такі матеріали, як діоксид цирконію та композит. Це також біологічно сумісний матеріал, який пройшов сертифікацію CE, FDA і безпечний у використанні. Матеріал Tera Harz TC-80DP можна надрукувати безпосередньо для виготовлення коронки, моста, вкладки, накладки без будь-яких відходів. Це рішення здатне значно підвищити ефективність і продуктивність стоматологічних практик. Метою нашого дослідження є вивчення методами растрової електронної мікроскопії мікрорельєфу поверхонь зразків після 3D друку.

### Результати дослідження

Дослідження проводили на скануючому електронному мікроскопі SEO-SEM Inspect S50-B (Сумський державний університет, м. Суми), що містить енергодисперсійний спектрометр AZtecOne з детектором X-MaxN20 (виробник Oxford Instruments plc).

Результати досліджень наведено на рисунках 1 і 2.

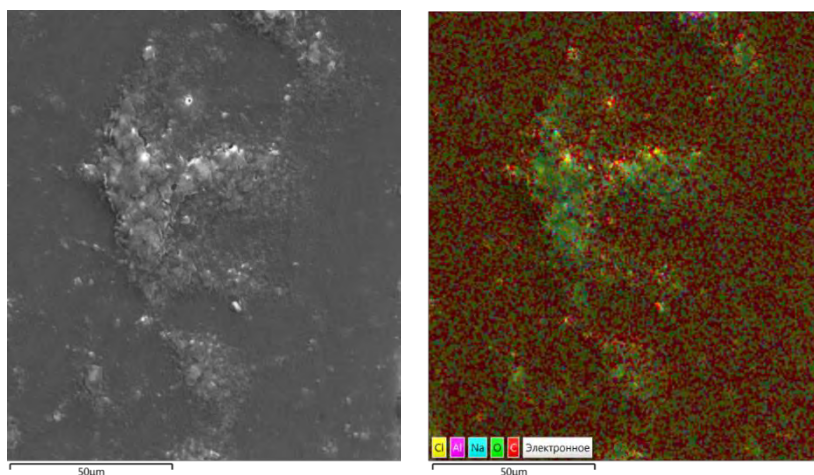


Рис. 1. Мікрорельєф поверхні зразка надрукованого на 3D принтері

Результати дослідження структури та мікрорельєфу поверхонь дозволяють стверджувати про однорідність матеріалу. Відсутність чітко виражених спрямованих ліній сколів підтверджує високі фізико-механічні властивості. При аналізі хімічного складу поверхні композиту були виявлені наступні елементи: Na, Cl, Al, C і O.

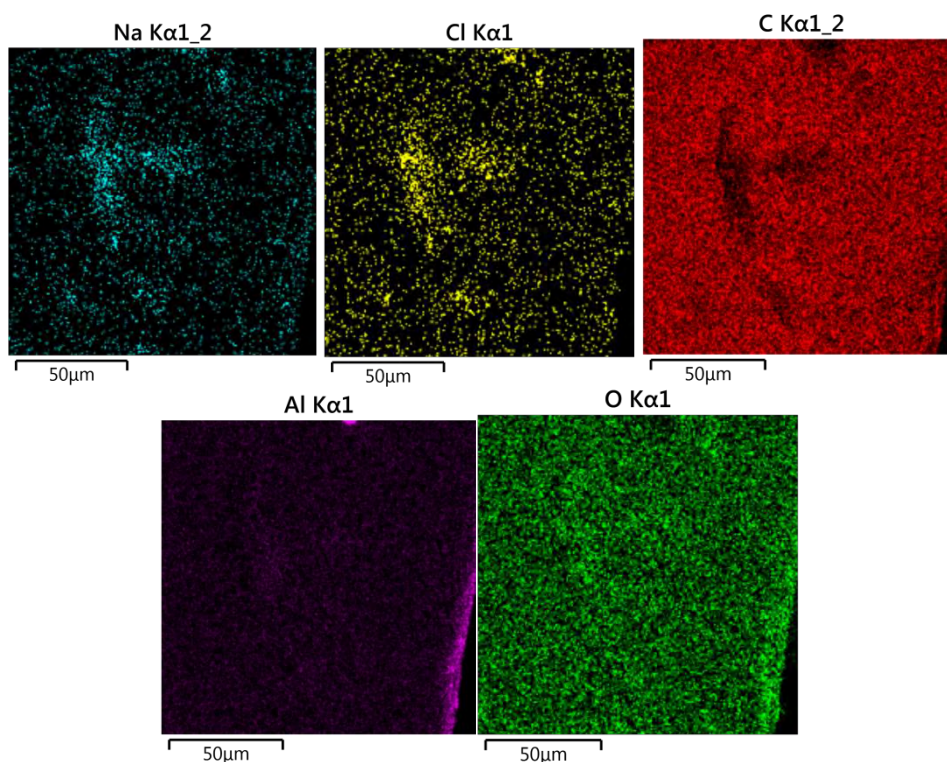


Рис. 2. Елементний аналіз досліджуваного зразка методом рентгенівської енергодисперсійної спектроскопії

### Висновки

3D друк, як підхід адитивного виробництва, має потенціал для швидкого виготовлення складних зубних протезів, використовуючи стратегію «знизу вгору» шар за шаром. Ця технологія дозволяє стоматологам розширити ступінь свободи у виборі, створенні та виконанні необхідних процедур. Оскільки технології та матеріали для 3D-друку зубних протезів і елайнерів вдосконалюються, потенційні можливості застосування стають все ширшими. Матеріал TC-80DP (олігомер метакрилату на основі поліуретанової смоли, оксидів фосфіну, пігменту) може значно підвищити ефективність і продуктивність протезного лікування.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kim, N.; Kim, H.; Kim, I.-H.; Lee, J.; Lee, K.E.; Lee, H.-S.; Kim, J.-H.; Song, J.S.; Shin, Y. Novel 3D Printed Resin Crowns for Primary Molars: In Vitro Study of Fracture Resistance, Biaxial Flexural Strength, and Dynamic Mechanical Analysis. *Childre.*, 2022, 9, 1445.
2. Субмікронні та нанорозмірні структури електроніки / [З. Готра, І. Григорчак, С. Павлов та ін.]. - Чернівці : Технологічний Центр, 2014. – 839 с.
3. Information Technology in Medical Diagnostics //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press - 210 Pages.

**Прокопович Павло Ігорович** — студент, інституту цифрових технологій, дизайну та транспорту, Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна, e-mail: [pashaprokopovich@gmail.com](mailto:pashaprokopovich@gmail.com)

**Дядюра Костянтин Олександрович** — д.т.н., професор, кафедра біомедичної інженерії, Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна, e-mail: [dyadyura.k.o@op.edu.ua](mailto:dyadyura.k.o@op.edu.ua)

#### **Study of the micro-relief of the surfaces from the TC-80DP series material after 3D printing**

**Abstract.** In this work, the microrelief of the sample surfaces was investigated by raster microscopy and elemental analysis by X-ray energy dispersive spectroscopy. Material Tera Harz TC-80DP. The samples were obtained by 3D printing using the workflow recommended by the manufacturer..

**Keywords:** bone tissue engineering, 3D printed scaffold, TC-80DP, dental material for permanent prosthetics.

**Prokopovich, Pavlo Igor.** — student of the Institute of Digital Technologies, Design and Transport, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine, e-mail: [pashaprokopovich@gmail.com](mailto:pashaprokopovich@gmail.com)

**Dyadyura Kostyantyn O.** — doctor of technical sciences, professor, professor, Department of Biomedical Engineering, Odessa Polytechnic National University/Ukraine, e-mail: [dyadyura.k.o@op.edu.ua](mailto:dyadyura.k.o@op.edu.ua)

## АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАМІНИ ПОШКОДЖЕНОГО СУГЛОБА ІМПЛАНТАТОМ

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Анотація.** Основні причини, що призводять до порушення функції пальців кисті, є: внутрішньосуглобові переломи фаланг і п'ясткових кісток із дефектом суглобових поверхонь. Вибір раціонального комплексу лікування в рамках єдиної системи медичної реабілітації забезпечує найбільш раннє відновлення функції кінцівки, що дозволяє значно скоротити терміни тимчасової непрацездатності. На підставі виробленої методики побудови моделей ендопротезів фалангових суглобів кисті, можна буде розробити вдосконалену конструкцію ендопротезу зазначеного суглоба, на підставі якої можна покращити результати лікування пацієнтів із пошкодженнями фалангових суглобів кисті.

**Ключові слова:** ендопротезування, рухова функція, томографія, 3D-моделі.

В даний час приділяється особлива увага проблемам, пов'язаним із пошкодженнями опорно-рухового апарату людини [1, 2]. Особливо гостро ця проблема стоїть в Україні [3, 4], на яку також спрямовані завдання однієї з глобальних цілей сталого розвитку – міцне здоров'я та благополуччя [5]. На перший план також виходять завдання фізичної реабілітації [6, 7]. Одна з причин пов'язана із пошкодженнями опорно-рухового апарату під час бойових дій, чому приділяється особлива увага. Однак до таких ушкоджень відносяться і захворювання та травми кісток та суглобів верхніх та нижніх кінцівок. Значне місце серед усіх ушкоджень опорно-рухового апарату займають ушкодження суглобів кисті. При цьому кисть є не просто засобом для маніпулювання об'єктами, а надзвичайно складним інструментом міжлюдського спілкування та отримання інформації про навколишній світ. Тому пошкодження та травми кісток та суглобів кисті можуть призвести до інвалідизації, і, як наслідок, до зниження рівня життя людини.

Для лікування зазначених ушкоджень кисті людини використовують різні методи. До таких методів відноситься і ендопротезування – заміна пошкодженого суглоба імплантатом, який є анатомічно подібним та дозволяє відновити рухову функцію.

Для створення 3D-моделей елементів ендопротезу кисті необхідно мати не тільки інформацію про габаритні розміри та знати геометрію форми кісток пацієнта, а і мати уявлення про електричну активність м'язів кисті [8, 9]. Для отримання тривимірних моделей імплантів [10, 11] використовують як рентгенівські знімки, так і результати комп'ютерної томографії [12,13]. Використовуючи сучасні методики комп'ютерного моделювання, за інформацією з томографічного датасету у форматі DICOM [14] створюється індивідуальний 3D-біонічний ендопротез суглоба кисті. Головною задачею є точне отримання анатомічних особливостей суглоба кисті пацієнта та його антропометричні, геометричні параметри, що буде покладено в основу біомеханічних властивості майбутнього імплантату. Тому якість 3D-моделі, отриманої після обробки даних комп'ютерної томографії, є вкрай важливою. Працездатність у біосистемі «ендопротез-кістка» безпосередньо пов'язана від розподілу напружень у всіх її компонентів. Використання методу скінченних елементів дозволяє провести дослідження напружено-деформованого стану кісткових структур та його зміни у процесі моделювання кісткової тканини, тестування та оптимізацію дизайну штучних суглобів та пристроїв для фіксації кісток, а також розрахувати допустимі навантаження на імплантат, які зможе витримати опорно-рухова система пацієнта для визначення місця можливої точкової втоми матеріалу і вибрати надійнішу конструкцію ендопротезу та кріпильних елементів. Протез повинен виконувати функції відсутнього фрагмента кістки, зберігаючи свою цілісність, при цьому не повинні перевищуватися допустимі навантаження на елементи кріплення це дозволить забезпечити тривалу та комфортну експлуатацію ендопротезу.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Патології опорно-рухового апарату : навч. посіб. / А. Д. Салєєва, О. Г. Аврунїн, М. В. Зайцев, І. В. Кабаненко, В. М. Юткін, Р. О. Бобошко, Т. О. Трофименко, І. С. Дондорева, П. О. Баєв, О. М. Литвиненко, С. В. Корнєєв, А. Ю. Чугаєв, Т. В. Носова; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки.- Харків : ХНУРЕ, 2023.- 216 с.
2. Конструювання та технології виготовлення ортезів на верхні кінцівки : навч. посіб. / А. Д. Салєєва, О. Г. Аврунїн, М. В. Зайцев, О. М. Литвиненко, В. О. Кузїн, І. В. Карпенко, О. Г. Скрипка, Л. О. Белєвцова, К. Г. Селіванова. - Харків: ХНУРЕ, 2023. - 131 с.
3. Салєєва А.Д., Семенець В.В., Носова Т.В., Василенко І.М., Баєв П.О., Корнєєв С.В., Литвиненко О.М., Карпенко І.В., Чернишова І.М., Кабаненко І.В. Біомеханічні основи протезування та ортезування: навчальний посібник / А.Д. Салєєва, В.В. Семенець, Т.В. Носова, І.М. Василенко, П.О. Баєв, С.В. Корнєєв, О.М. Литвиненко, І.В. Карпенко, І.М. Чернишова, 352 с.– Харків: ХНУРЕ, 2022. –І.В. Кабаненко. ISBN 978-966-659-374-3
4. Салєєва А.Д., Солнцева І.Л., Белєвцова Л.О., Носова Т.В., Семенець В.В. Виробничі технології та матеріали: Навч. посібник / А. Д. Салєєва, І. Л. Солнцева, Л. О. Белєвцова, Т. В. Носова, В. В. Семенець. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 92 с.
5. Белянінова Г. Г. Внесок Харківського національного університету радіоелектроніки у досягнення Цілі сталого розвитку 3 - «Міцне здоров'я і благополуччя» / Г. Г. Белянінова // III Наук.-практ. конф. «Advanced discoveries of modern science: experience, approaches and innovations».– European Scientific Platform.– 2023.– С.132-133.
6. Резуєнко К.І. Носова Т.В., Жемчужкіна Т.В. Реабілітаційна система для людей з обмеженими можливостями. Класичні та прикладні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів вищої освіти і молодих вчених: історичний та сучасний аспекти: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених. Харків, 2020. С.187–190.
7. Павлов С. В., Аврунїн О. Г., Злепко С. М., Бодяньський Є. В., Колісник П. Ф., Лисенко О. М., Чайковський І. А., Філатов В. О. (2019). Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К». – 2019. – 260 с.
8. Бых А. И. Поиск информативных количественных показателей электромиографического сигнала. Сообщение 1 / А. И. Бых, Т. В. Жемчужкина, Т. В. Носова // Бионика интеллекта. — 2007. — Т. 1 (66). — С. 118–125.
9. Носова Т.В. Жемчужкина Т.В., Радченко В.И. К вопросу моделирования электромиографического процесса. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2008. Вып. 5/5 (35). С. 33–36.
10. Аврунїн О.Г., Шамраєва Е.О. Реконструкция объемных моделей черепа и имплантата по томографическим снимкам // Системы обработки информации: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2007. – Вип. 9 (67). – С. 137–140.
11. Avrunin O, Tymkovych M, Drauil J. Automatized technique for threedimensional reconstruction of cranial implant based on symmetry, Proceedings of the Information Technologies in Innovation Business Conference (ITIB). 2015. p. 39–42
12. Avrunin, O.G.; Nosova, Y.V.; Pavlov, S.V.; Shushliapina, N.O.; and etc. Research Active 11. Posterior Rhinomanometry Tomography Method for Nasal Breathing Determining Violations. Sensors 2021, 21, 8508. doi: 10.3390/s21248508
13. Avrunin, O.G.; Nosova, Y.V.; Pavlov, S.V.; and etc. Possibilities of Automated Diagnostics of Odontogenic Sinusitis According to the Computer Tomography Data. Sensors 2021, 21, 1198. <https://doi.org/10.3390/s21041198>.
14. Тымкович М.Ю. Использование DICOM-изображений в медицинских системах / М.Ю. Тымкович, О.Г. Аврунїн, В.В. Семенец // Техн. електродинаміка: Тематич. вып. – 2012. – Т.4. – С. 178–183.
15. Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M. Information Technology in Medical Diagnostics II. London: (2019). Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages.

**Чечель Тарас Олегович**, аспірант Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків, E-mail: taras.chechel@nure.ua

**Носова Тетяна Віталіївна**, к.т.н., доцент кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків, E-mail: tatyana.nosova@nure.ua

**Аврунїн Олег Григорович**, д.т.н., професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків, E-mail: oleg.avrunin@nure.ua

### ABOUT THE NEED TO REPLACE A DAMAGED JOINT WITH AN IMPLANTA

**Abstract.** The main reasons leading to a violation of the function of the fingers of the hand are: intra-articular fractures of the phalanges and metacarpal bones with a defect of the articular surfaces. The choice of the optimal treatment complex within the framework of a unified system of medical rehabilitation ensures an earlier restoration of limb function, which allows to significantly reduce the term of temporary disability. On the basis of the developed method of constructing models of endoprostheses of the phalanx joints of the hand, it will be possible to develop an improved design of the endoprosthesis of the indicated joint, on the basis of which it is possible to improve the results of treatment of patients with injuries of the phalanx joints of the hand.

**Key words:** endoprosthesis, function of motor, tomography, 3D models

**Chechel Taras**, PhD student of the Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, E-mail: taras.chechel@nure.ua

**Tetyana Nosova**, PhD, associate professor of the of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, E-mail: tatyana.nosova@nure.ua

**Avrunin Oleg**, Dr.Sc., professor, head of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, E-mail: oleg.avrunin@nure.ua

## ОСОБЛИВОСТІ 3D-ПРОТОТИПУВАННЯ ВЕРХНІХ ДИХАЛЬНИХ ШЛЯХІВ

Харківський національний університет радіоелектроніки

### Анотація

Розглядаються особливості підготовки 3D-моделей для швидкого прототипування верхніх дихальних шляхів. Суть розробки полягає у отриманні діагностичних даних рентгенівської комп'ютерної томографії області верхніх дихальних шляхів, сегментації структур носової порожнини та створення інформаційної комп'ютерної моделі, яка дозволить провести натурне 3D-прототипування за допомогою різних матеріалів, що відповідають механічним властивостям тканин. Це дозволяє створювати персоналізовані моделі носової порожнини та досліджувати їх аеродинамічні властивості при різних режимах дихання.

**Ключові слова:** 3D-прототипування, томографія, носове дихання, візуалізація.

У зв'язку з повномасштабною війною, нажаль, є висока актуальність лікування поранень обличчя та верхніх дихальних шляхів. Саме українські фахівці в галузі біомедичної інженерії [1, 2] спільно з лікарями працюють над удосконаленням технологій для проведення відповідних заходів діагностики, терапії та реабілітації [3, 4]. Велика роль тут відводиться підходам, які пов'язані з швидким прототипуванням імплантів [5, 6] та натурних моделей [7], які необхідні для дослідження аеродинамічних властивостей верхніх дихальних шляхів, зокрема при травматичних пошкодженнях. Це необхідно, щоби з'ясувати функціональні зміни, які пов'язані зі структурними змінами у верхніх дихальних шляхах, внаслідок травматизації і сформувані необхідні заходи лікування та реабілітації. Найбільшу увагу при цьому доцільно приділяти саме персоналізації та адекватності різних підходів натурального моделювання.

Такі підходи зараз реалізуються на основі засобів інтроскопічної візуалізації [8, 9] і 3D прототипування [7]. На даний час розроблено теоретичні основи впливу змін архітекtonіки верхніх дихальних шляхів на їх функціональні властивості [10, 11], розроблені пристрої для тестування носового дихання [11, 12] а також особливості носового дихання при різних навантаженнях [13]. Для того, щоб виготовити адекватну натурну 3D модель верхніх дихальних шляхів доцільно виготовляти її з матеріалів, які відповідають механічним властивостям тканин, зокрема, хрящових та кісткових структур, м'яких тканин пересінки та крил носу, а також ділянок слизової оболонки. Вхідними даними є результати рентгенівської комп'ютерної томографії області верхніх дихальних шляхів. Далі виконується сегментація отриманої воксельної моделі на різні за розташуванням та щільністю структури і підготовка інформаційної моделі для 3D-прототипування, за якою визначаються матеріали для друку відповідних структур. Відповідна модель розбивається на підструктурні одиниці, які друкуються певними матеріалами. Вихідними даними при цьому є геометричні моделі кожної структури у форматі stl, які в подальшому за допомогою програм – слайсерів перетворюється на G-код з урахуванням характеристик технології прототипування, моделі 3D-принтера та матеріалу виготовлення. Отримана модель після фінішного збирання та обробки може бути досліджуватись на аеродинамічному стенді для визначення показників повітряного потоку при різних режимах дихання. віртуальне модифікування моделі, її прототипування і отримання порівняльних характеристик з результатами випробувань первинної моделі. Таким чином, можливо здійснити прогнозування функціональних результатів корекції області верхніх дихальних шляхів після складних травматичних пошкоджень, за рахунок отримання персоналізованих вхідних даних з урахуванням індивідуальної фізіологічної варіабельності та особливостей порушення носового дихання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Белянінова Г. Г. Внесок Харківського національного університету радіоелектроніки у досягнення Цілі сталого розвитку 3 - «Міцне здоров'я і благополуччя» / Г. Г. Белянінова // III Наук.-практ. конф. «Advanced discoveries of modern science: experience, approaches and innovations». – European Scientific Platform. – 2023. – С. 132-133.
2. Белянінова, Г., & Тітова, Л. (2023). Внесок харківського національного університету радіоелектроніки у досягнення цілі сталого розвитку 16 - «Мир та справедливість». *Grail of Science*, (25), 69–75. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.17.03.2023.010>.
3. Павлов С. В., Аврунін О. Г., Злепко С. М., Бодяньський Є. В., Колісник П. Ф., Лисенко О. М., Чайковський І. А., Філатов В. О. (2019). Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К». – 2019. – 260 с.
4. Аврунін О.Г., Філатов В.О., Тимкович М.Ю., Кухаренко Д.В., Пятикоп В.О. Комп'ютерне планування малоінвазивних втручань в офтальмології та нейрохірургії. Харків : ХНУРЕ, 2020. 160 с. DOI: 10.30837/978-966-659-283-8.
5. Avrunin O, Tymkovych M, Drauil J. Automatized technique for threedimensional reconstruction of cranial implant based on symmetry, Proceedings of the Information Technologies in Innovation Business Conference (ITIB). 2015. p. 39–42
6. Аврунін О.Г., Шамраєва Е.О. Реконструкція об'ємних моделей черепа і імплантата по томографічним знімкам // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2007. – Вип. 9 (67). – С. 137–140.
7. Я. В. Носова, О. Г. Аврунін, Н. О. Шушляпина, І. Ю. Абделхамід, і А. Б. Алі Саєд, «Порівняльний аналіз математичних та натурних моделей при визначенні коефіцієнту аеродинамічного носового опору», *Опт-ел. інф-енерг. техн.*, вип. 42, вип. 2, с. 33–43, Жов 2022.
8. Аврунін, О. Г. Определение степени инвазивности хирургического доступа при компьютерном планировании оперативных вмешательств / О. Г. Аврунін, М. Ю. Тимкович, Х. И. Фарук // Бионика интеллекта. – 2013. – № 2 (81). – С. 101-104.
9. Тимкович М.Ю. Использование DICOM-изображений в медицинских системах / М.Ю. Тимкович, О.Г. Аврунін, В.В. Семенец // Техн. електродинамика: Тематич. вып. – 2012. – Т.4. – С. 178–183.
10. Avrunin, O.G.; Nosova, Y.V.; Pavlov, S.V.; and etc. Possibilities of Automated Diagnostics of Odontogenic Sinusitis According to the Computer Tomography Data. *Sensors* 2021, 21, 1198. <https://doi.org/10.3390/s21041198>.
11. Avrunin, O.G.; Nosova, Y.V.; Pavlov, S.V.; Shushliapina, N.O.; and etc. Research Active 11. Posterior Rhinomanometry Tomography Method for Nasal Breathing Determining Violations. *Sensors* 2021, 21, 8508. doi: 10.3390/s21248508
12. Аврунін О. Г. Обоснование основных медико-технических требований для проектирования многофункционального риноманометра / О. Г. Аврунін, А. И. Бых, В. В. Семенец //Функциональная компонентная база микро-, опто- и наноэлектроники :сб. науч. тр. III Междунар.науч. конф., 28 сент. – 2 окт. 2010 г. – Х. ; Кацивели : ХНУРЭ, 2010. – С. 280-281.
13. Аврунін О. Г. Особенности исследования носового дыхания при физических нагрузках / О. Г. Аврунін, Я. В. Носова, С. А. Худаева. // Тези доповіді 5-й всеукраїнської науково-практичної конференції «Здоров'я нації та вдосконалення фізкультурно-спортивної освіти в Україні». – 2018. – С. 117–119.
14. Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M. Information Technology in Medical Diagnostics II. London: (2019). Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages.

**Шушляпіна Наталія Олегівна**, к.т.н., доцент Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків, E-mail: nataliia.shuliapina@nure.ua

**Носова Яна Віталіївна**, к.т.н., доцент кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків, E-mail: yana.nosova@nure.ua

**Ібрагім Юнус Абделхамід**, аспірант Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків, E-mail: ibrahim.younouss.abdelhamid@nure.ua

**Аврунін Олександр Олегович**, студент Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків, E-mail: oleksandr.avrunin@nure.ua

## FEATURES OF 3D PROTOTYPING OF THE UPPER RESPIRATORY TRACT

**Abstract.** Features of preparation of 3D models for rapid prototyping of the upper respiratory tract are considered. After segmentation structures of the nasal cavity CT-datasets of the upper respiratory tract created an informational computer model that will allow full-scale 3D prototyping using various materials that correspond to the mechanical properties of tissues. This makes it possible to create personalized models of the nasal cavity and to study their aerodynamic properties under different breathing modes.

**Key words:** 3D prototyping, tomography, nasal breathing, visualization

**Shushlyapina Nataliya**, PhD, associate professor of the Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, E-mail: nataliia.shuliapina@nure.ua

**Yana Vitaliyvna Nosova**, PhD, associate professor of the of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, E-mail: yana.nosova@nure.ua

**Ibrahim Yunuss Abdelhamid**, PhD-student of Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, E-mail: ibrahim.younouss.abdelhamid@nure.ua

**Avrunin Oleksandr**, student of Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, E-mail: oleksandr.avrunin@nure.ua

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ ОЧНОГО ДНА ПРИ ДІАГНОСТИЦІ ДІАБЕТИЧНОЇ РЕТИНОПАТІЇ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*В даній роботі було розглянуто інформаційну систему для діагностики діабетичної ретинопатії за допомогою попередньої обробки зображень та диференціації нозологій на основі машинного навчання.*

**Ключові слова:** діабетична ретинопатія, зображення очного дна, нейронна мережа, обробка та аналіз зображень.

У світі спостерігається зростаюча пандемія цукрового діабету, що становить одну з найбільш поширених хронічних хвороб. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, на початку 2020 року понад 420 мільйонів людей по всьому світу страждали на це захворювання. Цукровий діабет може призвести до низки серйозних ускладнень, зокрема, до діабетичної ретинопатії, що може призвести до втрати зору [1].

У зв'язку з цим, розробка інформаційної системи для діагностики діабетичної ретинопатії є важливою задачею у медичній сфері. Така система може значно полегшити процес діагностики та допомогти лікарям вчасно виявляти та лікувати діабетичну ретинопатію.

Сучасні технології надають можливість автоматизувати процес діагностики діабетичної ретинопатії та забезпечити швидкий та точний аналіз. Для цього необхідна розробка спеціальної інформаційної системи, яка б дозволяла проводити діагностику з використанням зображень сітківки, що отримані за допомогою різних медичних приладів [2].

Застосування методів машинного навчання та обробки зображень може стати потужним інструментом у розробці такої інформаційної системи. Машинне навчання є галуззю штучного інтелекту, яка займається розробкою алгоритмів та моделей, що можуть навчатися на даних та здатні робити прогнози на нових даних. Обробка зображень включає в себе ряд методів, що дозволяють обробляти та аналізувати зображення з метою виявлення хвороб та ускладнень.

Для розробки інформаційної системи для діагностики діабетичної ретинопатії було використано відкрите програмне забезпечення та бібліотеки з машинного навчання та обробки зображень, такі як TensorFlow, Keras, OpenCV та інші. Це дозволило зменшити витрати на розробку та дозволить створити систему, яка буде більш доступною для лікарів та пацієнтів.

Набір даних, який ми використовували, є FUNDUS-зображеннями [3] сітківки людини з розміром пікселів понад 2000x3000. Набір даних завантажено з веб-сайту kaggle.com [4], він знаходиться в вільному доступі на веб-сайті, набір даних містить більше 35000 зображень для навчання та 15000 зображень для тестування.

Варто відзначити, що дуже важливим етапом підготовки та побудови інформаційної автоматизованої системи підтримки рішень є правильний вибір інформативних параметрів, а також передобробка зображень для подальшого аналізу.

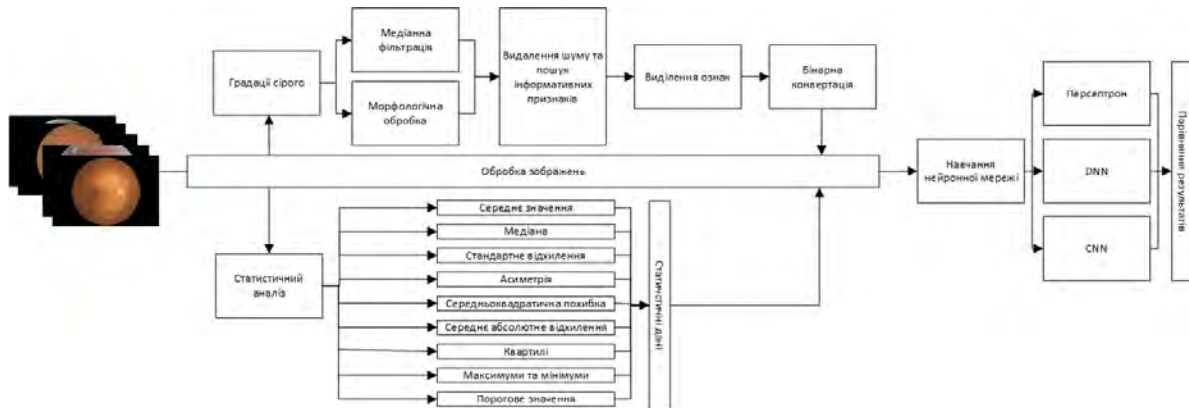


Рисунок 1.1 – Архітектура і алгоритм системи для аналізу зображень сітківки ока людини

На рис. 1.1 наведена схематична архітектура системи для аналізу, попередньої обробки зображень та виділення інформативних показників із подальшою диференціацією нозологій на їх основі.

Отже, розробка інформаційної системи для діагностики діабетичної ретинопатії може стати основою для подальших досліджень та розробок у галузі медичної інформатики. Важливою складовою таких досліджень є пошук нових методів та алгоритмів для обробки зображень, що можуть бути застосовані для діагностики інших захворювань органів зору та в цілому для покращення якості медичної діагностики.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Brownlee, J. Machine Learning Mastery with Python: Understand Your Data, Create Accurate Models and Work Projects End-to-End / Jason Brownlee. - 2nd Edition. - California: Machine Learning Mastery, 2019.
- [2] Lu, W. et al. "Application of computer-aided diagnosis in diabetic retinopathy screening: A review". Computers in Biology and Medicine, vol. 103, pp. 337-349, 2018.
- [3] Ting, D. et al. "Deep learning in ophthalmology: The technical and clinical considerations". Progress in Retinal and Eye Research, vol. 72, 100759, 2019.
- [4] Diabetic Retinopathy Detection [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/c/diabetic-retinopathy-detection>. Accessed on: 15.09.2022.

**Павлов Сергій Володимирович** – д.т.н., професор, професор кафедри БМІОЕС, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua).

**Карась Олександр Володимирович** – старший викладач кафедри БМІОЕС, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [karas2014.o.11@gmail.com](mailto:karas2014.o.11@gmail.com).

**Гомолінський Віктор Олексійович** – старший викладач кафедри БМІОЕС, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [gomolinskiy@vntu.edu.ua](mailto:gomolinskiy@vntu.edu.ua).

## INFORMATION SYSTEM FOR PROCESSING AND ANALYSIS OF FUNDUS IMAGES IN THE DIAGNOSIS OF DIABETIC RETINOPATHY

### Abstract

*In this paper, an information system for the diagnosis of diabetic retinopathy was considered using pre-processing of images and differentiation of nosologies based on machine learning.*

**Keywords:** diabetic retinopathy, fundus imaging, neural network, image processing and analysis.

**Pavlov Serhii Volodymyrovych** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of BME Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua).

**Karas Oleksandr Volodymyrovych** – Senior Lecturer of BMEOES Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [karas2014.o.11@gmail.com](mailto:karas2014.o.11@gmail.com).

**Homolinskiyi Viktor Oleksiiovych** – Senior Lecturer of BMEOES Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [gomolinskiy@vntu.edu.ua](mailto:gomolinskiy@vntu.edu.ua).

## ОСНОВНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ПАЦІЄНТСПЕЦИФІЧНИХ ІМПЛАНТІВ ТА ХІРУРГІЧНОЇ НАВІГАЦІЇ

Вінницький національний медичний університет ім.М.І.Пирогова

**Анотація.** На відміну від стандартних рішень індивідуальні конструкції, очевидно, вимагають розширення протоколу у передопераційному періоді. Скорочуючи час операції та зменшуючи час реабілітації пацієнта пацієнтспецифічні імпланти, однак, вимагають затрати значних ресурсів на планування операції, а також залучення цілого ряду додаткових спеціалістів до цього процесу.

**Ключові слова:** віртуальне хірургічне планування (VSP), пацієнтспецифічні хірургічні імпланти (PSI), пацієнтспецифічні навігаційні шаблони (PSG), методи автоматизованого проектування (CAD), методи автоматизованого виробництва (CAM).

З розвитком сучасних технологій виробництва більш доступними та популярними стають індивідуальні рішення в екто- та ендопротезуванні, до яких відносяться пацієнтспецифічні імпланти (IPS). Переваги пацієнтспецифічних імплантів є очевидними та беззаперечними, це кращий естетичний результат, анатомічно правильне відновлення геометрії кісток та менший час реабілітації пацієнта у післяопераційному періоді тощо[1, 2].

Найпершим та найбільш очевидним методом планування операцій з використанням пацієнтспецифічних імплантів є віртуальне хірургічне планування (VSP) — це передопераційний метод планування, який передбачає візуалізацію хірургічного втручання за допомогою спеціального комп'ютерного програмного забезпечення. Одним з інструментів, що витікає з віртуального хірургічного планування є прототипування[3]. Крім прототипування власне пацієнтспецифічних імплантів на передопераційному етапі, це, також, виготовлення моделей кісток у реальному масштабі з дефектом та без, комбінованих моделей, багатокomпонентних складних моделей з виділенням важливих анатомічних структур, судин, нервових стовбурів, пухлин, чужорідних тіл тощо[3]. Технології адитивного виробництва такі як стереолітографія (SLA), PolyJet, моделювання методом пошарового наплавлення, селективне лазерне плавлення (SLM), селективне лазерне спікання (SLS) і електронно-променево плавлення (EBM) підходять для виготовлення складних анатомічних деталей без будь-яких обмежень, у тому числі трабекулярних структур[4, 5].

Не дивлячись на усі можливості віртуального хірургічного планування та прототипування, трапляються випадки коли геометрія кістки не дозволяє спозиціонувати пацієнтспецифічний імплант у заплановане положення. У такому випадку необхідно передопераційне створення конструкцій для навігації в операційному полі та підготовки до встановлення пацієнтспецифічного імпланту. Пацієнтспецифічні навігаційні шаблони(PSG) являють собою індивідуальні хірургічні інструменти, які надають хірургу максимально інформації про план оперативного втручання[6].

Існує велика кількість варіантів використання пацієнтспецифічних навігаційних шаблонів, в залежності від місця де планується оперативне втручання це можуть бути шаблони на поверхню шкіри, на слизову оболонку, на поверхню кістки чи дентальні шаблони. За своєю складністю вони можуть бути простими або комбінованими. У випадку комбінованих шаблонів вони являють собою модульну структуру де є кілька взаємозамінних частин, кожна з яких використовується на певному етапі операції. Крім того, навігаційний шаблон може бути нерозбірним та розбірним, що у випадку обмеженого доступу може допомогти встановити шаблон в заплановане положення[7]. Виготовляється шаблон з різних матеріалів в залежності від сценарію його використання, це можуть бути як гнучкі, пластичні матеріали, наприклад, коли ми плануємо роботу з м'якими тканинами, так і матеріали підвищеної жорсткості, у випадку коли оперативне поле обмежене і потрібно створити

міцну, але не об'ємну навігаційну конструкцію, або ж, якщо планується використовувати шаблон для навігації ріжучого інструменту[8].

Для протоколу хірургічного втручання з використанням пацієнтспецифічних імплантів та навігаційних шаблонів також додаються додаткові методи дослідження. Отже, крім радіологічних досліджень необхідно провести сканування ділянки інтересу або сканування гіпсових моделей, які отримані після зняття відбитка з ділянки інтересу. Такі дані потрібні будуть для створення наскірних, наслизових або дентальних шаблонів, останні забезпечують найбільш точне позиціонування на відміну від інших. Одним з поширених в медицині є метод сканування внутрішньоротовим чи позаротовим світлоструктурованим сканером, який дозволяє досягти високої точності прилягання та створення складних просторових елементів, які неможливо змодельовати прецизійно опираючись на стандартні відбитки, оскільки деформація шкіри чи слизової оболонки при створенні тиску на її поверхню, або зміна положення тіла, можуть значно впливати на результат дослідження.

Навігаційний шаблон також повинен містити інформацію для лікаря про план операції(Рис. 1).

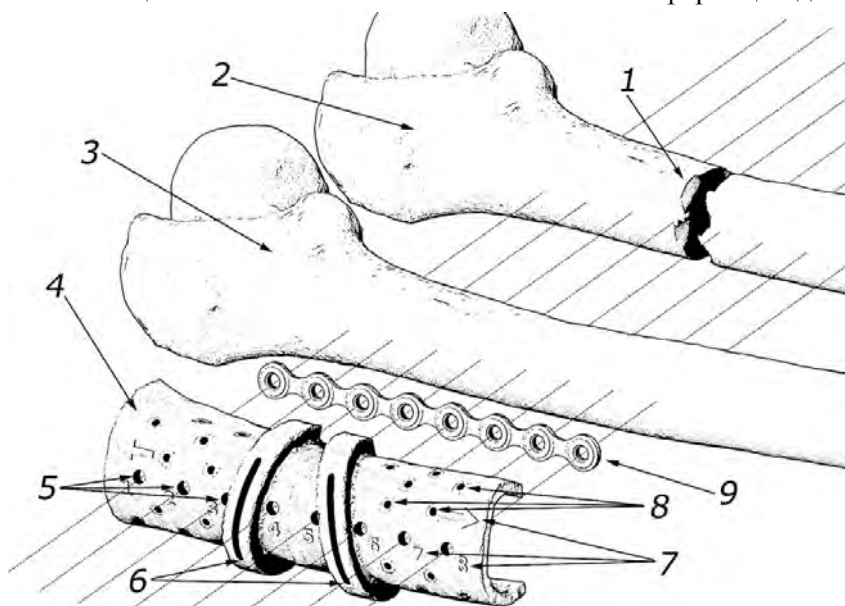


Рис. 1

- 1- Дефект
- 2- Кістка
- 3- Модель кістки без дефекту
- 4- Індивідуалізований навігаційний шаблон
- 5- Отвори напрямні для свердлення
- 6- Резекційні навігаційні площини
- 7- Умовні позначки
- 8- Дренажні отвори
- 9- Пацієнтспецифічний імплант

До таких елементів, що можуть передати лікарю цю інформацію інтраопераційно належать умовні позначки на шаблоні, які можуть вказувати напрям позиціонування шаблону, порядок свердлення отворів, довжину гвинтів в тому чи іншому положенні, відстань до анатомічно важливих структур судин, нервів, коренів зубів тощо; отвори для елементів фіксації шаблону; вікна для введення інструменту з обмежувачами та напрямними; резекційні площини для відображення напряму та кута резекції тих чи інших тканин та ін.[9].

Комбінація персоналізованих шаблонів та індивідуальних конструкцій з попереднім віртуальним хірургічним плануванням використовуючи методи автоматизованого проектування (CAD) та автоматизованого виробництва (CAM) мінімізує видалення здорових тканин, забезпечує мінімальний доступ оперативного втручання, створює умови для більш практичного використання фіксуючих елементів конструкції, відновлює втрачену форму здорових тканин забезпечуючи кращий естетичний результат, а також прецизійне відновлення геометрії кісток черепа та скорочує час реабілітації пацієнта у післяопераційному періоді.

**Висновок.** Попри те, що хороші результати можуть і часто досягаються без використання віртуального хірургічного планування (VSP) та індивідуальної хірургічної навігації, дуже суб'єктивний характер цього процесу призводить до непередбачуваних результатів для хірурга, а також може призвести до збільшення тривалості хірургічного втручання, що несе за собою додаткові ризики для пацієнта. Хоча наявність спеціалізованого технічного та медичного персоналу, а також вартість обладнання все ще обмежують доступ до цифрових систем у перспективності цього напряму немає сумніву. Персоналізовані рішення — це ще один інструмент для лікаря, що дозволяє



виконувати операції, в тому числі дуже складні, з високою передбачуваністю та надійністю, коли хірург повністю контролює кожен етап операції. Деякі хірурги марно вважають, що вони можуть виконувати операції, які перевершують їхні навички, оскільки вони використовують персоналізовані рішення. Однак успіх операції все ще залежить в основному від навичок хірурга.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Huang M F, Alfi D, Alfi J, Huang A T. The Use of Patient-Specific Implants in Oral and Maxillofacial Surgery. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America* 2019; 31(4): 593-600. <https://doi.org/10.1016/j.coms.2019.07.010>.
2. Singh GD, Singh M. Virtual Surgical Planning: Modeling from the Present to the Future. *Journal of Clinical Medicine*. 2021; 10(23):5655. <https://doi.org/10.3390/jcm10235655>
3. Hosni Y.A. Contribution of Cad-Cam and Reverse Engineering Technology to the Biomedical Field. *Current Advances in Mechanical Design and Production VII*. 2000; 491-499. <https://doi.org/10.1016/B978-008043711-8/50050-7>
4. Bahnini I, Rivette M, Rechia A et al. Additive manufacturing technology: the status, applications, and prospects. *Int J Adv Manuf Technol*. 2018; 97:147-161. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1932-y>
5. Dekel S, Omri E, Ori B, Dani N, Adi R. Printing the Future-Updates in 3D Printing for Surgical Applications. *Rambam Maimonides Med J* 2018;9(3):e0020. <https://doi.org/10.5041/RMMJ.10343>
6. Gauci M-O. Patient-specific guides in orthopedic surgery. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 2022, 108(1):103154. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2021.103154>
7. Sink J, Hamlar D, Kademani D, Khariwala SS. Computer-aided stereolithography for presurgical planning in fibula free tissue reconstruction of the mandible. *J Reconstr Microsurg* 2012, 28:395-404
8. Oldhoff M G E, Mirzaali M J, Tümer N, Zhou J, Zadpoor A A. Comparison in clinical performance of surgical guides for mandibular surgery and temporomandibular joint implants fabricated by additive manufacturing techniques. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2021, 119: 104512. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.104512>
9. Mijiritsky E, Ben Zaken H, Shacham M, Cinar IC, Tore C, Nagy K, Ganz SD. Variety of Surgical Guides and Protocols for Bone Reduction Prior to Implant Placement: A Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Feb 27;18(5):2341. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052341>

*Ліхницький Олексій Олексійович, к.м.н., доцент кафедри хірургії №2 з курсом Основи стоматології Вінницького національного медичного університету ім.М.І.Пирогова, м.Вінниця.*  
[oleksiilikhitskyi@gmail.com](mailto:oleksiilikhitskyi@gmail.com)

#### ***BASIC ASPECTS OF APPLYING PATIENT-SPECIFIC IMPLANTS AND SURGICAL NAVIGATION.***

***Abstract:*** Individual designs obviously require expansion of the preoperative period protocol compared to standard solutions. Shortening the operation time and reducing the patient's rehabilitation time by patient-specific implants, nevertheless, require the expenditure of significant resources for the planning of the operation, as well as the involvement of a number of additional specialists in this process.

***Keywords:*** virtual surgical planning (VSP), patient-specific implants (PSI), patient-specific guides (PSG), computer-aided design (CAD), computer-aided manufacturing (CAM).

***Likhitskyi Oleksii, Ph.D., Docent of Department of Surgery 2 with course of Basics of Dentistry, National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya.***  
[oleksiilikhitskyi@gmail.com](mailto:oleksiilikhitskyi@gmail.com)

**Коваль Л.Г.  
Фомін О.О.  
Гомолінський В.О.  
Штофель Д.Х.  
Криворучко І.О.  
Павлов В.С.  
Білий Р.І.**

## **Особливості виготовлення 3d конструкції системи обертання поршнів для портативних медичних аспіраторів**

Вінницький національний технічний університет  
Вінницька міська клінічна лікарня швидкої медичної допомоги

### **Анотація**

*Розроблено 3D моделі для системи обертання поршнів для портативних медичних аспіраторів. Виготовлено системи обертання поршнів для портативних медичних аспіраторів, на основі розроблених 3D моделей.*

**Ключові слова:** 3D моделі, аспіратори, ріггінг

### **Вступ**

У багатьох галузях сучасної медицини використовуються аспіратори чи медичні відсмоктувачі. Крім того, такі прилади все частіше використовуються для очищення дихальних шляхів від слизових виділень.

На цей час медичні аспіратори (МА) широко використовуються у різних галузях медицини:

1. Реанімація. Відсмоктувачі найчастіше застосовуються для надання невідкладної допомоги з метою очищення дихальних шляхів від слизу, блювотних мас, сторонніх предметів, крові чи інших біологічних рідин. Також можуть бути використані для інших цілей при проведенні реанімаційних дій.

2. Хірургія. Прилади потрібні при різних оперативних втручаннях. Вони допомагають відкачувати кров, гній, слиз, також видаляти сторонні предмети і навіть частинки кісток. У пластичній хірургії пристрої застосовуються при ліпосакції (для відкачування зайвого жиру із проблемних анатомічних зон).

3. Гінекологія. Вакуумні аспіратори використовуються для очищення матки після пологів та для переривання вагітності на ранніх термінах. Також прилад застосовується видалення гною при виражених запальних процесах.

4. Неонатологія. Основне призначення - видалення слизу з дихальних шляхів новонароджених.

5. Педіатрія. Пристрої використовуються для очищення дихальних шляхів від слизу при розвитку респіраторних захворювань, тому що діти ще не вміють висморкатися самостійно. Такі процедури допомагають попередити ускладнення та прискорити одужання дитини.

6. Отоларингологія. Найчастіше прилади використовуються для видалення слизу з дихальних шляхів або гною з гортані.

7. Стоматологія. Аспіратори відкачують слину під час лікувальних маніпуляцій, що допомагає забезпечити зручність роботи лікаря та комфорт для пацієнта. Також прилади можуть бути використані для видалення крові або гною.

Експлуатація аспіраторів можлива і в інших галузях медицини, особливо у випадках, коли потрібне швидке та ефективне відкачування крові, слизу чи гною.

### Особливості виготовлення конструкції системи обертання поршнів для портативних медичних аспіраторів

Було створено систему кісток, які було прив'язано до рухомих частин моделі. На кінці останньої кістки створено об'єкт Empty.003, який видно у вьюпорті, але не видно при рендерінгу. Відносно цього об'єкту програма буде прораховувати інверсну кінематику. У всіх кісток заблоковані осі, окрім потрібної, кістки мають свою локальну систему координат, яка не завжди співпадає з глобальною. Також були обмежені мінімальний та максимальні кути обертання.

Рігінг оберտальної частини виконано аналогічно рігу основної. Об'єкт Empty.002 прив'язано до об'єкту Empty.003 попередньої частини, тому при русі Empty.003 рухається також і оберտальна частина.

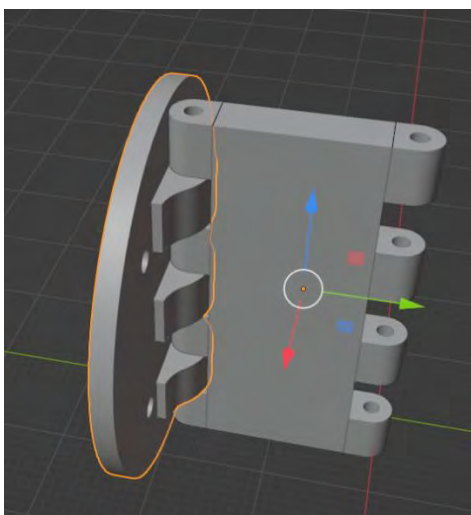


Рисунок 3.11 – Рігінг передаточного шатуна та основи поршня

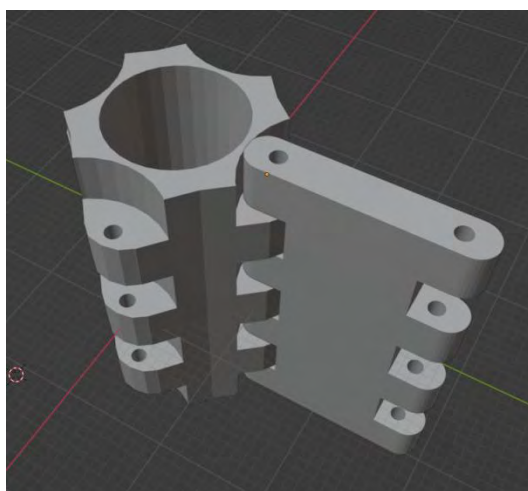


Рисунок 3.12 – Рігінг передаточного шатуна та центральної деталі

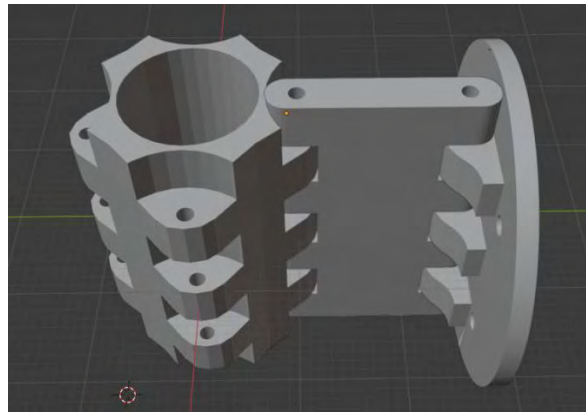


Рисунок 3.13 – Фінальний вигляд рігу

### Висновки

1. Розроблено нову модифікацію дистрибутивної функції Шліка для формування 3D моделей, яка відрізняється від відомої адаптивною зміною степені функції залежно від коефіцієнта спекулярності, що дозволило підвищити точність відтворення спекулярної складової кольору.
2. Модифіковані моделі Шліка доцільно використовувати для ескізного проектування, ДФВЗ на основі косинус-степеневі функції - для динамічних систем формування реалістичних 3 D моделей.
3. Модернізовано конструкції системи обертання поршнів для портативних медичних аспіраторів.
4. Розроблено 3D моделі для системи обертання поршнів для портативних медичних аспіраторів. Виготовлено системи обертання поршнів для портативних медичних аспіраторів, на основі розроблених 3D моделей.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. S. O. Romanyuk, “Approximation of bidirectional reflectance distribution function for highly efficient shading”, in Monography Information Technology in Medical Diagnostics, W. Wójcik and A. Smolarz, London: England: CRC Press, 2017, chapter 2, pp. 27-49. doi:10.1201/9781315098050.
2. A. Maier, S. Steidl, V. Christlein, and J. Hornegger. Medical Imaging Systems, Erlangen-Nürnberg, Germany: Springer, 2016.
3. І. В. Ільїна, та О. В. Біжко, “Аналіз особливостей візуалізації тривимірних об’єктів”, Системи управління, навігації та зв’язку, вип. 2, с. 88-92, 2016.
4. О. Романюк, та С. В. Павлов, “Використання тривимірної графіки в медицині”, на Міжнарод. наук.-практич. конф. Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи, м. Вінниця, 2015, с. 54-56.
5. О. Аврунин, и Ю. В. Книгавко “Алгоритмы программного рендеринга трехмерной графики для задач медицинской визуализации”, Технічна електродинаміка, с. 258-261, 2010.
6. С. А. Романюк, С. И. Вяткин, та С. В. Павлов, “Метод объемной визуализации для медицинских приложений”, на наук.-практ. конф. Информатика, математика, автоматика, Суми, 2016, с. 210-2016.
7. С. О. Романюк, Ю. О. Безсмертний, та Г. В. Безсмертна “Тривимірне моделювання для планування та проведення пластичних операцій на обличчі людини”, на VII Міжнародн конф. Моделювання та комп’ютерна графіка, Покровськ, 2017, с. 193-198.
8. С. О. Романюк, С. В. Павлов, и С. И. Вяткин. “Многоуровневая объемная визуализация для медицинских приложений”, Наукові праці ДонНТУ. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка” №1, с. 55-62, 2018.

**Коваль Леонід** – зав. кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: koval.l@vntu.edu.ua

**Фомін Олександр** - директор КНП «Вінницька міська клінічна лікарня швидкої медичної допомоги», e-mail: mklshmd@ukr.net

**Гомолінський Віктор** - Інженер кафедри БМІОЕС, Вінницький національний технічний університет, gomolinskiy@vntu.edu.ua

**Штофель Дмитро** – доцент кафедри БМІОЕС, Вінницький національний технічний університет, shtofel@vntu.edu.ua

**Криворучко Іван** – аспірант кафедри БМІОЕС, Вінницький національний технічний університет, e-mail: koval.l@vntu.edu.ua

**Павлов Володимир** –аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем Вінницького

національного технічного університету, м. Вінниця, , e-mail: machinehad6926@gmail.com

**Білий Руслан** – аспірант кафедри БМІОЕС, Вінницький національний технічний університет, e-mail: koval.l@vntu.edu.ua

**Leonid Koval** - head. Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, e-mail: koval.l@vntu.edu.ua

**Oleksandr Fomin** - director of the Vinnytsia City Clinical Hospital of Emergency Medical Care, e-mail: mklshmd@ukr.net

**Viktor Homolinsky** - Engineer of the Department of BMIOEP, Vinnytsia National Technical University, gomolinskiy@vntu.edu.ua

**Dmytro Shtofel** - associate professor of the Department of BMIOES, Vinnytsia National Technical University, shtofel@vntu.edu.ua

**Ivan Kryvoruchko** – PhD student of the Department of BMIOES, Vinnytsia National Technical University, e-mail: koval.l@vntu.edu.ua

**Volodymyr Pavlov** - graduate student of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: machinehad6926@gmail.com

**Ruslan Bily** - graduate student of the Department of BMIOES, Vinnytsia National Technical University, e-mail: koval.l@vntu.edu.ua

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДСТАНИ МІЖ МОСТОРІДЬНИМ ПРОТЕЗОМ З ОПОРОЮ НА ІМПЛАНТАТИ ТА ОКРЕМО ВСТАНОВЛЕНИМ ІМПЛАНТАТОМ НА НДС КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ

1. КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
2. Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

### Анотація

У роботі досліджено вплив відстані між мостоподібним протезом з опорою на імплантати та окремо встановленим імплантатом на напруження в кістковій тканині. Розглянуто два варіанти встановлення імплантатів: на відстані 2 і 4 мм. Проведено моделювання НДС системи методом скінченних елементів. Отримано розподіл напружень в кістковій тканині для визначення оптимальної відстані між окремо встановленим імплантатом та мостоподібним протезом.

**Ключові слова:** напружено-деформований стан, напруження, дентальний імплантат, мостоподібний протез, щелепа.

**Вступ.** Заміщення дефектів зубних рядів проводиться з використанням ортопедичних конструкцій з опорою на дентальні імплантати. При плануванні розміщення імплантатів відстань між ними визначається з урахуванням відсутніх зубів та наявної кісткової тканини. Через дефіцит останньої встановлення дентальних імплантатів може проводитись на близькій відстані один від одного, що може мати негативний вплив на напруження які виникають у кістковій тканині [1]. Актуальним є питання визначення оптимальної відстані між мостоподібним протезом з опорою на імплантати та окремим імплантатом для зменшення напружень в кістковій тканині, зменшення ризиків її руйнування та продовження термінів функціонування ортопедичних конструкцій.

**Математична модель.** Для дослідження напружено-деформованого стану системи «мостоподібний протез-імплантат-щелепа» було використано спрощені геометричні моделі мостоподібного протезу, імплантатів та абатментів. Для моделювання використовувався сегмент щелепи, яка була представлена як двошаровий матеріал: зовнішній шар – кортикальна кістка, а внутрішній – губчаста. Причому, кожен матеріал розглядався як однорідний та ізотропний. Механічні властивості матеріалів вказані в Таблиці 1[2].

Таблиця 1. Механічні властивості матеріалів математичної моделі

Об'єкт	Матеріал	Е, ГПа	$\mu$	$\sigma_k$ , МПа
Зовнішній шар	Кортикальна кістка	11	0,3	170-190
Внутрішній шар	Губчаста кістка	0,78	0,3	5
Імплантат	Титановий сплав Ti-6Al-4V	111,2	0,3387	918
Міст	3Y-TZP	205	0,3	500
Абатмент				
Платформа	Конструкційна сталь	200	0,3	215

Оскільки проведення натурних експериментів в даному випадку є досить складним процесом [3], тому в даній роботі було використано FEM аналіз у програмному комплексі ANSYS Workbench. В якості крайових умов було задано жорстке защемлення нижньої грані платформи, вертикальну силу 200Н прикладеної до мостоподібного протезу і вертикальну силу 200Н – до імплантата.

**Аналіз результатів.** В якості ділянки дослідження розподілу еквівалентних напружень було обрано лінію, яка проходить через центр губчастої кістки між імплантатом і мостоподібним протезом. Шукані результати розподілу напружень зображені на рис.1.

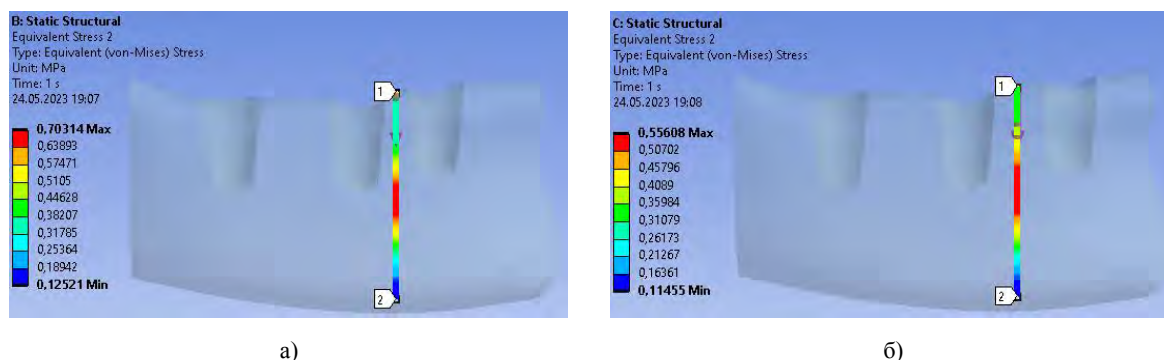


Рис. 1 – Еквівалентні напруження в губчастій кістці при різних відстанях між імплантатом і зубним мостом: а) відстань 2 мм, б) відстань 4 мм

**Висновок.** З отриманих результатів дослідження можна зробити висновок, що відстань між окремого встановленим імплантатом та мостоподібним протезом впливає на НДС кісткової тканини. При встановленні імплантата на відстані 2 мм від протезу отримали максимальне напруження 0,7 МПа, а при відстані 4 мм – 0,56 МПа, що на 20% менше ніж при встановленні імплантату на відстані 2 мм.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Неспрядько В. Дентальная имплантология. Основы теории и практики: учебное пособие / В. Неспрядько, П. Куц. – Киев: Саммит Книга, 2016. – 348 с.
2. The influence of implant diameter and length on stress distribution of osseointegrated implants related to crestal bone geometry: A three-dimensional finite element analysis / L. Baggi et al. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2008. Vol. 100, no. 6. P. 422–431. URL: [https://doi.org/10.1016/s0022-3913\(08\)60259-0](https://doi.org/10.1016/s0022-3913(08)60259-0)
3. Дослідження впливу компоновки стрижнів апарату зовнішньої фіксації на жорсткість системи FEM аналізом / О.Мусянко, Д. Фам, О. Моргун, Р. Діденко. // Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій. – 2022. – С. 76–78.

*Мусянко Ольга Станіславівна, доктор філософії, асистент кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів України Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського, Київ, [olga.musinko@gmail.com](mailto:olga.musinko@gmail.com)*

*Парій Віталій Валентинович, кандидат медичних наук, доцент кафедри ортопедичної стоматології Національного медичного університету ім. О. О. Богомольця, Київ, [vitaliy-pariy@ukr.net](mailto:vitaliy-pariy@ukr.net)*

*Моргун Олексій Ігорович, студент кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського, Київ, [alexmorgun2003@gmail.com](mailto:alexmorgun2003@gmail.com)*

#### STUDY OF THE INFLUENCE OF THE DISTANCE BETWEEN A BRIDGE PROSTHESIS WITH SUPPORT ON IMPLANTS AND A SEPARATELY INSTALLED IMPLANT ON THE STRESS-STRAIN STATE OF BONE TISSUE

##### Abstract

*The paper examines the effect of the distance between a bridge prosthesis with implant support and a separately installed implant on stress in bone tissue. Two options for installing implants were considered: at a distance of 2 and 4 mm. Modeling of stress-strain state of the system was carried out using the finite element method. The stress distribution in the bone tissue was obtained to determine the optimal distance between the separately installed implant and the bridge prosthesis.*

**Keywords:** stress-strain state, stress, dental implant, bridge prosthesis, mandible.

*Olha Musienko, Candidate of Engineering Sciences, Assistant at the Department of Dynamics and Strength of Machines and Strength of Materials of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, [olga.musinko@gmail.com](mailto:olga.musinko@gmail.com)*

*Vitalii Parii, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Department of Department of Prosthetic Dentistry of Bogomolets National Medical University, Kyiv, [vitaliy-pariy@ukr.net](mailto:vitaliy-pariy@ukr.net)*

*Oleksii Morhun, student at the Department of Dynamics and Strength of Machines and Strength of Materials of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, [alexmorgun2003@gmail.com](mailto:alexmorgun2003@gmail.com)*

В.Л. Грешта<sup>1</sup>  
М.М. Бриков<sup>1</sup>  
В.А. Шаломєєв<sup>1</sup>  
Д.В. Павленко<sup>1</sup>  
Д.В. Ткач<sup>1</sup>  
В.Г. Єфременко<sup>2</sup>  
І. Петришинець<sup>3</sup>

## ВПЛИВ ЧАСУ МІКРОДУГОВОГО ОКСИДУВАННЯ МАГНІЄВОГО СПЛАВУ НА ШВИДКІСТЬ ЙОГО РОЗЧИНЕННЯ В КОРОЗІЙНО-АКТИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Національний університет «Запорізька політехніка»<sup>1</sup>, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»<sup>2</sup>, Інститут матеріалознавства Словацької академії наук<sup>3</sup>

**Анотація.** Проведено експерименти з мікродугового оксидування (МДО) магнієвого сплаву МЛ5 у водному розчині гідроксиду калію і натрієвого рідкого скла з подальшим випробуванням в корозійно-активному середовищі. Встановлено, що найменші корозійні ушкодження зазнав зразок, який було оброблено впродовж 30 с. Отриманий результат пояснюється появою після початкового етапу обробки мікроіскрових розрядів, що частково руйнують утворене покриття.

**Ключові слова:** магнієві сплави, мікродугове оксидування, оксид магнію, поверхневий шар, корозія.

Сплави на основі магнію застосовуються в багатьох галузях [1], однак володіють низкою корозійною стійкістю [2]. В певних випадках це може бути практично корисним, наприклад, для електрохімічного захисту відповідальних металевих конструкцій [3]. Також велику увагу привертають магнієві сплави для виготовлення біорозчинних металофіксаторів в хірургії [4, 5].

Швидкість розчинення магнієвих сплавів має бути регульованою для забезпечення надійного фіксування фрагментів кісток впродовж періоду відновлення кісткової тканини [6]. Таким чином, актуальною проблемою є необхідність забезпечення регульованої швидкості корозії магнієвих сплавів, наприклад для виготовлення штучних імплантатів в механічній біоінженерії [4, 6]. В роботі розглядається вплив часу мікродугового оксидування (МДО) магнієвого сплаву МЛ5 на швидкість його розчинення в корозійно-активному середовищі.

Для проведення МДО використовували сплав МЛ5. МДО проводили з використанням змінного струму 380 В, 50 Гц і батареї конденсаторів з діапазоном ємностей від 2 мкФ до 34 мкФ. Застосовували електроліт із концентрацією гідроксиду калію і натрієвого рідкого скла 1 г/л і 3 г/л відповідно. Випробування оброблених зразків на корозію проводили в водному 3% розчині NaCl при температурі  $38 \pm 2$  °C.

Проведено серію МДО обробок зразків впродовж 15 с, 30 с, 60 с і 120 с. Корозійні випробування впродовж 80 годин показали, що найменшого корозійного ушкодження зазнав зразок, який було оброблено впродовж 30 с. Отриманий результат можна пояснити особливостями МДО на різних етапах, а саме появою після початкового етапу обробки мікроіскрових розрядів, які частково руйнують утворене покриття.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шаломєєв В. А., Лук'яненко О. С. Вплив алюмінію на формування зміцнювальної фази в магнієвих сплавах // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2021. – № 1. – С.15-18. <https://doi.org/10.15588/1607-6885-2021-2-2>
2. Bender, S., Göllner, J., Heyn, A., Blawert, C., Bala Srinivasan, P., 2013. 7 - Corrosion and surface finishing of magnesium and its alloys, in: Pekguleryuz, M.O., Kainer, K.U., Arslan Kaya, A. (Eds.), Fundamentals of Magnesium Alloy



Metallurgy, Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering. Woodhead Publishing, pp. 232–265. <https://doi.org/10.1533/9780857097293.232>

3. Pathak, S.S., Mendon, S.K., Blanton, M.D., Rawlins, J.W., 2012. Magnesium-Based Sacrificial Anode Cathodic Protection Coatings (Mg-Rich Primers) for Aluminum Alloys. *Metals* 2, 353–376. <https://doi.org/10.3390/met2030353>

4. Чорний В.М. Перспективи застосування біодеградуючих сплавів на основі магнію в остеосинтезі // Запорізький медичний журнал. – 2013. - №6. – С.76-79.

5. Witte, F., 2010. The history of biodegradable magnesium implants: A review. *Acta Biomaterialia*, The THERMEC'2009 Biodegradable Metals 6, 1680–1692. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2010.02.028>

6. Peron, M., Torgersen, J., Berto, F., 2017. Mg and Its Alloys for Biomedical Applications: Exploring Corrosion and Its Interplay with Mechanical Failure. *Metals* 7, 252. <https://doi.org/10.3390/met7070252>

**Грешта Віктор Леонідович**, канд. техн. наук, професор, ректор Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: [gresha@zp.edu.ua](mailto:gresha@zp.edu.ua).

**Брикв Михайло Миколайович**, д-р техн. наук, професор, професор кафедри «Інтегровані технології зварювання та моделювання конструкцій» Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: [brykov@zp.edu.ua](mailto:brykov@zp.edu.ua).

**Шаломєєв Вадим Анатолійович**, д-р техн. наук, професор, проректор з наукової роботи Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: [shalomeev@zp.edu.ua](mailto:shalomeev@zp.edu.ua).

**Павленко Дмитро Вікторович**, д-р техн. наук, професор, професор кафедри «Технологія авіаційних двигунів» Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: [dvp@zp.edu.ua](mailto:dvp@zp.edu.ua).

**Ткач Даря Володимірівна**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Фізичне матеріалознавство» Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: [dvt@zp.edu.ua](mailto:dvt@zp.edu.ua).

**Єфременко Василь Георгійович**, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри фізики ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, Україна, e-mail: [efremenko\\_v\\_g@pstu.edu](mailto:efremenko_v_g@pstu.edu).

**Петришинець Іван, PhD**, провідний дослідник, Інститут матеріалознавства Словацької академії наук, м. Кошице, Словаччина, e-mail: [ipetryshynets@imr.saske.sk](mailto:ipetryshynets@imr.saske.sk).

#### INFLUENCE OF THE TIME OF MICRO-ARC OXIDATION OF A MAGNESIUM ALLOY ON THE RATE OF ITS DEGRADATION IN A CORROSION-ACTIVE ENVIRONMENT

**Abstract.** Experiments were conducted on micro-arc oxidation (MDO) of magnesium alloy ML5 in an aqueous solution of potassium hydroxide and sodium liquid glass with subsequent testing in a corrosive-active environment. It was established that the sample that was treated for 30 seconds suffered the least corrosion damage. The obtained result is explained by the appearance after the initial stage of processing of microspark discharges, which partially destroy the formed coating.

**Keywords:** magnesium alloys, micro-arc oxidation, magnesium oxide, surface layer, corrosion.

**Gresha Viktor Leonidovich**, kand. of techn. sci., professor, rector of National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: [gresha@zp.edu.ua](mailto:gresha@zp.edu.ua).

**Brykov Michail Mykolajovych**, doct. of techn. sci., professor, professor of “Integrated technologies of welding and modelling of structures” dept. of of National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: [brykov@zp.edu.ua](mailto:brykov@zp.edu.ua).

**Shalomeev Vadim Anatolijovych**, doct. of techn. sci., professor, vice-rector of National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: [shalomeev@zp.edu.ua](mailto:shalomeev@zp.edu.ua).

**Pavlenko Dmytro Viktorovych**, doct. of techn. sci., professor, professor of “Aviation engine technology” dept. of National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: [dvp@zp.edu.ua](mailto:dvp@zp.edu.ua).

**Tkach Daria Volodymirivna**, kand. of techn. sci., assistant professor, assistant professor of “Physical materials science” dept. of of National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: [dvt@zp.edu.ua](mailto:dvt@zp.edu.ua).

**Efremenko Vasyl Georgijovych**, doct. of techn. sci., professor, head of physics dept. of Pryazovsky State Technical University, Mariupol, Ukraine, e-mail: [efremenko\\_v\\_g@pstu.edu](mailto:efremenko_v_g@pstu.edu).

**Petryshynets Ivan**, PhD, senior researcher in Institute of Materials Research, Slovak Academy of Sciences, Kosice, Slovakia, e-mail: [ipetryshynets@imr.saske.sk](mailto:ipetryshynets@imr.saske.sk).

## МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ В'ЯЗКОСТІ КРОВІ

Вінницький Національний Технічний Університет

### Анотація

Огляд методів, які дають змогу зрозуміти в'язкість крові, яка є важливим параметром для розуміння різних фізіологічних і патологічних станів, включаючи серцево-судинні захворювання, мікроциркуляцію та гемореологічні розлади.

**Ключові слова:** Вязкість крові, реологія крові, капілярна віскозиметрія, ротаційна віскозиметрія, осциляторна віскозиметрія, віскозиметрія з падаючою сферою

В'язкість крові є важливим параметром для оцінки здоров'я серцево-судинної системи, і на нього можуть впливати різні фактори, такі як кількість еритроцитів, в'язкість плазми та гематокрит. Існує кілька доступних методів вимірювання в'язкості крові, від простих до більш складних.

**Капілярна віскозиметрія** є широко використовуваним методом вимірювання в'язкості крові. Даний методом передбачає вимірювання швидкості потоку крові через капілярну трубку в контрольованих умовах. Принцип капілярної віскозиметрії базується на рівнянні Хагена-Пуазейля, яке описує зв'язок між швидкістю потоку рідини, градієнтом тиску, розмірами капілярної трубки та в'язкістю рідини.

Принцип капілярної віскозиметрії наступний:

Основне обладнання, необхідне для капілярної віскозиметрії, включає скляну капілярну трубку з точним діаметром, джерело тиску або шприцевий насос, а також таймер або пристрій для вимірювання швидкості потоку.

Метод потребує невелику кількість крові. Основна вимога це уникати контакт крові з повітрям, так як це прискорює процес осідання еритроцитів. Далі заповнюють трубку точно визначеного діаметру та герметично закривають. Так як капілярна трубка підключена до джерела тиску або шприцевого насоса, різниця тиску в капілярі контролюється за допомогою застосування тиску або використання шприцевого насоса для створення постійної швидкості потоку. Швидкість потоку крові через капілярну трубку вимірюється за допомогою таймера або пристрою для вимірювання швидкості потоку. Реєструється час, необхідний для протікання крові відомою довжиною капілярної трубки [1].

В'язкість крові розраховується за допомогою рівняння Хагена-Пуазейля, яке враховує розміри капілярної трубки, градієнт тиску та швидкість потоку.

Рівняння виглядає наступним чином:

$$\eta = \frac{P \cdot L}{Q \cdot \pi \cdot r^4},$$

де:  $\eta$  - в'язкість крові,  $P$  - градієнт тиску в капілярі,  $L$  - довжина капіляра,  $Q$  - швидкість кровотоку, а  $r$  - радіус капілярної трубки.

Отримане значення в'язкості можна порівняти з еталонними значеннями або використати для подальшого аналізу, наприклад для оцінки наявності певних захворювань.

Капілярна віскозиметрія є простим методом вимірювання в'язкості крові. Однак для забезпечення точних результатів потрібні точні вимірювання розмірів капілярів і обережне поводження зі зразком крові. Крім того, метод припускає, що кров поводить себе як ньютонівська рідина, що не зовсім точно, оскільки кров демонструє неньютонівську поведінку за певних умов. Тому дуже важливо інтерпретувати результати у відповідному контексті та враховувати будь-які обмеження, пов'язані з методом [1,2].

**Ротаційна віскозиметрія**, також відома як ротаційна реометрія, є технікою, яка зазвичай використовується для вимірювання в'язкості рідин, включаючи кров. Це передбачає піддавання рідини зсуву шляхом обертання шпинделя зануреного в зразок, і вимірювання результуючого крутного моменту або опору обертанню. Ротаційна віскозиметрія надає цінну інформацію про текучі властивості та в'язкість рідини за різних швидкостей зсуву.

Вимірювання методом ротаційної віскозиметрії:

Ротаційні віскозиметри складаються з моторизованого шпинделя та датчика крутного моменту. Шпиндель занурюється в зразок рідини, а датчик крутного моменту вимірює опір обертанню. У пацієнта береться зразок крові та готується для дослідження. Для запобігання згортанню крові під час вимірювання може знадобитися антикоагулянт. Далі шпиндель занурюють у зразок крові, а ротаційний віскозиметр налаштовують на обертання з постійною швидкістю. Датчик крутного моменту вимірює опір або крутний момент, який впливає на шпиндель.

Ротаційний віскозиметр дозволяє контролювати швидкість зсуву, застосовану до зразка крові. Швидкість зсуву означає швидкість, з якою сусідні шари рідини рухаються відносно один одного. Його можна регулювати, змінюючи швидкість обертання або геометрію шпинделя.

Віскозиметри ротаційного типу зазвичай забезпечують широкий діапазон швидкостей зсуву, що дозволяє вимірювати як при низьких, так і при високих швидкостях зсуву. Це важливо, оскільки в'язкість крові може змінюватися залежно від застосованої швидкості зсуву.

Виміряні значення крутного моменту можна використовувати для розрахунку в'язкості крові за допомогою відповідних математичних моделей. Залежно від поведінки зразка крові можна використовувати різні моделі, такі як ньютонівська модель або неньютонівські моделі, такі як степеневий закон або модель Кассона [3]. Дані про в'язкість, отримані за допомогою ротаційної віскозиметрії, можна використовувати для оцінки властивостей потоку крові, таких як її опір потоку так і здатність до згортання. Це також може допомогти в діагностиці та моніторингу станів, пов'язаних із в'язкістю крові, таких як анемія, гіпертонія або серцево-судинні захворювання.

Ротаційна віскозиметрія має кілька переваг, включаючи її універсальність, широкий діапазон швидкості зсуву та здатність аналізувати як ньютонівські, так і неньютонівські рідини. Однак це більш складна та витончена техніка порівняно з більш простими методами, такими як капілярна віскозиметрія. Належне калібрування та стандартизація необхідні для точних вимірювань, а інтерпретація результатів вимагає розуміння реологічних моделей і поведінки крові.

Варто зазначити, що ротаційна віскозиметрія часто використовується в дослідницьких і клінічних лабораторіях, але може бути доступною не в усіх умовах [3,4].

**Осциляторна віскозиметрія** є технікою, яка використовується для вимірювання в'язкопружних властивостей рідин, включаючи кров. На відміну від ротаційної віскозиметрії, яка застосовує до рідини постійну напругу зсуву, коливальна віскозиметрія піддає рідину коливальним напругам зсуву та вимірює результуючу деформацію або реакцію на напругу. Цей метод надає інформацію як про в'язкість (опір течії), так і про еластичність (здатність відновлювати форму після деформації) рідини.

Принцип осциляторної віскозиметрії наступний:

Коливальний віскозиметр складається з двох пластин або паралельних поверхонь, куди поміщається зразок рідини. Одна пластина зафіксована, а інша коливається вперед і назад, створюючи напругу зсуву. Прилад містить датчик сили або крутного моменту для вимірювання реакції рідини.

Зразок крові збирається та готується для тестування, подібно до інших методів вимірювання в'язкості. Зразок крові поміщають між двома пластинами коливального віскозиметра. Коливальна пластина застосовує до зразка синусоїдальну напругу зсуву, змушуючи його деформуватися та генерувати відповідь на напругу.

Коливальний віскозиметр дозволяє контролювати деформацію зсуву, що прикладається до зразка крові. Деформація зсуву являє собою величину деформації, на яку діє рідина через напругу зсуву. Деформацію можна регулювати шляхом зміни амплітуди або частоти коливань.

Коливальні віскозиметри пропонують діапазон частот, на яких можуть відбуватися коливання. Цей діапазон дозволяє проводити вимірювання в різних часових масштабах і надає цінну інформацію про в'язкопружну поведінку рідини.

Зібрані дані зазвичай представлені в термінах модуля накопичення ( $G'$ ) і модуля втрат ( $G''$ ), які описують пружну та в'язку реакцію рідини відповідно. Ці модулі можна використовувати для характеристики в'язкопружної поведінки зразок крові та дають уявлення про його течію та властивості деформації.

Осциляторна віскозиметрія є потужною технікою, яка використовується в дослідженнях, матеріалознавстві та біомедичних додатках. Він надає більш повну інформацію, ніж традиційні вимірювання в'язкості, оскільки фіксує як в'язкі, так і пружні компоненти реакції рідини. Однак для правильної інтерпретації результатів потрібне спеціальне обладнання та досвід аналізу даних [5].

**Віскозиметрія з падаючою сферою**, також відома як метод Стокса, є технікою, яка використовується для вимірювання в'язкості рідин, включаючи кров. Метод ґрунтується на спостереженні кінцевої швидкості, з якою маленька кулька падає крізь рідину під дією сили тяжіння. Вимірюючи швидкість падіння, можна розрахувати в'язкість рідини за допомогою рівняння закону Стокса.

Ідея віскозиметрії падаючої сфери наступна:

Невелика тверда сфера, зазвичай виготовлена зі скла або іншого інертного матеріалу. Сфера має бути достатньо щільною, щоб потонути в рідині, але не достатньо легкою, щоб мінімізувати ефект плавучості.

Зразок крові збирають і готують для тестування, забезпечуючи належну антикоагуляцію для запобігання згортанню під час вимірювання. Підготовлений зразок крові поміщають у прозору колонку або циліндр, для забезпечення візуального спостереження. Сферу обережно впускають у рідину з відомої висоти. Коли сфера падає крізь рідину під дією сили тяжіння, вона прискорюється, поки не досягне кінцевої швидкості. Процес падіння візуально спостерігають або записують за допомогою відео або інших методів зображення. Для вимірювання швидкості, вимірюється час, за який сфера впала на відому відстань. Ця інформація разом із відомою відстанню використовується для обчислення кінцевої швидкості кулі.

Розрахунок в'язкості крові проводиться за допомогою закону Стокса, який стверджує, що сила опору в'язкості, яка діє на невелику сферу в рідині, пропорційна її радіусу, швидкості сфери та в'язкості рідини.

Рівняння виглядає наступним чином:

$$F = 6\pi\eta rv$$

Де:  $F$  - сила опору, що діє на сферу,  $\eta$  - в'язкість крові,  $r$  - радіус сфери, а  $v$  кінцева швидкість кулі.

Переставляючи рівняння, в'язкість ( $\eta$ ) можна розрахувати як:

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{gr^2(\rho - \rho_f)}{v},$$

де:  $g$  - прискорення сили тяжіння,  $\rho$  - густина кулі,  $\rho_f$  - густина рідини, а  $v$  — виміряна кінцева швидкість.

Отримане значення в'язкості можна порівняти з еталонними значеннями або використати для подальшого аналізу, наприклад для оцінки впливу певних захворювань або лікування на в'язкість крові.

Віскозиметрія з падаючою сферою є відносно простим і економічно ефективним методом вимірювання в'язкості рідини, включаючи в'язкість крові. Однак передбачається, що рідина поведеться як ньютонівська рідина і що на рух кулі не впливають такі фактори, як турбулентність або взаємодія частинок. Під час інтерпретації результатів важливо враховувати ці припущення та обмеження [6].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Shin S, Ku Y, Park MS, Suh JS. Measurement of blood viscosity using a pressure-scanning capillary viscometer. *Clin Hemorheol Microcirc.* 2004;30(3-4):467-70. PMID: 15258389.
2. Hideki Yamamoto, Takafumi Yabuta. Measurement of human blood viscosity a using Falling Needle Rheometer and the correlation to the Modified Herschel-Bulkley model equation, *Heliyon*; Volume 6, Issue 9, 2020, e04792, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04792>;
3. Stuart J. Erythrocyte rheology. *J Clin Pathol.* 1985 Sep;38(9):965-77. doi: 10.1136/jcp.38.9.965. PMID: 3900147; PMCID: PMC499344;
4. Physiometer for simultaneous measurement of whole blood viscosity and its determinants: hematocrit and red blood cell deformability - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/A-Measurement-of-the-whole-blood-viscosity-using-the-rotational-viscometer-and\\_fig5\\_331776017](https://www.researchgate.net/figure/A-Measurement-of-the-whole-blood-viscosity-using-the-rotational-viscometer-and_fig5_331776017) [accessed 25 May, 2023];
5. Kestin J, Newell GF (1957) Theory of oscillating type viscometers I: the oscillating cup. *Z Angew Math Phys* 8:433–449;
6. Ping Yuan. Measurement of Viscosity in a Vertical Falling Ball Viscometer [Електронний ресурс] / Ping Yuan, Ben-Yuan Lin – Режим доступу до ресурсу: <https://www.americanlaboratory.com/913-Technical-Articles/778-Measurement-of-Viscosity-in-a-Vertical-Falling-Ball-Viscometer/>.

**Снядовський Владислав Юрійович** – аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем. факультету інформаційних електронних систем. Вінницький національний технічний університет м. Вінниця, e-mail: ra15b.sniadovskyi@gmail.com.

**Тимчик Сергій Васильович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем. факультету інформаційних електронних систем. Вінницький національний технічний університет м. Вінниця, e-mail: tymchyk@vntu.edu.ua

**Олексій Мормітко Михайлович** – аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем. факультету інформаційних електронних систем. Вінницький національний технічний університет м. Вінниця,

## METHODS OF MEASURING BLOOD VISCOSITY

### Abstract

Review of methods that provide insights into blood viscosity, which is an important parameter for understanding various physiological and pathological conditions, including cardiovascular diseases, microcirculation, and hemorheological disorders.

**Keywords:** Blood viscosity, blood rheology, capillary viscometry, rotational viscometry, oscillatory viscometry, falling sphere viscometry

**Vladyslav Y. Sniadovsky** – a graduate student at the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems. Faculty of Information Electronic Systems. Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ra15b.sniadovskyi@gmail.com.

**Serhiy V. Tymchuk** – Cand. Sc., Assistant Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems. Faculty of Information Electronic Systems. Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tymchuk@vntu.edu.ua

**Oleksiy Mormitko Mykhailovych** – a graduate student at the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems. Faculty of Information Electronic Systems. Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Сергій Павлов  
Оркен Мамирбаєв  
Йосиф Салдан  
Кимбат Моминжанова  
Любов Загоруйко**

## **АНАЛІЗ АВТОМАТИЗОВАНИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ 2-D БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ПАТОЛОГІЯХ ЗАХВОРЮВАНЬ ОКА**

Вінницький національний технічний університет  
Інститут інформаційних та комп'ютерних технологій МОН РК, Алмати, Казахстан  
Вінницький національний медичний університет ім. М. Пирогова  
Казахський національний університет ім. Аль-Фарабі  
Донецький національний університет ім. В. Стуса

*Анотація.* Для розроблення та реалізації оптико-електронних систем при аналізі біозображень доцільним є вирішення таких задач: проведення обґрунтування ефективності застосування оптико-електронної елементної бази при побудові оптико-електронних системи для аналізу патологій ока, зокрема, глаукоми; сформування ознак біомедичних зображень з метою підвищення достовірності роботи оптико-електронної системи для об'єктивного дослідження переднього і заднього відділів, а також функцій органа зору.

**Ключові слова:** оптико-електронні системи, обробка зображень, захворювання ока

### **Вступ**

З розвитком інформаційних та комп'ютерних технологій в медицині з'явилися нові можливості для підвищення ефективності виявлення об'єктів інтересу на зображеннях. Спеціалізовані системи для аналізу та оброблення медичних зображень дозволяють робити перетворення зображень для різних задач медицини. Але застосування подібних систем вимагає наявності певних вимог до використання високотехнологічного обладнання. З одного боку, при виборі методу оброблення зображення користувач керується лише своїми знаннями і досвідом, і, отже, цей вибір може бути неоптимальним. З іншого - перебір всіх наявних у системі методів (або комбінацій методів) може займати занадто багато часу. Для проведення оброблення зображення, оптимальною в сенсі досягнення поставленої мети і швидкої порівняно з перебором всіх наявних у системі методів, слід забезпечити автоматизований вибір відповідного методу оброблення. [1,3,6,7].

Візуалізація оброблених медичних зображень є обов'язковим першим кроком, особливо при складних патологіях, для достовірної діагностики.

Розпізнавання образів - це віднесення вихідних даних до певного класу за допомогою виділення істотних ознак, що характеризують ці дані, із загальної маси несуттєвих даних.

На сьогоднішній день оброблення зображень є важливим напрямком застосування сучасної обчислювальної техніки. Відомі такі завдання оброблення зображень, як фільтрація і відновлення зображень, сегментація зображень та засоби стиснення інформації. Проблеми розпізнавання зображень крім класичної задачі розпізнавання фігур заданої форми на зображенні ставлять нові задачі розпізнавання ліній і кутів на зображенні, розпізнавання краю зображення. Для вирішення всіх перелічених вище завдань в останні роки активно використовуються нейромережеві алгоритми та нейрокомп'ютери [2,4,5].

### **Аналіз методів оброблення 2D зображень при аналізі патологій ока (рогівки, сітківки, очного дна)**

Для тривимірної (3D) візуалізації у переважній більшості фірм-розробників програмного медичного забезпечення, напрацьований величезний інструментарій для створення тривимірних моделей досліджуваних об'єктів. Однак, для візуалізації двовимірних (2D) зображень, не створено

якісних інструментів оброблення, навіть у провідних виробників медичної діагностичної апаратури, що змушує лікаря більше здогадуватися, чим реально бачити діагноз на зображенні. [1,2,3]

Необхідно також відрізнити оброблення медичного зображення для візуальної діагностики від спеціалізованих розрахунків у конкретних областях медицини. Інструментарій для розрахунків зазвичай є як на сучасних апаратах, так і на деяких спеціалізованих робочих DICOM станціях, що входять до PACS систему.

Простим зміною яскравості, контрастності і одним фільтром (в основному 8-ми бітним), які застосовуються у більшості так званих "DICOM Viewer", і навіть на більшості робочих DICOM станцій, завдання якісної візуалізації вирішити принципово неможливо. [2,4]

Фундаментальним виданням за методами математичного оброблення зображень, у тому числі медичних, є монографія Р. Гонсалеса і Р. Вудса "Цифрова обробка зображень". У монографії обробці медичних зображень відводиться одне з найважливіших місць.

Лікарю-діагносту необхідно надати максимально можливий набір інструментів, який дозволить реалізувати послідовність проходження зображення через кілька 16-ти бітних 2D фільтрів, кілька нелінійних 16-ти бітних функцій перетворення, через 16-ти бітні функції зміни спектру зображень (гістограми), спеціальних функцій масштабування і т.п. Для максимального якісного нівелювання "наведеного (артефактного) зображення" необхідно побудувати адаптивний (настроюється) послідовний 16-ти бітний конвеєр обробки з різних математичних функцій (методів), реалізують технологію "2D Обробки і Візуалізації Реального Часу".

### **Технологія розпізнавання біомедичних зображень на прикладі оброблення зображень ока.**

Застосування послідовності математичних функцій оброблення, що дозволяє підвищити видиму роздільну здатність первинного зображення в 1.2-1.5 рази (в lp/mm). Одночасно треба враховувати, що збільшення роздільної здатності призводить до нелінійного збільшення обсягів обчислень, необхідних для якісної, діагностично значущою, візуалізації, тому питання "реального часу" стає наріжним для забезпечення швидкості роботи системи оброблення і візуалізації, як відповідної реакції на зміну параметрів функцій оброблення. Лікар повинен відчувати, що зміна параметрів оброблення, через мінімальний проміжок часу, в кращому разі нульовий, відображаються на зміні самого зображення - це і є режим "реального часу".

Око, як фізіологічний об'єкт, не може розрізнити більше 256 градацій яскравості в пікселях сірого зображення. У зображеннях з великою роздільною здатністю в пікселі все залежить від того, який діапазон значень, з якими методами обробки буде перетворений в кінцевий діапазон 256 градацій яскравості (8 біт), які можуть коректно відобразити сучасні професійні монітори. Сучасні професійні монітори, які працюють в повному кольорному RGB діапазоні, мають вбудовані в монітор кошти калібрування - 12-ти бітні (4096 кроків) LUT (Look Up Table) таблиці перетворення, для кожного кольору окремо. 12-ти бітний LUT дозволяє реалізувати ідеально лінійне, для ока людини, зміна яскравості зображення від величини візуалізуються пікселів. Зверніть увагу, що внутрішні LUT таблиці монохромних «медичних» моніторів всього 10-ти бітні (тобто 1024 кроків).

Застосування монохромних "Медичних" моніторів було обумовлено необхідністю перегляду затемнених областей необробленого зображення, що реалізується за рахунок додаткової DICOM LUT (10-ти бітної) таблиці монохромного монітора і нелінійної функції перетворення, вміщеній в DICOM LUT. За технічними характеристиками матриць сучасні професійні кольорові монітори високого дозволу перевершують монохромні "медичні" монітори, за винятком граничної яскравості отриманих зображень (у монохромних моніторів вона в 2 рази більше). Потужність сучасних процесорів персональних комп'ютерів і графічних засобів візуалізації здатне забезпечити практично будь-які запити по обробленню медичних зображень, а інструментарієм для діагностичного процесу може служити робоча станція з програмно-апаратним забезпеченням оброблення та візуалізації медичних DICOM зображень рис.1).



Рис. 1. DICOM станція оброблення та візуалізації "Michelangelo" з двома моніторами. Візуалізація на 30 дюймовому 4-х Мріх моніторі формату 1600x2560

Останнім часом медичне діагностичне обладнання досягло величезної роздільної здатності джерел первинних медичних зображень: - За кількістю пікселів - більш ніж 32 мільйонів пікселів (32 Мріх) на один кадр зображення, наприклад в офтальмології, об'ємом 64МВ і більше; - За дозволом в пікселі - до 16385 градацій сірого (14 біт), навіть аж до 65536 градацій сірого (16 біт).

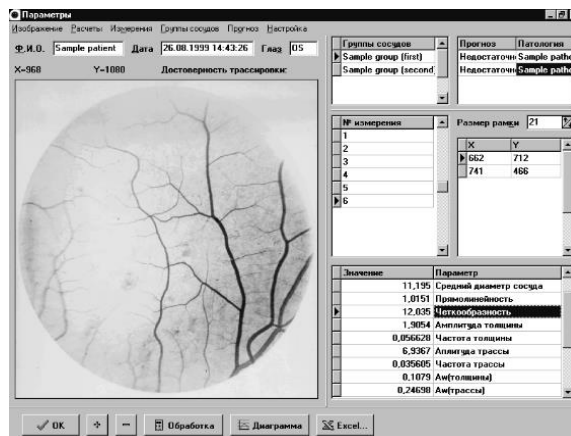


Рис.2. Застосування модуля "DSA Реального Часу" з різними під функціями оброблення.  
Формат кожного кадру зображення 1024x1024x10b при 30 кадрів/сек

Поліпшення відношення "Сигнал / шум" в зображенні можливо тільки за рахунок застосування спеціальних методів оброблення з одночасним зменшенням роздільної здатності, що є компромісом між збільшенням роздільної здатності зображення і поліпшенням відношення "сигнал / шум". Дозвіл зображення в пікселях і роздільна здатність цього ж зображення в "пар лінії на міліметр" (lp / mm) - це абсолютно різні поняття, які пов'язані між собою через фізичний розмір пікселя.

### Висновок

Таким чином, можна відзначити, що для розроблення та реалізації оптико-електронних систем при аналізі біозображень доцільним є вирішення таких задач: проведення обґрунтування ефективності застосування оптико-електронної елементної бази при побудові оптико-електронних системи для аналізу патологій ока, зокрема, глаукоми; сформування ознак біомедичних зображень з метою підвищення достовірності роботи оптико-електронної системи для об'єктивного дослідження переднього і заднього відділів, а також функцій органа зору.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Pavlov S. V. Information Technology in Medical Diagnostics // Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press - 210 Pages.
2. Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M. Information Technology in Medical Diagnostics II. London: (2019). Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages.
3. Pavlov S.V. Methods and computer tools for identifying diabetes-induced fundus pathology // S.V. Pavlov, T.A. Martianova, Y.R. Saldan, and etc. // Information Technology in Medical Diagnostics II. CRC Press, Balkema book, 2019 Taylor & Francis Group, London, UK, PP. 87-99
4. Yosyp R. Saldan, Sergii V. Pavlov, Dina V. Vovkotrub, Waldemar Wójcik, and etc. Efficiency of optical-electronic systems: methods application for the analysis of structural changes in the process of eye grounds diagnosis // Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, 104450S; doi: 10.1117/12.2280977; <https://doi.org/10.1117/12.2280977>.
5. Продеус А.Н., Захрабова Е.Н. Экспертные системы в медицине. – К.: Век +, 1998. – 320 с.
6. Оптико-електронний прилад для дослідження очного дна та особливості його застосування / Салдан Й.Р., Павлов С.В., Рамі Ребхі Хамді, Рожман А.О. // Застосування лазерів у медицині та біології.// Матеріали XXXIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Ужгород, 15-17 квітня 2010р

**Павлов Сергій** – д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: psv@vntu.edu.ua.

**Мамирбаєв Оркен** - заступник генерального директора РДП «Інституту інформаційних та обчислювальних технологій» КН МОН РК, завідувач лабораторії, PhD, асоційований професор, e-mail: morkenj@mail.ru

**Салдан Йосиф** – д.м.н., професор кафедри очних хвороб, Вінницький національний медичний університет ім. М. Пирогова, e-mail: ysaldan@ukr.net

**Моминжанова Кимбат** – аспірант Казахського національного університету ім. Аль-Фарабі, e-mail: kymbat\_momynzhanova87@mail.ru

**Загоруйко Любов** - к.т.н., доцент, Донецький національний університет ім. В. Стуса, e-mail: LubovZagorujko@gmail.com



## ANALYSIS OF AUTOMATED OPTIC-ELECTRONIC SYSTEMS FOR ASSESSMENT OF 2-D BIOMEDICAL IMAGES IN PATHOLOGIES OF EYE DISEASES

**Abstract.** For the development and implementation of optical-electronic systems for the analysis of bioimages, it is appropriate to solve the following problems: substantiating the effectiveness of the use of the optical-electronic elemental base in the construction of optical-electronic systems for the analysis of eye pathologies, in particular, glaucoma; formation of signs of biomedical images in order to increase the reliability of the operation of the optical-electronic system for objective research of the front and back departments, as well as the functions of the organ of vision.

**Keywords:** optical-electronic systems, image processing, eye diseases

**Pavlov Sergii** – Ph.D., Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: psv@vntu.edu.ua.

**Mamyrbayev Orken** - Ph.D., Deputy General Director in science and Head of the Laboratory of Computer Engineering of Intelligent Systems at the Institute of Information and Computational Technologies of the Kazakh National Technical University named after K.I. Satbayev and associate professor in 2019 at the Institute of Information and Computational Technologies, e-mail: morkenj@mail.ru

Saldan Iosif - Prof., Pirogov National Medical University of Vinnytsia, 21018, Pirogova str. 56, 21018, Vinnytsia, Ukraine, E-mail: ysaldan@ukr.net

**Momynzhanova Kymbat**, post-graduated student of Kazakh National University, Faculty of Information Technology of Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan,  
e-mail: kymbat\_momynzhanova87@mail.ru

**Zagoruiko Lubov** - Cand. Sc. (engineering), Vasyl' Stus Donetsk National University, 600-richya str. 21, 21021 Vinnytsia, Ukraine,

**К.П. Локес**  
**Л.І. Шкільняк**  
**Т.М. Канішина**  
**Д.С. Аветіков**  
**С.В. Павлов**

## **ВПЛИВ КРІОЕКСТРАКТУ ПЛАЦЕНТИ НА ПРОЦЕСИ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕННЯ ЛІПІДІВ У ПАЦІЄНТІВ ІЗ ОДОНТОГЕННИМИ ФЛЕГМОНАМИ ЩЕЛЕПНО-ЛИЦЕВОЇ ЛОКАЛІЗАЦІЇ**

Полтавський державний медичний університет, м. Полтава, Україна  
Вінницький національний медичний університет ім. М. Пирогова, м. Вінниця, Україна  
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

### **Анотація**

*Встановлено вплив використання кріоекстракту плаценти у комплексному лікуванні пацієнтів із одонтогенними флегмонами щелепно-лицевої локалізації на процеси перекисного окислення ліпідів. Оптимальні результати були досягнуті за умов поєднання внутрішньовенного введення кріоекстракту плаценти із його місцевим застосуванням у складі мазі «Левомеколь».*

**Ключові слова:** кріоекстракт плаценти, флегмона, перекисне окислення ліпідів.

### **Вступ**

Одонтогенні флегмони щелепно-лицевої локалізації є значно поширеною патологією, їх частка складає від 40% до 60% від загальної кількості пацієнтів, шпиталізованих до щелепно-лицевих стаціонарів. У розвитку та перебігу гнійно-запальних дано локалізації значною мірою впливає концентрація причинної мікрофлори, загальні та місцеві неспецифічні та специфічні захисні фактори організму, стан різних органів та систем організму, а особливо - анатомо-топографічні особливості м'яких тканин голови та шиї [1].

Питання оптимізації хірургічної та медикаментозної терапії цієї патології є важливою медико-соціальною проблемою, яка обумовлюється високим ризиком виникнення ускладнень та тривалим періодом лікування та реабілітації [2].

Останнім часом у зв'язку з розвитком нових напрямів у кріобіології розширилися можливості використання препаратів, виготовлених із плаценти. Наявність у кріоекстракту плаценти виражених антиоксидантних властивостей та протизапальної дії, обумовлює можливість його використання при курації пацієнтів із флегмонами щелепно-лицевої локалізації [3].

### **Результати досліджень.**

Нами був досліджений вплив кріоекстракту плаценти на перебіг флегмон щелепно-лицевої локалізації при внутрішньовенному введенні (1 клінічна група) та у комбінації із введенням даного препарату у складі мазі «Левомеколь» (2 клінічна група) на тлі стандартної терапії. Порівняння проводилося із групою контролю, в якій пацієнти отримували стандартне медикаментозне лікування. У сироватці крові пацієнтів на 1-й, 3-й, 5-й та 7-й дні спостереження був досліджений вміст малонового діальдегіду, який кінцевим продуктом перекисного окислення ліпідів.

Показник малонового діальдегіду у сироватці крові пацієнтів обох дослідних та контрольної груп під час шпиталізації не мав достовірних відмінностей. Це обумовлено, типовою клінічною симптоматикою, а також тим, що пацієнти ще не отримували лікування (табл. 1). На третю добу спостереження у першій дослідній групі спостерігали статистично значуще зменшення вмісту досліджуваного показника на 13,8%, а у другій – на 14,4%.

На 5-ту добу лікування пацієнтів із поверхневими флегмонами щелепно-лицевої локалізації у першій дослідній групі відмічали достовірне зниження досліджуваного показника на 22,6%, а у другій – на 22,3%, при відсутності статистичного значущого зниження у контрольній групі. При цьому мало місце достовірне зменшення вмісту малонового діальдегіду відносно групи контролю на 16,1%.

**Вміст малонового діальдегіду в сироватці крові пацієнтів із поверхневими одонтогенними флегмонами щелепно-лицевої локалізації, мкмоль/л** Таблиця 1

Група спостереження	1 день	3 день	5 день	7 день
1 клінічна група	4,63±0,14	4,07±0,08 *	3,32±0,10 *	2,87±0,13
2 клінічна група	4,52±0,12	3,95±0,12 *	3,23±0,09 * **	2,83±0,10
Контрольна група	4,58±0,11	4,18±0,10	3,75±0,11	3,01±0,09*

Примітки:

\*  $p < 0,05$  відносно попереднього терміну спостереження;

\*\*  $p < 0,05$  відносно контролю на той же термін спостереження;

На 7-му добу лікування вміст малонового діальдегіду у сироватці крові вже не зазнавав статистично значущого зменшення відносно попереднього терміну лікування в обох дослідних групах. На відміну від дослідних у контрольній групі мало місце вірогідне зниження вмісту даного показника на 24,6%.

### Висновок.

Таким чином, слід зазначити, що застосування кріоекстракту плаценти у комплексному лікуванні пацієнтів із одонтогенними флегмонами щелепно-лицевої локалізації сприяє оптимізації процесів перекисного окислення ліпідів, що проявляється статистично значущим зниженням вмісту малонового діальдегіду, особливо у пацієнтів, яким даний препарат вводився не тільки внутрішньовенно, а й місцево у складі мазі «Левомеколь».

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аветіков Д. С. Використання препарату "Кріоцел" в комплексному лікуванні гострої одонтогенної інфекції / Д. С. Аветіков, М. Г. Скікевич, В. О. Личман // Актуальні проблеми стоматології, щелепно-лицевої хірургії, пластичної та реконструктивної хірургії голови та шиї : матеріали наук.-практ. конф. з міжнар. участю, м. Полтава, 14–15 лист. 2019 р. : тези доп. – Полтава, 2019. – С. 17–18.
2. Застосування препарату «Ліпін» в комплексному лікуванні хворих з одонтогенними флегмонами дна порожнини рога / Д. С. Аветіков, Ву Вьет Куонг, С. А. Ставицький [та ін.] // Матеріали IV з'їзду Української асоціації черепно-щелепно-лицевих хірургів. – Київ, 2015. – С. 81–84.
3. Вплив кріоконсервованої плаценти на динаміку клінічних показників при лікуванні пацієнтів із флегмонами щелепно-лицевої локалізації з урахуванням циркадного ритму / В.О. Личман, К.П. Локес, Д.С. Аветіков, Н.В. Горлач, О.О. Гончаренко, Ю. Р. Шарай // Український стоматологічний альманах. – 2021. – № 4. – С. 11–14.

**Локес Катерина Петрівна** – к.мед.н., доцент, завідувач кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії, Полтавський державний медичний університет, email: k.lokes@pdmu.edu.ua

**Шкільняк Людмила Іванівна** - к.мед.н., доцент кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії, Вінницький національний медичний університет ім. М.Пирогова, email: lusinkalusja@gmail.com

**Канішина Тетяна Миколаївна**, к.мед.н., доцент кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої, Вінницький національний медичний університет ім. М.Пирогова, email: kanyshyna@gmail.com

**Аветіков Давид Соломонович** – д.мед.н., професор кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії, Полтавський державний медичний університет, email: d.avetikov@pdmu.edu.ua

**Павлов Сергій Володимирович** – д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії та оптикоелектронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: psv@vntu.edu.ua

### INFLUENCE OF PLACENTA CRYOEXTRACT ON LIPID PEROXIDATION PROCESSES IN PATIENTS WITH MAXILLO-FACIAL ODONTOGENIC PHLEGMONS

#### Abstract

*The impact of the use of placenta cryoextract in the complex treatment of patients with maxillofacial odontogenic phlegmons on the processes of lipid peroxidation has been established. Optimum results were achieved under conditions of combination of intravenous administration of placenta cryoextract with its local application as part of "Levomekol" ointment.*

**Key words:** placenta cryoextract, phlegmon, lipid peroxidation.

**Lokes Kateryna** - PhD, Head of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University, email: k.lokes@pdmu.edu.ua

**Shkilniak Lyudmila** - PhD, Associate Professor of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya, email: lusinkalusja@gmail.com

**Kanyshina Tetyana** -PhD, Associate Professor of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya, email: kanyshyna@gmail.com

**Avetikov David** – PhD, Professor of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University, email: d.avetikov@pdmu.edu.ua

**Pavlov Sergii** – Ph.D., Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, V 152, e-mail: psv@vntu.edu.ua.

## **Artificial implants in biomedical engineering: the role of biomaterials and 3d printing technology**

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

### **Abstract**

*Artificial implants in biomedical engineering represent an important and promising field that helps address medical issues and improve the quality of life for patients. The research and development of artificial implants involve scientists from various disciplines, such as biomedical engineering, materials science, and tissue engineering. The utilization of advanced technologies, such as 3D printing, allows for the creation of personalized implants, optimization of their design, and enhanced biocompatibility with tissues. The advancement of artificial implants holds significant potential in improving the treatment of various medical conditions and challenges, and it continues to be an active area of research and development.*

**Keywords:** artificial implants, biomaterials, regenerative medicine, 3D printing.

### **Introduction**

Artificial implants are important medical devices used for restoration, support, or enhancement of human body functions. In biomedical engineering, artificial implants are employed in various fields such as orthopedics, cardiology, neurosurgery, dentistry, and others. They can be made from different materials including metals, ceramics, plastics, or composite materials (e.g., joint replacements used to replace damaged or diseased joints like the knee or hip). Such implants typically consist of metallic components that are implanted into the bone, as well as polymeric or ceramic components that provide joint mobility.

### **Research Findings**

Many scientific papers on this topic are published in various scientific journals and conferences, particularly among prominent experts in the field of artificial implants in biomedical engineering, notable researchers include Robert Langer [1] (investigating the current state and future directions of tissue engineering, including the use of artificial implants, the use of biomaterials for drug delivery, and their application in regenerative medicine), Buddy D. Ratner [2] (author of numerous works in biomedical engineering and materials science, focusing on issues related to material and implant biocompatibility, surface modification methods of biomaterials to enhance their interaction with biological systems, and studying the body's response to biomaterials in the context of artificial implants), William M. Bonfield (researching the use of novel materials for the restoration of damaged bones and cartilage, and the use of bioceramics in medicine), Antonios G. Mikos [3] (a renowned scientist in the development of tissue engineering materials and artificial implants, his research focuses on the use of biocompatible materials and 3D printing technologies for manufacturing artificial implants, studying the use of biomimetic materials in tissue engineering, principles of design and fabrication of structural matrices for tissue engineering, and the application of biodegradable polymers in tissue engineering for creating implants that can degrade over time in biological systems), and Molly S. Shoichet (specializing in the development of new materials for neuroengineering, tissue engineering strategies for nervous system repair, investigating the use of injectable hydrogels for regenerative engineering).

Despite significant advancements in the development of methods and technologies for artificial implants, there are several unresolved challenges, including biocompatibility, wound healing speed after invasive interventions, and long-term implant stability.

With the advancement of modern 3D printing technologies, it is increasingly being utilized for the printing (fabrication) of artificial implants. Its key advantages include:

1) personalized individual treatment (3D printing allows the creation of implants that precisely match the unique anatomical features of patients);

2) rapid prototyping and manufacturing (3D printing enables quick creation of implant prototypes with high accuracy and complex geometry, facilitating the rapid evaluation of implant designs, making corrections, and optimizing them prior to production on the manufacturing line);

3) complexity and geometric intricacy (enabling the production of implants with intricate geometries that are difficult or impossible to manufacture using traditional methods);

4) innovation in the use of new materials (new materials may exhibit enhanced biocompatibility with human tissues).

Although 3D printing opens up numerous possibilities in the creation of artificial implants, it also presents some challenges that need to be considered: a) design and accuracy - incorrect design can lead to insufficient functionality or patient discomfort, and printing accuracy also influences the quality of the implant and its interaction with surrounding tissues; b) validation and regulation - determining their safety, effectiveness, and compliance with standards; c) time and cost - it can be a time- and resource-intensive process, especially when creating complex structures or large volumes of implants. This can affect the accessibility and cost of artificial implants for patients.

To optimize time and material costs in the manufacturing of 3D-printed artificial implants, the following methods are employed: I) topological optimization; II) generative design; III) shape optimization methods; IV) simulation and analysis methods; V) computer modeling and virtual environments.

### Conclusions

3D-printing influences the development and production of implants, providing new possibilities and advantages. The utilization of 3D-printing enables implant personalization, precise three-dimensional modeling, rapid prototyping, and manufacturing of implants, including complex geometries. Additionally, this approach promotes innovation in materials science and the development of new materials. As a result of these factors, 3D-printing paves the way for improving implants, enhancing their accuracy, fit, and functionality, while also accelerating the process of developing new solutions for medical needs.

### REFERENCES

1. Robert Langer (2006). Biomaterials for Drug Delivery and Tissue Engineering. MRS Bulletin, 31(6), 477-485. DOI: 10.1557/mrs2006.122.
2. Ratner, B. D. (2015). Host Response to Biomaterials: The Impact of Host Response on Biomaterial Selection. In Biomaterials Science (3rd ed., pp. 113-118). Academic Press.
3. Antonios G. Mikos (2003). Biodegradable polymers in tissue engineering. European Cells and Materials, 5, 1-16.
4. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (2019). Information Technology in Medical Diagnostics II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages, [https://doi.org/10.1201/9780429057618\\_eBook](https://doi.org/10.1201/9780429057618_eBook) ISBN 9780429057618.
5. Pavlov S. V. Information Technology in Medical Diagnostics //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press - 210 Pages. [https://doi.org/10.1201/9781315098050\\_eBook](https://doi.org/10.1201/9781315098050_eBook) ISBN 9781315098050.

**Тимків Павло** - Ph.D., Senior Lecturer at the Department of Biotechnical Systems, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: [t\\_pavlo\\_o@ukr.net](mailto:t_pavlo_o@ukr.net)

**Яворська Євгенія** – Ph.D., Head of the Department of Biotechnical Systems, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: [yavorska\\_eb@yahoo.com](mailto:yavorska_eb@yahoo.com)

#### ШТУЧНІ ІМПЛАНТИ В БІОМЕДИЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ: РОЛЬ БІОМАТЕРІАЛІВ ТА ТЕХНОЛОГІЇ 3D-ДРУКУ

##### Анотація

*Штучні імпланти в біомедичній інженерії є важливою та перспективною галуззю, яка допомагає вирішувати медичні проблеми і поліпшувати якість життя пацієнтів. Дослідження та розвиток штучних імплантів залучають вчених з різних галузей, таких як біомедична інженерія, матеріалознавство та тканинна інженерія. Використання передових технологій, таких як 3D-друк, дозволяє створювати персоналізовані імпланти, оптимізувати їх дизайн та забезпечувати кращу біосумісність з тканинами. Розвиток штучних імплантів має значний потенціал у покращенні лікування різних медичних станів та викликів, і продовжує бути активною областю досліджень і розвитку.*

**Ключові слова:** штучні імпланти, біоматеріали, регенеративна медицина, 3D-друк.

**Тимків Павло** – к.т.н., старший викладач кафедри біотехнічних систем, ТНТУ імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна, e-mail: [t\\_pavlo\\_o@ukr.net](mailto:t_pavlo_o@ukr.net)

**Яворська Євгенія** – к.т.н., завідувач кафедри біотехнічних систем ТНТУ імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна, e-mail: [yavorska\\_eb@yahoo.com](mailto:yavorska_eb@yahoo.com)

**Сергій Павлов**  
**Наталія Титова**  
**Оркен Мамирбаєв**  
**Лариса Никифорова**  
**Асель Айтказіна**

## **Аналіз особливостей просторової взаємодії лазерного випромінювання з біологічними об'єктами**

Вінницький національний технічний університет  
Національний університет «Одеська Політехніка»  
Інститут інформаційних та комп'ютерних технологій МОН РК, Алмати, Казахстан  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
Казахський національний університет ім. Аль-Фарабі

### **Анотація**

*Розглянуті технології опромінення біологічних об'єктів за допомогою фототерапевтичних методів та апаратів, створених на базі напівпровідникових (діодних) лазерів і нових джерел квазімонохроматичного випромінювання - над'яскравих світло діодів, які в свою чергу і є основою низькоенергетичних світлодіодних технологій для впливу на БО.*

**Ключові слова:** лазерне випромінювання, біологічні об'єкти, електромагнітне випромінювання.

### **Вступ**

Довжина і частота хвилі визначають і іншу важливу характеристику електромагнітних полів: електромагнітні хвилі (коливання) переносяться частинками, які називаються квантами. Кванти хвиль більш високої частоти (і більш короткої довжини) переносять більше енергії, ніж поля більш низької частоти (з більш довгою хвилею). Деякі електромагнітні хвилі несуть таку велику кількість енергії в розрахунку на один квант, що вони здатні розірвати зв'язки, які утримують молекули між собою. В електромагнітному спектрі такою властивістю володіють гамма-промені, космічні та рентгенівські промені, що випромінюються радіоактивними речовинами. Всі вони характеризуються як «іонізуюче випромінювання». Ті поля, кванти яких не в змозі розірвати зв'язки, які утримують молекули між собою, називають «неіонізуючими випромінюваннями».

### **Метод**

Розглянемо деякі характеристики проникнення, поширення і поглинання електромагнітного випромінювання біоструктури, моделюючи їх суцільними середовищами з просторовим розподілом параметрів.

Глибина проникнення електромагнітного випромінювання в біологічні тканини - це відстань, на якій амплітуда електричного поля зменшується в  $e$  раз, а щільність потоку енергії - в  $e^2$  раз. Ця величина визначається за формулою:

$$d = \lambda_0 \left[ 2\pi^2 \varepsilon \left[ \left( 1 + \operatorname{tg}^2 \delta \right)^{1/2} - 1 \right] \right]^{1/2},$$

де  $\lambda_0$  – довжина хвилі в вакуумі. Експериментальна перевірка показала, що теоретична формула дає дещо занижений результат, особливо для діапазону НВЧ. Цю розбіжність пояснюють неадекватністю моделі біосередовищ як суцільного середовища.

Загальна кількість поглиненої енергії електромагнітного випромінювання та її розподіл всередині біологічного об'єкта є складною функцією електричних властивостей тканин, їх загальних геометричних розмірів і умов опромінення. Об'єктивною характеристикою енергетичного впливу або питомого потужності поглинання (ППП) є частина енергії електромагнітного випромінювання, що поглинається одиницею маси в одиницю часу.

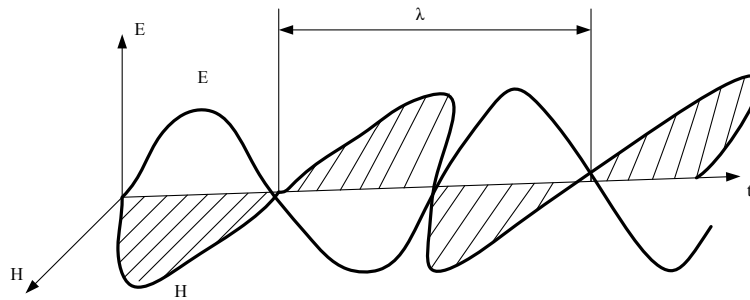


Рис.1. Модель електромагнітної хвилі [ 1 ]

Модель електромагнітної хвилі показана на рис. 1: магнітна складова хвилі (H) показана горизонтальною синусоїдою, електрична (E) – вертикальною синусоїдою. Зазвичай для гармонійних сигналів в електротехніці можна визначити період, як часовий проміжок між двома однаковими фазами сигналу. Електромагнітна хвиля поширюється в просторі, і крім періоду (або частоти) має також довжину, тобто відстань між однаковими фазами напруженості полів H, E в просторі. На малюнку довжина хвилі позначена як  $\lambda$ , а визначити її можна за формулою:

$$\lambda = c / f,$$

де c – швидкість світла в вакуумі; f - частота хвилі.

**Обговорення.** За даними довжини хвилі для різних електромагнітних випромінювань складена єдина шкала електромагнітних хвиль, в якій займають своє місце і радіохвилі, і рентгенівські промені, і інші види випромінювань. Видимий людським оком діапазон світла зайняв на шкалі дуже вузьку ділянку в діапазоні довжин хвиль від  $780 \cdot 10^{-9}$  м до  $380 \cdot 10^{-9}$  м, тобто від 780 до 380 нанометрів. Зліва до ділянки видимого світла примикає ділянка ультрафіолетового (УФ) випромінювання (від 10 до 380 нм), а праворуч знаходиться ділянка інфрачервоного (ІЧ) випромінювання (від 780 нм до 1 мм).

Таблиця 1 Діапазони оптичного випромінювання [ 1 ]

Назва випромінювання	Довжина хвилі, нм
Ультрафіолетове випромінювання типу С (УФ-С)	100...280
Ультрафіолетове випромінювання типу В (УФ-В)	280...315
Ультрафіолетове випромінювання типу А (УФ-А)	315...380
Видиме світло	380...780
Інфрачервоне випромінювання типу А (ІЧ-А)	780...1400
Інфрачервоне випромінювання типу В (ІЧ-В)	1400...3000
Інфрачервоне випромінювання типу С (ІЧ-С)	3000нм...1 мм

Фотобіологічними називаються процеси з проявами на фізіологічному рівні, що відбуваються в біологічних системах при впливі випромінювання оптичного діапазону. Виділяють наступні їх стадії: фотофізичні – поглинання кванта світла і перенесення енергії збудженого стану; фотохімічні – хімічні перетворення молекул і фізіологічні – відповідь організму на випромінювання [ 1 ]. Поглинання кванта випромінювання оптичного діапазону призводить до порушення цілісності молекули, а отже, до підвищення її реакційної здатності, в результаті чого можуть відбуватися хімічні реакції, які були б неможливі в темряві. Такі реакції отримали назву фотохімічних, а продукти їх утворення – фотопродуктів.

### Висновки

Розглянуті технології опромінення біологічних об'єктів за допомогою фототерапевтичних методів та апаратів, створених на базі напівпровідникових (діодних) лазерів і нових джерел квазімонохроматичного випромінювання - над'яскравих світло діодів, які в свою чергу і є основою низькоенергетичних світлодіодних технологій для впливу на БО.

### Список використаної літератури

1. Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія / [С. В. Павлова, О.Г. Авруніна, С.М.Злепка, Є.В.Бодяньського та ін.]; за редакцією С.Павлова, О.Авруніна. – Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2019. –260 с.
2. Фотодинамічна терапія з вибірконим лазерним сканувальним опроміненням поверхневих новоутворень : монографія / за заг. ред. С. В. Павлова. – Вінниця: ПНТУ, 2018. – 180 с.

3. Лазерні медичні технології : навчальний посібник, за ред. Готри З. Ю., Павлова С. В. та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 158 с.
4. Valentina Vassilenko, Anna Poplavska, Sergiy Pavlov, and etc. "Automated features analysis of patients with spinal diseases using medical thermal images", Proc. SPIE 11456, Optical Fibers and Their Applications 2020, 114560L (12 June 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2569780/>

**Павлов Сергій** – д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії та оптикоелектронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua).

**Титова Наталія**, д.т.н., професор, Національний університет «Одеська Політехніка», e-mail: [tnv.titova@gmail.com](mailto:tnv.titova@gmail.com)

**Мамирбаєв Оркен** - заступник генерального директора РДП «Інституту інформаційних та обчислювальних технологій» КН МОН РК, завідувач лабораторії, phd, асоційований професор, e-mail: [morkenj@mail.ru](mailto:morkenj@mail.ru)

**Никифорова Лариса** – д.т.н., професор <sup>4</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, e-mail: [profnikiforova@gmail.com](mailto:profnikiforova@gmail.com)

**Айтказіна Асель** – аспірантка, Казахський національний університет ім. Аль-Фарабі, e-mail: [aitkazina.aseel@gmail.com](mailto:aitkazina.aseel@gmail.com)

### **ANALYSIS OF THE FEATURES OF SPATIAL INTERACTION OF LASER RADIATION WITH BIOLOGICAL OBJECTS**

**Abstract.** Considered technologies of irradiation of biological objects using phototherapeutic methods and devices created on the basis of semiconductor (diode) lasers and new sources of quasi-monochromatic radiation - ultra-bright light-emitting diodes, which, in turn, are the basis of low-energy LED technologies for influencing BO.

**Keywords:** laser radiation, biological objects, electromagnetic radiation.

5

**Pavlov Sergii** – Ph.D., Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua).

**Titova Nataliya**, Ph.D., Professor, Odesa Polytechnic National University, e-mail: [tnv.titova@gmail.com](mailto:tnv.titova@gmail.com),

**Mamyrbayev Orken** - Ph.D., Deputy General Director in science and Head of the Laboratory of Computer Engineering of Intelligent Systems at the Institute of Information and Computational Technologies of the Kazakh National Technical University named after K.I. Satbayev and associate professor in 2019 at the Institute of Information and Computational Technologies, e-mail: [morkenj@mail.ru](mailto:morkenj@mail.ru)

**Nykyforova Larysa**, D.Sc., professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, E-mail: [profnikiforova@gmail.com](mailto:profnikiforova@gmail.com),

**Aitkazina Aseel**, post-graduated student of Kazakh National University, Faculty of Information Technology of Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [aitkazina.aseel@gmail.com](mailto:aitkazina.aseel@gmail.com)



Сергій РОМАНЮК  
Наталія ТИТОВА  
Вальдемар ВУЙЦІК  
Олександр РОМАНЮК  
Леонід КОВАЛЬ

## Оптико-електронна система формування 3–d зображень обличчя людини для планування операцій

Вінницький національний технічний університет  
Національний університет «Одеська Політехніка»  
Люблінський технологічний університет

### Анотація

Проведено експериментальні дослідження розроблених ДФВЗ, адаптивного методу зафарбовування обличчя людини. Отримані значення нормованих середньоквадратичних похибок показали, що розроблені моделі та методи забезпечують високу якість формування тривимірних зображень обличчя людини. Розроблено структурну схему системи формування тривимірних зображень кінцевої візуалізації для різних застосувань.

**Ключові слова:** 3D-зображення обличчя, пластична та реконструктивна медицина, відбивна здатність шкіри, морфінг, експрес-діагностування, морфологічний аналіз обличчя, медичні прилади і системи.

### Вступ

Тривимірні моделі обличчя людини є найреалістичнішими, відображають анатомічну структуру, точно передають рельєфні та кольорові особливості об'єкта, підлягають модифікації для зміни зовнішності. 3D- модель обличчя є багатофакторним джерелом інформації про пацієнта, дозволяє істотно знизити необхідний обсяг взаємодії з користувачем порівняно з існуючими методами.

Натурне тривимірне моделювання для задач пластичної та реконструктивної медицини є неприйнятним, оскільки отримана модель є суб'єктивною. В цьому випадку доцільно розробка біомедичних засобів, які дозволять розробити реалістичні об'єкти, які є адекватними реальним.

У багатьох випадках пластичні хірурги при плануванні хірургічних втручань покладаються на аналіз фотографій обличчя пацієнта [1], [2,3]. Такий підхід має суттєві обмеження, обумовлені просторовими спотвореннями, неможливістю відтворити зовнішній вигляд пацієнта після хірургічного втручання. Невідповідність очікуваного розміру або форми може призвести до повторного хірургічного втручання. За світовою статистикою в 20-40 % випадків пацієнти не задоволені результатами пластичної операції. Цей ризик можна суттєво зменшити за рахунок попередньої розробки 3D-моделі обличчя, яку може оцінити пацієнт до і після операції і висловити свої побажання [4,5]

### Метод

Для оцінки продуктивності формування тривимірних зображень з використанням нових дистрибутивних функцій використовувалось кількість тактів процесора для виконання складових інструкцій.

Візуальну відмінність між двома зображеннями оцінювалось за нормованою середньоквадратичною похибкою (NMSE) [5], [6] :

$$NMSE = \frac{\sum_i (R_1(i) - R_2(i))^2 + (G_1(i) - G_2(i))^2 + (B_1(i) - B_2(i))^2}{\sum_i R_1(i)^2 + G_1(i)^2 + B_1(i)^2},$$

де  $i$  - кількість складових пікселів графічного об'єкта;  $(R_1(i), G_1(i), B_1(i))$ ,  $(R_2(i), G_2(i), B_2(i))$  - інтенсивності складових кольору  $i$ -го пікселя зображень для тестового (еталонного) та сформованого об'єкта зображе

Якщо значення  $NMSE \leq 0,0001$ , то зображення візуально не відрізняються; якщо  $0,0001 < NMSE \leq 0,00025$  то зображення мають несуттєві відмінності; якщо  $0,00025 < NMSE < 0,001$ , то зображення мають візуально помітні відмінності; якщо  $NMSE > 0,001$ , то має місце суттєва відмінність зображень [5].

Розширено функціональні можливості комп'ютерної програми для формування зображень 3D-об'єктів у статичному та динамічному режимах за рахунок інтеграції нових програмних модулів по візуалізації зображень облич.

Комп'ютерна програма виконує такі функції [5]: рендеринг за вибраним методом зафарбовування; визначення за  $NMSE$  візуальних відмінностей між двома зображеннями, сформованими за різними методами; вибір для моделювання різних моделей освітлення, значень коефіцієнтів спекулярності, інтенсивностей розсіяного та точкового джерел світла, коефіцієнтів розсіяної, дифузної та спекулярної складових кольору; зміна інтенсивності джерел світла; реконструкція зображення обличчя людини; робота з текстурами [1-3], визначення часу формування графічних об'єктів у статичному режимі; визначення кількості кадрів у секунду при формуванні динамічних зображень із виділенням окремо часу, який витрачено на процедуру зафарбовування; визначення загальної кількості трикутників у триангуляційній мережі, якою задано графічний об'єкт.

### Реалізація, експериментальні дослідження

Відповідно до теоретичних напрацювань було розроблено комп'ютерну систему формування зображень обличчя людини для планування операцій.

Розроблено панорамний тривимірний сканер (рис. 3), який включає спеціальні камери та інтегровані проектори для отримання точної 3D-моделі обличчя людини. Розроблене програмне забезпечення 3D реконструює 3D-модель обличчя, використовуючи отримані складові з урахуванням кольорів і текстур.

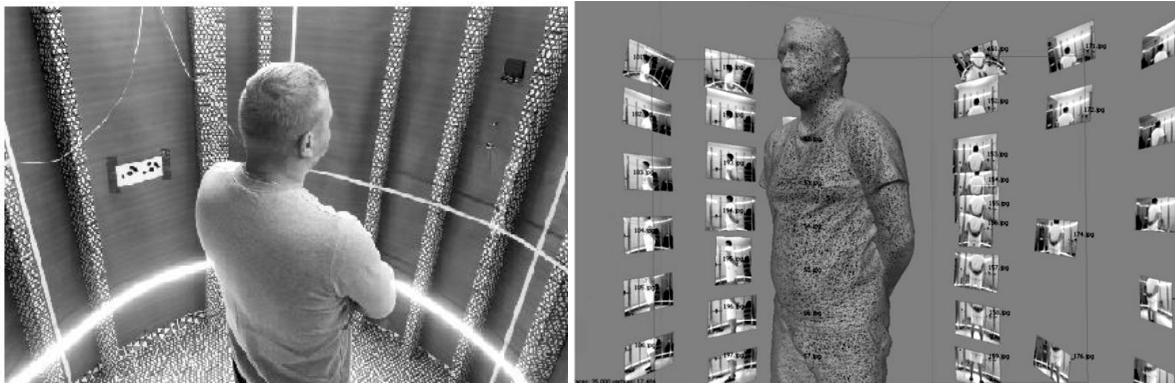


Рис. 3. Панорамний тривимірний сканер

Розроблені в роботі моделі, методи та засоби дозволяють підвищити ефективність проведення пластичних і реконструктивних операцій за рахунок високореалістичного, високопродуктивного відтворення обличчя людини.

### Висновки

Розглянуто практичну реалізація запропонованих моделей і методів формування тривимірних зображень обличчя людини для медичних систем. Розроблено програмні засоби для моделювання та тестування розроблених методів зафарбовування тривимірних об'єктів із використанням графічного конвеєра та різних моделей освітлення. Проведено експериментальні дослідження розроблених ДФВЗ, адаптивного методу зафарбовування обличчя людини. Отримані значення нормованих середньоквадратичних похибок показали, що розроблені моделі та методи забезпечують високу якість формування тривимірних зображень обличчя людини. Розроблено структурну схему системи формування тривимірних зображень кінцевої візуалізації для різних застосувань.

### Список літератури

1. Д. С. Аветіков, В. М. Соколов, С. О. Ставицький, В. Д. Ахмеров, та О. П. Буханченко. *Пластична та реконструктивна хірургія*. Полтава: ТОВ "АСМІ", 2013.
2. ISAPS Global Statistics. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.surgery.org/media/statistics>. Дата звернення: Грудень, 2018.
3. S. O. Romanyuk, "Approximation of bidirectional reflectance distribution function for highly efficient shading", in Monography *Information Technology in Medical Diagnostics*, W. Wójcik and A. Smolarz, London: England: CRC Press, 2017, chapter 2, pp. 27-49. doi:10.1201/9781315098050.
4. A. Maier, S. Steidl, V. Christlein, and J. Hornegger. *Medical Imaging Systems*, Erlangen-Nürnberg, Germany: Springer, 2016.
5. S. O. Romanyuk, "Approximation of bidirectional reflectance distribution function for highly efficient shading", in Monography *Information Technology in Medical Diagnostics*, W. Wójcik and A. Smolarz, London: England: CRC Press, 2017, chapter 2, pp. 27-49. doi:10.1201/9781315098050.
6. S. O. Romanyuk, O. N. Romanyuk, S. V. Pavlov, O. V. Melnyk, A. Smolarz, and M Bazarova, "Method of anti-aliasing with the use of the new pixel model", *Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications*, 2015. doi: 10.1117/12.2229013.
7. S. O. Romanyuk., S. V. Pavlov, and O. V. Melnyk, "New method to control color intensity for antialiasing", in *International Siberian Conference on Control and Communications SIBCON*, 2015. doi: 10.1109/sibcon.2015.7147194.
8. S. O. Romanyuk, O. G. Avrunin, M. Y. Tymkovich, S.P. Moskovko, A. Kotyra, and S. Smailova, "Using a priori data for segmentation anatomical structures of the brain", *Przegląd Elektrotechniczny*, Vol. 93, Issue 5, pp. 102-105, 2017. doi: 10.15199/48.2017.05.20.
9. S. O. Romanyuk, S. I. Vyatkin, O. N. Romanyuk, and A. Smolarz, "Texturing method of the full pixel dynamic range", *Proc. SPIE*, Vol. 10808, 2018. doi: 10.1117/12.2500789.
10. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (2019). *Information Technology in Medical Diagnostics II*. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. pp. 336.
11. Pavlov S. V. *Information Technology in Medical Diagnostics* //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press. pp. 210.

**Романюк Сергій** - к.т.н., доцент, Національний університет «Одеська Політехніка», e-mail: [tnv.titova@gmail.com](mailto:tnv.titova@gmail.com), [rom8591@gmail.com](mailto:rom8591@gmail.com)

**Титова Наталія** - д.т.н., професор, Національний університет «Одеська Політехніка», e-mail: [tnv.titova@gmail.com](mailto:tnv.titova@gmail.com),

**Вуйцік Вальдемар** - д.т.н., професор, Люблінський технологічний університет, e-mail: [waldemar.wojcik@pollub.pl](mailto:waldemar.wojcik@pollub.pl)

**Романюк Олександр** - д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [rom8591@gmail.com](mailto:rom8591@gmail.com)

**Коваль Леонід** - к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [koval.l@vntu.edu.ua](mailto:koval.l@vntu.edu.ua)

### OPTICAL AND ELECTRONIC FORMATION SYSTEM 3D HUMAN FACE IMAGE FOR SURGERY PLANNING

**Abstract.** Experimental studies of the developed DFVZ, an adaptive method of painting the human face, were conducted. The obtained values of normalized root mean square errors showed that the developed models and methods ensure high quality of formation of three-dimensional images of human faces. A structural diagram of the system of formation of three-dimensional images of the final visualization for various applications was developed.

**Keywords:** 3D face imaging, plastic and reconstructive medicine, skin reflectivity, morphing, express diagnosis, morphological analysis of the face, medical devices and systems.

**Romaniuk Sergii**- candidate of technical sciences, associate professor, Odesa Polytechnic National University, e-mail: [tnv.titova@gmail.com](mailto:tnv.titova@gmail.com), [rom8591@gmail.com](mailto:rom8591@gmail.com)

**Titova Nataliya**- Ph.D., Professor, Odesa Polytechnic National University, e-mail: [tnv.titova@gmail.com](mailto:tnv.titova@gmail.com),

**Wojcik Waldemar** - Professor, Lublin University of Technology, e-mail: [waldemar.wojcik@pollub.pl](mailto:waldemar.wojcik@pollub.pl)

**Romaniuk Oleksandr** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [rom8591@gmail.com](mailto:rom8591@gmail.com)

**Koval Leonid**- Ph.D., associate professor, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [koval.l@vntu.edu.ua](mailto:koval.l@vntu.edu.ua)

## Конструкція ендоскелета біокерованого протеза кисті руки

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

### Анотація

Запропоновано конструкцію ендоскелета для біокерованого протеза кисті руки у вигляді шарнірно з'єднаних елементів та штанг для передачі зусиль, в якій забезпечується одночасне згинання в усіх шарнірних з'єднаннях, а форма рухів наближається до природної.

**Ключові слова:** протез, ендоскелет, густина, скраплений нафтовий газ, кількісний вміст компонентів.

### Вступ

Актуальною задачею сьогодні в області медичного апаратобудування є розроблення високофункціональних протезів та ортезів для осіб, зокрема тих, що отримали травми чи каліцтва внаслідок військової агресії Російської Федерації проти України тощо, що додатково задекларовано в постанові Кабінету Міністрів України від 01 жовтня 2014 року № 518 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України № 454 від 12.04.2022). Однак, попри стрімкий розвиток протезної галузі в Україні, залишається проблемою створення власних високофункціональних біокерованих протезів кисті руки [1,2].

Це є зазвичай результатом необхідності одночасного та комплексного вирішення ряду задач, які стосуються різних галузей науки і техніки та потребують залучення відповідних висококваліфікованих фахівців. Так, основними задачами, комплексне вирішення яких дасть можливість розробити високофункціональний біокерований протез кисті руки, є вибір конструкції рухомих елементів протеза, оптимальний привід рухомих елементів протеза, забезпечення відчуття елементами протеза, спосіб відбору та опрацювання біосигналів частини руки, що залишилась після ампутації та забезпечення можливості змінюваності окремих елементів протеза при їх пошкодженнях, зокрема окремих пальців [3,4,5].

В роботі проводиться розроблення конструкції рухомих елементів протеза кисті руки шляхом використання принципів функціонування ендоскелета реальної кисті руки [6].

### Результати дослідження

В роботі запропоновано розробити ендоскелет біокерованого протеза, який би функціонував за принципом скелета людської кисті руки. Насамперед було спроектовано конструкцію вказівного пальця, яка включатиме в себе ряд шарнірно з'єднаних елементів, які відповідатимуть окремим фалангам реального пальця, та елементам, які передаватимуть зусилля до цих фаланг при згинанні та розгинанні пальця. В результаті аналізу конструкції відомих протезів кисті руки запропоновано розробити конструкцію, яка забезпечувала б одночасне згинання в усіх шарнірних з'єднаннях усіх фаланг пальців, але при згинанні в окремих шарнірних з'єднаннях окремі фаланги повторювали б траєкторію руху відповідних фаланг реального вказівного пальця. Так, на рис. 1 наведено спрощене схематичне зображення конструкції вказівного пальця.

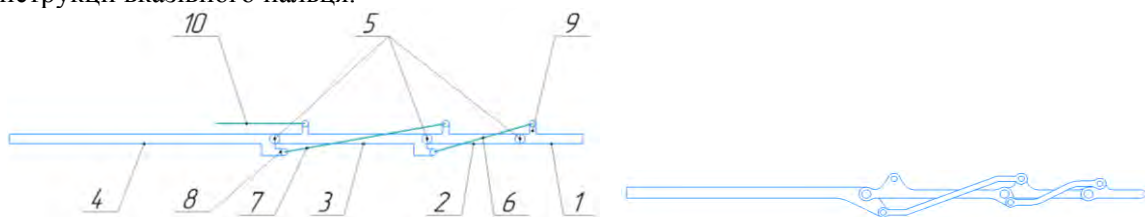


Рис. 1. Спрощене схематичне зображення конструкції вказівного пальця

Відповідно до рис. 1, позиціями 1-3 позначено фаланги пальця, а позицією 4 – елемент долоні – основу. Усі фаланги (1-3) з'єднуються між собою та із елементом долоні з допомогою шарнірних з'єднань 5. Зусилля передаються до кожного наступного елемента фаланги від попереднього з допомогою штанг 6 та 7. Вони також з'єднані із елементами фаланг з допомогою шарнірних з'єднань. На кожному елементі є виступи 8 та 9 до яких під'єднуються штанги 6 та 7. Штанга 10 з'єднується з однієї сторони із виступом елемента 3, а з іншої сторони із елементом електроприводу (на рисунку він не показаний). Таким чином, при переміщенні штанги 10 вліво в горизонтальній площині, як показано на рис. 2.3, конструкція такого пальця почне згинатись в першому шарнірному з'єднанні. При цьому штанга буде з однієї сторони повертатись в шарнірному з'єднанні на елементі долоні, а на іншій стороні створювати тягове зусилля на виступ елемента 2, приводячи до його повертання у відповідному шарнірному з'єднанні. Це відбуватиметься за рахунок наявності відповідних виступів 8 та 9 та елементах фаланг та неусосності шарнірних з'єднань штанг із шарнірним з'єднанням власне елементів 3 та 4. Подібним чином через штангу 6 тягове зусилля створюватиметься на елемент 1. Відповідно при переміщенні штанги 10 вліво та вправо відбуватиметься згинання та розгинання пальця одночасно в усіх шарнірних з'єднаннях.

Для отриманого варіанту конструкції було додатково виконано заокруглення усіх елементів для надання більш практичної та естетичної форми. Також самі штанги виконано вигнутими, щоб при переміщеннях вони менше виступали за елементи фаланг пальця. При цьому пропонується конструкція є функціональною та ефективною.

### Висновки

Проведено розроблення конструкції ендоскелета біокерованого протеза, який би функціонував за принципом скелета людської кисті руки. Насамперед було спроектовано конструкцію вказівного пальця, яка включає в себе ряд шарнірно з'єднаних елементів, які відповідають окремим фалангам реального пальця, та елементам, які передаватимуть зусилля до цих фаланг при згинанні та розгинанні пальця - штанг. В результаті аналізу конструкції відомих протезів кисті руки запропоновано розробити конструкцію, яка забезпечувала б одночасне згинання в усіх шарнірних з'єднаннях усіх фаланг пальців, але при згинанні в окремих шарнірних з'єднаннях окремі фаланги повторювали б траєкторію руху відповідних фаланг реального пальця.

### ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дедів Л.С., Дозорська О.Ф., Дозорський В.Г., Яворська Є.Б. Метод опрацювання біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції людини, Науковий журнал "Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського", 2018. - Т. 29 (68) № 4 2018 Ч.2 - Київ, 2018. - С. 26-30
2. Паляниця Ю.Б., Шадріна Г.М., Яворська Є.Б. Алгоритм попереднього опрацювання фонокардіосигналу як періодично корельованого випадкового процесу, Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції до 100-річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100-річчя з дня смерті), (Тернопіль, 23–24 травня 2018 року) / Науковий секретар : Золотий Р.З. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – С. 19-20.
3. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (2019). Information Technology in Medical Diagnostics II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages, <https://doi.org/10.1201/9780429057618>.
4. Information Technology in Medical Diagnostics //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press - 210 Pages. <https://doi.org/10.1201/9781315098050>.
5. System of three-dimensional human face images formation for plastic and reconstructive medicine // Teaching and subjects on bio-medical engineering Approaches and experiences from the BIOART-project Peter Arras and David Luengo (Eds.), 2021, Corresponding authors, Peter Arras and David Luengo. Printed by Acco cv, Leuven (Belgium). - 22 P.
6. Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія / [С. В. Павлова, О.Г. Авруніна, С.М.Злепка, Є.В.Бодяньського та ін.]; за редакцією С.Павлова, О.Авруніна. – Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2019. –260 с.

**Дозорський Василь** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри біотехнічних систем, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: yavorska\_eb@yahoo.com.

**Дозорська Оксана** — канд. техн. наук, асистент кафедри біотехнічних систем, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: yavorska\_eb@yahoo.com.

**Яворська Євгенія** — канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри біотехнічних систем, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: yavorska\_eb@yahoo.com.

### ***Construction of the endoskeleton of the bio-controlled hand prosthesis***

#### ***Abstract***

*An endoskeleton design for a biocontrolled hand prosthesis is proposed in the form of hinged elements and rods for force transmission, which ensures simultaneous bending in all hinge joints, and the form of movements is close to natural*

**Keywords:** prosthesis, endoskeleton, density, liquefied petroleum gas, quantitative content of components.

**Dozorskyi Vasyl H.** — Cand. Sc. (Eng), Associate professor of biotechnical systems department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, e-mail: yavorska\_eb@yahoo.com.

**Dozorska Oksana F.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant professor of biotechnical systems department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, e-mail: yavorska\_eb@yahoo.com.

**Yavorska Evhenia B.** — Cand. Sc. (Eng), Associate professor, head of the Department of Biotechnical Systems, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, e-mail: yavorska\_eb@yahoo.com.

## ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ БІОНІЧНИХ ПРОТЕЗІВ РУК В ГАЛУЗІ ШТУЧНИХ ІМПЛАНТАТІВ

Вінницький національний технічний університет;

### *Анотація*

*Робота присвячена проблемам розвитку галузі штучних імплантатів у механічній біоінженерії, зокрема біонічних протезів рук. Біонічні протези рук відіграють важливу роль у відновленні функціональності та покращенні якості життя людей, що втратили свої руки. Однак, в процесі їх розвитку виникають деякі проблеми, такі як доступність та вартість, сенсорна зворотна зв'язок, рухова координація та точність, а також енергозабезпечення.*

**Ключові слова:** протез, роботизована рука, людина, управління кінцівкою.

### **Вступ**

Штучні імплантати в механічній біоінженерії, зокрема біонічні протези рук, представляють собою одну з найважливіших та перспективних галузей, яка може змінити життя людей, що стали жертвами ампутації чи втрати кінцівок. Однак, розвиток біонічних протезів рук супроводжується рядом викликів та проблем, які потребують уваги та вирішення. В роботі ми дослідимо основні проблеми, які виникають у галузі штучних імплантатів в механічній біоінженерії, з фокусом на біонічних протезах рук. Ми також розглянемо можливі шляхи подолання цих проблем та визначимо перспективи розвитку цієї галузі.

### **Результати дослідження**

Біонічні протези рук є однією з найобіцяючіших галузей механічної біоінженерії, оскільки вони можуть змінити життя людей, які втратили свої руки внаслідок травми або захворювання. Вони надають можливість відновити функціональність рук, дозволяючи пацієнтам повернутися до повноцінного життя. Проте, в розвитку біонічних протезів рук все ще існують деякі проблеми, які гальмують їх ефективність та широке впровадження. У цій статті ми розглянемо деякі з цих проблем[1].

**Доступність та вартість:** Однією з найважливіших проблем є доступність та вартість біонічних протезів рук. На сьогоднішній день вони є досить дорогими, що ускладнює їх доступність для багатьох людей. Це пов'язано зі складністю виробництва, високими технологічними вимогами та використанням новітніх матеріалів та компонентів. Для подолання цієї проблеми необхідно знайти способи зниження вартості виробництва, оптимізації процесів та використання більш доступних матеріалів.

**Сенсорна зворотна зв'язок:** Ще однією проблемою є досягнення ефективного сенсорного зворотного зв'язку між протезом та користувачем. Біонічні протези можуть бути оснащені датчиками, які дозволяють отримувати інформацію про силу стиску, температуру та інші параметри, але передача цієї інформації до користувача залишається складною задачею. Розвиток більш точних та чутливих сенсорних систем та розробка інтерфейсів, які забезпечують ефективну комунікацію з нервовою системою, є важливими кроками у вирішенні цієї проблеми.

**Рухова координація та точність:** Досягнення природної рухової координації та точності є викликом для розвитку біонічних протезів рук. Вони повинні бути здатні відтворювати складні рухи та взаємодіяти з оточуючим середовищем з максимальною точністю. Розробка алгоритмів та технологій, які дозволяють забезпечити реалістичну рухову координацію та точність, вимагає подальших досліджень та інженерних вдосконалень.

**Енергозабезпечення:** Біонічні протези рук потребують енергії для своєї роботи, і це створює

проблеми з їх живленням. Акумулятори та батареї, які використовуються в даний час, можуть бути важкими та мають обмежену тривалість роботи. Розробка нових джерел енергії, таких як паливні елементи або бездротове заряджання, може вирішити цю проблему та забезпечити стабільне та тривале живлення протезів[2].

Біонічні протези рук мають великий потенціал у поліпшенні якості життя людей з втратою кінцівок. Проте, перед нами стоять виклики, які потребують подальших досліджень, розвитку технологій та співпраці між науковими групами та виробниками. Шлях до успіху полягає в розробці доступних, ефективних та інноваційних рішень, які забезпечать функціональність, комфорт та відновлення повноцінного руху для користувачів біонічних протезів рук[3].

### Висновки

Отже розвиток галузі штучних імплантів у механічній біоінженерії, зокрема біонічних протезів рук, великою мірою сприяє поліпшенню якості життя людей з втратою кінцівок. Проте, існують певні проблеми, які потребують уваги та подальшого дослідження. Необхідно активно працювати над вирішенням цих проблем, співпрацюючи між науковими групами, виробниками та медичними спеціалістами. За допомогою подальших досліджень, інженерних рішень та інноваційних технологій ми зможемо зробити біонічні протези рук більш доступними, ефективними та зручними для користувачів, допомагаючи їм повернутися до повноцінного життя і покращити їхню якість життя.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андерсон, Д. С., Хосейн, М. Н., Річардсон, А. Г., Роль механічної біоінженерії у розвитку біонічних протезів рук. Міжнародний журнал біомедичної інженерії, 2020, 78-92.
2. Сміт, Р. М., Девіс, Дж. С., & Браун, К. Дж., Виклики енергозабезпечення в біонічних протезах рук. Журнал біомедичних технологій, 2021, 187-201.
3. Кларк, Р. А., & Вільямс, М. А.. Сенсорна зворотна зв'язок в біонічних протезах рук: проблеми та інновації. Міжнародний журнал біомедичної інженерії, 2022, 256-270.

**Коваль Леонід Григорович** — к. т. н., доцент, завідувач кафедри біомедичної інженерії та опто-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: koval.l@vntu.edu.ua.

**Білий Руслан Ігорович** – аспірант кафедри біомедичної інженерії та опто-електронних систем, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця..

**Бондарчук Михайло Костянтинович** – студент групи БМІ-22б, факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця.

## PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF BIONIC HAND PROSTHESES IN THE FIELD OF ARTIFICIAL IMPLANTS

### *Abstract*

*The work is devoted to the problems of the development of artificial implants in mechanical bioengineering, in particular bionic hand prostheses. Bionic hand prostheses play an important role in restoring functionality and improving the quality of life of people who have lost their hands. However, in the process of their development, some problems arise, such as availability and cost, sensory feedback, motor coordination and accuracy, as well as energy supply.*

**Keywords:** prosthesis, robotic arm, human, limb control.

**Koval Leonid Hryhorovych** – Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Biomedical Engineering and Opto-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: koval.l@vntu.edu.ua.

**Bilyy Ruslan Ihorovych** – graduate student of the Department of Biomedical Engineering and Opto-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University.

**Mykhailo Kostiantynovych Bondarchuk** - student of BMI-22b group, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.



## ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНІ ПРОТИПОКАЗАННЯ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ІМПЛАНТІВ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Ця теза розглядає психофізіологічні протипоказання для встановлення зубних імплантів - імпорнтний аспект, який варто враховувати перед проведенням процедури. Розглянуті фізичні та психологічні фактори, які можуть призвести до ускладнень та невдалого результату. Зокрема, звернуто увагу на хронічні фізичні захворювання, психічні розлади, відповідальність пацієнта та психологічний стан. Також підкреслено важливість індивідуального підходу до кожного пацієнта та консультації зі спеціалістом для досягнення успішного результату. Загалом, теза наголошує на важливості здоров'я та психологічного комфорту пацієнта при встановленні зубних імплантів.*

**Ключові слова:** психофізіологічні протипоказання, імпланти, психічні розлади, пацієнт, успішність процедури, індивідуальний підхід.

У зв'язку з широким застосуванням імплантів у медицині, науковці та фахівці зіткнулися з питаннями, пов'язаними зі здоров'ям та благополуччям пацієнтів, які можуть бути вразливими до побічних ефектів цих медичних втручань.

Перш за все, варто зазначити, що імплантація передбачає введення механічних або електронних пристроїв у тіло людини з метою відновлення функціональності або покращення якості життя. Незважаючи на безліч переваг, які ці імпланти можуть принести, важливо враховувати психофізіологічні аспекти встановлення таких пристроїв [1].

Психофізіологічні протипоказання для встановлення імплантів - це фактори, пов'язані з психічним та фізичним станом пацієнта, які можуть призвести до ускладнень під час процедури та після неї. Такі протипоказання можуть виникати як у зв'язку з фізичними хворобами, так і через психічні розлади або інші психологічні фактори.

Одним з основних психофізіологічних протипоказань є наявність хронічних фізичних захворювань. Вони можуть включати серцево-судинні захворювання, діабет, захворювання ендокринної системи та інші стани, що негативно впливають на загальний стан здоров'я пацієнта. У таких випадках важливо попередньо проконсультуватися зі спеціалістом та з'ясувати, чи є можливість встановлення імплантів без ризику для здоров'я.

Також психічні розлади можуть стати протипоказанням для встановлення імплантів. Деякі пацієнти можуть страждати від фобій, панічних атак або депресії, що може погіршити їхній стан під час процедури та у період після неї. Психологічний дискомфорт може викликати болісні асоціації з втратою зубів або іншими проблемами. В таких випадках важливо спілкуватися з пацієнтом, розуміти його потреби та поступово пристосовувати його до процедури.

Крім того, відповідальність та підтримка з боку пацієнта є важливим аспектом успішного встановлення імплантів. Імплантація - це довготривалий процес, який потребує дотримання певних правил і рекомендацій. Пацієнт повинен бути готовий дотримуватися інструкцій щодо гігієни, правильного харчування та регулярних візитів до лікаря для контролю. Відсутність підтримки та небажання пацієнта дотримуватися вказівок можуть призвести до ускладнень та невдалого результату [2].

Також, перед встановленням імплантів, важливо враховувати психологічний стан пацієнта, його очікування та реалістичність. Імплантологічна процедура може зайняти певний час і вимагає терпіння та витримки з боку пацієнта. Деякі люди можуть мати нереалістичні очікування щодо результату або перебувати в стані тривожності через страх перед процедурою. У таких випадках розмова з пацієнтом та пояснення можливого результату є важливим кроком для забезпечення успішного встановлення імплантів.

Необхідно також враховувати фізичну придатність пацієнта для процедури встановлення імплантів. Іноді існують медичні обмеження або фізичні протипоказання, які можуть ускладнити проведення процедури або призвести до ускладнень під час загоєння імплантів. Перед встановленням імплантів необхідно провести комплексне обстеження пацієнта, включаючи рентгенографію, огляд та аналіз загального стану здоров'я [3].

У підсумку, психофізіологічні протипоказання для встановлення зубних імплантів варто ретельно враховувати перед початком процедури. Індивідуальний підхід до кожного пацієнта та консультація зі спеціалістом допоможуть визначити, чи є можливість встановлення імплантів без ризику для здоров'я та досягнення бажаного результату. Пам'ятайте, що успіх процедури встановлення імплантів залежить від спільних зусиль лікаря та пацієнта для досягнення оптимального.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Psychological aspects of dental implant treatment: experiences of an implant clinic / Hultin, M., Svensson, A., Trulsson, M., et al. // Clinical Oral Implants Research. – 2015. – № 26(8). – p. 892-898.
2. Oral health-related quality of life among dental patients: comparison of dental aesthetics and smile with different dentofacial anomalies. / Al-Omiri, M. K., Al-Wahadni, A., Saeed, K. N. // The Journal of Contemporary Dental Practice. – 2010. – № 11(4). – p. 33-40.
3. Psychological factors associated with dental implant therapy: a systematic review. / Berna, C., Bascoul, G., Raymond, D., et al. // Journal of Dental Research. – 2019. – № 98(8). – p. 869-877.

**Криворучко Іван Олександрович** – асистент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, [kio@vntu.edu.ua](mailto:kio@vntu.edu.ua)

**Пастушенко Антон Олександрович** – аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

## The Psychological and Physiological Contraindications for Implants

### Abstract

*This thesis considers the psychophysiological contraindications for the installation of dental implants - an important aspect that should be considered before the procedure. Physical and psychological factors that can lead to complications and unsuccessful outcome are considered. In particular, attention was paid to chronic physical diseases, mental disorders, patient responsibility and psychological state. The importance of an individual approach to each patient and consultation with a specialist to achieve a successful result is also emphasized. In general, the thesis emphasizes the importance of the patient's health and psychological comfort when installing dental implants.*

**Keywords:** psychophysiological contraindications, implants, mental disorders, patient, success of the procedure, individual approach.

**Kryvoruchko Ivan** – assistant professor of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [kio@vntu.edu.ua](mailto:kio@vntu.edu.ua)

**Pastushenko Anton** – graduate student of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

**С.В. Павлов**  
**О.Ж. Мамирбаєв**  
**П.Ф. Колісник**  
**Ш.П. Жумагулова**  
**О.С. Волосович**

## **ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ СТВОРЕННЯ МЕДИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ БІОМЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

Вінницький національний технічний університет,  
Інститут інформаційних та обчислювальних технологій КН МОН РК  
Вінницький національний медичний університет ім. М. Пирогова  
Казахський національний університет ім. Аль-Фарабі

***Анотація.** У роботі проаналізовано основні сфери застосування математичних методів у медичній діагностиці. Проаналізовано світовий досвід розвитку медичних інформаційних технологій. Показано перспективність розроблення моделей та алгоритмів медичної діагностики ґрунтуються на ідеях та принципах штучного інтелекту та інженерії знань, теорії планування експерименту, теорії нечітких множин та лінгвістичних змінних.*

***Ключові слова:** інформаційні технології, оброблення біомедичної інформації, медичні інформаційні системи*

### **Вступ**

Впровадження інформаційних технологій в таку нетрадиційну і консервативну область, як медицина почалася в другій половині 60-х років з робіт Н. М. Амосова [9], який вперше в світі створив стандартизовану історію хвороби, орієнтовану на застосування в комп'ютері. На початку 70-х В. І. Бураковський ввів в дію першу в світі автоматизовану систему стеження за хворими і підтримки рішень лікаря за допомогою математичних моделей [1]. У ці ж роки Л. Осборн використовує в Сан-Франциско міні-ЕОМ для лікування тяжкохворих, а Дж. Кірклін разом з Л. Шепард створює в Алабамі і реалізує на "приліжковій" міні-ЕОМ алгоритм лікування гострої важкої серцевої недостатності [1].

Почалося створення інформаційних медичних систем. У зв'язку з бурхливим розвитком можливостей комп'ютерної техніки та інформаційних технологій, а також з прогресом в медичній техніці, біоелектроніці, молекулярній біофізиці, фізичній хімії, біохімії, генетиці, імунології, а також кібернетиці і інформатиці [2] відбувається розвиток теоретичних основ впровадження інформаційних технологій при створенні МІС. Сформувалися цілі галузі науки - медична кібернетика та медична інформатика [3], які дозволили на теоретичному рівні провести дослідження щодо застосування кібернетичних методів для підвищення якості всіх етапів лікувально-профілактичного процесу.

### **Формалізація медичних даних**

При цьому виникли завдання формалізації медичних даних шляхом створення формалізованих і стандартизованих амбулаторних карт (ФАК), історій хвороби (ФІБ), медичних баз знань [4], і це завдання, на жаль не вирішена повною мірою до теперішнього часу [5]. В кінці ХХ століття отримала розвиток телемедичних технологій [6,7], що прискорило збір і аналіз медичної інформації. Крім безпосередньої формалізації медичних даних виконувалися роботи з оцінки їх інформативності [8] і розробки математичних методів і моделей синтезу комп'ютерного діагнозу. В [9] виділено 7 рівнів розвитку МІС.

*Перший рівень* (автоматизовані медичні записи) – які відповідають формалізованим медичним записам на паперових носіях. Для реалізації зазначеного рівня розроблені різні стандартизовані форми подання медичної інформації.

*Другий рівень* (Computerized Medical Record System) – поєднання комп'ютеризованих записів, зроблених пацієнтом і медичним персоналом, та інформації, отриманої з медичних діагностичних приладів різного призначення.

*Третій рівень* (Electronic Medical Records) – інтеграція електронних записів з експертними системами в процесі діагностики, вибору стратегії лікування, пошуку необхідних ліків, контролю за проведеним лікуванням.

*Четвертий рівень* (Electronic Patient Record Systems) – розвиток МІС, коли вся інформація про пацієнта знаходиться в серверах комунікаційної мережі і можливий обмін медичною інформацією між різними серверами. При цьому активно використовуються можливості телемедицини.

*П'ятий рівень* (Electronic Health Record) – розвиток МІС, що відрізняється від четвертого рівня необмеженим джерелом інформації про здоров'я пацієнта і відображають топологію і типологію фізіологічних або патологічних процесів у людини.

*Шостий рівень* (СППРМ) – які включають синергетичні бази даних і бази знань, з урахуванням взаємодії природного і штучного інтелекту.

*Сьомий рівень* (Міжнародний Колективний Медичний Розум) – об'єднання в глобальну мережу через Інтернет МІС попередніх рівнів. При цьому будуть оцінюватися накопичені в базах МІС дані про різних класах і типах хворих з метою узагальнення і отримання нових знань, а також прийматися активну участь в лікувально-реабілітаційному процесі конкретних пацієнтів.

Наведена класифікація не вичерпує всього спектру МІС. Розрізняють МІС за спеціалізаціями та напрямків медицини (кардіологічні, психодіагностичні та ін.), По застосовуваних методів і приладів дослідження (томографічні, ультразвукові, фонографічні і т.д.), по режимам роботи (системи скринінгових обстежень, сигнальні системи в палатах інтенсивної терапії і ін.).

Як зазначається в [14], здоров'я людини складається з чотирьох складових: фізіологічне, духовне, психічне і соціальне. При цьому стан здоров'я конкретного пацієнта визначається процесами внутрішнього і зовнішнього взаємодії між речовиною, енергією та інформацією людини і зовнішнього середовища, з метою підтримки необхідного рівня інформаційно-енергетичного гомеостазу.

В [7] виділено 15 рівнів взаємодії організму і зовнішнього середовища:

- 0-й рівень генетичного генератора польового взаємодії речовини, енергії, інформації внутрішнього і зовнішнього середовища людини;
- 1-й рівень квантово-біофізичний і біохімічний системозадаючий;
- 2-й електромагнітний системоорганізуючий рівень електромагнітного поля серцево-судинної та інших систем;
- 3-й - біоатомарний рівень;
- 4-й - біомолекулярний рівень;
- 5-й - клітинний рівень;
- 6-й - тканинний рівень;
- 7-й - органний рівень;
- 8-й - біосистемної рівень;
- 9-й - організменний рівень;
- 10-й - рівень тонкого ефірного тіла;
- 11-й - рівень астрального (емоційного) тіла;
- 12-й - рівень ментального тіла;
- 13-й - рівень каузального тіла;
- 14 - зона контакту і інтерфейсу з природного і антропо-екологічним середовищем.

В даний час медицина може отримати неповні медичні дані, що відображають динаміку взаємодій рівнів 0-9. На жаль, все ще не відомі дані рівнів 10-13.

При порушенні взаємодії програм внутрішніх рівнів організму і зовнішнього середовища розвиваються функціональні або морфологічні зміни організму, які пов'язані з реакцією регуляторних систем і компенсацією змін параметрів гомеостазу за рахунок включення резервних механізмів регуляції. У разі вираженого відхилення від належного гомеостазу, спрацьовують сигнальні системи організму і з'являються відчуття дискомфорту – суб'єктивні симптоми наявності патологій.

### **Особливості проектування медичних інформаційних систем**

Проектування МІС буде високоякісним лише у випадку, коли дослідження проводить досвідчений лікар-діагност. Таке дослідження може проектуватись групою кваліфікованих експертів у даній галузі діагностики.

Базова структура МІС, подана на рис. 1, демонструє наявність у інтерфейсу комп'ютерної програми з двома функціями: отримання знань у експерта та ведення діалогу з користувачем.

У роботі будується МІС система шляхом проектування та налаштування нечітких баз знань, які

являють собою сукупність лінгвістичних висловлювань типу: якщо <входи>, то <виходи>.

Захворювання проявляється у вигляді тих чи інших ознак. За наявності, ступенем прояву та за сукупністю ознак приймається рішення про рівень ураження коронарних артерій серця.

При проведенні вимірів медичного характеру можна умовно виділити дві ситуації, відповідно до того, використовуються при вимірах фізичні моделі чи ні.



Рис. 1. Базова структура МІС

У медичних вимірах, проведених із застосуванням фізичних вимірювальних приладів, беруть участь чотири об'єкти: вимірювальний прилад, пацієнт, лікар, умови, при яких проводяться виміри.

Кожний з цих об'єктів є джерелом похибок вимірів, оскільки від точності вимірів фізіологічних характеристик залежить, у кінцевому рахунку, достовірність діагностування.

#### Висновок

У роботі проаналізовано основні сфери застосування математичних методів у медичній діагностиці. Проаналізовано світовий досвід розвитку медичних інформаційних технологій.

Показано перспективність розроблення моделей та алгоритмів медичної діагностики ґрунтуються на ідеях та принципах штучного інтелекту та інженерії знань, теорії планування експерименту, теорії нечітких множин та лінгвістичних змінних.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Stehli J, Martin C, Brennan A, Dinh DT, Lefkovits J, Zaman S. Sex Differences Persist in Time to Presentation, Revascularization, and Mortality in Myocardial Infarction Treated With Percutaneous Coronary Intervention. *J Am Heart Assoc.* 2019 May 21;8(10):e012161. doi: 10.1161/JAHA.119.012161. PMID: 31092091; PMCID: PMC6585344.
2. Pavlov S.V. Multichannel system for recording myocardial electrical activity // O. Vlasenko, W. Wójcik, S.V. Pavlov, and etc. *Information Technology in Medical Diagnostics II.* CRC Press / Balkema book, 2019 Taylor & Francis Group, London, UK, pp. 307-314.
3. Serkova V., Pavlov S., Romanava V, and etc. Medical expert system for assessment of coronary heart disease destabilization based on the analysis of the level of soluble vascular adhesion molecules // *Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017*, 104453O; doi: 10.1117/12.2280984.
4. *Coronary Atrery Diseases*, edited by Illya Chakovsky and nataliia Sydorova, Janeza Trdine 9, 51000, Rijeka, Croatia, 2012, pp. 332.
5. Rothstein A.P. Intelligent identification technologies: fuzzy logic, genetic algorithms, neural networks / A.P. Rothstein – Vynnytsia: Universum-Vynnytsia, pp. 1999-320.
6. Kirklin J.K. Algorithm of the treatment to sharp heavy warmhearted insufficiency / J.K. Kirklin, J.W. Kirkli // *Ann. Thorac. sms.* – 1981. – Vol. 32. pp. 311-319.
7. *The main tasks of medical cybernetics* / [N.M. Amosov, A.A. Popov, V.G. Melnikov, etc.] - K. : Nauchn. council on cybernetics, pp. 1969. - 98.
8. Vesnenko A.I. Topo-typology of the structure of a detailed clinical diagnosis in modern medical information systems and technologies / A.I. Vesnenko, A.A. Popov, M.I. Pronenko // *Cybernetics and system analysis.* 2002, 6, 143-154.
9. Amosov N.M. Automated medical data processing system / N.M. Amosov, N.G. Zaitsev, N.A. Popov - K.: Naukova dumka, 1969. - 128 c.
10. Prokopchuk V.A. Development of the structure of the knowledge base of a medical intellectual system based on formalism / V.A. Prokopchuk // *Artificial Intelligence*, 2006, 4, 469-474.
11. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (2019). *Information Technology in Medical Diagnostics II.* London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. pp. 336.
12. Pavlov S. V. *Information Technology in Medical Diagnostics* //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press. pp. 210.
13. Shkilniak L., Wójcik Waldemar, Pavlov S., Vlasenko O. Expert fuzzy systems for evaluation of intensity of reactive edema of soft tissues in patients with diabetes. *IAPGOS*, 2022, 3, 59-63. doi.org/10.35784/iapgos.3037.
14. Blondheim DS, Kleiner-Shochat M, Asif A, Kazatsker M, Frimerman A, Abu-Fanne R, Neiman E, Barel M, Levy Y, Amsalem N, Shotan A, Meisel SR. Characteristics, Management, and Outcome of Transient ST-elevation Versus Persistent ST-elevation and Non-ST-elevation Myocardial Infarction. *Am J Cardiol.* 2018 Jun 15;121(12):1449-1455.

15. Wójcik, W.; Mezhiievska, I.; Pavlov, S.V.; Lewandowski, T.; Vlasenko, O.V.; Maslovskiy, V.; Volosovych, O.; Kobylianska, I.; Moskovchuk, O.; Ovcharuk, V.; Lewandowska, A. Medical Fuzzy-Expert System for Assessment of the Degree of Anatomical Lesion of Coronary Arteries. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2023, 20, 979.
16. Медична інформаційна технологія для оцінювання ризику анатомічного ураження коронарних артерій / С. В. Павлов, І. Межієвська, В. Вуйцік, О. Власенко, О. Г. Аврунін, В. Масловський, О. Волосович / Сучасні технології біомедичної інженерії : матеріали II міжнародної науково-технічної конференції 17–19 травня 2023 р. / за заг. ред. І. В. Прокоповича, Н. В. Манічевої ; Нац. ун-т «Одеська політехніка». — Вінниця : ТОВ «Торговий дім «Альфа і Омега», 2023. — С.242-246

**Павлов Сергій Володимирович** — д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, 21021, Україна, e-mail: psv@vntu.edu.ua

**Мамірбаєв Оркен Жумажанович** - заступник генерального директора РДП «Інституту інформаційних та обчислювальних технологій» КН МОН РК, завідувач лабораторії, PhD, асоційований професор, e-mail: morkenj@mail.ru

**Колісник Петро Федорович** — д.м.н., професор, зав. кафедри фізичної та реабілітаційної медицини, Вінницький національний медичний університет ім. М. Пирогова, м. Вінниця, вул. Пирогова, 56, 21018, e-mail: s.p.kolisnyk@gmail.com

**Жумагулова Шолпан Пернебайкизи** – аспірантка Казахського національного університету ім. Аль-Фарабі, кафедра искусственного Интеллекта и Big Data, Алматы, Казахстан, e-mail: sh.zhumagulovakz@gmail.com

**Волосович Олександр Сергійович** — аспірант, кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, 21021, Україна, e-mail: sashka.v0@gmail.com

## PROSPECTIVES OF CREATING MEDICAL INFORMATION TECHNOLOGIES FOR THE ANALYSIS OF BIOMEDICAL INFORMATION

**Abstract.** The paper analyzes the main areas of application of mathematical methods in medical diagnostics. The world experience in the development of medical information technologies is analyzed. The perspective of developing models and algorithms of medical diagnostics based on the ideas and principles of artificial intelligence and knowledge engineering, the theory of experiment planning, the theory of fuzzy sets and linguistic variables is shown.

**Keywords:** information technologies, biomedical information processing, medical information systems

**Pavlov Sergii** — Doctor Tech. Sc., professor, Department of Biomedical Engineering and Optic-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Khmelnytske shose, 95, 21021, Vinnytsia, e-mail: psv@vntu.edu.ua

**Mamyrbayev Orken** - Ph.D., Deputy General Director in science and Head of the Laboratory of Computer Engineering of Intelligent Systems at the Institute of Information and Computational Technologies of the Kazakh National Technical University named after K.I. Satbayev and associate professor in 2019 at the Institute of Information and Computational Technologies, e-mail: morkenj@mail.ru

**Kolisnyk Petro** — Doctor Med. Sc., professor, head of of Physical and Rehabilitation Medicine Department, National Pirogov Memorial Medical University, Pirogov str. 56, 21018, Vinnytsya, Ukraine, e-mail: s.p.kolisnyk@gmail.com

**Zhumagulova Sholpan** - post-graduated student of Kazakh National University, Faculty of Information Technology of Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan, e-mail: sh.zhumagulovakz@gmail.com

**Volosovych Oleksandr** — Master, postgraduated student, Department of Biomedical Engineering and Optic-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Khmelnytske shose, 95, 21021, Vinnytsia, e-mail: sashka.v0@gmail.com

О.Г.Ушенко  
 О.В. Дуболазов  
 І.В. Солтис  
 І.Ю. Гордей

## КОМП'ЮТЕРНІ АЛГОРИТМИ ДИСКРЕТНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-СИНГУЛЯРНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ ЗАСТОСУВАНЬ

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Україна

**Анотація.** *Визначено аналітичні умови формування сингулярностей елементів матриці Джонса двопробових заломлюючих мереж пакувальних полімерних плівок (ППП). Встановлено кореляцію між координатними положеннями характеристичних точок двовимірних елементів матриці Мюллера оптично тонкого шару PPP та мережі S- та C – точок у її лазерному зображенні. Продемонстровано ефективність Мюллер – матричної сингулярної діагностики механічних трансформацій PPP.*

**Ключові слова:** *поляризація, кореляція, пакувальна полімерна біологічна тканина, статистика, матриця Мюллера*

### Вступ

Важливим напрямом неруйнівної діагностики органічних фазово-неоднорідних шарів є лазерна поляриметрія [1,2], яка дозволяє отримувати інформацію про оптичну анізотропію поліетиленових плівок (ППП). Для статистичного аналізу такої поляриметричної інформації розроблено модельний підхід, що ґрунтується на наступних положеннях: будова PPP розглядається у вигляді двокомпонентної аморфно-кристалічної структури; кристалічна компонента або матриця сформована мережею оптично одновісних двопробовезаломлюючих фібрил.

Розвитком зазначених статистичних досліджень став новий підхід для опису лазерних зображень PPP, що ґрунтується на аналізі координатних розподілів поляризаційних сингулярностей. До них відносяться лінійно (S-точки) та циркулярно (C-точки) поляризовані стани світлових коливань.

**Метою роботи** є розвиток методів лазерної поляриметрії на основі визначення сингулярних взаємозв'язків “об’єкт – поле” для діагностики трансформації орієнтаційно фазової структури PPP, пов'язаних із механічними напругами.

### Методика експериментальних досліджень

Використовувалася така методика:

- координатні мережі характеристичних значень матричних елементів  $M_{44}^*(m \times n) = 0; \pm 1$  сканувалися у напрямі  $x \equiv 1, \dots, m$  з кроком  $\Delta x = 1 \text{ pix}$ ;
- в межах отриманих вибірок  $(1_{\text{pix}} \times n_{\text{pix}})^{(k=1,2,\dots,m)}$  для координатного розподілу елемента  $M_{44}(m \times n)$  підраховувалася загальна кількість  $(N^{(k)})$  характеристичних точок  $(0; \pm 1)$  повний ансамбль сингулярних точок  $N(x) \equiv (N^{(1)}, N^{(2)}, \dots, N^{(m)})$ ;

### Результати дослідження

Як об’єкти дослідження використовувалися дві групи PPP - механічно недеформовані (тип “А”); механічно деформовані (тип “Б”).

У таблиці 2 наведено статистично усереднені в межах обох груп зразків PPP значення  $Z_{1;2;3;4}(N(x); N_{0;90}(x); N_{45;135}(x))$ .



**Таблиця 2.** Коефіцієнти асиметрії  $Z$  сингулярних значень розподілів  $N(\rho=0^\circ, 90^\circ, +45^\circ, -45^\circ)$  Мюллер-матричних зображень  $f_{44}(m, n)$  ППП

$Z$	Тип А (25 зразків)	Тип Б (23 зразка)
$Z_M^{0-90}$	$0,025 \pm 0,0021$	$0,49 \pm 0,035$
$Z_\sigma^{0-90}$	$0,023 \pm 0,0018$	$0,16 \pm 0,015$
$Z_M^{45,-45}$	$0,029 \pm 0,0016$	$0,32 \pm 0,024$
$Z_\sigma^{45,-45}$	$0,032 \pm 0,0023$	$0,17 \pm 0,012$

### Висновки

- Метод Мюллер – матричної автофлуоресцентної сингулярної діагностики ефективний у диференціації оптичних властивостей всіх типів зразків – статистичні моменти 3-го та 4-го порядків розподілів для зразків “А” та “Б” - типів різняться відповідно до 1,7 та 2, 5 разів.
- Для розподілів  $N_{45;135}(x)$  кількості ортогональних сингулярних точок  $S_{45;135}$ –;  $C_{45;135}$  тканини міометрія “А” та “Б” типів спостерігаються максимальні (від 2,2 до 4,1 разів) відмінності між усіма статистичними моментами  $M_{j=1;2;3;4}$ .

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Berry M.V. and Dennis M.R., Proc. R. Soc. A 457, 141 (2001).
2. Ushenko, V.A., Hogan, B.T., Dubolazov, A., Grechina, A.V., Boronikhina, T.V., Gorsky, M., Ushenko, A.G., Ushenko, Y.O., Vykov, A., Meglinski, I. Embossed topographic depolarisation maps of biological tissues with different morphological structures, (2021) Scientific Reports, 11 (1), № 3871.

**Ушенко Олександр Григорович** - доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Україна, [o.ushenko@chnu.cv.ua](mailto:o.ushenko@chnu.cv.ua)

**Дуболазов Олександр Володимирович** - доктор фізико-математичних наук, професор кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Україна, [a.dubolazov@chnu.edu.ua](mailto:a.dubolazov@chnu.edu.ua)

**Солтис Ірина Василівна** - кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Україна, [i.soltys@chnu.edu.ua](mailto:i.soltys@chnu.edu.ua)

**Гордей Іван Юрійович** – аспірант кафедри комп’ютерних наук, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Україна, [hordei.ivan@chnu.edu.ua](mailto:hordei.ivan@chnu.edu.ua)

### COMPUTER ALGORITHMS FOR DISCRETE POLARIZATION-SINGULAR IMAGE PROCESSING OF POLYMER MATERIALS FOR POLYGRAPHIC APPLICATIONS

**Abstracts.** Analytical conditions for the formation of singularities of Jones matrix elements of two-beam refracting networks of packaging polymer films (PPP) have been determined. A correlation was established between the coordinate positions of the characteristic points of the two-dimensional elements of the Mueller matrix of the optically thin layer of the PPP and the network of S- and C-points in its laser image. The effectiveness of the Muller-matrix singular diagnosis of mechanical transformations of the PPP has been demonstrated.

**Key words:** polarization, correlation, packing polymeric biological tissue, statistics, Mueller's matrix

**Ushenko Oleksandr** - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Optics and Publishing and Printing Affairs, Yuri Fedkovich Chernivtsi National University, Ukraine, [o.ushenko@chnu.cv.ua](mailto:o.ushenko@chnu.cv.ua)

**Dubolazov Oleksandr** - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Optics and Publishing and Printing Affairs, Yuri Fedkovich Chernivtsi National University, Ukraine, [a.dubolazov@chnu.edu.ua](mailto:a.dubolazov@chnu.edu.ua)

**Soltys Iryna** - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Optics and Publishing and Printing Affairs, Yuri Fedkovich Chernivtsi National University, Ukraine, [i.soltys@chnu.edu.ua](mailto:i.soltys@chnu.edu.ua)

**Hordei Ivan** - graduate student of the Department of Computer Sciences, Chernivtsi National University named after Yuri Fedkovich, Ukraine, [hordei.ivan@chnu.edu.ua](mailto:hordei.ivan@chnu.edu.ua)



О.Г.Ушенко  
 О.В. Дуболазов  
 І.В. Солтис  
 І.Ю. Гордей

## ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-КОРЕЛЯЦІЙНА РЕПРОГРАФІЯ ДВОМІРНИХ ЦИФРОВИХ МАСИВІВ ДАНИХ ІНТРОСКОПІ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Україна

**Анотація.** Наведено теоретичні основи кореляційно-фазового аналізу лазерних зображень плівок поліпропілену (ПП). Досліджено величини та діапазони зміни статистичних (моменти 1-го – 4-го порядків), кореляційних (коефіцієнти розкладання Грама-Шарльє автокореляційних функцій) та фрактальних (нахили та дисперсія екстремумів логарифмічних залежностей спектрів потужності) параметрів координатних розподілів КСК. Визначено критерії діагностики термічних змін ПП.

**Ключові слова:** лазер, поляризація, кореляція, поліпропілен, двопротенезаломлення, статистичний момент, фрактал.

### Вступ

Серед різнопланових напрямів оптичної діагностики полімерних поліграфічних матеріалів значне місце посідають поляризаційні методи. [1]. У основі лежать такі фундаментальні поняття, як “матриця когерентності”, і “ступінь поляризації” поля розсіяного випромінювання [2]. Метою роботи є розробка та апробація "двоточкового" кореляційно-фазового методу дослідження плазми крові з метою діагностики виникнення термічних змін плівок поліпропілену [3, 4].

### Результати дослідження

Досліджувалися зразки недеформованого (група 1 -  $q = 27$ ) та термічно ураженого (група 2 -  $q = 25$ ) поліпропілену. Кількісно КФК лазерних зображень ПП ілюструють статистичні  $Z_{i=1-4}^{\mu}$ , кореляційні  $S^V$ ,  $Q^V$  та фрактальні  $F^V$ ,  $D^V$  параметри, - таблиця 2.

Таблиця 2. Параметри кореляційно-фазових карт лазерних зображень ПП

Параметри	$Z_1^{\mu}$	$Z_2^{\mu}$	$Z_3^{\mu}$	$Z_4^{\mu}$	$S^{\mu}$	$Q^{\mu}$	$F^{\mu}$	$D^{\mu}$
Група 1 (27 зразків)	0,89 $\pm$ 0,004	0,073 $\pm$ 0,005	0,094 $\pm$ 0,011	0,21 $\pm$ 0,033	0,28 $\pm$ 0,014	0,17 $\pm$ 0,012	1,69 $\pm$ 0,018	0,25 $\pm$ 0,024
Група 2 (25 зразків)	0,79 $\pm$ 0,068	0,15 $\pm$ 0,011	0,325 $\pm$ 0,019	1,39 $\pm$ 0,047	0,17 $\pm$ 0,015	0,86 $\pm$ 0,055	-	0,28 $\pm$ 0,016

### Висновки

1. Величини статистичних моментів 3-го та 4-го порядків, які характеризують розподіл  $\mu(m \times n)$  лазерних зображень зразків групи 2, більше аналогічних параметрів  $Z_3^{\mu}$ , ППП групи 1 у 3,24 та 4,21 рази.

2. Величини кореляційної площі  $S^\mu$  та кореляційних моментів  $Q^\mu$  у межах обох груп зразків ПП різняться у 1,34 та 3,26 рази.
3. Фрактальний розподіл  $\mu(m \times n)$  лазерних зображень зразків групи 1 трансформується у випадковий для зразків ПП з групи 2

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ushenko V. A. Complex degree of mutual anisotropy of linear birefringence and optical activity of biological tissues in diagnostics of prostate cancer / V. A. Ushenko, M. P. Gorsky // Optics and Spectroscopy, August 2013, Volume 115, Issue 2, pp 290-297.
2. Yu. A. Ushenko, V. T. Bachynsky, O. Ya. Vanchulyak, A. V. Dubolazov, M. S. Garazdyuk, and V. A. Ushenko, "Jones-matrix mapping of complex degree of mutual anisotropy of birefringent protein networks during the differentiation of myocardium necrotic changes," Appl. Opt. 55, B113-B119 (2016).
3. Volodymyr D. Mishalov, Viktor T. Bachinsky, Oleg Ya. Vanchuliak, Alina Y. Zavolovitch, Yuliya V. Sarkisova, Alexander G. Ushenko, Sergii V. Pavlov, and etc. "Jones matrix mapping of polycrystalline networks of layers of main types of amino acids", Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019, 1117606 (6 November 2019); <https://doi.org/10.1117/12.2536245>.
4. Laser microscopy of polycrystalline human blood plasma films/ O.V. Dubolazov, A.G. Ushenko, S.V. Pavlov, and etc. // Information Technology in Medical Diagnostics II. CRC Press, Balkema book, 2019 Taylor & Francis Group, London, UK, PP. 205-217.

**Ушенко Олександр Григорович** - доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Україна, [o.ushenko@chnu.cv.ua](mailto:o.ushenko@chnu.cv.ua)

**Дуболазов Олександр Володимирович** - доктор фізико-математичних наук, професор кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Україна, [a.dubolazov@chnu.edu.ua](mailto:a.dubolazov@chnu.edu.ua)

**Солтис Ірина Василівна** - кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Україна, [i.soltys@chnu.edu.ua](mailto:i.soltys@chnu.edu.ua)

**Гордей Іван Юрійович** – аспірант кафедри комп'ютерних наук, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Україна, [hordei.ivan@chnu.edu.ua](mailto:hordei.ivan@chnu.edu.ua)

### POLARIZATION-CORRELATION REPROGRAPHY OF TWO-DIMENSIONAL DIGITAL DATA ARRAYS OF INTROSCOPY OF POLYGRAPHIC MATERIALS

#### Abstract.

*The theoretical foundations of correlation-phase analysis of laser images of polypropylene (PP) films are presented. The magnitudes and ranges of changes of statistical (moments of the 1st to 4th orders), correlation (coefficients of the Gram-Charlier decomposition of autocorrelation functions) and fractal (slopes and dispersion of extremes of the logarithmic dependences of the power spectra) parameters of the coordinate distributions of KSK were studied. Objective criteria for the diagnosis of thermal changes of PP have been determined.*

**Key words:** laser, polarization, correlation, polypropylene, birefringence, statistical moment, fractal.

**Ushenko Oleksandr** - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Optics and Publishing and Printing Affairs, Yuri Fedkovich Chernivtsi National University, Ukraine, [o.ushenko@chnu.cv.ua](mailto:o.ushenko@chnu.cv.ua)

**Dubolazov Oleksandr** - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Optics and Publishing and Printing Affairs, Yuri Fedkovich Chernivtsi National University, Ukraine, [a.dubolazov@chnu.edu.ua](mailto:a.dubolazov@chnu.edu.ua)

**Soltys Iryna** - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Optics and Publishing and Printing Affairs, Yuri Fedkovich Chernivtsi National University, Ukraine, [i.soltys@chnu.edu.ua](mailto:i.soltys@chnu.edu.ua)

**Hordei Ivan** - graduate student of the Department of Computer Sciences, Chernivtsi National University named after Yuri Fedkovich, Ukraine, [hordei.ivan@chnu.edu.ua](mailto:hordei.ivan@chnu.edu.ua)

**О.С. Комарова<sup>1,2</sup>**  
**В.В. Холін<sup>1</sup>**  
**С.В. Павлов<sup>3</sup>**  
**М.Ф. Посохов<sup>4</sup>**  
**С.В. Тертишний<sup>5</sup>**  
**А.В. Рева<sup>1</sup>**  
**Я.О. Івлєв<sup>1</sup>**  
**М.В. Ткаченко<sup>1</sup>**

## **КОМБІНОВАНИЙ ОПТОВОЛОКОННИЙ ІНСТРУМЕНТ СУМІЩЕНИЙ З ПІРОМЕТРОМ**

<sup>1</sup>ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна

<sup>2</sup>КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

<sup>3</sup>Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

<sup>4</sup>Інститут неврології, психіатрії та наркології НАМН України, Харків, Україна

<sup>5</sup>Військово-медичний клінічний центр Південного регіону, КМС ЗСУ, Одеса, Україна

### **Анотація**

*Розроблено комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірометром (надалі оптоволоконний інструмент) призначений для здійснення високоінтенсивної лазерної термотерапії, НІЛ терапії, лазерної терапії, фотодинамічної терапії тощо з функцією динамічного моніторингу температури в режимі real-time. Конструкційне виконання оптоволоконного інструменту дозволяє його використовувати в комбінації з діодними хірургічними лазерними апаратами під час лікування травмованих, поранених та хворих.*

**Ключові слова:** оптоволоконний інструмент, рукоятка пірометрична, пірометр, лазерна термотерапія, лазер хірургічний, lika-surgeon

### **Вступ**

В останні роки отримали інтенсивний розвиток медичні технології (НІЛ терапія, лазерна термотерапія тощо), що використовують випромінювання ближнього інфрачервоного (ІЧ) діапазону з високою вихідною потужністю з терапевтичною метою. У процесі проведення відповідних лазерних процедур зовнішні поверхні патологічних ділянок біологічної тканини піддаються впливу паралельних пучків ІЧ лазерного випромінювання із значними лінійними розмірами лазерних пучків у поперечному перерізі.

Енергія фотонів електромагнітного випромінювання ближнього інфрачервоного діапазону (довжини хвиль 810, 870, 1060 нм) відповідає обертонам основних коливань або складових частот коливань молекул та атомарних груп макромолекул біологічних тканин. Внаслідок ц випромінювання ІЧ діапазону поглинається тканинами слабо. Збільшення довжини хвилі з випромінюванням видимого діапазону спектру призводить до значного зменшення розсіювання при проходженні випромінювання через шар біотканини і, відповідно, мінімальної зміни геометрії світлової плями в глибині тканини в порівнянні з світловою плямою на її поверхні. Перелічені фактори забезпечують проникнення випромінювання ближнього ІЧ діапазону в глибину тканини з відносно невеликим зменшенням щільності потужності по глибині.

Вихідна потужність лазерного випромінювання, що регулюється в широких межах (середня потужність від десятків мВт до десятків Вт) і великі лінійні розміри світлових плям (діаметри від 10 до 50 мм) на біологічних тканинах дозволяють обробляти без переміщення, або з мінімальним переміщенням світлової плями вздовж поверхні значні об'єми біологічних тканин (ранові поверхні, ушкоджені анатомічні структури, проблемні зони) із широким діапазоном значень щільності потужності (відносно гомогенних в межах всього об'єму) без термічного пошкодження тканин.

Разом з тим, сформовані емпіричним шляхом клінічні протоколи передбачають застосування тривалих експозицій (десятки секунд – одиниці хвилин) та досить високих значень щільності потужності та щільності дози лазерного випромінювання. При цьому з урахуванням гетерогенності відгуку біотканини в кожній конкретній лазерній процедурі можна прогнозувати зміну оптичних властивостей біотканини в опромінену об'єм і, як наслідок, підвищення температури як у всьому опромінену об'ємі, так і в окремих його ділянках [1,2].

Таким чином, динамічний моніторинг температури біологічної тканини в процесі проведення подібних лазерних процедур і насамперед дистанційний контроль температури поверхні оброблюваних ділянок біологічної тканини бачиться актуальним.

### Результати дослідження

Нами було розроблено комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірометром (надалі оптоволоконний інструмент). Оптоволоконний інструмент (рис. 1) призначений для доставки лазерного випромінювання на поверхню шкіри пацієнта під час проведення високоінтенсивної лазерної термотерапії, НІЛ терапії, лазерної терапії, фотодинамічної терапії тощо та для одночасного динамічного моніторингу температури *in-vivo* безконтактним методом в ході всього лікувального процесу.

На рис. 1 представлено комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірометром. На рис. 2 представлено функціональну схему світловодного інструменту.

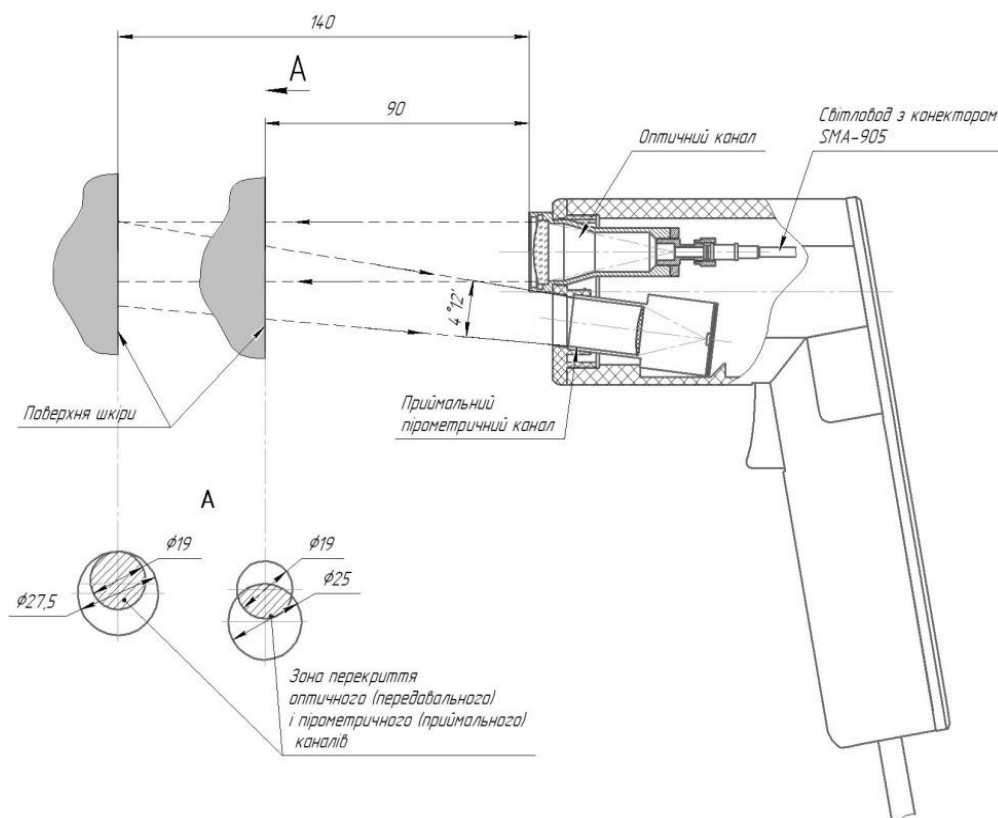
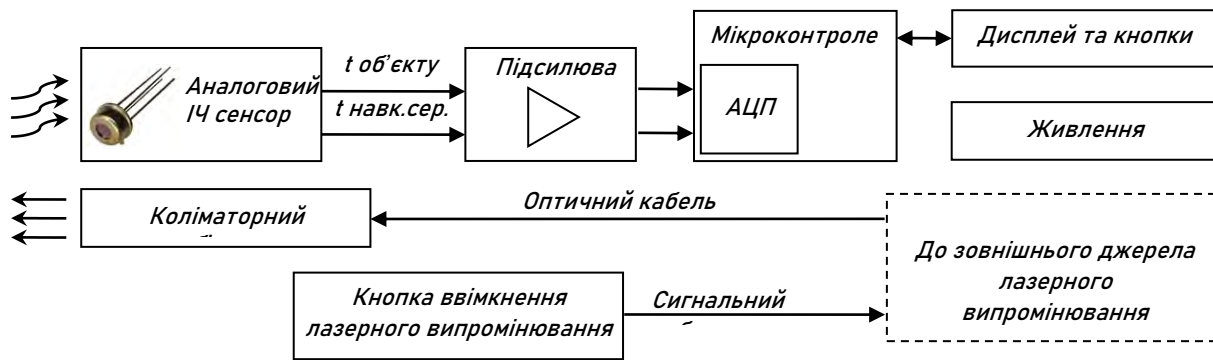


Рис. 1. Комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірометром



**Рис. 2.** Функціональна схема комбінованого оптоволоконного інструменту суміщеного з пірометром

Оптоволоконний інструмент складається з гнучкої ділянки та вихідного каскаду.

Гнучка ділянка має паралельно розташовані оптичний та електричний кабелі, які закінчуються відповідними вихідними роз'ємами, які забезпечують підключення до джерела лазерного випромінювання і до роз'єму керування лазерним апаратом. Оптичний та електричний кабелі об'єднані загальною кабельною оболонкою, яка заходить у вихідний каскад.

Вихідний каскад оптоволоконного інструменту (рис. 1, рис. 2) виконаний у вигляді ергономічної рукоятки. В корпусі рукоятки вбудовано оптичну та пірометричну системи.

Оптична система являє собою колімаційний об'єктив, який формує промінь діаметром 19 мм на проблемній анатомічній ділянці людського тіла пацієнта.

Пірометрична система (приймальний пірометричний канал, рис. 1, рис. 2) являє собою приймальний тракт вимірювача температури, який складається з об'єктива (поле зору  $4^{\circ}12'$ ), побудованого на лінзі Френеля, та ІЧ датчика TE Connectivity TS318-11C55. ІЧ датчик містить в собі однопіксельний ІЧ сенсор та термістор для вимірювання температури датчика. Аналогові сигнали з датчика надходять в блок підсилення де вони підсилюються та фільтруються від паразитної шумової складової. Далі сигнали надходять на аналого-цифровий перетворювач і надалі обробляються в цифровому вигляді. Враховуючи покази ІЧ сенсора, зовнішню температуру та заданий коефіцієнт емісії вимірюваного об'єкта розраховується температура в точці вимірювання. Точність вимірювання температури складає  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  з періодом вимірювань 0,5 с. Замість аналогового ІЧ датчика можливо використати цифровий датчик з вбудованим об'єктивом Melexis MLX90614-DCI (поле зору  $5^{\circ}$ ), що дозволяє спростити електричну схему та отримати точність вимірювань  $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$  з роздільною здатністю  $< 0,1^{\circ}\text{C}$ .

Ввімкнення та вимкнення лазерного випромінювання здійснюється натисканням кнопки на рукоятці (рис. 1, рис. 2).

Рукоятка має невеликі розміри і малу вагу 320 гр. та є зручною у використанні. Загальна вага комбінованого оптоволоконного інструменту при довжині гнучкої ділянки 1750 мм складає 510 гр.

Комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірометром є складовою частиною лазера хірургічного діодного «LIKA-SURGEON» і пройшов технічний регламент (№ UA.TR.001.0753.30.00232-23 від 20.03.2023 року) і відповідає вимогам Технічного регламенту щодо медичних виробів затвердженого постановою КМУ від 02.10. 2013 № 753.

## Висновки

Розроблено комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірометром, який може бути використаний для здійснення високоінтенсивної лазерної термотерапії, НІЛ терапії, лазерної терапії, фотодинамічної терапії тощо з функцією динамічного моніторингу температури в режимі real-time, що забезпечить оптимізацію процесу in-vivo дозиметрії енергетичного впливу оптичного випромінювання на патологічну зону. Конструкційне

виконання світловодного інструменту дозволяє його використовувати в комбінації з діодними хірургічними лазерними апаратами.

Комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірометром є складовою частиною лазера хірургічного діодного «LIKA-SURGEON» і пройшов технічний регламент (Сертифікат № UA.TR.001.0753.30.00232-23 від 20.03.2023 року) і відповідає вимогам Технічного регламенту щодо медичних виробів затвердженого постановою КМУ від 02.10.2013 № 753.

Застосування розробленого оптоволоконного інструменту вдосконалює рівень наявного технічного забезпечення для проведення безпечної та ефективної лазерної процедури. У разі використання при лікуванні покривних тканин людського тіла збільшує метаболічну активність пошкодженої анатомічної структури, пришвидшує репаративну складову лікувального процесу, а це в свою чергу призводить до збільшення відсотку функціональності.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизація контролю процесом лазерного опромінювання при лазерохірургії / Комарова, О. С., Терещенко, М. Ф., Холін, В. В., Павлов, С. В. // XXI Міжнародна науково-технічна конференція "Приладобудування: стан і перспективи", 17–18 травня 2022 р., Київ, Україна : збірник матеріалів конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – С. 158–160. – Бібліогр.: 7 назв.
2. Лазерні медичні технології : навчальний посібник, за ред. Готри З. Ю., Павлова С. В. та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 158 с.

Комарова Ольга Сергіївна – інженер-технолог ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна, e-mail: [komarova.ollha@gmail.com](mailto:komarova.ollha@gmail.com). Аспірант КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна.

Холін Володимир Вікторович – к.т.н, директор ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна, e-mail: [info@fotonikaplus.com.ua](mailto:info@fotonikaplus.com.ua).

Павлов Сергій Володимирович – д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії та оптикоелектронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua).

Посохов Микола Федорович - канд. мед. наук, доцент, лікар-нейрохірург вищої категорії, завідувач відділенням функціональної нейрохірургії, Інститут неврології, психіатрії та наркології НАМН України, м. Харків, Україна, e-mail: [nsd17@ukr.net](mailto:nsd17@ukr.net)

Тертишний Сергій Володимирович к.м.н., начальник відділення Військово-медичного клінічного центру Південного регіону, КМС ЗСУ, Одеса, Україна, e-mail: [drug2008@ukr.net](mailto:drug2008@ukr.net).

Рева Анна Вікторівна – інженер-конструктор ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна, e-mail: [Annisiya@meta.ua](mailto:Annisiya@meta.ua).

Івлєв Ярослав Олександрович - інженер-конструктор ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна, e-mail: [ya.ivlev.fp@gmail.com](mailto:ya.ivlev.fp@gmail.com).

Ткаченко Максим Вадимович - інженер-електронік ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна, e-mail: [Maxckot@icloud.com](mailto:Maxckot@icloud.com).

#### COMBINED FIBER-OPTIC INSTRUMENT WITH PYROMETER

##### **Abstract**

*A combined fiber-optic instrument combined with a pyrometer has been developed for the implementation of high-intensity laser thermotherapy, HIL therapy, laser therapy, photodynamic therapy, etc. with real-time dynamic temperature monitoring function. The design of the fiber-optic instrument allows it to be used in combination with diode surgical laser devices in the treatment of injured, wounded and sick people.*

**Keywords:** *fiber optic instrument, pyrometric handle, pyrometer, laser thermotherapy, surgical laser, lika-surgeon*

Komarova Olha S. - process engineer in FOTONICA PLUS CO., Cherkasy, Ukraine, e-mail: [komarova.ollha@gmail.com](mailto:komarova.ollha@gmail.com). Postgraduate student of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, IMF, Department of "Instrument Manufacturing", Kyiv, Ukraine.

Kholin Volodymyr V. - Ph.D., director of FOTONICA PLUS CO., Cherkasy, Ukraine, e-mail: [info@fotonikaplus.com.ua](mailto:info@fotonikaplus.com.ua).

Pavlov Sergii V. – Ph.D., Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua).

Posokhov Mykola F. - PhD in neurosurgery, Associate Professor in neurosurgery, neurosurgeon of the highest category, Head of Clinical Department, State Institution "Institute of Neurology, Psychiatry and Narcology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine, e-mail: [nsd17@ukr.net](mailto:nsd17@ukr.net).

Tertyshnyi Serhii V., Ph.D., Head of Department of the Military Medical Clinical Center of the Southern Region, KMS ZSU, Odessa, Ukraine, e-mail: [drug2008@ukr.net](mailto:drug2008@ukr.net).

Reva Anna V. - design engineer in FOTONICA PLUS CO., Cherkasy, Ukraine, e-mail: [Annisiya@meta.ua](mailto:Annisiya@meta.ua).

Ivliev Yaroslav O. - design engineer in FOTONICA PLUS CO., Cherkasy, Ukraine, e-mail: [ya.ivlev.fp@gmail.com](mailto:ya.ivlev.fp@gmail.com).

Tkachenko Maksim V. - electronic engineer in FOTONICA PLUS CO., Cherkasy, Ukraine, e-mail: [Maxckot@icloud.com](mailto:Maxckot@icloud.com).

## ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОПЕРАТИВНИЙ ОРТОПЕДІЇ НДІ реабілітації осіб з інвалідністю ВНМУ ім. М.І. Пирогова

***Анотація.** Виконано аналіз ефективності діагностичної цінності використання адитивних технологій при доопераційній підготовці хворих із ортопедо-травматологічною патологією. Матеріалом дослідження було 3D-моделювання та виготовлення пластикових прототипів у 14 пацієнтів, яким проведено складне ревізієне ендопротезування кульшового суглоба. Застосування адитивних технологій дало можливість досягти добрих і відмінних функціональних результатів у всіх хворих у ранньому післяопераційному періоді.*

***Ключові слова:** 3D-моделювання, пластикові прототипи, доопераційна підготовка хворих.*

**Вступ.** Адитивні (3D) технології активно впроваджуються у повсякденну медичну практику. 3D-моделювання та прототипування застосовуються в різних галузях хірургії при плануванні та виконанні оперативних втручань [1-3]. У наш час розробка нових і впровадження відомих методик 3D-моделювання та прототипування в комплексі діагностичних заходів при травматологічній та ортопедичній патології — перспективний напрямок, що є цікавим як з наукової, так і з практичної точки зору [4-6].

**Мета роботи.** Визначити діагностичну цінність використання адитивних технологій при доопераційній підготовці хворих із ортопедо-травматологічною патологією.

**Результат.** 3D-моделювання та виготовлення пластикових прототипів виконано у 14 пацієнтів, яким проведено складне ревізієне ендопротезування кульшового суглоба. Хворим у доопераційному періоді виконувались стандартні рентгенограми та комп'ютерну томографію уражених сегментів з метою побудови тривимірної моделі та пластикового прототипу ураженого сегмента [7-10]

Першим етапом створення фізичної 3D-моделі є обробка двовимірних зображень КТ- та МРТ-сканування. Аналіз, очищення артефактів відбувається на кожному зрізі та в трьох площинах конкретного дослідження, отриманого за допомогою променевої діагностики, що зумовлює додатковий аналіз кожного зрізу спеціалістом ортопедом-травматологом та високу точність у побудові тривимірного зображення.

Для обробки двовимірних зображень використовується спеціалізоване програмне забезпечення. Найбільш поширеним форматом введення даних для цих програм є DICOM, але також підтримуються інші формати зображень, такі як TIFF, JPEG, BMP і RAW. Основний формат файлів для тривимірного друку — STL.

Другим етапом є експорт збереженого файлу в форматі STL у програму Autodesk NetFabb, в якій проводиться автоматичне й ручне виправлення та редагування 3D-моделі. Поверхня об'єктів у цьому форматі являє собою сукупність полігонів (Polygon mesh). Інтелектуальні скрипти можуть автоматично аналізувати поверхні, виправляти помилки сіток, покращувати точність моделей шляхом повторної триангуляції, усувати просторові колізії та інші помилки. Програма дає можливість спрогнозувати можливі спотворення, що виникають у виробі під час 3D-друку, безпосередньо до запуску у виробництво.

Третім етапом є переведення готової 3D-моделі у програму «слайсер», яка безпосередньо підходить до самого 3D-принтера, в нашому випадку Flash Print. На цьому етапі встановлюються кінцеві дані для 3D-друку, а саме: задають положення деталі під час друку, розраховується тип та кількість підтримок, задають щільність заповнення моделі, обирають оптимальну швидкість та температуру для друку. Принтер друкує пластиковий прототип кістки в натуральну величину. Даний вид пластику легко обробляється фрезами та іншими хірургічними інструментами, що дає змогу примірити вибрану імплантаційну систему.

Пластикові моделі застосовувались у процесі передопераційної підготовки до складного та ревізієного ендопротезування кульшового суглоба. Ця технологія дає можливість оцінити розміри дефектів, точно підібрати ревізієну систему. Використання з метою визначення характеристик

дефектів кульшової западини чи проксимального відділу стегнової кістки та можливість примірки імплантаційної системи в передопераційному періоді хворих із нестабільністю компонентів ендопротезу кульшового суглоба пластикового прототипу дозволило зменшити час оперативного втручання, інтраопераційну крововтрату та добитися добрих функціональних результатів.

### Висновки

1. Проведене дослідження визначило високу діагностичну цінність використання адитивних технологій при доопераційній підготовці хворих із різною ортопедо-травматологічною патологією.
2. 3D-моделювання та виготовлення пластикового прототипу дозволяє підібрати оптимальну конструкцію імплантів та визначити їх правильне просторове розташування під час підготовки до оперативного втручання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 3D-Printed Biopolymers for Tissue Engineering Application / Xiaoming LI, Rongrong C., Lianwen S. et al. // International Journal of Polymer Science. — 2014. — Article: ID 829145.
2. Application of the polystyrene model made by 3D-printing rapid prototyping technology for operation planning in revision lumbar discectomy / Li C., Yang M., Xie Y. et al. // J. Orthop. Sci. — 2015. — № 20. — P. 475-480.
3. Berasi CC, Berend KR, Adams JB, Ruh EL, Lombardi AV. Are Custom Triflange Acetabular Components Effective for Reconstruction of Catastrophic Bone Loss? Clin Orthop Relat Res. 2015; 473(2): 528–535. doi: 10.1007/s11999-014-3969-z.
4. Goodman GP, Engh CA Jr. The custom triflange cup: build it and they will come. Bone Joint J. 2016;98-B(1 Suppl A):68-72. doi: 10.1302/0301-620X.98B.36354. 4
5. Li H, Qu X, Mao Y, Dai K, Zhu Z. Custom Acetabular Cages Offer Stable Fixation and Improved Hip Scores for Revision THA With Severe Bone Defects. Clin Orthop Relat Res. 2016;474(3):731-40. doi: 10.1007/s11999-015-4587-0.
6. Löchel J, Janz V, Hipfl C, Perka C, Wassilew GI. Reconstruction of acetabular defects with porous tantalum shells and augments in revision total hip arthroplasty at ten-year follow-up. Bone Joint J. 2019;101-B(3):311-316. doi: 10.1302/0301-620X.101B3.BJJ-2018-0959
7. Yurii O. Bezsmertnyi, Viktor I. Shevchuk, Sergii V. Pavlov, "Prognosis of efficacy of medical and social rehabilitation in disabled individuals with respiratory diseases", Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019, 1117633 (6 November 2019); <https://doi.org/10.1117/12.2537340>.
8. Yurii O. Bezsmertnyi, Sergii V. Pavlov, and etc. "Information model for forecasting of violation reparative osteogenesis of long bonds", Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019, 111762A (6 November 2019); <https://doi.org/10.1117/12.2536250>.
9. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (2019). Information Technology in Medical Diagnostics II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages, <https://doi.org/10.1201/9780429057618>. eBook ISBN 9780429057618.
10. Pavlov S. V. Information Technology in Medical Diagnostics //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press - 210 Pages. <https://doi.org/10.1201/9781315098050>. eBook ISBN 9781315098050.

**Безсмертний Юрій Олександрович** – д.мед.н., професор, заступник директора з наукової роботи НДІ РОІ ВНМУ ім. М.І. Пирогова, [bezsmertnyiyurii@gmail.com](mailto:bezsmertnyiyurii@gmail.com)

**Шевчук Віктор Іванович** - д.мед.н., професор, директор НДІ РОІ ВНМУ ім. М.І. Пирогова, [reab@ukr.net](mailto:reab@ukr.net)

**Бондаренко Дмитро Вадимович** - науковий співробітник НДІ РОІ ВНМУ ім. М.І. Пирогова, [dmytrobondarenko97@gmail.com](mailto:dmytrobondarenko97@gmail.com)

### THE USAGE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN SURGICAL ORTHOPEDICS

**Abstract.** The analysis of the diagnostic effectiveness value of the use of additive technologies in the preoperative preparation of patients with orthopedic and traumatological pathology was performed. The material of the study was 3D modeling and production of plastic prototypes in 14 patients who underwent complex revision hip joint replacement. The use of additive technologies made it possible to achieve good and excellent functional results in all patients in the early postoperative period.

**Keywords:** 3D modeling. plastic prototypes. preoperative preparation of patients.

**Bezsmertnyi Yurii Oleksiyovych** - Ph.D.,MD, professor, deputy for Research, Scientific Research Institute of Invalid Rehabilitation on the base of Vinnitsa Pirogov National Medical University, [bezsmertnyiyurii@gmail.com](mailto:bezsmertnyiyurii@gmail.com)

**Shevchuk Viktor Ivanovych** - Ph.D.,MD, professor, director of the Scientific Research Institute of Invalid Rehabilitation on the base of Vinnitsa Pirogov National Medical University, [reab@ukr.net](mailto:reab@ukr.net)

**Bondarenko Dmytro Vadimovych** - researcher of the Scientific Research Institute of Invalid Rehabilitation on the base of Vinnitsa Pirogov National Medical University, [dmytrobondarenko97@gmail.com](mailto:dmytrobondarenko97@gmail.com)



## INVESTIGATION OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF FIBER BRAGG GRATINGS WITH A DISCRETELY VARYING PERIOD

<sup>1</sup>Politechnika Lubelska, Lublin, Poland

<sup>2</sup>M.H.Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

### Abstract

*Chirped fiber Bragg gratings are widely used in fiber-optic communication systems in chromatic dispersion compensation devices. Such gratings can be widely used in the creation of sensitive elements of fiber-optic measuring systems based on arrays of Bragg gratings.*

**Keywords:** *Chirped fiber Bragg gratings, reflection coefficient, sensors, period.*

The technology of creating distributed fiber-optic phase interferometric sensors based on Bragg gratings requires recording arrays of gratings with specified reflection coefficients and spectrum width at half-height during the extraction of a fiber fiber [1].

It is known that type I Bragg fiber gratings can be recorded with almost any reflection coefficient and spectrum width at half-height, however, this requires the use of recording methods with a long exposure (10-20 min) [2], which cannot be done during the extraction of optical fiber. The use of type II gratings makes it possible to implement the technology of single-pulse recording of Bragg gratings with reflection coefficients up to 100% and the width of the reflection peak at half-height up to 1 nm [4]. However, type II gratings are characterized by a sharp dependence of the induced modulation of the refractive index in an optical fiber on the energy density in a laser pulse. This feature complicates obtaining a grating with the desired reflection coefficient, in addition, recording a type II grating into a fiber reduces the mechanical strength of the fiber fiber [3].

Therefore, in order to create a sensitive element of a fiber-optic FEED with the required ratio of the reflection coefficients of lattice pairs and a sufficient spectrum width at half-height, a method for obtaining chirped fiber Bragg gratings with a discretely varying period during optical fiber extraction was proposed and tested [4]. The main purpose of the work was to test the applicability of such gratings in distributed fiber-optic phase interferometric sensors. In order to achieve the goal of the work, experimental studies of the influence of various external influences on the spectral characteristics of Bragg gratings were carried out.

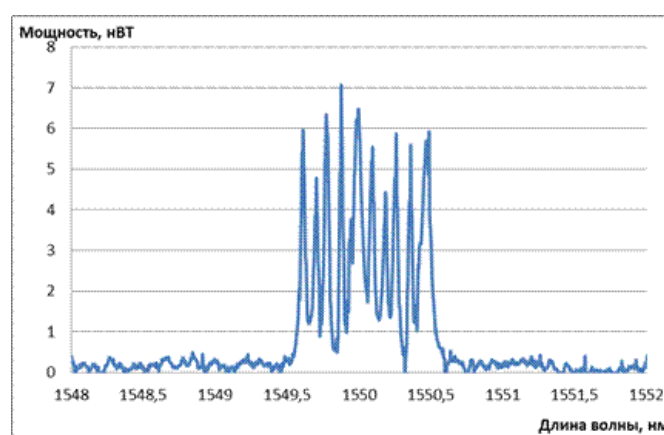


Figure 1. The spectrum of a fiber Bragg lattice with a discretely varying period

The effect of longitudinal mechanical stress. Using a device that creates a tension corresponding to

a given value of the applied force and an optical spectrum analyzer, the effect of fiber tension on the displacement of the central wavelength was checked. The experiment was carried out at applied force values from 4 to 20 N. The limit values are determined by the technical characteristics and capabilities of the device. A step of 1 N is enough to determine the dependence. The light source and the spectroanalyzer were connected through a splitter to a grid, which, in turn, was located in the area of the light guide, to which a mechanical longitudinal voltage was applied using a specialized apparatus. Based on the results, graphs were constructed, dependencies were obtained.

The effect of temperature exposure. It is known that a noticeable degradation of gratings, the formation of which is due to the electrostriction mechanism, is observed already at 200-300 °C [4]. In addition, a change in temperature leads to a change in the wavelength of the Bragg resonance, which may interfere with the correct operation of interferometric sensors. Thus, the task of this experiment was to obtain the dependence of the shift of the Bragg resonance with an increase in temperature, as well as to determine the maximum operating temperatures of the sensor based on type I VBR with a discretely varying period.

To conduct the experiment, a circuit was assembled that included, in addition to a radiation source and a spectroanalyzer, a thermal chamber controlled by a thermostat and an optical power meter. VBR was heated in a thermal chamber to 370 °C, its spectrum was continuously monitored on an optical spectroanalyzer. Figure 2 clearly demonstrates the shift of the spectrum to the long-wavelength region with increasing temperature, as well as a strong decrease in the reflection coefficient at a temperature of the thermal chamber of more than 140 °C. At a temperature of 280 °C, the spectrum of the grating practically became indistinguishable against the background of the noise of the optical circuit. A number of tests were carried out to determine the thermal stability of the grid. Several samples were successively kept in a thermal chamber for 3 hours and 20 minutes. at different temperatures. Degradation of the gratings was not observed at 100 and 120 °C.

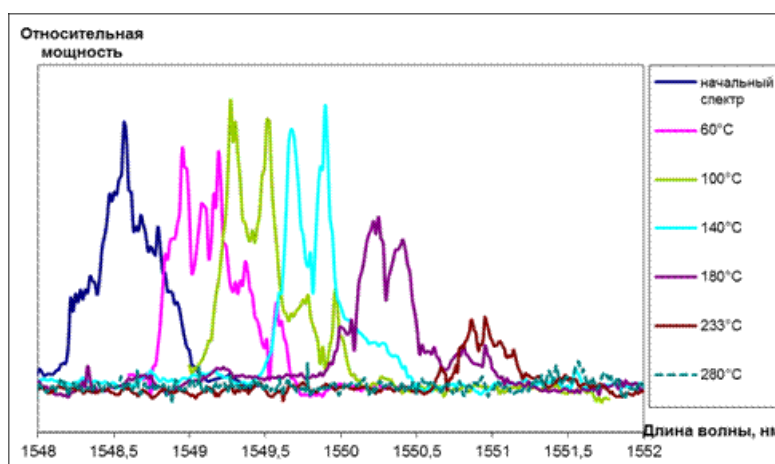


Figure 2. Dependence of the spectrum on temperature

The effect of winding. To study the effect of winding a fiber section with an induced lattice, rigging with different circles was used. The fiber section with the VBR was sequentially wound on diameters from 50 to 5 mm. The spectrogram was taken after winding on each diameter. The flow of radiation energy between the axes of the birefringent light guide was recorded. At the same time, the spectral distance between the reflection peaks did not change, there were no displacements up to the winding of the light guide to diameters less than 10 mm. After conducting the experiment on relatively large circles, winding on smaller ones occurred with a small effort necessary to overcome the elastic properties of the optical fiber, as a result, a uniform 0.2 nm displacement was observed on the spectrogram, when winding on the smallest diameter, the displacement was 0.4 nm. The change in the localization of the peaks was associated with the applied tensile force, as a result of which the quartz glass was stretched and the displacement characteristic of mechanical stretching occurred. The experiment allowed us to establish that for fiber gratings with a length of 100 mm, winding even on small diameters does not significantly affect the reflection spectrum of the lattice.

Dependence on the state of the introduced polarization. The dependence of the reflection coefficient of chirped fiber Bragg gratings with a discretely varying period on the state of polarization introduced into a birefringent light guide was investigated. To test this dependence, a scheme was assembled, the key elements of

which are a polarization controller and an extinction meter. 5 test samples were alternately included in the scheme. The difference in reflected energy from different polarization states did not exceed 2 percent. The results obtained allow us to judge the independence of the VBR with a discretely varying period from the state of the introduced polarization.

In the course of the work, various factors influencing the spectral characteristics of chirped fiber Bragg gratings with a discretely varying period were investigated. The number of sections of a chirped VBR with a discretely varying period is theoretically calculated to obtain a quasi-continuous lattice reflection spectrum.

Experiments with the creation of longitudinal mechanical stress have been carried out. The dependence of the displacement of the Bragg resonance on the applied tensile force is obtained. Experiments on thermal effects were carried out. The dependences of the shift of the spectrum of chirped fiber Bragg gratings with a discretely varying period on temperature are obtained. Experiments were conducted to determine the temperature resistance of the tested samples. The dependence of the reflection coefficient of chirped fiber Bragg gratings with a discretely varying period on the state of polarization introduced into a birefringent light guide is investigated. Winding on various diameters is made. The spectra of gratings wound on circles of different sizes are analyzed.

The studied samples have a sufficient half-height spectrum and reflection coefficient for use in phase interferometric sensors. To obtain a quasi-continuous reflection spectrum of the chirped VBR, it is necessary to increase the number of lattice sectors, respectively reducing the angle of displacement of the interferometer mirrors when recording the diffraction structure. Depending on the reflectivity requirements, such a structure can be recorded with the same length or longer.

## REFERENCES

1. Othonos, A. Fiber Bragg gratings / A. Othonos // Rev. Sci. Instrum. – 1997. – V. 68. – № 12.
2. Мешковкий отжиг решеток Брэгга при изготовлении волоконно-оптических фазовых интерферометрических датчиков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, - № 5. – С. 91-93.
3. Becker, M. Fiber Bragg Grating Inscription with UV Femtosecond Exposure and Two Beam Interference for Fiber Laser Applications / M. Becker, S. Bruckner, E. Lindner, M. Rothhardt, S. Unger, J. Kobelke, K. Schuster, H. Bartelt // Proc. of SPIE. – 2010. – V. 7750, .
4. Meshkovskiy I. K. Bragg Gratings Induced in Birefringent Optical Fiber with an Elliptical Stress Cladding / I. K. Meshkovskiy, V. E. Strigalev, A. V. Kulikov, S. V. Varzhel' // Journal of Photonics. – 2013. - Article ID 4 pages.
5. Vasyl V. Kukharchuk, Sergii V. Pavlov, Volodymyr S. Holodiuk, Valery E. Kryvonosov, Krzysztof Skorupski, Assel Mussabekova and Gaini Karnakova. Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors, Sensors 2022, 22, 271. <https://doi.org/10.3390/s22010271>.
6. Субмікронні та нанорозмірні структури електроніки / [З. Готра, І. Григорчак, С. Павлов та ін.]. - Чернівці : Технологічний Центр, 2014. – 839 с.

*Waldemar Wójcik - Director of the Institute of Digitalization and Computing Technology of Poland, Doctor of Technical Sciences, Lublin Technical University. e-mail: [waldemar.wojcik@pollub.pl](mailto:waldemar.wojcik@pollub.pl)*

*Shedreyeva Indira Bizhanovna— Ph.D., M.H.Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan, e-mail: [indisher@mail.ru](mailto:indisher@mail.ru)*

*Gaini Zharashkanovna Karnakova —Ph.D., M.H.Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan, e-mail: [gaini.karnakova@mail.ru](mailto:gaini.karnakova@mail.ru)*

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННИХ БРЕГГІВСЬКИХ РЕШТОК З ДИСКРЕТНО ЗМІННИМ ПЕРІОДОМ

**Анотація.** Чірпровані волоконні бреггівські решітки широко використовуються в волоконно-оптичних системах зв'язку в пристроях компенсації хроматичної дисперсії. Такі решітки можуть бути широко використані при створенні чутливих елементів волоконно-оптичних вимірювальних систем на основі масивів бреггівських решіток.

**Ключові слова:** чірпровані волоконні бреггівські решітки, коефіцієнт відбиття, датчики, період

**Вуйцік Вальдемар** - директор Інституту цифровізації та обчислювальних технологій Польщі, доктор технічних наук, Люблінський технічний університет. e-mail: [waldemar.wojcik@pollub.pl](mailto:waldemar.wojcik@pollub.pl)

**Шедреєва Індіра Біжанівна** – Ph.D., Таразський регіональний університет ім. М.Х.Дулаті, Тараз, Казахстан, e-mail: [indisher@mail.ru](mailto:indisher@mail.ru)

**Карнакова Гайні Жарасханівна** – Ph.D., Таразський регіональний університет ім.М.Х.Дулаті, Тараз, Казахстан, e-mail: [gaini.karnakova@mail.ru](mailto:gaini.karnakova@mail.ru)

## **ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ: ПЕРСПЕКТИВИ ТА РИЗИКИ**

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

<sup>2</sup>Вінницький національний медичний університет імені М. Пирогова

### *Анотація*

*Роботу присвячено аналізу перспектив та ризиків інноваційного розвитку біомедичної інженерії для покращення медичних технологій. Запропоновано враховувати основні критерії при визначенні переваг: етичні, правові та безпекові.*

**Ключові слова:** *біомедична інженерія, етичні аспекти, правові норми, безпека.*

Інноваційний розвиток біомедичної інженерії відкриває безліч широких перспектив для покращення медичних технологій та лікування, однак цей прогрес несе за собою значні ризики, пов'язані з етичними, правовими та безпековими питаннями.

По-перше, етичні виклики з'являються внаслідок появи нових можливостей в галузі біомедичної інженерії, наприклад, створення штучних органів, генетичне редагування або використання клітинних технологій. Деякі з цих можливостей включають:

- Розроблення та застосування нових матеріалів. Біомедична інженерія сприяє розробці та використанню нових матеріалів, таких як біокомпатибельні полімери, кераміка, метали та їх сплави. Це дозволяє створювати біомедичні пристрої, імплантати та протези з високою стійкістю, функціональністю та сумісністю з організмом.
- Розвиток та вдосконалення образної діагностики. Завдяки біомедичній інженерії з'являються нові методи образної діагностики, такі як магнітно-резонансна томографія (МРТ), комп'ютерна томографія (КТ), ультразвукова діагностика та оптична кохлеарна томографія. Ці методи дозволяють отримувати детальніше зображення внутрішніх органів та структур для ранньої діагностики та моніторингу захворювань.
- Розроблення імплантатів та протезів. Біомедична інженерія дозволяє створювати імплантати та протези, які замінюють або підсилюють функції органів та тканин. Це можуть бути штучні суглоби, серцеві клапани, штучні органи, протези кінцівок та інші. Використання таких пристроїв допомагає пацієнтам повернути втрачені функції та поліпшити їх якість життя.
- Розвиток терапевтичних та хірургічних методів. Біомедична інженерія сприяє розробці нових методів, таких як генно-клітинна терапія, лікарська доставка на основі нанотехнологій, електростимуляція та інші. Ці методи дозволяють точніше та ефективніше лікувати різні захворювання, включаючи рак, серцево-судинні захворювання, неврологічні розлади та інші.
- Застосування штучного інтелекту та аналізу даних. Біомедична інженерія використовує штучний інтелект та аналітику даних для покращення діагностики, прогнозування хвороб, підтримки рішень та індивідуального підходу до лікування. Автоматичне оброблення та аналіз великих обсягів медичних даних дозволяє виявляти закономірності та знаходити нові підходи до лікування.

Інноваційний розвиток біомедичної інженерії відкриває широкі перспективи для покращення медичних технологій та лікування, що може суттєво змінити підхід до охорони здоров'я. Однак, необхідно уважно розглядати та вирішувати питання про дозволеність та етичну припустимість таких втручань у природні процеси людського організму, а також про захист прав пацієнтів і межі маніпулювання життям.

Вдруге, інноваційні технології в біомедичній інженерії також потребують вирішення правових питань. Наприклад, виникають спірність і складнощі у забезпеченні інтелектуальної власності, патентуванні нових винаходів та їх комерціалізації. Крім того, необхідно розробити регуляторну базу для оцінки безпеки і ефективності нових медичних технологій перед їх впровадженням у клінічну практику.

По-третє, зростаюча складність та інтеграція біомедичних технологій призводять до появи нових безпекових викликів. Забезпечення захисту від несанкціонованого доступу до медичних пристроїв та систем, а також мінімізація ризику помилок та вразливостей, стають критичними завданнями. Крім того, необхідно забезпечити надійну та безпечну передачу та зберігання медичних даних, оскільки це має велике значення для конфіденційності пацієнтів та захисту їх особистої інформації.

Отже, хоча інноваційний розвиток біомедичної інженерії приводить до багатьох переваг і можливостей у сфері медицини, необхідно уважно враховувати етичні, правові та безпекові аспекти. Забезпечення відповідних механізмів контролю, ефективного регулювання та етичної відповідальності стане ключовим для успішного та безпечного розвитку цієї галузі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bhatia, S. N., & Ingber, D. E. (2014). Microfluidic organs-on-chips. *Nature biotechnology*, 32(8), 760-772
2. Ratner, B. D., Hoffman, A. S., Schoen, F. J., & Lemons, J. E. (Eds.). (2012). *Biomaterials science: an introduction to materials in medicine*. Academic press
3. Liao, R., Yan, J., Zhang, L., & Xu, Y. (Eds.). (2019). *Biomedical Engineering: Frontier Research and Converging Technologies*. Springer
4. Zhang, Y. S., Aleman, J., Arneri, A., Bersini, S., Piraino, F., Shin, S. R., ... & Khademhosseini, A. (2018). From cardiac tissue engineering to heart-on-a-chip: beating challenges. *Biotechnology advances*, 36(7), 1668-1684
5. Ravi, S., Chaikof, E. L., & Ahmad, R. (2015). Biomaterials for vascular tissue engineering. *Regenerative medicine*, 10(8), 1119-1130
6. Wang, Y., Wang, B., Wang, Q., Liu, S., Wang, T., & Song, C. (2017). Recent advances in biomedical engineering: current challenges and future directions. *BioMedical Engineering OnLine*, 16(1), 1-23

**Віштак Інна Вікторівна**, к. т. н., доц., доцент кафедри педагогіки безпеки та безпеки життєдіяльності, ВНТУ, e-mail: [innavish322@gmail.com](mailto:innavish322@gmail.com).

**Федотова Вікторія Володимирівна** — студентка 3 курсу медичного факультету №1, Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова, Вінниця

## INNOVATIVE DEVELOPMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING: PROSPECTS AND RISKS

### Abstract

*The work is devoted to the analysis of the prospects and risks of innovative development of biomedical engineering to improve medical technologies. It is proposed to take into account the main criteria when determining the benefits: ethical, legal and safe.*

**Keywords:** *biomedical engineering, ethical aspects, legal norms, safety.*

**Vishtak Inna Viktorivna**, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Safety Pedagogy and Life Safety, VNTU, e-mail: [innavish322@gmail.com](mailto:innavish322@gmail.com).

**Fedotova Viktoriia Volodymyrivna**. – 3d year student of the Medical Faculty №1, Vinnytsia National Medical University named by M. I. Pirogov, Vinnytsia

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ І КОНСТРУКТИВНИХ ФАКТОРІВ НА КОЕФІЦІЄНТИ ПИТОМОЇ ПРОБІГОВОЇ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТА ПИТОМОЇ ПРОБІГОВОЇ ПАЛИВОЄМНОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ ОПЕРАЦІЇ

<sup>1</sup>Національний транспортний університет

**Анотація.** При модернізаційному удосконаленні технології та організації автобусних перевезень потрібні закономірності впливу технічних і експлуатаційних факторів експлуатації міських автобусів на показники їх питомої пробігової енергоємності і паливоємності на маршрутах. Проте існуючі математичні моделі показників ефективності організації автобусних перевезень не забезпечують вирішення таких задач тому, що в них не відображені закономірності адаптивно-дискретного функціонування автобусу як транспортно-енергетичної машини та об'єкту керування складним рухом на міських маршрутах. Крім того, ці моделі засновані на нетехнологічному підході до опису процесу транспортування пасажирів, в них використаний принцип FUT- незмінності параметрів автобусів і автотранспортної технології (*freezing undescribed technology*). При аналізі продуктивності роботи автобуса і нормуванні витрат палива не враховується показник експлуатаційного завантаження автобусів. В роботі представлені результати імітаційного дослідження на моделях тестових транспортних операцій впливу довжини перегону між зупинками на автобусному маршруті, максимальної потужності двигуна при різних режимах руху автобуса (розгін, сталий рух) на коефіцієнти питомої пробігової енергоємності і паливоємності у тестовій операції.

**Ключові слова:** автотранспортна операція, автомобільно-транспортна технологія, технічні ресурси, енергоефективність, коефіцієнт питомої пробігової паливоємності, коефіцієнт питомої пробігової енергоємності.

**Основний текст.** Для аналізу впливу режимів руху автобуса між зупинками на коефіцієнти питомої пробігової енергоємності та питомої пробігової паливоємності при зміні експлуатаційних (довжина перегону  $l$ ) і конструктивних (максимальної потужності двигуна автобуса  $n_m$ ) факторів використано співвідношення (1,2) які показують наскільки відрізняється пробігова енерговитратність (паливовитратність) режиму розгону порівняно зі сталим рухом у заданому тестовому циклі їздки.

$$m_e = \frac{m_{ep}}{m_{ev}} = \frac{\sum E_p}{l_{cp}} \bigg/ \frac{E_{vm}}{l_{vm}}, \quad (1) \quad m_q = \frac{m_{qp}}{m_{qv}} = \frac{\sum Q_p}{l_{cp}} \bigg/ \frac{Q_{vm}}{l_{vm}} \quad (2)$$

де  $m_e$  – коефіцієнт питомої пробігової енергоємності;  $m_q$  – коефіцієнт питомої пробігової паливоємності;  $m_{ep}$  – показник пробігової енергоємності при розгоні, Мдж/м;  $m_{qp}$  – показник паливоємності при розгоні, Мдж/м;  $\sum E_p$  – сума енергетичних витрат фази розгону, МДж;  $\sum Q_p$  – сума витрат пального фази розгону, г;  $l_{cp}$  – шлях розгону, м;  $m_{ev}$  – показник пробігової енергоємності при сталому русі, Мдж/м;  $m_{qv}$  – показник паливоємності при сталому русі, Мдж/м;  $E_{vm}$  – витрати енергії фази сталого руху, МДж;  $Q_{vm}$  – витрати пального фази сталого руху, г;  $l_{vm}$  – шлях сталої фази руху, м.

Дослідження проведено при зміні довжини перегону  $l$  в діапазоні 200-2600 метрів. Отримано відношення показників пробігової енергоємності ( $m_e$ ) і пробігової паливоємності ( $m_q$ ) фази розгону до цих показників фази сталого руху, що представлено у таблиці 1.

Таблиця 1. – Значення коефіцієнтів питомої пробігової енергоємності та питомої пробігової паливоємності транспортної операції для автобуса МАЗ 103 при зміні довжини перегону  $l$

$l$	200	600	1000	1400	1800	2200	2600
$m_e$	4,843	4,467	4,433	4,421	4,414	4,411	4,407
$m_q$	3,623	3,341	3,316	3,307	3,302	3,299	3,297

Таблиця залежності коефіцієнтів питомої пробігової енергоємності та питомої пробігової паливоємності транспортної операції для автобуса МАЗ 103 від довжини перегону  $l$ , питома пробігова енергоємність і питома пробігова паливоємність є більшою для фази розгону, ніж для фази сталого руху. При довжині перегону 200 метрів значення коефіцієнтів питомої пробігової енергоємності  $m_e$  і питомої пробігової паливоємності  $m_q$  є найбільшими - 4,843 і 3,623 відповідно. На ділянці 200-2600 метрів спостерігається різке спадання значень коефіцієнтів питомої пробігової енергоємності  $m_e$  і питомої пробігової паливоємності  $m_q$  на 7,77%. На ділянці 200-2600 метрів спостерігається лінійне зменшення значень коефіцієнтів питомої пробігової енергоємності  $m_e$  і питомої пробігової паливоємності  $m_q$  на 1,3%.

Для аналізу коефіцієнтів питомої пробігової енергоємності ( $m_e$ ) та паливоємності ( $m_q$ ) автобусу у різних фазах транспортної операції автобуса при зміні максимальної потужності двигуна автобуса побудовано графік залежності коефіцієнтів питомої пробігової енергоємності та паливоємності руху автобусу у різних фазах транспортної операції (рис 1) при зміні значення максимальної потужності двигуна автобуса  $N_m$  в діапазоні -20%, +10% від заданої потужності в технічних характеристиках автобусів.

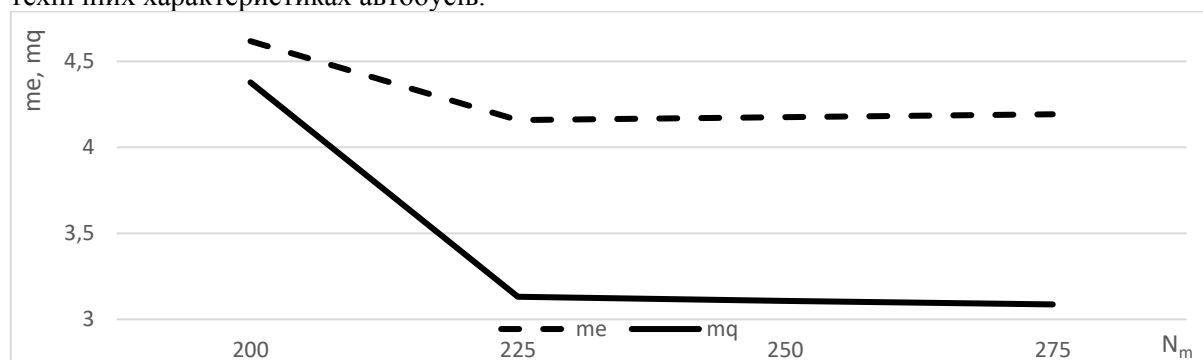


Рисунок 1 – Графік залежності коефіцієнтів питомої пробігової енергоємності та питомої пробігової паливоємності транспортної операції для автобуса МАЗ 103 при зміні максимальної потужності двигуна автобуса  $N_m$ .

Графік залежності коефіцієнтів питомої пробігової енергоємності та питомої пробігової паливоємності транспортної операції для автобуса МАЗ 103 при зміні максимальної потужності двигуна автобуса  $N_m$ , що представлено на рисунку 1 показує що при  $N_m = 200$  коефіцієнти  $m_e$  і  $m_q$  є найбільшими, тобто фаза розгону є більш паливоємною і енергоємною ніж фаза сталого руху.

*Федоренко Ірина Олександрівна*, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна, fedorenko.ntu@gmail.com

## ANALYSIS OF THE IMPACT OF OPERATIONAL AND DESIGN FACTORS ON THE COEFFICIENTS OF SPECIFIC MILEAGE ENERGY INTENSITY AND SPECIFIC MILEAGE FUEL INTENSITY OF A TRANSPORT OPERATION

**Abstract.** The modernisation of technology and organisation of bus transportation requires regularities of influence of technical and operational factors of city buses on the indicators of their specific mileage energy intensity and fuel consumption on routes. However, the existing mathematical models of bus transport efficiency indicators do not provide a solution to such problems because they do not reflect the laws of adaptive and discrete functioning of the bus as a transport and energy machine and an object of complex traffic control on urban routes. In addition, these models are based on a non-technological approach to describing the process of passenger transportation, using the FUT principle of freezing undescribed technology, which means that the parameters of buses and motor vehicle technology are unchanged. When analysing bus performance and rationing fuel consumption, the indicator of bus operational load is not taken into account. This paper presents the results of a simulation study on the models of test transport operations of the impact of the length of the run between stops on a bus route, the maximum engine power in different modes of bus movement (acceleration, steady motion) on the coefficients of specific mileage energy and fuel consumption in the test operation.

**Keywords:** motor transport operation, motor transport technology, technical resources, energy efficiency, coefficient of specific mileage fuel consumption, coefficient of specific mileage energy consumption.

**Iryna Oleksandrivna Fedorenko**, PhD student, National Transport University, Kyiv, Ukraine, fedorenko.ntu@gmail.com



**С.М. Шарай**  
**В.П. Сахно**  
**В.М. Поляков**  
**М.П. Рой**

## **НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ КЛАСТЕРІВ**

Національний транспортний університет, м. Київ

### **Анотація**

*Досліджуються засади наукового підходу до формування транспортно-логістичних кластерів, розглядаються заходи щодо подальшого розвитку кластеризації в Україні та питання розробки методологічних засад формування та вибору стратегії розвитку транспортно-логістичних кластерів.*

**Ключові слова:** кластеризація, засади формування кластеру, транспортно-логістичний кластер, методологія, стратегія розвитку, триланковий автопоїзд.

Застосування засад кластеризації в діяльності підприємств, які забезпечують виконання процесів доставки вантажів рухомих складом автомобільного транспорту, є однією з умов підвищення їх конкурентоспроможності та ефективності функціонування системи управління транспортним сектором країни в цілому. Формування транспортно-логістичних кластерів дає змогу підвищувати ефективність функціонування транспортного сектору за рахунок зниження витрат у сфері транспорту і логістики, сприяє розвитку інноваційної активності підприємств, які входять до складу кластера, та активізації залучення інвестицій. Питання дослідження наукових засад формування транспортно-логістичних кластерів, розробки методології їх створення та стратегії розвитку є актуальними при розбудові транспортної галузі України.

В роботах багатьох науковців, як зарубіжних, так і вітчизняних, розглядаються питання щодо створення кластерів. Ними визначено, що транспортно-логістичний кластер є системою, яка формується на основі концентрації підприємств, які взаємодіють і кооперуються між собою для спільного використання транспортних, логістичних, інформаційних, інвестиційних, інноваційних, технологічних, освітніх, наукових, інтелектуальних, маркетингових та інших можливостей для забезпечення підвищення економічної та соціальної ефективності своєї діяльності, та сприяє інноваційному розвитку кожного з учасників кластеру [1-4]. Транспортна складова є однією із найбільш ємних у функціонуванні транспортно-логістичного кластеру. При його формуванні важливо враховувати новітні розробки вітчизняних вчених та європейський досвід. Наприклад, з метою використання ефективних автотранспортних засобів, підвищення ефективності організації процесу перевезень вантажів за участю підприємств-учасників кластеру в країнах Європейського Союзу, США та Канаді останнім часом все більше використовуються багатоланкові автопоїзди, зокрема триланкові, що дозволяє підвищити вантажопідйомність і корисний об'єм автопоїзда на 40-60% у порівнянні з дволанковими автопоїздами, зменшити кількість їздок і пробігу на 32%, та загальної витрати палива – на 15% [5].

Незважаючи на важку ситуацію, в якій сьогодні опинилася економіка України через ведення бойових дій на її території, зростання обсягів зовнішньої торгівлі і відповідне зростання обсягів перевезень вантажів дає перспективи для розвитку транспортно-логістичних кластерів в Україні. В реальних умовах сьогодення формування транспортно-логістичного кластеру передбачає виконання спільних проектів учасниками кластеру шляхом створення єдиної системи, яка об'єднує підприємства, організації та установи різного рівня та виду їхньої основної діяльності для взаємодії та кооперації в межах кластеру. Тому для подальшого розвитку кластеризації в Україні необхідними є розробка заходів щодо мотивування потенційних учасників кластеру з метою їх зацікавленості у формуванні кластерних груп для підвищення їхньої стійкості та конкурентоспроможності на ринку транспортних послуг,



розробка заходів щодо залучення наукового потенціалу до процесів формування транспортно-логістичного кластеру з метою запровадження новітніх технологій та інновацій до методологічних засад формування та стратегії розвитку кластеру, розробка заходів щодо залучення потенційних інвесторів до формування кластеру, розробка на законодавчому рівні документів та внесення змін в існуючі щодо подальшого розвитку кластеризації в транспортній галузі країни. Дослідженнями засад наукових підходів до формування транспортно-логістичних кластерів визначено, що такий процес необхідно розглядати як єдину програму із певною кількістю взаємопов'язаних проектів. В процесі реалізації цих проектів координація діяльності потенційних учасників кластеру, у кластерній групі яких передбачається об'єднання наукових та освітніх установ, владних структур, інвесторів, виконавців та споживачів послуг, їх взаємодія та кооперація дозволить досягти бажаного фінансового результату. При розробці методології формування транспортно-логістичного кластеру, виборі стратегії його функціонування необхідно враховувати територіальні, технічні та організаційно-технологічні складові, можливість об'єднання яких дозволить учасникам транспортно-логістичного кластеру врахувати новітні розробки вітчизняних вчених, європейський досвід та досягти синергетичного ефекту.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковбатюк М.В. Створення кластерів як перспективний напрям адаптації транспортних підприємств / М.В. Ковбатюк, Н.Г. Бенник // Електронне наукове фахове видання "Ефективна економіка" – № 10, 2016 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=5188>
2. Карпенко О.О., Механізм кластеризації транспортно-логістичних підприємств. транспорту / О.О. Карпенко // Електронне наукове фахове видання "Ефективна економіка" – №10, 2015 [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.economy.nauka.com.ua/pdf/10\\_2015/73.pdf](http://www.economy.nauka.com.ua/pdf/10_2015/73.pdf)
3. Підвисоцький В.Г. Транскордонні кластери: європейський досвід створення та розвитку / В.Г. Підвисоцький, Т.В. Палпу // Формування ринкових відносин в Україні. 2011. – № 4. С. 28-35.
4. Ніколаєв Ю.О. Структура транспортно-логістичного кластера та процес його формування. / Ю.О. Ніколаєв // Вісник соціально-економічних досліджень. 2012. Вип. 1 (44). С.345-350.
5. Шкварко К.В. Довгомірні триланкові автопоїзди – новий етап розвитку автомобільних перевезень в Україні на шляху до Європи. / К.В. Шкварко // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів : наук. журнал. – К. : НТУ, ТАУ, 2003. – Вип. 17. – С. 146–152.

*Шарай Світлана Михайлівна* – к.т.н., доцент, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: [svetasharai@gmail.com](mailto:svetasharai@gmail.com).

*Сахно Володимир Прохорович* – д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: [svp\\_40@ukr.net](mailto:svp_40@ukr.net).

*Поляков Віктор Михайлович* – к.т.н., доцент, професор кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: [poljakov\\_2006@ukr.net](mailto:poljakov_2006@ukr.net).

*Рой Максим Петрович* – доктор філософії, асистент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: [7569027@ukr.net](mailto:7569027@ukr.net).

#### *Scientific approaches to the formation of transport-logistics clusters.*

##### **Abstract**

*The foundations of the scientific approach of formation the transport-logistics clusters are researches, the measures for the further development of clustering in Ukraine and the issues of developing methodological foundations for the formation of transport-logistics clusters and selection of a strategy of development are considered.*

**Key words:** clustering, foundations of cluster's formation, transport-logistics cluster, methodology, development strategy, three-link road train.

*Sharai Svitlana* – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of International Transport and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: [svetasharai@gmail.com](mailto:svetasharai@gmail.com).

*Sakhno Volodymyr* – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Automobiles, National Transport University, Kyiv, e-mail: [svp\\_40@ukr.net](mailto:svp_40@ukr.net).

*Poljakov Victor* – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Automobiles, National Transport University, Kyiv, e-mail: [poljakov\\_2006@ukr.net](mailto:poljakov_2006@ukr.net).

*Roi Maksym* – Doctor of Philosophy, Assistant of the Department of International Transport and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: [7569027@ukr.net](mailto:7569027@ukr.net).

## СИСТЕМА МОДУЛЬНОГО МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ОСНОВІ СІДЛОВИХ ЕЛЕКТРОБУСІВ

Науково-технічний центр "Автополіпром"

### Анотація

*Запропонована концепція створення модульної системи електробусного транспорту для здійснення міських перевезень пасажирів у періоди з різною інтенсивністю пасажиропотоків. Наведений варіант системи модульного проектування міських сідлових електробусів типу ОНС та оцінені їх основні розмірні параметри та параметри пасажировмістимості.*

**Ключові слова:** міський сідловий електробус, модульний електротранспорт, пасажировмістимість, інтенсивність пасажиропотоків.

На нинішній час для перевезень пасажирів на міських маршрутах все зростаючого застосування набувають міські електробуси різних типів. Для сучасного стану економічного розвитку сфери пасажирських перевезень найбільш доцільними для створення та експлуатації являються електробуси типу ОНС, обладнані системою повільного заряджання тягових акумуляторних батарей (АКБ) у нічний час доби. Проте, електробусам цього типу притаманні ряд суттєвих недоліків, зокрема, значно менша номінальна пасажировмістимість у порівнянні з дизельними автобусами з кузовами однакової довжини. Тягові АКБ великої енергопотужності, необхідної для забезпечення денного пробігу хоча б до 200 км без їх додаткового заряджання, якими обладнані електробуси з кузовами довжиною біля 12,0 м, мають масу 3000-3500 кг. Тому, навіть за умови регламентованої допустимої маси електробусів 19500 кг, яка на 1500 кг більша за допустиму для двомостових автобусів, їх пасажировмістимість становить всього 65-89 чол. проти 100-106 чол. у найбільш поширених дизельних автобусів з кузовами 12,0 м. Інший недолік полягає у тому, що у періоди з малою інтенсивністю пасажиропотоків експлуатація таких електробусів вкрай не ефективна, адже більшість електроенергії тягових АКБ витрачається для їх руху, а не для перевезень пасажирів.

Напрямки зменшення впливу цих недоліків на показники експлуатаційної ефективності міських електробусів типу ОНС, які полягають в оптимізації довжини кузовів електробусів та у застосуванні систем заміни розряджених блоків тягових АКБ під час робочих змін на заряджені, наведені у роботах [1].

У даній роботі запропонована система модульного міського сідлового електробусного транспорту, яка, з метою збільшення номінальної пасажировмістимості та підвищення ефективності експлуатації міського електробусного транспорту у періоди малої інтенсивності пасажиропотоків на маршрутах, передбачає застосування міських електробусів типу ОНС у вигляді сідлових потягів, тобто:

- міський електробус типу ОНС розділений на два модулі: модуль ДСТ – двомостовий сідловий тягач та модуль ОПНПр – одномостовий пасажирський напівпричіп (рис.1);

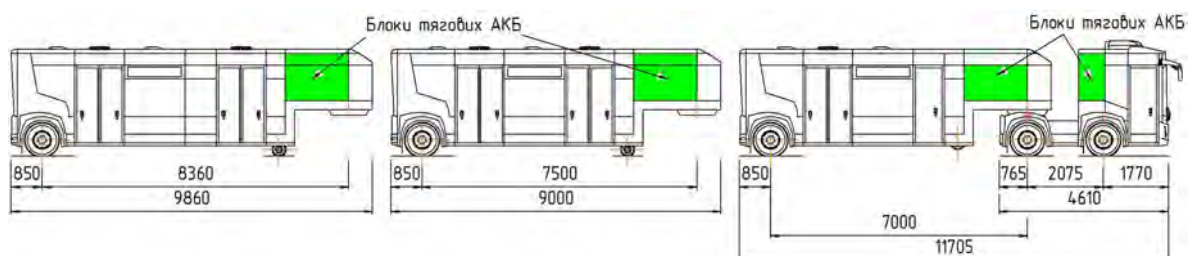


Рис. 1. Типорозмірний ряд модульних міських сідлових електробусів типу ОНС

- модуль ДСТ виконаний з мінімізованою колісною базою і обладнаний тяговим мостом з незалежною підвіскою коліс, блоком тягових АКБ та системою керування тяговим приводом;

- модуль ОПНПр виконаний у кількох типорозмірах за довжиною кузова і, відповідно, за номінальною пасажиромістимістю та обладнаний блоком тягових АКБ і двома або трьома подвійними пасажирськими дверима;

- енергопотужність блоків тягових АКБ модуля ДСТ розрахована на його переміщення без модуля ОПНПр, як мінімум, на протязі однієї робочої зміни;

- рух сідлового електробуса на протязі заданого автономного пробігу забезпечується енергопотужністю блоків тягових АКБ лише модуля ОПНПр.

Оскільки під час денної зміни сідловий електробус повинен використовувати модулі ОПНПр з різною номінальною пасажиромістимістю відповідно до середньостатистичної інтенсивності пасажиропотоків у відповідні періоди перебування на маршруті, вони можуть бути обладнані такою кількістю блоків тягових АКБ, енергопотужність яких достатня для подолання необхідного автономного пробігу.

Основні розмірні параметри та параметри пасажиромістимості пропонуваніх сідлових електробусів у порівнянні з електробусами типу ONC з довжиною кузовів біля 12,0 м наведені на рис. 1 та у табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри пасажиромістимості сідлових та класичних міських електробусів типу ONC

Модель/ проєкт електробуса	АПП-СЕ01	АПП-СЕ02	АПП-СЕ03	E19 Електрон	Lion C[ty 12e
Повна конструктивна маса, кг	28000 (допустима)			19000	19500
Довжина кузова, м	-			12,0	12,2
Довжина сідлового електробуса, м	11,705	12,195	13,055	-	
- довжина напівпричепи, м	8,5	9,0	9,86	-	
Номінальна містимість, чол.	61	67	77	80	88
- сидячих	15	16	20	34	25
- стоячих	46	51	57	46	63

Аналіз номінальної пасажиромістимості сідлових та класичних (колісна формула 4x2.2) електробусів типу ONC показує, що номінальна пасажиромістимість сідлового електробуса проєкту АПП-СЕ03 загальною довжиною 13,055 м практично співставима з містимістю класичного електробуса моделі E19 "Електрон", довжина кузова якого лише на 1,055 м менша, але величина автономного пробігу лише 160 км проти понад 200 км для сідлового електробуса.

Хоча, експлуатація пасажирських напівпричепів ще у минулому столітті була заборонена, але експлуатація такого пасажирського електричного транспорту видається цілком доцільною і при відповідних конструктивних рішеннях цілком безпечною.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтків С. В. Напрямки створення конкурентоспроможних міських електробусів великого класу. Зб. наук. матер. міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. "Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту". Кропивницький : ЦНТУ, 2019. С. 13-24.
2. Войтків С. В. Аналіз технічної досконалості міських електробусів різних типів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: Харків : ХНАДУ, 2022. 21. С. 64-78.

**Войтків Станіслав Володимирович**, к.т.н., Заслужений машинобудівник України, генеральний конструктор, Науково-технічний центр "Автополіпром", м. Львів, voytkivsv@ukr.net.

#### SYSTEM OF MODULAR CITY PASSENGER TRANSPORT BASED ON SADDLE ELECTRIC BUSES

##### **Abstract**

*The proposed concept of creating a modular system of electric bus transport for urban transportation of passengers in periods with different intensity of passenger traffic. A variant of the modular design system of ONC-type urban saddle electric buses is presented and their main dimensional parameters and parameters of passenger capacity are evaluated.*

**Keywords:** urban saddle electric bus, modular electric transport, passenger capacity, intensity of passenger traffic.

**Voytkiv Stanislav V.** – Cand. Sc. (Eng), general designer "Scientific and technical center "Autopoliprom", The deserved machine engineer of Ukraine, e-mail: voytkivsv@ukr.net

## ОГЛЯД І АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖНИХ ВЕЛОЕЛЕКТРОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ L1e-A

Науково-технічний центр "Автополіпром"

### Анотація

*Розглянуті конструкції велоелектромобілів – вантажних транспортних засобів з гібридним тяговим приводом (мускульним водія та електричним) категорії L1e-A. Наведені компонувальні схеми таких транспортних засобів, їх основні розмірні параметри та параметри мас і вантажопідйомності.*

**Ключові слова:** велоелектромобіль категорії L1e-A, компонувальна схема, конструктивні параметри.

У багатьох містах європейських та інших країн світу набули поширення вантажні велоелектромобілі – транспортні засоби, обладнані гібридним тяговим приводом – мускульним (водія) та електричним. Вони широко застосовуються, наприклад, такими компаніями як "Amazon.com, Inc.", для доставляння невеликих і легких вантажів безпосередньо споживачам або замовникам [1].

Такі транспортні засоби належать до категорії L1e-A, до якої відносяться три- або чотириколісні веломобілі, обладнані окрім педального приводу допоміжним електричним тяговим двигуном номінальною безперервною потужністю не більше 1,0 кВт. Максимальна швидкість таких транспортних засобів не повинна бути вищою за 25 км/год. При досягненні цієї швидкості привід від електродвигуна припиняється [2].

Проте, потужність тягового електродвигуна велоелектромобілів не перевищує 0,25 кВт а максимальна швидкість обмежена на рівні 25 км/год. Такі обмеження, а також ширина не більше 1,0 м дозволяє рух таких транспортних засобів по виділених велосипедних доріжках [3].

За компонувальною схемою кабіни і розміщення переднього моста можна виділити два основні типи велоелектромобілів – капотного типу (рис. 1а) та вагонного типу (рис. 1б-1г).



Рис. 1. Велоелектромобілі капотного типу (а) та вагонного типу (б, в, г):  
а) – "Citkar"; б) – "CityQ"; в) – "Mubea"; г) – "EAV eCargo"

За колісною формулою у конструкціях велоелектромобілів застосовують задній (4x2.1з) або передній (4x2.1п) привід (наприклад, на моделі "Citkar"). Механічний (мускульний) привід може здійснюватися безпосередньо на тягові колеса або на електричний генератор (рис. 2).

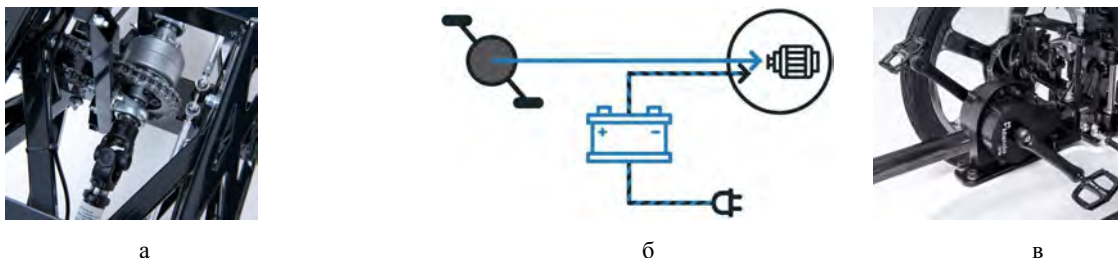


Рис. 2. Гібридний тяговий привід вантажних велоелектромобілів:  
а) – на тягові колеса керованого моста; б) і в) – привід з електричним генератором (безланцюговий)

Конструктивно, велоелектромобілі обладнуються незалежними підвісками коліс керованого і тягового мостів, велосипедними або мотоциклетними колесами.

Кабіни велоелектромобілів одномісні, зазвичай, без дверей у обох боковинах, обладнуються кермом велосипедного (мотоциклетного) типу, сидінням водія велосипедного типу або, іноді, жорстким сидінням автомобільного типу.

Основні технічні параметри велоелектромобілів категорії L1e-A і, для порівняння, електромобіля категорії L6-BU моделі "Antric One", наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Основні технічні параметри велоелектромобілів категорії L1e-A

Модель електромобіля	Citkar	Mubea	EAV eCargo	CityQ	Antric One
Вмістимість кабіни, чол.	1	1	1	1	1
Розмірні параметри, м:					
- довжина/ ширина/ висота	3,01/ 1,0/ 1,79	2,77/ 0,995/ 1,99	2,775/ 1,0/ 1,935	2,22/ 0,87/ 1,55	3,05/ 1,18/ 2,02
- колісна база	-	1,746	-	-	2,485
- вантажного кузова	0,67/ 0,96/ 1,12	1,27/ 0,907	1,32/ 1,0/ 1,45	-	1,57/ 0,82/ 1,78
Об'єм вантажного відсіку, м <sup>3</sup>	1,55	1,9	2,0	2,0	2,3
Параметри мас, кг: - повна					
- споряджена	415	500	420	350	615
- вантажопідйомність*	200	300	170	100	193
Параметри тягового приводу:					
- номінальна потужність, кВт	0,25	0,25	0,25	0,25	-
- тип АКБ	літій-іонні				LiFePO <sub>4</sub>
- ємність / потужність АКБ, А·год./ кВт·год.	1,44/	-/	-	-	-/
- напруга, В	-	48	48	-	-
- автономний пробіг, км	40	50	65	70-100	50
Максимальна швидкість, км/год.	-	25	25	25	25
Примітки: *3 масою водія					

У якості автономних джерел електроенергії застосовуються виключно літій-іонні тягові акумуляторні батареї (АКБ), які характеризуються малою питомою масою. Енергопотужність тягових АКБ забезпечує автономний пробіг у діапазоні 40-100 км

Габаритна довжина велоелектромобілів розглянутих моделей становить 2,2-3,01 м, споряджена маса – від 100 до 300 кг у залежності від ємності тягових АКБ, вантажопідйомність сягає 215-250 кг при повній конструктивній масі 350-500 кг.

Напрямок створення та застосування велоелектромобілів категорії L1e-A вважається найперспективнішим у сфері доставляння дрібних вантажів кінцевим замовникам і стрімко набирає все ширшого застосування у європейських країнах. Тому, видається доцільним розвиток цього напрямку електромобілебудування і в Україні.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Wilhelm E., Hahn W., Kyburz M. Kyburz Small Electric Vehicles: A Case Study in Successful Deployment. Ewert A. et al. (eds.), Small Electric Vehicles, 2021. P. 143-155. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-65843-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-65843-4_11).
2. Regulation (EU) No 168/2013 of the European Parliament and of the Council of 15 January 2013 on the approval and market surveillance of two- or three-wheel vehicles and quadricycles (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union, L60.
3. Directive 2006/126/EC of the European Parliament and of the Council of 20 december 2006 on driving licences (Recast). Official Journal of the European Union, L403

**Войтків Станіслав Володимирович**, к.т.н., Заслужений машинобудівник України, генеральний конструктор, Науково-технічний центр "Автополіпром", м. Львів, voytkivsv@ukr.net.

#### OVERVIEW AND ANALYSIS OF STRUCTURES VELOELECTRIC VEHICLE OF CATEGORY L1e-A

##### Abstract

The considered designs of bicycle-electric vehicles are cargo vehicles with a hybrid traction drive (driver's muscle and electric) category L1e-A. The layout diagrams of such vehicles, their main dimensional parameters and parameters of mass and carrying capacity are presented.

**Keywords:** veloelectric vehicle of category L1e-A, layout diagram, structural parameters.

**Voytkiv Stanislav V.** – Cand. Sc. (Eng), general designer "Scientific and technical center "Autopoliprom", The deserved machine engineer of Ukraine, e-mail: voytkivsv@ukr.net

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСУ ВІДКЛЮЧЕННЯ ПОРШНЯ В БЕЗШАТУННОМУ ДВИГУНІ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

<sup>1</sup> Придніпровська державна академія будівництва та архітектури;

<sup>2</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

### Анотація

Запропоновано методику розрахунку процесу відключення циліндрів в безшатунному двигуні внутрішнього згоряння. Модель передбачає можливість диференційовано розглядати вплив на процес спрацьовування механізму відключення циліндрів різних конструктивних та експлуатаційних чинників двигуна.

**Ключові слова:** модель, відключення циліндрів, процес, параметри, поршень, безшатульний двигун.

### Вступ

Максимальна потужність двигуна використовується під час експлуатації автомобіля лише нетривалий час. Основну частину роботи ДВЗ становлять режими холостого ходу і малих навантажень. Водночас максимальна паливна економічність досягається двигуном під час використання 70-80 % своєї потужності, тому на часткових режимах ДВЗ мають так званий недобір економічності. Сутність відключення циліндрів полягає в тому, щоб на часткових режимах виключити з роботи їхню частину, а ті, що залишилися, змусити працювати з більшим навантаженням, тобто на 70-80 % від максимально можливої потужності циліндрів, які залишилися в роботі. Вимкнення циліндрів реалізується за двома напрямками: із зупинкою деталей поршневої групи і без неї [1]. На двигунах класичних схем реалізувати відключення циліндрів шляхом зупинки поршня дуже складно. Одним із можливих конструктивних варіантів двигуна, який дає змогу застосувати механізм відключення циліндрів, є безшатульний ДВЗ, у якому замість звичайного кривошипно-шатунного механізму застосовується кривошипно-кулісний механізм [2].

Метою роботи є розроблення методики розрахунку процесу відключення циліндрів в безшатунному двигуні внутрішнього згоряння.

### Результати дослідження

Увесь процес вимкнення поршня розглянуто окремо на двох ділянках руху пальця (рис.1).

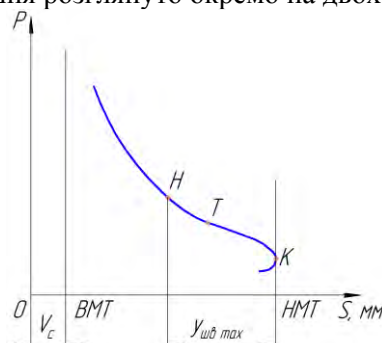


Рис. 1. Розрахункові ділянки процесу відключення поршня

На першій ділянці H-T застосовується кінематика пальця МВЦ, де дається математичний опис руху пальця.



На другій ділянці Т-К використовується друга основна задача динаміки відносного руху матеріальної точки, яка дає змогу знайти кінематичні рівняння руху пальця МВЦ за наявності всіх сил, прикладених до пальця.

*Перша ділянка Н-Т:*

Переміщення поршня  $s(\varphi)$  у момент початку відключення поршня дорівнює

$$S_H = S - y_{шв\max}, \quad (1)$$

де  $S$  – повний хід поршня;

$y_{шв\max}$  – максимальне переміщення штока вимикача, яке відповідає переміщенню пальця МВЦ на величину  $x_{\max} = 0,5d_{\Pi}$ .

$$y_{шв\max} = \frac{d_{\Pi}}{2\operatorname{tg}\beta}. \quad (2)$$

Тут  $\beta$  – кут між висотою і твірною конуса штока-вимикача;

$d_{\Pi}$  – діаметр пальця вимикача.

Величини  $d_{\Pi}$  та  $\beta$  вибирають із конструктивних міркувань, а також з умов швидкодії МВЦ, міцності та надійності.

Положення точки Н за кутом повороту колінчастого вала знаходимо, беручи до уваги формулу переміщення поршня

$$S_H = R(1 - \cos\varphi_H),$$

звідки, використовуючи залежності (1) і (2), отримаємо

$$\varphi_H = \arccos\left(\frac{d_{\Pi}}{S\operatorname{tg}\beta} - 1\right) + 360^\circ \quad (3)$$

*Друга ділянка Т-К.* На цій ділянці палець вимикача переміщується під дією таких сил:  $R_x$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $S_B$  (див. рис.2.). Початковими умовами для цієї ділянки є переміщення пальця вимикача наприкінці першої ділянки  $x_t$  і його швидкість  $v_m$ .

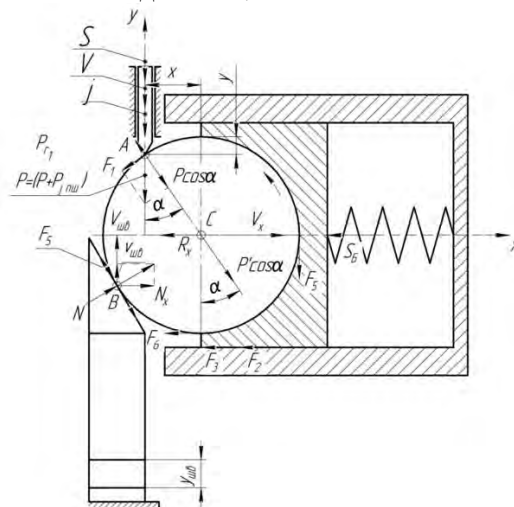


Рис. 2. Схеми до розрахунку процесів вимкнення поршня

Закон руху пальця вимикача під впливом цих сил будемо знаходити на підставі 2-го закону динаміки. Диференціальне рівняння прямолінійного руху має вигляд:

$$m \frac{dv_2}{dt} = m\omega \frac{d}{d\varphi} v_2 = \frac{1}{2} (P_r + P_{nu}) \sin 2\alpha - S_B - F_1 \cos \alpha - F_2. \quad (4)$$

Тут  $m$  – маса, приведена до пальця вимикача,

$$m = m_{nv} + m_{no} + \frac{1}{3} m_{np}, \quad (5)$$

де  $m_{y0}$  – маса пальця вимикача

$m_{п0}$  – маса напівобойми;

$m_{пр}$  – маса пружини.

Початкові умови:  $\varphi = \varphi_T; v_1 = v_T; x_1 = x_T;$  при  $Rx = 0$ .

Параметри у кінці відключення:  $x_2 = x_K = \frac{d_{II}}{2}$ ; невідомі –  $\varphi = \varphi_K; v_2 = v_K$ .

Інтегруючи функцію  $v_2(\varphi)$ , знаходимо переміщення пальця вимикача  $x_2$  залежно від часу, тобто кута  $\varphi$  повороту колінчастого вала.

### Висновки

Представлена математична модель добре моделює робочий процес МВЦ при застосуванні його в безштанному двигуні.

Модель передбачає можливість диференційовано розглядати вплив на процес спрацьовування МВЦ різних конструктивних та експлуатаційних чинників двигуна і механізму, а також вибору їх раціональних величин.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Осетров О. О. Визначення кількості та послідовності відключення циліндрів стаціонарного дизель-генератора на експлуатаційних режимах / О. О. Осетров, Є. І. Жуковський // Двигатели внутреннего сгорания. – 2019. – № 1. – С. 73-80.

2. Мищенко Н.И. Нетрадиционные малоразмерные двигатели внутреннего сгорания. В 2-х томах. Т. 1. Теория, разработка и испытание нетрадиционных двигателей внутреннего сгорания. – Донецк: «Лебедь», 1998 – 228 с.

3. Мищенко Н.И., Шляхов В.С., Юрченко Ю.В., Колесникова Т.Н. Деякі результати дослідження відключення циліндрів в автомобільному бензиновому двигуні внутрішнього згоряння // Двигуни внутрішнього згоряння, Харків, - 2014 – 34-36 с.

**Колеснікова Тетяна Миколаївна** — канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро, e-mail: tnk1403@ukr.net,

**Тодоров Владлен Юрійович** — студент групи 274-21-1, механіко-машинобудівний факультет, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, e-mail: Todorov.V.Y@nmu.one

#### *Determination of the quantitative content of liquefied gas components*

##### **Abstract**

*A methodology for calculating the process of cylinder shutdown in a rodless internal combustion engine is proposed. The model provides for the possibility of differentiated consideration of the influence of various structural and operational factors of the engine on the process of cylinder shutdown.*

**Keywords:** model, cylinder shutdown, process, parameters, piston, rodless engine.

**Kolesnikova Tetiana Mykolaivna** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machine Operation and Repair, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, e-mail: tnk1403@ukr.net,

**Todorov Vladlen Yuriiovych** - student of group 274-21-1, Faculty of Mechanical Engineering, National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, e-mail: Todorov.V.Y@nmu.one



## ПЕРСПЕКТИВИ ЗАЛУЧЕННЯ ФАХІВЦІВ З ЛОГІСТИЧНОГО КОНСАЛТИНГУ ДО УДОСКОНАЛЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

<sup>1</sup> Національний транспортний університет

### **Анотація**

*Запропоновано залучення підприємств, що надають послуги з логістичного консалтингу до оптимізації і систематизації існуючих структурних підрозділів транспортно-логістичних організацій та планування перспективних напрямків їх діяльності в умовах ринкових змін.*

**Ключові слова:** логістичний консалтинг, логістичний ланцюг, оптимізація, транспортно-логістичне обслуговування, систематизація, зовнішньоторговельна операція.

### **Вступ**

Діяльність підприємств транспортної галузі під час війни в Україні зазнала значних змін, пов'язаних з переорієнтацією ринків надання послуг, зміни маршрутів доставки через обмеженість доступу до деяких пунктів пропуску і значними чергами на діючих об'єктах інфраструктури. Не менш складним залишається кадрове питання, оскільки, значна частка фахівців жіночої статі перебувають закордоном, а чоловічої – знаходяться на військовій службі. Перед керівниками підприємств постало питання адаптації їх функціональних підрозділів до вимог ринку та задоволення потреб у обслуговуванні основних замовників.

### **Результати дослідження**

На сьогоднішній день всі підприємства транспортно-логістичного комплексу, які потребують послуг з логістичного консалтингу можна розподілити на три категорії: перша – це підприємства, яким необхідно удосконалення існуючих напрямків діяльності шляхом їх оптимізації та систематизації, друга – включає в себе створення та впровадження нових структурних підрозділів, планування їх кадрового і матеріально-технічного забезпечення для задоволення потреб основних замовників у обслуговуванні, конкурентоспроможності підприємства на національному та міжнародному ринках; третя – передбачає розробку проєктів зовнішньоторговельних операцій з формуванням логістичного ланцюга та залучення до його структури організацій, які відповідають потребам замовника. Здебільшого, здійснити такі дії організаціям самостійно досить складно і існує ризик допущення помилок, що в кінцевому випадку матимуть негативні наслідки як для самого виконавця транспортно-логістичних послуг, так і для замовника. Тому в якості альтернативи доцільним є залучення підприємств, що надають послуги з логістичного консалтингу до оптимізаційних рішень в організаційно-технологічному забезпеченні профільних організацій [1].

В умовах ведення війни в країні зростають ризики, пов'язані з господарською діяльністю суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності та об'єктів митно-логістичної інфраструктури, які залучаються до процесу доставки товари. В зв'язку з цим виникають об'єктивні труднощі при формуванні логістичного ланцюга, а саме з оцінкою доцільності залучення посередницьких організацій у якості його ланок з урахуванням індивідуальних вимог замовника та категорії його діяльності [2].

При здійсненні зовнішньоторговельних операцій експортери самостійно організують взаємодію з організаціями, які залучаються до надання транспортних та митно-логістичних послуг. Здебільшого виробничі та торгові підприємства мають налагоджені партнерські зв'язки

з посередницькими організаціями. Але застосування такої процедури під час війни в країні є досить ризиковим у зв'язку з ліквідацією або обмеженими ресурсами у діяльності суб'єктів господарювання через відсутність необхідного кадрового або матеріально-технічного забезпечення. Тому досить актуальною є потреба у залученні до роботи нових підприємств, здатних до забезпечення потреб замовника. Проте, процедура погодження з ними співпраці може займати тривалий час на перевірку законності підстав їх діяльності і можливості надання необхідного спектру послуг [3]. Обґрунтованим є самостійне налагодження співпраці з посередницькими організаціями тільки за умови наявності у штаті підприємств-експортерів відділу або фахівця з логістики, здатного надати експертизу такого рівня та при умові наявності відкритої та актуальної інформації про поточний стан діяльності суб'єкта господарювання. При спробі вийти за ці обмеження для підвищення ефективності виконання зовнішньоторговельних операцій виникають об'єктивні труднощі, що пов'язані з відсутністю достовірної інформації про наявні ресурси підприємства для управління товарними, матеріальними та інформаційними потоками [4].

### Висновки

Встановлено, що залучення фахівців з логістичного консалтингу до удосконалення роботи підприємств транспортної та суміжної галузей забезпечать високий рівень довіри до українських суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності на світовому ринку товарів і послуг.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пудичева Г. О. Вплив логістики на конкурентоспроможність підприємства / Г. О. Пудичева, С. М. Цуркан, В. С. Малишко // Теоретичні, методологічні та практичні аспекти конкурентоспроможності підприємств : монографія / за заг. ред. проф. О.Г. Янкового. – Одеса: Атлант, 2017. – С. 191-198.
2. Nahorniу, Y., Orda O., & Kondratenko, D. (2020). Вибір оптимальної транспортно-технологічної схеми доставки вантажів у міжнародному сполученні. *Автомобільний транспорт*, (47), 44. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2020.47.0.44>.
3. Полянська А. С., Мартинець В. Б., Кабан О. В. Оптимізація ланцюга постачання на підприємстві в умовах кризових явищ // Актуальні проблеми розвитку економіки регіону. - 2022. - Вип. 18(2). - С. 112-127.
4. Наконечна Т.В., Прокопенко К.О. Семенова А.К. Логістичний консалтинг як інструмент підвищення ефективності бізнес-процесів. Режим доступу: [http://www.econ.vernadskvjournals.in.ua/journals/2020/31\\_70\\_6/23.pdf](http://www.econ.vernadskvjournals.in.ua/journals/2020/31_70_6/23.pdf).

**Лебідь Євгеній Михайлович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, e-mail: [yevhenii2018lebid@gmail.com](mailto:yevhenii2018lebid@gmail.com).

**Лужанська Наталія Олександрівна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, e-mail: [Natali.Luzhanska@gmail.com](mailto:Natali.Luzhanska@gmail.com).

**Лебідь Ірина Георгіївна** – к.т.н., доцент, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, e-mail: [i.h.lebed@gmail.com](mailto:i.h.lebed@gmail.com).

### *Prospects of involving logistics consulting specialists in improving the activities of transport industry enterprises*

#### **Abstract**

*It is proposed to involve enterprises that provide logistics consulting services in the optimization and systematization of existing structural units of transport and logistics organizations and the planning of prospective directions of their activity in the conditions of market changes.*

**Keywords:** logistics consulting, logistics chain, optimization, transport and logistics service, systematization, foreign trade operation.

**Lebid Ievgenii** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Law and Logistics, National Transport University, e-mail: [yevhenii2018lebid@gmail.com](mailto:yevhenii2018lebid@gmail.com).

**Luzhanska Nataliia** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Interational Transportation and Customs Control, National Transport University, e-mail: [Natali.Luzhanska@gmail.com](mailto:Natali.Luzhanska@gmail.com).

**Lebid Iryna** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University, e-mail: [i.h.lebed@gmail.com](mailto:i.h.lebed@gmail.com).

## ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНОГО ВМІСТУ КОМПОНЕНТІВ СКРАПЛЕНОГО ГАЗУ

<sup>1</sup> Національний транспортний університет

***Анотація** Запропоноване поняття живучості транспортної системи як одне із важливих показників функціонування транспортної системи в умовах надзвичайних ситуацій військового, природного та техногенного характеру. Проаналізовано перелік факторів, які чинять вплив на зазначений показник транспортної системи та запропоновано перелік заходів, спрямованих на підвищення цього показника.*

**Ключові слова:** транспортна система, живучість системи, заходи підвищення живучості.

### Вступ

На сьогоднішній день транспортна система України функціонує в умовах широкомасштабної збройної агресії з боку росії. В цих умовах транспортна система виконує ряд життєво важливих функцій як з точки зору оборони, так і критично важливих для забезпечення стійкості економіки та реалізації соціальних функцій.

Зростання інтенсивності бойового застосування засобів повітряно-космічного нападу та зміни в поглядах противника на ведення війни, зокрема використання терористичних методів нападу на об'єкти цивільної транспортної інфраструктури з метою навмисного завдання шкоди та перешкоджання функціонуванню транспортної системи потребують суттєвого перегляду питань щодо реалізації основних транспортних функцій та забезпечення безперервного транспортного процесу. Потребують також додаткового вивчення питання перелік заходів щодо підвищення захищеності та живучості транспортної системи, що відносяться до складних систем, забезпечення її стійкості і, зокрема, живучості.

### Результати дослідження

В загальному випадку поняття живучість відноситься до комплексних властивостей складних систем. Комплексність цього поняття спричинена тим фактом, що вона проявляється в можливості зберігати та/або відновлювати (повністю або в наперед заданих/визначених межах) Комплексний характер цієї властивості визначається тим, що вона проявляється через можливість зберігати чи відновлювати стан спроможності при впливі вражаючих факторів. Ряд джерел надають свої визначення поняття живучості систем, які дещо відрізняються між собою. Однак, практично у всіх визначеннях їх суть зводиться до двох основних характеристик, які є основою і визначають основними характеристики живучості:

- Зберігати функціональну здатність;
- Відновлювати її.

Іншими словами, головними характеристиками складної системи з точки зору її живучості є:

- Невразливість – здатність системи зберігати функціональність при впливі факторів ураження;
- Адаптивність – здатність системи в разі ураження зупинити деструктивні процеси на максимально ранній стадії та забезпечити функціональність за рахунок залишених неушкодженими елементів системи;
- Відновлювальність – здатність системи відновити функціонування на повному (або необхідному на певному етапі) рівні за рахунок внутрішніх ресурсів та у терміни, які прийнятні для вирішення головних задач.

Зазначені характеристики можуть бути використані при дослідженні, аналізі та синтезі транспортних систем та їх елементів як незалежні. В той же час, для повної оцінки параметрів живучості транспортної системи необхідно використовувати інтегральний комплексний показник, який враховує всі три характеристики, що дозволить отримати повну та всебічну оцінку живучості системи.

Транспортна система характеризується тим, що всі елементи перебувають у достатньо жорстких, контрольованих та чітко регламентованих залежностях. Тобто, елементи системи впорядковані. Цей факт значно полегшує процес моделювання та напрацювання рішень щодо підвищення рівня живучості.

Задача аналізу та оцінки живучості носить комплексний характер, що робить неможливим прийняття рішень, базуючись лише на одному параметрі. Це створює необхідність розгляду багатокритеріальних показників. При цьому розгляд і визначення критеріїв необхідно здійснювати на етапі до початку планування створення, модернізації та розвитку системи. Критерії мають брати до уваги конструктивно-технологічні аспекти транспортної системи, потенційні фактори ураження її елементів, фактори та підходи до підвищення живучості. Наприклад, для транспортних систем можливо застосувати наступні критерії:

- критерії відповідності системи необхідним показникам продуктивності та реалізації параметрів якості функціонування в сукупності з оцінкою ступеня деградації елементів системи;
- критерії ефективності реконфігурації і перерозподілу ресурсів;
- критерії оцінки рівня відновлення системи після уражень та збоїв;
- критерії, що характеризують динаміку функціональності та продуктивності системи в умовах деградації окремих елементів (підсистем);
- критерії адаптабельності системи до факторів ураження, зовнішніх і внутрішніх змін;
- критерії економічної ефективності використання різних підходів та методів підвищення живучості системи.

На сьогодні сформувалась певна система поглядів та принципів досягнення позитивного ефекту в напрямку підвищення живучості систем. Ці принципи можуть бути формалізовані на основі аналізу матриці здатності системи та алгоритму переходу від логічних функцій станів здатності до імовірнісних функцій під час процесу моделювання адаптивності транспортної системи як чітко структурованої системи

На основі визначених вище підходів можливо запропонувати наступні принципи:

1. Елементи транспортної системи повинні прагнути до мінімізації структурної значимості при збільшенні стійкості;
2. структура системи повинна забезпечувати максимальну або достатню кількість станів спроможності;
3. система повинна прагнути до забезпечення спроможності за умови найменшої можливої кількості елементів;
4. стани спроможності системи повинні відповідати різним елементам системи.

Окремо необхідно наголосити на важливості фактору часу при розляді адаптації та відновлення систем, оскільки в критичних умовах час відіграє вирішальне значення для досягнення цілей функціонування системи.

Зазначені принципи повинні стати основоположними при вирішенні задач аналізу та синтезу заходів для підвищення живучості системи. Способами забезпечення живучості системи доцільно вважати реалізацію одного або одночасно декількох принципів. Відомі в теорії живучості систем способи забезпечення даної властивості реалізуються на різних ієрархічних рівнях –на рівні елементів, на рівні підсистем або на системному рівні [1].

## Висновки

Проаналізовано принципи та підходи до підвищення живучості транспортної системи з метою забезпечення виконання її функцій.

В подальших дослідженнях доцільно конкретизувати визначені вище поняття та принципи в прив'язці до різних видів транспорту та підсистем (підсистема управління, інфраструктура, рухомий склад тощо), а також розробити відповідні заходи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Глоба О.В. Безпека застосування та забезпечення живучості сил та засобів родів військ та спеціальних військ повітряних сил збройних сил України / Глоба О.В., Левченко М.А., Паталаха В.Г. // Повітряна міць України. – 2021. – вип. №1. – С. 83-87

**Красноштан Александр Михайлович** — канд. техн. наук, доцент кафедри менеджменту, Національний транспортний університет

***Determination of the quantitative content of liquefied gas components***

***Abstract***

*The proposed concept of the survivability of the transport system as one of the important indicators of the functioning of the transport system in the conditions of emergency situations of a military, natural and man-made nature. The list of factors influencing the specified indicator of the transport system was analyzed and a list of measures aimed at increasing this indicator was proposed.*

**Keywords:** *transport system, system survivability, measures to increase system survivability.*

**Krasnoshtan Olexander M.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Management, National Transport University, Kyiv

## ЖИВУЧІСТЬ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ЯК ВАЖЛИВИЙ ПАРАМЕТР В УМОВАХ ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ

<sup>1</sup> Національний транспортний університет;

***Анотація** Запропоноване поняття живучості транспортної системи як одне із важливих показників функціонування транспортної системи в умовах надзвичайних ситуацій військового, природного та техногенного характеру. Проаналізовано перелік факторів, які чинять вплив на зазначений показник транспортної системи та запропоновано перелік заходів, спрямованих на підвищення цього показника.*

**Ключові слова:** транспортна система, живучість системи, заходи підвищення живучості.

### Вступ

На сьогоднішній день транспортна система України функціонує в умовах широкомасштабної збройної агресії з боку росії. В цих умовах транспортна система виконує ряд життєво важливих функцій як з точки зору оборони, так і критично важливих для забезпечення стійкості економіки та реалізації соціальних функцій.

Зростання інтенсивності бойового застосування засобів повітряно-космічного нападу та зміни в поглядах противника на ведення війни, зокрема використання терористичних методів нападу на об'єкти цивільної транспортної інфраструктури з метою навмисного завдання шкоди та перешкоджання функціонуванню транспортної системи потребують суттєвого перегляду питань щодо реалізації основних транспортних функцій та забезпечення безперервного транспортного процесу. Потребують також додаткового вивчення питань перелік заходів щодо підвищення захищеності та живучості транспортної системи, що відносяться до складних систем, забезпечення її стійкості і, зокрема, живучості.

### Результати дослідження

В загальному випадку поняття живучість відноситься до комплексних властивостей складних систем. Комплексність цього поняття спричинена тим фактом, що вона проявляється в можливості зберігати та/або відновлювати (повністю або в наперед заданих/визначених межах) Комплексний характер цієї властивості визначається тим, що вона проявляється через можливість зберігати чи відновлювати стан спроможності при впливі вражаючих факторів. Ряд джерел надають свої визначення поняття живучості систем, які дещо відрізняються між собою. Однак, практично у всіх визначеннях їх суть зводиться до двох основних характеристик, які є основою і визначають основними характеристики живучості:

- Зберігати функціональну здатність;
- Відновлювати її.

Іншими словами, головними характеристиками складної системи з точки зору її живучості є:

- Невразливість – здатність системи зберігати функціональність при впливі факторів ураження;
- Адаптивність – здатність системи в разі ураження зупинити деструктивні процеси на максимально ранній стадії та забезпечити функціональність за рахунок залишених неушкодженими елементів системи;
- Відновлювальність – здатність системи відновити функціонування на повному (або необхідному на певному етапі) рівні за рахунок внутрішніх ресурсів та у терміни, які прийнятні для вирішення головних задач.

Зазначені характеристики можуть бути використані при дослідженні, аналізі та синтезі транспортних систем та їх елементів як незалежні. В той же час, для повної оцінки параметрів живучості транспортної системи необхідно використовувати інтегральний комплексний показник, який враховує всі три характеристики, що дозволить отримати повну та всебічну оцінку живучості системи.

Транспортна система характеризується тим, що всі елементи перебувають у достатньо жорстких, контрольованих та чітко регламентованих залежностях. Тобто, елементи системи впорядковані. Цей факт значно полегшує процес моделювання та напрацювання рішень щодо підвищення рівня живучості.

Задача аналізу та оцінки живучості носить комплексний характер, що робить неможливим прийняття рішень, базуючись лише на одному параметрі. Це створює необхідність розгляду багатокритеріальних показників. При цьому розгляд і визначення критеріїв необхідно здійснювати на етапі до початку планування створення, модернізації та розвитку системи. Критерії мають брати до уваги конструктивно-технологічні аспекти транспортної системи, потенційні фактори ураження її елементів, фактори та підходи до підвищення живучості. Наприклад, для транспортних систем можливо застосувати наступні критерії:

— критерії відповідності системи необхідним показникам продуктивності та реалізації параметрів якості функціонування в сукупності з оцінкою ступеня деградації елементів системи;

— критерії ефективності реконфігурації і перерозподілу ресурсів;

— критерії оцінки рівня відновлення системи після уражень та збоїв;

— критерії, що характеризують динаміку функціональності та продуктивності системи в умовах деградації окремих елементів (підсистем);

— критерії адаптабельності системи до факторів ураження, зовнішніх і внутрішніх змін;

— критерії економічної ефективності використання різних підходів та методів підвищення живучості системи.

На сьогодні сформувалась певна система поглядів та принципів досягнення позитивного ефекту в напрямку підвищення живучості систем. Ці принципи можуть бути формалізовані на основі аналізу матриці здатності системи та алгоритму переходу від логічних функцій станів здатності до імовірнісних функцій під час процесу моделювання адаптивності транспортної системи як чітко структурованої системи

На основі визначених вище підходів можливо запропонувати наступні принципи:

1. Елементи транспортної системи повинні прагнути до мінімізації структурної значимості при збільшенні стійкості;
2. структура системи повинна забезпечувати максимальну або достатню кількість станів спроможності;
3. система повинна прагнути до забезпечення спроможності за умови найменшої можливої кількості елементів;
4. стани спроможності системи повинні відповідати різним елементам системи.

Окремо необхідно наголосити на важливості фактору часу при розляді адаптації та відновлення систем, оскільки в критичних умовах час відіграє вирішальне значення для досягнення цілей функціонування системи.

Зазначені принципи повинні стати основоположними при вирішенні задач аналізу та синтезу заходів для підвищення живучості системи. Способами забезпечення живучості системи доцільно вважати реалізацію одного або одночасно декількох принципів. Відомі в теорії живучості систем способи забезпечення даної властивості реалізуються на різних ієрархічних рівнях –на рівні елементів, на рівні підсистем або на системному рівні [1].

## **Висновки**

Проаналізовано принципи та підходи до підвищення живучості транспортної системи з метою забезпечення виконання її функцій.

В подальших дослідженнях доцільно конкретизувати визначені вище поняття та принципи в прив'язці до різних видів транспорту та підсистем (підсистема управління, інфраструктура, рухомий склад тощо), а також розробити відповідні заходи.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Глоба О.В. Безпека застосування та забезпечення живучості сил та засобів родів військ та спеціальних військ повітряних сил збройних сил України / Глоба О.В., Левченко М.А., Паталаха В.Г. // Повітряна міць України. – 2021. – вип. №1. – С. 83-87

**Красноштан Александр Михайлович** — канд. техн. наук, доцент кафедри менеджменту, Національний транспортний університет

***Determination of the quantitative content of liquefied gas components***

***Abstract***

*The proposed concept of the survivability of the transport system as one of the important indicators of the functioning of the transport system in the conditions of emergency situations of a military, natural and man-made nature. The list of factors influencing the specified indicator of the transport system was analyzed and a list of measures aimed at increasing this indicator was proposed.*

**Keywords:** *transport system, system survivability, measures to increase system survivability.*

**Krasnoshtan Olexander M.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Management, National Transport University, Kyiv



## ЕЛЕКТРИЧНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ ЯК ВАЖЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

Луцький національний технічний університет,

**Анотація.** *Електричні транспортні засоби є найбільш масовими транспортними засобами, що перевозять людей та вантажі. Вони є надзвичайно важливим засобом мобільності, який дозволяє людям та товарів переміщуватись по всьому світу. Завдяки зростаючій турботі людей про довкілля, багато з них готові доплачувати за екологічний транспортний засіб, що є чудовою новиною для виробників електромобілів. Раніше індустрія електричних авто стикалася зі скептицизмом щодо переваг електромобілів. Найбільшою проблемою електромобілів залишається брак зарядних станцій, що раніше відштовхувало людей від покупки такого транспортного засобу. Однак, країни роблять усе можливе, щоб повернути до себе споживачів, забезпечуючи належну зарядну інфраструктуру.*

**Ключові слова:** *Електричні транспортні засоби, транспортні системи, інфраструктура, електромобіль, вантажний електромобіль*

Електричні транспортні засоби (ЕТЗ), такі як автомобілі, автобуси, літаки, поїзди, судна та інші, є важливим елементом транспортної системи, оскільки забезпечують пересування людей та вантажів з одного місця до іншого. Вони використовуються для подолання великих відстаней та забезпечення зручності та швидкості переміщення.- це транспортні засоби, які використовують енергію для приводу, наприклад, бензин, дизельне паливо, електрика або газ. Вони є важливим елементом транспортної системи і це дозволяє нашій економіці функціонувати та розвиватись.

ЕТС мають великий вплив на енергетичну безпеку та залежність країни від імпорту палива. Для зменшення цієї залежності, країни починають розвивати власні джерела енергії, такі як вітро- та сонячна енергія, та переходять на енергоефективні транспортні засоби. на сьогоднішній день, все більше уваги приділяється розробці транспорту з використанням відновлюваних джерел енергії, таких як електромобілі, гібриди, водневі машини та інші. Також, важливо враховувати вплив транспортних засобів на екологію та розробляти стратегії для зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Важливий елемент транспортної системи сучасний автомобіль далекий від ідеалу і його вдосконалення може значно допомогти у вирішенні проблем екологічної безпеки та енергетики. У процесі дослідження енергетичної ефективності машини можна розглядати всі аспекти її вдосконалення, такі як паливна економічність, екологічна безпека, надійність, комфортабельність, пасивна та активна безпека [1].

Підвищення енергетичної ефективності автомобіля прямо пов'язане з підвищенням коефіцієнта корисної дії його систем, агрегатів, вузлів та елементів. Коефіцієнт корисної дії у електромобілів складає 90-95%, що в кілька разів вище, ніж у двигунів внутрішнього згоряння (22-42%).

Електромобілі працюють за допомогою електричних двигунів, які не виділяють шуму, легко керуються і не забруднюють довкілля. Електрична трансмісія вимагає менше енергії для роботи, ніж звичайна механічна, і дуже легко регулюється. Усе це разом дозволяє вважати електромобіль найбільш перспективним автомобілем майбутнього.[2]

Сьогодні великі міста широко використовують невеликі вантажні автомобілі для доставки товарів. Використання вантажних електромобілів може мати широке застосування у локальній доставці пошти, доставці продовольчих та непродовольчих товарів до точок збуту, доставці придбаного товару до замовника тощо. Одним із способів модернізації транспортної системи та забезпечення екологічності та економічності є оновлення автопарку на вантажні електромобілі. З негативних факторів використання вантажних електромобілів є малий запас ходу, але це не

становить проблему для їх використання в межах одного міста, оскільки запас ходу таких автомобілів цілком достатній (100-200 км). Понад 300 повністю електричних малотоннажних вантажівок FUSO eCanter поставлено по всьому світу [3].

Електричні транспортні засоби можуть відігравати важливу роль у покращенні транспортної системи з точки зору екологічної стійкості та сталого розвитку. Ось кілька причин, чому електричні транспортні засоби важливі для транспортної системи:

1. Зменшення забруднення повітря: ЕТЗ не викидають в атмосферу шкідливих викидів, що зменшує забруднення повітря та сприяє покращенню якості повітря в містах.
2. Енергоефективність: Електричні транспортні засоби мають вищу енергоефективність порівняно з традиційними автомобілями з двигуном внутрішнього згоряння, що означає, що вони використовують менше енергії для приводу.
3. Економія коштів на паливі: Заряджання електричного транспорту коштує менше, ніж заправка традиційного автомобіля, що забезпечує економічну вигоду власникам транспорту.
4. Зменшення шуму: Електричні транспортні засоби не створюють шуму від викидів, що зменшує рівень шуму в містах та покращує якість життя мешканців.
5. Продуктивність: Електричні транспортні засоби можуть мати вищу продуктивність порівняно з традиційними автомобілями, оскільки вони мають менші витрати на обслуговування та мають більш довговічні деталі.

В цілому, електричні транспортні засоби можуть стати важливим елементом транспортної системи, яка сприяє сталому розвитку та зменшенню впливу транспорту на довкілля. Однак, щоб електричні транспортні засоби стали повноцінним елементом транспортної системи, необхідні певні умови. Наприклад, для ефективного використання ЕТЗ необхідна наявність достатньої кількості зарядних станцій, особливо в міських областях. Також потрібно розвивати технології батареї, які дозволять збільшити дальність ходу електричних автомобілів.

Для того, щоб забезпечити ефективну транспортну систему, має бути розвинена інфраструктура для електричних транспортних засобів, що включає в себе зарядні станції, відповідну інформаційну систему та інші необхідні засоби. Крім того, для ефективної роботи транспортної системи потрібно сприяти використанню ЕТЗ, шляхом надання пільг та знижок для власників таких транспортних засобів.

ЄС планує встановити нульовий рівень викидів для нових авто з 2035 року США взялися досягти ціль у 50% електромобілів від загальних продажів до 2030 року. Звичайно, для досягнення таких цілей потрібно паралельно розвивати інфраструктуру [4].

Отже, електричні транспортні засоби можуть стати важливим елементом транспортної системи, яка сприяє сталому розвитку та зменшенню впливу транспорту на довкілля. Для досягнення цієї мети необхідні інвестиції в інфраструктуру та технології, а також підтримка використання електричних транспортних засобів з боку влади та громадськості.

Також важливим елементом інфраструктури для електромобілів є мережа доріг, які мають підтримувати рух електромобілів. Дороги мають бути в хорошому стані, щоб забезпечувати безпечний і комфортний рух електромобілів, а також мати достатню кількість знаків і сигналів для орієнтації водіїв електромобілів.

Крім того, інфраструктура транспортних систем для електромобілів повинна містити систему підтримки технічного обслуговування і ремонту електромобілів, щоб забезпечити водіям можливість отримати кваліфіковану допомогу в разі необхідності.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гашук П.М. Енергія та упорядкований рух / Львів:Українські технології. 2004 – 608с.
- 2.Гречихін Л.І., Куць Н.Г. Енергетичні комплекси на транспорті. / Л.І Гречихін., Н.Г Куць – Мн.: ІООО «Право і економіка», 2013. – 258
3. [Електронний ресурс] – Режим доступу до джерела: <https://www.google.com/amp/s/hevcars.com.ua/mitsubishi-fuso-ot-daimler-postavil-300>
4. Антощенко Р.В., Аналіз глобального ринку автомобілів / Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проєктування, дизайн та технологічна експлуатація» – 2022. С. 41-44

**Надія Григорівна Куць**, Гранд-доктор філософії в галузі інформаційних технологій (енергетика), доцент, Луцький національний технічний університет, [kuts.nadia86@gmail.com](mailto:kuts.nadia86@gmail.com)

## **ELECTRIC VEHICLES AS AN IMPORTANT ELEMENT OF THE TRANSPORTATION SYSTEM**

**Abstract.** *Electric vehicles are the most popular means of transportation for both people and cargo. They are an incredibly important mobility tool that allows people and goods to move around the world. With increasing concern for the environment, many are willing to pay extra for eco-friendly transportation, which is great news for electric vehicle manufacturers. Previously, the electric vehicle industry faced skepticism about the advantages of electric vehicles. The biggest problem with electric vehicles remains the lack of charging stations, which used to discourage people from purchasing such a means of transportation. However, countries are doing everything possible to attract consumers by providing proper charging infrastructure.*

**Keywords:** *Electric vehicles, transportation systems, infrastructure, electric car, electric cargo vehicle.*

**Nadiia Hryhorivna Kuts**, Grand Doctor of Philosophy in the field of information technologies (energy), associate professor, Lutsk National Technical University, [kuts.nadia86@gmail.com](mailto:kuts.nadia86@gmail.com)

## АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОВІСНИХ АВТОМОБІЛІВ ТА БАГАТОЛАНКОВИХ АВТОПОЇЗДІВ

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>Національна академія Національної гвардії України

*Анотація.* У роботі визначено вплив аеродинамічних параметрів на показник енергетичної ефективності автомобіля. Визначено вплив причіпних ланок на енергетичну ефективність автомобільного поїзда. Зі збільшенням числа причіпних ланок відбувається збільшення маси вантажа, що перевозиться та зменшення ККД колісного рушія автопоїзда.

*Ключові слова:* енергетична ефективність, коефіцієнт корисної дії, автопоїзд, аеродинамічні параметри.

### Вступ

Ефективність будь-якого автомобіля визначається його тягово-швидкісними якостями та паливною економічністю. Енергетична ефективність автомобіля визначається ступенем його аеродинамічності, який є предметом основної уваги при проектуванні форми його кузова.

Сила аеродинамічного опору та частина потужності двигуна, що витрачається на її подолання, залежить від коефіцієнта лобового опору та площі лобового перерізу (міделя) автомобіля. Довжина кузова автомобіля в цьому випадку в розрахунку не враховується, це дозволяє підвищити продуктивність та знизити собівартість перевезень за рахунок застосування довгобазних та багатовісних автомобілів, а також автомобільних поїздів.

### Результати дослідження

Максимальна швидкість руху автомобіля  $V_{\max}$  залежить від максимальної ефективної потужності двигуна  $N_{e\max}$  та сили аеродинамічного опору. Якщо прийняти, що втрати на опір коченню ведучих коліс є внутрішніми втратами потужності в механізмі ходової частини [1], а ККД колісного рушія є компонентом миттєвого ККД трансмісії, то з рівності:

$$N_{e\max} \cdot \eta_{\text{тр}}^{\text{мит}} \cdot \eta_{\text{руш}}^{\text{мит}} = P_w \cdot V_{\max} \quad (1)$$

де  $\eta_{\text{тр}}^{\text{мит}}$  – миттєвий ККД трансмісії автомобіля;

$\eta_{\text{руш}}^{\text{мит}}$  – миттєвий ККД колісного рушія;

$V_{\max}$  – сила аеродинамічного опору.

В роботі [2] запропонована нова формула для розрахунку сили аеродинамічного опору руху автомобіля:

$$P_w = \frac{A_w}{2} S \cdot F \cdot V_a^{2-n} \quad (2)$$

де  $A_w$  – коефіцієнт, чисельно рівний коефіцієнту аеродинамічного опору  $C_x$  при швидкості автомобіля  $V_a = 1$  м/с;

$n$  – показник ступеня в залежності  $C_x(V_a)$  [3, 2],

$$C_x = \frac{A_w}{V_a^n} \quad (3)$$

$S$  – щільність повітря.

В роботі [3] визначено, що величина  $A_w$  може знаходитися в межах від  $1,8 \left(\frac{M}{c}\right)^n$  до 11,41

$\left(\frac{M}{c}\right)^n$  в залежності від виду, класу та форми кузова автомобіля. Показник ступеня  $n$  може змінюватися від величини 0,8 до величини 1,3 також в залежності від виду, класу та форми кузова автомобіля.

Максимальна сила аеродинамічного опору виникає при максимальній швидкості. У цьому випадку:

$$P_{w\max} = \frac{A_w}{2} S \cdot F \cdot V_{\max}^{2-n}; \quad (4)$$

Після підстановки (4) в (1) знаходимо максимальну швидкість автомобіля:

$$V_{\max} = \sqrt[3-n]{\frac{2 \cdot N_{e\max} \cdot \eta_{\text{тр}}^{\text{мит}} \cdot \eta_{\text{руш}}^{\text{мит}}}{A_w \cdot S \cdot F}}. \quad (5)$$

Формула (5) справедлива при відсутності обмеження частоти обертання колінчастого валу і відповідних значеннях передатного числа трансмісії.

Коефіцієнт корисної дії колісного рушія [4,5] визначається наступної залежністю:

$$\eta_{\text{руш}}^{\text{мит}} = \left[ 1 - \frac{M_{\kappa 2}}{C_{\text{круг}}} \left( 1 - \frac{R_{z2} \cdot f \cdot R_d}{M_{\kappa 2}} \right) \right] \times \left[ n_2 \left( 1 - \frac{R_{z2} \cdot f \cdot R_d}{M_{\kappa 2}} \right) \right] - \quad (6)$$

$$- n_1 \frac{R_{z1} \cdot f \cdot R_d \cdot \omega_{\kappa 2}}{\eta_{\text{тр}}^{\text{мит}} N_e} \left( 1 + \frac{1}{1 + \frac{C_{\text{круг}}}{f \cdot R_{z1} \cdot R_d}} \right).$$

де  $M_{\kappa 2}$ ;  $\omega_{\kappa 2}$  – сумарний крутний момент та кутова швидкість автомобіля;

$R_{z2}$  – сумарна нормальна реакція дороги на ведучі колеса однієї осі;

$R_{z1}$  – сумарна нормальна реакція дороги на ведені колеса однієї осі;

$f$  – коефіцієнт опору коченню;

$R_d$  – динамічний радіус коліс;

$C_{\text{круг}}$  – сумарна кругова жорсткість однієї пари коліс;

$n_1$ ;  $n_2$  – сумарна кількість осей з веденими та ведучими колесами, відповідно.

З урахуванням співвідношень (1) та (4):

$$E_w = \frac{m_{\text{п}}}{A_w \cdot S \cdot F} \eta_{\text{тр}}^{\text{мит}} \cdot \eta_{\text{руш}}^{\text{мит}} \cdot V_{\max}^{n-1}. \quad (7)$$

Аналіз отриманого рівняння (7) показує, що збільшення параметрів  $A_w$  та  $F$  призводить до зменшення показника енергетичної ефективності автомобіля. Збільшення повної маси  $m_{\text{п}}$ , ККД трансмісії  $\eta_{\text{тр}}^{\text{мит}}$  та колісного рушія  $\eta_{\text{руш}}^{\text{мит}}$  веде до підвищення енергетичної ефективності автомобіля. Цікавий вплив швидкості автомобіля. При аеродинамічному параметрі  $n > 1$  зі зростанням максимальної швидкості автомобіля  $V_{\max}$  відбувається підвищення показника  $E_w$ , а при  $n < 1$ , навпаки – зниження. При  $n = 1$  максимальна швидкість автомобіля  $V_{\max}$  не впливає на  $t$ .

Якщо використовувати багатовісний автомобіль, то при тих же параметрах  $N_{e\max}$ ,  $A_w$ ,  $n$ ,  $F$ ,  $\eta_{\text{тр}}^{\text{мит}}$  ККД колісного рушія  $\eta_{\text{руш}}^{\text{мит}}$  буде менше та показник  $E_w$ , буде нижче, чим у двовісного автомобіля.

Для автомобільного поїзда вираз (7) прийме вигляд:

$$E_{\text{вп}} = \frac{m_{\text{п}} + \sum_{i=1}^{\kappa} m_{\text{при}}}{Q \cdot A_w \cdot S \cdot F} \eta_{\text{тр}}^{\text{мит}} \cdot \eta_{\text{руш}}^{\text{мит}} \cdot V_{\max}^{n-1} \quad (8)$$

де  $\kappa$  – число причіпних ланок;

$m_{\text{прі}}$  – маса і-ої причіпної ланки;

$Q$  – коефіцієнт збільшення лобового аеродинамічного опору автомобіля по відношенню до одиночного автомобіля.

Коефіцієнт  $Q$  можна представити у вигляді:

$$Q = 1,25k, \quad (9)$$

та вираз (8) прийме вигляд:

$$E_{\text{вп}} = \frac{m_{\text{п}} + \sum_{i=1} m_{\text{прі}}}{1,25k \cdot A_w \cdot S \cdot F} \eta_{\text{тр}}^{\text{мит}} \cdot \eta_{\text{рушп}}^{\text{мит}} \cdot V_{\text{max}}^{n-1}. \quad (10)$$

Отриманий вираз (10) дозволяє провести оцінку енергетичної ефективності автомобільного поїзда.

### Висновки

В результаті проведеного дослідження визначено вплив аеродинамічних параметрів на показник енергетичної ефективності автомобіля. Визначено вплив причіпних ланок на енергетичну ефективність автомобільного поїзда.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Aziz Abdulgaziz and Mikhail Podrigalo. A new approach to assessment of vehicle traction dynamics / A. Abdulgaziz, M. Podrigalo // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering.– 2020. 7 pp.DOI:101088/1757 – 899x/971/5/052100.
2. Метод рациональных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, М. А. Подригало и др. – Харьков: Изд-во «Міськдрук», 2012. – 220 с.
3. Тарасов Ю.В. Наукові основи забезпечення технічного рівня автотранспортних засобів при проектуванні та модернізації : автореф. дис. на здобуття наук. ступення докт. техн. наук: спец. 05.22.02 – автомобілі та трактори / Ю.В. Тарасов. – Харків, 2021. – 40 с.
4. Подригало М. А., Кайдалов Р.О, Омельченко В.І. Оцінка коефіцієнта корисної дії колісного рушія автомобіля // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. Електронне наукове спеціалізоване видання. – Вип. 21: Харків, 2022. – с.31-39. DOI:10.30977/АТ/2019 – 8342.2022.21.08.
5. Підвищення енергоефективності автомобілів при маневруванні зниженням непродуктивних витрат енергії: автореф. дис.на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец: 05.22.20 / Мазін О. С. – Харків, 2020. – 20 с.

**Подригало Михайло Абович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування та ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1624-5219>; e-mail: [pmikhab@gmail.com](mailto:pmikhab@gmail.com)

**Кайдалов Руслан Олегович** – доктор технічних наук, професор, заступник начальника Національної академії Національної гвардії з наукової роботи, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5131-6246>; e-mail: [kaidalov.76@ukr.net](mailto:kaidalov.76@ukr.net)

**Альокса Микола Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри автомобілів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0568-4419>; e-mail: [avtomob@khadi.kharkov.ua](mailto:avtomob@khadi.kharkov.ua)

**Омельченко Василь Іванович** – начальник відділу міжнародних зв'язків, інформації та комунікації Національної академії Національної гвардії України, аспірант Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6713-7026>; e-mail: [omel85@ukr.net](mailto:omel85@ukr.net)

## ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY INDICATORS OF MULTY-AXLE AUTOMOBILES AND MULTY-LINK ROAD TRAINS

**Abstract.** The work determines the influence of aerodynamic parameters on the automobile's energy efficiency indicator. The impact of towing links on the energy efficiency of the automobile train is determined. With an increase in the number of towing links, there is an increase in the weight of the transported cargo and a decrease in the efficiency of the wheel drive of the road train.

**Key words:** energy efficiency, efficiency, road train, aerodynamic parameters

**Mykhailo Podryhalo** – Doctor of Technical Sciences, Prof., Head of the Department of Mechanical Engineering and Machine Repair Technology of the Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1624-5219>; e-mail: [pmikhab@gmail.com](mailto:pmikhab@gmail.com)

**Ruslan Kaidalov** – Doctor of Technical Sciences, Prof., Deputy Head of the National Academy of the National Guard of Ukraine for scientific work, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5131-6246>; e-mail: [kaidalov.76@ukr.net](mailto:kaidalov.76@ukr.net)

**Mykola Aloksa** – Candidate of Technical Sciences, Associate Prof., Professor of the Department of Automobiles of the Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0568-4419>; e-mail: [avtomob@khadi.kharkov.ua](mailto:avtomob@khadi.kharkov.ua)

**Vasyl Omelchenko** – postgraduate student of the Kharkiv National Automobile and Highway University, Head of the Department of the National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6713-7026>; e-mail: [omel85@ukr.net](mailto:omel85@ukr.net)

## ОПІР КОЧЕННЮ ЕЛАСТИЧНОГО КОЛЕСА ПО ПРЯМОЛІНІЙНІЙ ТРАЄКТОРІЇ

<sup>1</sup>Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

### *Анотація*

*Наведено результати дослідження коефіцієнта опору коченню еластичного колеса під час прямолінійного руху по недеформованій опорній поверхні.*

**Ключові слова:** еластичне колесо, прямолінійний рух, коефіцієнт опору коченню, швидкість, тиск в шині.

### **Вступ**

Прямолінійний рух еластичного колеса по недеформованій опорній поверхні забезпечується подоланням моменту опору коченню, який викликаний зміщенням рівнодіючої нормальних реакцій відносно центра контактної відбитки шини. В теорії автомобіля це зміщення враховується коефіцієнтом опору коченню  $f$ , який являє відношення цього зміщення до динамічного радіуса колеса. Подолання опору коченню еластичного колеса зводиться до визначення цього коефіцієнта.

Метою даної роботи є встановлення достовірності залежностей для визначення коефіцієнта опору коченню веденого колеса по недеформованій опорній поверхні залежно від конструктивних особливостей шини та швидкості руху.

### **Результати дослідження**

Залежно від режиму роботи еластичного колеса його прямолінійний рух по недеформованій опорній поверхні забезпечується підведенням сили штовхання від остова автомобіля до осі обертання колеса (ведене колесо) або крутного моменту від трансмісії автомобіля до диска колеса (ведуче колесо). У першому випадку сила штовхання врівноважується реакцією опорної поверхні, яка рівна їй за величиною та протилежна за напрямком. Реакція опорної поверхні та сила штовхання створюють момент відносно осі колеса, рівний за абсолютною величиною моменту опору коченню. У другому випадку прикладений від трансмісії автомобіля до жорсткого диска колеса крутний момент викликає в контактній шині з опорною поверхнею активну силу, напрямлену протилежно вектору швидкості руху колеса. Ця активна сила урівноважується силою штовхання, яка прикладена до осі обертання колеса та напрямлена за вектором руху колеса.

Опір коченню еластичного колеса під час прямолінійного руху визначають за коефіцієнтом опору коченню, величину якого в роботах [1-8] пропонується визначати за емпіричними залежностями. Так, у роботах [1-6] для розрахунку коефіцієнта опору коченню  $f$  при номінальному тиску повітря в шині залежно від швидкості руху рекомендовано емпіричні залежності першого та другого порядку. Проведені за цими виразами розрахунки при зміні швидкості руху від 0 до 50 м/с показують, що значення коефіцієнта  $f$  значно різняться між собою. Максимальна похибка у розрахунках при швидкості руху 50 м/с сягає 49,33 %.

У роботах [7, 8] наведено емпіричні залежності коефіцієнта опору коченню від тиску повітря в шині та швидкості руху автомобіля по дорозі з твердим покриттям. Аналіз цих залежностей засвідчив, що вони справедливі для визначення коефіцієнта опору коченню шин, у яких тиск повітря не перевищує відповідно 0,3872 МПа та 0,3655 МПа. За інших умов отримані значення цього коефіцієнта знаходяться за межами можливих значень, отриманих експериментально. Порівняння залежностей коефіцієнта опору коченню від тиску повітря в шині при швидкості руху, наближеної до нуля, розраховані за наведеними в роботах [7, 8] виразами, та експе-



риментально отримані для шини Nokian 185/60 R14 82 T M+S на передньоприводному легковому автомобілі, свідчать, що розрахункові значення коефіцієнта опору коченню  $f$  різняться між собою та відрізняються від експериментальних. Така розбіжність розрахункових та експериментальних даних щодо впливу тиску на величину коефіцієнта опору коченню пояснюється тим, що еластичне колесо є складним механізмом з неголономними властивостями, а визначення коефіцієнта опору коченню унаслідок аналітичних розрахунків є неможливим.

### Висновки

Із аналізу наведеного випливає, що визначити коефіцієнт опору кочення для реальної шини з урахуванням тиску повітря та швидкості руху можливо тільки експериментально, оскільки шини конструктивно різняться. Різниця полягає у наявності металевго корду в оболонці шини, експлуатаційних змінах тиску (шини регульованого тиску повітря), типі корду (радіальні, діагональні), особливостях протектора (висота, насиченість, літній, зимовий, наявність металевих шипів), наявності камер (камерні, безкамерні), висота профілю тощо. Ці конструктивні чинники безпосередньо впливають на величину коефіцієнта опору коченню, а їх вплив можна визначити лише експериментально. Водночас аналіз літературних джерел показує, що при номінальному тиску повітря в шині та номінальному навантаженні при швидкості руху, наближеної до нульової, для більшості шин під час руху по асфальтобетонній поверхні коефіцієнт опору коченню знаходиться у межах 0,008...0,015. При цьому менші значення характерні для шин з металевим кордом, а більші – для шин з регульованим тиском повітря.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Taborek J. J. «Mechanics of Vehicles», Machine Design, May 30 – Dec. 26, 1957.
2. Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля. Київ : Арістей, 2010. 155 с.
3. Сахно В. П., Безбородова Г. Б., Маяк М. М., Шарай С. М. Автомобілі: тягово-швидкісні властивості та паливна економічність: навч. посібник. Київ : В-во «КВІЦ», 2004. 174 с.
4. Petrushov V. A. Coast Down Method in Time-Distance Variables. SAE Transactions, vol. 106, 1997, pp. 663–685.
5. Jazar R. N. Vehicle dynamics (Vol. 1). New York : Springer, 2008. 1022 p.
6. Gillespie T. (Ed.). Fundamentals of vehicle dynamics. SAE international, 1992.
7. Работа автомобильной шины / под ред. В. И. Кнороза. Москва : Транспорт, 1976. 238 с.
8. Фалькевич Б. С. Теория автомобиля. Москва : Машгиз, 1963. 239 с.

**Клімов Едуард Сергійович** — канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, edward.klimov@gmail.com

**Черненко Сергій Михайлович** – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, sercher174@gmail.com.

**Павленко Олександр Володимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, alexander6170101@gmail.com

### *Rolling resistance of the elastic wheel on a straight trajectory*

#### *Abstract*

*The results of the study of the rolling resistance coefficient of an elastic wheel during rectilinear movement on an undeformed support surface are presented.*

**Keywords:** tire, straight line movement, rolling resistance coefficient, speed, tire pressure.

**Klimov Eduard** — PhD in Engineering, Associate Professor, Head of Automobiles and Tractors Department, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: edward.klimov@gmail.com.

**Chernenko Serhii** — PhD in Engineering, Associate Professor of Automobiles and Tractors Department, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, e-mail: sercher174@gmail.com.

**Pavlenko Oleksandr.** — PhD in Engineering, Assistant Professor of Automobiles and Tractors Department, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk e-mail: alexander6170101@gmail.com

## СУЧАСНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ РІЗНИЦІ У МАТРИЦЯХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ ОДНАКОВОЇ РОЗМІРНОСТІ

<sup>1</sup> Національний університет водного господарства та природокористування;

<sup>2</sup> Харківський національний автомобільно-дорожній університет

### Анотація

Проведено аналіз метрик, котрі застосовуються для оцінки відмінностей між матрицями пасажирських кореспонденцій, що відносяться до одного об'єкту дослідження і характеризують різні стани транспортного попиту. За результатами аналізу обрані метрики для перевірки їх інформативності у подальших дослідженнях міських транспортних систем.

**Ключові слова:** транспортний попит, матриця кореспонденцій, чисельна схожість, структурна схожість, міська транспортна система.

### Вступ

З точки зору формалізації потреб населення у пересуваннях міським транспортом зміна розташування центрів транспортного тягіння при інших фіксованих умовах роботи транспортної системи (ТС) означає зміну місткостей з відправлення та прибуття пасажирів та відповідних значень кореспонденцій у матриці пересувань. Це викликає потребу аналізу методів оцінки зазначених змін у матрицях пасажирських кореспонденцій (МПК) однакової розмірності.

### Результати дослідження

Аналіз літературних джерел, присвячених питанням застосування методів порівняння МПК, дозволив виявити ряд показників, які можна поділити на дві групи: метрики чисельної схожості матриць; метрики структурної схожості матриць [1-4].

Мірами, які у контексті практичного застосування можна вважати більш розповсюдженими, є середньоквадратична похибка, міра згоди Тейла, індекс структурної схожості та відстань Ва-серштайна.

Середньоквадратична похибка розраховується як

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{Q} \cdot \sum_{q \in Q} (h_q - h'_q)^2}, \quad (1)$$

де  $h_q, h'_q$  – значення кореспонденції між  $q$ -ю парою транспортних районів (ТР) у базовій та порівнюваній МПК відповідно;  $Q$  – загальна кількість клітинок МПК [2].

Значення міри згоди Тейла обчислюється наступним чином [1]:

$$GU = \sqrt{\sum_{q \in Q} (h_q - h'_q)^2 / Q} / \left( \sqrt{\sum_{q \in Q} h_q^2 / Q} + \sqrt{\sum_{q \in Q} h'_q^2 / Q} \right). \quad (2)$$

Дані метрики покликані оцінити різницю лише у чисельних значеннях кореспонденцій і не враховують структурні зміни у розподілі кореспонденцій всередині рядків (стовпців) матриці.

Для врахування таких змін застосовуються метрики структурної схожості. Належний до них індекс структурної схожості застосовується до так званих «локальних вікон» порівнюваних матриць, котрі являють собою частину МПК (субматрицю), і рахується як

$$SSIM = \frac{(2 \cdot \mu \cdot \mu' + C_1) \cdot (2 \cdot \sigma_{xy} + C_2)}{(\mu^2 + \mu'^2 + C_1) \cdot (\sigma^2 + \sigma'^2 + C_2)}, \quad (3)$$

де  $\mu, \mu'$  – середнє значення кореспонденцій у досліджуваному локальному вікні у базовій та порівнюваній МПК відповідно;  $\sigma_{xy}$  – коваріація кореспонденцій, що містяться у локальному вікні матриць;  $\sigma, \sigma'$  – стандартне відхилення значень кореспонденцій у досліджуваному локальному вікні у базовій та порівнюваній МПК відповідно;  $C_1, C_2, C_3$  – константи, котрі застосовуються у випадку близькості середніх значень або стандартних відхилень до 0 [1].

Відстань Васерштайна представляє собою мінімум витрат часу, пов'язаних із такими змінами кореспонденцій в одній МПК, щоб вона стала повністю відповідна іншій [1].

Окремо варто зазначити пару мір, що використовуються в рамках інтервальної концепції визначення станів МПК [3, 4], – відхилення значень кореспонденцій  $\Delta H$  та різниця у транспортній роботі по реалізації матриць  $\Delta PK$ :

$$\Delta H = \sqrt{\sum_q (h_q - h'_q)^2}, \quad \Delta PK = \sum_q h_q \cdot l_q - \sum_q h'_q \cdot l_q, \quad (5)$$

котрі можуть бути віднесені до метрик чисельної та структурної схожості відповідно.

### Висновки

Для оцінки впливу змін у розташування місць транспортного тяжіння на модель потреб у пересуваннях у міській ТС найбільш інформативним виглядають такі метрики, як відстань Васерштайна та різниця у транспортній роботі по реалізації МК. Вони є зрозумілими і відносно простими у застосуванні та в результаті дають значення технічних показників, важливих для всіх сторін транспортного процесу на міському пасажирському транспорті. В той же час, придатність їх застосування на практиці у вихідному або модифікованому вигляді потребує подальших досліджень.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Behara, K.N.S., Bhaskar, A., & Chung E. (2020). A Novel Approach for the Structural Comparison of Origin-Destination Matrices: Levenshtein Distance. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 111, 513–530.
2. Zargari, S.A., Memarnejad, A., & Mirzahosseini, H. (2021). A Structural Comparison between the Origin-Destination Matrices Based on Local Windows with Socioeconomic, Land-use, and Population Characteristics. *Journal of Advanced Transportation*, 2021, 9968698.
3. Горбачов, П.Ф. (2009). *Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах* (дис. ... доктора техн. наук, ХНАДУ).
4. Свічинський, С.В. (2015). *Формування функцій розселення міського населення для визначення потреб у перевезеннях громадським транспортом* (дис. ... канд. техн. наук, ХНАДУ).

**Пашкевич Світлана Михайлівна** — старша викладачка, кафедра транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, e-mail: s.m.pashkevych@nuwm.edu.ua

**Свічинський Станіслав Валерійович** — к.т.н., доцент, кафедра транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, e-mail: stas\_svichinsky@ukr.net

### *Modern methods for estimating the difference in trip matrices of the same dimension*

#### **Abstract**

*The analysis of the metrics used to assess the differences in trip matrices which relate to the same research object and characterise different states of transport demand is presented. Based on the results of the analysis, the metrics were selected to test their informativeness in further studies of urban transport systems.*

**Keywords:** transport demand, trip matrix, numerical similarity, structural similarity, urban transport system.

**Pashkevych Svitlana M.** — Senior Lecturer, Department of Transport Technologies and Technical Service, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, email: s.m.pashkevych@nuwm.edu.ua

**Svichynskiy Stanislav V.** — PhD, Associate Professor, Department of Transport Systems and Logistics, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: stas\_svichinsky@ukr.net

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ МАЛОГАБАРИТНИХ ВАНТАЖІВ

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15

### Анотація

Представлено методику збору даних для ідентифікації пристрою для переміщення малогабаритних вантажів з метою подальшого синтезу оптимального керування рухом.

**Ключові слова:** збір даних, механізм стабілізації, гіроскоп, датчик положення, регулятор.

### Вступ

Задача переміщення, транспортування вантажу не нова і прикладів реалізації таких пристроїв [2] значна кількість. В даному випадку представлена модель пристрою для транспортування малогабаритних вантажів (рис. 1), її кінематичну схему представлено на рис. 2. Фізична модель цього пристрою потребує ефективного керування рухом. Для цього необхідно мати математичну модель руху, тобто постає задача ідентифікації системи, яка виконується за допомогою рекурентних нейронних мереж [1]. Для цього необхідно зібрати масив даних, який описує поведінку системи.

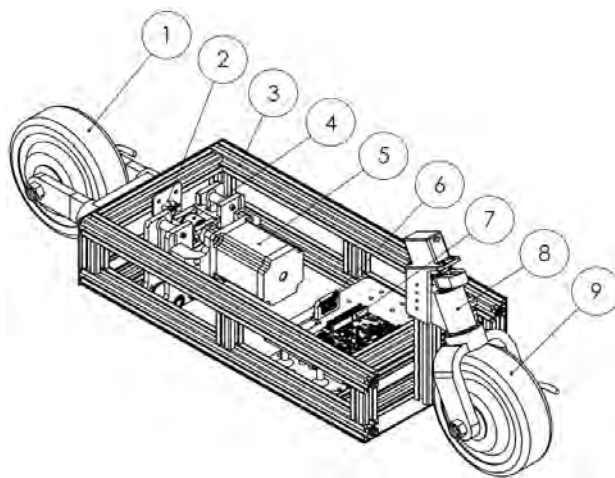


Рис. 1. Фізична модель пристрою: 1) заднє приводне мотор-колесо; 2) датчик повороту заднього колеса; 3) рама пристрою; 4) механізм балансування; 5) кроковий електродвигун; 6) гіроскоп; 7) плата керування; 8) поворотна стійка з механізмом повороту колеса; 9) переднє приводне мотор-колесо

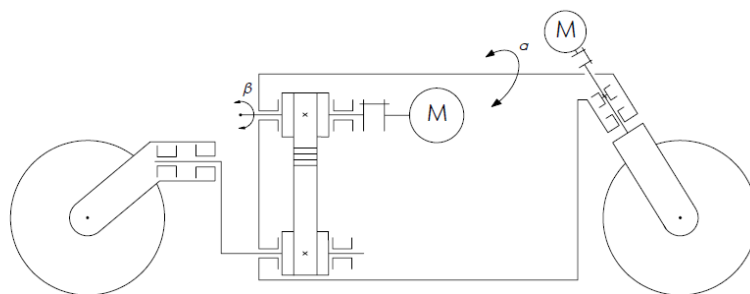


Рис. 2. Кінематична схема пристрою

## Результати дослідження

Для збору даних необхідно, щоб пристрій перебував в робочому положенні, тобто в рівновазі, для цього було застосовано ПІ-регулятор з підібраними дослідним шляхом коефіцієнтами. Частота збору - 100 Гц, тривалість експерименту складала 30 секунд. Під час експерименту зчитувались такі дані: 1) кут нахилу пристрою  $\alpha$  (рис. 2), для цього використано гіроскоп MPU9250 (рис.1); 2) кут відхилення заднього колеса відносно рами пристрою  $\beta$  (рис. 2), для цього використано потенціометр (рис. 1), який жорстко з'єднаний з валом крокового двигуна. Графічні залежності виміряних параметрів наведено на рис. 3.

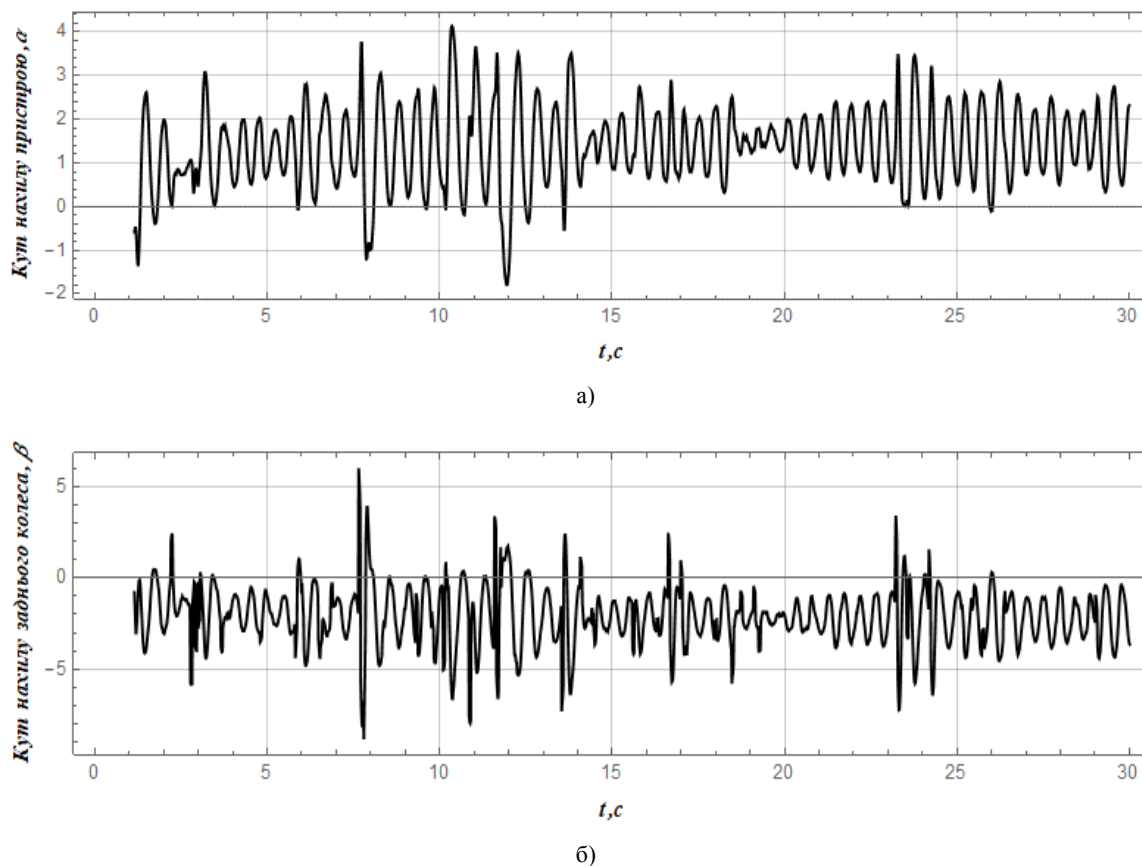


Рис. 3. Експериментальні дані роботи пристрою: а) кут нахилу пристрою  $\alpha$ ; б) кут відхилення заднього колеса відносно рами пристрою  $\beta$

На графіку кута нахилу пристрою видно, що він піднятий відносно нульової відмітки, це свідчить про дисбаланс установки, який компенсується її нахилом в протилежний бік.

## Висновки

Зібрані дані експерименту придатні для подальшої обробки в середовищі Wolfram Mathematica та побудови математичної моделі, яка буде виступати математичною моделлю пристрою. Це у подальшому дасть змогу синтезувати оптимальний регулятор, який буде вирішувати задачу стабілізації положення пристрою.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Fathi M. Salem, Recurrent Neural Networks: From Simple to Gated /Springer, 2022. — 141 с.
2. Dikai Liu, Lingfeng Wang, Kay Chen Tan, Design and Control of Intelligent Robotic Systems /Springer 2009. — 502 с.

**Зарівний Олександр Юрійович** — аспірант, факультет конструювання та дизайну, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, e-mail: Alex-zar@ukr.net

**Ромасевич Юрій Олександрович** — доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, e-mail: romasevichyuriy@ukr.net.

***Determination of the quantitative content of liquefied gas components***

***Abstract***

*The method of data collection for the identification of a device for moving small loads is presented for the purpose of further synthesis of optimal traffic control.*

**Keywords:** data collection, stabilization mechanism, gyroscope, position sensor, regulator.

**Oleksandr Yuriyovych Zarivny** — 2nd year graduate student, Faculty of Construction and Design, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: Alex-zar@ukr.net

**Yuri Oleksandrovyich Romasevich** — doctor of technical sciences, professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: romasevichyuriy@ukr.net.

## ЗМІНА ПАСАЖИРООБІГУ В УКРАЇНІ ЗА РІК ВІЙНИ

<sup>1,2</sup> Харківський національний автомобільно дорожній університет

### **Анотація**

*Проведено аналіз інформаційних джерел щодо зміни обсягів перевезення пасажирів та величини завданих збитків транспортній інфраструктурі за рік від повномасштабного вторгнення росії на територію України. За результатами аналізу виділено: основні причини, які в більшій мірі вплинули на пасажирообіг та декілька рекомендацій які направлені на організацію безпечного пересування пасажирів.*

**Ключові слова:** транспортна інфраструктура, пасажирообіг, пасажирські перевезення, маршрути перевезення, надійність перевезень пасажирів.

### **Вступ**

Пасажирообіг відіграє важливу роль для країни в різних аспектах її розвитку: економічному, інфраструктурному, туристичному, соціальній мобільності, культурному та інтелектуальному. Він створює сприятливі умови для розвитку економіки та покращення якості життя населення. На превеликий жаль, пасажирообіг зазнав значних змін через воєнні дії на всій території України внаслідок повномасштабного вторгнення російської федерації 24 лютого 2022 року. Для того, щоб наочного побачити та проаналізувати зміни пасажирообігу в Україні можна звернутися до статистичних даних перевезення пасажирів за роками, до початку війни та під час.

### **Результати дослідження**

Аналіз джерел показав, що починаючи з січня 2022 року і до травня 2023 року державна служба статистики України поки не надає точних даних у всюдоступний простір. Однак у джерелі [1] відмічається, що кількість перевезених пасажирів у 2022 році скоротилася на 39,7% порівняно з 2021 роком – до 1,6 млрд пасажирів, а пасажирообіг на 50,4% – до 31 млрд 142 млн пас./км».

В даній роботі зосереджено увагу на виділенні основних причин, які в більшій мірі вплинули на пасажирообіг після 24.02.2022 р.:

1. Воєнний конфлікт створив небезпеку для пасажирів, що сприяло зменшенню попиту на перевезення міським транспортом. Більшість людей, особливо в прикордонних містах, максимально утримувались від поїздок і пересувань або стикались з обмеженнями доступу до певних районів через активні обстріли з боку РФ.

2. За минулий рік відбувся відчутний перерозподіл напрямків пасажиропотоків відповідно до того, які території стали окупованими. Значна кількість маршрутів були змінені або припинили свою роботу, оскільки відбулася евакуація людей в безпечніші регіони та за кордон.

3. Пошкоджені або зруйновані елементи транспортної інфраструктури, такі як аеропорти, залізниці, мости та дороги також обмежили мобільність пасажирів і стали вагомою перешкодою при пересуваннях. Об'єкти інфраструктури стали однією з ключових сфер, які зазнали найбільших атак з боку агресора. За рік війни постраждало понад 25,2% інфраструктури країни, що у грошовому еквіваленті сягає понад \$36,2 млрд [2]. Детальний аналіз стану доріг, які були пошкоджені наразі є неможливим через активні бойові дії або через тимчасову окупацію.

4. Обмежений доступ до транспорту, особливо на початку повномасштабного вторгнення. У звіті [2] наведено дані аналітичних розрахунків прямих збитків, завданих комунальним підприємствам та приватним перевізникам: за зруйнований транспорт \$0,83 млрд – це знищені тролейбуси, трамваї, автобуси. А прямі втрати приватного легкового транспорту становлять близько \$1,86 млрд або 207 тис. автомобілів (без урахування «євроблях»).

5. Додатковий вплив на обсяг пасажиропотоку мала заборона на рух деякого виду транспорту та черги на блок постах для проведення перевірок та контролю.

Очевидно, що війна призвела до значного впливу на всі сфери життя та докорінно вплинула

на транспортний попит, маршрути перевезення та роботу всіх видів транспорту. Такі умови вимагають особливої уваги до ефективної організації та забезпечення безпеки при пересуваннях пасажирів, тому варто виділити рекомендації які вже допомогли організувати цей процес:

- застосування додаткових заходів безпеки, таких як: обмеження доступу для пересування на деякі території, підвищення рівня перевірок та контролю при переїзді з одного міста до іншого.

- запровадження альтернативних маршрутів та транспортних засобів. У разі закриття основних маршрутів або екстреної зупинки пасажирських перевезень, важливо мати можливість застосувати альтернативні шляхи та засоби перевезення пасажирів. Які мають включати використання різних видів транспорту та логістику перевезень.

- проведення інформаційної кампанії. Забезпечення належної комунікації та інформації для пасажирів має вирішальне значення. Важливо надавати актуальну та надійну інформацію про розклад на альтернативних маршрутах, розташування найближчих зупиночних пунктів та умов перевезення. Це можна здійснювати за допомогою офіційних каналів органів державної влади, чат-ботів, мобільних додатків та ін.

- налагодження взаємозв'язків з волонтерськими та гуманітарними організаціями різних рівнів організації, міжнародними партнерами та військовими командуваннями допомагає забезпечити безпеку та надійність перевезень пасажирів.

- планування та гнучкість дій. Ситуація на фронті швидко змінюється, тому важливо слідкувати за наявністю та оптимізувати використання транспортних та людських ресурсів. Гнучке реагування допоможе налагодити безпечне перевезення пасажирів.

## Висновки

Враховуючи складну безпекову ситуацію в країні важливо дотримуватись вказівок та порад військових адміністрацій та органів влади, які забезпечують та впливають на управління пасажирськими перевезеннями. Відкритим залишається питання доведення до пасажирів надійної інформації та організації навчання і підготовки персоналу транспортних підприємств щодо безпекових процедур.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Державна служба статистики України. Дата оновлення: 19.05.2023. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 24.05.2023).

2. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України за рік від початку повномасштабного вторгнення. [https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR\\_Feb23\\_FINAL\\_Damages-Report.pdf](https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report.pdf). (дата звернення: 24.05.2023).

**Макарова Олександра Олександрівна** – студентка групи ТС-51-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м.Харків, e-mail: [aleksa\\_makaronim@ukr.net](mailto:aleksa_makaronim@ukr.net)

**Свічинська Ольга Володимирівна** — к.т.н., доцент, кафедра транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, e-mail: [svichinskayaolga@gmail.com](mailto:svichinskayaolga@gmail.com)

### *Changes in passenger turnover in Ukraine the year of war*

#### **Abstract**

*The analysis of information sources regarding changes in the passenger turnover and the amount of damage caused to the transport infrastructure the year of the full-scale invasion of russia into the territory of Ukraine was carried out. Based on the results of the analysis, the following are highlighted: the main reasons that had a greater impact on passenger turnover and several recommendations aimed at organizing the save passengers transportation.*

**Keywords:** transport infrastructure, passenger turnover, passenger transportation, transportation routes.

**Makarova Olesandra O.** – student of TS-51-22, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: [aleksa\\_makaronim@ukr.net](mailto:aleksa_makaronim@ukr.net).

**Svichynska Olha V.** — PhD, Associate Professor, Department of Transport Systems and Logistics, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: [svichinskayaolga@gmail.com](mailto:svichinskayaolga@gmail.com).



## **FEATURES OF TRANSPORTATION OF MILITARY MACHINERY BY ROAD TRANSPORT**

Vinnitsia National Technical University

### **Abstract**

*Transportation of heavy military machinery can be carried out by wheeled special vehicles subject to certain conditions and rules.*

*Features of military equipment transportation by road transport is presented in this work*

**Keywords:** military machinery, transportation, road transport, road surface, route, column of vehicles.

### **Introduction**

The transportation of military equipment is the delivery of combat vehicles (tanks, armored personnel carriers (APCs), infantry fighting vehicles (IFVs), etc.) to the place of deployment or repair, which does not use its own mover [1].

Since military equipment is not designed to travel on public highways, even if it is self-propelled, it is necessary to use different means of transport.

Depending on the purpose of transportation and the end point of the route, the following types of transport can be chosen: air transport, sea transport, railway transport, road transport [2].

### **Main part**

Military equipment is in demand even in peacetime, as it is often used in various exercises and military activities. Countries that do not have their own military production prefer to order military equipment from other countries, and the transportation of military equipment requires compliance with special conditions. The process of transporting military equipment will be more labor-intensive than equipment used in peaceful conditions.

Transportation of any military equipment, whether it be tanks or various other types of special military equipment, carried out subject to certain conditions, without which transportation is not possible. The most important condition for the transportation of military equipment is the use of special vehicles, which must be suitable in size to the transported units.

Heavy wheeled (fig. 1, a) and tracked military vehicles (fig. 1, b) are transported on specialized platforms. These platforms are designed for heavy weight, equipped with special fasteners and brackets for reliable fixation of the load. The main functional purpose of the platforms is the rapid transportation of military equipment to its destination with minimal damage to the roadway.



Fig. 1. Transportation on specialized platforms of heavy tracked (a) and wheeled (b) military vehicles

Most often, a small amount of equipment is delivered by special vehicles, including models such as infantry fighting vehicles, airborne combat vehicles, armored personnel carriers, tanks, artillery and howitzer systems, and much more. Transportation routes on low platforms should be laid taking into

account the characteristics of the terrain - the quality of the road surface, the relief, the width of the carriageway, the presence of objects that impede passage (cables and wires, bridges and bridge spans, billboards, etc.). Routes are recommended to be laid away from big cities in coordination with law enforcement and licensing organizations. Technically, the transportation of military cargo has its own characteristics. First of all, transportation is controlled not only by police officers, but also by specialized military services, whose task is to ensure the integrity and safety of machinery. Such cargo must be guarded by dedicated vehicles and armed personnel.

Transportation on heavy road trains, which are transport complexes consisting of wheeled tractors and heavy trailers (trailers), is used not only in the deep rear of friendly troops, but also when moving them under their own power in anticipation of entering into battle, especially if the purpose of the march is to enter an area remote from the line of contact between the parties.

Tanks are transported on heavy road trains. If there is a sufficient number of road trains, they can transport engineering and other equipment with a short range and low speed. The transportation of tanks and other equipment on trailers is carried out, as a rule, by one column, which is included in the main forces of the marching unit, or goes to the designated area on its own. The latter can take place only when transporting equipment deep in the rear of friendly troops.

For loading onto heavy road trains, a tank subunit and subunits with military equipment are assigned loading areas. The loading area is chosen in such a way as to provide good camouflage from aerial observation and ease of approach to it, there are natural shelters and roads leading to the main route. In addition to the main one, an alternate loading area is planned in case the use of the main area becomes impossible due to aviation operations and the infliction of a nuclear or chemical attack by the enemy.

The route along which the trailer column moves is chosen taking into account the carrying capacity of the bridges, bypassing large settlements, road junctions and other possible objects of an enemy nuclear strike, as well as gorges and other bottlenecks where the column can be subjected to enemy air strikes. To protect the column from the enemy's high-precision weapons, the route of movement must be chosen along the folds of the terrain, through forests, to hide behind enemy radar reconnaissance with masks and smoke screens. When choosing a route, the ability of road trains to overcome steep ascents, descents and turns is taken into account. In winter, the columns of heavy road trains include cars with mounted bulldozer equipment for clearing roads from snow.

If the route is in good condition, a trailer column can reach speeds of up to 45...50 km/h. However, due to the difficulty of driving a trailer when transporting heavy equipment (a trailer with equipment skids when driving fast), it is not advisable to develop a column speed of more than 30 km/h. On descents, the speed should not exceed 40 km/h; railway crossings are overcome at a speed of no more than 15 km/h. Distances between trailers can reach 50 m; they increase as they go up and down.

Unloading should be carried out, if possible, on a flat section of the road, stopping the road trains before approaching the obstacle at the distances established for movement or reducing them to 20...25 m. Re-loading of tanks on trailers is carried out after entering the paved road.

### **Conclusion**

Military machinery is not designed for movement on public highways, even if it is self-propelled, it is necessary to use different vehicles for its transportation.

The transportation of military machinery on heavy trucks is used not only in the deep rear of the troops, but also when moving them at their own pace in anticipation of entering the battle, especially if the goal of the march is to reach an area far from the line of combat contact of the parties.

### **REFERENCES**

1. Меленчук В. М. Метод оцінки ризиків проектів/програм/портфельів впровадження логістичних систем у автотранспортне господарство військових формувань / В. М. Меленчук // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). Технічні науки. – 2016. – Вип. 1. – С. 32-38.
2. Андрощук О. С. Модель оцінки ризиків проектів та програм впровадження логістичних систем автотехнічного забезпечення військових формувань та правоохоронних органів / О. С. Андрощук, В. М. Меленчук // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: Військові та технічні науки. – 2015. – №2. – С. 91-105.

**Borysiuk Dmytro V.** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Senior Lecturer of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, Voinov-Internationalistov st., 7, room 3222, e-mail: bddv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8572-6959>).

**Zelinskiy Viacheslav Yo.** – Assistant of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, Voinov-Internationalistov st., 7, room 3222, e-mail: zelinskiy.slava@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7785-2629>).

### ***Особливості перевезення військової техніки автомобільним транспортом***

#### ***Анотація***

*Транспортування важкої військової техніки може здійснюватися колісним спецтранспортом з дотриманням певних умов та правил.*

*В даній роботі представлено особливості перевезення військової техніки автомобільним транспортом.*

**Ключові слова:** військова техніка, перевезення, автомобільний транспорт, дорожнє покриття, маршрут, колона транспортних засобів.

**Борисюк Дмитро Вікторович** — канд. техн. наук, старший викладач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Воїнів–Інтернаціоналістів, 7, ауд. 3222, e-mail: bddv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8572-6959>).

**Зелінський Вячеслав Йосипович** — асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Воїнів–Інтернаціоналістів, 7, ауд. 3222, e-mail: zelinskiy.slava@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7785-2629>).

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ПІДРЕСОРЮВАННЯ ШВИДКОХІДНИХ ГУСЕНИЧНИХ МАШИН

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Розглянуто перспективи розвитку систем підресорювання гусеничних машин для підвищення швидкохідності. Показана можливість подальшого підвищення швидкохідності при використанні нетрадиційних систем підресорювання.*

*Ключові слова:* гусенична машина, швидкохідність, плавність ходу, підвіска.

Максимальна швидкість руху машини є обмеженою та визначається умовами руху та технічними характеристиками швидкохідної гусеничної машини типу МТ-ЛБ. Обмеження, що залежать, головним чином, від дорожніх умов, поділяють на дві групи: обмеження за силою тяги і так звані прямі обмеження.

Збільшення питомої потужності сучасних машин дозволило зняти низку обмежень першої групи. Друга група об'єднує обмеження: – за швидкістю, що визначаються кінематичними характеристиками трансмісії; – по керованості, пов'язані зі здатністю машини вписуватись у кривизну траси; – відносно небезпеки виникнення некерованого руху; – внаслідок виникнення межових пришвидшень корпусу машини під час руху по нерівностях, які можуть призвести до втомлюваності, травм екіпажу та виходу з ладу встановленого обладнання. У зв'язку з цим проблема вдосконалення систем підресорювання швидкохідних гусеничних машин, спрямованого на підвищення швидкості їх руху, є актуальною.

За збільшення маси машини підвіска стає все більш навантаженою. Демпфуючі елементи вимагають реалізації великих зусиль на прямому ході підвіски, що призводить до збільшення вертикальних пришвидшень «коливань». У такій ситуації, коли потрібно одночасно забезпечити задовільну висоту нерівності, що долається і одночасно не допустити критичних коливань корпусу, сучасні швидкохідні гусеничні машини важкої вагової категорії (основні танки) з традиційною системою підресорювання мають висоту прохідної періодичної нерівності близько 0,17 м, що відповідає середній швидкості 21 км/год. Подальше підвищення середньої швидкості потребує застосування нетрадиційних систем підресорювання – керованих, або багаторівневих підвісок.

В даний час відомі два основні напрямки у розвитку систем регулювання сил у підвісці наземної транспортної техніки. Це активне та пасивне керування силами в пружному та демпфуючому елементах системи підресорювання машини.

Негативними сторонами керованих систем підресорювання порівняно з некерованими підвісками є значно більше споживання енергії (для активних систем) та більш висока вартість системи. Тому раціональність застосування вимагає від керованої підвіски високої ефективності за всіх режимах руху машини, що передбачає використання обґрунтованої конструктивної схеми та відповідного раціонального закону управління для вирішення завдань, пов'язаних із забезпеченням не тільки плавності ходу, а й керованості, працездатності озброєння та ін. У зв'язку з необхідністю додаткового джерела енергії активні системи підресорювання поки не знайшли широкого застосування у конструкціях швидкохідних гусеничних машин.

Аналізуючи літературу, присвячену керованим системам підресорювання [1, 3, 5], можна зробити висновок про те, що для швидкохідних гусеничних машин доцільно застосовувати пасивну систему підресорювання з керованим демпфуванням. При цьому достатньо передбачити два рівні демпфування прямого ходу: низький рівень — штатне демпфування, що забезпечує

допустимі пришвидшення, та високий рівень (в 3 рази більше штатного), що забезпечує допустимі навантаження під час руху за періодичними нерівностями в резонансному режимі при поздовжньо-кутових коливань корпусу. На зворотному ході підвіски керувати демпфуванням недоцільно.

Управління дворівневим демпфуванням може бути зі статичним (адаптивним) [2] та з динамічними законами управління. У другому випадку найбільш ефективно демпфування з урахуванням швидкості поздовжньо-кутових коливань корпусу машини.

Керована система підресорювання вимагає використання блоків керування (контролерів, датчиків, сенсорів тощо), що ускладнює систему та знижує її надійність. Однак існують системи, які без спеціального управління дозволяють забезпечити необхідне гасіння коливань у резонансній області без підвищення пришвидшень та коливань у зарезонансній області. Це багаторівневі системи підресорювання. У підвісках як дослідні зразки були виконані дворівневі системи підресорювання, найвідомішою з яких є релаксаційна підвіска. Ця підвіска має два пружні елементи та амортизатор [5]. Один пружний елемент розміщено між корпусом і катком послідовно з амортизатором і утворює з ним так званий релаксаційний елемент. Другий пружний елемент з'єднує корпус і каток паралельно релаксаційному елементу та виконує роль основного пружного елемента підвіски. Наявність двох пружних елементів та схожість властивостей релаксаційної підвіски з властивостями інших варіантів багаторівневих підвісок дозволяють віднести її до багаторівневих систем підресорювання. Схема такої підвіски зображена на рисунку 1, а.

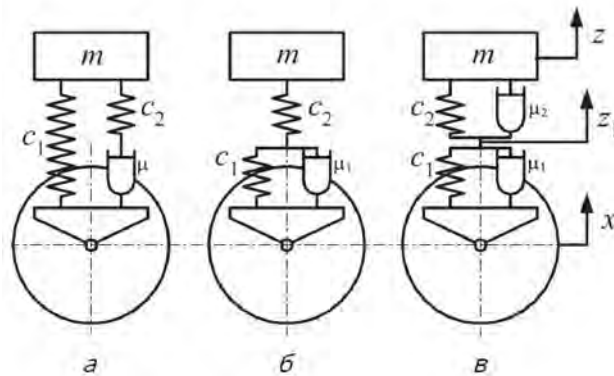


Рисунок 1 – Еквівалентні схеми одноопорних підвісок:

а, б – релаксаційна, відповідно з паралельним і послідовним з'єднанням пружного механізму;  
в – фрактальна дворівнева

Ще одним прикладом багаторівневих підвісок є фрактальна підвіска [4], яка складається з ряду послідовно з'єднаних пружно-демпфуючих елементів. Схема двохрівневої фрактальної підвіски показана на рисунку 1, в.

Зважаючи на те, що в багаторівневих системах підресори на різних частотах працюють різні пружно-демпфуючі елементи, машина з такою підвіскою здатна рухатися в найрізноманітніших дорожніх умовах з високою плавністю ходу.

Якщо зі складу дворівневої фрактальної підвіски прибрати демпфуючий елемент, що відповідає пружному елементу більшої жорсткості, то її еквівалентна схема набуде вигляду, представленого на рисунку 1, б. Цю підвіску також називають релаксаційною з послідовним з'єднанням додаткового пружного елемента

Було виявлено [5], що для швидкохідних гусеничних машин достатньо дворівневої підвіски, причому рівень демпфування, що відповідає пружному елементу високої жорсткості, має бути мінімальним.

Характеристики багаторівневих систем підресорювання доцільно вибирати з використанням імітаційного математичного моделювання руху швидкохідних гусеничних машин за нерівностями місцевості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналіз перспектив використання в ходовій частині військових гусеничних машин керованих систем підресорювання / В.А. Федоров – Київ: 1990. – 64 с.
2. Redfi eld R.C. Performance of Low-bandwidth, Semi-Active Damping Concepts for Suspension Control. Vehicle System Dynamics, 1991, vol. 20, pp. 245 — 267.
3. Karnopp D., Sang-Gyun So. Energy Flow in Active Attitude Control Suspensions: A Bond Graph Analysis. Vehicle System Dynamics, 1998, vol. 29, pp. 69 — 81.
4. Moreau X., Ostaloup A., Nouillant M. Comparison of LQ and CRONE methods for the design of suspension systems. 13th IFAC World Congress. San Francisco(USA), 1996, pp. 62 — 67.
5. Дущенко В. В. Системи підресорювання військових гусеничних і колісних машин: розрахунок та синтез : навч. посібник / В. В. Дущенко ; ред. О. І. Шпільова ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : Панов А. М., 2018. – 336 с.

**Поліщук Леонід Клавдійович**, д. т. н., проф., зав. кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [leo.polishchuk@vntu.edu.ua](mailto:leo.polishchuk@vntu.edu.ua).

**Слабкий Андрій Валентинович** – к. т. н., доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: [Slabkiyandrey@gmail.com](mailto:Slabkiyandrey@gmail.com), тел.

**Кудраш Віталій Олександрович** – асистент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: [lisovoy844@gmail.com](mailto:lisovoy844@gmail.com).

## PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF PRESENTATION OF HIGH-SPEED TRACKED MACHINES

### *Abstract*

*Prospects for the development of suspension systems for tracked vehicles to increase speed are considered. The possibility of a further increase in speed when using non-traditional suspension systems is shown.*

**Key words:** *tracked machine, high speed, smoothness of movement, suspension*

**Polishchuk Leonid Klavdiyovych**, EngD., prof., head Department of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [leo.polishchuk@vntu.edu.ua](mailto:leo.polishchuk@vntu.edu.ua).

**Slabkyi Andrii Valentynovich** – Ph.D., assistant professor of mechanical engineering industry, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: [Slabkiyandrey@gmail.com](mailto:Slabkiyandrey@gmail.com).

**Kudrash Vitaly Oleksandrovych** - assistant of the Department of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: [lisovoy844@gmail.com](mailto:lisovoy844@gmail.com).

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗДІЙСНЕННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ

<sup>1</sup> Національний транспортний університет

### *Анотація*

*Виконано дослідження особливостей планування та здійснення комбінованих перевезень вантажів на автомобільному транспорті.*

**Ключові слова:** надійність доставки, оптимізація, транспортування вантажів, технологія, мультимодальність.

### **Вступ**

В наші дні зростання глобалізації та торгівлі спричиняє необхідність ефективного та швидкого транспортування вантажів по всьому світу. У сучасному світі, де шляхи сполучення стають все більш різноманітними, мультимодальні перевезення набувають особливої важливості. Цей підхід, що поєднує кілька видів транспорту, дозволяє досягти оптимального поєднання швидкості, економії та надійності доставки.

Мета полягає в дослідженні факторів, що впливають на вибір маршрутів та видів транспорту, а також переваги та недоліки мультимодальності, проаналізуємо технологічні та регуляторні аспекти, пов'язані з цим типом перевезень [1, 2].

### **Результати дослідження**

Мультимодальні перевезення взагалі є підходом до транспортування вантажів, який передбачає використання кількох різних видів транспорту (наприклад, автомобілів, залізниць, морських суден, авіаліній та інших) для доставки вантажу з точки відправлення до пункту призначення [3]:

- Ефективне поєднання різних видів транспорту. Мультимодальні перевезення вантажів дозволяють максимально використовувати переваги кожного виду транспорту, забезпечуючи оптимальну швидкість доставки та зниження витрат.
- Гнучкість та адаптивність. Мультимодальні перевезення дозволяють швидко реагувати на зміни умов, такі як транспортні затори, погодні умови або політичні обмеження, шляхом переключення на інший вид транспорту чи альтернативний маршрут.
- Оптимізація логістичних процесів. Мультимодальність дозволяє логістичним компаніям знизити загальні витрати та підвищити ефективність процесів перевезення вантажів шляхом раціонального поєднання різних видів транспорту.
- Зниження ризиків. Використання кількох видів транспорту у мультимодальних перевезеннях допомагає зменшити ризик втрати або пошкодження вантажу, оскільки в разі проблем з одним видом транспорту існує можливість швидко переключитись на інший.
- Глобальне покриття. Мультимодальні перевезення дозволяють охоплювати великі відстані та здійснювати доставку вантажів до віддалених регіонів, де доступність окремих видів транспорту може бути обмеженою.
- Врахування особливостей вантажу. Мультимодальні перевезення дозволяють підібрати оптимальний вид транспорту для конкретного типу вантажу, забезпечуючи його безпеку та цілісність.
- Технологічний прогрес. Розвиток інформаційних технологій та систем управління логістичними процесами сприяє автоматизації та оптимізації мультимодальних перевезень, забезпечуючи точність і швидкість обробки даних.

- Регуляторна сфера. Особливості здійснення мультимодальних перевезень вантажів пов'язані з регулятивними аспектами, які варто враховувати при плануванні та здійсненні перевезень.

### Висновки

Мультимодальні перевезення вантажів є ефективним та гнучким способом доставки, який використовує переваги різних видів транспорту. Вони забезпечують так званий глобальний рівень охоплення, дозволяючи доставляти вантажі на значні відстані та перетинати кордони. Проте їх успішне здійснення вимагає високого рівня координації між різними операторами та службами доставки, а також належну обробку документації та оптимізацію митних процедур.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Нагорний Є.В. Аналіз сучасних підходів до підвищення ефективності логістичних систем доставки вантажів в міжнародному сполученні [Текст] / Є.В. Нагорний, В.С. Наумов, А.В. Іванченко // Транспортні системи та технології перевезень: Зб. Наук. Пр.. Дніпропетр. Нац. ун-ту заліз. тр-ту ім. ак. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 3.

2. Дмитриченко М.Ф. Міжнародні перевезення: навчальний посібник / М.Ф. Дмитриченко, І.А. Вікович, І.Л. Самсін, Р.В. Зінько. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 308 с.

3. Мультимодальні міжнародні вантажоперевезення. URL: <https://www.cargo-ukraine.com/multimodalni-mizhнародni-vantazhoperevezennya-osoblivosti/>

**Хоботня Тетяна Георгіївна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, Київ, e-mail: evol\_tanya@ukr.net.

**Бабенко Мар'яна Анатоліївна** — студентка групи МП-1-2м, факультет транспортних та інформаційних технологій, Національний транспортний університет, Київ, e-mail: maryanababenko@gmail.com.

**Фурдецький Дмитро Валерійович** — студент групи МП-1-2м, факультет транспортних та інформаційних технологій, Національний транспортний університет, Київ, e-mail: dimafurdezkiy@gmail.com.

### Study of the features of multimodal cargo transportation

#### **Abstract.**

*The study of the peculiarities of planning and implementation of combined transportation of goods by road transport was carried out.*

**Keywords:** delivery reliability, optimization, cargo transportation, technology, multimodality.

**Khobotnia Tetiana H.** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: evol\_tanya@ukr.net.

**Babenko Mariana A.** – student of MP-1-2m group, Faculty of Transportation and Informational Technologies, National Transportation University, Kiev, e-mail: maryanababenko@gmail.com

**Furdezkiy Dmitro V.** - student of MP-1-2m group, faculty of transportation and informational technologies, National Transportation University, Kiev, e-mail: dimafurdezkiy@gmail.com



**М. М. Тимошенко**  
**В. В. Рудзінський**  
**С. В. Мельничук**  
**Б. В. Ємець**  
**О. П. Рябчук**

## **ДУАЛЬНА ОСВІТА ЯК СПОСІБ НАБУТТЯ ПЕРЕДОВИХ ЗНАНЬ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ**

Житомирський агротехнічний фаховий коледж

### **Анотація**

*Висвітлено досвід дуальної форми здобуття освіти при підготовці студентів за освітньо-професійною програмою «Автомобільний транспорт» Житомирського агротехнічного фахового коледжу, акредитованої за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти.*

**Ключові слова:** дуальна освіта, бакалавр, автомобільний транспорт.

### **Вступ**

Сьогодення автомобільного транспорту це постійний динамізм кардинальних змін та інновацій. Автомобіль вбирає в себе передові технічні ідеї, комп'ютерні системи і технології, нові конструкційні та експлуатаційні матеріали. Йде широке виросання альтернативних палив, гібридних та електричних силових установок. Стрімко входять в автомобільне життя «розумні» системи, новітні системи активної та пасивної безпеки та інше.

Технічне обслуговування сучасного автомобіля неможливе без нових методів та передових технологій базованих на використанні комп'ютеризованого діагностичного обладнання. За експлуатацією автомобіля та його технічним станом дистанційно слідкують інтелектуальні транспортні системи.

З погляду на вище сказане галузь автомобільного транспорту вимагає спеціаліста високого рівня, що має передові як теоретичні знання так і практичні компетенції.

Фаховість та професіоналізм викладача в більшості може забезпечити майбутньому фахівцю-автомобілісту лише теоретичні фундаментальні знання, набуття ж спеціалізованих професійних компетенцій неможливе без наявності навчальних та дослідних лабораторій, обладнаних технологічним обладнанням, що відповідає сучасному розвитку та потребам експлуатації автомобілів.

По ряду причин навчальні заклади на сучасному етапі не в змозі в повній мірі обладнати та постійно оновлювати матеріальну базу своїх навчальних лабораторій стендами та обладнанням, що використовуються на підприємствах автомобільного транспорту для технічного обслуговування та ремонту нових систем автомобіля, а також макетів цих систем для їх вивчення та дослідження.

З іншої сторони в підготовку студентів великий негатив привнесли роки карантину та військового стану, що, нажаль, продовжується і нині. Вимушене запровадження в навчальних закладах дистанційної форми занять через інтернет платформи значно знизили якість навчання, а особливо на прикладних технічних спеціальностях.

Реальним виходом і такої ситуації є дуальна форма навчання. Відповідно до Закону України про освіту [1] дуальна форма здобуття освіти - це спосіб здобуття освіти, що передбачає поєднання навчання осіб у закладах освіти (в інших суб'єктів освітньої діяльності) з навчанням на робочих місцях на підприємствах, в установах та організаціях для набуття певної кваліфікації, як правило, на основі договору.

Дуальна форма здобуття професійної освіти – це спосіб навчання, за яким теоретичний матеріал опановується в закладі з педагогом, а практичне навчання проходить на виробництві. Такий підхід суттєво відрізняється від «практичних відпрацювань», оскільки в його основі не тільки закріплення теорії на практиці, а саме навчання в умовах виробництва. Рівень участі роботодавців у навчальній формі навчання становить найбільшу

кількість у м. Києві (175), Житомирській (160), Львівській (134), Вінницькій та Хмельницькій (125), Рівненській (111) областях [2].

Запровадження дуального навчання дає можливість студентам автомобілістам набуття спеціалізованих (фахових) компетенцій передових технологій технічного обслуговування і ремонту сучасних автомобілів, вміщуючи практично весь спектр застосованого технологічного обладнання.

Особливістю освітньо-професійної програми «Автомобільний транспорт» Житомирського агротехнічного фахового коледжу, акредитованої за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти [3], є впровадження елементів дуальної освіти та практично-орієнтованої системи навчання, яка передбачає підкріплення теоретичних знань практичними навичками отриманими на лабораторних базах філій випускової кафедри утворених на провідних автотранспортних підприємствах для забезпечення високої якості підготовки випускників.

Для реалізації цього коледжем в 2019-2021 роках були укладені договори про співпрацю та утворення філій кафедри автомобільного транспорту з провідними автомобільними підприємства Житомира різних сфер діяльності [4]. Вибір підприємств переслідував мету охоплення основних напрямків діяльності автомобільного транспорту.

Так на основі укладених договорів про створення філії кафедри автомобільного транспорту на ПрАТ «Житомир-Авто», що відноситься до автосервісних компаній і є дилером автомобілів марок Mercedes-benz, KIAmotors, ZAZ, Chery, LADA, KIA та інших, в навчальному класі та на виробничих місцях підприємства із застосуванням передового обладнання проводиться частина практичних та лабораторних занять освітніх компонентів «Автомобілі (теорія експлуатаційних властивостей та розрахунку)»; «Автомобільні двигуни»; «Основи технічної діагностики автомобілів», «Випробування автомобілів», і в повному об'ємі навчальний курс «Технічна експлуатація автомобілів». Частина лабораторних занять освітнього компоненту «Спеціалізований рухомий склад автомобільного транспорту» проводиться на філії кафедри на автоперевізному підприємстві ПрАТ «Житомирське АТП 11854». Частина лабораторних занять освітніх компонентів «Випробування автомобілів», «Основи технічної діагностики автомобілів» та в повному об'ємі вибіркового навчального курсу «Ліцензування і сертифікація на автотранспорті» проводяться на філії кафедри у випробувальній лабораторії ТОВ «ТЕСТМЕТРСТАНДАРТ», яке займається ліцензуванням та сертифікацією автотранспорту (рис.1, 2).

В загалом в режимі дуального навчання проводиться майже п'ята частина всієї освітньої програми та понад 25% дисциплін професійної підготовки.

До викладання занять на філії кафедри на ПрАТ «Житомир-Авто» залучено фахівця даного підприємства, а саме заступника директора з сервісу Нестеренка В.В.

Проведення занять на виробництві допомогло кафедрі автомобільного транспорту період ковідного карантину та працювати в умовах військового стану при переведенні студентів на он-лайн навчання.

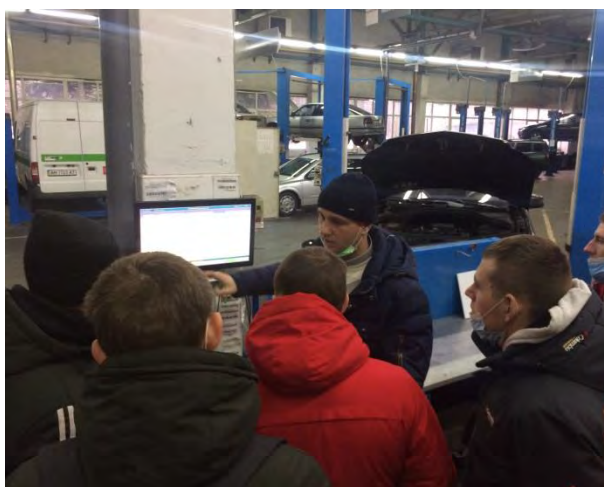


Рис. 1. Практичне заняття з дисципліни «Основи технічної діагностики автомобілів» проходить на ПрАТ «Житомир-Авто», листопад 2020 р.



Рис. 2. Захист курсових проектів з «Технічної експлуатації автомобілів» в класі на ПрАТ «Житомир-Авто». Приймає комісія в складі к.т.н. Ломакіна В.О. та Нестеренка В.В., грудень 2020 р.

## Висновки

Досвід проведення дуального навчання показує значні позитивні результати набуття студентами фахових компетенцій та створює для них реальні умови для вивчення теоретичного матеріалу на практиці. Тому планується і надалі розвивати цей напрямок підготовки бакалаврів автомобілістів, а також запроваджувати його для фахових молодших бакалаврів та на інших спеціальностях коледжу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про освіту».
2. <https://mon.gov.ua/ua/osvita/profesijno-tehnichna-osvita/reforma-profesijnoyi-osviti/derzhavno-privatne-partnerstvo-ta-dualna-osvita/dualna-osvita>
3. <https://zhatk.zt.ua/osvitnij-proczes/kafedri/kafedra-avtomobilnij-transport/osvitni-programi>
4. <https://zhatk.zt.ua/osvitnij-proczes/kafedri/kafedra-avtomobilnij-transport/filiya-kafedri>

**Тимошенко Микола Михайлович** – директор Житомирського агротехнічного фахового коледжу, доктор економічних наук, e-mail: [info@zhatk.zt.ua](mailto:info@zhatk.zt.ua)

**Рудзінський Володимир Васильович** – викладач кафедри автомобільного транспорту Житомирського агротехнічного фахового коледжу, доктор технічних наук, професор, спеціаліст вищої категорії

**Мельничук Сергій Володимирович** – завідувач кафедри автомобільного транспорту Житомирського агротехнічного фахового коледжу, кандидат технічних наук, доцент, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист, e-mail: [sergij.m@ukr.net](mailto:sergij.m@ukr.net)

**Ємець Богдан Володимирович** – викладач кафедри автомобільного транспорту Житомирського агротехнічного фахового коледжу, кандидат технічних наук, спеціаліст вищої категорії, e-mail: [bogdan1199@ukr.net](mailto:bogdan1199@ukr.net)

**Рябчук Олександр Павлович** – завідувач кафедри загально технічних дисциплін Житомирського агротехнічного фахового коледжу, кандидат сільськогосподарських наук, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист, e-mail: [nostradamus1969@ukr.net](mailto:nostradamus1969@ukr.net)

## DUAL EDUCATION AS A WAY OF ACQUIRING ADVANCED KNOWLEDGE OF FUTURE AUTOMOBILE TRANSPORT SPECIALISTS IN TODAY'S CONDITIONS

### Summary

*The article considers experience of a dual education form in the training of students according to the educational and professional program "Automobile transport" of Zhytomyr Agricultural Technical Professional College which is accredited for the first (bachelor) level of higher education.*

**Keywords:** dual education, bachelor's degree, automotive transport

**Tymoschenko Mykola Mykhailovych** – Director of Zhytomyr Agricultural Technical Professional College, Doctor of Economic Sciences, e-mail: [info@zhatk.zt.ua](mailto:info@zhatk.zt.ua)

**Rudzinsky Volodymyr Vasyliovych** – lecturer of the Automobile Transport Department of Zhytomyr Agricultural Technical Professional College, Doctor of Engineering, Professor, a specialist of the highest category, e-mail: [vladimirrudzinskiy@bigmir.net](mailto:vladimirrudzinskiy@bigmir.net)

**Melnychuk Serhii Volodymyrovych** – head of the Automobile Transport Department of Zhytomyr Agricultural Technical Professional College, PhD of Technical Sciences, docent, a specialist of the highest category, teacher-methodologist, e-mail: [sergij.m@ukr.net](mailto:sergij.m@ukr.net)

**Yemets Bohdan Volodymyrovych** – lecturer of the Automobile Transport Department of Zhytomyr Agricultural Technical Professional College, PhD of Engineering, a specialist of the highest category, e-mail: [bogdan1199@ukr.net](mailto:bogdan1199@ukr.net)

**Ryabchuk Oleksandr Pavlovich** – head of the General Technical Disciplines Departments of Zhytomyr Agricultural Technical Professional College, PhD of Agricultural Sciences, a specialist of the highest category, teacher-methodologist, e-mail: [nostradamus1969@ukr.net](mailto:nostradamus1969@ukr.net)

## ПРОБЛЕМИ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У ВОЄННИЙ ЧАС

<sup>1</sup> Національний транспортний університет

### **Анотація**

*Висвітлюються основні питання, які мають вплив на роботу транспортних підприємств під час організації вантажних перевезень у воєнний час, а також прогнози на майбутнє для ринку вантажних перевезень.*

**Ключові слова:** вантажні перевезення, транспорт, шляхи постачання, попит, експорт товарів.

### **Вступ**

Повномасштабна війна неабияк вплинула на ринок вантажних перевезень по всій країні. Зручні та звичні маршрути, що використовувала більшість компаній, як мінімум обмежені, як максимум зруйновані та небезпечні для транспортування. Нemoжливими для перевезення стала велика кількість автомобільних та залізничних шляхів постачання, що потрапили у зону тимчасової окупації. Заборона авіаційного транспорту та блокування морських портів призвела до повної зупинки експорту. Логістична галузь була зруйнована на деякий період часу, що завдяки відсутності можливого розвитку експорту, посприяло на погіршенню стану економіки країни, зростанню курсу національної валюти, від якого загалом залежать міжнародні вантажні перевезення.

Велика кількість підприємств, що експортували власне виробництво, припинили своє існування через знищення складів, або опинилися у зоні бойових дій. Окрім загально-логістичних проблем, транспортні підприємства також стикнулись з рядом неприємностей [1], таких як:

➤ Відсутність транспортних засобів. Велика кількість транспортних засобів пішли на потреби Збройних сил України або для перевезень гуманітарних вантажів, деякий відсоток був переданий у волонтерські центри; інша ж частина лишилась на обслуговування внутрішніх перевезень для закриття головних потреб населення. Навіть залишок автомобілів, який мав змогу здійснювати зовнішні перевезення, до літа 2022 року не міг цього робити через нестачу дозвільних документів для країн – прямування, на які були перенаправлені основні вантажопотоки.

➤ Нестача спеціалістів. Транспортні підприємства втратили як кваліфікованих логістів, так і водіїв – міжнародників через вступ останніх до армії України.

➤ Висока вартість палива. Вартість палива впливає на безпосередньо вартість перевезення, від чого і залежить попит на послугу. Наприклад, якщо до повномасштабного вторгнення вартість перевезення 7т вантажу за маршрутом Київ – Львів була приблизно десять тисяч гривень, то на початок війни ціна сягнула близько п'ятдесяти тисяч гривень.

### **Результати дослідження**

Однозначно стверджувати про темпи покращення ситуації під час війни неможливо, проте завдяки іноземним партнерам, а також підписаним торгівельним угодам, можна сказати, що автомобільний сегмент ринку вантажних перевезень відновиться найближчим часом. Саме автомобільні перевезення вимагають найменшого обслуговування, на відміну від морського транспорту та залізниці, тому перевезення дійсно простіше організувати автомобілем. Рух автомобілів просто неможливо заблокувати, а також вони не залежать від наявності електроенергії, яка в холодні періоди року частково відсутня.

Незважаючи на різну ширину колій, залізниця в свою чергу може частково розвантажити морську логістику та збільшити обсяги перевезень у західному напрямку. Морська ж логістика,

за умов наявності зернових угод, зможе стабільно покращувати експорт та валютні надходження в країну.

До кінця 2023 року автотранспортні компанії зможуть повністю відновити довоєнний обсяг перевезень, так як нині з'являється велика кількість проектів по будівництву та ремонту доріг, що дасть можливість відновити старі маршрути. Минулого літа був підписаний Транспортний безвіз, який діє і дотепер. Це полегшує процес організації міжнародних перевезень та збільшення попиту на перевезення. Тепер навіть подовження тривалості маршруту та більша кількість транзитних країн не створить нові ускладнення для виконання рейсу[2].

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дмитриченко М.Ф. Міжнародні перевезення: навчальний посібник / М.Ф. Дмитриченко, І.А. Вікович, І.Л. Самсін, Р.В. Зінько. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 308с.

2. Мокряков А.В. Підсумки 2022 року для української логістики та прогноз на 2023 рік. URL: <https://logist.fm/publications/>

**Хоботня Тетяна Георгіївна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, Київ, e-mail: [evol\\_tanya@ukr.net](mailto:evol_tanya@ukr.net).

**Бичок Дар'я Анатоліївна** — студентка групи МП-4-1, факультет транспортних та інформаційних технологій, Національний транспортний університет, Київ, e-mail: [dariiab1804@gmail.com](mailto:dariiab1804@gmail.com).

**Хоменко Анастасія Станіславівна** — студентка групи МС-3-1Т, факультет заочного, дистанційного навчання та підготовки іноземних громадян, Національний транспортний університет, Київ, e-mail: [antip\\_anastasia3001@ukr.net](mailto:antip_anastasia3001@ukr.net).

#### *Problems of international cargo transportation in wartime*

##### *Abstract.*

*The main issues that have an impact on the work of transport enterprises during the organization of freight transportation in wartime, as well as future forecasts for the freight transportation market, are highlighted.*

**Key words:** freight transportation, transport, ways of supply, demand, export of goods.

**Khobotnia Tetiana H.** — Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: [evol\\_tanya@ukr.net](mailto:evol_tanya@ukr.net).

**Bychok Daria A.** — Department of Transport and Information Technologies, National Transport University, Kyiv, e-mail: [dariiab1804@gmail.com](mailto:dariiab1804@gmail.com).

**Khomenko Anastasiia S.** — Department of Correspondence, Distance Education and Training of Foreign Citizens, National Transport University, Kyiv, e-mail: [dariiab1804@gmail.com](mailto:dariiab1804@gmail.com).

## ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТІВ НАПЛАВЛЕНИХ З ДОДАВАННЯМ МОЛІБДЕНУ

Вінницький національний технічний університет;

### Анотація

В роботі дана оцінка мікроструктури наплавленого металу електродом марки МНЧ-2 в перехідній зоні до основного металу з додаванням відсотку молібдену.

**Ключові слова:** наплавочні матеріали, молібден, монель, зносостійкий шар, легований чавун.

### Вступ

Підвищення працездатності машин та обладнання, як і раніше, залишається одним із основних напрямків наукових та технологічних досліджень. Адже це дозволить скоротити витрати металу, підвищити продуктивність праці, знизити простій обладнання, викликаний необхідністю ремонту, а, отже, буде сприяти збереженню трудових та матеріальних ресурсів. Вирішенням цієї проблеми є підвищення механічних характеристик конструкційних матеріалів, а саме: надійності, довговічності зносостійкості, міцності [1, 2].

Метою роботи є дослідження впливу молібдену з додаванням його порошку в обмазку електрода МНЧ-2, на стабільність графітних включень та зносостійкість поверхневих шарів наплавлених на сірий чавун.

Науково-технічною задачею, яка вирішується в даній роботі, є створення порошкової композиції обмазки для електродугового наплавлення з метою підвищення твердості покриття та стабілізації структури зносостійких чавунних поверхонь.

### Результати дослідження

Для експерименту використовували стандартний електрод МНЧ-2, стрижень, якого є мідний дріт НМЖМц 28-2,5-1,5 (Монель). Наплавлення проводилось постійним струмом зворотної полярності, сила струму 160А.

Хімічний склад НМЖМц 28-2.5-1.5 наведено в табл. 1.

Хімічний склад МНЧ-2 наведено в табл. 2.

Таблиця 1 – Хімічний склад НМЖМц 28-2,5-1,5 (Монель)

Ni+Co	Fe	C	Si	Mn	S	P	Cu	As	Pb	Mg	Sb	Bi	Домішок
65.6 - 69.8	2 – 3	≤ 0.2	≤ 0.05	1.2 - 1.8	≤ 0.01	≤ 0.01	27 - 29	≤ 0.01	≤ 0.003	≤ 0.1	≤ 0.002	≤ 0.002	всього 0.6

Монель - мідно-нікелевий сплав, створений на початку ХХ століття. Його особливість полягає в тому, що МОНЕЛЬ виплавляється з сульфідної мідно-нікелевої руди без попереднього розділення міді та нікелю. (НМЖМц 28-2,5-1,5) відрізняється високою корозійною стійкістю і високими механічними властивостями. Технологічні властивості цього мідно-нікелевого сплаву, а саме пластичність, дозволяють здійснювати його обробку тиском в гарячому і холодному стані.

Таблиця 2 – Хімічний склад електрода МНЧ-2

Mn	Ni	Fe	Cu
2,2	66,0	2,9	остальное

Мідне осердя електрода при наплавленні на чавун сприяє графітизації вуглецю в чавуні, збільшує рідкотекучість, підвищує міцність та твердість сплаву [1].

Електрод попередньо очистили від стандартної обмазки. Часточки стандартної обмазки подрібнили до порошкоподібного стану та додали 1% молібдену.

На рис. 1. показано електрод з нанесеним покриттям з додаванням 1% Мо.



Рисунок 1 – Електрод з обмазкою МНЧ-2 з додаванням 1% молібдену.

Відомо, що молібден є легуючим елементом, який уповільнює процес графітизації вуглецю та сприяє карбідоутворенню в чавунах.

Сумісна дія елементів міді та молібдену повинна підвищити процес графітизації та утворенню в наплавленому шарі структуру з дисперсними включеннями графіту, що сприяє поліпшенню механічних властивостей в поверхневому шарі

Наплавлення проводилось на зразках сірого чавуна СЧ 15-32, який має пластинчастозавихряню структуру. СЧ-15-32 чавун з межею міцності на розтяг 150 МПа та межею міцності на вигин 320 МПа [2].

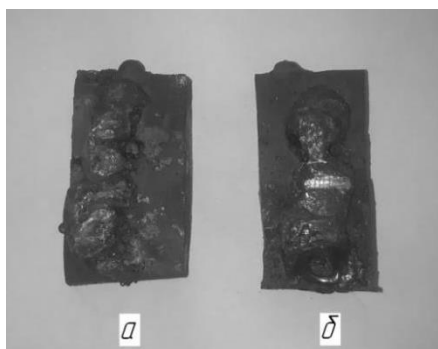


Рисунок 2 – Зразки з наплавленими валиками:

а) - електродом з молібденом; б) - електродом стандартним.

Приготування шліфів для проведення металографічних дослідів здійснювалось за стандартними методиками. Травлення шліфів проводили розчином азотної кислоти ( $HNO_3 + 5H_2O$ ).

Металографічні дослідження отриманих зразків проводились на оптичних мікроскопах.

На рисунку 3 показано мікроструктуру наплавленої поверхні стандартним електродом, на рис.4 наплавлена поверхня електродом з додаванням молібдену.

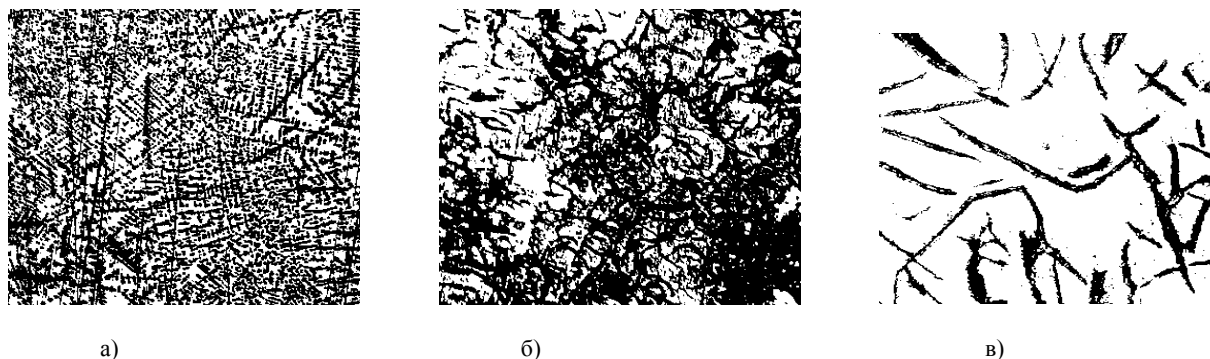


Рисунок 3 – Мікроструктура зразка, що наплавлена стандартним електродом: а) - мікроструктура шва, б) - мікроструктура перехідної зони, в) - мікроструктура основного металу





а)

б)

в)

Рисунок 4 – Мікроструктура зразка, що наплавлена електродом з додаванням молібдену: а) - мікроструктура шва, б) - мікроструктура перехідної зони, в) - мікроструктура основного металу

Наявність молібдену (рис.4.б) змінив структуру зразка, і в перехідній зоні відбулось збільшення та подрібнення пластинчастих графітових включень. На полі шліфів зразка рис. 3.б та рис. 4.б видно як змінилася кількість та форма графітових включень. Пластинки графіту стали значно менші, та утворились дрібні частинки кулястого графіту. Отже, за рахунок внесення молібдену в електродну обмазку, ми отримали пластинчасто-кулясту структуру перехідної зони шва з основним металом.

Металографічний аналіз показав, що в процесі наплавлення сірого чавуну мідне осердя електроду сприяло утворенню якісного поверхневого графітованого шару. Відсоток молібдену в наплавленому шарі змінив структуру графіту на кулькоподібну рівномірно розташовану по полю мікрошліфа. Утворення кулькоподібної форми графіту в наплавленому шарі сприяє його зносостійкості.

#### Висновки

Встановлено, що запропонований спосіб легування поверхневого шару сприяє зміні структури графіту на кулькоподібну рівномірно розташовану по полю мікрошліфа. Структура наплавленого шару відповідає структурі зносостійкого легованого чавуну, що підвищує його зносостійкість.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савуляк В.І., Шиліна О.П. Вплив міді на утворення структури поверхневого шару, оплавленого когерентними пучками світла. Зварювання та споріднені технології: перспективи розвитку : тези доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції, (Краматорськ, 19–20 жовт. 2021 р.) / М-во освіти і науки України [та ін.], за заг. ред. д-ки техн. наук Н. О. Макаренко. – Краматорськ : ДДМА, 2021. 64-66.
2. Наплавлення: навч. посібник // Власов А.Ф., Кузнецов В.Д., Макаренко Н.О., Богуцький О.А. – Краматорськ, ДДМА, 2010. – 336с.

Шиліна Олена Павлівна – канд. техн. наук, доцент кафедри галузевого машинобудування Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [epshilina.tpz@gmail.com](mailto:epshilina.tpz@gmail.com)

*Shilina Olena P.* – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of department of machine-building, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [epshilina.tpz@gmail.com](mailto:epshilina.tpz@gmail.com)

**O. P. Shilina**

#### FORMATION OF FUSION COATINGS WITH THE ADDITION OF MOLYBDENUM

##### **Abstract**

*The paper provides an assessment of the microstructure of the deposited metal with the MNCH-2 electrode in the transition zone to the base metal with the addition of a percentage of molybdenum.*

**Keywords:** surfacing materials, molybdenum, monel, wear-resistant layer, alloyed cast iron.

*Shilina Olena P.* – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of department of machine-building, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [epshilina.tpz@gmail.com](mailto:epshilina.tpz@gmail.com)



## УЗАГАЛЬНЕННЯ ДАНИХ СТОСОВНО ВІДНОСНОЇ ОБРОБЛЮВАНOSTІ СТАЛЕЙ ТА ДЕЯКИХ СПЛАВІВ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ЇХ МЕТАЛЕВОЇ МАТРИЦІ

<sup>1</sup> Фізико-механічний інститут НАН України;

<sup>2</sup> ДЗ «ЛНУ ім. Тараса Шевченка»

### Анотація

На основі аналізу літературних даних та результатах власних досліджень запропоновано діаграму відносної оброблюваності сталей та деяких сплавів з урахуванням впливу металевої матриці.

**Ключові слова:** механічна обробка, сталь, Ni-Co сплав, коефіцієнт оброблюваності, 38ХНЗМФА.

### Вступ

Відомо, що в енергомашинобудуванні застосовують деталі з різними типами металевої матриці, що позначається на їх механічній оброблюваності. Для еталона традиційно заведено обирати сталь 45 ( $\sigma_s = 650 - 750$  МПа, НВ 180 - 220) [1]. Коефіцієнт оброблюваності  $K_{обр}$ , визначають за формулою:

$$K_{обр} = \frac{V_{60}^A}{V_{60}^B} \quad (1)$$

Де  $V_{60}^A$  - швидкість різання при  $T = 60$  хв, що характеризує оброблюваність досліджуваного матеріалу А;  $V_{60}^B$  - швидкість різання при  $T = 60$  хв, що характеризує оброблюваність еталонного матеріалу Б. Для сталі 45  $K_{обр} = 1$ . Важкооброблюваними сплавами вважаються, такі де  $K_{обр} \leq 1$ . Також відомо, що з метою скорочення витрат часу і коштів при знаходженні цієї залежності існують та розробляються різні інші експрес-методи оцінки оброблюваності.

Досліджено механічну оброблюваність сплавів в умовах точіння при різних умовах змащування. В якості змащувальних охолоджувальних рідин (ЗОР) використовували зразки нових ЗОР на основі ріпакової (ЗОРр), соняшникової (ЗОРс) олій та нафтової оливи (ЗОРн) – ЕТ-2У (ТУ У 00152365.133 - 2001), їх концентрати та модифікатори олій (моноетаноламін (МЕА) та триетаноламін (ТЕА)), також проводили різання з водою.

Стружку отримували, відрізаючи на токарно-гвинторізному верстаті МК 6141 від заготовок сталі круги діаметром 22 - 30 мм. Використовували відрізний різець оснащений тврдосплавною пластиною ВК-6, а також прохідні різці інших марок, призначені для обробки кованих, жароміцних та важкооброблювальних сплавів.

Метою роботи є узагальнення на основі літературних даних та результатах власних досліджень систематизації матеріалу відносної оброблюваності матеріалів з урахуванням їх металевої матриці.

### Результати дослідження

На основі дослідження впливу структурно-фазового стану на механічну оброблюваність сталей 20, 45, 38ХНЗМФА (з різними видами термічної обробки та металевих матриць), 13Х11Н2В2МФ (ЕІ 961), 03Х12Н10МТ (ЕП 810), 10Х11Н23Т3МР (ЕП 33), високоазотних сталей (12Х18АГ18Ш, Р900) та Ni-Co сплавів типу ЕП 741, 742 показано, що за збільшенням механічної оброблюваності металева основа досліджених сплавів розташовується у такій послідовності: ферит, ферито-перліт, перліт-ферит, перліт – мартенсит, мартенсит - аустеніт, аустеніт-мартенсит, мартенсит – залишковий аустеніт після термічної обробки, бейніт, троостіт, сорбіт, – аустеніт – високоазотний аустеніт -  $\gamma$  та  $\gamma'$  фази (в Ni-Co сплавах) [2-4].

Діаграма відносної оброблюваності досліджуваних сталей та сплавів наведена на рис. 1.

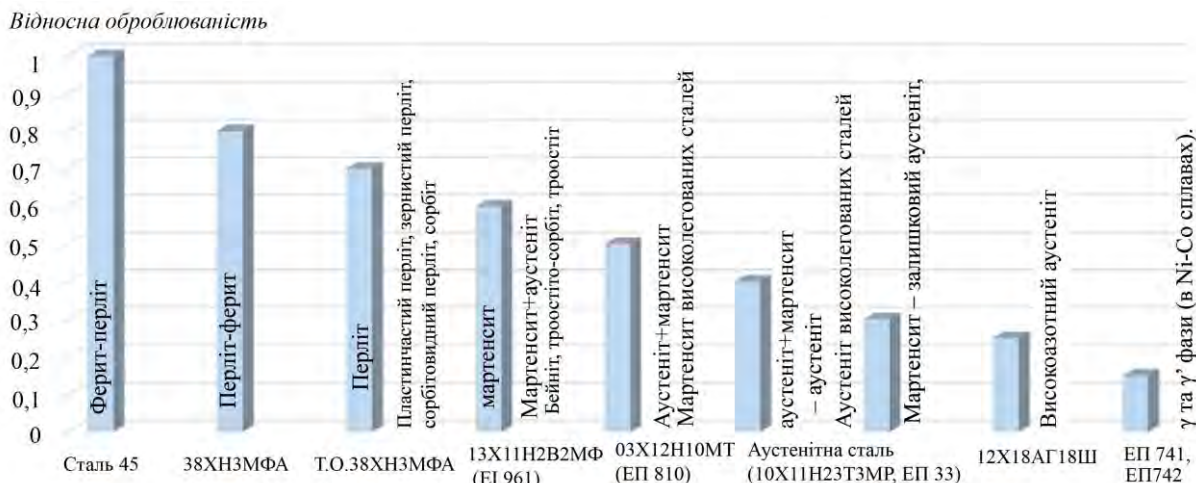


Рис. 1. Діаграма відносної оброблюваності досліджуваних сталей та сплавів.

## Висновки

Запропоновано діаграму відносної обробки сталей та Ni-Co сплавів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи теорії різання матеріалів: підруч. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямками підгот. "Інженерна механіка" та "Машинобудування" / М. П. Мазур [та ін.] ; під заг. ред. М. П. Мазура. – Л. : Новий Світ-2000, 2010. – 422 с.
2. Балицький О., Колесніков В., Еліаш Я., Гаврилюк М. Вплив типу металевої матриці на механічну оброблюваність сталей та сплавів для енергетики. Міжнародний симпозиум інженерів-механіків у Львові: 14-й міжн. наук.-техн. конф., 23–24 трав. 2019 р.: тези доповідей. Львів: КІНПАТРІ ЛТД, 2019. С. 6–8.
3. Колесніков В.О. Дослідження механічної обробки аустенітної високозотної сталі // Матеріали I міжнародної науково-технічної конференції "Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2019", 13 - 15 травня 2019 р., м. Вінниця. - С. 206 – 208.
4. Колесніков В.О., Балицький О.І., Гаврилюк М.Р., Ревякіна О.О. Концепція врахування структурно-фазового стану експлуатованих матеріалів в енергомашинобудуванні при проведенні ремонтів з застосуванням механічної обробки. II-га міжн. науково-техн. конф. «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2021», 13 - 15 травня 2021 р. : матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 310–312.

**Колесніков Валерій Олександрович** — канд. техн. наук, науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів, доцент кафедри технологій виробництва та професійної освіти, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Полтава, м. Лубни, e-mail: [kolesnikov197612@gmail.com](mailto:kolesnikov197612@gmail.com)

*Generalization of data on the relative machinability of steels and some alloys, taking into account the influence of their metal matrix*

### Abstract

*Generalization of data on the relative machinability of steels and some alloys, taking into account the influence of their metal matrix*

**Keywords:** machining, steel, Ni-Co alloy, machinability, 38KhN3MFA.

**Kolesnikov Valerii O.** – PhD, Researcher at the Department of strength of materials and structures in hydrogen-containing environments, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv in Engineering sciences of the Department of Production Technologies and Professional Education, Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Lubny, e-mail: [kolesnikov197612@gmail.com](mailto:kolesnikov197612@gmail.com).

**Звірко О. І.**  
**Греділь М. І.**  
**Никифорчин Г. М.**  
**Студент О. З.**  
**Цирульник О. Т.**  
**Кречковська Г. В.**

## **ВПЛИВ ВОДНЮ НА РОЗВИТОК ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПОШКОДЖЕНОСТІ ТРУБОПРОВІДНОЇ СТАЛІ**

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України

### **Анотація.**

*Тривала експлуатація може спричинити високу чутливість до дії водню навіть низькоміцних сталей. Причина у розвитку розсіяної в об'ємі металу пошкодженості формуванням пор під дією деформації, спричиненої високим тиском рекомбінованого в них водню. Звідси експлуатаційна пошкодженість воднево-деформаційного характеру поширює діапазон міцності сталей у бік низькоміцних, за якого можуть реалізуватися механізми водневої крихкості.*

**Ключові слова:** трубна сталь, міцність, водень, механізм розвитку пошкодженості.

Найнебезпечнішим механізмом експлуатаційної деградації конструкційних сталей вважають розвиток в них розсіяної пошкодженості [1]. Ця проблема стосується і трубних сталей нафтогазового комплексу України [2]. У даній праці на прикладі експлуатованої 29 років на магістральному газогоні низькоміцної ферит-перлітної сталі 17Г1С встановили характерні ознаки механізму впливу водню на розвиток експлуатаційної пошкодженості. Порівнювали сталь у вихідному стані та після експлуатації. Широко використано мікрофрактографічний аналіз.

Оскільки труби виготовляють з листового прокату, це створює на мікрорівні особливо сприятливі передумови для експлуатаційної пошкодженості сталей вздовж меж між матрицею і витягнутими в напрямі вальцювання неметалевими включеннями. Запропонована стадійність розвитку пошкодженості. Спочатку відбувається декогезія на окремих нанорозмірних ділянках міжфазних меж між ними. Утворені нанодефекти слугують ефективними пастками водню, рекомбінація якого до молекулярного стану сприяє досягненню у них високого тиску газоподібного водню. В результаті їх коалесценції та росту вздовж міжфазних меж порушується когезія включень з матрицею вже на мікрорівні аж до їх повного відшарування.

Таким чином, роль водню в процесі розвитку пошкодженості виявилась двоякою. З одного боку, водень полегшує відшарування включень від матриці з утворенням великих пор з неметалевими включеннями всередині них. А з іншого, акумульований в цих порах водень сприяє їх деформаційному росту внаслідок зростання його тиску в часі тривалої експлуатації сталі. Однак деструктивна роль включень на цьому не завершується, оскільки вони істотно зменшують об'єм порожнин, в яких накопичується водень. Цим вони відчутно зменшують кількість водню, потрібну для досягнення в них високого тиску.

Механізм формування водневих пор має деформаційну природу, тому ефективніше реалізується в сталях з вищою здатністю до пластичного деформування. За наявності таких дефектів, які створюють концентрацію напружень та посилюють наводнювання металу в їх околі, виникають сприятливі передумови для класичного водневого розтріскування, пов'язаного зі зниженням когезивної міцності. Очевидно, що ці два механізми можуть реалізуватися не лише одночасно і посилювати один одного, але і супроводжувати корозійно-механічне руйнування сталей з низьким опором крихкому руйнуванню. Звідси експлуатаційна пошкодженість воднево-деформаційного характеру розширює діапазон міцності сталей на низькоміцніші, які стають схильними до водневої крихкості, хоча у вихідному стані не виявляли такої схильності. Так, попри здатність до інтенсивного

наводнювання низькоміцні трубопровідні сталі з ферит-перлітною структурою у вихідному стані практично не схильні до корозійного розтріскування. Однак після тривалої експлуатації вони набувають такої схильності [3], що повинно враховуватися під час оцінювання їх роботоздатності.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zvirko O. I. In-Service Degradation of Structural Steels (A Survey), *Materials Science*, 2021. V. 57, No. 3. P. 319–330.
2. Nykyforchyn H., Tsyurulnyk O., Zvirko O., Kret N., Analysis and mechanical properties characterization of operated gas main elbow with hydrogen assisted large-scale delamination, *Engineering Failure Analysis*, 2017. V. 82. P. 364–377.
3. Zvirko O., Gabetta G., Tsyurulnyk O., Kret N. Assessment of in-service degradation of gas pipeline steel taking into account susceptibility to stress corrosion cracking. *Procedia Structural Integrity*. 2019. Vol. 16. P. 121–125.

**Звірко Ольга Іванівна** – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; olha.zvirko@gmail.com.

**Греділь Мирослава Іванівна** – кандидат технічних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; mysya.lviv@gmail.com.

**Никифорчин Григорій Миколайович** – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; hnykyforchyn@gmail.com.

**Студент Олександра Зиновіївна** – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; student@ipm.lviv.ua.

**Цирульник Олександр Тимофійович** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; otsyurulnyk@gmail.com.

**Кречковська Галина Василівна** – доктор технічних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; krechkovskahalyna@gmail.com.

## INFLUENCE OF HYDROGEN ON THE DEVELOPMENT OF OPERATIONAL DAMAGES IN PIPELINE STEEL

### Abstract.

*Long-term operation can cause a high susceptibility to the action of hydrogen, even for low-strength steels. The reason is the development of dissipated damages in the metal in-bulk due to the formation of pores under the action of deformation caused by the high pressure of hydrogen recombined in them. Hence, operational damaging of steels due to hydrogen-related deformation extends the strength range of steels, in which hydrogen embrittlement mechanisms can be realized, towards low-strength ones.*

**Key words:** pipeline steel, strength, hydrogen, mechanism of damage development.

**Olha Zvirko** – D.Sc., Professor, Head of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; olha.zvirko@gmail.com.

**Myroslava Hredil** – Ph.D, Senior Research Fellow, Senior Researcher of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; mysya.lviv@gmail.com.

**Hryhoriy Nykyforchyn** – D.Sc., Professor, Leading Researcher of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; hnykyforchyn@gmail.com.

**Oleksandra Student** – D.Sc., Professor, Leading Researcher of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; student@ipm.lviv.ua.

**Oleksandr Tsyurulnyk** – D.Sc., Senior Research Fellow, Leading Researcher of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; otsyurulnyk@gmail.com.

**Halyna Krechkovska** – D.Sc., Senior Research Fellow, Leading Researcher of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; krechkovskahalyna@gmail.com.

## **ПРО ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА**

<sup>1</sup>Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України,

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Розглянуто підходи до цифрової трансформації ливарного виробництва, як важливої заготівельної бази машинобудування. Якщо частина технологічних процесів вже автоматизована, то виробничі процеси все одно доведеться автоматизувати в «замкненому» циклі на основі цифрової трансформації.*

**Ключові слова:** ливарний, виробництво, автоматизація, цифрова трансформація, технологія, паспорт

Цифрова трансформація – одна з базових ознак нової економіки, що формується в сучасному світі. В ливарному виробництві (ЛВ), процес цифрової трансформації перебуває ще на ранній стадії [1]. Ступінь адаптації цифрових технологій на крупних ливарних підприємствах експертно оцінюють до 20 % з огляду автоматизації управління технологічними процесами з використанням цифрових АСУ ТП. Останні дозволяють управляти процесами в локально замкненому контурі, оптимізувати планування та автоматично виконувати послідовності операцій (пуск та зупинку обладнання; розрахунок та введення металевої шихти; розрахунок рецептур, дозування та змішування формувальних сумішей) багатостадійних періодичних ливарних процесів. При цьому управління безпосередньо виробництвом не автоматизовано. У перелік завдань управління виробництвом можуть входити, зокрема, підготовка та контроль виконання виробничих планів, задачі оптимізації та моніторингу виробничих режимів [2], діагностики та прогнозування дефектності продукції, контролю стану основного обладнання, його безпеки та надійності, питання безпеки персоналу, контролю викидів тощо. Створення таких систем описано у роботах ФТІМС НАНУ.

Нині різноплановість виробничих завдань поєднується зі слабким впровадженням систем автоматизації їх виконання, недостатньою кількістю вихідних даних для роботи таких систем та низькою інтегрованістю існуючого програмного забезпечення між собою. Порівняно з автоматизацією технологічних процесів, більшість завдань управління виробництвом сьогодні виконується в ручному режимі, а не в замкненому контурі. Цифрова трансформація має «замкнути» цей контур та забезпечити виконання таких завдань у автоматизованому режимі. Отримавши дані про поточне виробництво та з архіву історії підприємства, його фахівці за аналітичними додатками (загально-цільовими чи спеціалізованими) прийматимуть рішення, до цього залучатимуть галузевих експертів чи комп'ютерні програми, а контроль рішень проходитиме за даними реального часу, автоматично отриманих з АСУ ТП та інших джерел.

Також цифрова трансформація істотно поліпшить роботи у небезпечних зонах підприємства та на віддалених об'єктах, де ведуть обходи польові оператори для контролю стану обладнання, технічного обслуговування та його ремонту. Важливим аспектом цифрової трансформації у ЛВ є принципова зміна бізнес підходів до реалізації готової продукції споживачам. Багато великих ринкових гравців (держпідприємства, транснаціональні компанії, великі об'єднання) вже займаються цифровою трансформацією в основних сферах своєї діяльності. Тому у близькому майбутньому вони замовлятимуть продукцію, технології, послуги передусім у тих виробників, які зможуть інтегруватися до їх цифрових платформ, бо в цьому випадку постачальники можуть бути найбільш вигідними та актуальними для стратегічного розвитку замовників.

ЛВ постачає машинобудуванню, приладобудуванню та іншим галузям литі металовироби. У майбутньому вилівок матиме цифровий паспорт (Digital Passport) для фіксації життєвого циклу

продукту, така інформація про литий виріб міститиме наступне: – серійний номер екземпляра; – технічні показники виробу (паспорт виробу); – матеріали і/або компоненти, що використано при його виробництві; – перелік обладнання, на якому його виготовлено та технологічний ланцюжок його виробництва, включно з виконавцями (змін, бригад, працівників); – результати випробувань, діагностики на кожному технологічному етапі виробництва; – відомості про методи та засоби контролю якості виробу із зазначенням результатів; – відомості про дефекти, відновлювальні та ремонти по ланцюжку кооперації виготовлення; – умови зберігання та експлуатації виробу; – умови знищення, утилізації чи переробки виробу.

Такий підхід створить зв'язок зі споживачем, налагодить оперативний електронний документообіг продукції, виключить контрафакт і її підробку, виявить причини відмови та поломки виробу у складі обладнання, дозволить прогнозувати його технічний стан і підвищить рівень управління якістю. Онлайн простір оперативного обміну документами від виробника та постачальника і замовника дасть виробнику аналітичну інформацію, при використанні якої він зможе зменшити витрати на виробництво литого виробу до низького (конкурентного) рівня.

Цифрова трансформація ЛВ – це об'єктивна необхідність «виживання» всієї галузі. Серед галузей економіки, у яких насамперед вона відбуватиметься, – це автомобіле-, авіа-, судно- та корабле-, двигуно-, машинобудування (атомне, нафтогазове, важке, спеціальне), залізничний транспорт. Ливарним підприємствам слід розробити стратегію своєї цифрової трансформації, в якій врахувати такі аспекти: – цифрової трансформації процесів (для спрощення технології виробництва, обслуговування та ремонту обладнання, адміністративні процеси; включити мобільні рішення для робочого персоналу); – роботизацію та автоматизацію (що знизить або виключить участь людини у некритичних процесах, покращить контроль та стабільність виробничих процесів); – поопераційний контроль якості готової продукції (сформувати систему обліку та ідентифікації готової продукції на підприємстві, розробити цифровий паспорт Digital Passport виробу); – системне управління активами підприємства (для взаємодії в єдиній інформаційній системі виробника, постачальників та споживачів); – просунути аналітику та штучний інтелект (що пов'язані з діагностикою та прогнозуванням технологічних, виробничих та бізнес-процесів, створення інтелектуальних систем динамічного управління процесами).

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дорошенко В. С. Методи «цифровізації» ливарно-металургійного виробництва: віртуальний інжиніринг, цифровий двійник, адитивні технології // Метал і лиття України. – 2021. – № 3. – С. 62-66.

2. Дорошенко В. С., Кравченко В. П. Передумови створення цифрового двійника технологічного процесу лиття за моделями, що газифікуються, за даними моніторингу ливарного цеху // Процеси лиття. – 2020. – № 4. – С. 42 - 52.

**Дорошенко Володимир Степанович** – доктор техн. наук, ст. наук. співр., пров. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, doros55v@gmail.com.

**Янченко Олександр Борисович** – канд. техн. наук, доц. кафедри ГМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 1961yab@gmail.com

**Клименко Степан Іванович** – канд. техн. наук, ст. наук., ст. наук. співр., ст. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, ukrdeplit15@ukr.net.

## ON THE TASK AND METHODS OF DIGITAL TRANSFORMATION OF FOUNDRY PRODUCTION

### Abstract

*Approaches to the digital transformation of foundry production, as an important procurement base of mechanical engineering, are considered. If a part of the technological processes has already been automated, then the production processes will still have to be automated in a "closed" loop based on digital transformation.*

**Keywords:** foundry, production, automation, digital transformation, technology, digital passport

**Doroshenko Volodymyr Stepanovych** – Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading Researcher, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, doros55v@gmail.com.

**Yanchenko Alexander B.** – Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail 1961yab@gmail.com

**Klymenko Stepan Ivanovich** – PhD (Engin.), Senior Research Scientist, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, ukrdeplit15@ukr.net.

## ПЕРЕДУМОВИ ВИЛИВАННЯ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет,

<sup>2</sup>Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України

### Анотація

*Проведені дослідження є важливою передумовою для виливання тонкостінних конструкцій з високоміцного чавуну за моделями, що газифікуються (ЛГМ, Lost Foam Casting). Водночас вимірювання текучості розплаву високоміцного чавуну при товщині зразка 1 мм виявили, що вона досягає 227 мм в залежності від температури розплаву.*

**Ключові слова:** високоміцний чавун, метал, лиття за моделями, розплав, ливарний, тонкостінний.

Загальносвітова тенденція до поширення виробництва легкових тонкостінних виливків з високоміцних сплавів і високими експлуатаційними властивостями постійно перебуває в полі зору науковців - ливарників та металознавців [1, 2]. Тонкостінні виливки з масою 0,1-5000 кг можна реалізувати в металі за технологією лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ, Lost Foam casting), різновиди якої десятиліттями створюються і удосконалюються відділом проф. О. Й. Шинського в інституті ФГМС НАН України. Значні досягнення виявлено при литті високоміцного чавуну (ВЧ), що мотивує поєднання ЛГМ з литтям ВЧ.

Дослідження за контрактом Мінекономіки США щодо ЛГМ тонкостінного ВЧ (thin-walled ductile iron, TWDI), показало, що навіть при 1 мм допуск на розмір литої стінки чавуну становив +/- 0,039 мм [3, 4]. Ця перевага свідчить, що ЛГМ-виливки можуть мати нульову або мінімальну механічну обробку. З перепроектуванням литих металоконструкцій це може призвести до значної економії коштів, яка компенсує дещо вищу вартість серійного процесу порівняно з литтям у форми по-сирому чи з холоднотвердної піщано-смоляної суміші - ХТС (poke) [3]. Для легких конструкцій вигідний ВЧ, бо він має високу питому міцність (на одиницю вартості), однак це ще більш виражено для його термообробленого варіанту (ADI).

Висновки з досліджень [4] отримано такі. Оскільки стандарти паливної ефективності (SAFE) ростуть у всьому світі, попит на полегшення транспортних засобів досить актуальний. Вага електромобілів впливає на запас ходу і розмір їх батареї. Зменшення ваги цікавить та інших транспортників, у сільському господарстві стурбовані щодо ущільнення ґрунту, у оборонній та аерокосмічній сферах триває конкуренція як щодо маневреності, так і корисного навантаження.

Оскільки попит на легкові металовироби зростає, ВЧ та ізотермічно загартований ВЧ - ADI все частіше беруть до уваги. Старі вказівки про уникнення використання ВЧ з товщиною стінки нижче 0,25 дюйма (6,35 мм) не слід більше застосовувати [4]. Показано [4], що усунути отримання дефектів від утворення карбідів можна як при ливарній технології poke, так і ЛГМ. Але ЛГМ дає вищу точність (tolerances) виливків, як перевага при виробництві TWDI.

ЛГМ також дозволяє зменшення маси литва через здатність консолідувати деталі без механічної обробки та зварювання. ВЧ і ADI застосовують для деталей широкої номенклатури, включно для колінчастих та розподільних валів, тяг, важелів підвіски, компонентів гальм, насосів, кронштейнів, підйомних важелів, деталей підвіски тощо. Можливість об'єднання TWDI з ЛГМ означає поширення нових типів консолідованих деталей у майбутньому [4].

Наші дослідження при виливанні з ВЧ методом ЛГМ у вакуумованих формах тонкостінних деталей виявляють такі закономірності. Зі стінкою товщиною 2...4 мм в разі збільшується площа поверхні тонкостінних виливків проти деталей зі стінкою 8...10 мм і вище, що дає ріст впливу поверхневих явищ на формозаповнення, падає відношення маси моделі (і її матеріалу

для газифікації) до площі стінок форми, які цю модель оточують. Розплав металу, що заливається у вакуумовану форму, торкається стінок піщаної форми і до них присмоктується вакуумом, створюючи металеву плівку, що герметизує форму. Далі метал протікає в металевій гарячій плівці, наклеєній на стінки порожнини форми, а не ковзає по стінці форми. Гарячий метал контактує з газовим основним (практично безкисневим) середовищем, що складається з летючих продуктів термодеструкції пінополістиролу (окислення яких поглинає весь наявний в цій зоні кисень), а саме: вуглеводневих газів, парів, водню та дрібних часток вуглецю (коковий чи сажистий залишок). Основна атмосфера сприяє графітізації металу (перешкоджає карбідизації). Відносно (до маси тонкої моделі) велика площа вакуумованих стінок форми посилює вакуумне всмоктування металу у форму, що сприяє виливанню ВЧ тонких стінок заготовки. За хімічним складом ВЧ відносять до евтектичного чи слабко заевтектичного чавуну, що робить його рідкотекучістю найвищою серед інших конструкційних (графітізованих) чавунів за однакової температури їх заливання у форму; виміри текучості при товщині проби 1 мм виявили, що вона сягає 227 мм залежно від температури розплаву [4].

ВЧ, що налипає на стінки форми при ЛГМ, завдяки присмоктуванню вакуумом (практично з втратою зазору «метал-форма») отримує прискорене охолодження і мікроструктуру з дрібним зерном (кристалітами). Також інокулююче модифікування в прохідній камері [4] сприяє утворенню в металі дрібних частих графітових включень. Близьке розташування дисперсного евтектичного графіту (переохолодження) і велика сумарна площа поверхні його включень при перлітному перетворенні сприяють розпаду аустеніту і виділенню дрібнозернистого фериту (іноді до повної відсутності перліту), скорочуючи шляхи дифузії при розпаді карбідів, що є аналогом графітізуючого самовідпалу. Публікації про лиття тонкостінного ВЧ (TWDI) та ізотермічно загартованого (TWADI) свідчать, що виготовлено вилівки з питомою міцністю (у відношенні до густини) до 87 МПа·см<sup>3</sup>/г. А після ізотермічного гартування з отриманням аусферитної матриці питома міцність зростає до 154 МПа·см<sup>3</sup>/г. Вони мають високий потенціал для заміни деталей з алюмінієвих сплавів у різних сферах застосування з істотною економією.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дорошенко В. С. Способы и примеры оптимизации конструкций тонкостенных технических и декоративных отливок // Металл и литье Украины. – 2016. – № 3. – С. 32-40.
  2. Дорошенко В. С. Калужный П. Б. Тонкостінний вилівок з високоміцного сплаву як одне з головних завдань ливарного виробництва // Процеси лиття. – 2020. – № 3. – С. 47-55.
  3. S. Jordan and M. Debruin. How a foundry can diversify into lost foam casting at negligible cost. Modern Casting. 2022. August. P. 29 – 33.
  4. S. Jordan, M. Debruin, E. Cililic, A. Luo. Thin-Walled Ductile Iron. Casting source. 2021. Sept/Oct. P. 34 – 39.
- Янченко Олександр Борисович**, канд. техн. наук, доц. кафедри ГМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 1961yab@gmail.com
- Дорошенко Володимир Степанович**, доктор техн. наук, ст. наук. співр., пров. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, doro55v@gmail.com.
- Клименко Степан Іванович**, канд. техн. наук, ст. наук., ст. наук. співр., ст. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, ukrdeplit15@ukr.net.

## PREREQUISITES FOR CASTING THIN-WALLED STRUCTURES MADE OF DUCTILE IRON

### Abstract

*The conducted studies are positive prerequisites for casting thin-walled structures from ductile iron using the Lost Foam casting method. At the same time, measurements of ductile iron melt flow with a sample thickness of 1 mm revealed that it reaches 227 mm depending on the temperature of the melt.*

**Keywords:** high-strength cast iron, metal, casting according to models, melt, foundry, thin-walled

**Yanchenko Alexander B.** – Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail 1961yab@gmail.com.

**Doroshenko Volodymyr Stepanovych**, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading Researcher, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, doro55v@gmail.com.

**Klymenko Stepan Ivanovich**, PhD (Engin.), Senior Research Scientist, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, ukrdeplit15@ukr.net.



С. І. Клименко<sup>1</sup>,  
О. Б. Янченко<sup>2</sup>,  
В. С. Дорошенко<sup>1</sup>

## ПРО МЕТОДИ ГАРТУВАННЯ ВИЛИВКІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ ДЛЯ ГРУНТООБРОБНОЇ ТА ЗЕМЛЕРИЙНОЇ ТЕХНІКИ

<sup>1</sup>Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України,

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Описано методи зміцнення та оптимальні варіанти структури виливків з високоміцного чавуну робочих органів ґрунтообробних і землерийних машин, а також спосіб поєднання процесів лиття та термообробки для виготовлення таких виливків, зміцнених термічною обробкою.*

**Ключові слова:** виливки, гартування, високоміцний чавун, ґрунтообробна, землерийна техніка.

Використання сучасних ґрунтообробних машин підвищує продуктивність, якість та ефективність обробки ґрунту. Оскільки Україна є провідним агропромисловим експортером, то підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин є актуальним для АПК. Ці органи зношуються та постійно потребують заміни. Економічно вигідно зносостійкі леміші та долота плугів виливати з високоміцного чавуну (ВЧ) з термообробкою (ТО) до утворення у них бейнітної металеві основи [1], у тому числі з таким гартуванням, щоб досягти здатності загострювання леміша під час його зношуванні. Також доцільне дискретно-циклічне загартування ґрунтообробних органів з використанням води замість екологічно небезпечних розплавів солей [2]. До цієї теми аналогічні рекомендації ТО ріжучих елементів з ВЧ для бульдозерів та іншої землерийної техніки. Значний рівень зміцнення виливків з ВЧ забезпечує ізотермічне гартування до утворення бейнітної структури, у тому числі з залишковим аустенітом, який під час експлуатації утворює у металовиробі мартенсит деформації, що називають тріп-ефектом.

На способи ТО залізобуглецевих виливків, передусім з ВЧ, відділом проф. О. Й. Шинського (ФТІМС НАН України) у 2018 – 2020 рр. отримано ряд патентів України (131581, 131907, 131968, 133701, 137850, 139559, 140588). Особливістю цих способів є те, що виливки у гарячому аустенітному стані видаляють з ливарної форми, в яку заливали метал – розплавлений ВЧ і в якій виливок кристалізувався та охолоджувався до температури близько 900 °С. Після цього видалений виливок зразу гартують швидким охолодженням до температури вищої за температуру мартенситного перетворення та ізотермічно витримують в інтервалі температур бейнітного перетворення. Легкому видаленню виливка з форми сприяє те, що застосовують процес лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ), у ливарній формі з сухого піску.

Гартування литих органів ґрунтообробної та землерийної техніки з ВЧ, що зношуються (леміші плугів, чизельні долота, стрілочасті лапи культиваторів, інші розпушувальні чи різальні органи), доцільно отримувати з високою твердістю та наявністю карбідів у металевій матриці [2], створювати умови зміцнення їх поверхневого шару за рахунок тріп-ефекту або умови самозаточування при зношуванні. Під час експлуатації з ударними навантаженнями, зокрема для кам'янистого ґрунту, мінеральної чи гірської породи доцільно досягати підвищеної ударної в'язкості шляхом збереження в структурі ВЧ певної долі фериту, наприклад, загартовуючи виливки з міжкритичного інтервалу температур з оптимальним співвідношенням фериту та аустеніту у металевій матриці ВЧ.

У ФТІМС НАНУ за способом ЛГМ, зокрема, виливають десятки видів робочих органів ґрунтообробної та землерийної техніки. Останні (рис. 1) придатні для застосування як у цивільних будівельних чи промислових умовах, так і в оборонному секторі, зокрема, для риття окопів, траншей, котлованів для фортифікаційних споруд, укриттів, бліндажів тощо.



Рисунок 1 – Приклади литих робочих органів землерийної техніки (верхній ряд) та їх пінополістирольних моделей для ЛДМ (нижній ряд)

Таким чином, описано методи гартування і оптимальні варіанти структури виливків ґрунтообробних і землерийних машин, а також процес суміщення ЛДМ та ТО виливків при видаленні їх з ливарних форм в гарячому стані, який економить витрати енергії, часу та інші розходи на виробництво зміцнених термообробкою виливків. Наведено приклади точного лиття методом ЛДМ робочих органів землерийної і ґрунтообробної техніки, різновиди яких постійно виливають в ливарних цехах Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАНУ. Ці деталі є технологічно «невибагливі» для процесу ЛДМ, який найбільш вигідно себе проявляє при виготовленні дрібних та середніх серій точних виливків (запчастин до різних агро- і дорожньо-транспортних машин), придатних до експлуатації практично без механічної обробки, оскільки в литому стані метод ЛДМ дозволяє отримувати кріпильні отвори і посадочні місця.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Калюжний П. Б., Дорошенко В. С., Шалевська І. А. Методи виробництва виливків для ґрунтообробної техніки, різальних та ударних інструментів, що самозаточуються // Процеси лиття. – 2022. – № 3. – С. 34 – 41.

2. Литі модульні трали та перспективні методи виготовлення виливків для спеціальної техніки / В. С. Дорошенко, О. Б. Янченко, М. В. Лисий // Вісник машинобудування та транспорту. – 2022. – № 2. – С. 23 – 29.

**Клименко Степан Іванович**, канд. техн. наук, ст. наук., ст. наук. співр., ст. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, ukrdeplit15@ukr.net.

**Янченко Олександр Борисович**, канд. техн. наук, доц., кафедри ГМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 1961yab@gmail.com

**Дорошенко Володимир Степанович**, доктор техн. наук, ст. наук. співр., пров. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, doro55v@gmail.com.

## On the methods of tempering castings of working bodies from ductile iron for soil tillage and earth-moving equipment

### Abstract

Hardening methods and optimal variants of the structure of ductile iron castings of the working bodies of soil tillage and earthmoving machines are described, as well as the method of combining casting and heat treatment processes for the production of such castings strengthened by heat treatment.

**Keywords:** castings, hardening, high-strength cast iron, soil preparation, earthmoving equipment

**Klymenko Stepan Ivanovich**, PhD (Engin.), Senior Research Scientist, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, ukrdeplit15@ukr.net.

**Yanchenko Alexander B.** – Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail 1961yab@gmail.com.

**Doroshenko Volodymyr Stepanovych**, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading Researcher, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, doro55v@gmail.com.

## ЕЛЕКТРИЧНО ЗАРЯДЖЕНІ МІЖФАЗНІ ТРІЩИНИ У П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОМУ БІМАТЕРІАЛІ

<sup>1</sup> Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

### Анотація

Запропонований метод аналізу п'єзоелектричного композиту з двома електрично зарядженими міжфазними тріщинами. Побудований аналітичний розв'язок, проаналізовано вплив електромеханічних чинників на напруження та розкриття тріщини.

**Ключові слова:** тріщина, п'єзоелектрик, інтерфейс, напруження, електромеханічні фактори.

### Вступ

Сучасні актуатори та інші електронні пристрої часто створюються з використанням тонкоплівкових електродів, розташованих між п'єзоелектричними шарами. Такі електроди зазвичай виготовляють із металевого порошку, провідних полімерів тощо. Вони не змінюють механічних властивостей матриць. Відшарування таких електродів може призвести до появи електрично провідних міжфазних тріщин. Отже, якщо актуатор має два електроди на межі розділу п'єзоелектричних матеріалів і вони обидва розшаровуються, то виникає проблема взаємодії двох електрично провідних тріщин, що розглядається у даній роботі.

### Постановка задачі та результати дослідження

Розглядаються дві відкриті електропровідні тріщини  $c \leq x_1 \leq a$ ,  $b < x_1 < d$  на межі поділу двох п'єзоелектричних півпросторів  $x_3 > 0$  і  $x_3 < 0$ . Вважається, що вектор попередньої поляризації колінеарний осі  $x_3$ . На нескінченності задані рівномірно розподілені нормальне та дотичне напруження, а також горизонтальна складова електричного поля. Вважається також, що ліва та права тріщини мають сумарний електричний заряд  $D_L$  та  $D_R$ , відповідно.

Використані представлення електричних та механічних факторів через кусково-аналітичні функції. З їх використанням проблема зведена до задачі лінійного спряження, для якої представлений точний аналітичний розв'язок. Отримані вирази для механічних та електричних компонент на берегах тріщин та на частинах інтерфейсу поза тріщинами.

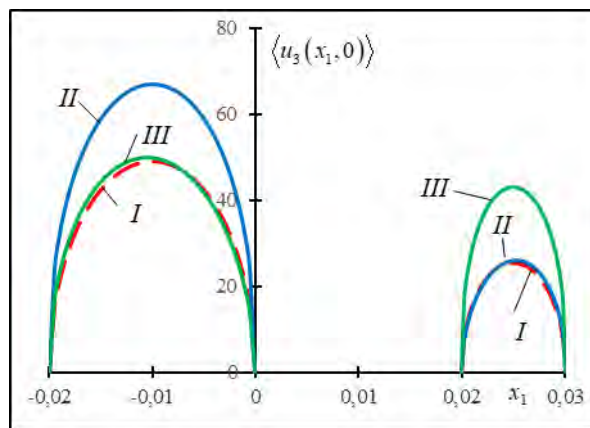


Рис. 1. Зміна розкриття тріщин для різних значень заряду на тріщині

На рис. 1 наведені графіки розкриття тріщин отримані при  $a=0$  і  $b=0.02$  м,  $c=-0.02$  м,  $d=0.03$  м під дією нормального напруження рівного  $10^6$  Па. Лінії I на цьому рисунку побудовані для  $D_L = D_R = 0$ , II – для  $D_L = 3 \times 10^{-3}$  Кл/м,  $D_R = 0$  і III – для  $D_L = 0, D_R = 3 \times 10^{-3}$  Кл/м.

З рис. 1 видно, що вплив сумарного електричного заряду на тріщині на її розкриття є більш суттєвим, ніж цей вплив на напруження. Зокрема, збільшення величини електричного заряду приводить до збільшення розкриття тріщин.

### Висновки

Розглянуто дві електропровідні тріщини на межі поділу п'єзоелектричних матеріалів, які можуть мати довільні довжини і можуть бути довільним чином розташованими на інтерфейсі. Використовуючи представлення електромеханічних факторів через кусково-аналітичну вектор-функцію, проблема зведена до задачі лінійного спряження. Одержаний точний розв'язок цієї задачі у вигляді досить простих аналітичних формул. Встановлено, що найбільш суттєвий вплив електричного заряду на напруження та розкриття проявляється в околі тих тріщин, на яких відбувається зміна заряду.

**Костенко Микита Вікторович** — аспірант механіко-математичного факультету, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

**Гергель Ірина Юрївна** — канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

**Шевельова Алла Євгенівна** — д-р фіз.-мат. наук, професор кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

**Лобода Володимир Васильович** — д-р фіз.-мат. наук, завідувач кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, e-mail: [loboda@dnu.dp.ua](mailto:loboda@dnu.dp.ua)

### *Electrically charged interfacial cracks in a piezoelectric bimaterial*

#### **Abstract**

*The method for the analysis of a piezoelectric composite with two electrically charged interfacial cracks is suggested. An analytical solution is constructed and the influence of electromechanical factors on the stresses and the crack opening is carried out.*

**Keywords:** crack, piezoelectric, interface, stress, electromechanical factors

**Kostenko Mykyta V.** — Postgraduate Student at the Department of Theoretical and Computer Mechanics, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

**Gergel Iryna Yu.** — Cand. of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor of the Department of Theoretical and Computer Mechanics, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

**Sheveleva Alla E.** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor at the Department of Computational Mathematics and Mathematical Cybernetics, Oles Honchar Dnipro National University

**Loboda Volodymyr V.** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chair of the Department of Theoretical and Computer Mechanics, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, email: [loboda@dnu.dp.ua](mailto:loboda@dnu.dp.ua)

## НАПЛАВЛЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОВЕРХОНЬ З ЗАСТОСУВАННЯМ ГНУЧКИХ СТРІЧОК

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*У роботі досліджено наплавлення зносостійких поверхонь на сталевих деталях з використанням гнучкої електродної стрічки для забезпечення високої твердості та подрібненої мікроструктури.*

**Ключові слова:** мікроструктура, наплавлення, зносостійкі поверхні, гнучка електродна стрічка, целюлоза.

### **Вступ**

Протидія зношуванню поверхонь деталей машин залишається актуальною проблемою. Практичний досвід та теоретичні розробки у цій сфері дозволили збільшити надійність та довговічність техніки. Але підвищення інтенсивності роботи машин та розширення сфер їх застосування ставлять нові задачі в розв'язанні даних проблем при зменшенні затрат та одночасному зміцненні, відновленні.

### **Проведення дослідження**

Для легування робочих поверхонь органів машин, що інтенсивно зношуються, запропоновано використовувати гнучку електродну стрічку (рис. 1). В конструкції цієї стрічки використано тканини з високим вмістом целюлози, яка є джерелом вуглецю для фізико-хімічних процесів під час нанесення покриттів, а на її поверхню нанесено та спеціальним методом закріплено комплекс легувальних порошків.



*Рисунок 1 – Приклад гнучкої електродної стрічки*

Бавовна містить більше 90% целюлози, яка під час нагрівання плазмою дуги розкладається з утворенням активних газів:  $\text{CO}_2$ ;  $\text{CO}$ ;  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{H}_2$  та інші. У зварювальній ванні добре розчиняється  $\text{CO}$ , з якого відновлюється вуглець, що використовується на утворення карбідів та науглецювання заліза. Легувальні елементи, які нанесені на стрічку, забезпечують легування наплавного покриття, утворення карбідів та відновлення окислів. Встановлено, що процес наплавлення протікає в штатному режимі без значних відхилень.

### **Висновки**

1. Використання стрічки дозволяє нанести легований шар підвищеної твердості, що свідчить про його зносостійкість.
2. Мікроструктура наплавленого шару виявилась з меншою зернистістю, ніж вихідна сталь заготовки, що дозволяє стверджувати про покращення характеристик міцності та ударної стійкості.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тимофеева, Л. А. Аналіз технологічних параметрів процесу нанесення зносостійкого покриття [Текст] / Л. А. Тимофеева, Л. В. Волошина, П. М. Гордієнко // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. - Харків, 2017. - Випуск 170. - С. 13-19.
2. Шнековий прес для тирси ріни-кау стаття особливості шнекового пресування [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://jak.bono.odessa.ua/articles/shnekovij-pres-dlja-tirsi-pini-kay-stattja.php>.
3. Спосіб електродугового наплавлення на поверхню металевих виробів [Електронний ресурс] / В. І.Савуляк, В. Й. Шенфельд, О. В. Шаповалова, А. Ю. Осадчук // Вінницький національний технічний університет. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <https://uapatents.com/2-52753-sposib-elektrodugovogo-naplavlennya-na-poverkhnyu-metalevikh-virobiv.html>.

**Савуляк Валерій Іванович** – д.т.н., проф., професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [korsav84@gmail.com](mailto:korsav84@gmail.com)

**Дмитрієв Максим Сергійович** – аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [maxlion1974@gmail.com](mailto:maxlion1974@gmail.com)

**Шенфельд Валерій Йосипович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [leravntu@gmail.com](mailto:leravntu@gmail.com)

## SOLDERING OF WEAR-RESISTANT SURFACES USING FLEXIBLE TAPES

### *Abstract*

*The work investigated the deposition of wear-resistant surfaces on steel parts using a flexible electrode tape to ensure high hardness and a crushed microstructure.*

**Key words:** microstructure, surfacing, wear-resistant surfaces, flexible electrode tape, cellulose.

**Savulyak Valery** – d. oft.s, prof., Department of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [korsav84@gmail.com](mailto:korsav84@gmail.com).

**Dmytriyev Maxym** – postgraduate of the Department of industrial engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [maxlion1974@gmail.com](mailto:maxlion1974@gmail.com).

**Shenfeld Valeriy** - Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [leravntu@gmail.com](mailto:leravntu@gmail.com).

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТА ОБРОБКИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

<sup>1</sup> АТ «Мотор Січ»;

<sup>2</sup> Державний університет «Житомирська політехніка»;

<sup>3</sup> Національний університет «Запорізька політехніка»

### *Анотація*

*Виконано дослідження та аналіз можливості виконання обробки функціонального покриття ПКХТН-30 лезовим різальним інструментом.*

**Ключові слова:** функціональні покриття, плазмотрон, кубічний нітрид бору, твердий сплав.

### **Вступ**

Працюючи в агресивних умовах деталі газотурбінних двигунів піддаються агресивній дії різноманітних факторів: високої температури, фретинг корозії, динамічним навантаженням, зношуванню, тертю тощо. Усі ці фактори призводять як до втрати геометричних розмірів деталей і вузлів, що може супроводжуватися збільшенням зазорів у з'єднаннях, втратою надійності кріплення деталі у вузлі, так і зміною показників якості поверхні, зокрема погіршення шорсткості, появою забоїв, тріщин та багатьох інших дефектів. Для забезпечення ремонтпридатності пошкоджених робочих поверхонь деталей і вузлів, використовуються покриття різних типів, які представляють собою наноструктурні та мікроструктурні тугоплавкі порошкові матеріали.

### **Результати дослідження**

Як зносостійкі покриття в основному використовуються сплави на нікелевій або кобальтової основі і їх суміші з модифікаторами з тугоплавких і ультрадисперсних металів, карбідів, нітридів, оксидів та ін., які забезпечують утворення зміцнюючих фаз і покращують структуру покриття. Прикладом може слугувати покриття ПКХТН-30. У нанесеному з такого порошку покритті частки карбідів грають роль зносостійкої основи, а нікель виступає в якості пластичної оболонки, що забезпечує адгезію покриття до поверхні деталі і його низьку пористість. Хімічний склад порошку карбіду хрому-титану, %: 30% (TiC + Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>) + 70% Ni.

Нанесення порошку здійснюється на плазмових установках на зразок Metco 9MC (рис. 1). У якості транспортуючого газу використовується аргон, плазмоутворюючого - аргон і кисень. Конструкція сопла-аноду плазмотрону (рис.2) визначає довжину електричної дуги, її стабільність горіння і швидкість закінчення плазмового струменя, а також значною мірою – тепловий та ефективний ККД процесу нагрівання порошкового матеріалу, що розпилюється.

Покриття ПКХТН-30 характеризуються високою твердістю його складових елементів, зокрема карбідів хрому-титану. Так твердість карбіду хрому коливається в межах 63-68 HRC, а карбіду титану може сягати 73-78 HRC, що відповідає твердості корундів та алмазів.

Така висока твердість зумовлює використання переважно абразивних методів обробки надлезовою, однак це не завжди зручно, оскільки часто поверхні, які обробляються, мають складний профіль, що зумовлює необхідність використання саме лезової обробки.

Для проведення випробувань була використана відремонтована кільцева деталь із відновленим покриттям ПКХТН-30 нанесеним на циліндричну поверхню діаметром 850 мм, шириною 20 мм. Обробка виконувалась на верстаті МК-163 без охолодження.



Рис. 1. Плазмова установка Metco 9MC.



Рис. 2. Плазмотрон установки Metco 9MC.

При обробці різцями, які оснащені змінними багатогранними пластинами (ЗБП) із геометрією WNMG 160408 різних марок твердого сплаву, від низки виробників, а також токарними прохідними різцями з напайною пластиною із твердого сплаву BK10XOM ( $V=12.5$  м/хв,  $t=0.15$  мм,  $S=0.11$  мм/об), спостерігався прискорений абразивний знос головної і допоміжної різальних кромки із перших секунд обробки, що фактично призводило до відсутності різання.

Обробка поверхонь різцями зі ЗБП, оснащеними напайними елементами на основі кубічного нітриду бору VBMW 160408 BUX220, виробництва фірми "Holex" з однією різальною кромкою та VBGW160408NU2 BNX10 виробництва "Sumitomo" з двома різальними кромками ( $V=21.5$  м/хв,  $t=0.1$  мм,  $S=0.07$  мм/об), різцями з напайними пластинами із гексаніту-Р показала, що при однакових умовах досліджень пластини VBGW160408NU2 BNX10 мають стійкість у два рази вищу в порівнянні з пластинами VBMW 160408 BUX220, а також дозволили досягти на 60% вищої швидкості різання в порівнянні із різцями, оснащеними пластинами з гексаніту-Р.

### Висновки

За результатами проведених досліджень виявлено, що найбільш прийнятним варіантом забезпечення оброблюваності зносостійких порошкових покриттів в деталях авіаційних двигунів є використання різців, оснащених пластинами із кубічного нітриду бору, які мають кращі різальні властивості і найбільшу стійкість, яка в 1,5-2 рази перевищує стійкість пластин із твердого сплаву.

**Бойко Ігор Андрійович** – канд. техн. наук, інженер, АТ «Мотор Січ», м. Запоріжжя, e-mail: boyko-ia@ukr.net

**Мельничук Петро Петрович** – доктор техн. наук, проф., Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир

**Сакнюк Наталія Василівна** – канд. техн. наук, доц. кафедри технології авіаційних двигунів, Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

**Юр'єва Вероніка Володимирівна** – інженер, АТ «Мотор Січ»; м. Запоріжжя

### *Features of use and processing functional coatings of aviation engines details*

#### **Abstract**

A study and analysis of the possibility of processing the PKHTN-30 functional coating with a blade cutting tool was carried out.

**Keywords:** functional coatings, plasmatron, cubic boron nitride, hard alloy

**Boyko Igor A.**— candidate of technical sciences, engineer, JSC "Motor Sich", Zaporizhzhia, e-mail: boyko-ia@ukr.net

**Melnychuk Petro P.** —doctor of technical sciences, professor, State University «Zhytomyr Polytechnic», Zhytomyr

**Sakhniuk Nataliia V.**— candidate of technical sciences, assistant professor of the department aircraft engine technology, National University «Zaporizhzhia Polytechnic», Zaporizhzhia

**Yurieva Veronika V.** — engineer, JSC "Motor Sich", Zaporizhzhia



**Р. М. Джала**  
**І. Б. Івасів**  
**Л. Є. Червінка**  
**О. О. Червінка**

## **МЕТОД ДИФУЗНОГО ВІДБИВАННЯ СВІТЛА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТТІВ**

<sup>1</sup> Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України

### **Анотація**

*Запропоновано метод оцінювання концентрації та розмірів мікрodefектів лакофарбових покриттів на основі сигналу сенсора дифузного відбивання світла та кластерного аналізу інформативних ознак отриманого сигналу.*

**Ключові слова:** лакофарбове покриття, мікрodefект, дифузне відбивання світла, кластерний аналіз.

### **Вступ**

Важливим засобом продовження тривалості експлуатації металевих виробів, трубопроводів, резервуарів та інших конструкцій є нанесення захисних покриттів. Найпоширеніші з них – лакофарбові. Оскільки ці покриття безпосередньо піддаються впливу атмосферних факторів, у них можуть розвиватися різноманітні мікро- та макроdefекти: мікротріщини, мікрокаверни, проколи, пухирці та ін. Виникненню та розвитку defектів може також сприяти недостатньо строге дотримання технологій нанесення лакофарбових покриттів.

Розміри мікрodefектів можуть становити декілька мікрон, тому за малих концентрацій вони практично непомітні для ока. Застосування методів мікроскопії чи мікросканувальних лабораторних аналізаторів кутових характеристик дифузного відбивання світла в польових умовах без відбору зразків є дорогим і технічно недоцільним. А портативні блискоміри недостатньо ефективні для оцінки характеристик гетерогенних чи полідисперсних defектів мікронних розмірів.

Тому актуальною є розробка надійного та інформативного методу для експрес-діагностики в польових умовах поверхонь лакофарбових захисних покриттів на ранніх стадіях їх деградації.

### **Результати дослідження**

Запропоновано метод оцінки концентрації та розмірів поверхневих мікрodefектів лакофарбових покриттів на основі компактного сенсора кутової характеристики дифузного відбивання світла [1]. Зондування лакофарбового покриття здійснюється крізь прозору підкладку, виконану у формі перевернутої призми, основа якої служить робочою поверхнею (рис. 1). Зондувальний пучок сформовано так, щоб він фокусувався на скісній (приймальній) грані призми, де розміщена фотолінійка. Перевагами такої оптичної схеми є отримання сигналу з репрезентативної ділянки поверхні (без застосування дорогої техніки сканування) та вимірювання кутової характеристики в заданому діапазоні кутів відбивання, на відміну від вимірювань для одного-двох фіксованих кутів, що застосовують у блискомірах. Останнє дає змогу отримати більше інформаційних характеристик сигналу, а отже, підвищити надійність результатів контролю.

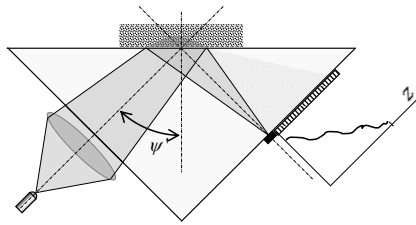


Рис. 1. Оптична конфігурація призматичного сенсора дифузного відбивання світла

Концентрація мікроефектів оцінюється за загальною інтенсивністю сигналу, а їх розміри – за характером розподілу інтенсивності на елементах фотолінійки (рис. 2), який може ускладнюватися випадковим розташуванням мікроефектів на поверхні покриття.

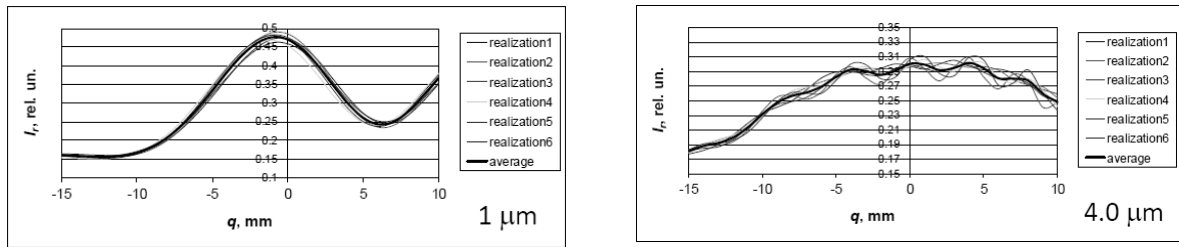


Рис. 2. Сигнали сенсора дифузного відбивання світла для різних розмірів випадково розміщених мікроефектів

Пропонується оцінювати розмір мікроефектів на основі методів машинного навчання, що базуються на ознаках сигналу сенсора, попередньо визначених на «тренувальних» наборах сигналів. Зокрема, застосовується кластерний аналіз двовимірного набору ознак сигналу, а саме: положення глобального максимуму та кількості екстремумів обвідної сигналу.

## Висновки

Запропоновані метод зондування, набір ознак сигналу та метод їх класифікації дає змогу надійно оцінювати концентрацію та розмір поверхневих мікроефектів лакофарбових покриттів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Івасів І.Б. Комп'ютерне моделювання сигналу компактного призматичного сенсора дифузного відбивання світла для аналізу характеристик аерозольних відкладень / І. Б. Івасів // Системи контролю оточуючої середовища: Сб. науч. тр. /НАН України. МГІ: — Севастополь, 2011. — №16. — С.84-90.

**Джала Роман Михайлович** — докт. техн. наук, ст. наук. співроб., завідувач лабораторії, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, e-mail: dzhala.rm@gmail.com

**Івасів Ігор Богданович** — канд. техн. наук, науковий співробітник, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

**Червінка Людмила Євгенівна** — інженер 1-ї категорії, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

**Червінка Орест Олександрович** — інженер 1-ї категорії, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

### *Method of diffuse light reflection for paint-and-lacquer coatings inspection*

#### **Abstract**

*It is proposed the method for estimation of the concentration and sizes of the paint-and-lacquer coatings' micro defects by a signal of the diffuse light reflection sensor and by a cluster analysis of the informative features of the obtained signal.*

**Keywords:** paint-and-lacquer coating, micro defect, diffuse light reflection, cluster analysis.

**Dzhala Roman M.** — Dr. Sc., Senior Researcher, Head of Laboratory, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, e-mail: dzhala.rm@gmail.com

**Ivasiv Ihor B.** — Ph.D., Research Fellow, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv

**Chervinka Liudmyla Ye.** — Senior Engineer, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv

**Chervinka Orest O.** — Senior Engineer, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv

# АЛЮМІНІЄВІ СПЛАВИ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ПЕРЕРОБКИ

Вінницький національний аграрний університет

## **Анотація**

*У наш час неможливо уявити жодну сферу життя людини без алюмінію. Після закінчення війни в Україні для відбудови країни потрібна реконструкція та передові технології обробки металу. Розглянемо класифікацію та сучасні методи обробки алюмінієвих сплавів. Алюміній та його сполуки є важливим компонентом у галузі машинобудування. За вмістом алюмінію в земній корі він поступається лише кисню і кремнію, посідаючи третє місце, і є одним з найпоширеніших металевих елементів земної кори.*

**Ключові слова:** пластичне деформування, алюмінієві сплави, класифікація методів.

## **Вступ**

В наш час, неможливо уявити жодної сфери людського життя без алюмінію. Сплави алюмінію використовуються в легкій і важкій промисловості, побуті, машино-, авіо-та судобудуванні. Сплави алюмінію в основному застосовується як конструкційний матеріал, оскільки мають невелику вагу ( $2,7 - 2,8 \text{ г/см}^3$ ), міцні, податливі до механічної обробки і мають високу корозійну стійкість. На повітрі алюміній і його сплави миттєво окислюється, утворюючи на поверхні виробу міцну оксидну плівку ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), яка сама по собі є захисним бар'єром від агресивних середовищ. Алюміній, приблизно, в 4 рази дешевше міді, при цьому його електропровідність всього в 1,7 рази менше, ніж у міді.

## **Результати дослідження**

Основними методами формування матеріалів з алюмінію та алюмінієвих сплавів є метод лиття, метод пластичного формування та метод глибокої обробки [1-4]:

1. Спосіб формування литтям.
2. Спосіб пластичного формування
3. Метод глибокої обробки.

На даний момент у світі існує понад 100 000 видів матеріалів для обробки алюмінію та алюмінієвих сплавів із різними сплавами, формами, специфікаціями, різновидами та моделями, різними функціями, продуктивністю та використанням, які зазвичай класифікуються наступним чином[5-7]:

1. Класифікуються за складом сплаву та способом термічної обробки.
2. Класифікація за формою та специфікацією.
  - 2.1 Класифікація за формою продукту.
  - 2.2 Класифікація за площею перетину або масою.
  - 2.3 Класифікація відповідно до контурного розміру виробу [8, 9].
  - 2.4 Класифікація за товщиною стінки виробу.
3. Класифікація та характеристика методів обробки алюмінію

Існує багато методів пластичного формування алюмінію та алюмінієвих сплавів, які зазвичай класифікуються відповідно до температурних характеристик заготовки під час обробки та силового режиму та режиму деформації (напружено-деформованого стану) заготовки під час процесу деформації:

1. Класифікуються за температурними характеристиками заготовки під час обробки.
  - 1.1 Термічна обробка.
  - 1.2 Холодна обробка.
  - 1.3 Гаряча обробка.
2. Класифікується за силою та режимом деформації заготовки під час процесу деформації:

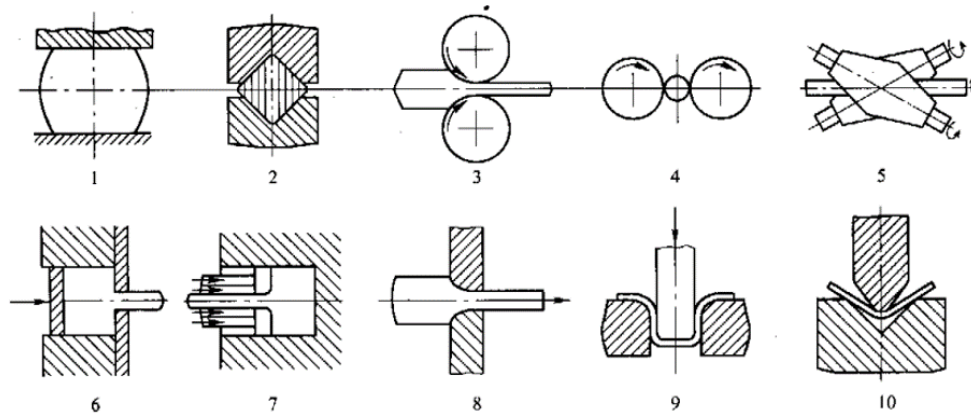


Рисунок 1 Класифікація обробки алюмінію відповідно до сили та деформації заготовки  
 1-вільне кування; 2-штампове кування; 3-подовжня прокатка; 4,5-поперечна прокатка; 6-пряме видавлювання; 7-зворотне видавлювання; 8-волочіння; 9-штампування; 10-згинання

- 2.1 Прокатування.
- 2.2 Екструзія.
- 2.3 Витягування.
- 2.4 Кування.
- 2.5 Нові методи обробки алюмінію [10-12]:
  - а. Методи формування лиття під тиском, такі як формування низького, середнього та високого тиску, формування екструзією тощо.
  - б. Методи напівтвердого формування, такі як напівтверда прокатка, напівтверда екструзія, напівтверде витягування, кування в рідких штампах тощо.
  - с. Методи безперервного формування, такі як безперервне лиття та екструзія, високошвидкісне безперервне лиття та прокатка, безперервна екструзія за Конформом тощо.
  - д. Композитний метод формування, такий як метод ламінування, метод екструзії з кількома заготовками тощо.
  - е. Деформаційна термічна обробка тощо.
- 3 Зміни мікроструктури та характеристик алюмінію під час пластичного формування:
  1. Зміни структури і властивостей алюмінію внаслідок термічної деформації
    - 1.1 Поліпшення литої структури шляхом термічної деформації
    - 1.2 Контроль зернистості термічно деформованих виробів
    - 1.3 Волокниста структура при термічній деформації
    - 1.4 Відновлення та рекристалізація при термічній деформації

Під час термічної деформації алюміній і матеріали з алюмінієвих сплавів зазвичай зазнають динамічного відновлення та рекристалізації в напруженому стані [12].

### Висновки

При високій температурі легше протікає ковзання і сходження дислокацій. Тому динамічне відновлення є їх єдиним механізмом розм'якшення під час термічної деформації.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Швець Л.В., Чмих К.В. Аналітичні дослідження методів гарячого деформування металів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. №3(118). С. 95-100.
2. Pulupec M., Shvets L. Characteristics and thermomechanical modes of aluminum alloys hot deformation. *Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference. Ternopil Ivan Pulyuj National Technical University and Scientific Publishing House «SciView»*. 2019. P. 195-204.
3. Shvets L., Trukhanska O. Experimental studies of technological parameters of rolling of samples from aluminum alloys during isothermal deform. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2022. №80. P. 61-76.
4. Shvets L. Development of the device, restoration of places of landing bearings. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2021. № 1. (100). С. 133-138.
5. Shvets L. Extension value, with hot rolled aluminum alloy specimens, round section in smooth rollers. *Monography. Scientific foundations of modern engineering. Boston (USA)*. 2020. P. 234-240.
6. Shvets L. Restoration of body parts. *Colloquium-journal, Poland*. 2021 № 8 (95). P. 44-53 DOI: 10.24412/2520-6990-2021-895-44-53.
7. Shvets L. The essence and possibility of the method of isothermal deformation. *Slovak international scientific journal*. 2020. Vol. 1. № 42. P. 16-24.
8. Афтандіянц Є.Г., Зазимко О.В., Похиленко Г.М. Навчальний посібник. Технологія обробки металів і сплавів тиском. *Видавничий центр НАУ, Київ*, 2020. 86с.
9. Будяк Р.В., Посвятенко Е.К., Швець Л.В., Жученко Г.А. Конструкційні матеріали і технології. Навчальний посібник. *Вінницький національний аграрний університет*. 2020. 240 с.
10. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга І. Львів. 2000.с.264.
11. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга ІІ. Суми. 2002.с.259.
12. Скрябін С.А., Гунько І.В., Швець Л.В. Вальцювання заготовок із алюмінієвих сплавів в умовах ізотермічного та наближених до нього деформування: монографія. Вінниця, ПП "Едельвейс і К", 2010. 134 с.

**Чмих Катерина В'ячеславівна** – аспірантка, *Вінницький національний аграрний університет*, email [catherina099@gmail.com](mailto:catherina099@gmail.com)

#### *Aluminum alloys and their processing technology*

**Abstract.** *Nowadays, it is impossible to imagine any sphere of human life without aluminum. After the end of the war in Ukraine, reconstruction and advanced metal processing technologies are needed for the reconstruction of the country. Let's consider the classification and modern methods of processing aluminum alloys. Aluminum and its compounds are an important component in the field of mechanical engineering. According to the content of aluminum in the earth's crust, it is followed only by oxygen and silicon, occupying the third place, and is one of the most widespread metallic elements of the earth's crust.*

**Keywords:** *plastic deformation, aluminum alloys, classification of methods.*

**Chmykh Kateryna V.** – PhD student, *Vinnitsia National Agrarian University*, email [catherina099@gmail.com](mailto:catherina099@gmail.com)

Олександренко В.П.<sup>1</sup>  
Свідерський В.П.<sup>1</sup>  
Кириченко Л.М.<sup>1</sup>  
Степанець О.В.<sup>1</sup>  
Квасницький А.О.<sup>1</sup>

## НАНОМОДИФІКОВАНІ ФТОРОПЛАСТОВІ ПОКРИТТЯ, НАНЕСЕНІ НА МЕТАЛЕВІ ПОВЕРХНІ

<sup>1</sup>Хмельницький національний університет

### Анотація

*Розроблена технологія створення наномодифікованих фторопластових покриттів на основі фторполімеру Ф-30П. Досліджено вплив складу і температурно-часових умов формування багатошарових фторопластових покриттів на їх властивості. Запропоновані рекомендації з застосування результатів виконаних досліджень для отримання наномодифікованих фторопластових покриттів з високою адгезією до металевих поверхонь ґрунтувального шару і зносостійкістю зовнішнього шару.*

**Ключові слова:** металева поверхня, адгезія, наномодифіковані фторопластові покриття, електроосадження, абразивостійкість.

Фторопластові матеріали унікальні завдяки поєднанню таких властивостей: висока хімічна стійкість, теплостійкість, морозостійкість та триботехнічних, антиадгезійних і електроізоляційних характеристик. Це зумовлює їх використання в машинобудуванні, електроніці, приладобудуванні, харчовій промисловості та інших галузях в якості покриттів і футеровок різного призначення. Недоліком фторопластових покриттів є їх низька адгезійна міцність і недостатньо висока зносостійкість. Крім того, в зв'язку з діелектричними властивостями цього матеріалу виникають певні проблеми при нанесенні багатошарових покриттів на електропровідну поверхню.

Мета роботи полягала в тому, щоб розробити технологію створення фторопластового покриття ґрунтувального шар якого має високу адгезію до металевої поверхні, а зовнішній – зносостійкість і відпрацювання технології нанесення електроосадженням фторопластового покриття на основі фторполімеру Ф-30П.

Розроблена технологія попередньої підготовки металевої поверхні для нанесення фторопластового покриття, що містить знежирення і механічне очищення поверхні з наступним створенням проміжного шару. Для сталевих поверхонь доцільно застосовувати фосфатування. Завершальними операціями підготовки поверхні є промивка і пасивація хромовими сполуками з наступним висушуванням.

Встановлено, що фторполімер Ф-30П доцільно застосовувати в якості ґрунтувального шару сталевих поверхонь оскільки він містить водень і здатний окислюватись з утворенням полярних груп. Причому процес окислення каталізується матеріалом підложки. При збільшенні вмісту графіту С-1 у покритті на основі фторопласту Ф-30 П до 15 мас. % адгезійна міцність зростає в 2,5 рази. Доцільно також ґрунтувальні шари оплавлювати за більш жорстких температурно-часових режимів (температура оплавлення 260 °С, тривалість 2 години) для забезпечення більш високої адгезійної міцності. Встановлено, що на 10–15 % збільшити адгезійну міцність фторопластового покриття на основі Ф-30 П можна за рахунок додаткового його нагріву при температурі 240 °С на протязі двох годин.

Після оплавлення виконують охолодження покриттів з порошків фторполімерів. Ця стадія технологічного процесу є важливою для забезпечення оптимальних захисних властивостей покриттів з полімерів, що кристалізуються, до яких відносять фторполімери. Для більшості покриттів з фторполімерів застосовується природне охолодження. Для отримання фторполімерних покриттів з високою еластичністю, стійкістю до ударів і з метою зменшення внутрішніх напружень їх піддають загартуванню: різкому охолодженню у холодній воді.

Встановлено, що для підвищення адгезії фторопластового покриття до металевої поверхні необхідно створювати ґрунтувальний шар до складу якого входять промотори адгезії: графіт С-1 – 25 мас.%, високодисперсний аміноорганокремнезем на основі аеросилу – 3 мас. %. Відпрацьована технологія (температурно-часові режими) нанесення ґрунтувального шару [1].

Розроблена технологія нанесення ґрунтувального шару фторопластового покриття електроосадженням на металеву поверхню: напруженість електростатичного поля повинна складати  $E = 50 \text{кВ}$ .

Виконані дослідження технології нанесення багатошарового фторопластового покриття електроосадженням. Електростатичний метод нанесення полімерних покриттів є найбільш поширений внаслідок можливості формування рівномірного покриття, товщину якого можна регулювати в широких межах. Метод нанесення тонкошарових полімерних покриттів в електростатичному полі оснований на осіданні заряджених частинок полімеру на поверхні деталі, що має протилежний заряд. Нанесення фторопластових покриттів здійснювали за допомогою установки "Optima-01С" (м. Запоріжжя, Україна, «Елем»). Стійка робота установки забезпечується при вологості дисперсного матеріалу менше 3% і дисперсності частинок від 30 до 80 мкм. Ефективність осадження дисперсних матеріалів залежить від ємності системи електрод – виріб і може регулюватись в широких межах. Так, при одній і тій же напруженості електростатичного поля максимально можлива кількість осаджуваного матеріалу залежить від відстані між електродами. Причому зі зменшенням відстані для забезпечення постійності напруженості на заряджаючий електрод подається суттєво менший потенціал.

Для нанесення шару більшої товщини вдавались до повторного електроосадження матеріалу на попередній оплавлений шар. Ефективність такого осадження залежала від електрофізичних властивостей підшару. Товщина полімерного шару залежить від часу електроосадження, опору полімерних частинок і напруженості електростатичного поля. Для кожного матеріалу при певній напруженості електричного поля існує гранична товщина шару частинок, що осідають.

При нанесенні на ґрунтувальний шар зовнішніх шарів напруженість електростатичного поля повинна складати – 60···70 кВ.

Встановлено, що введення наномодифікатора  $\text{ZrO}_2 + 3\% \text{Y}_2\text{O}_3 (500^\circ\text{C})$  сприяє інтенсивному структуруванню матриці, оскільки наночастинки можуть створювати ансамблі за типом кластерів [2]. В результаті створюється армована полімерна система, що відрізняється підвищеними міцнісними і триботехнічними характеристиками. Так, стійкість до пошкодження шкрябанням тришарового фторопластового покриття на основі Ф-30П до складу зовнішнього шару якого входить аміноорганокремнезем на основі аеросилу (1 мас. %), наномодифікатор  $\text{ZrO}_2 + 3\% \text{Y}_2\text{O}_3 (500^\circ\text{C})$  в кількості 2 мас. % і 17 мас. % графіту С-1 збільшилась у 8,5 разів в порівнянні з немодифікованим фторопластовим покриттям Ф-30 П.

Для забезпечення високого рівня експлуатаційних властивостей фторопластового покриття розроблені оптимальні технологічні параметри: гранулометричний склад, температура опалення, тривалість термообробки.

Розмір частинок порошкової композиції в значній мірі впливає на процес отримання композицій та їх якість. Дослідження показали, що в складі порошкової композиції оптимальний розмір частинок складає 40–80 мкм.

Дослідження на стійкість до стирання розроблених фторопластових покриттів показали, що при введенні до складу зовнішнього шару тришарового фторопластового покриття на основі Ф-30 П 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. %  $\text{ZrO}_2 + 3\% \text{Y}_2\text{O}_3 (500^\circ\text{C})$  абразивостійкість покриття зростає у 1,38 рази.

Запропоновані фторопластові покриття дають можливість підвищити якість продукції, рентабельність виробництва і збільшити термін використання технологічного інвентарю та оснащення.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вплив складу і технологічних факторів на адгезійну міцність фторопластових покриттів до металевих поверхонь / В.П. Олександренко, В.П. Свідерський, Л.М. Кириченко, В.В. Єфіменко. // Вісник ХНУ : Технічні науки . – 2021. – № 5. – С. 45-51, DOI 10.31891/2307-5732-2021-301-5-45-51
2. Розробка і дослідження властивостей наномодифікованих фторопластових покриттів, нанесених на металеві поверхні / В.П. Олександренко, В.П. Свідерський, Л.М. Кириченко, І.А. Даніленко, В.В. Єфіменко. // Вісник ХНУ : Технічні науки . – 2022. – № 6, т. 1, – С. 153–162, DOI 10.31891/2307-5732-2022-315-6-153-162



**Олександренко Віктор Петрович** – д.т.н., професор, декан факультету інженерії, транспорту та архітектури. Хмельницький національний університет. e-mail: oleksandrenkovp@gmail.com

**Свідерський Владислав Петрович** – канд. техн. наук, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства. Хмельницький національний університет. e-mail: svidersky.vladyslav@gmail.com

**Кириченко Людмила Мефодіївна** – старший науковий співробітник науково-дослідного сектору. Хмельницький національний університет. e-mail: kirichenko47@ukr.net

**Степанець Олексій Віталійович** – студент групи АПІ-21-1, Хмельницький національний університет. e-mail: stiepaneo@gmail.com

**Квасницький Антон Олександрович** – студент групи АТ-20-1, Хмельницький національний університет. e-mail: com.mazila@gmail.com

## **NANOMODIFIED FLUOROPLASTIC COATINGS APPLIED ON METAL SURFACES**

### **Abstract**

*The technology for creating nanomodified fluoroplastic coatings based on F-30P fluoropolymer was developed. The influence of the composition and temperature-time conditions of the formation of multi-layer fluoroplastic coatings on their properties was studied. Recommendations on the application of the results of the performed studies for the production of nanomodified fluoroplastic coatings with high adhesion to metal surfaces of the primer layer and wear resistance of the outer layer are suggested*

**Key words:** metal surface, adhesion, nanomodified fluoroplastic coatings, electrodeposition, abrasion resistance.

**Oleksandrenko Viktor** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Engineering, Transport and Architecture. Khmelnytsky National University. e-mail: oleksandrenkovp@gmail.com

**Svidersky Vladislav** - Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Tribology, Automotive and Materials Science. Khmelnytsky National University. e-mail: svidersky.vladyslav@gmail.com

**Kyrychenko Lyudmyla** - is a senior researcher in the research sector. Khmelnytsky National University. e-mail: kirichenko47@ukr.net

**Stepanets Oleksiy** – student of group API-21-1. Khmelnytsky National University, e-mail: stiepaneo@gmail.com

**Kvasnytskyi Anton** – student of group AT-20-1. Khmelnytsky National University, e-mail: com.mazila@gmail.com

## ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ НАПЛАВЛЕННЯМ З ГАРТУВАННЯМ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Запропоновано ефективний спосіб створення покриттів з заданими властивостями, зокрема твердістю, шляхом наплавлення з подальшим гартуванням. Суть полягає у забезпеченні таких умов та режимів наплавлення, при яких після його завершення відновлювана поверхня нагріється вище гартівних температур. Після чого деталь, нагріта енергією дуги, гартується у воді чи мастилі. Такий підхід дозволяє отримувати гартовані покриття не витрачаючи ресурси на повторне нагрівання.*

**Ключові слова:** Покриття, наплавлення, гартування, твердість.

### Вступ

Для сучасного ремонтного виробництва велике значення має економія ресурсів та зменшення економічних затрат на процеси зміцнення та відновлення поверхонь деталей. Створення наплавлених твердих поверхневих шарів вирішує цю проблему, оскільки має ключове значення для забезпечення зносостійкості функціональних поверхонь. Пошук нових, вискоелективних способів нанесення чи створення цих поверхневих шарів є одним із пріоритетних напрямків розвитку галузі.

Метою роботи є визначення технологічних можливостей створення функціональних гартівних покриттів наплавленням з використанням тепла дуги для подальшого гартування у воді чи мастилі.

### Результати дослідження

Для експерименту використовували деталі типу «вал» виготовлені з сталі 40Х. В сталі 40Х є близько 0,40 відсотка вуглецю і менше півтора відсотка хрому. Цей матеріал відноситься до важко зварювальних, однак дуже поширений серед деталей які приходять на ремонт. Наплавлення проводили в середовищі захисних газів з використанням установки УД-209М, неподалік якої, було облаштовано ванну для гартування деталей. У якості матеріалу для наплавлення використовували високовуглецеві дроти. Режими розраховувались та призначались таким чином щоб під час наплавлення поверхня розігрівалась вище температури Ас3. Контроль за температурним режимом деталей проводили з використанням пірометра.

В результаті досліджень встановлено, що циліндричні поверхні діаметром до 36-38 мм і шириною напавленої частини яка не перевищує її діаметр можливо розігріти до температури вище 860 °С наплавляючи класичним способом зі сторони вільного торця в напрямку основного тіла деталі. Однак зі збільшенням ширини відновлюваної поверхні її нагрів після наплавлення стає нерівномірним, відповідно це негативним чином впливає на якість гартування. Для забезпечення однорідності нагріву нами запропоновано наплавляти валики зворотно ступінчастим способом, що забезпечує рівномірний прогрів поверхні теплом дуги до температури вище Ас1. Спосіб здійснювали таким чином. Перед наплавленням поверхню умовно розділяли на рівну кількість ділянок, ширина яких відповідає ширині наплавляемого валика. Послідовність наплавлення валиків виконували зворотно ступінчастим способом поблочно, причому спочатку наплавляли центральну частину, починаючи з валиків розташованих ближче до середини відновлюваної поверхні, а останніми наплавляли валики, які розташовані у місцях з найбільшим тепловтратами, а саме, на торці деталі та у місці переходу до більш масивної її частини. Послідовність накладання валиків, їх розміри і режими наплавлення

розраховували на ЕОМ таким чином, щоб температура поверхні після наплавлення була на 30-50 градусів вищою за Ас1 на діаграмі стану. У випадку коли потужності дуги не вистачає для достатнього нагріву поверхні, можливе використання додаткових джерел нагрівання. Такий підхід дозволяє гартувати деталь у воді або мастилі, без повторного нагрівання, тим самим формувати на поверхні гартівні структури необхідної твердості.

### Висновки

В роботі запропоновано спосіб створення функціональних гартівних покриттів наплавленням та гартуванням, нагрів для якого здійснюється за рахунок тепла дуги, що дозволяє не лише зменшити витрати на повторне нагрівання для гартування, а і знизити залишкові напруження в відновлюємих деталях.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бакалець Д. В. Формування покриттів, наплавлених в екстремальних умовах охолодження / Д. В. Бакалець, В. І. Савуляк, В.Й. Шенфельд, О.П. Шиліна // «Наукові нотатки» міжвузівський збірник / випуск 71 – Луцьк. – 2021 – с.317 - 321
2. Бакалець Д. В. Оцінка впливу мокрого наплавлення на напружено-деформований стан валів / Д. В. Бакалець, О.І. Шугайло, П.Ю. Бондарчук // Вісник машинобудування та транспорту. – 2019 – № 1(9). – С. 4–8.
3. Савуляк В.І. Наплавлення висовуглецевих зносостійких покриттів : монографія / В. І. Савуляк, В. Й. Шенфельд — Вінниця: ВНТУ, 2016. – 124 с.
4. Бакалець Д. В. Оцінка напружено-деформованого стану валів, наплавлених з охолодженням [Електронний ресурс] / Д. В. Бакалець, П. Ю. Бондарчук, О. І. Шугайло // Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. – Електрон. текст. дані. – 2020. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2020/paper/view/9350>.

Бакалець Дмитро Віталійович — доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [BacaletsDima@gmail.com](mailto:BacaletsDima@gmail.com)

Поліщук Владислав Володимирович – аспірант кафедри галузевого машинобудування, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: [Vpolisuk878@gmail.com](mailto:Vpolisuk878@gmail.com)

### TECHNOLOGY OF OBTAINING FUNCTIONAL COATINGS BY DEPOSITION WITH TEMPERING

#### Abstract.

*An effective method of creating coatings with specified properties, in particular hardness, by surfacing with subsequent hardening is proposed. The essence is to ensure such surfacing conditions and regimes, in which after its completion, the restored surface will heat up above the tempering temperatures. After that, the part, heated by the energy of the arc, is hardened in water or grease. This approach allows obtaining hardened coatings without spending resources on reheating.*

**Key words:** Coating, surfacing, hardening, hardness.

**Bacalets Dmuro Vitaliyovych.** — Associate Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [BacaletsDima@gmail.com](mailto:BacaletsDima@gmail.com).

**Polishchuk Vladyslav Volodymyrovych** – postgraduate student of the Department of Industrial Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [Vpolisuk878@gmail.com](mailto:Vpolisuk878@gmail.com).

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ ВАЛУ ЗАМІСТЬ БРОНЗОВОЇ ВТУЛКИ

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

<sup>2</sup> Державний біотехнологічний університет

### Анотація

*В роботі досліджено триботехнічні властивості плазмонапиленого покриття порошком на основі міді ПГ-19М-01, запропонованого замість литої бронзової втулки, виготовленої з бронзи 05Ц5С5, що застосовується в сполученні вал-шестерня приводу насосів роздавальної коробки тягача Т-155.*

**Ключові слова:** плазмове покриття, бронза, триботехнічні властивості, зносостійкість.

### Вступ

Для виготовлення підшипників ковзання (втулок), що працюють у парі зі сталевими валами, у різних галузях промисловості застосовується бронза 05Ц5С5. Однак процес виготовлення та встановлення втулок досить трудомісткий.

Метою роботи є дослідження антифрикційних властивостей покриття, напиленого плазмовим способом порошком на основі міді ПГ-19М-01, у порівнянні з литою бронзою 05Ц5С5..

### Результати дослідження

Покриття наносили методом плазмового напилення на установці УПУ-3Д на основу зі сталі 25ХГТ, що пройшла хіміко-термічну обробку (нітроцементацию), що забезпечує твердість 57-65 HRC у поверхневому шарі глибиною 0,8-1,3 мм. Як вихідний матеріал для напилення був використаний порошок марки ПГ-19М-01 ТУ У 322-19-004-96, що виготовляється ВАТ "Торезтвєрдосплав". Його хімічний склад: Cu – (85,5-87,5) %, Al – (8,5-10,5) %, Fe – до 4%. Як плазموутворюючий газ застосовувалася суміш аргону (85%) і азоту (15%). Режими нанесення покриття: сила струму – А 400 А, напруга – 45 В, витрата плазмоутворюючого газу – 4 м<sup>3</sup>/год, витрата порошку – 3 кг/год, дистанція напилення – 120 мм, кут напилення – 90±10 град.

Триботехнічні властивості плазмових покриттів ПГ-19М-01 та бронзи 05Ц5С5 вивчали на машині тертя МІ за схемою диск-колодка в середовищі індустриальної олії марки І-20 при наступних режимах: середня окружна швидкість ковзання  $V=0,42$  м/с, питомий тиск на колодку при нормальному У процесі становило  $q=8,0$  МПа, площа поверхні тертя  $1,81 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. Диск виготовлявся із сталі 45 HRC52, колодки із бронзи 05Ц5С5 та сталі 45 з плазмовим покриттям порошком ПГ-19М-01 [1].

Результати досліджень триботехнічних характеристик показали, що коефіцієнт тертя напиленого плазмовим методом покриття порошком ПГ-19М-01 по загартованій сталі 45 у дослідженому діапазоні слабо залежить від питомого навантаження і дещо збільшується від 0,11 до 0,13. Аналогічно поводить себе коефіцієнт тертя у парі бронза 05Ц5С5 – сталь 45, проте його величина в 1,25-1,3 рази більша [2].

Результати порівняльних випробувань зносостійкості бронзи 05Ц5С5 та плазмового покриття порошком на основі міді марки ПГ-19М-01 показали більш високу зносостійкість напиленого покриття: 0,001 та 0,004 мм<sup>3</sup>/см<sup>2</sup>·с відповідно.

Дослідження твердості показали, що твердість напиленого покриття (НВ 107-110) дещо нижча, ніж у бронзи (НВ 110-114).

З метою визначення працездатності та надійності плазмонапиленого покриття було проведено натурні випробування. Для випробувань напиленого покриття вибрали пару вал-шестерня

приводу насосів роздавальної коробки тягача Т-155. У серійному виконанні в шестірню запресовується втулка, виготовлена з бронзи 05Ц5С5 товщиною 5 мм, за допомогою якої шестерня сполучається з валом (рис. 1).



Рис. 1. Серійне виконання сполучення вал-шестерня:  
а – втулка; б – втулка, запресована у шестірню; в – вал

У дослідному виконанні замість втулки було виготовлено плазмове напилення зовнішньої поверхні валу завтовшки до 2 мм порошком марки ПГ-19М-01 (рис. 2).

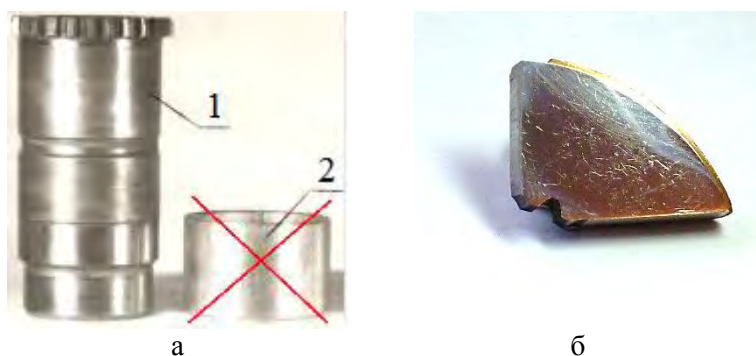


Рис. 2. Дослідний вал:  
а) 1 – плазмове покриття порошком ПГ-19М-01; 2 – серійна втулка;  
б) фрагмент валу з плазмовим покриттям порошком ПГ-19М-01

Об'єм випробувань становив 105 км руху в режимі буксирування та 60 запусків двигуна з буксира. Швидкість руху становила 13-15 км/год.

Результати огляду та мікрометражу після випробувань показали, що задирів, пінтингів на поверхні шестерні та валу немає. Зношування внутрішньої поверхні шестерні практично відсутнє, напиленої поверхні валу становить 0,02-0,29 мм і вони придатні до подальшої експлуатації.

### Висновки

На основі отриманих результатів можна рекомендувати застосування у конструкціях транспортних засобів замість бронзових втулок, що працюють у парі зі сталевими валами, плазмове покриття порошком ПГ-19М-01 ТУ У 322-19-004-96, яке нанесене на вал.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лузан С.А., Ефименко Н.Г. Исследование структуры и свойств плазменного покрытия из сплава на основе меди // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ "ХПІ". 2003. Вип.2 (7). С. 57-62.
2. Sidashenko O. Repair Technology of Machinery and Equipment. Lecture course. / O. Sidashenko and others. Kharkiv: KhNTUA, 2017. 340 p.

**Лузан Сергій Олексійович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри зварювання, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4808-0017>; e-mail: [khadi.luzan@gmail.com](mailto:khadi.luzan@gmail.com)

**Бантковський Вячеслав Анатолійович** – доцент, Державний біотехнологічний університет, доцент кафедри «Технологічні системи ремонтного виробництва та технологія матеріалів», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0275-4848>; e-mail: [bantkovskiy@ukr.net](mailto:bantkovskiy@ukr.net)

### ***Study of the possibility of using plasma coating of the shaft instead of the bronze bushing***

#### ***Abstract***

*The paper investigated the tribotechnical properties of the plasma-sprayed powder coating based on copper PG-19M-01, proposed instead of a cast bronze bushing made of 05Ц5С5 bronze, which is used in the coupling of the drive shaft and gear of the T-155 transfer case pumps.*

**Key words:** plasma coating, bronze, tribological properties, wear resistance.

**Luzan Sergii Alexeyevich** – doctor of technical sciences, professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", head of the welding department, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4808-0017>; e-mail: [khadi.luzan@gmail.com](mailto:khadi.luzan@gmail.com)

**Bantkovskiy Vyacheslav Anatoliioevych** – associate professor, State Biotechnological University, associate professor of the department "Technological systems of repair production and materials technology", Kharkiv, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0275-4848>; e-mail: [bantkovskiy@ukr.net](mailto:bantkovskiy@ukr.net)

## ПОВЕРХНЕВЕ ЗМІЦНЕННЯ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ЛАЗЕРОМ

Вінницький національний технічний університет;

### *Анотація*

*В роботі запропоновано опромінення когерентними пучками світла напилених поверхневих шарів сталевих деталей, з метою підвищення їх зносостійкості за рахунок структуроутворення в покриттях.*

**Ключові слова:** когерентні пучки світла, структуроутворення, контактного плавлення, лазерне оплавлення.

### **Вступ**

Низка деталей машин працює умовах абразивного, кавітаційного та ерозійного зношування. При цьому вимоги до точності спряжень регламентуються 6 – 7 квалітетами. Такі вимоги характерні для насосних та розподільних агрегатів гідроприводів, форсунок паливної апаратури, роботів, верстатів з ЧПК. При зношуванні деталей таких пар спряження уже на декілька мікрометрів їх подальша експлуатація неможлива. В той же час ці деталі не сприймають значимих зовнішніх навантажень. Тому до них висувуються вимоги щодо контактної та поверхневої міцності та зносостійкості.

Традиційно для підвищення зносостійкості та контактної міцності у цьому випадку застосовують термічну або хіміко-термічну обробку. Недоліком використання цих видів зміцнення для наших випадків є виникнення просторових відхилень геометричної форми, що потребує додаткових операцій абразивної обробки. З поверхонь жолоблених деталей при цьому знімається нерівномірний припуск, що викликає додаткові не врівноважені внутрішні напруження, які в подальшому можуть викликати деформації та заклинювання.

Метою роботи є дослідження процесу структуроутворення в покриттях під впливом опромінення когерентними пучками світла, з метою підвищення зносостійкості залізвуглецевих деталей

### **Результати дослідження**

На партію зразків наносили порошок ПГ-10Н-04 товщиною ~1 мм, на попередньо підготовлену поверхню, газополуменевим напилюванням з наступним оплавленням лазерним пучком. Міцність з'єднання напиленого порошку з основою складає 50 МПа.

Після напилювання зразки опромінювали когерентними пучками світла з поверхневим переплавом на лазерній установці КВАНТ-15 з такими параметрами: енергія імпульсу  $E=5,2$  Дж, довжина імпульсу  $\tau=5 \times 10^3$  с, довжина хвилі випромінювання  $\lambda=1,06$  мкм, діаметр плями  $d_n=0,1$  см, частота  $f=10$  Гц, швидкість переміщення пучка  $v=(1,1-32)$  м/с.

Металографічні дослідження отриманих зразків проводились на мікроскопах РЕМ – 106И та МИМ - 8. Діюметричні випробування виконані на приладі ПМТ-3 методом вдавлювання алмазної пірамідки під навантаженням від 0,5 до 2 Н.

На рис.1 показана мікроструктура, що утворилась на зразках після нанесення порошку ПГ-10Н-04 газополуменевим напилюванням з наступним лазерним оплавленням. В зоні зчеплення основи з напиленим шаром видно, що матеріали за рахунок взаємодії утворюють спільні структурні складові. Це свідчить про те, що напилений шар буде міцно триматись без відшарування під дією механічних навантажень. Разом з тим у нанесеному покритті спостерігається утворення графітних включень та пор. При оплавленні поверхні глобулі графіту встигають сплисти, переміщуючись на відносно великі відстані. В результаті цього спостерігаються графітні включення в зміцненій зоні, що додатково покращує антифрикційні властивості. Але на поверхні

також спостерігається утворення пор, що є небажаним дефектом наступного відшарування напиленої поверхні або окремих її частин.

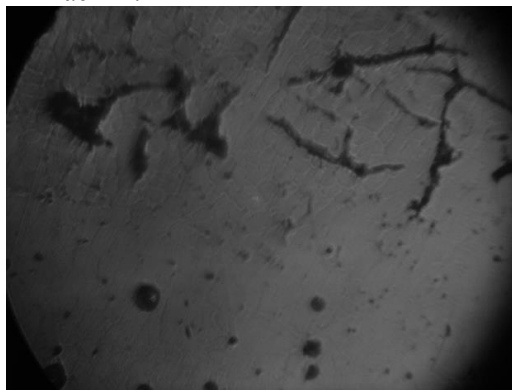


Рисунок 1 – Мікроструктура напиленого шару порошком ПГ-10Н-04 газополумєневим способом з подальшим газополумєневим оплавленням

На рис. 2 показана мікроструктура нанесених газополумєневим напилюванням покриттів, яке додатково оброблено методом поверхневого перепау когерентними пучками світла.

Металографічні дослідження показали, що між нанесеним шаром та основою виявилася досить чітка границя. В місцях її перетину графітною пластинкою зона проплавлення проникає глибше в метал за рахунок явища контактного плавлення.

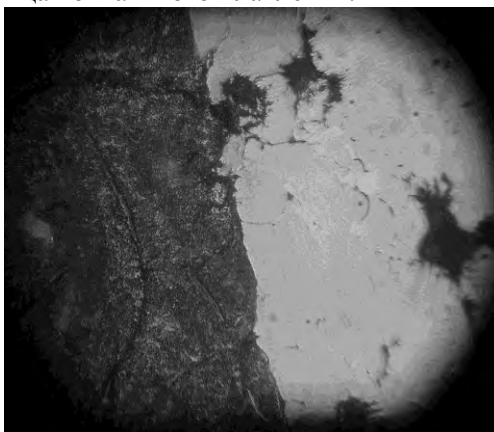


Рисунок 2 – Мікроструктура зразків після нанесення порошку ПГ-10Н-04 газополумєневим напилюванням з наступною обробкою методом поверхневого перепау когерентними пучками світла

Графітні включення мають вигляд пластівців, що є небажаним через те, що вони є зонами концентрації дислокацій та релаксації напружень збільшує ймовірність виникнення тріщин та накопичень пор. Опалена зона є відбіленою і має високу твердість. Опалений шар практично не протравлюється спиртовим розчином азотної кислоти, що є звичайним ефектом при лазерному загартуванні через погане травлення цементиту.

### Висновки

1. Встановлено, що напилене газополумєневим методом порошком ПГ-10Н-04 покриття з наступним оплавленням дозволяє забезпечити високу довговічність деталей, які працюють в умовах невеликих навантажень в умовах абразивного, кавітаційного та ерозійного зношування.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шиліна О.П. Зміцнення когерентним випромінюванням прецизійних деталей гідромашин та гідроагрегатів. / О.П. Шиліна, В.І. Савуляк, О.В. Андрійчук – Промислова гідравліка і пневматика. № 3(17) 2007. С.77-80.
2. Савуляк В.І., Шиліна О.П. Вплив міді на утворення структури поверхневого шару, опаленого когерентними пучками світла. Зварювання та споріднені технології: перспективи розвитку : тези доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції, (Краматорськ, 19–20 жовт. 2021 р.) / М-во освіти і науки України [та ін.], за заг. ред. д-ки техн. наук Н. О. Макаренко. – Краматорськ : ДДМА, 2021. 64-66.



**Савуляк Валерій Іванович** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [korsav84@gmail.com](mailto:korsav84@gmail.com)

**Шиліна Олена Павлівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри галузевого машинобудування Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [epshilina.tpz@gmail.com](mailto:epshilina.tpz@gmail.com)

**Ляско Максим Анатолієвич** – студент групи ЗВ-22б, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [makslasko2@gmail.com](mailto:makslasko2@gmail.com)

### ***Surface reinforcement of steel Laser details***

#### ***Abstract***

*In the work, it is proposed to irradiate the sprayed surface layers of steel parts with coherent beams of light in order to increase their wear resistance due to structure formation in the coatings.*

**Keywords:** coherent beams of light, structure formation, contact melting, laser melting.

**Savylayk Valeriy I.** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of department of machine-building, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia; e-mail: [korsav84@gmail.com](mailto:korsav84@gmail.com)

**Shilina Olena P.** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of department of machine-building, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [epshilina.tpz@gmail.com](mailto:epshilina.tpz@gmail.com)

**Lyasco Maksym A.** – student of group ZV-22b, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [makslasko2@gmail.com](mailto:makslasko2@gmail.com)

**А.О. Макудера,  
С.М. Лакиза,  
О. В. Дуднік,  
М. І. Гречанюк**

## **ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТВЕРДОГО РОЗЧИНУ НА ОСНОВІ $ZrO_2$ В ПРИСУТНОСТІ КОМПЛЕКСНОГО СТАБІЛІЗАТОРУ**

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

### **Анотація**

*Метою роботи є дослідження можливості використання для ТБП складно-композиційної кераміки на основі  $ZrO_2$ , комплексно легovanого сумішшю оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи.*

*Для дослідження обрано порошки складу ( ваг %): 70 М- $ZrO_2$  + 30 ВК. ВК – це суміш оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи, складу ( ваг.%): 13,3  $Y_2O_3$ , 1,22  $Tb_4O_7$ ; 33,2  $Dy_2O_3$ ; 8,9  $Ho_2O_3$ ; 21,8  $Er_2O_3$ ; 1,86  $Tm_2O_3$ ; 12,5  $Yb_2O_3$ ; 0,57  $Lu_2O_3$ ; сумарний вміст інших оксидів – 6,65 (у тому числі 3,2  $Al_2O_3$ ).*

*Сучасні дослідження по створенню нових матеріалів керамічного шару ТБП пов'язані з використанням нанокристалічних порошків на основі  $ZrO_2$ . В них утворення тетрагонального твердого розчину на основі  $ZrO_2$  проходить в інтервалі 700 – 850°С. Для визначення впливу дисперсності вихідного порошку  $ZrO_2$  на фазові перетворення суміші складу ( ваг %): 70 М- $ZrO_2$  + 30 ВК в процесі термічної обробки при 800 °С використано два порошки М- $ZrO_2$ : нанокристалічний гідротермальний порошок та дрібнозернистий порошок, що випускається промисловістю. Суміші готували керамічним методом та випалювали при 800 °С протягом 2 – 18 год. Відбір проб здійснювався через кожні 2 години. Для дослідження властивостей сумішей використано методи рентгенофазового та мікроструктурного аналізів. Визначено, що утворення Т- $ZrO_2$  розпочинається після витримки .....год. Морфологія порошків змінюється топологічно безперервно, процес термічної обробки супроводжується спіканням порошків.*

*Одержані результати буде використано при створенні керамічного шару ТБП, нанесеного методом електронно-променевого випаровування-конденсації (атомно-молекулярного осадження парів в вакуумі (ЕВ-РВД))*

**Ключові слова:** термобар'єрні покриття, середньоентропійна оксидна кераміка, діоксид цирконію, оксиди рідкоземельних елементів, легування оксидами ітрієвої підгрупи, комплексне легування  $ZrO_2$ .

Для термозахисту металевих деталей турбін та двигунів внутрішнього згорання в авіаційних та промислових газотурбінних двигунах застосовують термобар'єрні покриття (ТБП). Дослідження ТБП розширюють з метою їх застосування у різних типах озброєнь та у атомній енергетиці. Сучасні ТБП, які використовують для захисту лопаток газових турбін, складаються, в основному, з внутрішнього металевого жаростійкого (товщиною 50–125 мкм) і зовнішнього керамічного (товщиною 80–1000 мкм) шарів, між якими розташовується термічно вирощений шар, переважно  $Al_2O_3$  (товщиною 0,5–10 мкм). Поєднання металевих та керамічних матеріалів покращує теплоізоляційні характеристики та стійкість до термічного циклювання ТБП в процесі експлуатації [1].

Матеріалом керамічного шару ТБП, який широко досліджено і постійно удосконалюється є твердий розчин на основі  $ZrO_2$ , стабілізованого (6 - 8 мас.%)  $Y_2O_3$  (YSZ) але температура його використання обмежена 1200 °С. Підвищення робочої температури високопотужних газотурбінних двигунів наступного покоління передбачає зростання робочої температури до 1500-1600 °С, що піднімає питання розробки нових матеріалів для керамічного шару ТБП з більш низькою теплопровідністю [2]. Матеріали для керамічного шару ТБП на основі  $ZrO_2$ ,

стабілізованого оксидами рідкісноземельних елементів, привертають велику увагу завдяки їхній низькій теплопровідності та фазовій стабільності при високих температурах. Для підвищення термічної довговічності матеріалу керамічного шару ТБП з твердих розчинів на основі  $ZrO_2$  при більш високих температурах, інтерес представляють оксиди рідкісноземельних елементів (РЗЕ) ітрієвої підгрупи ( $Gd_2O_3$ ,  $Tb_4O_7$ ,  $Dy_2O_3$ ,  $Ho_2O_3$ ,  $Er_2O_3$ ,  $Tm_2O_3$ ,  $Yb_2O_3$ ,  $Lu_2O_3$ ) [3].

Мета роботи: дослідження можливості використання для ТБП складно-композиційної кераміки на основі  $ZrO_2$ , комплексно легованого сумішшю оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи.

Для дослідження обрано порошки складу ( ваг %): 70 М- $ZrO_2$  + 30 ВК. ВК – це суміш оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи, складу ( ваг.%): 13,3  $Y_2O_3$ , 1,22  $Tb_4O_7$ ; 33,2  $Dy_2O_3$ ; 8,9  $Ho_2O_3$ ; 21,8  $Er_2O_3$ ; 1,86  $Tm_2O_3$ ; 12,5  $Yb_2O_3$ ; 0,57  $Lu_2O_3$ ; сумарний вміст інших оксидів – 6,65 (у тому числі 3,2  $Al_2O_3$ ).

Сучасні дослідження по створенню нових матеріалів керамічного шару ТБП пов'язані з використанням нанокристалічних порошоків на основі  $ZrO_2$ . В них утворення тетрагонального твердого розчину на основі  $ZrO_2$  проходить в інтервалі 700 – 850 °С. Для визначення впливу дисперсності вихідного порошку  $ZrO_2$  на фазові перетворення суміші складу ( ваг %) : 70 М- $ZrO_2$  + 30 ВК в процесі термічної обробки при 800 °С використано два порошки М- $ZrO_2$ : нанокристалічний гідротермальний порошок та дрібнозернистий порошок, що випускається промисловістю. Суміші готували керамічним методом та випалювали при 800 °С протягом 2 – 18 год. Відбір проб здійснювався через кожні 2 години. Для дослідження властивостей сумішей використано методи рентгенофазового та мікроструктурного аналізів. Визначено, що утворення Т- $ZrO_2$  розпочинається після витримки 14 год. Морфологія порошоків змінюється топологічно безперервно, процес термічної обробки супроводжується спіканням порошоків.

Одержані результати буде використано при створенні керамічного шару ТБП, нанесеного методом електронно-променевого випаровування-конденсації (атомно-молекулярного осадження парів в вакуумі (ЕВ-РВД)).

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Nandi A. and Ghosh S. Advanced Multi-layered Thermal Barrier Coatings. *An Overview Journal of Materials Science Research and Reviews*. 2019. 2(3), P. 1-17, Article no. JMSRR.45533. DOI: [10.9734/JMSRR/2019/45533](https://doi.org/10.9734/JMSRR/2019/45533).
2. Ke Rena Qiankun Wanga, Gang Shao, Xiaofeng Zhao, Yiguang Wang. Multicomponent high-entropy zirconates with comprehensive properties for advanced thermal barrier coating. *Scripta Materialia*. 2020. Vol. 178, No.15. P. 382-386. DOI: [10.1016/j.scriptamat.2019.12.006](https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2019.12.006)
3. Dudnik E.V. S.N. Lakiza, I.N. Hrechanyuk, A.K. Ruban, V.P. Redko, I.O. Marek, V.B. Shmibelsky, A.A. Makudera, N.I. Hrechanyuk. Thermal barrier coatings based on  $ZrO_2$  solid solutions. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2020. Vol. 59, No. 3-4. P. 179-200. DOI: [10.1007/s11106-020-00151-8](https://doi.org/10.1007/s11106-020-00151-8)

##### **Макудера Аліна Олександрівна**

молодший науковий співробітник,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,

E-mail: [alina.makudera@gmail.com](mailto:alina.makudera@gmail.com)

##### **Лакіза Сергій Миколайович**

доктор хімічних наук, провідний науковий співробітник,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,

E-mail: [sergij\\_lakiza@ukr.net](mailto:sergij_lakiza@ukr.net)

##### **Дуднік Олена Вікторівна**

доктор хімічних наук, завідувач відділом,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,

E-mail: [dudnikelena@ukr.net](mailto:dudnikelena@ukr.net)

##### **Гречанюк Микола Іванович**

доктор технічних наук, провідний науковий співробітник,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,

E-mail: [vin25ebt@ukr.net](mailto:vin25ebt@ukr.net)

## Features of the formation of a solid solution based on ZrO<sub>2</sub> in the presence of a complex stabilizer

### Abstract

*The aim of the work is to investigate the possibility of using complex-composite ceramics based on ZrO<sub>2</sub> complex doped with a mixture of REE oxides of the yttrium subgroup for TBP.*

*Powders of the composition (weight %): 70 M-ZrO<sub>2</sub> + 30 VK were selected for the study. VC is a mixture of REE oxides of the yttrium subgroup, composition (wt.%): 13,3 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1,22 Tb<sub>4</sub>O<sub>7</sub>; 33,2 Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 8,9 Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 21,8 Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1,86 Tm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 12,5 Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,57 Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; the total content of other oxides is 6.65 (including 3.2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).*

*Modern research on the creation of new materials for the ceramic layer of TBP is related to the use of nanocrystalline powders based on ZrO<sub>2</sub>. In them, the formation of a tetragonal solid solution based on ZrO<sub>2</sub> takes place in the range of 700-850 °C. To determine the influence of the dispersion of the original ZrO<sub>2</sub> powder on the phase transformations of the mixture of the composition (weight %): 70 M-ZrO<sub>2</sub> + 30 VK in the process of heat treatment at 800 °C, two M-ZrO<sub>2</sub> powders were used: nanocrystalline hydrothermal powder and fine-grained powder produced by industry. The mixtures were prepared by the ceramic method and fired at 800 °C for 2-18 hours. Sampling was carried out every 2 hours. X-ray phase and microstructural analysis methods were used to study the properties of mixtures. It was determined that the formation of T-ZrO<sub>2</sub> begins after exposure for 14 hours. The morphology of the powders changes topologically continuously, the heat treatment process is accompanied by sintering of the powders.*

*The obtained results will be used in the creation of a ceramic layer of TBP applied by the method of electron-beam evaporation-condensation (atomic-molecular vapor deposition in a vacuum (EB-PVD))*

**Keywords:** thermal barrier coatings, medium-entropy oxide ceramics, zirconium dioxide, oxides of rare earth elements, doping with oxides of the yttrium subgroup, complex doping of ZrO<sub>2</sub>.

### ***Makudera Alina Oleksandrivna***

junior researcher,

Francevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science of Ukraine, Kiev,

E-mail: [alina.makudera@gmail.com](mailto:alina.makudera@gmail.com)

### ***Lakiza Sergij Mikolaevih***

doctor of Chemical Sciences, leading researcher,

Francevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science of Ukraine, Kiev,

E-mail: [sergij\\_lakiza@ukr.net](mailto:sergij_lakiza@ukr.net)

### ***Dudnik Elena Victorovna***

doctor of Chemical Sciences, head of the department,

Francevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science of Ukraine, Kiev,

E-mail: [dudnikelena@ukr.net](mailto:dudnikelena@ukr.net)

### ***Hrechanyuk Nikolay Ivanovych***

doctor of Engineering, leading researcher,

Francevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science of Ukraine, Kiev,

## МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОВЕРХНІ ПРИ НАПЛАВЛЕННІ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*В роботі побудована модель розподілу температур за допомогою програми кінцевого елементного аналізу та проведено мікроструктурний аналіз основного та наплавленого металу.*

**Ключові слова:** кінцевий елементний аналіз, крок наплавлення, тепловий потік, структурні перетворення.

### Вступ

Фазові та структурні перетворення при зварюванні, в порівнянні з термічною обробкою, мають свої особливості: протікають в нерівноважних умовах зварювального термомеханічного циклу (ЗТДЦ), тобто в умовах швидкого нагрівання та охолодження з одночасним розвитком зварювальних напружень і деформацій. Характер перетворень залежить від складу сплаву, максимальних температур нагрівання, а їх завершеність – від швидкісних та деформаційних параметрів зварювального циклу.

Нагрівання тонкостінного циліндра при однопрохідному дуговому зварюванні подовжніх і кільцевих швів подібно до нагрівання тонкостінних циліндричних оболонк, незважаючи на їх кривизну, може бути прирівняне до випадку нагрівання пластини лінійним джерелом теплоти. Це пояснюється тим, що циліндр являє собою поверхню, що розгортається [1].

При великих розмірах циліндра (діаметр і довжина) процес розповсюдження теплоти аналогічний процесу в нескінченній пластині [1]. Проте при малих діаметрах відбувається накладення теплових потоків від різних ділянок виконуваного шва.

### Результати дослідження

Досліди проводили при наплавленні валиків на вал. В процесі досліджень змінювали: силу струму, напругу та кількість наплавлених витків. Постійний параметр – крок наплавлення. Значення струму, напруги, кількості витків варіювались.

На рис. 1 наведена залежність твердості від порядку накладання валиків на вал.

Після наплавлення зразків, кожен з них був сфотографований, для кожного з них побудована модель розподілу температур за допомогою програми кінцевого елементного аналізу та проведено мікроструктурний аналіз основного та наплавленого металу.

Процес моделювання проводився в наступному порядку:

- створення 3D-моделей кожного із шести досліджуваних зразків із зазначенням місця наплавлення валиків;
- перенесення створених 3D-моделей в програму кінцевого елементного аналізу;
- генерація сітки на створених моделях;
- введення кількості кроків впливу температури із вказанням часу дії напружень на один валок;

введення виду температурного впливу, який діє на тіло із вказанням поверхонь, що підлягають цьому впливу:

- задання значення конвекції із вказанням коефіцієнту розповсюдження теплоти;
- введення теплового потоку і задання кількості енергії, яка діє на одиницю площі;
- вказання періоду часу коли дії кожне з напружень;
- виведення на екран результатів досліджень, що нас цікавлять (в даному випадку – розподіл температури по тілу);
- визначення на зразках середні координати кінця межі синьоломкості;
- перенесення даних координати кінця межі синьоломкості на модель зразків із виведенням значення температури в даному місці;
- зберігання отриманих даних.

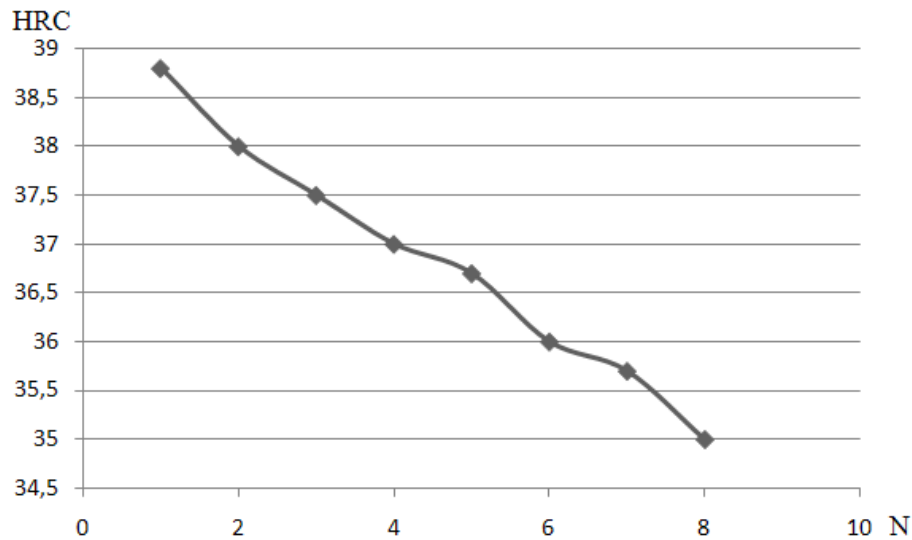


Рисунок 1 – Залежність твердості наплавлених валків від порядку їх наплавлення (N – порядок наплавлених валків)

Дослідження впливу температурних режимів при наплавленні виявило фазові перетворення в сталевих деталях під час наплавлення. В ході дослідження було виявлено, що кожен наступний наплавлений валок температурно впливає на попередній. Результати дюрOMETричного аналізу показали, що твердість першого валка є найбільшою і поступово зменшується від валка до валка. ДюрOMETричні дослідження показали, що твердість деталі зменшується в прямому порядку від місця початку наплавлення, до місця закінчення наплавлення. Це є серйозною проблемою, яка може бути вирішена шляхом використання пристосувань, що поступово змінюють потужність джерела тепла в процесі наплавлення без переривання самого процесу. Наплавлення великогабаритних деталей необхідно провадити з попереднім та супутнім підігрівом, який попереджає утворення різномірних структур.

### Висновки

При дослідженні дефектів були виявлені наступні залежності: чим більша сила струму тим дефектів менше, при високій силі струму та великій площі поверхні, що наплавляється, виділення тепла дуже високе – з'являються пропали в результаті великої зони термічного впливу, а також структурні перетворення, які суттєво змінюють властивості напавленого шару.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Василик А.В. Теплові розрахунки при зварюванні / А.В. Василик, Я.А. Дрогомирецький, Я.А. Криль. – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 209с.

*Шиліна Олена Павлівна* – канд. техн. наук, доцент кафедри галузевого машинобудування Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [epshilina.tpz@gmail.com](mailto:epshilina.tpz@gmail.com)

*Звада Олександр Романович* – студент групи ЗВ-22б, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [inform3209@gmail.com](mailto:inform3209@gmail.com)

### Simulation of the influence of temperature on functional surfaces during soldering

#### Abstract

*In the paper, a model of temperature distribution was built using the finite element analysis program, and a microstructural analysis of the base and deposited metal was carried out.*

**Keywords:** finite element analysis, surfacing step, heat flow, structural transformations.

*Shilina Olena P.* – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of department of machine-building, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [epshilina.tpz@gmail.com](mailto:epshilina.tpz@gmail.com)

*Zvada Oleksandr R.* – student of group ZV-22b, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [inform3209@gmail.com](mailto:inform3209@gmail.com)

**М.Я. Головчук**  
**В.М. Гвоздецький**  
**Г.Г. Веселівська**  
**М.М. Студент**  
**Х.Р. Задорожна**

## **ВПЛИВ ДІАМЕТРУ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ ТА СТРУМУ ДУГИ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів

### **Анотація**

*В роботі визначено вплив діаметра порошкових дротів (ПД) та продуктивності його напилення (струму дуги) на фізико-механічні характеристики електродугових покриттів. Покриття отримували шляхом напилення ПД 50ХН2ГР5С, 250Х20ВФГС та 50Х6Г2МС базових систем легування Fe-Cr-C та Fe-Cr-B. З'ясовано вплив діаметра порошкових дротів та струму дуги на структуру покриттів, від якої залежить поруватість, мікротвердість, адгезія до сталеві основи, абразивна зносостійкість покриттів, напилених різними ПД. Встановлено, що поруватість та мікротвердість покриттів із досліджених порошкових дротів зростає зі збільшенням товщини ламелей в їх структурі та, відповідно, діаметру дроту. Виявлено, що зі збільшенням товщини ламелей у структурі покриттів з порошкових дротів 250Х20ВФГС та порошкових дротів 50ХН2ГР5С їх адгезія до сталеві основи дещо зменшилася, водночас адгезія покриття із порошкового дроту 50Х6Г2МС до сталі зростає. Встановлено, що абразивна та газоабразивна зносостійкість покриттів із ПД 250Х20ВФГС знизилася, а із ПД50ХН2ГР5С підвищилася внаслідок збільшення товщини ламелей у їх структурі за використання порошкових дротів більшого діаметра.*

**Ключові слова:** електродугові покриття; порошкові дроти; діаметр дроту; струм дуги; структура; поруватість; мікротвердість; адгезія; зносостійкість; напруження.

Порошкові дроти (ПД), які використовують як витратні електродні матеріали, дозволили отримувати покриття із високими фізико-механічними, трибологічними характеристиками, зносостійкістю та газоабразивною зносостійкістю як за кімнатних, так і за підвищених температур. Розвиток методу електродугового напилення покриттів потребує створення нових ПД із підвищеним вмістом легувальних елементів та оптимізацію процесу напилення. Тому метою досліджень було з'ясувати вплив діаметру ПД та продуктивності його напилення (струму дуги) на фізико-механічні характеристики одержаних покриттів.

Покриття отримували на оригінальному обладнанні, застосовуючи для напилення модельні порошкові дроти базових систем легування Fe-Cr-C та Fe-Cr-B – ПД 50ХН2ГР5С, 250Х20ВФГС та 50Х6Г2МС діаметром 1,8 та 2,4 mm, за наступними режимами: тиск повітряного струменю – 0,4 МПа; напруга дуги – 30 V; струм дуги: Ø1,8 mm – 100, 125, 150 A; Ø2,4 mm – 120, 150, 180 A.

З'ясували, що для всіх систем легування внаслідок збільшення діаметру ПД та струму дуги об'єм розплавленого металу на торцях ПД збільшувався, що спричиняло утворення краплин більшого діаметра та, відповідно, товщина ламелей (як структурна ознака покриттів) та поруватість покриттів зростали.

Виявили, що мікротвердість покриттів із ПД 50Х6Г2МС та ПД 50ХН2ГР5С зростала зі збільшенням товщини ламелей у структурі покриттів, особливо напилених ПД Ø2,4 mm. Причиною цього був вищий вміст вуглецю у мартенситній матричній фазі покриттів, внаслідок зменшення вигорання вуглецю в процесі напилення зі збільшенням діаметра краплин, що відповідає за підвищення їх мікротвердості. Проте в покритті, напиленому ПД 250Х20ВФГС виявили протилежну тенденцію впливу товщини ламелей на мікротвердість при використанні



дроту більшого діаметру. Це зумовлено значною кількістю залишкового аустеніту в них, якому властива нижча мікротвердість, ніж високовуглецевому мартенситу.

Адгезія покриттів із ПД 50XH2ГР5С та 250X20ВФГС дещо зменшувалася зі зростанням товщини ламелей у структурі покриттів, особливо за використання ПД більшого діаметра та за вищого струму дуги. Це зумовлено виникненням у напилених покриттях напружень розтягу, які спричиняли утворення мікротріщин або їх мережі, що суттєво знижувало адгезію покриттів до сталеві основи. Для покриття із ПД 50X6Г2МС виявили протилежну закономірність, яку пов'язали з більшим вмістом вуглецю у крупних ламелях та сприятливими умовами для формування в них високовуглецевого мартенситу, який має найменший коефіцієнт термічного розширення та спричиняє найменші залишкові напруження розтягу в покриттях.

Встановлено, що абразивна та газоабразивна зносостійкість покриттів із ПД 250X20ВФГС знизилася, оскільки зростаючі напруження розтягу в них можуть спричинити появу мікротріщин, а з ПД 50XH2ГР5С підвищилася – внаслідок збільшення товщини ламелей у їх структурі за використання порошкових дротів більшого діаметра.

**Головчук Мирослав Ярославович**, к.т.н., молодший науковий співробітник, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, [golovchuk86@gmail.com](mailto:golovchuk86@gmail.com)

**Гвоздецький Володимир Миколайович**, к.т.н., старший дослідник, старший науковий співробітник, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, [gvosdetcki@gmail.com](mailto:gvosdetcki@gmail.com)

**Веселівська Галина Григорівна**, к.т.н., старший дослідник, старший науковий співробітник, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, [fminanu1978@gmail.com](mailto:fminanu1978@gmail.com)

**Студент Михайло Михайлович**, д.т.н., професор, провідний науковий співробітник, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, [student.phmi@gmail.com](mailto:student.phmi@gmail.com)

**Задорожна Христина Романівна**, к.т.н., науковий співробітник, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, [880988@ukr.net](mailto:880988@ukr.net)

## ***INFLUENCE OF POWDER WIRE DIAMETER AND ARC CURRENT ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ELECTRIC ARC COATINGS***

### **Abstract**

*The paper determines the influence of the diameter of powder-coated wires (PD) and the productivity of its sputtering (arc current) on the physical and mechanical characteristics of electric arc coatings. The coating was obtained by sputtering PD 50XH2ГР5С, 250X20ВФГС and 50X6Г2МС basic Fe-Cr-C and Fe-Cr-B alloying systems. The influence of the diameter of powder-coated wires and the arc current on the structure of the coatings, which depends on the porosity, microhardness, adhesion to the steel base, and the abrasive wear resistance of the coatings sprayed with different PDs, was determined. It was established that the porosity and microhardness of the coatings from the investigated powder-coated wires increases with an increase in the thickness of the lamellae in their structure and, accordingly, with the diameter of the wire. It was found that with an increase in the thickness of the lamellae in the structure of the coatings made of powder-coated wires 250X20ВФГС and powder-coated wires 50XH2ГР5С, their adhesion to the steel base decreased slightly, while the adhesion of the coating made of powder-coated wire 50XH2ГР5С to steel increased. It was established that the abrasive and gas abrasive wear resistance of coatings made of PD 250X20ВФГС decreased, and that of 50XH2ГР5С increased. due to an increase in the thickness of the lamellas in their structure due to the use of powder-coated wires of a larger diameter.*

**Keywords:** electric arc coatings; powder wires; wire diameter; arc current; structure; porosity; microhardness; adhesion; durability; tension.

**Golovchuk Myroslav Yaroslavovych**, Ph.D., junior researcher, Karpenko Physico-mechanical institute of the NAS of Ukraine, Lviv, [golovchuk86@gmail.com](mailto:golovchuk86@gmail.com)

**Hvozdetzkyi Volodymyr Mykolayovych**, Ph.D., senior researcher, senior researcher, Karpenko Physico-mechanical institute of the NAS of Ukraine, Lviv, [gvosdetcki@gmail.com](mailto:gvosdetcki@gmail.com)

**Veseliv's'ka Halyna Hryhorivna**, Ph.D., senior researcher, senior researcher, Karpenko Physico-mechanical institute of the NAS of Ukraine, Lviv, [fminanu1978@gmail.com](mailto:fminanu1978@gmail.com)

**Student Mykhailo Mykhailovych**, D.Sc., professor, leading researcher, Karpenko Physico-mechanical institute of the NAS of Ukraine, Lviv, [student.phmi@gmail.com](mailto:student.phmi@gmail.com)

**Zadorozhna Khrystyna Romanivna**, Ph.D., Researcher, Karpenko Physico-mechanical institute of the NAS of Ukraine, Lviv, [880988@ukr.net](mailto:880988@ukr.net)



## ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ НАПЛАВЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ТА ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА НИХ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Виконано дослідження впливу факторів технологічного процесу наплавлення на якість зміцнення робочих поверхонь деталей машин. Розглядається якість поверхонь які сприймають тиск, тертя ковзання з абразивним та корозійно-активним середовищем.

**Ключові слова:** наплавлення, макрогеометрія, похибки, дефекти, елементи припуску, твердість, зносостійкість.

### Вступ

Службове призначення деталей та її робочих поверхонь вимагають певних конкретних фізико-механічних властивостей. Крім обґрунтованого вибору матеріалу та його хіміко-термічної обробки в низці випадків доцільно застосувати методи нанесення покриттів. Широке розповсюдження отримали методи нанесення покриттів наплавленням. Це є економічно доцільним внаслідок доступності обладнання, матеріалів та забезпечення практично необмеженої товщини робочого шару, що є особливо цінним для роботи у дуже жорстких умовах експлуатації.

### Проведення дослідження

В переважній більшості технологічних процесів виготовлення, відновлення або ремонту деталей машин після операцій нанесення покриття застосовують механічну обробку для забезпечення параметрів точності. Для цього в розміри товщини нанесеного покриття закладають необхідний шар металу для його зрізання під час механічної обробки. Цей шар називають припуском, який може бути використаний на одному або декількох переходах механічної обробки.

Товщина шару, яку необхідно зняти, складається з таких елементів: висота мікронерівностей, просторові відхилення, товщина дефектного шару, похибки встановлення в пристосуванні. Ці елементи припуску функціонально залежать від параметрів технологічного процесу нанесення покриття та змісту операцій механічної обробки, відновлення або зміцнення. Офіційні дані та довідники для визначення цих елементів під час проектування технологічних процесів відновлення на сьогодні відсутні.

До найпоширеніших дефектів наплавлених деталей відносять [1] несплавлення, тріщини, пористість, шлакові включення, перегрівання основного металу, підрізи, напливи і натікання металу, деформації і жолоблення наплавлених деталей.

Наплавлені деталі після нанесення покриття піддаються різним методам контролю. Отримані статистичні дані оброблялись з використанням методу планування та постановки повного факторного експерименту з проведенням регресійного аналізу. Використано апроксимацію функції у поліномом другого порядку виду:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i_1 \leq i_2 \leq k} b_{i_1 i_2} x_{i_1} x_{i_2} + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2. \quad (1)$$

Інтервали варіювання та рівні факторів приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Інтервали варіювання та рівні факторів

Фактори	Інтервали варіювання	Рівні факторів		
		основн.	верхн.	нижн.
$x_1$ – напруга на дузі, В	8	0	+1	-1
$x_2$ – швидкість наплавлення, м/хв	2	30	38	22
$x_3$ – крок наплавлення, мм/об	1,75	5	7	3
		4,55	6,3	2,8

З урахуванням значимості коефіцієнтів рівняння регресії прийме вигляд:

$$y_a = 2,15 - 0,36 \cdot x_2 - 0,301 \cdot x_3 - 0,257 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,206 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,039 \cdot x_3^2. \quad (2)$$

### Висновки

Аналіз отриманого рівняння регресії показує, що найбільший вплив на дефекти наплавлення дають фактори: швидкість наплавлення та крок наплавлення. Вплив обох факторів приблизно однаковий.

### Використані джерела інформації

1. Корж В.М. Нанесення покриття / В.М. Корж, В.Д. Кузнецов, Ю.С. Борисов, К.А. Ющенко.–К.: Арістей, 2005.–204с.–ISBN966-8458-68-0.
- 2.Ющенко К.А. Інженерія поверхні/К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. – К.: Наукова думка, 2007. – 560 с. – ISBN 978-966-00-0655-3.
3. Савуляк В.І. Визначення складових припуску на механічну обробку отворів у заготовках з наплавлюванням функціональним покриттям / В.І. Савуляк, С.А. Заболотний, О.В. Шаповалова, В.Й. Шенфельд // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ, 2011. – №1(22).– С.148-150.

**Савуляк Валерій Іванович** – д.т.н., проф., професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [korsav84@gmail.com](mailto:korsav84@gmail.com)

**Шаргородський Костянтин Сергійович** – аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [konstantinw@ukr.net](mailto:konstantinw@ukr.net)

**Звада Олександр Романович** – студент факультету машинобудування і транспорту за спеціальністю «Матеріалознавство» Вінницького національного технічного університету e-mail: [inform3209@gmail.com](mailto:inform3209@gmail.com)

### Indications of the yakoshity of surface surfaces and factors of the plate on them

#### Abstract

*The paper investigates the influence of surfacing process factors on the quality of hardening of working surfaces of machine parts. The quality of surfaces that perceive pressure, sliding friction with abrasive and corrosive media is considered.*

**Keywords:** surfacing, macrogeometry, errors, defects, allowance elements, hardness, wear resistance.

**Savulyak Valery** – d. oft.s, prof., Department of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [korsav84@gmail.com](mailto:korsav84@gmail.com)

**Shargorodsky Kostantin** – postgraduate of the Department of industrial engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [konstantinw@ukr.net](mailto:konstantinw@ukr.net)

**Zvada Oleksandr Romanovych** - student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, majoring in "Materials Science", Vinnytsia National Technical University e-mail: [inform3209@gmail.com](mailto:inform3209@gmail.com)

## МОЖЛИВОСТІ ВНУТРІШНЬОГО ОКИСЛЕННЯ ЩОДО ЗМІЦНЕННЯ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ТУГОПЛАВКИХ МЕ- ТАЛІВ З ТИТАНОМ

Українська академія друкарства

### Анотація

Розроблено та оптимізовано метод зміцнюючої ХТО, з реалізацією процесу внутрішнього окиснення, сплавів системи ванадій –титан, ніобій –титан та виробів з них.

**Ключові слова:** зміцнення, хіміко-термічна обробка, внутрішнє окиснення, сплави, титан.

### Вступ

Зовсім недавно ванадій та ніобій називали металами майбутнього, але вже сьогодні їх застосування та відповідних сплавів визначає прогрес багатьох галузей техніки, зокрема ядерної енергетики, авіації, ракетної і космічної техніки, електроніки, сутність нових технологічних процесів та багато іншого. Робочі параметри виробів постійно підвищуються і це ставить ряд складних матеріалознавчих задач. Зокрема, підвищення рівня жароміцності, зносо- і жаротривкості за умови збереження достатньої пластичності (технологічності). Це потребує розробки принципів вибору легуючих елементів, формування гетерогенної структури і фазового складу сплавів на основі ванадію і ніобію, а також розробки інших ефективних методів зміцнення. До уваги слід брати, що ці метали не мають поліморфних перетворень і це обмежує можливості їх зміцнення шляхом термообробки. З іншої сторони відомо, що міцність металевої матриці можна суттєво підвищити формуванням в ній термодинамічно стабільних дисперсних фаз типу карбідів, нітридів, оксидів відповідних морфології, концентрації і розмірів. Оксиди мають максимальну стабільність серед фаз втілення. Основний спосіб введення таких фаз у метал – металургійний, але до готових виробів, напівфабрикатів чи після прокату, його застосування не можливе. В цьому випадку перспективним є застосування хіміко - термічної обробки (ХТО) з реалізацією внутрішнього окисненням. Беручи до уваги, як робочу гіпотезу про можливість внутрішнього окиснення сплавів системи Мо-Ма, де Мо – метал (основа), а Ма – легувальна домішка яка термодинамічно активніша, ніж перший до кисню, за застосування відповідного джерела та режимів можна досягти утворення оксидів, оксикарбідів тощо, для яких характерні висока твердість та стабільність.

*Мета* даної роботи – розробити та оптимізувати метод зміцнюючої ХТО, з реалізацією процесу внутрішнього окиснення, сплавів системи ванадій –титан, ніобій –титан.

### Результати дослідження

Обґрунтовано вибір джерела кисню, оптимізовано температурно - часові параметри ХТО, отримано позитивні результати щодо впливу ХТО на міцність і зносотривкість досліджених матеріалів. Встановлено що за ХТО інженерія поверхневих шарів і їх склад, забезпечують підвищення зносотривкості, а окиснення титану *in situ* в матриці сплавів з утворенням дисперсних оксидів дозволяє суттєво підвищити міцність ванадію і ніобію, легованих титаном в широкому температурному діапазоні випробувань. Для прикладу в графічному вигляді наведено дані для сплаву на основі ванадію легованого 11%мас титану. Якісно, аналогічні дані отримані і для відповідних ніобієвих сплавів. Порівняно із першими для них характерний ще більший зміцнюючий ефект від застосування ХТО.

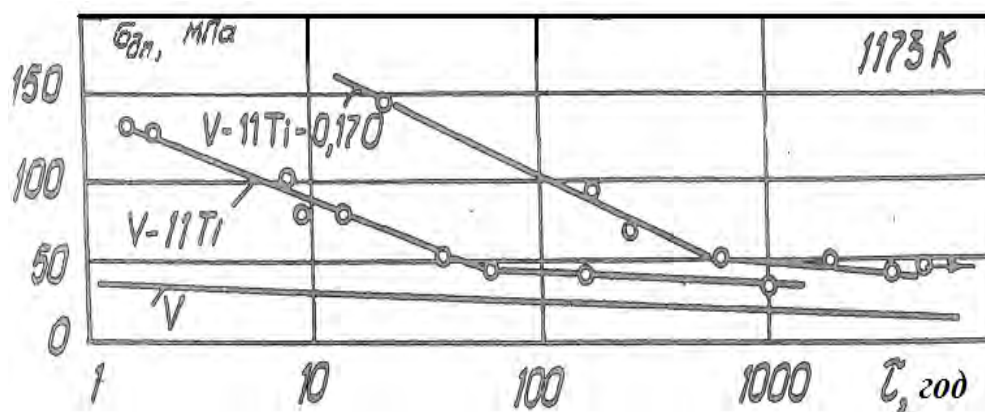


Рис.1 Вплив кисню, введеного в сплав V-11Ti ( в мас.%) після ХТО на тривалу міцність при температурі 1173К.(дані для нелегованого ванадію наведено з метою порівняння порівняння)

### Висновки

Встановлено, що запропонований підхід зміцнення тонкостінних виробів з титанвмісних сплавів на основі тугоплавких металів внутрішнім окисленням дозволяє суттєво (в 2 -3) рази підвищити їх об'ємну і поверхневу міцність, опір високотемпературній повзучості.

**Широков Володимир Володимирович** — професор факультету комп'ютерної поліграфічної інженерії, Українська академія друкарства, Львів, e-mail: [vvshyrovkov@gmail.com](mailto:vvshyrovkov@gmail.com)

**Шахбазов Яків Олександрович** — професор факультету комп'ютерної поліграфічної інженерії, Українська академія друкарства, Львів, e-mail: [shah-nika@ukr.net](mailto:shah-nika@ukr.net)

**Широков Олексій Володимирович** — канд. техн. наук, доцент факультету комп'ютерної поліграфічної інженерії, Українська академія друкарства, Львів, e-mail: [vvshyrovkov@gmail.com](mailto:vvshyrovkov@gmail.com)

### **POSSIBILITIES OF INTERNAL OXIDATION REGARDING THE STRENGTHENING OF ALLOYS BASED ON REFRACTORY METALS WITH TITANIUM**

#### **Abstract**

*The method of strengthening HTT, with the implementation of the process of internal oxidation, of alloys of the vanadium-titanium, niobium-titanium system and their products has been developed and optimized.*

**Keywords** strengthening, chemical and thermal treatment, internal oxidation, alloys, titanium.

**Shyrovkov V. V.** — Professor of the Faculty of Computer Printing Engineering, Ukrainian Academy of Printing, Lviv, email : [vvshyrovkov@gmail.com](mailto:vvshyrovkov@gmail.com)

**Shakhbazov I.O.** — Professor of the Faculty of Computer Printing Engineering, Ukrainian Academy of Printing, Lviv, email : [shah-nika@ukr.net](mailto:shah-nika@ukr.net)

**Shyrovkov O. V.** — Cand. Sc. (Eng), Professor of the Faculty of Computer Printing Engineering, Ukrainian Academy of Printing, Lviv, email : [vvshyrovkov@gmail.com](mailto:vvshyrovkov@gmail.com)

## ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТА ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

<sup>1</sup> Житомирський агротехнічний фаховий коледж

<sup>2</sup> Поліський національний університет, м. Житомир

### Анотація

*Сформульовано основні принципи підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин на основі комплексного підходу адаптації їх зносостійкості з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов і режимів експлуатації*

**Ключові слова:** ґрунт, ґрунтообробна машина, довговічність, зносостійкість, надійність, комплексний підхід, леміш, стрілочаста лапа, дисковий робочий орган.

### Вступ

Аналіз стану науково-прикладної проблеми підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин дозволив виділити невирішені питання та сформувати наукову гіпотезу. На сьогодні розв'язання проблеми довговічності та зносостійкості здебільшого досягається завдяки використанню відомих технологічних методів для певних ґрунтово-кліматичних умов. Такий підхід не забезпечує підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин у разі зміни умов і режимів експлуатації. Virішення цієї проблеми має базуватися на застосуванні комплексного підходу з використанням усього спектру відомих методів підвищення довговічності та зносостійкості, зважаючи на умови і режими експлуатації ґрунтообробних машин.

### Результати дослідження

Унаслідок проведених теоретичних досліджень на основі синтезу знань з різних наук розроблено фізико-математичну модель системи «робочий орган – ґрунт», яка дозволила визначити вплив параметрів елементів системи на процеси та явища, які відбуваються в системі, та визначити можливі шляхи вирішення науково-прикладної проблеми підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин. На основі молекулярно-механічної теорії тертя, зважаючи на фрикційні особливості середовища ґрунту й усіх видів тертя, які відбуваються на поверхні робочого органу (тертя ковзання, тертя кочення та тертя кочення з проковзуванням), розроблена математична модель для визначення коефіцієнта тертя між ґрунтом і поверхнею робочих органів ґрунтообробних машин. Установлено, що коефіцієнт тертя між поверхнею робочого органу й ґрунтом є випадковою функцією і його значення є миттєвою величиною. Величина коефіцієнта тертя ґрунту по поверхні робочих органів ґрунтообробних машин залежить лише від стану у якому знаходиться ця система, а не від того, як ця система прийшла в цей стан, саме тому даний процес описано марківським випадковим процесом. Для визначення ймовірних значень коефіцієнта тертя між поверхнею робочого органу і середовищем ґрунту побудовано систему рівнянь Колгоморова.

Зважаючи на ґрунтово-кліматичні умови та режими експлуатації на основі теоретичних досліджень й аналізу особливостей зношування робочих органів ґрунтообробних машин отримано умови та критерії досягнення ефекту самозагострювання різальних елементів і рівності зношування для різних типів робочих органів ґрунтообробних машин (стрілчастої лапи, вирізних сферичних дискових робочих органів та лемешів).

Встановлено закономірності впливу наявності рослинних решток у середовищі ґрунту на зміну інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Наявність сухих рослинних решток у межах від 3% до 6% призводить до зменшення інтенсивності зношування на 4...5%, наявність вологих рослинних решток спричиняє зростання на 5...9%, а наявність рослинних решток до збирання (фаза колосіння для пшениці або молочно-воскової стиглості для кукурудзи) призводить до зростання на 15,4...18,6%. В експлуатаційних умовах наявність рослинних решток підвищує інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин ( у межах 8%).

Для найпоширеніших ґрунтів України визначено: коефіцієнт форми абразивних частинок; закономірність зміни величини коефіцієнта форми від глибини залягання абразивних частинок у ґрунті; закономірність зміни величини коефіцієнта форми від частоти взаємодії з поверхнею робочих органів ґрунтообробних машин; вплив коефіцієнта форми абразивних частинок на інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Коефіцієнт форми абразивних частинок ґрунту залежить від типу ґрунту, глибини залягання та розміру абразивних частинок. Залежність зміни коефіцієнта форми абразивних частинок у ґрунті від глибини залягання пов'язана з різною кількістю циклів руйнування абразивних частинок в результаті взаємодії з робочими органами ґрунтообробних машин, що підтверджено відсутністю залежності зміни коефіцієнта форми від глибини залягання в орному шарі та лабораторними дослідженнями. Для абразивних частинок розміром до 0,10 мм коефіцієнт форми абразивних частинок знаходиться в межах 227,89...488,35, для абразивних частинок розміром 0,1...0,25 мм – 183,27...386,24, для абразивних частинок розміром 0,25...0,5 мм – 109,86...222,57, для абразивних частинок розміром 0,5...0,75 мм – 91,53...227,46, для абразивних частинок розміром 0,75...1 мм – 78,90...214,56. Зростання коефіцієнта форми призводить до інтенсифікації процесу абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин.

Експериментальні дослідження зміни властивостей поверхневих шарів, утворення вторинних структур у зоні фрикційного контакту та інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин дозволили встановити раціональні матеріали для виготовлення серійних лемішно-лапових і дискових робочих органів ґрунтообробних машин з підвищеною довговічністю. Для дискових ґрунтообробних машин, які працюють в умовах піщаних та супіщаних ґрунтів, робочі органи слід виготовляти зі сталі 65Г (вона здатна до самонаклепу в процесі агресивного абразивного та ударно-абразивного зношування, до підвищення початкової твердості на 15%), а для умов глинистих і суглинкових ґрунтів – з борвмісної якісної сталі 28MnB5. Серійні лемішно-лапові робочі органи для всіх типів ґрунтів необхідно виготовляти з високоякісних зносостійких сталей, оскільки в умовах абразивного зношування вони проявляють здатність до підвищення твердості вторинних структур на поверхні тертя і мають вищу зносостійкість.

З'ясовано, що нанесення зносостійкого покриття на робочі органи ґрунтообробних машин, виготовлених зі сталі 65Г, дозволяє суттєво підвищити їхню довговічність: для зміцнених дискових робочих органів під час експлуатації їх на супіщаних ґрунтах довговічність підвищується в 1,28...1,41 раза, на суглинках – в 1,11...1,24 раза та на глинистих ґрунтах – в 1,07...1,18 раза; для зміцнених стрілчастих лап під час експлуатації їх на супіщаних ґрунтах довговічність підвищується в 1,41...1,53 раза, на суглинках – в 1,48 раза та на глинистих ґрунтах – в 1,39...1,44 раза; для зміцнених лемешів під час експлуатації їх на супіщаних ґрунтах довговічність підвищується в 1,82...2,13 раза, на суглинках – в 1,5...1,85 раза та на глинистих ґрунтах – в 1,34...1,52 раза.

Установлено, що для ґрунтообробних машин неробочий період (машини знаходяться на зберіганні) протягом року становить приблизно 90%. Аграрні підприємства, які експлуатують сільськогосподарську техніку, здебільшого зберігають ґрунтообробні машини на відкритих майданчиках (71%), що сприяє інтенсифікації корозійних процесів, які найбільш інтенсивно протікають на поверхнях робочих органів ґрунтообробних машин, що піддавалися активному абразивному зношуванню через наявність дефектів кристалічної будови на поверхні тертя. Наявність слідів корозії на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин призводить до зменшення їх зносостійкості після відновлення експлуатації, а отже, і до зменшення довговічності. На основі проведених досліджень визначено оптимальні способи зберігання

грунтообробних машин у міжексплуатаційний період у різних ґрунтово-кліматичних зонах України, які дозволять суттєво сповільнити корозійні процеси на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин, що зі свого боку забезпечить істотне підвищення їхньої зносостійкості та довговічності.

Зміна вологості ґрунту та швидкості руху ґрунтообробного агрегату призводить не тільки до зміни інтенсивності зношування, а також до зміни характеру зношування робочих органів ґрунтообробних машин. У разі зростання вологості ґрунту його зношувальна здатність зростає до певної межі, яка характерна кожному типові ґрунту, після чого в зоні фрикційного контакту з'являється мастильний матеріал (вільна вода) і зношувальна здатність ґрунту починає зменшуватися. На пухких ґрунтах зміна вологості ґрунту не призводить до зміни характеру зношування. Більш суттєве зростання інтенсивності зношування в разі зростання швидкості руху ґрунтообробного агрегату спостерігається на ґрунтах, які мають більшу зношувальну здатність. Слід зауважити, що для робочих органів, виготовлених із високоякісних сталей (Hardox 500 та 28MnB5), спостерігається менший ріст інтенсивності зношування при збільшенні швидкості руху ґрунтообробного агрегату, порівняно з робочими органами, виготовленими зі сталі 65Г.

Визначені закономірності впливу ґрунтово-кліматичних умов, режимів експлуатації та способів зберігання на довговічність і зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин дозволили розробити науково обґрунтовану систему експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин.

### Висновки

Сформульовано основні принципи підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин на основі комплексного підходу адаптації їх зносостійкості з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов і режимів експлуатації, які дозволяють підвищити довговічність робочих органів ґрунтообробних машин в 1,84...2,51 рази залежно від типу робочих органів та ґрунтово-кліматичних умов.

**Борак Костянтин Вікторович** — доктор технічних наук, доцент, заступник директора з навчальної роботи, Житомирський агротехнічний коледж, e-mail: koss1983@meta.ua

**Венглівський Ілля Ігорович** — здобувач освіти за спеціальністю 208 «Агроінженерія», Поліський національний університет, м. Житомир.

**Свінцицький Владислав Віталійович** — здобувач освіти за спеціальністю 208 «Агроінженерія», Поліський національний університет, м. Житомир.

### *Increasing the durability and wear resistance of tillage machines' working bodies*

#### *Abstracts.*

*The basic principles of increasing the durability of tillage machines working bodies on the basis of an integrated approach to adaptation of their wear resistance taking into account soil and climatic conditions and operating modes are formulated*

**Keywords:** soil, tillage machine, durability, wear resistance, reliability, integrated approach, plowshare, arrowhead, disk working body.

**Borak Kostiantyn V.** — Doctor of Science (in Agricultural Engineering), Associate Professor, Deputy Director for Academic Affairs, Zhytomyr Agricultural College, e-mail: koss1983@meta.ua

**Venglivskiy Illia I.** — student majoring in 208 "Agroengineering", Polissia National University, Zhytomyr.

**Svintsitskiy Vladyslav V.** — student in specialty 208 "Agroengineering", Polissia National University, Zhytomyr.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ ОБРОБЛЮВАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ДЕФОРМУЮЧОМУ ПРОТЯГУВАННІ

Вінницький національний аграрний університет

### *Анотація*

*Вперше досліджено механіку руйнування стружки при зрізуванні припуску попередньо подільного технологічними канавками, і показано зв'язок між профілем та глибиною останніх і характеристиками напружено деформований стан в зоні стружкоутворення (відносним зсувом, усадкою стружки, кутом зсуву, переднім кутом, контактними процесами на передній поверхні).*

**Ключові слова:** метал, деформаційне зміцнення, протягування, оброблювальна поверхня

### **Вступ**

Численні дослідження і практика протягування матеріалів показали, що характеристики процесів, які відбуваються на поверхні контакту інструменту і заготовки, властивості матеріалів інструменту і заготовки, а також технологічне середовище мають значний вплив на процес стружкоутворення і працездатність протяжного інструменту. Поява генеративних методів "конфігурування" інструментальних поверхонь, зокрема вакуумно-плазмового нанесення покриттів, створила нові можливості для вивчення цих взаємозв'язків і закономірностей [1-3].

### **Результати дослідження**

Напружено-деформований стан зони стружкоутворення заготовки при різанні протягуванням повинен мати невелику різницю між максимальним і мінімальним значеннями дотичних напружень (в межах 15%...) при коливаннях допустимих умов. 30%), кут зсуву  $F = 25^\circ \dots 35^\circ$ , коефіцієнт усадки стружки по довжині і  $thickness \xi = 2,2 \dots 3,2$ , ширина її дещо збільшується (до 2%), а сама зона звужується до розмірів, які можна без суттєвих похибок апроксимувати площиною [1-2].

Методика базується на результатах одного повного випробування на стійкість для найбільш несприятливих умов протягування, яке використовується для побудови однієї повної типової кривої часу зношування і визначення критеріїв затуплення для даного оброблюваного матеріалу. Стійкість секції інструменту при інших умовах обробки визначається за результатами короточасних неповних експериментів, коли відома тільки спрямованість типової кривої.

Внутрішнє протягування, особливо протягування круглих глибоких отворів, обов'язково повинно здійснюватися в умовах примусового відділення і відведення стружки. В цьому випадку так зване бічне відділення стружки, тобто відділення навколо отвору, зазвичай досягається за рахунок конструктивних елементів в зубцях протяжки і не є особливо складною проблемою на сьогоднішній день. Однак, в цій області все ще є місце для вдосконалення, особливо з точки зору терміну служби інструменту.

Для дослідження явищ, що відбуваються в зоні контакту інструменту і заготовки, наросту і пружно-пластичної (стружкоутворюючої) області, був застосований метод, при якому процес миттєво зупинявся і фіксувався за допомогою пристрою "крапельний різець". Цей метод, як відомо, дає найбільш повну інформацію про ці явища. Отримані таким чином "корені" стружки фіксували в трубчастих затискачах за допомогою епоксидної смоли і готували до дослідження, використовуючи відомі технології виготовлення металографічних шліфів. Потім коріння стружки досліджували за допомогою мікротвердості та графічного аналізу текстури [1-2].



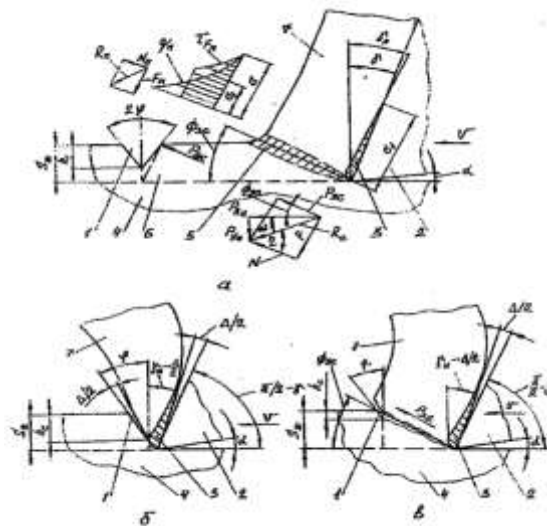


Рис. 1. Модель механіки процесу руйнування стружки за допомогою стружкоподільчої канавки, сформованої на припуску заготовки, при вільному ортогональному різанні з низькими швидкостями при товщинах зрізу, що перевищують глибину канавки ( $S_z \geq h_c$ ): а – процес стаціонарного різання, коли межа зони стружкоутворення ще не досягла канавки; б – процес руйнування стружки для випадку, коли  $S_z \leq h_c$ ; в – процес руйнування стружки, коли  $S_z \gg h_c$ . 1 – стружкоподільча канавка; 2 – різальний клин; 3 – тіло наросту; 4 – оброщований матеріал; 5 – зона зсуву (стружкоутворення); 6 – припуск; 7 – стружка.

#### Висновки

Дослідження показали, що деформаційне зміцнення має значний вплив на процес стружкоутворення, який в основному полягає у зниженні міцності наросту.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Posviatenko E., Posviatenko N., Budyak R., Shvets L., Paladiichuk Y., Aksom P., Rybak I., Sabadach B., Hryhorychen V. Influence of a material the technological factors on improvement of operating properties of machine parts by reliefs and film coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5/12 (95). P. 48-56. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.142924. (Scopus).
2. Паладійчук Ю. Б., Кордонський В.А. Обґрунтування механіки руйнування стружки при протягуванні циліндричних поверхонь з припуском. *Вібрації в техніці та технології*. 2020. № 4 (99). С. 73-84. DOI: 10.37128/2306-8744-2020-4-9

**Паладійчук Юрій Богданович** - канд. техн. наук, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, e-mail: [rewet@vsau.vin.ua](mailto:rewet@vsau.vin.ua)

#### *Study of the deformation strengthening of the working surface during deforming drawn*

##### **Abstract**

*For the first time, the mechanics of chip destruction during cutting of an allowance previously divided by technological grooves was investigated, and the relationship between the profile and the depth of the latter and the characteristics of the stress-deformed state in the chip formation zone (relative shear, chip shrinkage, shear angle, front angle, contact processes on the front surface) was shown.*

**Key words:** metal, strain hardening, drawing, machined surface

**Paladiychuk Yuriy B.** - candidate. technical of Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering and Technical Service, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnitsa, e-mail: [rewet@vsau.vin.ua](mailto:rewet@vsau.vin.ua)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

<sup>1</sup>Державний біотехнологічний університет

### Анотація

*Збереження геометричних параметрів робочих органів спрямоване на підвищення врожайності сільськогосподарських культур та зниження тягового опору агрегату. Для вибору оптимального способу зміцнення робочих органів необхідно визначити вплив різних факторів на процес їх зношування, а також обґрунтувати необхідність підвищення їх зносостійкості.*

**Ключові слова:** абразивне зношування; зміцнення; леміш плуга; наплавлення; зносостійкість

Найбільш навантаженими поверхнями ґрунтообробних машин та агрегатів є їх робочі органи. У культиватора - лапи, у плуга – леміші, у борін - диски чи зуби тощо. Причиною їх передчасної відмови є прискорене абразивне зношування, зумовлене взаємодією з твердими частинками, які є у ґрунті. При цьому відбувається багаторазове пластичне деформування металу, що призводить до його втомного руйнування. Основними факторами такого зношування є навантаження, гострота виступів та розмір абразивних частинок, співвідношення твердості зношуваного матеріалу та абразиву.

У зв'язку з нерівномірністю зносу ріжучих кромek та інших поверхонь робочих органів ґрунтообробних машин з'являється необхідність їх відновлення та зміцнення. Необхідність підвищення зносостійкості ґрунторізальних органів викликана специфічними умовами їх експлуатації та порушенням технологічних норм при виготовленні. Це призводить до величезних масштабів випуску та незначного ресурсу. Заходи щодо зміцнення таких деталей здійснюють як на стадії виробництва, так і в період експлуатації.

Способи відновлення спрямовані, в першу чергу, на продовження міжремонтного напрацювання сільськогосподарських машин і на максимальне використання ресурсу їх складових. Для виявлення закономірностей зношування робочих елементів машин, вибору найбільш оптимального наплавлюваного матеріалу та способу його нанесення на основний метал, а також для визначення ефективності пропонованої технології крім теоретичної роботи необхідно зробити безліч досліджень практичного характеру.

На початкових етапах необхідно визначити закономірності зношування робочих органів у конкретних умовах. Далі аналізують існуючі способи відновлення та зміцнення робочих органів сільськогосподарської техніки з метою виявлення основних переваг та недоліків застосовуваних технологій. Вибравши матеріал та технологію його нанесення на поверхню робочого органу, проводять теоретичне обґрунтування напруг, що виникають між основним і наплавлюваним матеріалами, і досліджують міцність їх з'єднання [1].

В результаті таких досліджень розробляють оптимальний технологічний процес відновлення та зміцнення ґрунтообробних органів. Потім проводять стендові та експлуатаційні випробування зміцнених за розробленою технологією елементів. За результатом виконаної роботи та проведених експериментів дають економічну оцінку та обґрунтовують ефективність розробленої технології.

Щоб отримати зміцнену поверхню з оптимальними параметрами, важливо достовірно визначити найбільш уразливі до зношування ділянки робочих органів сільськогосподарських знарядь. Для того щоб визначитися з вибором менш зносостійких ділянок робочих органів, необхідно провести аналіз закономірностей процесів їх зношування та зробити оцінку впливу процесів всіляких чинників. Відновлення, або зміцнення поверхонь, що найбільш зношуються, дозволить досягти рівномірного зносу робочого органу загалом, що, зрештою, забезпечить

повноцінне використання його ресурсу.

Зменшення інтенсивності абразивного зношування робочих органів в основному досягають шляхом підвищення твердості їх поверхонь, що контактують з ґрунтом. Зазвичай робочі органи ґрунтообробних машин виготовляють із середньо- та високовуглецевих сталей, твердість яких у загартованому стані становить HRC 55-60 (6,0-8,0 ГПа). Відомо, що ґрунти в залежності від типу (глинисті, суглинні, супіщані, піщані) містять від 36 до 78% абразивних фракцій – польового шпату, граніту, кварцу. Їх твердість складає 7,2-11,0 ГПа, отже, твердість поверхонь робочих органів, що серійно виготовляються, є недостатньою для забезпечення їх високої зносостійкості.

Як зазначалося раніше, до основних факторів, що впливають на інтенсивність і характер зношування ґрунтообробних знарядь, відносяться: структура, склад і тип ґрунту; твердість поверхні робочого органу, та інші зусилля, що діють на неї.

Численними випробуваннями встановлено, що ресурс серійної культиваторної лапи фірми «Велес Агро» м. Одеса, в залежності від типу ґрунту ви коливається від 14га (піщані ґрунти з кам'янистими) включеннями) до 30-40 га (глинисті ґрунти та важкий суглинок). Це говорить про те, що ступінь потреби збільшення зносостійкості робочих органів залежно від ґрунтово-кліматичних умов не однаковий.

Тип ґрунту, безумовно, впливає на інтенсивність зношування як серійних знарядь, так і ґрунтообробних машин зі зміцненими та відновленими робочими органами [2].

На інтенсивність та характер зношування робочих органів також впливає і вологість ґрунту.

Наприклад, при збільшенні вологості ґрунту зменшується його тиск на лезо леміша, інтенсивність зношування несучого шару значно перевищує інтенсивність зношування ріжучого шару і відбувається «перезаточування». На сухих ґрунтах відбувається затуплення леза.

Отже, наплавлені з тильного боку робочі органи придатні для роботи тільки на ґрунтах середньої вологості. На твердих ґрунтах вони швидко затуплюються, а на ґрунтах підвищеної вологості оголюється і обламається наплавлений шар, що призводить до прискореного зношування робочого органу та нераціональної витрати твердосплавного матеріалу.

При зміцненні робочих органів велике значення має не тільки твердість зносостійкого матеріалу, а й розташування місця його нанесення. Наприклад, за результатами багатьох експериментальних даних відомо, що на піщаних і супіщаних ґрунтах зміцнення носка культиваторної лапи з тильної сторони малоефективне, це пояснюється інтенсивним зношуванням лицьової поверхні по товщині.

Знижується міцність лапи в носовій частині і відбувається оголення зміцнюючого шару, який при зіткненні з перешкодами руйнується. На каштанових, суглинистих і чорноземних ґрунтах лапи, наплавлені з тильної сторони, у процесі роботи отримують стабілізацію профілю леза (самозаточування). Процес самозаточування забезпечується тим, що інтенсивність зносу несучого і ріжучого шарів повинна бути постійною.

Зносостійкість таких робочих органів підвищується, проте обсяг випуску наплавлених лапи в останні роки не зростає. Це пояснюється низькими потужностями підприємств, що займаються зміцненням поверхонь, застосовувані процеси наплавлення досить трудомісткі у зв'язку з низьким ступенем механізації та автоматизації виробництва. Важливим фактором є дорожнеча легуючих матеріалів, що застосовуються для наплавлення.

Основними напрямками робіт з підвищення довговічності, культиваторних лап, до цих пір є наступні:

- термохімічна обробка леза лапи гарячим вальцюванням;
- зміцнення леза методами наплавлення твердих сплавів;
- розробка біметалічних матеріалів.

Найбільшого поширення набули методи наплавлення твердих сплавів, однак і вони не дозволяють істотно підвищити твердість робочих поверхонь, а, отже, і ресурс.

За результатами багаторічних спостережень, зокрема в умовах суглинистих чорноземів [3], вибракування наплавлених лап відбувається за наступними причинами:

- 50% з числа досліджуваних (123 шт.) вибраковано через затуплення леза;
- 24% – через знос долотоподібного носіння;
- 12% – із зазначених причин одночасно;
- 12% – вигин, або поломка долота.

Відзначено також, що за три десятиліття спостережень у всіх наплавлених культиваторних лап

в міру зростання напруження товщина леза безперервно зростала, а знос шириною був вкрай малий – у середньому величина зношування не перевищувала 3-4 мм або 15-20% ширини наплавленої ділянки. Подібна структура причин вибракування характерна і для інших типів ґрунтів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пулька Ч. В., Сенчишин В. С., Шарик М. В. Підвищення довговічності деталей ґрунтообробних сільськогосподарських машин з використанням різних методів наплавлення. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортних комплексів. 2018. С. 75–77.
2. Marani S. M., Shahgholi G., Moinfar A. Effect of nano coating materials on reduction of soil adhesion and external friction. Soil & tillage research. 2019. Tom 193. P. 42–43.
3. Lebedev A., Lebedev P., Zakharin A., Maryin N., Zhevora Y Improving the reliability and efficiency of tillage machines. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019 Vol. 403. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012059>.

**Рибалко Іван Миколайович** доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О.І. Сідашенка, факультету мехатроніки та інжинірингу, Державний біотехнологічний університет, Харків, e-mail: [irybalko.ua@gmail.com](mailto:irybalko.ua@gmail.com)

**Захаров Андрій Вадимович** аспірант II курсу кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О.І. Сідашенка, факультету мехатроніки та інжинірингу, Державний біотехнологічний університет, Харків, e-mail: [zakharovandrey1997@gmail.com](mailto:zakharovandrey1997@gmail.com)

## STUDY OF THE FEATURES OF THE OPERATIONAL WEAR OF THE WORKING BODIES OF THE SOIL PROCESSING MACHINERY

### *Abstract*

Preservation of the geometric parameters of the working bodies is aimed at increasing the yield of agricultural crops and reducing the traction resistance of the unit. In order to choose the optimal method of strengthening working organs, it is necessary to determine the influence of various factors on the process of their wear and tear, as well as justify the need to increase their wear resistance.

**Keywords:** abrasive wear; strengthening; ploughshare; surfacing; durability

**Rybalko Ivan**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Service Engineering and Materials Technology in Mechanical Engineering named after O. Sidashenko, Faculty of Mechatronics and Engineering, State Biotechnological University, Kharkiv, e-mail: [irybalko.ua@gmail.com](mailto:irybalko.ua@gmail.com)

**Zakharov Andriy**, graduate student of the II course of the Department of Service Engineering and Materials Technology in Mechanical Engineering named after O. Sidashenko, Faculty of Mechatronics and Engineering, State Biotechnological University, Kharkiv, e-mail: [zakharovandrey1997@gmail.com](mailto:zakharovandrey1997@gmail.com)

## НОВІ ЕПОКСИКОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ АГРОТЕХНІКИ

Волинська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН України

### Анотація

*В роботі запропоновані варіанти практичного застосування розроблених епоксидних композиційних матеріалів з різним ступенем наповнення. Показано їх переваги у порівнянні з аналогами*

**Ключові слова:** структура, властивості, технології отримання, ступінь наповнення, епоксидний композит

Широкий спектр використання епоксидних композиційних матеріалів (ЕКМ) в техніці є вагомим показником їх ефективності. Не менш значимим та поширеним у світовій практиці є застосування епоксидних композитів для підвищення зносо- та корозійної стійкості робочих органів та конструктивних елементів сільськогосподарської техніки. Це захисті покриття різного функціонального призначення, конструктивні елементи, підшипники ковзання, втулки тощо [1, 2]. При цьому актуальним є класифікаційний поділ епоксидних композитів на мало-, середньо- та високонаповнені композиційні системи [3].

Для досягнення потрібних фізико-механічних, адгезійних та експлуатаційних характеристик при розробці матеріалів застосовували епоксидно-діанову смолу ЕД-20, низько- та високотемпературні твердники, а також різнофункціональні модифікатори-добавки. Як наповнювачі використовували порошкові матеріали феро-, пара- та діамагнітної природи. Окрім структурної модифікації, композиції обробляли фізичними полями [4].

Методом математичного планування експерименту отримано оптимізовані склади ЕКМ з різним ступенем полідисперсного наповнення.

При формуванні малонаповнених систем (покриття) показано, що введення у полімер феро- та парамагнітних штучних зародків структуроутворення при одночасному накладанні магнітного поля, в порівнянні з діамагнетиками, дозволяє значно підвищити адгезійні характеристики матеріалів. При вивченні характеру руйнування зразків клейових композицій оптимальний когезійний розрив спостерігається при використанні феромагнітних і, у деяких випадках, парамагнітних наповнювачів. Показано, що даний ефект досягається за рахунок впливу на композит магнітного поля, яке спричиняє орієнтацію намагнічених часток вздовж силових ліній магнітного поля. Дані частинки є центрами сферолітів, що ростуть, і своїм впорядкованим розміщенням призводять до виникнення структурної і механічної анізотропії наповненої системи [2, 4]. Присутність штучно сформованих зародків створює умови для формування надмолекулярних структур та забезпечує досягнення потрібного комплексу механічних та теплофізичних властивостей і високої корозійної стійкості. При цьому використання парамагнетиків призводить до найбільш суттєвого зменшення термічного коефіцієнту лінійного розширення та внутрішніх напружень в покриттях, особливо на границі розділу фаз.

Важливим фактором забезпечення необхідних функціональних характеристик покриттів є оптимальна технологія їх отримання. Нами запропоновано способи одержання одно-, дво- та багатошарових епоксидних композиційних покриттів, а також модифікованих та багатофункціональних покриттів [5].

Результати проведених досліджень також показали ефективність взаємодії розроблених полімерних зв'язуючих з базальтовими наповнювачами (середньонаповнені системи), що дозволило створити нові теплоізоляційні матеріали [3, 5].

Одним із напрямків застосування розроблених ЕКМ є вузли тертя ковзання (середньо- та високонаповнені системи) [6, 7]. Розроблені матеріали характеризуються техніко-економічними перевагами: в 9-12 раз вища зносостійкість композиту за рахунок раціонального введення

модифікатора і функціональних наповнювачів при оптимальному їх співвідношенні, а також інтенсивнішого режиму термічної обробки; можливість експлуатації розробленого матеріалу трибовиробів при жорсткіших навантажувально-швидкісних режимах роботи ( $P = 1,4\text{МПа}$ ;  $v \leq 2,5\text{ м/с}$ ); вища технологічність композиції та краща змочуваність часток наповнювачів полімерним в'язучим при формуванні через введення в систему модифікатора з низькою в'язкістю.

Таким чином, на основі проведених системних досліджень розроблено та захищено патентами України нові ЕКМ з високими фізико-механічними характеристиками, зносо- і корозійною стійкістю та технології їх отримання і нанесення як захисних покриттів на робочі поверхні сільськогосподарської техніки, а також для використання в трибовузлах.

В перспективі актуальним є системний аналіз довговічності та стабільності функціональних властивостей розроблених ЕКМ-систем.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савчук П.П. Фрикційні полімеркомпозити з комплексом керованих властивостей: Монографія / П.П. Савчук, В.П. Кашицький, Л.А. Савчук, О.М. Люшук. – Луцьк: Іванюк В.П., 2022. – 136 с.

2. Букетов А.В. Закономірності впливу обробки енергетичними полями зв'язуючого і наповнювачів на властивості епоксикомпозитних матеріалів для захисних покриттів: дис... д-ра техн. наук: 05.02.01 – Тернопіль: ТДТУ, 2007. – 337 с.

3. Савчук П.П. Наукові і технологічні основи створення та керованого функціонування епоксидних композитів з різним ступенем наповнення: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.02.01 / П.П. Савчук – Київ: ПІМ, 2010. – 40 с.

4. Савчук П.П. Інтенсифікація процесів структурування епоксикомпозитів: монографія / П.П. Савчук, В.П. Кашицький, І.В. Боярська, Д.М. Матрунчик. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2021. – 160 с.

5. Савчук П.П. Технології отримання і особливості застосування у промисловості епоксидних композитів з різним ступенем наповнення / П.П. Савчук, А.Г. Косторнов // Наукові нотатки Луцького національного технічного університету: міжвузівський збірник. Випуск 31. – Луцьк, 2011. – С. 323–332.

6. Пат. 72410 А Україна, МПК<sup>6</sup> C08K3/00, F16C 33/00. Антифрикційний полімеркомпозиційний матеріал / Савчук П.П., Кашицький В.П.; заявник і патентовласник Луцький державний технічний ун-т. – № 20031212973 ; заявл. 30.12.03 ; опубл. 15.02.05, Бюл. № 2.

7. Савчук П.П. Формування самоорганізованих структур в процесі фрикційної взаємодії трибопари епоксикомпозит-сталь: монографія / П.П. Савчук, В.П. Кашицький, О.Л. Садова. – Луцьк: Вежа-Друк, 2017. – 172 с.

*Савчук Петро Петрович, доктор технічних наук, професор, директор, Волинська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту сільського господарства Карпатського регіону Національної академії аграрних наук України, смт. Рокині, [savchuk71@gmail.com](mailto:savchuk71@gmail.com)*

## NEW EPOXY COMPOSITE MATERIALS FOR IMPROVING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF AGRICULTURAL EQUIPMENT

### Abstract

*The approaches for practical application of the developed variants of epoxy composites with different content. Shown their advantages in comparison with analogues*

**Keywords:** structure, properties, technology acquisition, degree of filling, epoxy composites

*Savchuk Petro Petrovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director, Volyn State Agricultural Research Station of the Institute of Agriculture of the Carpathian Region of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, village Rokini, [savchuk71@gmail.com](mailto:savchuk71@gmail.com)*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ВУГЛЕЦЕВОЇ ТКАНИНИ З НАПЛАВНИМ ДРОТОМ Нп-30ХГСА

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

### *Анотація*

*У роботі проводилось вивчення процесів змочування вуглецевої тканини УУТ-2 металевим розплавом наплавочного дроту Нп-30ХГСА. Були визначені крайові кути та енергетичні параметри змочування (міжфазний натяг та робота адгезії).*

**Ключові слова:** вуглецева тканина, наплавний дріт, змочування, високовуглецеві покриття.

Використання під час наплавлення дроту Нп-30ХГСА та вуглецевої тканини УУТ-2 дозволило отримати високовуглецеві, зносостійкі покриття [1,2]. Вивчення змочування вуглецевої тканини металевим розплавом наплавочного дроту Нп-30ХГСА проводилось методом «лежачої краплі» у вакуумі. За допомогою даного методу були визначені енергетичні параметри змочування (міжфазний натяг та роботу адгезії). Установка, на якій виконували дослідження кінетики змочування, зображена на рис. 1. Контроль температури в камері виконували за допомогою вольфрам – ранієвої термопари ВР 5/20 та мікропірометра ОМП-043М. Кінетика змочування досліджувалась в вакуумі 1,3 МПа.



Рисунок 1 - Установка для дослідження змочування

На кусочок вуглецевої тканини марки УУТ-2, яку розміщували на лундовій підкладці, клали кусочок наплавочного дроту Нп-30ХГСА і поміщали їх в піч. Потім проводили процес нагрівання. За допомогою фотокамери фіксувався процес розтікання розплавленого дроту по поверхню вуглецевої тканини та визначалися контактні кути змочування.

Крайові кути змочування краплі розплавленого дроту Нп-30ХГСА на вуглецевій тканині були більші за 90°, тобто змочування вуглецевої тканини не відбувалося. Після охолодження сила зчеплення краплі із тканиною була незадовільною. В місці контакту краплі із тканиною вона втратила конструкційні властивості, а із тканини посипались ворсинки. Це пояснюється

тим що, крапля просочилася через тканину і далі внаслідок подальших реакцій конструкційні властивості тканини змінилися і вона "відірвалася" по периметру краплі.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савуляк В. І. Наплавлення високовуглецевих покриттів з використанням вуглецевих волокон / В. І. Савуляк, С. А. Заболотний, В. Й. Шенфельд // Проблеми трибології. – 2010. – №1. – С. 66 – 70.

2. Шенфельд В. Й. Наплавлення на сталеві деталі зносостійких високовуглецевих покриттів / В. Й. Шенфельд // Зварювання та спорідненні процеси: матеріали V всеукраїнської науково – технічної конференції молодих учених та спеціалістів. – Київ, 2009. – С. 122.

**Шенфельд Валерій Йосипович** — канд. техн. наук, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [leravntu@gmail.com](mailto:leravntu@gmail.com)

**Савуляк Валерій Іванович** – д.т.н., проф., професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [korsav84@gmail.com](mailto:korsav84@gmail.com)

**Вертії Валентин Ігорович** – студент групи ЗВ-226, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [vertijv7@gmail.com](mailto:vertijv7@gmail.com)

#### *Requirements for interaction of carbon fabric with flushing drot Hn-30XГСА*

##### *Abstract*

*At the robot, the processes of wetting the УУТ-2 carbon fabric with the metal melting of the Hn-30XГСА surfacing trowel were carried out. The boundary conditions and energy parameters of wetting were determined (interphase tightness and adhesion work).*

**Keywords:** coal-tar cloth, floating dry, wetting, high-carbon coating.

**Shenfeld Valeriy** - Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [leravntu@gmail.com](mailto:leravntu@gmail.com)

**Savulyak Valery** – d. oft.s, prof., Department of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [korsav84@gmail.com](mailto:korsav84@gmail.com)

**Vertii Valentyn** - student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, majoring in "Materials Science", Vinnytsia National Technical University e-mail: [vertijv7@gmail.com](mailto:vertijv7@gmail.com)



## ANALYSIS OF SOME DAMAGES OF CLAMP-FORMING MACHINE BOOM CARRIAGE

<sup>1</sup>Centre for Corrosion Research of Autonomous University of Campeche  
<sup>2</sup>Vinnitsia National Technical University

**Abstract.** The task of assessing the durability of the elements of the boom section of the clamp-forming machine, made from a 45×45×5 mm angle is considered. This object is modeled by a plate with a crack. Analytical relations are given and the stress intensity coefficients and their rate of change near potentially possible crack-like defects are investigated. The criterion crack lengths are determined based on the results of experimental studies.

**Keywords:** clamp-forming machine, boom carriage, fatigue crack, durability.

Reliable and safe operation of various equipment is an urgent problem. Planned operation resource of the equipment is exhausted and in recent years there appear more and more damages of various nature. As it is known, the design of structural elements for their functioning in the present conditions of operation loads is performed on the basis of continuum mechanics approach. However, each structural element always possesses certain imperfections. Formed both at the stage of its manufacture and at the stage of further functioning. In this connection, to provide reliable and trouble-free operation of the equipment, quantitative approaches to assessment of the degree of the danger at the detected crack like defects are necessary. [1]

Also, methods of express-analysis are needed, these methods, proceeding from the data of non-destructive control or information, regarding the state of the studied surface of the material, will be able to evaluate the particular defects and residual resource of structural element or structure in general. [1]

In [1] the analysis aimed at determination of corrosion-cyclic crack resistance of profile steel (steel 3) of 45×45×5 mm angle of operated clamp-forming machine БУМ-65М2Б3-К type frame has been carried out. However, the results of the research do not give a clear answer regarding further evaluation or durability of this construction element. For such assessment the given paper contains analytical relations for stress intensity factor (SIF)  $K_I$  and their change rate  $dK_I/da$  near  $a$  size crack tip in the plate used for modeling of the investigated clamp-forming machine (fig. 1). Along with this, on the basis of experimental research, presented in [2] critical values of crack depth were determined with quarterelliptical corner crack.

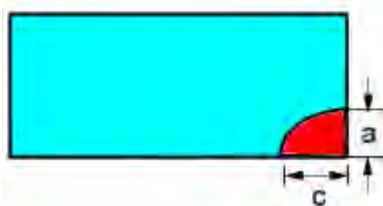


Fig. 1. Quarterelliptical corner crack:  
 $a$  – length of the crack;  $c$  – its width

$$K_{Ia} = K_{\phi} \quad (\phi = \pi/2); \text{ where } K_{\phi} \text{ is function of } a.$$

It should be noted that the crack is set by various ellipse like figures, by changing the relation of ellipse axes of crack like defect of different geometry.

In the research corresponding dimensions less dependences for the considered cases form and location on the basis of the given analytical relations

and constructed:  $\frac{\sqrt{t}}{\sigma} \frac{dK_I}{da} = F\left(\frac{a}{t}\right)$ , where  $t$  – size of

structural element in the direction of crack propagation;  $\sigma$  – applied load,.

That is why, in further study of the result of research, we will introduce variable parameter  $(a/t)^*$  that characterizes the effective size of the defect.

It should be noted that characteristic feature of these dependences is that certain value of the parameter  $(a/t)^*$ , is always observed on them, starting from this value sharp increase of stress intensity coefficient  $K_I$  change rate takes place. This value  $(a/t)^*$  was considered as characteristic one for assessment of the strength and reliability of structural elements with crack like defects.

For determination of the characteristic values of the crack length in the studies of structural elements experimental base and analytical relation, described by Paris power dependence, was used  $\frac{dc}{dN} = C(\Delta K)^n$ , where  $C$  and  $n$  – constant characterizing system "material-environment" (table 1).

Table 1. Constants of "material - environment" and the criterion values of SIF

System "material-environment"	Constants of system "material-environment"		$\Delta K_{th}$	$\Delta K_{fc}$
	$C$	$n$		
Exploited				
Air $R = 0.1$	2.50E-13	3.87	4.703	28.026
Air $R = 0.6$	1.28E-11	2.76	2.106	25.729
Corrosion $R = 0.6$	1.42E-10	1.88	0.83	32.714
Air $R = 0.75$	1.99E-13	4.85	3.605	14.979
Corrosion $R = 0.75$	4.71E-11	3.14	1.271	11.47

Values  $\Delta K_{th}$  and  $\Delta K_{fc}$  given in the Table 1 were the base for determination of the characteristic values  $a_{th}$  and  $a_{fc}$  correspondingly. Along with these values obtained on the base of experimental data processing, values of  $a^*$  were calculated using the technique [8] that corresponds to characteristics value  $(a/t)^*$ . Also, its should be noted that in the investigated angle of clamp-forming machine frame 45×45×5 mm it was taken into consideration is the parameter of 5 mm angle, all further calculations are given for this case, when the crack propagates perpendicularly to the main axis of this parameter.

Assessments of the durability of the investigated element of the construction with potentially possible crack like defects of various forms and geometry is performed on the base of the relations:

$N_{fc} = \int_{a_{th}}^{a_{fc}} \frac{da}{F(\Delta K_1)}$  and  $N_* = \int_{a_{th}}^{a^*} \frac{da}{F(\Delta K_1)}$ , where  $N_{fc}$  – number of load cycles prior to destruction of structural elements;  $N_*$ , is calculated during this period crack like defects achieves characteristic size  $a^*$  starting from which the rate of SIF  $K_1$  change rapidly increase.

mm are given in Table 2.

Table 2. Data for calculating of the durability of clamp-forming machineframe angle

	System "material - environment"	$a_{th}$ , mm	$a^*$ , mm	$a_{fc}$ , mm	$N^*$ , loadcycles	$N_{fc}$ , loadcycles
Model № 5 ( $a/c=0.1$ )	Air $R = 0.1$	0.33	2.18112	2.9	2.55968E+9	2.58262E+9
	Air $R = 0.6$	0.06		2.76	1.32074E+9	1.33582E+9
	Corrosion $R = 0.6$	0.01		3.14	6.31235E+8	6.5642E+8
	Air $R = 0.75$	0.2		1.87	1.2519E+9	1.25295E+9
	Corrosion $R = 0.75$	0.02		1.42	4.53023E+8	4.53771E+8
Model № 5 ( $a/c=0.4$ )	Air $R = 0.1$	0.44	1.89196	4.79	3.16376E+9	3.40914E+9
	Air $R = 0.6$	0.08		4.44	1.6599E+9	1.75638E+9
	Corrosion $R = 0.6$	0.01		4.99	8.17629E+8	9.16876E+8
	Air $R = 0.75$	0.26		2.66	1.64067E+9	1.66308E+9
	Corrosion $R = 0.75$	0.03		1.95	5.36172E+8	5.44873E+8

From the results, obtained in the table, its seen that corrosion environment greeten influences the durability of the investigated structural element.

On the basis of experimental research criterial value of SIF for the steel 3, used for manufacturing of clamp-forming machine frame angle 45×45×5 mm is determined. Applying analytical relations for SIF characteristics value of crack like defects length, that may take place in the considered frame construction are calculated. Engineering calculations for assessment of the given object durability are suggested and presented with modelled crack like defects on the base of load cycles number.

#### REFERENCES

- Polishchuk, L. Life time assessment of clamp-forming machine boom durability [Text] / L. Polishchuk, O. Bilyy, Y. Kharchenko // Diagnostyka. –2015. – Vol. 16, Issue 4. – P. 71–76.
- Dmytrakh, I. M. Fracture Mechanics and strength of materials Reference manual. Vol. 13: Workability of materials and structural elements with sharp-tipped stress concentraators. / I. M. Dmytrakh, L. Tot, O. L. Bilyi; V. V. Panasiuk (Ed.). – Spolom Publ., 2012. – 316 p.

**Bilyy Orest, PhD. Techn. Sc., Research Professor., Centre for Corrosion Research of Autonomous University of Campeche, Campeche, Mexico, e-mail: [orebilyv@uacam.mx](mailto:orebilyv@uacam.mx).**

**Polishchuk Leonid, Doctor of Technology, Professor, Head of Department of Industrial Engineering of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: [leo.polishuk@gmail.com](mailto:leo.polishuk@gmail.com).**

**Luis Roman Dzib-Perez, PhD. Chem. Sc., Research Professor., Centre for Corrosion Research of Autonomous University of Campeche, Campeche, Mexico, e-mail: [luidzib@uacam.mx](mailto:luidzib@uacam.mx).**

## АНАЛІЗ ДЕЯКИХ ПОШКОДЖЕНЬ СТРІЛИ БУРТОУКЛАДНИКА

**Анотація.** Розглянуто задачу оцінки міцності елементів стріли буртоукладника, виготовлених з кутника 45×45×5 мм. Цей об'єкт моделювався за допомогою пластини з тріщиною. Наведено аналітичні співвідношення та досліджено коефіцієнти інтенсивності напружень та швидкість їх зміни поблизу потенційно можливих тріщиноподібних дефектів. За результатами експериментальних досліджень визначено критеріальні довжини тріщин.

**Ключові слова:** буртоукладник, стріла буртоукладника, втомна тріщина, довговічність.

**Білий Орест**, канд. техн. наук, Професор Дослідник, Центр дослідження корозії, Автономний Університет Кампече, Кампече, Мексика, e-mail: [orebilvy@uacam.mx](mailto:orebilvy@uacam.mx).

**Поліщук Леонід**, доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри галузевого машинобудування, Вінницький Національний Технічний Університет, Вінниця, Україна, e-mail: [leo.polishuk@gmail.com](mailto:leo.polishuk@gmail.com).

**Дзіб-Перес Луїс Роман**, канд. хім. наук, Професор Дослідник, Центр дослідження корозії, Автономний Університет Кампече, Кампече, Мексика, e-mail: [luidzib@uacam.mx](mailto:luidzib@uacam.mx).

Полункін Є. В.<sup>1</sup>  
Рудь О. Д.<sup>1</sup>  
Янченко О. Б.<sup>1</sup>

## РОЗРОБКА НОВИХ ЛЕГУЮЧИХ ТА МОДИФІКУЮЧИХ ПРИСАДОК У СПЛАВИ МЕТАЛІВ, ЩО МІСТЯТЬ ВУГЛЕЦЕВІ НАНОСФЕРИ З ЕНДОЕДРАЛЬНИМИ АТОМАМИ МЕТАЛІВ

Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В. П. Кухаря НАН України  
Інститут фізики металів ім. Г. В. Курдюмова НАН України  
Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Проведенні дослідження по розробці комплексних модифікуючих присадок у сплави металів, що містять вуглецеві наносфери з ендоедральними атомами металів.*

**Ключові слова:** фулерени, ферохром, модифікуючі присадки з ендоедральними атомами металів.

В даний час наукова база знань про форми графіту (вуглецю) у розплавах високовуглецевих сплавів значно розширилася. Нами розглянута наукова задача взаємодії вуглецевими наночастинками на основі фулеренів, дослідження по впливу на структуроутворення високовуглецевих сплавів.

Враховуючи що однією з властивостей фулеренів, яке кардинально змінює погляди на структуру розплаву, є наявність фізичної поверхні розділу фулерен – розплав з усіма термодинамічними параметрами, властиві фазовим поверхням розділу. Це відкриває можливості пояснення цілого ряду явищ під час модифікування та кристалізації розплавів високовуглецевих сплавів.

Фулерени та вуглецеві наносфери з ендоедральними атомами металів відносяться до так званих фрактальних кластерів, як одиничних наноструктурних елементів, що формують структурну фрактальну основу розплавів. В даний час утворення фрактальних кластерів виявлено практично у всіх рідких металів, а також у чавунах та сталях. Рушійною силою утворення фрактальних дисипативних структур, що самоорганізуються, є прагнення системи до зниження вільної енергії.

Досліджено структуру та хімічний склад вуглецевих наносфер, модифікованих кисневмісними групами, бромом та хлором, синтезованих методом високовольтної високочастотної електророзрядної обробки пропан-бутанової газової суміші. Вперше за допомогою електронної мікроскопії та рентгеноструктурного аналізу встановлена будова наночасток, а коливально-електронні властивості вивчено методами раманівської спектроскопії [1].

Типові електронні зображення УНС представлені на рис.1. Отримані вуглецеві наноматеріали є сфероїдальні наночастки розміром  $\sim 10 \dots 20$  нм, що мають складну ієрархічну структуру. Окремі частинки складаються з багат шарових, частково закритих дефектів графенових оболонок неправильної форми з міжплощинною відстанню  $\sim 0,34 \dots 0,38$  нм (міжплощинна відстань графіту становить 0,3354 нм). У середині частки знаходиться невпорядковане ядро. Окремі частинки збираються в агломерати.

Нерозчинні модифікуючі добавки мають свої особливості, які дозволяють оцінювати їх вплив на процеси структуроутворення у сплавах під час їх кристалізації.

Так, наприклад, введення та розплав тугоплавких частинок можна розглядати як центри кристалізації, це відбувається, якщо на поверхні виникає зародження кристалів первинної фази,

що залежить від властивостей частки та їх розміру, і важливим є їх взаємодія з розплавом. Ця сполука (частка-тверда фаза-розплав) є стійкою, коли вільна енергія системи зменшується.

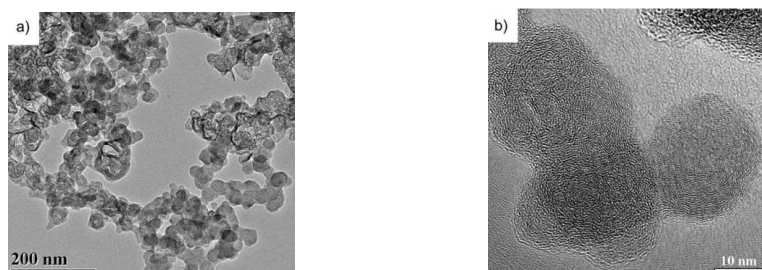


Рисунок 2. Типове ПЕМ-зображення вуглецевих наносфер

Величина оболонки металевої фази лежить на поверхні частки залежить від співвідношення термодинамічних властивостей модифікатора та розплаву, тобто, чим більше різниця між температурами плавлення модифікатора та металу розплаву, тим більша його ефективність. Також важливо враховувати електронну спорідненість модифікаторів та розплаву, тобто модифікаторам необхідно мати металевий тип провідності.

Подальше дослідження та розробка комплексних модифікуючих присадок у сплави металів, що містять вуглецеві наносфери з ендоедральними атомами металів на машинобудівних, чавуно-ливарних та сталеливарних підприємств дасть змогу отримати суттєвий економічний прибуток, оскільки підвищення надійності та довговічності виробів відповідального призначення є актуальним завданням, вирішення якого нерозривно пов'язане з економікою дефіцитних матеріалів та енергоресурсів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A. D. Rud, N. E. Kornienko, I. V. Polunkin, L. Z. Boguslavskii, D. V. Vinnichenko, I. M. Kirian, O. F. Kolomys, N. I. Kuskova. Structure of carbon nanospheres modified with oxygen-containing groups and halogens. Applied Nanoscience. 2023. <https://doi.org/10.1007/s13204-023-02817-2>.

**Рудь Александр Дмитриевич** – д.ф-м.н., завідувач відділу фізико-дисперсних систем, Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, e-mail: rud@imp.kiev.ua

**Полункін Євген Васильович** – кандидат хімічних наук, завідувач відділу гомогенного каталізу та присадок до нафтопродуктів Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В. П. Кухаря НАН України, e-mail: polunkin@i.ua

**Янченко Олександр Борисович** – канд. техн. наук, доц., кафедри ГМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: 1961yab@gmail.com

## DEVELOPMENT OF NEW ALLOYING AND MODIFYING ADDITIVES IN METAL ALLOYS CONTAINING CARBON NANOSPHERES WITH ENDOHEDRAL METAL ATOMS

### Abstract

*Conducting research on the development of complex modifying additives in metal alloys containing carbon nanospheres with endohedral metal atoms.*

**Key words:** fullerenes, ferrochrome, modifying additives, endohedral metal atoms

**Alexander D. Rud** – Doctor of Technical Sciences, Professor of Industrial Engineering., G. V. Kurdyumov Institute for Metal Physics of N.A.S. of Ukraine. email: rud@imp.kiev.ua

**Polunkin Yevhen** - Candidate of Chemical Sciences, Head of Department of Homogeneous Catalysis and Additives to Petroleum Products, V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry, NAS of Ukraine, e-mail: polunkin@i.ua.

**Yanchenko Alexander B.** – Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail 1961yab@gmail.com.

## Взаємодія робочих органів дорожніх машин з ґрунтом

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Метою даної роботи є аналіз факторів, які впливають на зношування деталей обладнання, що працює в умовах абразивного та ударно-абразивного зношування.*

**Ключові слова:** ґрунт, абразив, дорожнє полотно, твердість, структура металу.

### **Abstract**

*The purpose of this work is to analyze the factors that affect the wear of equipment parts operating under conditions of abrasive and shock-abrasive wear.*

**Keywords:** soil, abrasive, road surface, hardness, metal structure.

### **Вступ**

Довговічність робочих поверхонь деталей машин, які працюють в умовах дорожньо-будівельного виробництва, значно залежить від провідного виду зношування. Конкретні умови експлуатації визначаються видом робіт та властивостями ґрунту або інших матеріалів, які використовуються під час будівництва чи ремонту доріг. Характерними особливостями робочих процесів цих машин та механізмів є врзання їх робочих органів у ґрунт, щебінь або їх суміш та переміщення на певну відстань. При цьому необхідно створити профіль дорожнього полотна у відповідності до проекту із заданою точністю. Перевищення допусків на профіль дороги приводить до перевитрат матеріалів та погіршення якості виконаних робіт.

### **Результати дослідження**

Процес врзання робочих органів дорожніх машин в ґрунт, пісок, щебінь або їх суміш та стабільне зрізання надлишкового шару супроводжується виникненням сил опору, тертя, які характеризуються нестабільністю. На відміну від ґрунтообробних машин сільськогосподарського призначення, що рихлять ґрунт на певну глибину, дорожні машини повинні забезпечити потрібний профіль дорожнього полотна не зважаючи на товщину шару ґрунту, який має бути видалений. Такий режим роботи машин викликає нестабільність навантажень на приводи, появу відхилень в просторовій орієнтації робочих органів, виникнення релаксаційних та вимушених автоколивань.

Крім нестабільності навантажень на робочі органи динамічні процеси також викликають нелінійні сили тертя між елементами приводу, зазори, обмежена жорсткість несучої системи та нерівномірний знос різальних крайок. Система: *абразивне середовище – робочі поверхні деталей, що взаємодіють з ним, – кінематика та параметри їх взаємного переміщення – робочі зусилля та тиски взаємодії* – ось основні складові, які потрібно врахувати під час дослідження проблем якості роботи дорожніх машин, довговічності робочих органів та аналогічних деталей. За основними усталеними положеннями протидії абразивному зношуванню потрібно підвищувати твердість робочих поверхонь деталей, що зменшує інтенсивність процесів мікрорізання та швидкість зношування. Але слід врахувати, що взаємодія між ґрунтом та різальними органами машини в реальних умовах характеризується низкою змінних факторів, які викликають вимушені та автоколивання (вібрацію) складальних одиниць, деталей та їх окремих частин. Ці коливання складаються з хвилями тиску від ґрунту внаслідок різних умов та його властивостей. Наслідком цих нестационарних процесів є виникнення в матеріалі деталей пульсацій напружень стиску та розтягу, які в деяких місцях можуть перевищити граничні значення. Особливо небезпечними є напруження розтягу, оскільки тріщиностійкість матеріалів з твердими поверхневими шарами відносно невисока. Це проявляється у виникненні на поверхнях мікротріщин та локальних пошкоджень.

Серйозним фактором обмеження довговічності описаних деталей є ударні руйнування, які виникають внаслідок наїзду на крупне каміння та металеві уламки. Першочерговим завданням розв'язання цієї проблеми є розробка заходів для гальмування цих негативних процесів вже на етапі виготовлення нових виробів. При цьому бажано зберегти ремонтпридатність швидкозношуваних деталей з можливістю їх відновлення.

Одним з найбільш важливих факторів впливу на деградацію робочих поверхонь є неоднорідність структури матеріалу з крупнозернистою структурою, що зменшує показники міцності і сприяє дифузії та накопиченню водню, вуглецю та інших елементів з середовища та глибших шарів металу. Оскільки погранична дифузія протікає значно швидше, ніж крізьзеренна, то виникають сприятливі умови розвитку мікротріщин по границях зерен або їх агрегатів. Дослідження впливу величини зерна на абразивну стійкість сталі показали, що зі зменшенням величини зерна опірність ударному та мікроударному руйнуванню сталі підвищується.

Заслуговують на увагу різноманітні методи подрібнення зерна, блокування шляхів дифузії водню, забезпечення гомогенної структури та складу матеріалу поверхні з високою твердістю та тріщиностійкістю.

*Савуляк Валерій Іванович* - д.т.н., проф., професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет. E-mail: korsav84@gmail.com

*Гримашевич Володимир Олександрович* - аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, E-mail: kateruna02101996@gmail.com

## ІМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ У ВИГЛЯДІ ПЕРІОДИЧНОГО НЕСТАЦІОНАРНОГО ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУ

<sup>1</sup> Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, Україна

<sup>2</sup> Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна

<sup>3</sup> Бидгощська політехніка, Бидгощ, Польща

<sup>4</sup> Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

### Анотація

Запропоновано використання імовірнісної моделі вібраційних сигналів у вигляді періодичного нестационарного випадкового процесу до задач вібраційної діагностики.

**Ключові слова:** періодично нестационарний випадковий процес, вібрація, дефект, когерентний і компонентний методи.

Використання імовірнісної моделі вібраційних сигналів у вигляді періодичного нестационарного випадкового процесу надає нові можливості при виявленні дефектів обертових механізмів на ранніх стадіях їх розвитку [1, 2]. При такому підході вібраційний сигнал розділяють на детерміновану та стохастичну складові. З детермінованою складовою вібраційних сигналів пов'язані макродефекти механічних систем, такі як дисбаланс, ексцентриситет, неспівосність, биття, зачеплення тощо. Стохастична складова містить інформацію про нестационарні та нелінійні властивості вібраційного сигналу, які пов'язані із силами тертя, зміною в'язкості мастил, шорсткістю поверхонь та ін. Саме аналіз стохастичної складової, в тому числі характеристик її періодичної нестационарності, дає змогу виявляти дефекти на початкових стадіях їх зародження. Періодична нестационарність випадкової складової зумовлена стохастичною модуляцією гармонік. Ця модуляція здебільшого не є вузькосмуговою, тому вона не завжди буде проявлятися у пікових значеннях оцінок спектральної густини потужності стаціонарного наближення сигналу. Носіями інформації про типи дефектів обертових вузлів є авто-, взаємкореляційні і відповідні їм взаємоспектральні характеристики модулюючих процесів. Ці характеристики проявляються у властивостях періодично нестационарних випадкових процесів (ПНВП) – математичних моделей сигналів вібрації. Тому діагностичні ознаки можуть будуватися як на основі оцінок, так і безпосередньо на основі характеристик модулюючих процесів [3–5].

Однією з важливих задач діагностики є аналіз взаємозалежності вібраційних коливань великих стаціонарних агрегатів, відібраних у різних точках. Така задача може бути розв'язана на основі моделі сигналів вібрації у вигляді багатомірних періодично нестационарних випадкових процесів. Багатомірний аналіз вібраційних сигналів дає змогу локалізувати дефекти, визначати їх типи, розділяти джерела. Першим етапом є взаємкореляційний аналіз. Оцінки взаємкореляційних функцій можуть бути визначені з використанням як когерентного [6] і компонентного [7] методів. Перший з них ґрунтується на усередненні відліків реалізації сигналу, відібраних через період корельованості, а другий – на формуванні тригонометричного полінома

$$\hat{b}_{\xi\eta}(t, u) = \sum_{k=-N}^{N_2} \hat{B}_k^{(\xi\eta)}(t, u) e^{ik\omega_0 t},$$

де

$$\hat{B}_k^{(\xi\eta)}(u) = \frac{1}{\theta} \int_0^\theta [\xi(t) - m_\xi(t)] [\eta(t+u) - \hat{m}_\eta(t+u)] e^{-ik\omega_0 t} dt, \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T},$$

$$m_{\xi,\eta}(nh) = \sum_{k=-N}^{N_1} \hat{m}_k^{(\xi,\eta)} e^{ik\omega_0 t}, \quad \hat{m}_k^{(\xi,\eta)} = \frac{1}{\theta} \int_0^\theta \left\{ \begin{array}{l} \xi(nh) \\ \eta(nh) \end{array} \right\} e^{-ik\omega_0 t} dt.$$



Характерною особливістю взаємокомпонентних оцінок є те, що вони формуються з урахуванням апріорних відомостей про число гармонічних складових імовірнісних характеристик вібраційного сигналу. Такі відомості отримуються на основі результатів аналізу фізичних умов досліджуваного процесу, а також попереднього використання когерентного методу.

Саме врахування скінченного числа гармонік суттєво покращує ефективність оцінок при швидкому загасанні кореляційних зв'язків у разі збільшення зсуву. При  $N_1 \rightarrow \infty$  і  $N_2 \rightarrow \infty$  когерентні і компонентні оцінки збігаються [6, 7]. Такий аналіз дає змогу обґрунтовано вибирати параметри обробки, а саме довжину реалізації і точку усічення корелограми, залежно від параметрів вібраційного сигналу, характеристики якого оцінюються.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРА:

1. Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. – Львів : ФМІ НАН України, 2013. – 802 с.
2. Randall R., Antoni J. Rolling element bearing diagnostics—A tutorial. *Mech Syst Signal Process* 2011. – 25:485–520.
3. Antoni I. Cyclostationarity by examples // *Mechanical Systems and Signal Processing*. – 2009. – 23. – P. 987–1036.
4. Hurd H., Mianee A. Periodically correlated random sequences: Spectral theory and practice. New York: Wiley; 2007.
5. Javorskyj I., Matsko I., Yuzefovych R., Lychak O., Lys R. Methods of Hidden Periodicity Discovering for Gearbox Fault Detection // *Sensors*. – 2021. – 21. – 6138.
6. Javorskyj I., Isayev I., Zakrzewski Z., Brooks S.P. Coherent covariance analysis for periodically correlated random processes // *Signal Processing*. – 2007. – 87. – P. 13–32.
7. Javorskyj I., Isayev I., Majewski J., Yuzefovych R. Component covariance analysis for periodically correlated random processes // *Signal Processing*. – 2010. – 90. – P. 1083–1102.

**Юзефович Роман Михайлович** – доктор техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України (далі – ФМІ НАН України), Львів, Україна, e-mail: [roman.yuzefovych@gmail.com](mailto:roman.yuzefovych@gmail.com); професор кафедри прикладної математики, Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна, e-mail: [roman.m.yuzefovych@lpnu.ua](mailto:roman.m.yuzefovych@lpnu.ua)

**Яворський Ігор Миколайович** – доктор фіз.-мат. наук, професор, провідний науковий співробітник відділу методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: [ihor.yavorskyj@gmail.com](mailto:ihor.yavorskyj@gmail.com); професор звичайний інституту телекомунікацій та комп'ютерних наук, Бидгощська політехніка, Бидгощ, Польща, e-mail: [javor@pbs.edu.pl](mailto:javor@pbs.edu.pl)

**Личак Олег Васильович** – канд. техн. наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: [olehlychak2003@yahoo.com](mailto:olehlychak2003@yahoo.com)

**Сленко Роман Тарасович** – молодший науковий співробітник відділу методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: [roma.srt@gmail.com](mailto:roma.srt@gmail.com)

**Семенов Павло Олександрович** – канд. техн. наук, доцент кафедри підйомно-транспортних машин та інжинірингу портового технологічного обладнання, Одеський національний морський університет, Одеса, Україна, e-mail: [p.a.semenoff@gmail.com](mailto:p.a.semenoff@gmail.com)

#### *Probabilistic model of vibration signals as a periodically non-stationary random process*

##### **Abstract**

*The use of a probabilistic model of vibration signals as a periodically non-stationary random process for the vibration diagnostics is proposed.*

**Keywords:** periodically non-stationary random process, vibration, fault, coherent and component methods.

**Yuzefovych Roman M.** – Dr. Sci., Senior Researcher, Head of Department of Methods and Facilities for Acquisition and Processing Diagnostic Signals, Karpenko Physico-mechanical Institute of NAS of Ukraine (PMI NAS of Ukraine), Lviv, Ukraine, e-mail: [roman.yuzefovych@gmail.com](mailto:roman.yuzefovych@gmail.com); Professor at Chair of Applied Mathematics, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: [roman.m.yuzefovych@lpnu.ua](mailto:roman.m.yuzefovych@lpnu.ua)

**Javorskyj Ihor M.** – Dr. Sci., Professor, Leading Researcher, Department of Methods and Facilities for Acquisition and Processing Diagnostic Signals, PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: [ihor.yavorskyj@gmail.com](mailto:ihor.yavorskyj@gmail.com); Professor at Institute of Telecommunication and Computer Sciences, Bydgoszcz University of Sciences and Technology, Bydgoszcz, Poland, e-mail: [javor@pbs.edu.pl](mailto:javor@pbs.edu.pl)

**Lychak Oleh V.** – Ph.D., Senior Researcher, Department of Methods and Facilities for Acquisition and Processing Diagnostic Signals, PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: [olehlychak2003@yahoo.com](mailto:olehlychak2003@yahoo.com)

**Slienko Roman T.** – Junior Researcher, Department of Methods and Facilities for Acquisition and Processing Diagnostic Signals, PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: [roma.srt@gmail.com](mailto:roma.srt@gmail.com)

**Semenov Pavlo O.** – Ph.D., Chair of Hoisting and Transport Machines and Engineering of Port Technological Equipment, Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine, e-mail: [p.a.semenoff@gmail.com](mailto:p.a.semenoff@gmail.com)

## СУЧАСНІ ПИТАННЯ ДИНАМІКИ ГІДРОІМПУЛЬСНИХ ІНЕРЦІЙНИХ МАШИН

Вінницький національний технічний університет

***Анотація.** Розвиток нового класу машин з гідроімпульсним приводом, що знайшов широкого застосування в різних галузях виробництва для реалізації вібраційних та віброударних технологій, зумовив необхідність поглибленого вивчення динаміки цих машин з метою вирішення задач їх оптимального проектування.*

***Ключові слова:** динаміка, гідроімпульсний привод, вібромашина, вібропрес, ливарне виробництво.*

На основі аналізу конструктивних схем різних типів інерційних машин (за технологічним призначенням) складені узагальнені структурні схеми, які містять систему рухомих взаємодіючих ланок, головний та допоміжний приводи. Це гідромеханічні системи, які складені з твердих елементів сполучених з рідинними елементами. Для дослідження гідромеханічних систем з розподіленими вздовж осей координат параметрами - масою, пружними та дисипативними силами використовують диференціальні рівняння в часткових похідних, загальне рішення яких не завжди можливо використати для прикладних інженерних задач. Також значно ускладнює процес досліджень нелінійний характер більшості діючих в системі сил [1-10].

На основі розроблених узагальнених структурних схем машин (вібропроцесів, випробувальних стендів, ущільнюючих машин ливарного виробництва тощо) складені відповідні багатомасові динамічні моделі машинних систем з використанням «пружно зосередженої» моделі.

в якій рідині властиві в'язкість, стисливість, а канали гідролінії пружно деформуються в поперечному перерізі безінерційно. Основні параметри мас, пружних та деформованих елементів розглядаються приведеними, що дозволяє на основі припущення про незалежність параметрів руху від координат використовувати для аналітичного опису динамічної моделі звичайні диференціальні рівняння руху,

Так, наприклад<sup>8</sup> для аналітичного - запису загальної динамічної моделі інерційного вібропресу необхідно скласти систему з вісімнадцяти (за числом ступенів свободи) диференціальних рівнянь руху приведених мас вздовж відповідних координат. Ця загальна математична модель вібропресу вирішується чисельними методами за допомогою ПК. Вірогідність отриманої при цьому інформації буде залежати від точності визначення величин коефіцієнтів та аналітичної форми запису функцій відповідних перемінних, що входять до математичної моделі [5-7].

При вирішенні конкретних задач загальну динамічну модель вібропресу можна піддати деяким спрощенням, обґрунтування яких знаходиться у відповідності з особливостями роботи самої машинної системи. Так при проектуванні - підсистем допоміжного приводу достатньо розглянути динаміку гідропресу з насосним приводом, дослідження якого - відоме. Також можна знайти відомі аналогії при дослідженні взаємодії підсистем рухомих ланок машинної системи, тощо.

Основним напрямком дослідження машин цього класу став аналіз динаміки підсистем гідроімпульсного приводу, в результаті якого отримані аналітичні вирази для періодичних функцій примусових сил в залежності від схеми підключення віброзбуджувача. Це дозволяє розробити спрощені цільові двомасові динамічні моделі та використати їх для співставлення відповідних математичних- моделей, рішення яких отримані у аналітичній формі. Тривалість взаємодії мас кожному конкретному випадку визначається в залежності від цільової моделі та дії зовнішньої примусової сили з урахуванням її періодичності, а також початкових умов, що визначаються деформацією пружних елементів під дією сил тяжіння рухомих ланок і

конструктивними обмеженнями їх переміщень.

В результаті проведених досліджень отримані аналітичні залежності для визначення механічних параметрів інерційних машин з гідроімпульсним приводом в будь-який момент часу за заданими значеннями їх конструктивних параметрів та зовнішньої сили. Ці залежності використані як цільові функції для оптимізації конструктивних параметрів машин, що представлені у вигляді співвідношень мас їх рухомих ланок та приведених жорсткостей [1-7].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Iskovych- Lototsky R., Veselovska N., Shargorodsky S., Rutkevych V., Investigation of the process of thread extrusion using the ultrasound. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 6/1 (90). P. 60-68.
2. Iskovych-Lototsky R.D., Ivanchuk Y.V., Veselovska N.R., Surtel W., Sundetov S. Automatic system for modeling vibro-impact unloading bulk cargo on vehicles (Conference Paper). *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2018. Vol.10808. P. 1-10.
3. Shatokhin V., Ivanchuk Y., Dvirna O., Veselovskaya N., Jurczak W. Dynamic Processes Modeling in a Peristaltic Pump with a Hydraulic Drive for the Bingham Fluid. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2022. № 16 (4), P. 256–269.
4. Iskovych- Lototsky R., Veselovska N., Shargorodsky S., Rutkevych V., Omiotek Z., Mamyrbaev O. and Zhunisova U. Analysis of the character of change of the profilogram of micro profile of the processed surface. *Mechatronic Systems II. Applications in Material Handling Processes and Robotics: Scientific monograph*. Routledge Taylor & Francis Group. London, New York. 2021. P. 165-174.
5. Weselowska N., Turych V., Rutkevych V., Ogorodnichuk G. Kisała P., Yeraliyeva B. and Yusupova G. Investigation of interaction of a tool with a part in the process of deforming stretching with ultrasound. *Mechatronic Systems II. Applications in Material Handling Processes and Robotics: Scientific monograph*. Routledge Taylor & Francis Group. London, New York. 2021.. P. 175-184.
6. Veselovska N. R., Shargorodsky S.A., Larysa E. Nykyforova L.E, Zbigniew Omiotek, Imanbek Baglan, and Mergui Kozhamberdiyeva. Efficiency assessment functioning of vibration machines for biomass processing, *Biomass as Raw Material for Production of Biofuels and Chemicals: monograph*. Routledge Taylor & Francis Group. London, UK.2022. P. 53-60. DOI: 0/1201/9781003177593.
7. Iskovich-Lototsky R. , Veselovska N. , Ivanchuk Y. , Hnatyuk O. Vibration research in mobile agricultural machines. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 1 (96). С. 28-34.
8. Іскович-Лотоцький Р.Д., Веселовська Н.Р., Залізняк Р.О., Шевченко В.В. Підвищення продуктивності процесу занурення паль в садках та виноградниках шляхом застосування гідроструменевої технології. *Техніка, енергетика, транспорт в АПК*. 2023. № 1 (120). С.64-75.
9. Іскович-Лотоцький Р.Д., Веселовська Н.Р., Іванчук Я. В., Гнатюк О.Ф. Сучасні технології у вантажно-розвантажувальних роботах на мобільному автомобільному транспорті. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 4 (99). С. 59-66.
10. Веселовська Н.Р., Іскович-Лотоцький Р.Д., Ковальова І.М. Теорія різання та інструмент: навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2019. 297 с.

*Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович – доктор технічних наук, професор кафедри «Галузевого машинобудування» Вінницького національного технічного університету (вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021, e-mail: [islord@ukr.net](mailto:islord@ukr.net)).*

## MODERN ISSUES OF THE DYNAMICS OF HIDRO-IMPULSE INERTIAL MACHINES

**Abstract.** The development of a new class of machines with a hydraulic impulse drive, which has found application in various branches of production for the implementation of vibration and vibration-impact technologies, necessitated an in-depth study of the dynamics of these machines in order to solve the problems of their optimal design.

**Key words:** dynamics, hydraulic impulse drive, vibromachine, vibropress, foundry production.

*Iskovych-Lototsky Rostyslav Dmytrovych - Doctor of Science (Engineering), Professor, Department of "Branch Mechanical Engineering" of Vinnitsa National Technical University (95, Khmelnytsky Shose Str., Vinnitsia, Ukraine, 21021, e-mail: [islord@ukr.net](mailto:islord@ukr.net)).*

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВІБРАЦІЙНОГО ПРЕСУ

*Вінницький національний аграрний університет*

**Анотація.** *Плоди та ягоди мають велике значення в харчуванні людини, але на жаль у свіжому вигляді вони зберігаються короткий час. Один із способів зберігання їх харчової цінності - виготовлення соків, які містять в собі ряд поживних елементів. Напої на основі плодово-ягідних компонентів сьогодні розглядають як оптимальну форму продукту харчування, необхідну для поповнення організму людини активними компонентами.*

**Ключові слова:** *ефективність, процес, зневоднення, харчові продукти, вібраційний прес.*

У зв'язку з ростом урбанізації населення та погіршенням екологічного стану навколишнього середовища, важливою задачею, яка постає перед агропромисловим комплексом є виготовлення здорової екологічно чистої продукції для харчування населення. Актуальність проблеми харчування, пов'язана з тим, що його порушення негативно діє на організм людини, збільшуючи ризик розвитку основних соціально-значущих захворювань та зниження тривалості життя[1-10].

Низька якість харчування на сьогодні є дійсно важливою проблемою. Продукти харчування нашого раціону не багаті на корисні речовини. Щоб зробити продукти доступні за ціною для населення використовують синтетичні добавки, тваринний білок замінюють рослинним, у великих кількостях використовують харчові ароматизатори, барвники, консерванти тощо. Для того, щоб зберегти здоров'я, важливим кроком вважається забезпечити людину всіма необхідними мікронутрієнтами: вітамінами та життєво необхідними мінеральними речовинами.

Плоди та ягоди мають велике значення в харчуванні людини, але на жаль у свіжому вигляді вони зберігаються короткий час. Один із способів зберігання їх харчової цінності - виготовлення соків, які містять в собі ряд поживних елементів. Напої на основі плодово-ягідних компонентів сьогодні розглядають як оптимальну форму продукту харчування, необхідну для поповнення організму людини активними компонентами.

Висока вологомісткість вторинних продуктів харчових переробних виробництв ускладнює їх зберігання та транспортування. Для вирішення проблем із транспортуванням та зберіганням продукт піддають зневодненню. На сьогоднішній день основними технологічними процесами переробки таких відходів є механічне зневоднення за допомогою шнекових та стрічкових пресів з подальшим висушуванням, брикетуванням, гранулюванням або виготовленням соків.

Слід зазначити, що використовувані на сьогоднішній день технології і обладнання механічного зневоднення не є достатньо ефективними, що зумовлює значну енергоємність технологічних і, відповідно, його високу собівартість.

Відомо, що ефективність та надійність роботи багатьох машинпершочергово залежить від надійності роботи їх приводів. Серед відомих конструкцій приводів вібраційних машин таким, що відповідає більшості необхідних вимог, є гідроімпульсний привод, оскільки він дозволяє забезпечити стабільний частотний режим вібраційного навантаження зі значним робочим зусиллям при відносно невеликих габаритних розмірах, простоті керування та достатньо високій надійності експлуатації[11-14].

У зв'язку з вищевикладеним можна зробити висновок, що розробка нового вібраційного обладнання з гідроімпульсним приводом для зневоднення вторинних продуктів харчових переробних виробництв є актуальною науково-технічною задачею, саме розробка новітніх технологій та технічних засобів для отримання соків із максимальним зберіганням вітамінів, антиоксидантів і поживних речовин, для подальшого вживання.

### СПОСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Р. Д.-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, М. Р. Архіпчук, О. В. Поліщук .Патент на корисну модель № 46373 Україна, МПК<sup>7</sup>

- В30 В9/18. Кульвовий двокаскадний генератор імпульсів тиску. Заявник та патентовласник Вінницьк. нац. техн. університет. № U200902968; заявл. 30.03.2009; опубл. 25.12.2009, Бюл. № 3.
2. І. В. Коц, О. В. Березюк. Вібраційний гідропривод для пресування промислових відходів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2006. № 5. С. 146–149.
  3. Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севастьянов, В. Д. Андрощук. . Вібропресова машина для обезводнювання відходів харчових виробництв. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2002. № 3(24). С. 48–50.
  4. Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, О. В. Поліщук. Методика проектного розрахунку електромеханічної частини гідроімпульсного приводу вібраційного обладнання. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2009. № 1(53). С. 32–35.
  5. Шапар Р. О. Інтенсифікація процесів сушіння рослинних пектиновмісних матеріалів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.14.06 «Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика». НАН України. Ін-т техн. теплофізики. К., 2004. 23 с.
  6. П. Л. Шиян, В. В. Сосницький, С. Т. Олійнічук. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика : монографія. К. : Асканія, 2009. 424 с.
  7. Рвачов В. В. Технологічне обладнання харчових виробництв. Механічне обладнання : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.– О. : Астропринт, 2005.– 348 с.
  8. Iskovych- Lototsky R., Veselovska N., Shargorodsky S., Rutkevych V., Investigation of the process of thread extrusion using the ultrasound. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 6/1 (90). P. 60-68.
  9. Iskovych-Lototsky R.D., Ivanchuk Y.V., Veselovska N.R., Surtel W., Sundetov S. Automatic system for modeling vibro-impact unloading bulk cargo on vehicles (Conference Paper). *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2018. Vol.10808. P. 1-10.
  10. Shatokhin V., Ivanchuk Y., Dvirna O., Veselovskaya N., Jurczak W. Dynamic Processes Modeling in a Peristaltic Pump with a Hydraulic Drive for the Bingham Fluid. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2022. № 16 (4), P. 256–269.
  11. Iskovych- Lototsky R., Veselovska N., Shargorodsky S., Rutkevych V., Omiolek Z., Mamyrbaev O. and Zhunissova U. Analysis of the character of change of the profilogram of micro profile of the processed surface. *Mechatronic Systems II. Applications in Material Handling Processes and Robotics: Scientific monograph*. Routledge Taylor & Francis Group. London, New York. 2021. P. 165-174.
  12. Weselowska N., Turych V., Rutkevych V., Ogorodnichuk G. Kisała P., Yeraliyeva B. and Yusupova G. Investigation of interaction of a tool with a part in the process of deforming stretching with ultrasound. *Mechatronic Systems II. Applications in Material Handling Processes and Robotics: Scientific monograph*. Routledge Taylor & Francis Group. London, New York. 2021.. P. 175-184.
  13. Veselovska N. R., Shargorodsky S.A., Larysa E. Nykyforova L.E, Zbigniew Omiolek, Imanbek Baglan, and Mergui Kozhamberdievya. Efficiency assessment functioning of vibration machines for biomass processing, *Biomass as Raw Material for Production of Biofuels and Chemicals: monograph*. Routledge Taylor & Francis Group. London, UK.2022. P. 53-60. DOI: 0/1201/9781003177593.
  14. Iskovich-Lototsky R., Veselovska N., Ivanchuk Y., Hnatyuk O. Vibration research in mobile agricultural machines. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 1 (96). С. 28-34.

Веселовська Наталія Ростиславівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, wnatalia@ukr.net).

Романов Віталій Валерійович – аспірант кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва», Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна)

## EFFICIENCY OF THE PROCESS OF DEHYDRATION OF FOOD PRODUCTS WHEN USING A VIBRATING PRESS

**Abstract.** *Fruits and berries are of great importance in human nutrition, but unfortunately, they are kept fresh for a short time. One of the ways to preserve their nutritional value is to make juices that contain a number of nutrients. Drinks based on fruit and berry components are today considered as the optimal form of food product, necessary for replenishing the human body with active components.*

**Key words:** *efficiency, process, dehydration, food products, vibrating press.*

Veselovska Natalia - phd, professor, department of machinery and equipment of agricultural production of agricultural production of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna st., vinnitsa, 21008, Ukraine, wnatalia@ukr.net).

Romanov Vitaliy – postgraduate student department of machinery and equipment of agricultural production of agricultural production of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna st., Vinnitsa, 21008, Ukraine)

## НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ГІДРОІМПУЛЬСНИХ ПРИВОДІВ І ПРИСТРОЇВ ІЗ СИЛОВИМИ ТА РОЗПОДІЛЬНИМИ ЛАНКАМИ НА БАЗІ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВИСОКОЇ ЖОРСТКОСТІ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*В доповіді розглянуто напрямки розвитку гідроімпульсних приводів і пристроїв із силовими та розподільними ланками на базі пружних елементів високої жорсткості, зокрема однокаскадних параметричних генераторів імпульсів тиску підвищеної пропускної здатності та малогабаритних гідроімпульсних вібраторів – гідроциліндрів.*

**Ключові слова:** вібрації, вібратор, генератор імпульсів тиску, гідроімпульсний привод, гідроциліндр, пружні елементи високої жорсткості, кільцева пружина.

### Abstract

*The report discusses the directions of development of hydraulic impulse drives and devices with power and distribution links based on elastic elements of high stiffness, in particular, single-cascade parametric generators of pressure pulses of increased throughput and small-sized hydraulic impulse vibrators - hydraulic cylinders.*

**Keywords:** vibrations, vibrator, pressure pulse generator, hydraulic impulse drive, hydraulic cylinder, elastic elements of high stiffness, ring spring.

### Вступ

В гідроімпульсному приводі (ГП), створеному Ігорем МАТВЕСВИМ [1, 2], на відміну від традиційного гідропривода, пульсуючий потік (імпульси тиску) робочої рідини (енергоносія) з регульованими амплітудою та частотою імпульсів тиску діє на виконавчі ланки – гідродвигуни (гідроциліндри різних типів тощо) технологічних вібраційних (ВМ) чи віброударних (ВУМ) машин, приводячи їх у вібраційний (віброударний) рух, в результаті якого реалізуються різноманітні вібраційні технології. Однією з основних ланок ГП є параметричний генератор імпульсів тиску (ГТ) [3], який формує режими роботи та керує ГП. З моменту створення ГП науковою школою цього типу гідропривода, заснованою також Ігорем МАТВЕСВИМ, розроблено багато технологічних ВМ і ВУМ – вібраційні та віброударні преси для порошкової металургії, струшуючі машини для ливарного виробництва, будівельні вібраційні машини тощо, частина яких була впроваджена у виробництво. Новизна технологічних машин з ГП і ГТ захищена десятками авторських свідоцтв СРСР та патентів України.

Наукова школа ГП у ВНТУ продовжує інтенсивно працювати в напрямках створення нових конструкцій вібраційних машин і пристроїв на базі ГП, зокрема ГТ, теоретичних та експериментальних досліджень ГП, удосконалення науково-обґрунтованих методики проектного розрахунку ГП, ГТ та інших ланок привода.

Відносно новим напрямком роботи наукової школи ГП є створення на основі схемного пошуку та розроблення дослідних конструкторських зразків нових гідроімпульсних пристроїв і ГТ на базі пружних елементів високої жорсткості (ПЕВЖ), таких як тарілчасті (ТП), прорізні (ПП) та кільцеві (КП) пружини [4]. З метою мінімізації габаритів цих пристроїв ПЕВЖ суміщені або є частиною силових, пружних або розподільних ланок (елементів) ГП та ГТ пристроїв. На основі цих принципів розроблено малогабаритні високоефективні пристрої для віброрізання (ВР – віброточіння, вібросвердління тощо) та поверхневого деформаційного зміцнення деталей (ПДЗД) [5, 6].

### Результати дослідження

Одним із напрямків розширення технічного і технологічного застосування ГП та пристроїв на його основі, оснащених ПЕВЖ, є створення нових однокаскадних параметричних ГТ підвищеної пропускної здатності [7], з фасковою герметизацією на першому та другому ступенях, та малогабаритних гідроімпульсних вібраторів – гідроциліндрів (ГІВ – ГЦ) [8]. ГІВ – ГЦ можуть використовуватись як виконавчі ланки – гідродвигуни технологічних вібраційних (ВМ) чи віброударних (ВУМ) машин, так і як самостійне вібраційне обладнання, наприклад, у будівельній галузі чи під час ресурсних випробовувань різних машинобудівних виробів.

Окремий перспективний напрямок використання ГІВ – ГЦ – це малогабаритні гідроімпульсні вібратори на базі КП з плаваючим сідлом першого та другого ступенів фаскової герметизації ГТ, нава-

нтаженого короткою (жорсткою) додатковою КП, які дозволяють суттєво зменшити рівень шуму під час роботи технологічних вібраційних машин з ГПП та забезпечують режими вібронавантаження об'єкта технологічного впливу в широкому діапазоні регулювання зусилля, амплітуди та частоти вібрацій.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матвеев И. Б. Гидропривод машин ударного и вибрационного действия / Матвеев И. Б. – М. : Машиностроение, 1974. – 184 с.
2. Іскович-Лотоцький Р. Д. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій : монографія / Іскович-Лотоцький Р. Д., Обертюх Р. Р., Севостьянов І. В. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця 2006. – 291 с.
3. Іскович-Лотоцький Р. Д. Генератори імпульсів тиску для керування гідроімпульсними приводами вібраційних та віброударних технологічних машин : монографія / Іскович-Лотоцький Р. Д., Обертюх Р. Р., Архипчук М. Р. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 171 с.
4. Обертюх Р. Р. Пристрої для віброточіння на базі гідроімпульсного привода : монографія / Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 164 с.
5. Обертюх Р. Р. Віброударний пристрій з гідроімпульсним приводом підвищеної швидкодії та ефективності для деформаційного зміцнення поверхонь деталей машин / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Марущак М. В. // Вісник машинобудування та транспорту, м. Вінниця № 1, 2017. – С. 63 – 71.
6. Обертюх Р. Р. Пристрої для вібраційного різання та деформаційного зміцнення з пружними елементами високої жорсткості / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В. // Матеріали (тези) XVI Міжнародної науково-технічної конференції «ВІБРАЦІЇ В ТЕХНІЦІ ТА ТЕХНОЛОГІЯХ» (Вінниця, листопад 2017 р.). – С. 68 – 71.
7. Обертюх Р. Р. Параметричні однокаскадні генератори імпульсів тиску підвищеної пропускної здатності / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Андрухов С. Р., Кудраш В. О. // Віснику машинобудування та транспорту – №1, 2019. – С. 40 – 48.
8. Обертюх Р. Р. Гідроімпульсні малогабаритні вібратори на базі прорізних пружин / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Поліщук О. В., Ганцапурова О. С. // Вісник машинобудування та транспорту – №1 (15), 2022. – С. 124 – 130.

*Обертюх Роман Романович – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри Галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет. e-mail: [obertyuh557@gmail.com](mailto:obertyuh557@gmail.com)*

*Obertyukh Roman Romanovich - Cand. tech. Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University. e-mail: [obertyuh557@gmail.com](mailto:obertyuh557@gmail.com)*



## ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛІСНИХ РОБОТІВ З ВІБРОПРИВОДОМ

Національний університет «Львівська політехніка»

### Анотація

Мобільні вібраційні роботи можуть ефективно використовуватися у різних галузях промисловості, зокрема, для діагностування та чищення внутрішніх поверхонь трубопроводів. Дослідження кінематичних і динамічних характеристик даних роботів пов'язані передусім з необхідністю встановлення їх оптимальних конструктивних параметрів та параметрів збурення з метою максимізації швидкості руху та мінімізації споживаної потужності.

**Ключові слова:** вібраційний робот, конструктивні параметри, параметри збурення, швидкість.

Колісні роботи з віброприводом – це окремий специфічний підвид мобільних роботів, які зазвичай базуються на колісному шасі та в якості пасивного приводу використовують дію різного роду віброзбудувачів. Останні можуть бути реалізовані у вигляді незбалансованих роторів (дебалансів, ексцентриків), електромагнітів (соленоїдів) чи кривошипно-шатунних механізмів. У лабораторії віброінженерії Національного університету «Львівська політехніка» були розроблені кілька варіантів колісних роботів з віброприводом (рис. 1) [1, 2, 3]. Усі згадані роботи об'єднують шасі, колеса якого мають можливість обертатися лише в одному напрямку за рахунок використання роликів обгінних муфт (муфт вільного ходу). Одна з найпростіших конструкцій базується на колісному шасі, яке приводиться в рух за допомогою інерційного віброзбудника у формі незбалансованого ротора. Інша аналогічна компоновка працює за віброударним принципом та в якості приводу використовує соленоїд, підпружинене осердя якого має можливість взаємодіяти з гумовим відбійником, що фіксується на шасі робота. Остання конструкція може працювати як за безударним, так і за віброударним принципом. В даному випадку у приводі застосовано кривошипно-повзунний механізм, який через пружний елемент приводить у рух коливальну масу, що за певних умов може взаємодіяти з шасі робота через відбійник. На даний час проводяться теоретичні дослідження кінематичних і динамічних характеристик даних вібророботів шляхом реалізації їх математичних та імітаційних моделей у сучасних програмних продуктах SolidWorks Motion, MapleSim, Mathematica тощо.

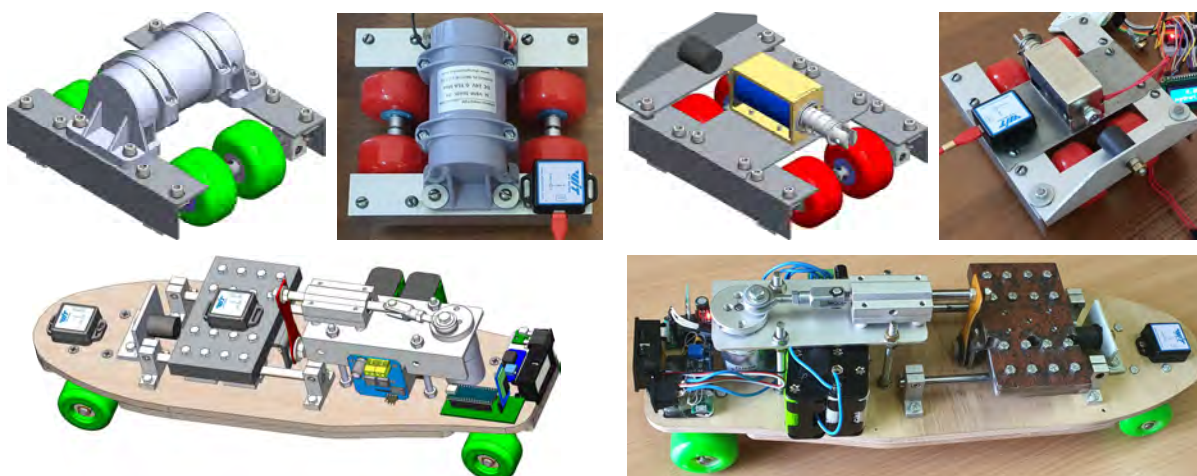


Рис. 1. 3D-моделі та експериментальні зразки колісних роботів з віброприводом

Паралельно із математичним та імітаційним моделюванням кінематики і динаміки розглянутих вібророботів, виконуються експериментальні дослідження, окремі результати яких



представлені на рис. 2. Аналізуючи подані часові залежності можна простежити циклічний (стрибкоподібний) рух колісного шасі ( $x_1(t)$ ), який зумовлюється дією періодично змінюваної збуджуючої сили. Остання являє собою силу інерції внутрішньої коливальної маси (незбалансованого ротора, осердя соленоїда чи ударного тіла кривошипно-повзунного механізму), яка рухається відносно шасі за наближено періодичним законом ( $x_2(t)$ ). Оптимальний підбір конструктивно-силових параметрів робота дозволяє забезпечити його максимальну швидкість за мінімальної споживаної потужності.

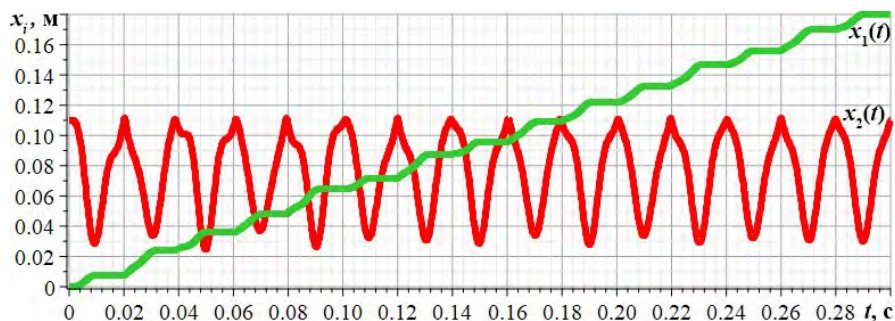


Рис. 2. Часові залежності переміщення колісного шасі ( $x_1(t)$ ) та відносного переміщення коливальної маси ( $x_2(t)$ )

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Korendiy V. et al. Studying the influence of the impact gap value on the average translational speed of the wheeled vibration-driven robot // Engineering Proceedings. 2022. Vol. 24. pp. 1–8.
2. Korendiy V. et al. Experimental investigation of kinematic characteristics of a wheeled vibration-driven robot // Vibroengineering Procedia. 2022. Vol. 43. pp. 14–20.
3. Korendiy V.M., Kachur O.Y., Gurskyi V.M. Dynamics of mobile robot equipped with inertial vibration exciter and unidirectionally rotating wheels // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2023. Vol. 1277. pp. 1–9.

**Корендій Віталій Михайлович**, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технічної механіки та динаміки машин, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, vitaliy.nulp@gmail.com

**Качур Олександр Юрійович**, доктор філософії, асистент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, oleksandr.y.kachur@lpnu.ua

**Гурський Володимир Миколайович**, доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, volodymyr.m.hurskyi@lpnu.ua

## INVESTIGATION OF KINEMATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF WHEELED VIBRATION-DRIVEN ROBOTS

### Abstract

*Mobile vibration-driven robots can be effectively used in various industries, particularly, for inspecting and cleaning the internal surfaces of pipelines. The investigations of the kinematic and dynamic characteristics of such robots are related to the necessity of defining their optimal design and excitation parameters with the aim of maximizing the locomotion speed and minimizing power consumption.*

**Keywords:** vibration-driven robot, design parameters, excitation parameters, velocity.

**Vitaliy Korendiy**, PhD, Associate Professor, Head of Department of Technical Mechanics and Dynamics of Machines, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, vitaliy.nulp@gmail.com

**Oleksandr Kachur**, PhD, Assistant Professor of Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, oleksandr.y.kachur@lpnu.ua

**Volodymyr Gurskyi**, Dr. Tech. Science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, volodymyr.m.hurskyi@lpnu.ua

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІБРАЦІЙНИХ ПРИТИРАЛЬНИХ МАШИН

Національний університет «Львівська політехніка»

### Анотація

*Вібраційні машини широко використовуються для виконання різноманітних технологічних операцій, зокрема фінішних: притирання і полірування плоских поверхонь деталей машин. Для забезпечення наперед визначених параметрів шорсткості і площинності поверхонь за мінімальної споживаної потужності необхідно підібрати найбільш раціональні конструктивно-силові параметри вібраційних притиральних (полірувальних) машин шляхом аналізу їх динамічної поведінки за різних режимів роботи.*

**Ключові слова:** фінішна технологічна операція, притирання, полірування, шорсткість, площинність.

Вібраційні технології використовуються у різноманітних сферах промисловості, зокрема для виконання низки фінішних технологічних операцій у галузі машинобудування. У лабораторії віброінженерії Національного університету «Львівська політехніка» були розроблені вібраційні притиральні (полірувальні) машини підвісного типу для оброблення плоских поверхонь різноманітних деталей машин (рис. 1) [1, 2, 3]. На відміну від класичних притиральних машин, побудованих на базі планетарних механізмів з приводами притирів, водила чи заготовок від одного або кількох електродвигунів, запропоновані установки приводяться в рух системою концентрично розташованих електромагнітів або соленоїдів. У першому випадку корпуси з котушками електромагнітів жорстко кріпляться на нижній коливальній масі (води́лі з деталями), а якорі фіксуються на верхньому притирі та приєднуються до корпусів магнітів за допомогою пружних елементів. У другій конструкції використовуються соленоїди, які за допомогою підшипникових вузлів монтуються на нижній коливальній масі з можливістю повороту. Підпружинені осердя соленоїдів за допомогою сферичних шарнірів з'єднуються із верхнім притиром. В обох конструкціях передбачається генерування плоскопаралельного руху (колових коливань) верхнього притира відносно нижнього водила з оброблюваними деталями з метою забезпечення рівномірного притирання (полірування) відповідних плоских поверхонь. На даний час проводяться теоретичні дослідження кінематичних і динамічних характеристик даних вібраційних притиральних машин шляхом реалізації їх математичних та імітаційних моделей у сучасних програмних продуктах SolidWorks Motion, MapleSim, Mathematica тощо.

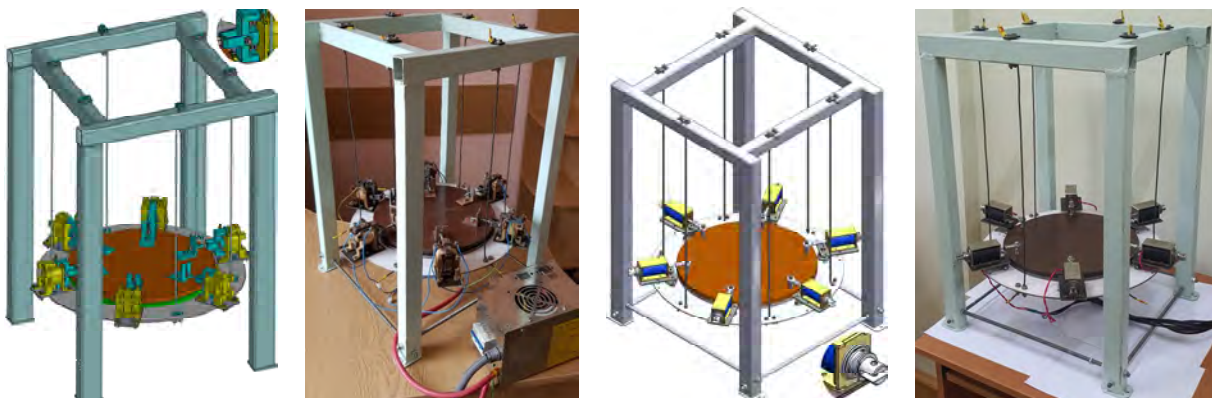


Рис. 1. 3D-моделі та експериментальні зразки вібраційних притиральних машин

Паралельно із математичним та імітаційним моделюванням кінематики і динаміки розглянутих вібраційних притиральних машин, виконуються експериментальні дослідження, окремі результати яких представлені на рис. 2. За рахунок використання спеціальної системи

керування, яка забезпечує почергове спрацювання електромагнітів (соленоїдів) із заданим зсувом фаз, вдається реалізувати плоскопаралельний рух (колові коливання) верхнього притира відносно нижнього водила за деталями. Враховуючи той факт, що при вказаному русі кожна точка оброблюваної поверхні має однакову за напрямом та абсолютним значенням швидкість, то можна констатувати про рівномірність притирання (полірування) даної поверхні. Аналізуючи подані часові залежності можна простежити періодичний рух верхнього притира (координати  $x_1(t)$ ,  $y_1(t)$ ) у протифазі до нижнього водила з деталями (координати  $x_2(t)$ ,  $y_2(t)$ ). Оптимальний підбір конструктивно-силових параметрів вібраційної машини дозволяє забезпечити максимальну ефективність притирання за мінімальною споживаною потужністю.

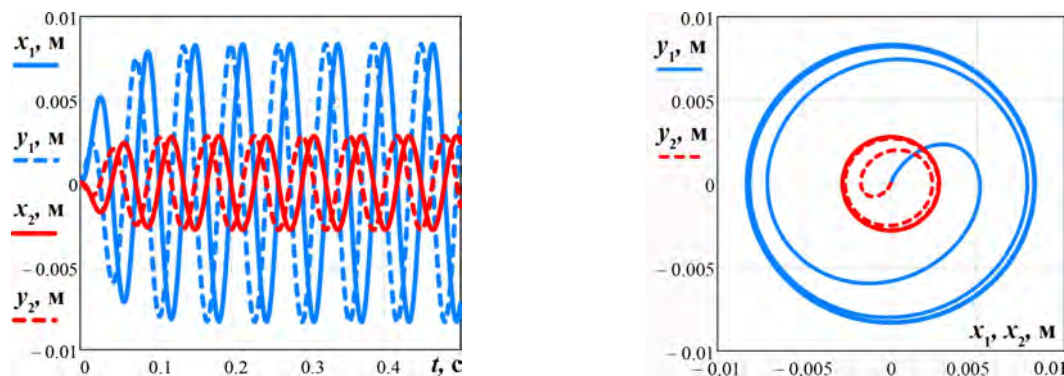


Рис. 2. Часові залежності переміщення верхнього притира ( $x_1(t)$ ,  $y_1(t)$ ) та нижньої коливальної маси ( $x_2(t)$ ,  $y_2(t)$ )

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Korendiy V. et al. Modelling the operation of vibratory machine for single-sided lapping of flat surfaces // *Vibroengineering Procedia*. 2021. Vol. 38. pp. 1–6.
2. Korendiy V. et al. Studying the dynamics of a vibratory finishing machine providing the single-sided lapping and polishing of flat surfaces // *Engineering Proceedings*. 2022. Vol. 24. pp. 1–6.
3. Korendiy V. et al. Experimental study of the lap motion trajectory of vibratory finishing machine // *Vibroengineering Procedia*. 2022. Vol. 46. pp. 1–7.

**Корендій Віталій Михайлович**, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технічної механіки та динаміки машин, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, vitaliy.nulp@gmail.com

**Качур Олександр Юрійович**, доктор філософії, асистент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, oleksandr.y.kachur@lpnu.ua

**Захаров Віктор Миколайович**, головний енергетик, ТзОВ «Галка», Львів, vktzakharov@gmail.com

## INVESTIGATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF VIBRATORY LAPPING MACHINES

### Abstract

*Vibratory machines are widely used for performing various technological operations, particularly, finishing ones: lapping and polishing of flat surfaces of machine parts. To ensure the prescribed parameters of roughness and flatness of the surfaces at minimal power consumption, it is necessary to choose the most rational design and force parameters of the vibratory lapping (polishing) machines by analyzing their dynamic behavior under different operational conditions.*

**Keywords:** finishing technological operation, lapping, polishing, roughness, flatness.

**Vitaliy Korendiy**, PhD, Associate Professor, Head of Department of Technical Mechanics and Dynamics of Machines, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, vitaliy.nulp@gmail.com

**Oleksandr Kachur**, PhD, Assistant Professor of Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, oleksandr.y.kachur@lpnu.ua

**Viktor Zakharov**, power engineer, “Galca” Ltd, Lviv, vktzakharov@gmail.com



## СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

*Анотація.* Розглянуто лабораторну установку вібраційної обробки. Запропоновано набір компонентів для реалізації системи управління електроприводом на платформі Arduino.

*Ключові слова:* електропривод, вібраційна обробка, Arduino, драйвер, датчик.

Одним методів оздоблювальної обробки є метод обробки деталей вільними абразивами в віброуючих резервуарах.

Технологія вібраційної обробки полягає в тому, що в резервуар, який може мати різну форму і об'єм, поміщають робоче середовище, оброблювані деталі та інші добавки. Деталі можуть розміщуватися в резервуарі вільно або закріплюватися. Далі резервуару за допомогою одного або кількох зовнішніх джерел енергії повідомляють коливальні рухи. В результаті відносного переміщення та взаємного тиску гранул середовища та оброблюваних деталей відбуваються процеси мікрорізання та пружнопластичного деформування, що забезпечує видалення дефектного шару металу, а також зменшення шорсткості поверхні деталей. Пошук оптимальних частоти і амплітуди збуджуючих коливань залишається актуальною задачею.[1] Була створена лабораторна установка вібраційної обробки (рис.1).



Рис.1. Лабораторна установка вібраційної обробки

Промислові установки зазвичай обладнані стандартними трифазними асинхронними електродвигунами і не потребують систем управління. Розмір і потужність лабораторної установки значно менший, а набір задач більший. До задач відносяться як наукові - дослідження процесу віброобробки та підвищення його ефективності, так і освітні - надання студентам знань в галузі механіки, електроніки, програмування і систем управління.

Поява орієнтованої на непрофесіоналів в електроніці модульної платформи Arduino дає можливість створення систем управління і пристосування їх до різноманітного існуючого обладнання.

Запропоновано використати випробувану і надійну в експлуатації систему управління, створену для медогонки[2], з деякими модифікаціями, спричиненими особливостями використання.

В якості модуля мікроконтролера найдешевших клонів моделей Arduino Uno або Nano виявляється цілком достатньо. Оскільки реверсування обертання електродвигуна вібраційна установка не потребує, замість найбільш дорогого компонента - модуля Н-моста BTS7960 у якості драйвера електродвигуна може бути використаним модуль із MOSFET транзистором, наприклад AOD4184. Для зчитування прискорення вібраційного контейнера додано модуль MPU6050, який є 3-х осьовим гіроскопом і 3-х осьовим акселерометром в одному корпусі. Для ручного регулювання швидкості обертання двигуна електропривода додано потенціометр. Змінено призначення одного з двох модулів дисплея - замість часу роботи він тепер відображає прискорення, тобто дані, що надходять з акселерометра. На інший дисплей виводиться оберти електродвигуна. Модуль датчика Хола 3144Е використаний для контролю обертів та зворотного зв'язку. Експерименти можуть як ставитися як в ручному режимі, так і бути запрограмованими.

Система управління виявилась зручною у користуванні та надійною, і є перспективною для використання під час вивчення явищ віброобробки та в якості лабораторної установки, впроваджені в навчальний процес.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Romanchenko, O.: Principles of design of specialized technological equipment. *Diagnostyka* 23(1), 2022:109 (2022)
2. Логунов О.М. Система управління електроприводом медогонки на платформі Arduino. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Науковий журнал. Сєверодонецьк: СНУ ім.В.Даля. 2021. № 1 (265). С. 60-63.

*Логунов Олександр Миколайович*, – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Київ), [logunov@snu.edu.ua](mailto:logunov@snu.edu.ua)

Control system of the vibration processing laboratory plant electric drive.

**Abstract** *Control system of the vibration processing laboratory plant electric drive is considered. A set of components for the implementation of an electric drive control system on the Arduino platform is proposed.*

**Keywords:** electric drive, vibration processing, Arduino, driver, sensor.

*Logunov Oleksandr*, – Ph.D., docent of machinery engineering and applied mechanics department, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University (Kyiv), [logunov@snu.edu.ua](mailto:logunov@snu.edu.ua)

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ РЕЖИМІВ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИВОДА ТА ЙОГО ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ

***Анотація.** Проблеми сучасного машинобудування пов'язані, в першу чергу, із зменшенням витрат матеріалів та енергії. Ці проблеми вирішуються завдяки впровадженню сучасних технологій механічної обробки металів тиском. До таких технологій відносяться процеси розкочування, або місцевої локалізованої деформації, що забезпечують маловідходне або безвідходне виготовлення заготовок деталей при мінімальних енергетичних витратах. Особливо це стосується виробництв з масовим випуском продукції, зокрема, шарикопідшипників, де процеси виготовлення зовнішніх та внутрішніх кілець, здебільшого, визначають їх вартість.*

Метою експериментальних досліджень є:

- визначення діапазонів регулювання та закономірностей зміни робочих режимів гідроімпульсного привода на експериментальному стенді при зміні параметрів регулювання вібробудувача;
- експериментальне підтвердження технологічної ефективності гідроімпульсного привода для вібраційного обладнання з розкочування кілець підшипників;
- перевірка адекватності розроблених динамічних та математичних моделей реальним зразкам гідроімпульсного привода та достовірності результатів теоретичного дослідження.

Послідовність реалізації експериментальних досліджень передбачає:

- підготовку експериментального стенда з гідроімпульсним приводом ВРМ до проведення досліджень, вибір та розробка приладів і давачів;
- проведення досліджень з осцилографуванням відповідних параметрів, які характеризують робочі режими гідроімпульсного привода та можливість їх регулювання за допомогою зміни параметрів вібробудувача;
- обробку результатів вимірів та оцінку їх точності;
- побудову графічних залежностей по результатам вимірювань.

Відповідно до цієї послідовності необхідно налагодити експериментальний степд з гідроімпульсним приводом ВРМ, провести вимірювання параметрів його конструктивних елементів та параметрів приводу. Розробити та виготовити (або підібрати за відомими технічними характеристиками) конструкції давачів тиску, лінійних переміщень, кутових швидкостей та ін., провести монтаж давачів на дослідному зразку машини та з'єднати їх кабелями з вимірювально-реєструвальною апаратурою, виконати заземлення. Налагодити тензометричну апаратуру та перевірити її на холостих режимах функціонування гідроімпульсного привода ВРМ, привести у відповідність з тарувальними характеристиками давачів коефіцієнти підсилення електричних сигналів.

З метою отримання достовірних експериментальних даних кількість  $n$  необхідних вимірювань кожного параметру (режиму) визначалося за формулою

$$n \geq (1 + P_{\partial} + 2n_{\text{відк.}})(1 - P_{\partial})^{-1}, \quad (1)$$

де  $P_{\partial}$  - довірна ймовірність знаходження похибки параметра у допустимих межах;

$n_{\text{відк.}}$  - число вимірювань, що відкидаються.

Визначення довірчої ймовірності при нормуванні квантильної оцінки результуючої та випадкової похибки вимірювальної техніки рекомендовано з інтервалом (0,8-0,9)[89]. Тоді згідно з (1) при використанні усіх проведених вимірів ( $n_{\text{відк.}} = 0$ )

$$n \geq \frac{1 + (0,8 \dots 0,9)}{1 - (0,8 \dots 0,9)} = 9 \dots 19.$$

Випадкова похибка вимірювань згідно теоремі Ляпунова[1] має бути розподілена за законом близьким до нормального. Тому для знаходження дійсного значення параметру, що вимірювався на осцилограмі, та його се-редньоквадратичної похибки використовувалися залежності

$$a \approx \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \sigma \approx \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2)$$

де  $x_i$  - величина параметру, що вимірювався;  $\bar{x}$  - середнє арифметичне значення величини вимірюваного параметру.

Для обраної структури вимірювального тракту (давач – тензопідсилювач - осцилограф – осцилограма – тарувальний графік – параметр) результуюча, або повна похибка визначення величини параметру ВРМ складається з систематичних та випадкових похибок елементів вимірювального тракту. Її середньоквадратичне значення можна розрахувати за формулою

$$\gamma_{вт} = \sqrt{\gamma_{\delta}^2 + \gamma_{mn}^2 + \gamma_{\delta}^2 + \gamma_{m\epsilon}^2}, \quad (3)$$

де  $\gamma_{вт}$  - результуюча похибка вимірювального тракту;  $\gamma_{\delta}$  - похибка давача;  $\gamma_{mn}$  - сумарна похибка тензопідсилювача;  $\gamma_{\delta}$  - сумарна похибка систем осцилографа;  $\gamma_{m\epsilon}$  - похибка вимірювання параметру по осцилограмам та тарувальному графіку.

Для визначення відносної величини розбіжностей  $\delta$  між розрахунковими та експериментальними значеннями параметрів використовувалася відома формула

$$\delta = \left| \frac{a_p - a_e}{a_e} \right| \cdot 100\%, \quad (4)$$

де  $a_p, a_e$  - відповідно розрахункове та експериментально знайдене значення величини параметра.

Для сумарних похибок при вимірюванні, визначених за формулою (3), були отримані наступні результати:

- для давачів тиску робочої рідини  $\pm 5.3$ ;
- для давачів лінійних переміщень робочого органу  $\pm 6.25$ .

Відносні похибки  $\delta$ , які були визначені за формулою (4), при співставленні розрахункових та експериментальних параметрів не перевищували 12%.

Отримані результати відповідають вимогам до технічних вимірювань при проведенні дослідних робіт, що направлені на вивчення можливостей нового обладнання, яким є ВРМ, та розробки науково обгрунтованої методики його проектування.

#### СПОСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Р. Д.-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, М. Р. Архипчук, О. В. Поліщук. Патент на корисну модель № 46373 Україна, МПК<sup>7</sup> В30 В9/18. Кульковий двокаскадний генератор імпульсів тиску. Заявник та патентовласник Вінницьк. нац. техн. університет. № U200902968; заявл. 30.03.2009; опубл. 25.12.2009, Бюл. № 3.
2. І. В. Коц, О. В. Березюк. Вібраційний гідропривод для пресування промислових відходів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2006. № 5. С. 146–149.
3. Shatokhin V., Ivanchuk Y., Dvirna O., Veselovskaya N., Jurczak W. Dynamic Processes Modeling in a Peristaltic Pump with a Hydraulic Drive for the Bingham Fluid. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2022. № 16 (4), P. 256–269.  
Iskovych- Lototsky R., Veselovska N., Shargorodsky S., Rutkevych V., Omiotek Z., Mamyrbaev O. and Zhunissova U.

#### REFERENCES

1. R.D.-Lototskyi, R.R. Obertyukh, M.R. Arkhipchuk, O.V. Polishchuk. Utility model patent No. 46373 Ukraine, MPK<sup>7</sup> B30 B9/18. Ball two-stage pressure pulse generator. Applicant and patent owner Vinnytsia. national technical university. No. U200902968; statement 30.03.2009; published 25.12.2009, Bull. No. 3.1. R.D.-Lototskyi, R.R. Obertyukh, M.R. Arkhipchuk, O.V. Polishchuk. Utility model patent No. 46373 Ukraine, MPK<sup>7</sup> B30 B9/18. Ball two-stage pressure pulse generator. Applicant and patent owner Vinnytsia. national technical university. No. U200902968; statement 30.03.2009; published 25.12.2009, Bull. No. 3.
2. I. V. Kots, O. V. Berezyuk. Vibrating hydraulic drive for pressing industrial waste. *Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute*. 2006. No. 5. P. 146–149.
3. Shatokhin V., Ivanchuk Y., Dvirna O., Veselovskaya N., Jurczak W. Dynamic Processes Modeling in a Peristaltic Pump with a Hydraulic Drive for the Bingham Fluid. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2022. № 16 (4), P. 256–269. Iskovych- Lototsky R., Veselovska N., Shargorodsky S., Rutkevych V., Omiotek Z., Mamyrbaev O. and Zhunissova U.

## RESEARCH OF WORKING MODES HYDRO-IMPULSE DRIVE AND ITS TECHNOLOGICAL CAPABILITIES

**Abstract.** The problems of modern mechanical engineering are primarily related to the reduction of material and energy consumption. These problems are solved thanks to the introduction of modern technologies of mechanical processing of metals by pressure. Such technologies include the processes of rolling, or local localized deformation, which ensure low-waste or zero-waste production of parts blanks with minimal energy costs. This is especially true for mass-produced products, in particular, ball bearings, where the manufacturing processes of outer and inner rings, for the most part, determine their cost.

Веселовська Наталія Ростиславівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: wnatalia@ukr.net).

Богатюк Максим Олегович – аспірант кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: bogatyuk1998@gmail.com).

Veselovska Natalia - phd, professor, department of machinery and equipment of agricultural production of agricultural production of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna st., Vinnitsa, 21008, Ukraine, e-mail: wnatalia@ukr.net).

Bohatiuk Maksym Olegovich – graduate student of the Department "Machinery and Equipment of Agricultural Production" of Vinnytsia National Agrarian University (3 Sonyachna Street, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e mail: bogatyuk1998@gmail.com).



## **ПРОБЛЕМИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОРЕЖИМНОГО ІНЕРЦІЙНОГО ВІБРОЗБУДЖУВАЧА**

Національний університет «Львівська політехніка»,  
\*Політехніка Вроцлавська, Вроцлав, Республіка Польща

### **Анотація.**

Дослідження спрямовано на реалізацію багаторежимного інерційного вібратора, в конструкцію якого закладено схему подвійного ротора. Використання двох незалежних асинхронних електродвигунів дає змогу реалізувати різноманітні режими роботи одномасової коливної системи, що визначаються еліптичними, круговими або наближеними лінійними траєкторіями. Такі режими формуються зміною напрямків і частот обертання роторів привідних електродвигунів. Для забезпечення працездатності та стійкості руху вібраційної системи потрібно особливу увагу приділяти вивченню ефектів Зоммерфельда, що мають місце як за перехідних, так і за усталених режимів руху системи. Дані ефекти можуть проявлятися під час пуску вібраційної машини та зумовити зависання обертів на частоті вільних коливань. Інший ефект має місце на усталених частотах обертання роторів електродвигунів та спричинює їх нерівномірне обертання. Можливі нестійкі рухи повинні компенсуватися корекцією частот обертання або одного, або ж обох роторів електродвигунів відносно їхніх номінальних частот обертання.

**Ключові слова:** інерційний віброзбуджувач, асинхронний електродвигун, подвійний ротор, дебаланс, вібрація.

Для підтримання технологічної ефективності та продуктивності вібраційних грохотів доцільно використовувати керовані інерційні вібратори [1]. При цьому визначальними характеристиками, що підлягають зміні під час роботи є не тільки амплітуда і частота коливань, але й траєкторії руху центру мас. Більшою мірою використовують еліптичні траєкторії, геометричні параметри еліпса при цьому повинні бути в рекомендованих межах [2]. Більше технологічних можливостей досягають за використання незалежних багатопривідних вібраторів. Однозначно, при цьому суттєво ускладнюються завдання динамічного аналізу та практичної реалізації цих машин з точки зору забезпечення і підтримки відповідних режимів роботи. Відомо, що ускладнення роботи вібраційної машини за рахунок збільшення числа робочих гармонік суттєво збільшує технологічну ефективність та зменшує енергозатрати за рахунок використання резонансних ефектів як у середовищах, так і елементах конструкції [3].

Автори представленого дослідження виконали динамічний аналіз, синтез і конструювання нового інерційного вібратора із кінематично синхронізованими незбалансованими роторами [4]. В подальшому розглядається використання двох незалежних асинхронних електродвигунів. Таке рішення дозволить оперативно, без зупинки вібратора та налагодження змінювати режими роботи та характеристики руху вібраційної системи. При цьому особливу увагу потрібно приділити забезпеченню стійкості роботи. Як виявили попередні дослідження, найбільш проблемними у забезпеченні є еліптичні коливання, які можуть бути досягнуті за зустрічного обертання роторів електродвигунів за рівних частот. В такому випадку ефект Зоммерфельда викликаний взаємовпливом одного двигуна на інший, періодично його гальмуючи і розганяючи [5]. Це приводить до нестійких режимів за номінальних частот обертання роторів. Нестійкі рухи повинні компенсуватися корекцією частот обертання або одного, або ж обох роторів електродвигунів відносно їхніх номінальних частот обертання. Для цього в процесі динамічного аналізу формується оптимізаційна задача, що передбачає пошук нових номінальних частот обертання роторів електродвигунів на основі мінімізації розбалансування дійсних частот обертання.

За результатами дослідження запропоновано конструкцію багаторежимного інерційного віброзбуджувача, що може реалізовувати колові, еліптичні та напрямлені коливання з однією чи двома частотами. Технічні характеристики наступні: вантажопідйомність 100 кг; зусилля збурення 2–8,6 кН, амплітуда коливань 2,5 мм, частоти обертання роторів електродвигунів - 297,4–297,4 рад/с, споживана потужність  $2 \times 1,1$  кВт.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Jia L., Zhang J., Zhou L., Wen B. (2019) Multifrequency-controlled synchronization of three eccentric rotors driven by induction motors in the same direction. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*. Vol. 38(2), 615–632.
2. Krot P., Zimroz R., Michalak A., Wodecki J., Ogonowski S., Drozda M., Jach M. (2020) Development and Verification of the Diagnostic Model of the Sieving Screen. *Shock and Vibration*, 8015465.
3. Nazarenko I., Gaidaichuk V., Dedov O., Diachenko O. (2017) Investigation of vibration machine movement with a multimode oscillation spectrum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 6(1-90), 28–36.
4. Gurskyi V., Korendiy V., Krot P., Zimroz R., Kachur O., Maherus N. (2023) On the Dynamics of an Enhanced Coaxial Inertial Exciter for Vibratory Machines. *Machines*. 2023; 11(1):97.
5. Yaroshevich, N.P., Lanets, O.S., Yaroshevych, O.M. (2022) Slow Oscillations in Systems with Inertial Vibration Exciters. *Mechanisms and Machine Science*, 116, 29–42.

**Гурський Володимир Миколайович** – д-р техн. наук, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, volodymyr.m.hurskyi@lpnu.ua.

**Корендій Віталій Михайлович** – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри технічної механіки та динаміки машин, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, vitalii.m.korendii@lpnu.ua.

**Крот Павло Вікторович** – канд. техн. наук, доцент, кафедра гірничої справи, факультет геоінженерії, гірничої справи та геології, Політехніка Вроцлавська, Вроцлав, Республіка Польща, pavlo.krot@pwr.edu.pl.

**Кузьо Ігор Володимирович** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, ihor.v.kuzo@lpnu.ua.

## Problems of development and prospects of implementation of a multi-regime inertial vibration exciter

### Abstract

The research is focused on implementing the multi-regime inertial vibration exciter designed on the basis of a dual-rotor diagram. The use of two independent asynchronous electric motors allows for generating various working regimes of a single-mass oscillatory system, which are defined by elliptical, circular, or approximately linear trajectories. Such regimes are formed by means of changing the rotation directions and angular speeds of rotors of the driving electric motors. To provide the serviceability and motion stability of the oscillatory system, it is necessary to pay specific attention to studying the Sommerfeld effects occurring both during the transient and stable conditions of the system motion. These effects can appear during the starting regimes of the vibratory machine and cause the “hanging” (remaining unchanged) of the exciters’ rotation at the system’s natural frequency. Another effect takes place under the conditions of stable angular frequencies of rotors of the electric motors and causes their irregular (non-uniform) motion. The possible non-stable motions must be compensated by means of regulating the angular frequencies of one or both rotors of the electric motors with respect to their nominal angular frequencies.

**Keywords:** inertial vibration exciter, asynchronous electric motor, dual rotor, unbalanced mass, vibration.

**Gurskyi Volodymyr** – Dr. Tech. Science, Associate Professor, Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, volodymyr.m.hurskyi@lpnu.ua.

**Vitaliy Korendiy** – PhD, Associate Professor, Department of Technical Mechanics and Dynamics of Machines, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, vitalii.m.korendii@lpnu.ua.

**Pavlo Krot** – Associate Professor, Faculty of Geoen지니어ing, Mining and Geology, Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw, Poland.

**Kuzio Igor** – Dr. Tech. Science, Professor, Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv.

## ГІДРОІМПУЛЬСНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДЕФОРМАЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

Вінницький Національний Технічний Університет

### *Анотація*

*В роботі представлено конструкцію гідроімпульсного пристрою підвищеної швидкодії для поверхневого деформаційного зміцнення деталей машин з вбудованим генератором імпульсів тиску.*

**Ключові слова:** вібрація, деформаційне зміцнення, пристрій, гідроімпульсний привод.

Тенденції розвитку машинобудування вимагають впровадження у виробництво нових методів і засобів, які забезпечують підвищення надійності деталей та виробів в цілому, а також зменшення собівартості продукції. Надійність деталей машин в першу чергу залежить від їх міцності, зносостійкості, вібростійкості, теплостійкості тощо. Ці критерії надійності деталей машин забезпечуються різними способами і заходами під час їх виготовлення, такими як: підбір матеріалу та різними способами підвищення міцності і зносостійкості – термічна обробка, обробка різними фізичними методами поверхні деталі та зон концентрації напружень тощо.

Одним з ефективних методів підвищення якості оброблюваних поверхонь деталей і їх експлуатаційних властивостей є процеси поверхневого пластичного деформування (ППД) при ударно-імпульсному впливі інструменту і комбінованій обробці. При даних видах обробки відбувається зміна фізичного, хімічного, структурного стану поверхневого шару, що підвищують його механічні, фізико-хімічні властивості, формування нерівностей однакової висоти і пологості форми виступів і западин з радіусами на 1-2 порядки більше, ніж при обробці різанням, забезпечують підвищену маслоємність контакту, збільшену навантажувальну здатність, кращий тепловідвід із зони тертя, що забезпечує швидкий і сприятливий перехід від вихідної (технологічного) якості поверхневого шару до оптимального робочого в процесу експлуатації. Наклеп поверхневого шару, характеризується зростанням твердості, ускладнює утворення і розвиток втомних тріщин, що підвищує межу витривалість деталей машин. Ефективність наклепу в цьому випадку залежить від умов роботи деталі, її конструктивних особливостей і властивостей матеріалу.

Авторами роботи запропонована нова конструкція гідроімпульсного пристрою для деформаційного зміцнення (див. рисунок 1), що містить корпус квадратного перерізу 1 в який загвинчено штуцери підводу 13 та відводу 14 енергоносія з гідробака 16. У внутрішню розточку корпусу встановлена гільза 4, що зафіксована в розточці корпусу за допомогою кришки 2, яка закріплена на корпусі гвинтами 12, а в різьбовий отвір кришки 2 загвинчено стакан 5, законтрений контргайкою 7. В різьбовий отвір стакану 5 загвинчено регулюючий гвинт 8, законтрений контргайкою 9. В торець гвинта завальцована кулька 11, що контактує з опорним штовхачем 10, обпертим на прорізну пружину 6, інший кінець якої впирається в дно розточки поршня – ударника 3, один кінець якого оформлено у вигляді прорізної пружини жорсткістю  $k_2$ , а інший має форму ступінчастого штока, на більшому діаметрі якого утворено герметизуючий елемент – фаску, що взаємодіє з рухомим сідлом 15, навантаженим витєю пружиною 17.

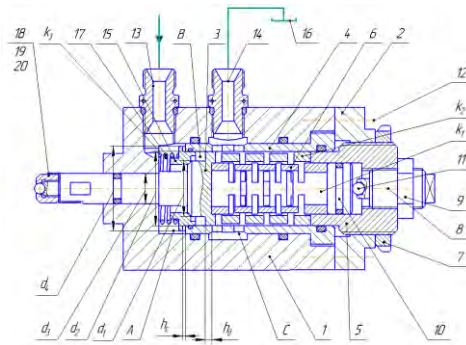


Рисунок 1 – Конструкція гідроімпульсного пристрою підвищеної швидкодії для деформаційного зміцнення деталей

Ступінь штока поршня – ударника 3 з герметизуючою фаскою діаметром  $d_1$  і торцева частина поршня – ударника 3 діаметром  $d_2$  утворюють під час взаємодії з сідлом 15 ГІТ параметричного типу. Сідло 15 має ступінчасту форму по зовнішній поверхні направляє в розточці гільзи 4 по точній поверхні діаметром  $d_2$ . Хід сідла 15 обмежено буртиком на його зовнішній поверхні. Пружина 17 одним кінцем опирається на дно розточки корпуса 1, а іншим в зовнішній торець бурта сідла 17. На кінці штока поршня – ударника 3 за допомогою нарізної втулки 18 закріплено кульку 19. Втулка 18 контрється лапчастою шайбою 20. Умовно цей кінець штока поршня – ударника можна назвати інструментальною державкою. Гільза 4, Стакан 5, сідло 15, опорний штовхач 10, шток поршня – ударника 3 та штуцери 13 і 14 ущільнюються гумовими кільцями круглого перерізу (на рисунку 1.1 не позначені позиціями).

Розроблений пристрій є більш компактним та ефективнішим у порівнянні з аналогами, що робить його конкуренто привабливішим.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1.Обертюх Р. Р., Слабкий А.В. Пристрої для віброточіння на базі гідро- імпульсного привода. Монографія. – Вінниця: ВНТУ – Вінниця, 2015р.–164 с.
- 2.Обертюх Р.Р. «Динамічна та математична моделі гідроімпульсного пристрою для деформаційного зміцнення деталей з вбудованим генератором імпульсів тиску»/ Обертюх Р.Р., Слабкий А.В. та Чернійко В.В. // Український міжвідомчий науково-технічний збірник «Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні», м. Львів вип. 48. – 2014р. – С. 11– 24.
- 3.Пат. 103682 У, Україна, В24В 39/04, Гідроімпульсний віброударний пристрій для деформаційного зміцнення деталей / Обертюх Р.Р., Слабкий А.В., Марущак М.В. (Україна) — № u 201506247; Заявл. 24.06.2015; — Опубл. 25.12.2015, Бюл. №24.

**Обертюх Роман Романович** — канд. техн. наук, доцент, професор кафедри Галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет. e-mail: obertyuh557@gmail.com

**Слабкий Андрій Валентинович** — к. т. н., доц., доцент кафедри галузевого машинобудування, ВНТУ, e-mail: slabkiyandrey@vntu.edu.ua.

**Бабійчук Владислав Олександрович** — студент групи ГМ-21б, Факультет машинобудування та транспорту, ВНТУ, e-mail: babijchuk.2004@gmail.com

#### *Establishing regularities in the transportation of concrete with coarse filler by a tubular belt with partitions*

##### **Abstract**

*The work presents the design of a high-speed hydraulic pulse device for surface deformation strengthening of machine parts with a built-in pressure pulse generator.*

**Keywords:** *vibration, strain hardening, device, hydraulic impulse drive.*

**Obertyukh Roman Romanovich** — Cand. tech. Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University. e-mail: obertyuh557@gmail.com

**Slabkiy Andriy Valentynovich** – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Industrial Mechanical Engineering Department, VNTU, e-mail: slabkiyandrey@vntu.edu.ua.

**Babijchuk Vladyslav Oleksandrovych**– student of group ГМ-21б, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, VNTU, e-mail: babijchuk.2004@gmail.com.

## РІВНЯННЯ МАСООБМІНУ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ З ВІБРОХВИЛЬОВИМ ТРАНСПОРТУВАННЯМ ПРОДУКЦІЇ

<sup>1</sup> Національний університет біоресурсів і природокористування України;  
Вінницький торговельно-економічний інститут Державного торговельно-економічного університету

### Анотація

Результатом фізико-математичного моделювання досліджуваного процесу віброхвильового терморадіаційного сушіння стало отримання рівняння масообміну при застосуванні другої теореми подібності та введення у математичну модель критеріїв Стантона, Фруда, Бурдо, величини яких відображаються через основні фактори впливу та були знайдені експериментально.

**Ключові слова:** інфрачервоне опромінення, терморадіаційне сушіння, ріпак, теорія розмірностей, віброхвильове транспортування, віброконвеєрна машина, псевдорозріджений шар.

### Вступ

За терморадіаційного сушіння коефіцієнт теплообміну має значну величину та протяжність процесу сушіння порівняно з конвективним або кондуктивним способом зменшується у 30...100 разів [1,2]. За рахунок співпадання напрямів градієнтів температур та вологовмісту швидкість такого сушіння значно перевищує швидкість конвективного сушіння, хоча реалізація його вимагає у 3...4 рази більше енерговитрат [3, 4]. Конструктивне удосконалення терморадіаційних сушарок протягом останніх років дозволило зрівняти енерговитрати при їх експлуатації з конвективними апаратами, а застосування вібраційних та хвильових ефектів дало можливість значно зменшити теплові навантаження на шари продукції, що зумовило актуальність розробки перспективних схем процесів та обладнання для сушіння в умовах інфрачервоного опромінення.

Метою роботи є отримання математичної залежності між основними параметрами процесу інфрачервоного сушіння на основі опрацювання результатів експериментальної оцінки сушіння та віброхвильового транспортування сипких мас ріпаку та сої при використанні критеріїв подібності та теорії розмірностей.

### Результати дослідження

Під час обробки харчової сировини в полі інфрачервоного опромінювання за умов відкритого робочого простору полягає в тому, що електромагнітні хвилі від джерела випромінювання проникають у продукт на глибину до 2 мм і частково або повністю поглинаються в ньому. При цьому електромагнітна енергія перетворюється у теплову, що викликає нагрівання продукту. Змонтовані у котках стрічки механічні віброзбуджувачі створюють на поверхні гнучкого вантажонесучого органу біжучої або стоячої хвилі [5, 6] забезпечує як транспортування продукції, так і інтенсивне її перемішування. Тим самим зменшується теплова інтенсивність на поверхневий шар при збереженні достатньо високої швидкості потоку. При цьому достатньо забезпечити коливання тільки даних котків для підтримання високої кінетики досліджуваного процесу, що значно зменшує енерговитрати на привод порівняно з існуючими віброконвеєрними терморадіаційними установками.

Експериментальний аналіз таких параметрів процесу як питома маса продукції  $P_s$ , швидкість транспортерної стрічки  $v_c$ , розміри часток сировини  $d_3$ , густина вологи  $\rho_B$ , коефіцієнт температуропровідності  $a$ , об'ємна продуктивність процесу за вологою  $P_v$ , питома температура пароутворення  $r$ , потужність опромінення  $N_{оп}$ , енергія  $Q_B$  для пароутворення при застосуванні чисел подібності та теорії розмірностей дозволили отримати рівняння масообміну досліджуваного процесу терморадіаційного сушіння ріпаку.

$$St = 2Pe^{1,08} Bu^{1,2} \cdot \frac{1}{\nu} \left( \frac{\Pi_V r}{a^3} \right)^{1,2} \cdot \left( \frac{P_S d}{\rho} \right)^{1,56}$$

Представлена модель дозволяє отримати математичну інтерпретацію залежності між основними характеристиками процесу з можливістю подальшого аналізу закономірностей їх зміни.

### Висновки

За даними експериментальних досліджень, при використанні методу «аналізу розмірностей» та теореми Федермана- Букінгема було побудовано критеріальне рівняння процесу масообміну при інфрачервоному сушінні у рухомому шарі продукції, що визначається критеріями Пекле, Стантона, Бурдо, функцією, яка характеризує продуктивність досліджуваного процесу; та дозволяє сформулювати рекомендований ряд параметрів робочого режиму.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Şevik, S., Aktaş, M., Dolgun, E. C., Arslan, E., Tuncer, A. D.: Performance analysis of solar and solar-infrared dryer of mint and apple slices using energy-exergy methodology. *Solar Energy*, 180, 537–549 (2019).
2. Delfiya, D. A., Prashob, K., Murali, S., et al.: Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 45(6), e13810 (2022).
3. Sun, Q., Zhang, M., Mujumdar, A. S.: Recent developments of artificial intelligence in drying of fresh food: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(14), 2258–2275 (2019).
4. Selimefendigil, F., Özcan Çoban, S., Öztör, H. F.: Convective drying of a moist porous object under the effects of a rotating cylinder in a channel. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 141(5), 1569–1590 (2020).
5. Palamarchuk, I., Palamarchuk, V., Sarana, V., Heipel, Y., Borodych, B.: Technical and economic substantiation of the process of semi-fluidisation treatment of fruit and berry products. *Animal Science and Food Technology* 13(2), 35–43 (2022).
6. Palamarchuk, I., Palamarchuk, V., Gudzenko, M., Sarana, V., Mukoid, R. (2021). Hydrolysis of vegetable raw pectin-containing materials under vibration and centrifugal mixing of liquid environment. In: Ivanov, V., et al. (eds). *Advances in Design, Simulation, and Manufacturing V. DSMIE-2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 277–286. Springer International Publishing. (2022). [doi](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77823-1_28): 10.1007/978-3-030-77823-1\_28

**Паламарчук Ігор Павлович** — професор Національного університету біоресурсів і природокористування України, е-mail: [vibroprocessing@gmail.com](mailto:vibroprocessing@gmail.com), Київ.

**Паламарчук Владислав Ігоревич** — канд. техн. наук, доцент Вінницький торговельно-економічний інститут Державного торговельно-економічного університету, е-mail: [kupc1989@gmail.com](mailto:kupc1989@gmail.com), Вінниця.

### *The mass exchange equation of the infrared drying process of canola with vibratory wave transportation of the product*

#### **Abstract**

*The result of physical-mathematical modeling of the investigated process of vibration-wave thermoradiation drying was obtaining the mass transfer equation when applying the second theorem of similarity and introducing into the mathematical model the Stanton, Froude, Bourdeau criteria, the values of which are displayed through the main influencing factors and were found experimentally.*

**Keywords:** infrared irradiation, thermal radiation drying, rapeseed, theory of dimensions, vibration wave transportation, vibroconveyor machine, fluidized bed.

**Igor Palamarchuk P.** — Professor of National University Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, e-mail: [vibroprocessing@gmail.com](mailto:vibroprocessing@gmail.com)

**Vladislav Palamarchuk I.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of <sup>1</sup>Vinnitsia Institute of Trade and Economics of State University of Trade and Economics, e-mail: [kupc1989@gmail.com](mailto:kupc1989@gmail.com), Vinnitsia

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ УДАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ФОРМИ ІЗ ОБМЕЖНИКОМ КОЛИВАНЬ

<sup>1</sup> Київський національний університет будівництва та архітектури

<sup>2</sup> Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

### Анотація

Робота присвячена конструюванню ударно-вібраційних систем для ущільнення легкобетонних сумішей. Одним з основних завдань у цьому процесі є визначення енергії при ударній взаємодії форми з обмежником коливань. Для промислових ударно-вібраційних установок надано розрахункові формули для визначення складових енергій, які використовуються при ущільненні суміші.

**Ключові слова:** ударно-вібраційна установка, ударна взаємодія, енергія удару, ущільнення бетонної суміші

### Вступ

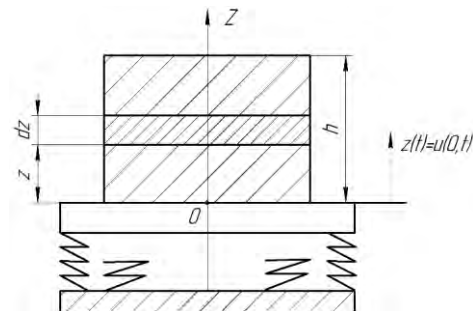
При конструюванні ударно-вібраційних систем для ущільнення легкобетонних сумішей одним із основних завдань є визначення енергії при реалізації ударної взаємодії форми із обмежником коливань. Для промислової ударно-вібраційної установки рис. 1 а) виведено формули для визначення складових енергій на ущільнення суміші.

### Результати дослідження

Відомо, що середовище здійснює опір руху робочого органу своїми пружно-інерційними і дисипативними складовими, які за аналогією прийнято називати реактивними (пружно-інерційні) та активними (дисипативні) складовими. За прийнятою методикою [1] вплив середовища розглядається класичним шляхом рішення рівняння руху середовища при врахуванні граничних умов за розрахунковою схемою динамічної системи «віброплощадка – ущільнюєме середовище».



а)



б)

Рис. 1. Ударно-вібраційна установка та розрахункова схема динамічної системи «віброплощадка – ущільнюєме середовище»

Надійність роботи ударної пари залежить не тільки від встановлених параметрів, а й від зміни температури гумового обмежувача. Дослідження поведінки гум в різних умовах навантаження наведено в роботі [1]. Визначимо вплив форми імпульсу сили на нагрівання гумового обмежувача. Припустимо, що нагрівання при ударі спричиняє втрату енергії, яка виражається коефіцієнтом поглинання, чисельно рівним  $\psi = 0,5$ . Тоді енергія нагрівання

$$E_H = \frac{p^2 \psi}{c 2t_{y0}} \quad (1)$$

З іншого боку рівняння балансу теплоти за один удар може бути виражене залежністю



$$E_H = c_T \rho_p v \Delta t_c \quad (2)$$

де  $c_T$  – теплоємність гуми, з густиною  $\rho_p$  та об'єм  $v$ .

Сумарне нагрівання  $\Delta Q = \frac{T_y E_H}{T}$ , де  $T_y$  – повний час технологічного процесу ущільнення бетонної суміші (продовження роботи установки). Порівнюючи ці залежності, отримуємо формули для оцінювання сумарного нагрівання обмежувача.

Енергія, яка поглинається обмежувачем підчас удару:

$$E_{II} = \frac{mv^2}{2}(1 - R^2) \quad (3)$$

Енергія на ущільнення в контактній зоні для одного періоду коливань  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  [2]:

$$E_K = \int F_K \dot{x} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \omega t dt \quad (4)$$

де  $F_K \sin \alpha$  – складова загальної сили, що здійснює роботу;

$\alpha$  – кут зсуву цієї сили відносно переміщення  $z$ ;

$\dot{x}$  – швидкість коливань робочого органу.

Виходячи із розгляду сил взаємодії середовища і робочого органу в зоні контакту отримаємо [2]:

$$F_K \sin \alpha = m_c x_0 \omega^2 d \quad (5)$$

де  $m_c$  – маса середовища;

$d$  – коефіцієнт, що враховує розподіл енергії по висоті виробу [3],

$$d = \frac{\alpha \sin 2\beta h - \beta \sin 2\alpha h}{h(\alpha^2 + \beta^2)(\cos 2\alpha h + \cos 2\beta h)} \quad (6)$$

Тоді розв'язавши (2) з урахуванням (5), отримаємо вираз для визначення енергії на ущільнення [2]:

$$E_K = \pi m_c x_0^2 \omega^2 d \quad (7)$$

Виведені формули для визначення складових енергії на ущільнення суміші, які включають основні характеристики досліджуваної системи ударно-вібраційної системи.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Потураев В.Н. и др. Прикладная механика резины / В.Н. Потураев, В.И. Дырда, И.И. Круш – К.: Наукова думка, 1975. – 216 с.
2. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем / І.І. Назаренко // Навчальний посібник (2-е видання). – К.: 2010. – 440 с.
3. Чубук Ю.Ф. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей / Ю.Ф. Чубук, И.И. Назаренко, В.Н. Гарнец. – К.: Вища шк. Головне изд-во, 1985.–165 с.

**Назаренко Іван Іванович** — д.т.н., професор завідувач кафедри машин і обладнання технологічних процесів, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, e-mail: ii\_nazar@ukr.net

**Нестеренко Микола Миколайович** — канд. техн. наук, доцент кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

**Ведмідь Василь Васильович** – аспірант, кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

**Нестеренко Тетяна Миколаївна** — канд. техн. наук, доцент кафедри нафтогазової інженерії та технологій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

#### *Determination of energy in the implementation of impact interactions of the form with the limiter of oscillations*

##### *Abstract*

*The work is devoted to the design of shock-vibration systems for compaction of lightweight concrete mixtures. One of the main tasks in this process is to determine the energy during the shock interaction of the form with the vibration limiter. Calculation formulas for determining the components of energy used in the compaction of the mixture are provided for industrial shock-vibration installations.*

**Key words:** *impact-vibration installation, impact interaction, impact energy, concrete mix compaction*



**Nazarenko Ivan I.** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Machinery and Equipment of Technological Processes, Kyiv National University of Construction and Architecture. Kyiv, Ukraine. e-mail: [ii\\_nazar@ukr.net](mailto:ii_nazar@ukr.net)

**Nesterenko Mykola M.** — PhD, Associate Professor, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

**Vedmid Vasyl V.** — *postgraduate, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine*

**Nesterenko Tetiana M.** — *PhD, Associate Professor, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine*

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ВІБРООПОРА

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Розглянуто принцип дії різних віброопор. Запропоновано варіант конструкції енергоефективної віброопори.*

**Ключові слова:** вібрація, віброопора, рекуперація, енергія.

Для запобігання резонансу, зниження структурних шумів і вібрацій, а також демпфування коливань та ударів, що виникають при роботі різних механізмів чи електрообладнання широко використовують віброізолятори в вигляді віброопор. На даний момент найбільшого поширення набули два типи віброопор – пасивні та активні [1]. Активні віброопори на базі лінійних двигунів, пневматичних подушок, демпферів з магнітореологічною рідиною в своїй конструкції мають окрім пружини, ланцюг зворотнього зв'язку який складається з давача, наприклад п'єзоелектричного акселерометра чи геофона [3], контролера та приводу. Показники давача посилюються й передаються на контролер який керує активним віброізолятором [1-2]. Такий підхід значно підвищує ефективність віброопори, проте й має декілька суттєвих недоліків, серед яких необхідність наявності додаткового джерела енергії, складність та висока вартість виготовлення, достатньо вузька область застосування.

Класичні пасивні віброопори складаються з ізолятора коливань за звичай в вигляді циліндричної, конічної, тарілчастої чи іншого виду пружини та демпфера що гасить коливання, вони мають достатньо просту та дешеву в виробництві конструкцію, що дозволяє використовувати їх для широкого спектру обладнання [4]. Принцип дії більшості віброопор пасивного типу полягає в перетворенні механічної енергії в теплову, таким чином частина потужності обладнання марно втрачається, тому підвищення енергоефективності таких віброізоляторів є актуальною проблемою.

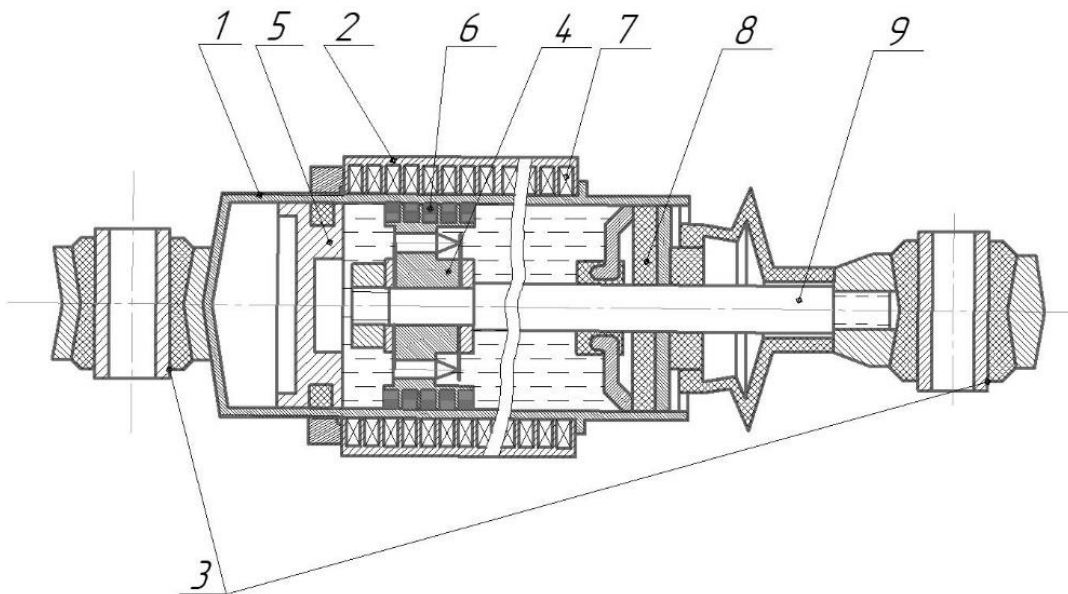


Рисунок 1 – Конструктивна схема енергоефективної віброопори

На рисунку 1 представлена конструктивна схема енергоефективної віброопори, що складається з приєднаного до фундаменту чи станини через гумово-металеву втулку 3 циліндричного корпусу 1, ззовні якого кріпиться статор 2, всередині якого розташовані обмотки 7, при цьому в корпусі 1 за допомогою штоку 9 в робочій камері, яка ущільнюється за допомогою ущільнюючого вузла-направляючої 8 і наповнена робочою рідиною та розділена з компенсаційною газонаповненою камерою розділювальним поршнем 5, рухається поршень-транслятор 4, що вмістить в собі клапани стиснення та віддачі, а також має вмонтовані кільцеві постійні магніти 6 виготовлені з магнітотвердого матеріалу – ніодим-залізо-бор і мають намагніченість по осі [5].

Відтак енергоефективна віброопора виконана у вигляді газонаповненого демпфера в'язкого тертя з вмонтованим багатополюсним електрогенератором з транслятором на постійних магнітах [6].

Під час роботи опори під час руху поршня-транслятора 4 у відповідності з законом електромагнітної індукції Фарадея частина механічної енергії буде витрачатись на створення в обмотках статора ЕРС і відповідно, генерацію електричної енергії, яка за допомогою супутнього обладнання може бути використана для живлення інших систем устаткування. Це дозволить рекуперувати частину енергії яка раніше розсіювалась в навколишнє середовище та певною мірою підвищити енергоефективність обладнання. З метою підвищення ефективності демпфувальних властивостей віброопори налаштування клапанів стиснення та відбою, що розташовані в поршні-трансляторі 4 необхідно проводити з врахуванням відбору частини потужності на створення ЕРС в магнітопроводі статора. Для запобігання ефекту магнітного залипання клапанів, необхідно виготовляти їх з немагнітних матеріалів, наприклад з титану.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ ГОСТ 26568:2009 Вібрація. Методи і засоби захисту. Класифікація
2. ДСТУ ГОСТ 25980:2009 Вібрація. Засоби захисту. Номенклатура параметрів
3. ДСТУ ISO 8042:2008. «Вимір параметрів удару і вібрації. Характеристики сейсмічних датчиків» (ISO 8042:1988, IDT)
4. ISO 2017-1:2005 «Mechanical vibration and shock — Resilient mounting systems — Part 1 Technical information to be exchanged for the application of isolation systems», IDT
5. Спеціальні сплави, РЗМ та благородні метали. Навчальний посібник / Куцова В.З., Носко О.А., Ковзель М.А. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2007. – 163 с
6. Antonio F. de O. Falcao. Wave energy utilization: A review of the technologies. - Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (2010).

**Поліщук Леонід Клавдійович**, д. т. н., проф., зав. кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leo.polishchuk@vntu.edu.ua.

**Поліщук Олександр Васильович**, к. т. н., доц., доцент кафедри педагогіки безпеки та безпеки життєдіяльності, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: polischuk@vntu.edu.ua.

**Кудраш Віталій Олександрович** – асистент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: lisovoy844@gmail.com.

## ENERGY EFFICIENT VIBRATION RESISTANT

### Abstract

*The principle of operation of various vibration resistances is considered. A variant of the design of an energy-efficient vibration support is proposed.*

**Key words:** vibration, vibration resistance, recuperation, energy.

**Polishchuk Leonid Klavdiyovych**, EngD., prof., head Department of Mechanical Engineering, VNTU, Vinnytsia, e-mail: leo.polishchuk@vntu.edu.ua.

**Polishchuk Oleksandr Vasyliovych**, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Safety Pedagogy and Life Safety, VNTU, Vinnytsia, e-mail: polischuk@vntu.edu.ua.

**Kudrash Vitaly Oleksandrovych** - assistant of the Department of Mechanical Engineering, VNTU, Vinnytsia, e-mail: lisovoy844@gmail.com.

# ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ УДАРНО-ВІБРАЦІЙНОГО ВПЛИВУ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ ГІДРАВЛІЧНИМ ІМПУЛЬСНИМ ПРИСТРОЄМ

Вінницький національний аграрний університет

## **Анотація**

*Обґрунтовано схеми віброзбуджувачів генератора імпульсу тисків.. Проаналізовано класифікацію процесів вібраційного формування за ознаками вібраційного та віброударного режимів.*

**Ключові слова:** поверхнева пластична деформація, гідроімпульс, віброзбуджувач

## **Вступ**

Надійність механічних компонентів залежить в першу чергу від їх міцності, зносостійкості, вібростійкості та жаростійкості. Ці критерії надійності механічних компонентів забезпечуються різними методами і засобами під час їх виготовлення, такими як вибір матеріалів, різні методи підвищення їх міцності і зносостійкості, такі як термічна обробка, а також обробка поверхонь компонентів і концентрацій напружень різними фізичними методами [1-5].

Впровадження сучасних методів та інструментів у розвиток машинобудування гарантує підвищення надійності та зниження витрат на виробництво компонентів і виробів в цілому.

## **Результати дослідження**

Технологія вібраційного процесу базується на використанні вібрації та віброударних пристроїв. Тобто, від джерела енергії, приводу енергоносія та системи елементів керування і розподілу енергія передається на привід генератора вібрації, який з'єднаний з виконавчою робочою ланкою та на привід допоміжної робочої ланки, яка зображена, як приклад, у вигляді пуансона - інерційної маси [1-5].

З цієї точки зору конструкція і сфера застосування вібраційного пристрою включає в себе основні елементи звичайного преса. Вібраційні та віброударні пристрої широко застосовуються в різних галузях промисловості, в тому числі і в порошковій металургії [1-].

Випробувані вібраційні пристрої часто здійснюють вузькосмугову або широкосмугову стаціонарну випадкову вібрацію. Зазвичай це робиться тоді, коли умови вібраційних випробувань об'єкта повинні бути досить близькими до випадкових впливів, яким об'єкт піддається в реальних умовах.

Залежно від технології і потреб випробувань, можуть використовуватися безударний вплив або ударно-вібраційний вплив, коли вібраційний рух інерційного елемента супроводжується безперервним ударом.

Удари можуть бути викликані самим віброзбудником або віброприводом, комбінацією пристроїв для збудження, перетворення і передачі вібрації на механічний привід, або при контакті механічного приводу з оброблюваним середовищем.

За методами збудження вібрацій розрізняють [1-5]: відцентровий; електромагнітний; електродинамічний; кінематичний; примусові гідравлічні; пневматичні.

В залежності від методів збудження приводи вібраційних технологічних машин поділяють на [1-5]: механічні; гідравлічні; пневматичні; електричні; комбіновані.

За принципом дії розрізняють віброзбуджувачі [1-5].

— з пульсатором, їх використовують при відносно низьких частотах (до 15 Гц), значних амплітудах (до 20-30 мм) та значній силі, що розвивається;

— автоколивальні, приблизний діапазон частот 15-60 Гц, можливо достатньо великі амплітуди та сили;

— відцентрові, використовують при частотах 20- 400 Гц;

— які використовують автоколивальні процеси у потоці стисненого повітря, досягають великі частоти до 2000 Гц, але амплітуди невеликі до 0,2 мм

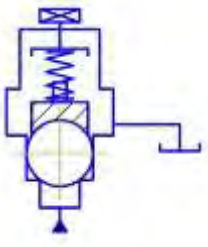
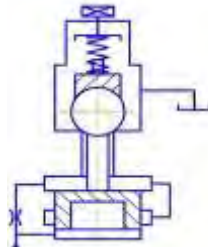
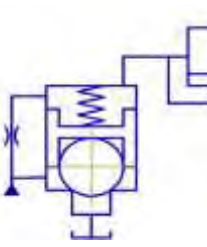

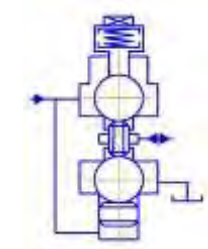
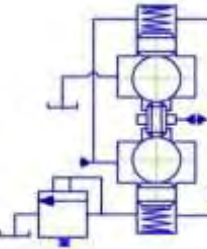
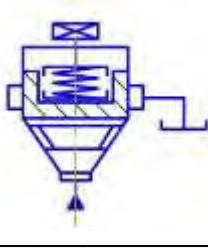
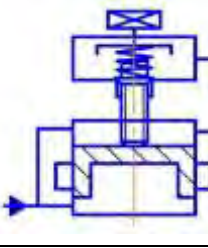
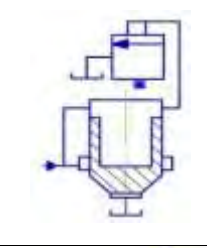
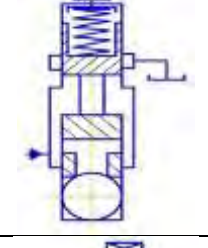

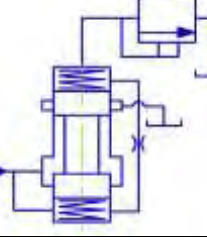
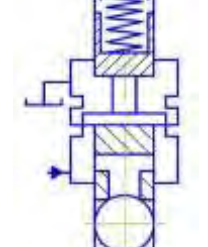
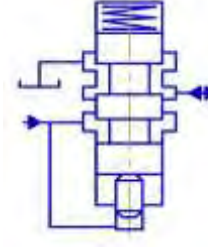
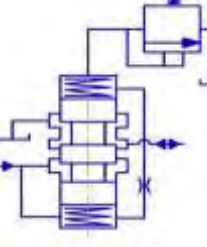
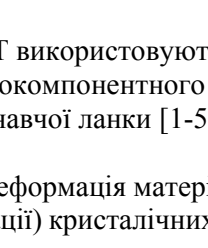
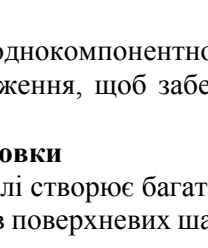
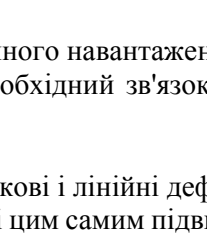
Одним з видів гідравлічних вібростендів є гідравлічний імпульсний привід (ГІП). Основним елементом гідроімпульсного приводу є генератор імпульсів тиску (ГІТ), який в технічній літературі також називають «пульсаторним клапаном» або «гідроімпульсним вібростендом».

Основними елементами ГП є гідронасос, гідроаккумулятор і генератор імпульсів тиску; залежно від способу з'єднання ГП з виконавчою ланкою вібратора його умовно поділяють на «вхідний», «вихідний» і «комбінований» [1-5].

За принципом дії номенклатура ГП поділяється на одноступінчасті, двоступінчасті та багатоступінчасті, а за типом запірних елементів - на клапанні, кульові та золотникові, схеми яких наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Схеми вібробуджувачів ГП

Вібробуджувач			Однокаскадні		Двокаскадні
			зі штовхачем	зі змінною площею	
Типи запірних елементів	Кульові	2/2			
		3/2			
	Клапанні	2/2			
		3/2			
	Золотникові	2/2			
		3/2			

Одно- та двокаскадні ГП використовуються для однокомпонентного вібраційного навантаження, а багатокаскадні для – багатоконпонентного навантаження, щоб забезпечити необхідний зв'язок між усіма переміщеннями виконавчої ланки [1-5].

#### Висновки

Поверхнева пластична деформація матеріалу деталі створює багатократні точкові і лінійні дефекти (лінійні та гвинтові дислокації) кристалічних ґраток в поверхневих шарах деталі і цим самим підвищує

опір цих шарів зношуванню та втомному руйнуванню. Поверхнево-пластичне деформаційне зміцнення поверхні деталі може реалізуватись різними способами та пристроями з механічним, пневматичним і гідравлічним приводом.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іскович-Лотоцький Р. Д., Іванчук Я. В. Підвищення ефективності розвантаження матеріалів під дією періодичних ударних імпульсів. *Вібрації в техніці і технологіях*. 2008. № 2 (51). С. 8-11.
2. Іскович-Лотоцький Р. Д., Іванчук Я. В., Дослідження динаміки процесу роботи універсального гідравлічного віброудраного приводу для розвантаження транспортних засобів. *Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»)*. 2007. № 20. С. 184-187.
3. S. Matysiak, and P. Pusz. Axisymmetric bousinesq problem for a granular hal. *Bulletin of Polish Academie of Scienes, Technical Sciences*. 1985. 33 (7/8), pp. 351-358.
4. Паладійчук Ю.Б., Телятник І.А., Типи і конструкції вібробудувачів сучасного машинобудування. *Вібрації в техніці та технології*. 2022. № 4 (107). С. 26-35.
5. D. I. Zolotarevskaya. Mathematical simulation and calculation of the soil compaction under dynamic loads. *Eurasian Soil Science*. 2011. № 44 (4), pp. 407-416.

**Телятник Інна Анатоліївна** – аспірантка спеціальності 132 Матеріалознавство, інженерно-технологічний факультет, Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, E-mail: [inna201098@gmail.com](mailto:inna201098@gmail.com)

#### ***Justification of the study of the shock-vibration influence of materials processing with a hydraulic impulse device***

##### ***Abstract***

*The schemes of vibration exciters of the pressure pulse generator are substantiated. The classification of the processes of vibration formation according to the characteristics of vibration and shock modes is analyzed.*

**Key words:** surface plastic deformation, hydropulse, vibration exciter

**Telyatnik Inna A.** - postgraduate student of specialty 132 Materials Science, Engineering and Technology Faculty, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, E-mail: [inna201098@gmail.com](mailto:inna201098@gmail.com)

## ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРООСМОТИЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДІЇ У ПРОЦЕСІ ЗНЕВОЛОЖЕННЯ ПЕКТИНОМІСТКОЇ СИРОВИНИ

Національний університет біоресурсів і природокористування України

### Анотація

*Збільшення рушійної сили процесу зневоложення пектиномісткої сировини, зокрема, бурякового жому, достатньо ефективно здійснювати шляхом проходження електричного струму через шар продукції, що попередньо ущільнюється при накладанні у зоні обробки низькочастотних коливань. Дослідження дозволили визначити основні параметри електроосмотичного ефекту в умовах однобічної дифузії за умов мінімізації енерговитрат на процес.*

**Ключові слова:** дифузійне вологовидалення, електроосмотичний ефект, параметри змінного струму, буряковий жом, пектиномістка сировина, низькочастотні коливання.

### Вступ

Значного підвищення ефективності використання бурякового жому є виробництво харчових волокон у процесах вторинної переробки сировини. Протягом останнього десятиліття були розроблені сучасні технології отримання освітлених харчових волокон з бурякового жому, які містять велику кількість пектинових речовин і можуть застосовуватися в якості добавки при виробництві широкого асортименту продуктів харчування; володіють нижчою вологоутримуючою здатністю, оскільки містять до 10 % гідратопектину. Дані властивості дозволяють використовувати бурякові харчові волокна для виробництва біологічно активних харчових добавок профілактичного харчування [1, 2], що зумовлює актуальність даних досліджень та перспективи їх розвитку. Процес зневоложення є одним із найбільш складних та енергоємних процесів переробки і харчових виробництв, що значно підвищує собівартість продукції, тому набуває актуальності пошук інноваційних технологічних та конструктивних рішень при розробці сушильних систем, зокрема, застосовуючи механічні та фізико-механічні способи обробки [1, 2].

*Метою роботи є визначення основних параметрів електричного струму за мінімальних енерговитрат процесу електроосмотичного зневоложення бурякового жому.*

### Результати дослідження

Розроблений процес зневоложення пектиномісткої сировини у вигляді бурякового жому містить послідовність наступних операцій. Вібровідцентровий електроосмотичний експериментальний зневоложувач забезпечував послідовне проведення триетапного фільтраційно-конвективного зневоложення високовологої сировини шляхом зміни технологічних впливів та параметрів. На першому етапі відбувався процес фільтраційно-конвективного сушіння у нерухомому шарі. На другому етапі приєднаний до сушильної камери механічний віброзбуджувач призводив до виникнення низькочастотних коливань у масі оброблюваної продукції. На третьому етапі було реалізовано комплекс заходів із формування, задання та автоматичного регулювання густини струмів електродів при зміні значень частоти, асиметрії та густини струмів, що дозволило прослідкувати їх вплив на час вологовидалення при мінімізації енерговитрат на процес.

Задана температура сушильного агента підтримувалась автоматично, також було можливе її оперативне регулювання за допомогою регулятора потужності. Задана частота та амплітуда вібрацій встановлювались незалежно за допомогою електронного пристрою та шляхом зміни кута установки дебалансів віброзбуджувача.

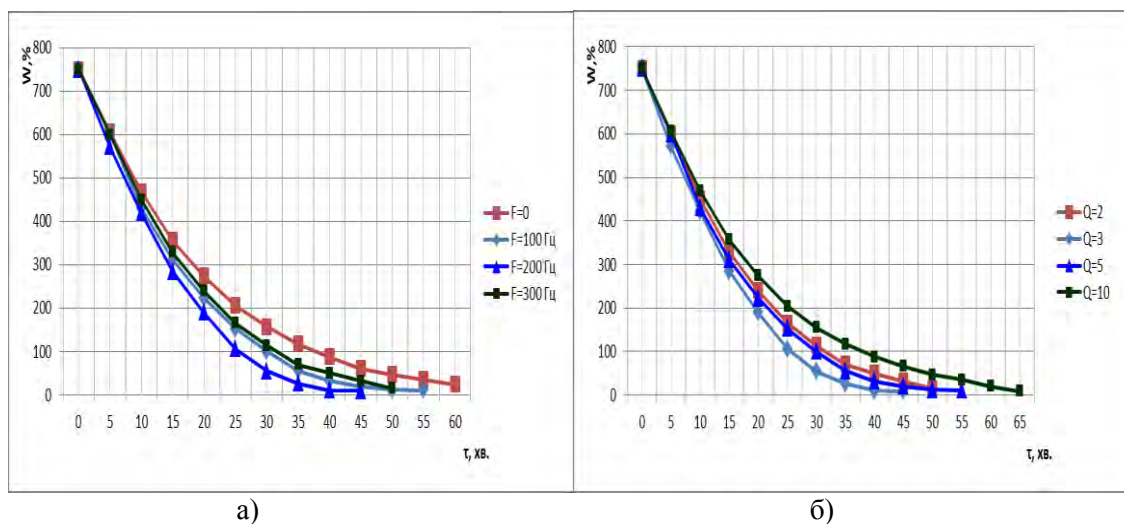


Рис. 1. Вплив частоти електричного струму (а) та шпаруватості його імпульсів (б) на кінетику сушіння пектиномісткої сировини при відносній вологості  $W_n = 720\%$ ,  $\vartheta = 3$  м/с,  $A = 4$  мм.,  $E = 80$  В/см,  $Q = 3$ ,  $k_v = 0,75$ ;  $n = 200$  Гц

Ефективними параметрами електромагнітного поля в умовах реалізації електроосмотичного ефекту, стали наступні: напруженість електричного поля  $E = 80$  В/см (рис. 1, а); частота електричного струму  $n = 300$  Гц; швидкість руху конвективного потоку сировини  $\vartheta = 3$  м/с; степінь заповнення робочої ємкості  $k_v$ ; шпаруватість імпульсів  $Q = 3$  (рис. 1, б). Варіювання комплексом вказаних електротехнічних параметрів при оцінці кінетичних параметрів досліджуваного процесу зневоложення пектиномісткої сировини дозволили оптимізувати параметри процесу за критеріями мінімізації енерговитрат.

## Висновки

Проведені дослідження дозволили визначити оптимальні параметри процесу зневоложення термолабільних матеріалів з застосуванням електроосмотичного ефекту: напруженість електричного поля  $E = 80$  В/см; частота електричного струму  $n = 300$  Гц; шпаруватість імпульсів  $Q = 3$ .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Паламарчук І. П., Липовий І. Г., Янович В. П. 2009. Розвиток конструктивних схем вібровідцентрових технологічних машин для реалізації процесів механічної обробки сільськогосподарської сировини. Вібрації в техніці та технологіях. №2(54), С. 105-115.
2. Паламарчук І. П., Цуркан О. В., Костенко О. М. Вібраційні процеси та обладнання у переробному сільськогосподарському виробництві. Вінниця: ВЦ ВНАУ, 2016. 266 с.

**Паламарчук Ігор Павлович** — професор Національного університету біоресурсів і природокористування України, e-mail: [vibroprocessing@gmail.com](mailto:vibroprocessing@gmail.com), Київ.

**Зозуляк Оксана Володимирівна** — аспірантка Національного університету біоресурсів і природокористування України, e-mail: [ksuxazoz1980@gmail.com](mailto:ksuxazoz1980@gmail.com), Київ.

## *Determination of the main parameters of the electrical-motive technological action in the process of replacement of pectin-containing raw materials*

### **Abstract**

*Increasing the driving force of the process of dehydrating pectin-containing raw materials, in particular, beet pulp, can be effectively carried out by passing an electric current through the product layer, which is previously compacted when applying low-frequency vibrations in the processing zone. The research made it possible to determine the main parameters of the electroosmotic effect in the conditions of one-way diffusion under the conditions of minimizing the energy consumption for the process.*

**Keywords:** diffusion moisture removal, electroosmotic effect, alternating current parameters, beet pulp, pectin-rich raw materials, low-frequency oscillations.

**Igor Palamarchuk P.** — Professor of National University Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, e-mail: [vibroprocessing@gmail.com](mailto:vibroprocessing@gmail.com)

**Oksana Zozuliak** — Cand. Sc. (Eng), postgraduate of National University Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, e-mail: [kupc1989@gmail.com](mailto:kupc1989@gmail.com)



## ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРООСМОТИЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДІЇ У ПРОЦЕСІ ЗНЕВОЛОЖЕННЯ ПЕКТИНОМІСТКОЇ СИРОВИНИ

Національний університет біоресурсів і природокористування України

### Анотація

*Збільшення рушійної сили процесу зневоложення пектиномісткої сировини, зокрема, бурякового жому, достатньо ефективно здійснювати шляхом проходження електричного струму через шар продукції, що попередньо ущільнюється при накладанні у зоні обробки низькочастотних коливань. Дослідження дозволили визначити основні параметри електроосмотичного ефекту в умовах однічної дифузії за умов мінімізації енерговитрат на процес.*

**Ключові слова:** дифузійне вологовидалення, електроосмотичний ефект, параметри змінного струму, буряковий жом, пектиномістка сировина, низькочастотні коливання.

### Вступ

Значного підвищення ефективності використання бурякового жому є виробництво харчових волокон у процесах вторинної переробки сировини. Протягом останнього десятиріччя були розроблені сучасні технології отримання освітлених харчових волокон з бурякового жому, які містять велику кількість пектинових речовин і можуть застосовуватися в якості добавки при виробництві широкого асортименту продуктів харчування; володіють нижчою вологоутримуючою здатністю, оскільки містять до 10 % гідратопектину. Дані властивості дозволяють використовувати бурякові харчові волокна для виробництва біологічно активних харчових добавок профілактичного харчування [1, 2], що зумовлює актуальність даних досліджень та перспективи їх розвитку. Процес зневоложення є одним із найбільш складних та енергоємних процесів переробки і харчових виробництв, що значно підвищує собівартість продукції, тому набуває актуальності пошук інноваційних технологічних та конструктивних рішень при розробці сушильних систем, зокрема, застосовуючи механічні та фізико-механічні способи обробки [1, 2].

*Метою роботи є визначення основних параметрів електричного струму за мінімальних енерговитрат процесу електроосмотичного зневоложення бурякового жому.*

### Результати дослідження

Розроблений процес зневоложення пектиномісткої сировини у вигляді бурякового жому містить послідовність наступних операцій. Вібровідцентровий електроосмотичний експериментальний зневоложувач забезпечував послідовне проведення триетапного фільтраційно-конвективного зневоложення високовологої сировини шляхом зміни технологічних впливів та параметрів. На першому етапі відбувався процес фільтраційно-конвективного сушіння у нерухомому шарі. На другому етапі приєднаний до сушильної камери механічний віброзбуджувач призводив до виникнення низькочастотних коливань у масі оброблюваної продукції. На третьому етапі було реалізовано комплекс заходів із формування, задання та автоматичного регулювання густини струмів електродів при зміні значень частоти, асиметрії та густини струмів, що дозволило прослідкувати їх вплив на час вологовидалення при мінімізації енерговитрат на процес.

Задана температура сушильного агента підтримувалась автоматично, також було можливе її оперативне регулювання за допомогою регулятора потужності. Задана частота та амплітуда вібрацій встановлювались незалежно за допомогою електронного пристрою та шляхом зміни кута установки дебалансів віброзбуджувача.

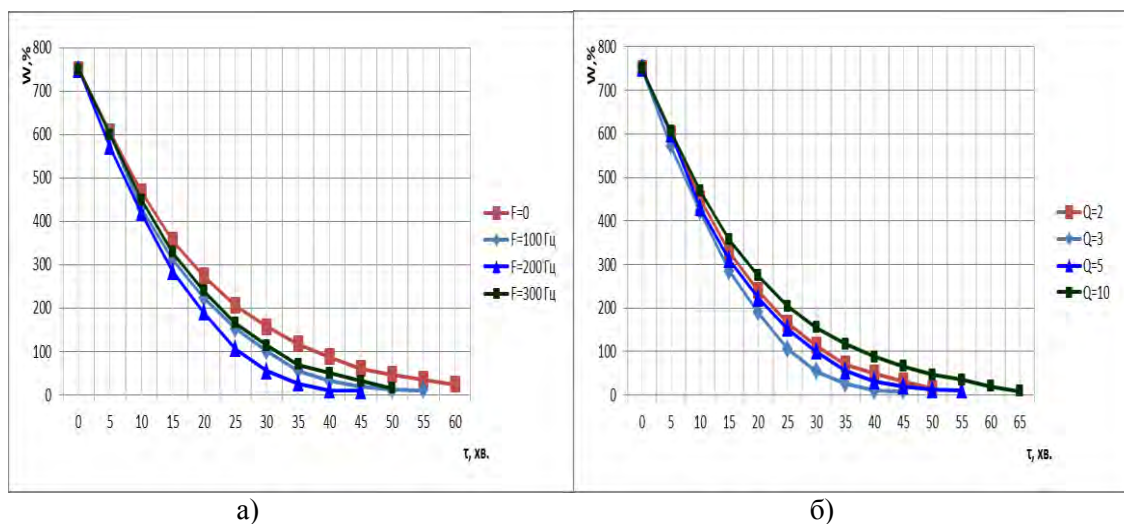


Рис. 1. Вплив частоти електричного струму (а) та шпаруватості його імпульсів (б) на кінетику сушіння пектиномісткої сировини при відносній вологості  $W_n = 720\%$ ,  $\vartheta = 3$  м/с,  $A = 4$  мм.,  $E = 80$  В/см,  $Q = 3$ ,  $k_v = 0,75$ ;  $n = 200$  Гц

Ефективними параметрами електромагнітного поля в умовах реалізації електроосмотичного ефекту, стали наступні: напруженість електричного поля  $E = 80$  В/см (рис. 1, а); частота електричного струму  $n = 300$  Гц; швидкість руху конвективного потоку сировини  $\vartheta = 3$  м/с; степінь заповнення робочої ємкості  $k_v$ ; шпаруватість імпульсів  $Q = 3$  (рис. 1, б). Варіювання комплексом вказаних електротехнічних параметрів при оцінці кінетичних параметрів досліджуваного процесу зневоложення пектиномісткої сировини дозволили оптимізувати параметри процесу за критеріями мінімізації енерговитрат.

#### Висновки

Проведені дослідження дозволили визначити оптимальні параметри процесу зневоложення термолабільних матеріалів з застосуванням електроосмотичного ефекту: напруженість електричного поля  $E = 80$  В/см; частота електричного струму  $n = 300$  Гц; шпаруватість імпульсів  $Q = 3$ .

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Паламарчук І. П., Липовий І. Г., Янович В. П. 2009. Розвиток конструктивних схем вібровідцентрових технологічних машин для реалізації процесів механічної обробки сільськогосподарської сировини. Вібрації в техніці та технологіях. №2(54), С. 105-115.
2. Паламарчук І. П., Цуркан О. В., Костенко О. М. Вібраційні процеси та обладнання у переробному сільськогосподарському виробництві. Вінниця: ВЦ ВНАУ, 2016. 266 с.

**Паламарчук Ігор Павлович** — професор Національного університету біоресурсів і природокористування України, e-mail: [vibroprocessing@gmail.com](mailto:vibroprocessing@gmail.com), Київ.

**Зозуляк Оксана Володимирівна** — аспірантка Національного університету біоресурсів і природокористування України, e-mail: [ksuxazoz1980@gmail.com](mailto:ksuxazoz1980@gmail.com), Київ.

#### *Determination of the main parameters of the electrical-motive technological action in the process of replacement of pectin-containing raw materials*

##### **Abstract**

*Increasing the driving force of the process of dehydrating pectin-containing raw materials, in particular, beet pulp, can be effectively carried out by passing an electric current through the product layer, which is previously compacted when applying low-frequency vibrations in the processing zone. The research made it possible to determine the main parameters of the electroosmotic effect in the conditions of one-way diffusion under the conditions of minimizing the energy consumption for the process.*

**Keywords:** diffusion moisture removal, electroosmotic effect, alternating current parameters, beet pulp, pectin-rich raw materials, low-frequency oscillations.

**Igor Palamarchuk P.** — Professor of National University Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, e-mail: [vibroprocessing@gmail.com](mailto:vibroprocessing@gmail.com)

**Oksana Zozuliak** — Cand. Sc. (Eng), postgraduate of National University Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, e-mail: [kupc1989@gmail.com](mailto:kupc1989@gmail.com)

## УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ІМПУЛЬСІВ ВИСОКОГО ТИСКУ ПРИ ІН'ЄКТУВАННІ РІДИН В ҐРУНТОВІ ОСНОВИ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Устаткування призначене для застосування у спеціальних технологічних процесах, зокрема, для імпульсного нагнітання методом ін'єктування під високим тиском рідинних скріпних сумішей в ґрунтові основи, які підлягають підсиленню. Устаткування містить привідну гідросистему із імпульсним блоком керування, який налаштований на періодичне відкриття-закриття зв'язку напірної гідролінії, що виконана з можливістю подачі робочої рідини, і з'єднання її із зливною гідромагістраллю. Напірна гідролінія сполучена з гідроциліндром, який містить робочу порожнину з рухомим плунжером, який здійснює періодичні зворотно-поступальні рухи. В гідросистему устаткування також введено резервуар для подачі технологічного розчину, сполучений з розчинонасосом та компресором.*

**Ключові слова:** гідроприводне устаткування; імпульсне нагнітання; рідинні скріпні суміші; ін'єктування; імпульсний блок керування; робоча рідина; технологічний розчин; рухомий плунжер; розчинонасос; компресор

### **Annotation**

*The drive equipment is intended for application in special technological processes, in particular, for pulse injection by a method of injection under high pressure pressure of liquid fastening mixes in soil bases which are subject to strengthening. The equipment includes a drive hydraulic system with a pulse control unit, which is configured to periodically open-close the connection of the pressure hydraulic line, which is made with the possibility of supplying the working fluid, and connect it with the drain highway. The pressure hydraulic line is connected to a hydraulic cylinder, which contains a working cavity with a movable plunger, which performs periodic reciprocating movements. A tank for supplying process solution connected to a mortar pump and a compressor has also been introduced into the hydraulic system of the equipment.*

**Key words:** hydraulic equipment; pulse injection; liquid fastening mixes; injection; pulse control unit; working fluid; technological solution; movable plunger, mortar pump; compressor

### **Вступ**

Досліджуване гідроприводне устаткування належить до будівництва та може бути використане для імпульсного нагнітання під високим тиском твердіючих рідинних скріпних сумішей та анкерування тріщин гірських порід, ґрунтів основ фундаментів, залізобетонних, бетонних та кам'яних конструкцій з метою їх зміцнення. Відомі конструктивні рішення ряду ін'єкторів, але їм властива відносно мала продуктивність, невисока надійність, недостатня проникність технологічного розчину у товщу ґрунтових основ і відповідно заповненість пор і щілин у ґрунті, що суттєво знижує несучу здатність та міцність основ.

### **Результати дослідження**

В основу розробленого в НДІ гідродинаміки ВНТУ устаткування поставлена задача застосування технології імпульсного ін'єктування під високим тиском розчинів скріпних сумішей, в якому за рахунок введення нових конструктивних елементів та зв'язків між ними досягається підвищення продуктивності та надійності пристрою, а також підвищується його ефективність, знижується трудомісткість процесу та підвищується мобільність і забезпечується якісне ін'єктування, що гарантує підвищену несучу здатність основ [1-4, 7, 8].

Устаткування для імпульсного ін'єктування під високим тиском скріпних рідинних сумішей містить привідну гідросистему із імпульсним блоком керування, який налаштований на періодичне відкриття-закриття зв'язку напірної гідролінії, що служить для подачі робочої рідини, і з'єднання її із зливною гідро магістраллю. Напірна гідролінія сполучена з гідроциліндром, який містить робочу порожнину, до якої під'єднано резервуар для подачі технологічного розчину, що сполучений з розчинонасосом та компресором, і по трубопроводу з'єднаний з технологічною камерою, яка містить рухомий плунжер та по трубопроводу сполучена з пористим ґрунтовим матеріалом основи, в якому розташований ін'єктор з перфорованими отворами.

На рисунку показана конструктивна схема гідроприводного експериментального устаткування для імпульсного ін'єктування рідинних сумішей [5, 6]. До складу устаткування входять: привідна гідросистема 8 із імпульсним блоком керування 9, який налаштований на періодичне відкриття-закриття зв'язку напірної гідролінії, яка служить для подачі робочої рідини, і з'єднання її із зливною гідромагістраллю. Напірна гідролінія сполучена з гідроциліндром 13, який містить робочу порожнину 4, а також резервуар для подачі технологічного розчину 1, що сполучений з розчинонасосом 3 та компресором 10, і по трубопроводу 2 з'єднаний з технологічною камерою 5, в якій розташований рухомий плунжер 6 та по трубопроводу 12 вона сполучена з резервуаром 7, що заповнений пористим ґрунтовим матеріалом, в якому розташований ін'єктор 11 з перфорованими отворами. Устаткування для імпульсного ін'єктування сумішей працює так. При включенні електродвигуна приводу розчинонасоса 3 скріпний розчин під заданим тиском по трубопроводу заповнює резервуар для подачі технологічного розчину 1, звідки під дією сили тиску стисненого повітря, що нагнітається компресором 10 здійснюється витиснення скріпного розчину через зворотній клапан по трубопроводу 2 в технологічну камеру 5, а далі через інший зворотній клапан, що встановлений у трубопроводі 12, до внутрішньої порожнини ін'єктора 11 та у пори і тріщини у ґрунтового масиву – пористого ґрунтового матеріалу, яким заповнюється резервуар 7.

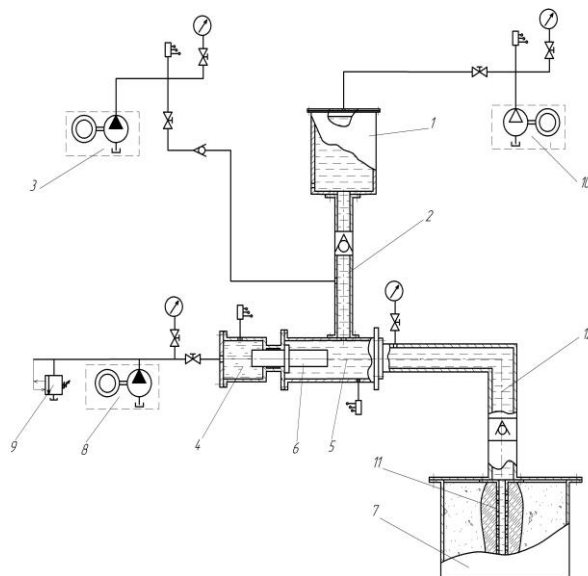


Рисунок – Принципова схема експериментального стенду

При включенні привідної гідросистеми 8 робоча рідина надходить під тиском робочу порожнину 4 гідроциліндра 13. Тиск робочої рідини починає зростати до певного критичного значення, на яке налаштоване спрацювання імпульсного блока керування 9, і під дією сили тиску робочої рідини на ефективну площу плунжера 6 останній починає переміщуватися вправо, 5 створюючи додаткове навантаження на об'єм скріпного розчину у технологічній камері 5, виштовхуючи при цьому додаткову порцію скріпної рідини по трубопроводу 12 і через ін'єктор 11 у ґрунтовий масив. При досягненні заданого критичного значення тиску робочої рідини робочі порожнини 4 відбувається спрацювання імпульсного блока керування 9, тиск робочої рідини в привідній гідросистемі 8 падає до зливного і робоча рідина видаляється на злив. Надалі додаткові періодично повторювані

навантаження – силові гідравлічні імпульси на статичне навантаження при ін'єктуванні скріпної суміші повторюються в автоматичному режимі.

## Висновки

Проведені експериментальні дослідження підтвердили гіпотезу, щодо збільшення глибини проникнення розчину із застосуванням гідроімпульсного ін'єкційного устаткування, яке дозволяє створювати додаткову пульсацію на стаціонарний потік рідинних скріпних розчинів. Експериментальний зразок гідроприводної установки для підсилення несучих ґрунтових основ споруд показав достатню працездатність і можливість регулювання параметрів устаткування (величини тиску та частоти повторюваності пульсацій скріпного розчину, об'єму розчину, що викидається за один імпульс), вплив яких досліджувався при теоретичних дослідженнях.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Dupla J.-C. Injectability properties of sands by fine cement grouts/ J.-C. Dupla & J. Canou, D. Gouvenot// Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka. Rotterdam : Millpress, 2005. – Vol.3 – P.1181-1185.

2. Зінкевич А. М. Модифіковані цементні композиції для ремонту залізобетонних конструкцій методом ін'єктування: дис... канд. техн. наук: 05.23.05 / Придніпровська держ. академія будівництва та архітектури. - Д., 2004. –184 с.

3. Губій М.М., Ахмеднабієв Р. М.. Проектування ремонту й підсилення будівель та споруд із застосуванням сучасних матеріалів і технологій: навч. посібник / – Харків : Тимченко, 2007. – 192 с.

4. Губашова, В. Є. Обґрунтування раціональних технологічних параметрів струменевої цементації в складних геотехнічних умовах : дис. ... канд. техн. наук : 05.15.09 – геотехнічна і гірнична механіка / Губашова Валентина Євгенівна. – Вінниця, 2021. – 193 с.

5. Патент на корисну модель № 63266, МПК<sub>8</sub> E02D 3/12, E21B 43/20, E21D 20/00. Установка для нагнітання будівельних розчинів в ґрунтовий масив / Коц І.В., Бадьора Н.П.; заявник та власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201100502; заявл. 17.01.2011; опубл. 10.10.2011. Бюл. № 19.

6. Патент на корисну модель № 92360, МПК<sub>8</sub> E02D 5/46. Устаткування для імпульсного ін'єктування сумішей / Коц І.В., Бадьора Н.П., Колесник О.П.; заявник та власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201402945; заявл. 23.03.2014; опубл. 11.08.2014. - Бюл. №15.

7. Гамеляк І.П., І.В. Коц І.В., Бадьора Н.П. Ремонт дорожнього та аеродромного одягу з використанням гідроімпульсного ін'єкційного устаткування / Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги та дорожнє будівництво» – №85. –2012.– С. 59-65.

8. Коц І.В. Дослідження процесу імпульсного підсилення несучих основ споруд при ін'єкційному закріпленні ґрунтових масивів / І.В. Коц, Н.П. Бадьора // Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013. – № 1. – С. 72-76.

**Коц Іван Васильович**, кандидат технічних наук, професор кафедри інженерних систем у будівництві, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Email: ivan.kots.2014@gmail.com

**Kots Ivan V.**, PhD, Professor, Department of Engineering Systems in Construction, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Email: ivan.kots.2014@gmail.com

**Горюн Олег Олегович**, аспірант кафедри інженерних систем у будівництві, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Email: olezhkagor94@gmail.com

**Horyun Oleg O.**, graduate student of the Department of Engineering Systems in Construction, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Email: olezhkagor94@gmail.com

## INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR OBTAINING GRANULATED ORGANIC-MINERAL FERTILIZERS

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

### **Abstract**

*The method of implementing hydrodynamic interaction in the gas–liquid–solid system using the fluidization technique for the production of granulated organic-mineral fertilizers is substantiated. The results of experimental studies, which confirm the effectiveness of the application of inhomogeneous jet-pulsating mode of fluidization with the provision of high intensity of diffusion-controlled systems in the dehydration and granulation of liquid heterogeneous systems are presented.*

**Keywords:** granulation, dehydration, organic-mineral fertilizers, inhomogeneous fluidization, jet-pulsating mode.

### **Introduction**

Even in the conditions of martial law, Ukraine showed its significant contribution to combating the world food crisis, which was deepened by the actions of Russia – the aggressor country.

In modern conditions, the rhythmic functioning of the agro-industrial sector will allow not only to increase the food security of Ukraine, but also contribute to the recovery of other branches of the state's economy.

The fulfillment of these tasks is related to the implementation of complex measures to preserve soil fertility. One of the effective methods of solving this problem is the use of granulated humic-organic-mineral fertilizers of the new generation with a given ratio of nutrients and stimulating substances, which are determined by the agrarian-climatic and ecological conditions of the region of their usage. The main problem is the creation of an energy-efficient technology for the production of a new generation of complex granulated organic-mineral fertilizers of goal direction. In world practice to obtain a granular product from liquid systems in one stage is used the fluidization technique with a heat utilization ratio of more than 50%. An important role in such processes associated with the dehydration of liquid systems containing more than 50% solvent is played by the hydrodynamics of the fluidized bed. This is usually a homogeneous fluidization (gushing mode). However, in both the first and second cases, the problem of intensification of diffusion-controlled processes and effective renewal of the interphase surface of heat and mass exchange in the main zones of the apparatus (irrigation, heating and relaxation) is not solved.

The aim of the work is to substantiate the method of hydrodynamic interaction in the soil–liquid–solid system during the process of granulation of the new generation organic-mineral fertilizers in a fluidized bed granulator.

### **Results and discussion**

The authors [1] proposed a method of dehydration and granulation of heterogeneous liquid systems using inhomogeneous fluidization.

The peculiarity of the method is that the porosity of the fluidized bed is determined relative to the initial volume of the bed (*absrkp*), Fig. 1, by zones *I*, *II* and *III*. It is obvious that at the velocity of the coolant in slits of the gas distributing device (GDD), which practically ensures the absence of stagnant zones on the working surface, the porosity in the zones will be  $\varepsilon_{III(\min)} > \varepsilon_{II(\min)} > \varepsilon_I = \varepsilon_0$ , which is related to the peculiarities of the formation of gas jets.



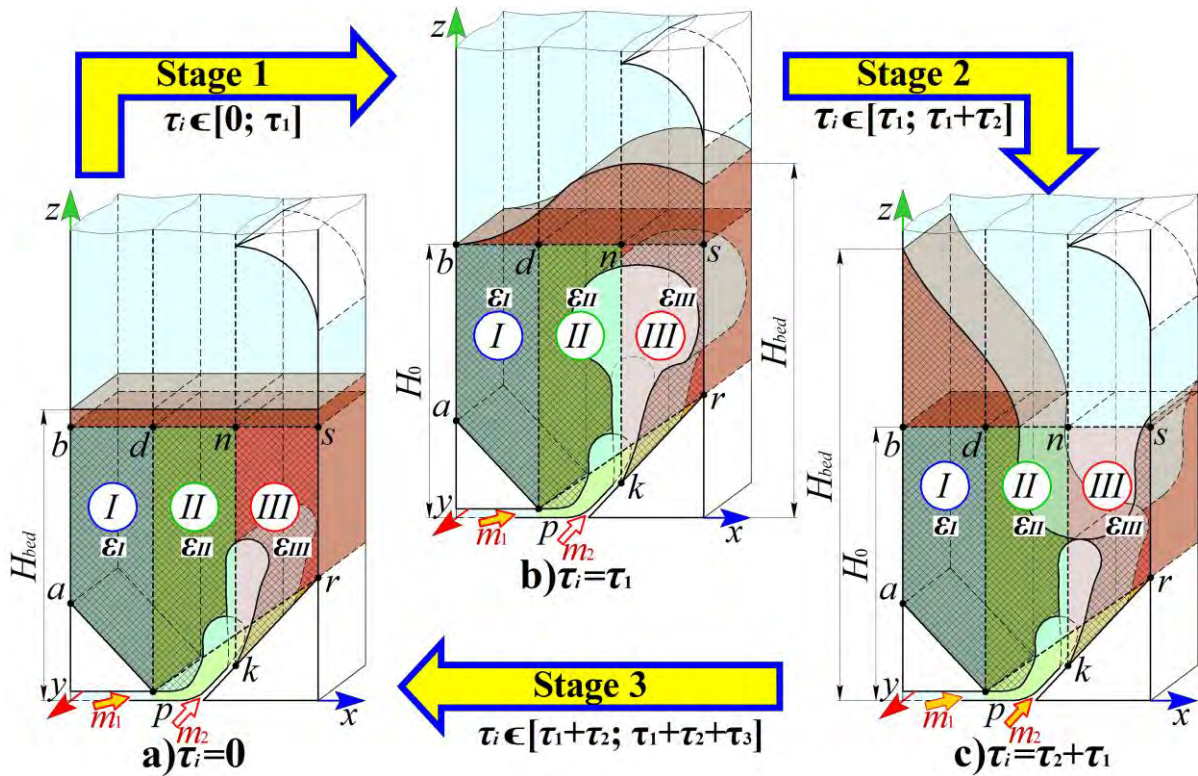


Fig. 1. Physical model of inhomogeneous jet-pulsating fluidization in self-oscillating mode

At the first stage of the cycle (induction period) during time  $\tau_1$  at the height  $z_f + \Delta$ , a gas bubble is formed and reaching its critical size, Fig. 1 b. The second stage ( $\tau_2$ ) is the pulsating ejection of a significant mass of granular material from zones III and II into the space above the initial bed and its movement to zone I, Fig. 1 c, with one or more bubbles, until the residual height of granular material in zone III is  $H_{residual(III)} \leq z_f + \Delta$ . Then there is an intensive movement of the bed of granular material from the space above the bed of zone I into the formed voids in zones II and III and the system returns to the initial state of equilibrium, Fig. 1 a, with countercurrent movement of solid and gas phases (stage 3) – ( $\tau_3$ ). That is, the duration of one cycle of pulsations is, s:  $\tau_{cycle} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$ .

This hydrodynamic mode of fluidization is characterized by a non-linear change in the height of the bed up to  $(1.7 \div 2.0)H_0$  in zone I and the inhomogeneity of its porosity (in a fixed volume  $absrpkp$ ), which in zone I remains constant  $\varepsilon_I = \varepsilon_0 = 0.4$ , and in zones II and III can change cyclically from  $\varepsilon_{II(\min)}$  to  $\varepsilon_{II(\max)} = 1.5\varepsilon_0$  and from  $\varepsilon_{III(\min)}$  to  $\varepsilon_{III(\max)} = 2\varepsilon_0$ .

It was experimentally established [2-7] that in the apparatus with a fluidized bed, in which an inhomogeneous jet-pulsating self-oscillating mode with a cyclic impulsive ejection of solids into the space above the initial bed is realized, more than 45% of the mass of the bed with a frequency of  $f = 1.47 \div 3.3$  Hz and its active return to the initial volume.

The use of inhomogeneous jet-pulsating fluidization in self-oscillating mode during the dehydrating of liquid systems containing sunflower ash, ammonium sulfate and humic substances ensures stable kinetics of the process with a granulation coefficient of  $\psi \geq 90\%$  and confirms the moisture removal intensity of at least 1.5 times more than in the bubbling mode with simultaneous provision of the absence of melting zones on the gas distributing device surfaces at the temperature of the liquefying agent at the inlet  $T_{inlet} = 230^\circ\text{C}$ .

The obtained granulated organic-mineral fertilizer has a spherical shape and a layered microstructure, thanks to which is achieved a uniform distribution of nutrients throughout the volume of the granule: K (21.5%), N (9%), Ca (3.2%), S (13.8%) in the presence of impurities Mg (3.2%) and P (1.8%) with a given amount of humic substances H.S. (1.5%). The strength of the granules is  $\sigma = 11 \div 16$  N per granule, which is 1.1  $\div$  1.6 times higher than the current standard. The research results can be used to develop the principles of innovative technology for the production of organic-mineral fertilizers of the new generation from domestic raw materials.

## Conclusions

It is established that the use of an inhomogeneous jet-pulsating fluidization in the self-oscillating mode during the granulation of organic-mineral fertilizers allows to increase the intensity of diffusion-controlled processes and ensures the production of a granulated product with the desired properties at the granulation coefficient  $\psi \geq 90\%$ .

## REFERENCES

1. Корнієнко Я. М. Гранульовані гуміново-органомінеральні добрива. Спосіб одержання / Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай, О. В. Мартинюк, А. М. Любека // Хімічна промисловість України. – 2015. – №1. – С. 44-48.
2. Kornienko Y. Kinetic laws of the process of obtaining complex humic-organic-mineral fertilizers in the fluidized bed granulator / Y. Kornienko, S. Hayday, A. Liubeka, O. Martynyuk // Ukrainian Food Journal. – 2016. – Vol. 5. – Issue 1. – PP. 144-154.
3. Korniyenko Y. Modelling of pulsating mode of fluidization when obtaining organic-mineral fertilizers / Y. Korniyenko, S. Haidai, A. Liubeka, S. Turko, O. Martynyuk // Ukrainian Food Journal. – 2016. – Vol. 5. – Issue 4. – PP. 781-794.
4. Kornienko Y. Non-uniform fluidization in auto-oscillating mode / Y. Kornienko, S. Haidai // Ukrainian Food Journal. – 2017. – Vol. 6. – Issue 3. – PP. 562-576.
5. Yaroslav M. Kornienko. Increasing of the Heat and Mass Transfer Processes Efficiency with the Application of Non-Uniform Fluidization / Yaroslav M. Kornienko, Serhii S. Haidai, Roman V. Sachok, Andrii M. Liubeka and Bogdan Y. Kornienko // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – APRIL 2020. – №7. – Vol. 15. – PP. 890-900. DOI: 10.24263/2304-974X-2019-8-1-13.
6. Korniyenko B. Conditions of Non-uniform Fluidization in an Auto-oscillating Mode / Bogdan Korniyenko, Yaroslav Kornienko, Serhii Haidai, Andrii Liubeka, and Serhii Hulienko // Advances in Computer Science for Engineering and Manufacturing. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer. – 2022. – Vol. 463. – Pp. 14-27. DOI: 10.1007/978-3-031-03877-8\_2.
7. Korniyenko B. The Heat Exchange in the Process of Granulation with Non-uniform Fluidization / Bogdan Korniyenko, Yaroslav Kornienko, Serhii Haidai, and Andrii Liubeka // Advances in Computer Science for Engineering and Manufacturing. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer. – 2022. – Vol. 463. – Pp. 28-37. DOI: 10.1007/978-3-031-03877-8\_3.

**Kornienko Yaroslav Mykytovych** — Dr. of Technical Sc., Professor of the Department of Machines and Apparatus of Chemical and Oil Refining Industry, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv.

**Haidai Serhii Serhiiovych** — Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Machines and Apparatus of Chemical and Oil Refining Industry, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, e-mail: [ssgaidai@gmail.com](mailto:ssgaidai@gmail.com).

## ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОДЕРЖАННЯ ГРАНУЛЬОВАНИХ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ГУМІНОВИХ ДОБРІВ

### Анотація

Обґрунтовано спосіб реалізації гідродинамічної взаємодії в системі газ-рідина-тверде тіло при застосуванні техніки псевдозрідження для одержання гранульованих органічно-мінеральних добрив. Наведено результати експериментальних досліджень, які підтверджують ефективність застосування неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження із забезпеченням високої інтенсивності дифузійно-контрольованих систем при зневодненні та грануляції рідких гетерогенних систем.

**Ключові слова:** грануляція, зневоднення, органічно-мінеральні добрива, неоднорідне псевдозрідження, струменево-пульсаційний режим.

**Корнієнко Ярослав Микитович** — д.т.н., професор кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ.

**Гайдай Сергій Сергійович** — к.т.н., старший викладач кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: [ssgaidai@gmail.com](mailto:ssgaidai@gmail.com).



## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ ГІДРОПРИВОДУ ДИСКРЕТНОЇ ДІЇ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»

### Анотація

*На основі побудованої математичної моделі гідроприводу з дискретним керуванням, яка враховує двосторонній рух штоку несиметричного гідроциліндра, пружні властивості рідини та нелінійну зміну сили тертя, проведено імітаційний аналіз. Результати моделювання дозволили визначити допустиму швидкість руху штоку та значення пікового тиску для різних умов експлуатації та інерційних навантажень, що може бути використано при налаштування гідроприводу та в процесі проектування.*

**Ключові слова:** гідропривід дискретної дії, математична модель, допустима швидкість штока, максимальний піковий тиск, процес гальмування.

### Вступ

Дискретні гідравлічні приводи є найбільш поширеними у гідрофікованому обладнанні та машинах різного призначення. Типовий привід містить гідравлічний циліндр та золотниковий розподільник дискретної дії, який забезпечує керування рухом штоку в двох напрямках. Можливість налаштування швидкості забезпечується додатково встановленими дроселями або регуляторами витрати. Такі приводи можуть використовуватись для позиціонування в широкому діапазоні переміщень і швидкостей. При цьому зупинка штоку в заданій позиції в межах його ходу забезпечується переключенням розподільника в нейтральне положення по команді при досягненні заданої позиції. Однак, при потенційних можливостях таких приводів працювати на швидкостях до 2-х і більше м/с, робочі швидкості є відносно малими, до 0.3 м/с [1] і вони обмежуються малокерованими процесами при гальмуванні.

Для забезпечення можливості керування цими процесами використовують профілювання кромки золотника розподільника або заміну дискретних на пропорційні або слідкуючі розподільники, але їх вартість є значно вищою. Тому, задача створення удосконалених позиційних приводів на основі дискретних розподільників є актуальною.

Метою роботи є розширення діапазону ефективного застосування гідравлічного приводу з дискретним керуванням для заданих параметрів приводу та енергетичної установки.

### Результати дослідження

Задача вирішувалась шляхом побудови математичної моделі гідроприводу з дискретним керуванням та моделювання процесів для заданого діапазону змін експлуатаційних характеристик.

Особливостями застосованої математичної моделі є те, що вона враховує двосторонній рух асиметричного гідроциліндра та нелінійну зміну сили тертя під час руху штока. Математичний опис нелінійної сили тертя ґрунтується на моделі LuGre [2]. Ця модель не тільки імітує стаціонарні характеристики тертя, але й майже всі її динамічні прояви.

Методика дослідження полягала у постановці і проведенні модельних експериментів для привода з заданими параметрами. Задавались значення переміщення золотника і інерційної маси рухомих частин гідропривода. Контролювались стабільна швидкість штока, час гальмування при зупинці штока та максимальний піковий тиск.

Отримані результати, наприклад (рис.1), представляють кількісний взаємозв'язок між швидкістю, з якої починається процес гальмування, величиною інерційної маси рухомих частин та максимальним піковим тиском в порожнині гідроциліндра. Це дозволяє визначити діапазон робочих швидкостей та інерційних навантажень на привід, які не призводять до небажаних

величин тисків при гальмуванні. Користуючись залежностями часу гальмування від швидкості і інерційної маси також може бути встановлений період дії збільшеного тиску, який є важливим при розрахунках приводу на міцність.

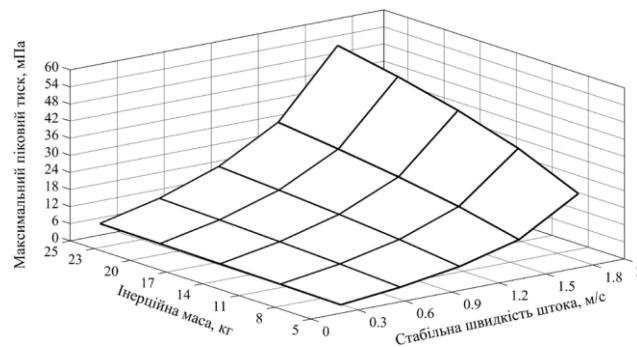


Рис. 1. Графічна залежність максимального пікового тиску при гальмуванні зі стабільної швидкості штоку та заданій інерційній масі

## Висновки

Для заданих параметрів гідроприводу з дискретним керуванням визначено кількісний взаємозв'язок між допустимою швидкістю, максимальним тиском в гідросистемі, періодом його дії та величиною інерційного навантаження. Отримані результати можуть бути використані для попередніх проектних розрахунків гідроприводів, а також для прогнозування потрібних налаштувань дросельних елементів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Yaşın, Z. (2011, August). Study on a new adjustable hydraulic positioning system. In 2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC) (pp. 519-523). IEEE.
2. Johanaström, K., & Canudas-De-Wit, C. (2008). Revisiting the LuGre friction model. IEEE Control Systems Magazine, 28(6), 101-114.

**Лі Цян** — аспірант, навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, e-mail: Li.Qiang0708@outlook.com

**Узунів Олександр Васильович** — доктор технічних наук, професор кафедри прикладної гідроаеромеханіки і мехатроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, e-mail: uzua@i.ua

### *Study on braking process of discrete hydraulic actuator*

#### **Abstract**

*Considering the bidirectional motion of asymmetric hydraulic cylinder, the elastic properties of the fluid and the nonlinear variation of friction force, a mathematical model of discrete hydraulic actuator was established and simulated. The results of the modelling can determine the permissible motion velocity of the rod and the peak pressure values under various operating conditions and inertial loads, and such results can be used in the setup of the hydraulic actuator and its design process.*

**Keywords:** discrete hydraulic actuator, mathematical model, permissible rod velocity, maximum peak pressure, braking process.

**Li Qiang** — Department of Fluid Mechanics and Mechatronics, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, email : Li.Qiang0708@outlook.com

**Uzunov Oleksandr V.** — Dr. Sc. (Eng), Professor of Department of Fluid Mechanics and Mechatronics, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, email : uzua@i.ua

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОПРИВОДУ МОБІЛЬНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*В роботі розглянуто гідравлічний привод мобільної машини для виконання вантажних та розвантажувальних операцій. Розроблено математичну модель та проведені дослідження перехідних процесів. Результати дослідження дозволять встановити вплив конструктивних параметрів на характеристики роботи запропонованого гідравлічного приводу.*

**Ключові слова:** мобільна машина, гідропривод, вантажно-розвантажувальні роботи, характеристики роботи, математична модель.

### Вступ

Мобільні машини є поширеним видом обладнання в різноманітних галузях промисловості. Вони, зокрема, використовуються для виконання робіт з вантажами, це різноманітні навантажувачі, та розвантажувачі, крано-маніпуляторні установки тощо. Застосування для таких мобільних машин гідроприводу є досить поширеним явищем, оскільки саме даний вид приводу є досить потужним та дозволяє забезпечити виконання робочих операцій з порівняно великими навантаженнями [1].

На сьогодні гідроприводи розглядуваних мобільних машин оснащуються в основному дискретними розподільними елементами, регулювання швидкості руху в багатьох випадках є однонаправленим там не може бути швидко змінене при виконанні робочих операцій у відповідності до особливостей виконання робочих операцій. Зазвичай це досягається за рахунок застосування дросельних елементів з ручним регулюванням пропускної можливості дроселів та додатково встановлених некеро-ваних зворотних клапанів.

Неможливість змінювати площі робочих вікон дросельних елементів, різна швидкість руху при зміні її напрямку та дискретність керування суттєво звужують функціональні можливості мобільної машини та можуть призводити до погіршення якості виконання робочих операцій.

Метою роботи є проведення досліджень особливостей та характеристик роботи запропонованого гідравлічного приводу для мобільної машини, що виконує навантажувальні та розвантажувальні роботи.

### Результати дослідження

До одних із основних вимог, що висувуються до приводів даних машин є забезпечення керованості вантажу та стійкість його положення під час виконання маніпуляцій. Зокрема, це зумовлює високі вимоги до герметичності порожнин гідроциліндрів під час утримання вантажу [1].

Авторами робіт запропоновано загальну концепцію приводу, схема якого зображена на рис. 1. Вона містить лінію нагнітання 1, розподільну частину 2, герметизуючу частину 3 та гідроциліндр 4. Для регулювання швидкості переміщення застосовані пропорційні розподільчі елементи 5, при чому для покращення керованості вантажем застосовано розподільне керування потоками на вході та виході гідродвигуна, а також керовані зворотні клапани 6, які покращують герметичність порожнин робочих органів під час утримання вантажів. Таких підхід дозволяє виконувати певні робочі операції за рахунок накопиченої енергії об'єкту маніпуляцій [2].

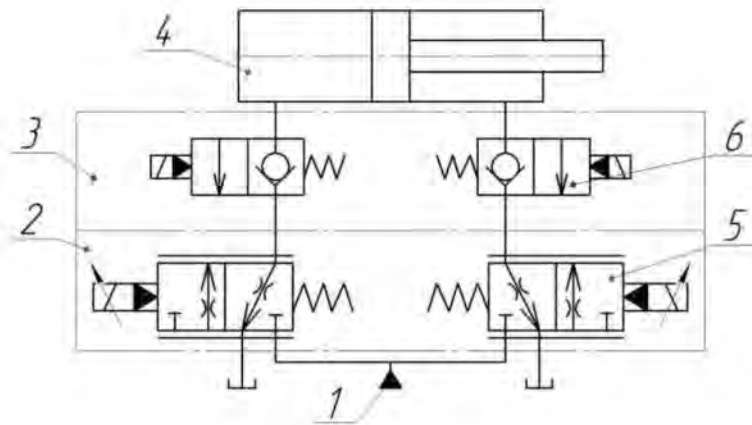


Рис. 1. Принципова гідравлічна схема

Для дослідження роботи та аналізу впливу конструктивних параметрів на характеристики було розроблено наступну розрахункову схему, на основі якої складено математичну модель для опису процесів у гідроприводі.

Обробку математичної моделі виконано за допомогою програмного пакета MatLAB Simulink.

На основі розв'язаної математичної моделі досліджувались робочі процеси в гідроприводі та визначались характеристики роботи. Зокрема в роботі проведені дослідження впливу конструктивних параметрів елементів розподільника на коливальність та час перехідного процесу та перерегулювання.

Вплив конструктивних параметрів на хід перехідного процесу представлено на рис. 2.

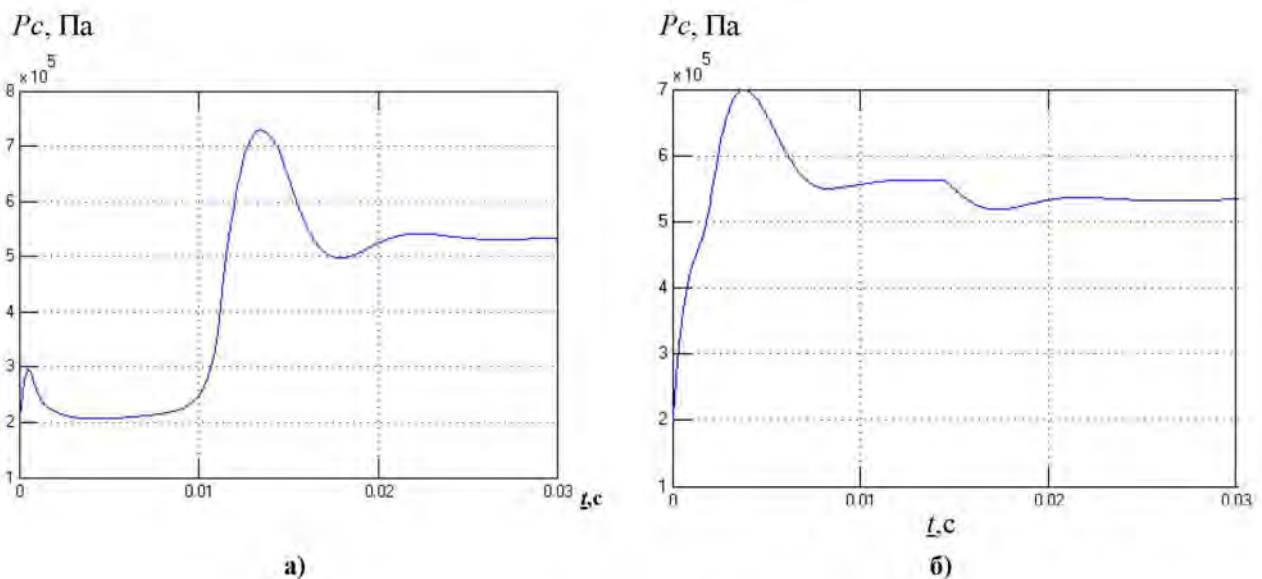


Рис. 2. Вигляд перехідного процесу тиску в порожнині гідроциліндра -  $P_c$  при попередньому стисненні пружини клапана: а) 5мм, б) 10мм

### Висновки

В роботі проведені дослідження гідроприводу мобільної машини для виконання навантажувальних та розвантажувальних операцій. Для дослідження роботи та аналізу впливу конструктивних параметрів на характеристики було розроблено розрахункову схему, на основі якої складено математичну модель для опису процесів у гідроприводі. Проведені попередні дослідження впливу конструктивних параметрів на динамічні характеристики.

В подальших роботах планується провести більш детальні дослідження, визначити ступінь впливу конструктивних параметрів на різні характеристики та визначити їх співвідношення, яке забезпечуватиме бажані характеристики роботи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лозінський Д.О. Гідропривод мобільної машини для вантажно-розвантажувальних робіт / Д.О. Лозінський, Н.Д. Бакалейник, О.І. Кавецький // Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023) м. Вінниця (вересень 2022 р.). Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2023/paper/download/16844/14035>

2. Пат. 41887 України, МПК<sup>8</sup> F15B 11/00 Гідропривід з пропорційним електрогідравлічним управлінням / Л. Г. Козлов, Д. О. Лозінський; Заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. університет.– №u200900907; заявл. 06.02.2009.; опубл. 10.06.2009, Бюл. №11.

**Кавецький Олександр Ігорович** – аспірант першого року навчання факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: kavetskiyi98@gmail.com

**Лозінський Дмитро Олександрович** — к-т техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: lozinskiy\_dmitriy@vntu.edu.ua

### *The study of the hydraulic drive of the mobile machine for loading and unloading operations*

#### **Abstract**

*The work considers the hydraulic drive of the mobile machine to perform loading and unloading operations. A mathematical model for study of processes in proposed hydraulic drive has been developed. The results of the study will determine the influence of design parameters on the characteristics of the proposed hydraulic drive.*

**Keywords:** mobile machine, hydraulic drive, loading and unloading operations, working characteristics, mathematical model.

**Kavetskiyi Oleksandr I.** – graduate student of the first year of study of the chair of technology for automation of machine engineering in Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, email:kavetskiyi98@gmail.com

**Lozinskiyi Dmytro O.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Machine-building technologies and Automation Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: lozinskiy\_dmitriy@vntu.edu.ua

## **ВИКОРИСТАННЯ БАГАТООСЬОВИХ МЕХАТРОННИХ ПРИСТРОЇВ В ПРОЦЕСАХ 3D-ДРУКУ**

Центральноукраїнський національний технічний університет.

### **Анотація**

*Запропоновано впровадження в сферу адитивних технологій принципу багатоосьового друку, яке дозволило розширити технологічні можливості 3D-друку та сфери його застосування.*

**Ключові слова:** 3D-друк, 3D-принтер, багатоосьовий друк, 5D-принтер.

### **Вступ**

Адитивні технології зараз знаходяться на піку свого розвитку, 3D-друк вже застосовується в більшості сфер нашого життя, і навіть в таких відповідальних, як авіа- так космічне будівництво, що зайвий раз доводить корисність та необхідність цієї технології. Проте, як у будь-якої «молодої» технології, в сфері 3D-друку ще залишаються проблеми, які необхідно вирішити для її оптимізації. Однією з таких проблем є неможливість друкування деталей зі складною формою без додаткової витрати матеріалу, часу, та додаткової підготовки моделі. Обраний напрям досліджень є перспективним та необхідним для подальшого розвитку

### **Результати дослідження**

Недоліки технології об'ємного друку та друкованої продукції обумовлені конструктивними особливостями обладнання, на якому відбувається друк. Звичайний 3D-принтер являє собою пристрій, який друкує в одній площині плоскими шарами, поступово накладаючи шар оди на один. Друкуюча головка при цьому орієнтована вертикально, зафіксована чітко перпендикулярно до поверхні робочого стола. По-перше, така конструктивна особливість пристрою робить не можливим друк нависаючих елементів деталі в просторі, так як матеріалу необхідно опиратись на вже існуючий надрукований елемент деталі чи підтримки. По-друге, деталь, надрукована з плоских шарів, має низьку міжшарову міцність, яка знижує здатність деталі сприймати навантаження [1].

Такі спостереження підтверджують дослідження та поява нових прототипів кінематики пристроїв 3D-друку. Наприклад на деякі нові моделі принтерів вже встановлюють приводи перемищення друкуючої головки під кутом 45°, таким чином отримавши доступ до площини друку, в якій друк нависаючих конструктивних елементів є можливим без ускладнень. Така компоновка вирішує частину проблем, проте дає не повний доступ до поверхонь деталі, тож деякі нависаючі елементи надрукувати без підтримки не вийде. Також міжшарова міцність таких деталей буде такою ж низькою.

Більш інноваційним прототипом кінематики пристроїв об'ємного друку є так званий роторний 3D-принтер, за конструктивними особливостями та кінематикою схожий на токарний верстат [3]. Такий принтер дає змогу друкувати деталі типу тіла обертання зі складною зовнішньою поверхнею без зайвих витрат матеріалу, та навіть утворюючи каркас деталі – просторову сітку шарів. Такі деталі будуть міцніші, краще сприйматимуть навантаження на розтяг вздовж вісі. Недоліком такого обладнання є неможливість друку деталей інших типів, наприклад корпусів, які повинні мати цілісну структуру – тобто обладнання має вузьку спеціалізацію друку тіл обертання. Деталь друкується на «роторі» - трубі, яка обертається навколо своєї вісі, тож готова деталь обов'язково матиме отвір посередині.

Прототип принтера RotBot є модифікацією Prusa, відмінність якого заключається в можливості повороту друкуючої головки, встановленої під кутом 45°, навколо своєї осі [2]. Така компоновка має ряд суттєвих переваг: також дозволяє друкувати без підтримок використовуючи



просторові шари, але має і недоліки. Найголовніший – необхідність додаткової підготовки моделі до друку за рахунок викривлення її геометрії.

Вирішенням даної проблеми є варіант оснащення 3D-принтера додатковими модулями, такими як механізм нахилу друкуючої головки та механізму повороту столу, які дозволятимуть довільно змінювати кут нахилу друкуючої головки в діапазоні 90° та обертати модель навколо своєї осі, таким чином отримавши доступ друкуючої головки до необхідних поверхонь в тих площинах, в яких друк елементів не викликати ускладнень.

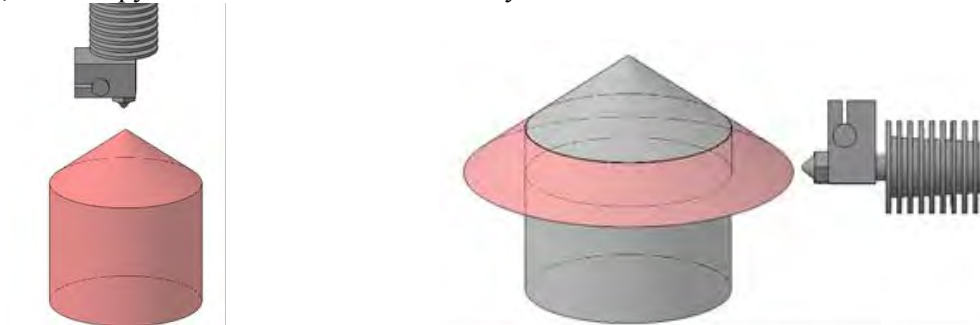


Рис.1 – Візуалізація принципу друку деталі на багатоосьовому 3D-принтері.

Така компоновка є більш технологічною та універсальною, ніж перелічені вище варіанти кінематики, так як дозволяє друкувати деталі і з плоских шарів в площині XY, і друкувати складні деталі в режимі 5-осьового друку, залежно від потреб.

### Висновки

Встановлено, що запропонований тип кінематики принтера дозволяє суттєво підвищити технологічність отримання деталей методом 3D-друку, розширити сфери його застосування за рахунок покращення експлуатаційних характеристик отриманих деталей.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Michał Bembenek, Wojciech Gazda, Михайлюк, В. В., Рудейченко О. О., Дейнега Р. О. Аналіз можливості вдосконалення 3d-друку обертових елементів методом FDM. [Текст] / Michał Bembenek, Wojciech Gazda, Михайлюк, В. В., Рудейченко О. О., Дейнега Р. О. // Науковий вісник ІФНТУНГ. 2022. № 1. С 73 – 80.
2. The rotbot: 4-axis non-planar 3d printing. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cnckitchen.com/blog/the-rotbot-4-axis-non-planar-3d-printing>.
3. Jackson O'Connell. 3D-Rotoprinter: What Is It? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://all3dp.com/2/rotoprinter-rotary-3d-printer-simply-explained>.

**Завгородній Богдан Миколайович** — аспірант кафедри машинобудування, мехатроніки і робототехніки, Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, e-mail: [soffiwhite@gmail.com](mailto:soffiwhite@gmail.com)

**Кириченко Андрій Миколайович** — докт. техн. наук, професор кафедри машинобудування, мехатроніки і робототехніки, Центральноукраїнський національний технічний університет.

### *Use of multi-axis mechatronic devices in 3d printing processes*

#### **Abstract**

*The introduction of the principle of multi-axis printing into the field of additive technologies, which made it possible to expand the technological capabilities of 3D printing and its application areas.*

**Keywords:** 3D printing, 3D printer, multi-axis printing, 5D printer.

**Zavgorodnii Bogdan M.** — Department of metal cutting machines and systems, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, email : [soffiwhite@gmail.com](mailto:soffiwhite@gmail.com)

**Kyrychenko Andrii M.** — Doctor of Engineering, Professor of department of metal cutting machines and systems, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi

## АНАЛІЗ СПОСОБІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДЕКІЛЬКОХ ГІДРОЦИЛІНДРІВ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

### Анотація

Визначено основні фактори, що впливають на синхронність роботи декількох робочих ланок гідравлічних установок. Розглянуто найпоширеніші способи синхронізації декількох гідроциліндрів. Для кожного з розглянутих способів встановлено їх основні переваги та недоліки.

**Ключові слова:** синхронізація, гідроциліндр, регульований дросель, дільник потоку, регулятор потоку, пропорційний клапан, зворотний зв'язок.

### Вступ

На сучасному етапі технологічного розвитку складність та функціональні можливості механізмів стрімко ростуть. Часто при проектуванні різноманітних гідравлічних установок та механізмів виникає потреба у синхронній роботі декількох рухомих ланок. Синхронізація руху таких ланок полягає в узгодженості в часі їхніх переміщень, швидкостей, прискорень і т.д.

Основними факторами, що впливають на синхронність робочих ланок гідравлічних установок є:

- величина робочого навантаження та його характер;
- сили тертя в механічних та гідравлічних частинах привода;
- коливань швидкості потоку та величини тиску в гідросистемі;
- величина швидкості, переміщення, прискорення робочих рухів;
- величина зазорів чи люфтів в механічних з'єднаннях та компонентах, що з'єднують циліндри;
- точності системи управління;
- в'язкості робочої рідини, її здатність до стиснення та наявність в ній повітря;
- умов роботи та факторів навколишнього середовища (температура, вологість, забрудненість та ін.) [1, 2, 3].

Метою роботи є аналіз існуючих способів синхронізації декількох гідравлічних циліндрів, який дасть змогу побачити найбільш ефективні з них і визначити їх основні переваги та недоліки для подальшого дослідження.

### Основна частина

Аналіз способів синхронізації декількох гідроциліндрів передбачає огляд різних факторів, таких як точність, складність управління, вартість, масштабованість і пристосованість до різних застосувань [4, 5, 6, 7].

Найпростішим способом синхронізації гідроциліндрів є використання регульованих дроселів, при якому необхідна швидкість руху гідроциліндрів забезпечується регулюванням витрат робочої рідини. Змінюючи площі робочих вікна дроселів у певних співвідношеннях можна досягти необхідних відношень у швидкостях переміщення гідроциліндрів.

Перевагами даного способу є: простота, дешевизна, надійність, гнучкість використання, а також можливість незалежного контролю швидкості кожного гідроциліндра.

Недоліками є: невисока точність синхронізації, чутливість до змін параметрів системи, відсутність зворотного зв'язку, до того ж таким способом важко компенсувати значну різницю у швидкості.

Більш точним способом синхронізації є використання дільників та регуляторів потоку рідини. Регулятор потоку рідини розділяє гідравлічний потік від насоса на кілька потоків, кожен з яких направляється до окремого гідроциліндра. При цьому він забезпечує рівну або



пропорційну швидкість потоку до кожного гідроциліндра, залежно від типу використовуваного розподільника потоку. Рівний або пропорційний потік до кожного гідроциліндра гарантує, що вони рухаються з однаковою швидкістю. Така синхронізація досягається шляхом підтримання постійної швидкості потоку в усіх гідроциліндрах, незалежно від змін навантаження або тиску. Дільники потоку можуть працювати за різними принципами, наприклад, за допомогою золотникових клапанів, редукторів або електронного управління. Вони бувають різних конфігурацій, в тому числі вбудовані або змонтовані на колекторі, і можуть мати регульоване або фіксоване співвідношення розподілу. Деякі дільники потоку дозволяють регулювати коефіцієнт розподілу, що дозволяє точно налаштувати синхронізацію. Регулюючи дільник потоку можна оптимізувати розподіл потоку відповідно до конкретних вимог застосування.

Переваги регуляторів потоку в тому, що вони: розділяють гідравлічний потік на декілька, забезпечують рівний або пропорційний потік до кожного гідроциліндра, можуть пристосовуватися до змін навантаження.

Недоліки: адаптивність до змін навантаження і вимог потоку є досить обмеженою, для точного налаштування можуть потребувати додаткових компонентів і регулювання, важко досягти точності синхронізації в динамічних умовах.

Найвищу точність синхронізації можна досягти використовуючи пропорційні клапани зі зворотнім зв'язком. Пропорційний клапан призначений для модуляції потоку або тиску гідравлічної рідини в безперервному і змінному режимі. Він використовує електричні або електронні вхідні сигнали для регулювання положення клапана, яке, в свою чергу, контролює витрату або тиск. У пропорційному клапані зі зворотним зв'язком датчик положення або тиску інтегрований в клапан або підключений до приводу. Цей датчик безперервно вимірює фактичне положення чи тиск клапана або приводу і надає інформацію зворотного зв'язку. Сигнал зворотного зв'язку порівнюється з еталонним або заданим сигналом, який представляє бажане положення або тиск. Контролер (як правило, електронний) обчислює похибку між сигналом зворотного зв'язку та заданим значенням і відповідно коригує вхідний сигнал на пропорційний клапан. Інформація зворотного зв'язку дозволяє контролеру здійснювати точне регулювання положення клапана, забезпечуючи точний контроль потоку або тиску. Контролер безперервно відстежує і регулює положення клапана, щоб звести до мінімуму будь-яке відхилення від бажаного заданого значення.

Перевагами пропорційного клапану зі зворотнім зв'язком є: висока точність синхронізації, висока швидкість реагування, компенсація коливань, замкнутий цикл управління.

До недоліків можна віднести: високу вартість системи, додаткова складність при проектуванні та встановленні системи, додаткове обслуговування системи керування та необхідність періодичного калібрування датчиків.

### **Висновки**

За результатами проведеного аналізу виявлено, що точність синхронізації в гідросистемах залежить від багатьох параметрів самої системи, дії зовнішніх впливів та вибраного способу синхронізації, кожен з яких має цілий ряд переваг та недоліків. Проте жоден із існуючих способів не здатний забезпечити абсолютну точність синхронізації руху декількох гідроциліндрів. Тому, є необхідність подальшого дослідження даного процесу.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Гавриленко, О. М., 2019. Проблеми синхронізації двигунів в гідравлічному агрегаті. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету, 2(19), pp.103-109.
2. Kozlov L. Optimization of design parameters of the counterbalance valve for the front-end loader hydraulic drive / L. Kozlov, Yu. Burennikov, O. Piontkevych, O. Paslavskia // Proceedings of 22nd International Scientific Conference «MECHANIKA 2017». – Kaunas University of Technology, Lithuania, 19 May 2017. – P. 195 – 200.
3. Піонткевич О. В. Математична модель гідроприводу фронтального навантажувача з гальмівним клапаном / О. В. Піонткевич. – Вінниця : Вісник машинобудування та транспорту, 2015. – №2. – С. 83 – 90.
4. Буренніков Ю. А. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: навчальний посібник / Ю. А. Буренніков, І. А. Немировський, Л. Г. Козлов. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 273 с.
5. Возняк Л. В., Гімер П. Р., Мердух М. І., Паневник О. В., Гідравліка: навчальний посібник – Івано-Франківськ: ФНТУНГ, 2012. – 327 с.

6. Федорець В. О. Гідроприводи та гідро- пневмоавтоматика: підручник / В. О. Федорець та ін. Київ: Вища школа, 1995. 464 с.

7. Polishchuk L. Dynamics of adaptive drive of mobile machine belt conveyor / L. Polishchuk, O. Piontkevych // Proceedings of 22nd International Scientific Conference «МЕХАНІКА 2017». – Kaunas University of Technology, Lithuania, 19 May 2017. – P. 307 – 311.

**Перепелиця В'ячеслав Ігорович** – аспірант кафедри «Технологій та автоматизації машинобудування», Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: pvi\_92@ukr.net.

**Козлов Леонід Геннадійович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Технологій та автоматизації машинобудування», Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: osna2030@gmail.com.

## ANALYSIS OF WAYS TO SYNCHRONISE MULTIPLE HYDRAULIC CYLINDERS

### Abstract

*The main factors influencing the synchronisation of several working links of hydraulic installations are determined. The most common methods of synchronising several hydraulic cylinders are considered. For each of the considered methods, their main advantages and disadvantages are determined.*

**Keywords:** synchronisation, hydraulic cylinder, adjustable throttle, flow divider, flow regulator, proportional valve, feedback.

**Perepelitsya Vyacheslav Ihorovich** - PHD student of the department of «Machine-building technology and Automation», Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: pvi\_92@ukr.net.

**Kozlov Leonid Gennadiiovych** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osna2030@gmail.com

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРОСИСТЕМИ З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ НАСОСА

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Створено експериментальний стенд на основі регульованого насоса з електрогідравлічним регулятором для дослідження роботи гідросистеми в статичних і динамічних режимах з фіксацією багатьох параметрів.

**Ключові слова:** гідравлічна система; пропорційне керування; контролер; програма керування.

Виробники мобільних робочих машин, дорожньо-будівельних машин або стаціонарних робочих платформ, які обладнані гідравлічними системами, прагнуть до переходу від гідромеханічних систем до електрогідравлічних. Оскільки такий перехід дозволяється значно підвищити продуктивність та ефективність роботи гідросистеми [1].

Одним із найбільш значних удосконалень у конструкції гідросистем є використання сучасної пропорційної гідроапаратури та електроніки для узгодження роботи систем та агрегатів [2].

При розробці і впровадженні нових типів гідросистем значне місце займають експериментальні дослідження та випробування.

У Вінницькому національному технічному університеті створено експериментальний стенд для дослідження роботи гідросистеми з сучасною гідроапаратурою та випробування її у різних режимах роботи, схема якого зображена на рис. 1.

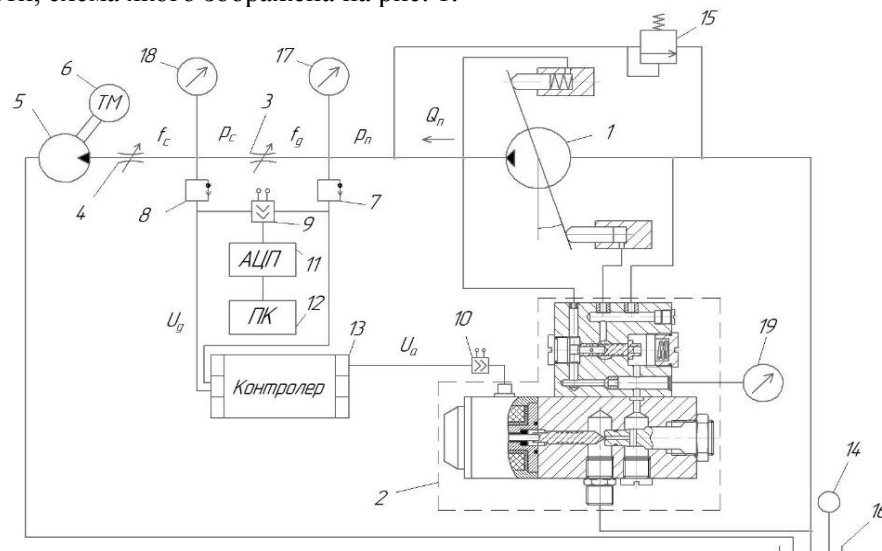


Рис. 1. Схема експериментального стенда

Експериментальний стенд складається з регульованого насоса 1, електрогідравлічного регулятора 2, дроселів 3 та 4, гідромотора 5 з тахометром 6, датчиків тиску 7 та 8, підсилювачів 9 та 10, аналого-цифрового перетворювача (АЦП) 11, персонального комп'ютера (ПК) 12, контролера 13, датчика температури 14, запобіжного клапана 15, бака 16, манометрів 17, 18, 19.

Електрогідравлічний регулятор складається з таких основних елементів: електромагніта 1, блока 2 з сервоклапаном 3 та блока 4 з золотником 5. Фото електрогідравлічного регулятора представлено на рис. 2.

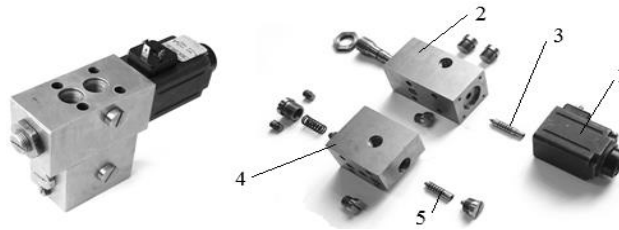


Рис. 2. Фото електрогідравлічного регулятора

На експериментальному стенді реалізована можливість проводити дослідження гідросистеми з фіксацією наступних параметрів в статичних і динамічних режимах роботи:

1. величина подачі  $Q_n$  насоса 1 визначається площею  $f_g$  дроселя 3;
2. величина тисків  $p_c$  та  $p_n$  на виході насоса 1 визначається площею  $f_c$  дроселя 4 ;
3. залежність значень тиску  $p_c$  та  $p_n$  при ступінчастій зміні значень налаштування дроселя 4;
4. залежність подачі  $Q_n$  насоса 1 від значень тиску  $p_c$  при різноманітних програмах керування регулятором 2;
5. величина подачі  $Q_n$  насоса 1 в гідросистему за допомогою гідромотора 5 з тахометром 6;
6. запис осцилограм робочого процесу за допомогою АЦП/ЦАП;
7. величина тиску в гідролініях за допомогою датчиків тиску Nagano ADZ-SML 20.0;

Технічна характеристика стенда: номінальна подача насоса -  $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ; номінальний тиск насоса – 16 МПа; діапазон регулювання подачі насоса –  $(0,05 \dots 1,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ; АЦП 14біт/200КГц; тонкість фільтрації – 15 мкм; точність вимірювання тиску -  $\pm 1,5\%$ ; точність вимірювання частоти гідромотора -  $\pm 1,0\%$ ; точність вимірювання напруги -  $\pm 0,5\%$ ; точність вимірювання струму -  $\pm 0,5\%$ ; точність вимірювання температури -  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Єременко, Р. О., Бадах, В. М. Перспективи і проблеми створення гідравлічного привода за допомогою адитивних технологій. Матеріали науково-технічної конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці», (26), (2021), 337–340. Режим доступу: <http://conf.pgm.kpi.ua/proc/article/view/240905>.
2. Volodymyr V. Bogachuk, Leonid H. Kozlov, Artem O. Tovkach, Valerii M. Badakh, Taras V. Tarasenko, Yevhenii O. Kobylanskyi, Zbigniew Omiotek, Gauhar Borankulova, Aigul Tungatarova «Influence of electrohydraulic controller parameters on the dynamic characteristics of a hydrosystem with adjustable pump», Collective Monograph: “Mechatronic Systems 1: Applications in Transport, Logistics, Diagnostics, and Control, pp. 267–278”, 1st Edition // Leonid K. Polischuk, Waldemar Wojcik. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book, 2021 – 420 P.

**Товкач Артем Олегович** – інженер кафедри ТАМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [TovkachAO@gmail.com](mailto:TovkachAO@gmail.com)

**Ковальчук Вадим Анатолійович** – інженер кафедри ТАМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [Vadkovalchuk@gmail.com](mailto:Vadkovalchuk@gmail.com)

**Козлов Леонід Геннадійович** – д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри ТАМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [Osna2030@gmail.com](mailto:Osna2030@gmail.com)

#### EXPERIMENTAL STAND FOR DETERMINING CHARACTERISTICS OF HYDRAULIC SYSTEM WITH ELECTROHYDRAULIC PUMP REGULATOR

##### Abstract

*An experimental stand based on an adjustable pump with an electro-hydraulic regulator was created to study the operation of the hydraulic system in static and dynamic modes with the fixation of many parameters.*

**Keywords:** *hydraulic system; proportional control; controller; management program.*

**Tovkach Artem O.** – Engineer of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [TovkachAO@gmail.com](mailto:TovkachAO@gmail.com)

**Kovalchuk Vadym A.** – Engineer of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [Vadkovalchuk@gmail.com](mailto:Vadkovalchuk@gmail.com)

**Kozlov Leonid G.** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [osna2030@gmail.com](mailto:osna2030@gmail.com)

## МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ОБ'ЄКТІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

Донбаська державна машинобудівна академія

**Анотація.** На підставі системного підходу і умов перетворень енергетичних потоків, що діють в процесах, які супроводжують життєвий цикл виробів машинобудування, сформульовані умови досягнення оптимальних за їх корисною дією показників. Показано, яким чином пов'язані між собою енергетичні, матеріальні і інформаційні складові опису об'єктів машинобудування, якщо головним стає саме корисна дія витрат енергії, яку потребує будь який процес життєвого циклу.

**Ключові слова:** система, діагностика, оптимізація, життєвий цикл, машинобудування, моделювання, технологічний процес.

В роботі показано, що проблема постійного інноваційного поліпшення технологічних процесів залишається відкритою і є необхідність переходу від традиційно вирішуваних завдань аналізу та опису об'єктів на основі емпіричних даних до синтезу технологічних процесів, що вимагає системного підходу, заснованого на використанні найбільш загальних закономірностей взаємодії технологічних факторів та показників процесів. Саме системний підхід є основою практично всіх найбільш фундаментальних розробок у вдосконаленні та оптимізації технологічних процесів та технологічних систем, в яких технологічний процес слід розглядати як складну систему перетворення вхідних параметрів у вихідні, що мають ознаки випадкових величин. Обґрунтовано, що і сьогодні можна стверджувати про відсутність надійних методів прогнозування експлуатаційних властивостей та залишкового ресурсу елементів конструкцій та машин у зв'язку з недостатньою вивченістю механізму пошкодження матеріалів та необхідності аналізу і оптимізації технологічного процесу обробки як стохастичного.

Додано, що у загальному вигляді об'єкт моделювання технологічної системи являє собою комплекс структурно-упорядкованих елементів-потоків: матеріального  $M$ , енергетичного  $E$  та інформаційного  $I$ . Зв'язки характеризують відносини між зазначеними потоками системи, коли виходи одних входять інших. Впливи характеризують причину цілеспрямованого перетворення матеріального, енергетичного і інформаційного потоків. Цілеспрямована зміна характеристик потоків є перетвореннями в технологічній системі. Функції трьох основних елементів технологічних систем розподіляються так:  $E$ -впливає;  $M$ -передає (пасивна функція) або змінює зміст (активна функція);  $I$ - характеризує або описує вплив і функцію.

Оскільки енергетичні витрати приводу технологічної машини (наприклад - металорізального верстата) залежать від навантаження, що визначається витратами енергії на формоутворення та супутні йому процеси, то особливості протікання процесів - обробки диктують вимоги до кількості енергетичного потоку, "вводиться" в технологічну систему і формують характер зміни енергетичного потоку в галузі варіювання технологічних режимів. На рис.1 показано структурну схему технологічної системи з внутрішнім зворотним зв'язком по енергетичному потоку.

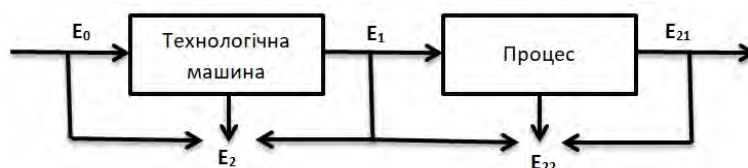


Рисунок 1 - Структурна схема технологічної системи з внутрішніми перетворюваннями енергетичного потоку.

Показник  $\Delta$  може оперативно характеризувати очікуваний результат обробки: умови оптимальної зміни якості технологічних процесів, які формують показники якості поверхневого шару робочих поверхонь деталі, його зміцнення, умови формування мінімальних залишкових напружень в поверхневому шару деталі і т.ін.

Загальна умова досягнення екстремального показника ефективності перетворення потоків ресурсів може бути визначена, як це наведено у виразі (1).

$$\Delta_{1k,0}(t) = \frac{E_{1k}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_k(t)]}{E_0[x_1(t), x_2(t), \dots, x_k(t)]} - \frac{\frac{\partial E_{1k}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_k(t)]}{\partial x_i(t)}}{\frac{\partial E_0[x_1(t), x_2(t), \dots, x_k(t)]}{\partial x_i(t)}} \rightarrow 0 \quad (1)$$

Доведено, що базова модель відображає мінімально можливі перетворення, матеріального потоку  $M$ , що характеризується інформацією  $I$  під впливом енергетичного потоку  $E_0$  з інформаційним змістом. В результаті перетворень формується матеріальний шток з характеристикою  $M_1$ , а також "втрати" технологічного процесу у вигляді потоків енергетичних витрат  $E_2$  та  $E_{21}$  з інформаційним змістом  $I_2$  та  $I_{21}$  відповідно. "Втрати"  $E_2$  можуть залежати, наприклад, від якості технологічної машини (від її коефіцієнта корисної дії, що залежить, у свою чергу, і від величини  $E_0$ ), а непродуктивні витрати  $E_{21}$  - від якості технологічного процесу (наприклад, від витрат - енергії на безпосередній знос металорізального інструменту або від інтенсивності відведення тепла засобами охолодження зони різання при токарній обробці).

Аналогічно розкривається зміст наступних етапів виробничого процесу, експлуатації і утилізації виробів машинобудування.

**Ковалевський Сергій Вадимович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Інноваційних технологій і управління Донбаської державної машинобудівної академії, м.Краматорськ, [kovalevskii61@gmail.com](mailto:kovalevskii61@gmail.com);

**Ковалевська Олена Сергіївна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Обробки металів тиском Донбаської державної машинобудівної академії, м.Краматорськ, [olenakovalevskaya@gmail.com](mailto:olenakovalevskaya@gmail.com);

**Сидюк Дар'я Миколаївна**, аспірантка Донбаської державної машинобудівної академії, м.Краматорськ, [sidyukdarija@gmail.com](mailto:sidyukdarija@gmail.com).

## MODEL OF OPTIMIZATION OF THE LIFE CYCLE PROCESSES OF MECHANICAL BUILDING OBJECTS

**Abstract.** *Based on the system approach and the conditions for the transformation of energy flows operating in the processes that accompany the life cycle of engineering products, the conditions for achieving the optimal performance indicators are formulated. It is shown how the energy, material and informational components of the description of engineering objects are interconnected, if the main thing is the beneficial effect of energy consumption, which is needed by any life cycle process.*

**Keywords:** *system, diagnostics, optimization, life cycle, mechanical engineering, modeling, technological process.*

**Kovalevskyy Sergiy**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Innovative Technologies and Management of the Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, [kovalevskii61@gmail.com](mailto:kovalevskii61@gmail.com);

**Kovalevska Olena**, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Metal Pressure Processing of the Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, [olenakovalevskaya@gmail.com](mailto:olenakovalevskaya@gmail.com);

**Sydiuk Daria**, graduate student of the Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, [sidyukdarija@gmail.com](mailto:sidyukdarija@gmail.com).

## НЕЧІТКИЙ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР РОБОТИЗОВАНИХ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, ОПТИМАЛЬНИХ ЗА ЕДЖВОРТОМ-ПАРЕТО

Державний університет «Житомирська політехніка»

### Анотація

Описано новий підхід щодо нечіткого багатокритеріального вибору роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ). Вхідними даними-альтернативами вибору оптимальних за Еджвортом-Парето РМСТ є кінцева множина результатів нечіткого багатокритеріального вибору (НБВ) РМСТ, які отримані на основі оригінальних підходів, розроблених авторами за результатами попередньо проведеного строгого експертного ранжування проявів (складових) РМСТ, які в свою чергу є елементами дискретної множини локальних критеріїв (ДМЛК) вибору.

**Ключові слова:** нечіткий багатокритеріальний вибір, альтернатива, роботизована механоскладальна технологія, оптимізація, критерій.

### Вступ

В основу розв'язування багатокритеріальних задач на прикладі вибору РМСТ покладено відомий метод багатокритеріальної оптимізації, що виконується на кінцевій множині отриманих рішень. Останні є результатами використання оригінальних авторських методик. Вказане є особливістю запропонованого тут підходу вибору оптимальних за Еджвортом-Парето [1] РМСТ. В такій постановці задача вибору РМСТ раніше не розв'язувалась.

Метою роботи є підвищення ефективності технологічної підготовки (ТПг) роботизованих механоскладальних виробництв (РМСВ) машино- та приладобудування за рахунок нового підходу щодо вибору РМСТ з використанням Еджворта-Парето оптимізації.

### Результати дослідження

Початковими даними для розв'язування задачі НБВ оптимальних за Еджвортом-Парето РМСТ як задачі векторної оптимізації є отримані рішення розв'язування задач НБВ для різних випадків, а саме: квазі-кращого випадку (QBMS) [2], серединного (MMS) (процедури вибору базуються на таких серединних параметрах як медіана (MMS:M), середньоарифметичне (MMS:A), середньоквадратичне (MMS:S), середньогерметричне (MMS:G)) та для найгіршого випадку (WMS) [3]. Відповідні параметри для вказаних випадків визначені за результатами попередньо проведеного строгого експертного анкетування на множині експертів  $E=(E_i|i=1, \dots, n)$  та ДМЛК, елементами якої є прояви РМСТ, тобто множини локальних критеріїв  $S=(S_j|j=1, \dots, m)$ . Сутність розв'язування даної задачі вибору РМСТ зводиться до реалізації нижче наведеної методично обумовленої послідовності обчислювальних процедур  $(\varphi_i|i=1, \dots, n_\varphi)$  загальною їх кількістю  $n_\varphi$ , що є біективним відображенням вхідних альтернатив  $(S^{k_{<j>}} \rightarrow S^{k_{(j)}})$  на Еджворта-Парето-множину  $S^{p_{(j)}}$  з наступним вибором оптимальної за Еджворта-Парето альтернативи  $S^{p^*_{<j>}}$  як такої, що є домінуючою на множині вхідних альтернатив  $S^{k_{<j>}}$ :

$$(\varphi=(\varphi_i|i=1, \dots, n_\varphi)):(S^{k_{<j>}} \rightarrow S^{k_{(j)}}) \rightarrow (S^{p_{(j)}} \rightarrow (S^{p^*_{<j>}} \subset S^{k_{<j>}})), \quad (1)$$

де  $n_\varphi$  – загальна кількість обчислювальних процедур;  $(S^{k_{<j>}} \rightarrow S^{k_{(j)}})$  – процедура перетво-

рення (тут та далі  $\rightarrow$  є символом імплікації) упорядкованих альтернатив як рішень, отриманих авторськими підходами НБВ РМСТ  $S^k_{<j>}$  на множині  $S^k_{(j)}$  із нечіткими оцінками кожного із локальних критеріїв (проявів РМСТ) із їх ДМЛК за наступною початковою послідовністю:  $S_1=Gm$  – геометричні,  $S_2=Kn$  – кінематичні,  $S_3=Dn$  – динамічні,  $S_4=Ct$  – точнісні,  $S_5=En$  – енергетичні,  $S_6=Tr$  – траєкторні,  $S_7=(\tau)Q$  – (часові) продуктивнісні,  $S_8=RI$  – надійнісні,  $S_9=Ec$  – економічні,  $S_{10}=Ac$  – точнісні,  $S_{11}=Fc$  – силові,  $S_{12}$  – комбіновані що визначені любим поєднанням локальних критеріїв із множини  $(S_1, \dots, S_{11})$ ,  $k = (QBMS, MMS:M, MMS:A, MMS:S, MMS:G, WMS)$  – вид параметра, за яким попередньо розв’язані задачі НБВ РМСТ, сукупний розв’язок яких є множиною вхідних альтернатив  $S^k_{<j>}$ .

## Висновки

Висвітлено новий підхід щодо НБВ РМСТ як складової ТПГ РМСВ. Його особливістю є те, що процес вибору виконується на множині результатів розв’язаних методами НБВА задач, що відтворюють кінцеву множини випадків вибору, які є вхідними альтернативами для кінцевої оптимізації за Еджвортом-Парето. Саме такий підхід дозволяє збільшити кількість рішень задач НБВА та з’являється можливість подальшого узагальнення та дослідження результатів розв’язування задач НБВ РМСТ, правильні рішення яких априорі та апостеріорі не є відомими.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Matthias Ehrgott. Multicriteria Optimization // European Journal of Operational Research. – 2007. – 176(3). – P. 1961–1964. ISBN 3-540-21398-8. DOI:10.1016/j.ejor.2006.02.001.
2. Fuzzy multi-criteria selection of alternatives by quasi-best case for choosing robotic machine-assembling technologies / V.A. Kyrylovych, L.V. Dimitrov, P.P. Melnychuk, D.G. Belskiy, V.A. Shadura, V.B. Savkiv // Bulletin of the Karaganda university. Mathematics series. – 2020. – № 2 (98). – P. 189-203. DOI: 10.31489/2020M2/189-203.
3. Automation of fuzzy multi-criteria selection of robotic machine-assembly technologies using worst-case approach / Kyrylovych Valery, Dimitrov Lubomir, Kryzhanivska Ilona, Melnychuk Petro // MATEC Web of Conferences Power Transmissions 2019. 287, 06001 (2019). doi.org/10.1051/mateconf/201928706001.

**Кирилович Валерій Анатолійович** — доктор техн. наук, професор кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотока, Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, e-mail: [kiril\\_va@yahoo.com](mailto:kiril_va@yahoo.com)

**Мельничук Петро Петрович** — доктор техн. наук, професор, професор кафедри механічної інженерії, Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир

**Могельницька Людмила Францівна** — канд. філол. наук, доцент, зав. каф. теоретичної та прикладної лінгвістики, Державний університет «Житомирська політехніка»

### *Fuzzy multicriteria selection of robotic machine-assembly technologies optimal according to Edgeworth-Pareto*

#### **Abstract**

A new approach to fuzzy multicriteria selection of robotic machine-assembly technologies (RMAT) is described. The input data-alternatives for choosing the optimal RMAT according to Edgeworth-Pareto is the final set of results of fuzzy RMAT multicriteria selection (FMS), which are obtained by the authors' original approaches. The approaches are developed on the basis of the preliminary strict expertise ranking of RMAT components, which are the elements of a discrete set of local selection criteria (DSLС).

**Keywords:** fuzzy multicriteria selection, alternative, robotic machine-assembly technology, optimization, criterion.

**Kyrylovych Valerii A.** — Doctor of Engineering, Professor at B. Samotokin Department of Robotics, Electrical Power Engineering and Automation, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, e-mail: [kiril\\_va@yahoo.com](mailto:kiril_va@yahoo.com)

**Melnichuk Petro P.** — Doctor of Engineering, Professor at the Department of Mechanical Engineering, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr

**Mohelnyska Liudmyla F.** — PhD in Philology, Associate Professor, Head of Theoretical and Applied Linguistics Department, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr



## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАРІЗАННЯ ВНУТРІШНЬОГО ЗУБЧАСТОГО ВІНЦЯ МЕТОДОМ “POWER SKIVING”

Національний університет «Львівська політехніка»

### **Анотація.**

*У дослідженні створено адекватні моделі стружкоутворення та отримано кількісна оцінки параметрів зрізів в процесі Power skiving. Отримані результати можна застосувати для вирішення цілого ряду технологічних проблем з підбором ефективних параметрів різання, а саме встановлення ефективної подачі інструменту та встановлення необхідної частоти обертання як заготовки так і різачка. Для такої задачі розроблено комплексну систему графоаналітичного, математичного і комп'ютерного моделювання цього процесу, у якій враховано його кінематику і достовірно відтворено закономірності процесів різання-формування.*

**Ключові слова:** нарізання зубчастих коліс, технологія Power skiving, кінематика процесу, моделювання.

У цих дослідженні показано принцип побудови недеформованої стружки при нарізанні внутрішнього прямозубого вінця методом Power skiving. Обробка саме таких зубчастих коліс набула найбільшого застосування цим методом так, як це пов'язано із особливостями цього методу [1]. І якщо для нарізання зовнішнього зубчастого вінця ще є альтернативні методи для різних типів виробництва, то для внутрішнього нарізання їх майже немає. На сам перед це пов'язано із складністю обробки таких коліс та обмеженим арсеналом способів, вони або дорогі або не продуктивні.

Отримання параметрів перерізу зрізів стружки, яка утворюється під час роботи різачка служать основою для моделювання та розрахунку величини сил різання, тертя, необхідна робота, яка потрібна для усунення припуску, теплові потоки, які виникають під час різання, інтенсивність нагрівання інструменту, температури та зношування інструменту, моделювання коливань і динамічних процесів [2]. Повна інформація про розміри (ширина, довжина, товщина стружки, її площа) та форму зрізуваних шарів, їх величину у різних ділянках (вхідна, вихідна та верхня частина) зубця у кожний момент часу нарізання, а також встановлення закономірності їх неперервної циклічної зміни за оберт різального інструмента, служать основою для всебічного відтворення та описання різноманітних взаємопов'язаних і взаємозалежних деформаційних і контактних процесів, які відбуваються під час процесу нарізання зубчастого вінця.

Висновки за результатами дослідження:

Якщо проаналізувати графічні залежності, то можна встановити такі характерні особливості:

а) перш за все слід відзначити, що товщина зрізів майже не залежить від модуля зубчастого вінця! Коливання цієї величини не перевищує 10% для різних модулів, що виявилось не очікувано. Для різних модулів від 2мм до 7,5мм максимальна товщина зрізів стружки в кожному положенні однакова.

б) максимальна товщина зрізу завжди припадає на початкове положення, для різних подач і модулів. Далі товщина стружки поступово спадає, хоча слід відзначити, що в положенні різачка близько перпендикулярного положення вона майже не змінна. Після положення перпендикуляра товщина зрізу вже є незначною і поступово спадає, а далі взагалі різку не відбувається;

в) вплив осьової подачі на товщину зрізу є майже прямо пропорційний, що спостерігалось і при нарізанні зовнішнього зубчастого вінця.

г) аналізуючи залежність максимальної товщини зрізу від положення різачка, може бути розділена на 3 зони: 1 – зона більших товщин, які поступово зменшуються, 2 – стабільна зона,

де товщина майже не змінюється; 3 – зона малої товщини. У цій зоні товщина не значна і вона також поступово зменшується.

д) якщо проаналізувати площі зрізів для різних подач та модулів, то слід відзначити, що зростання цих величин призводить для більших площ, чого і слід було чекати. Збільшення в 2 рази осьової подачі різачка призводить до аналогічного зростання площі перерізу. Але максимальне значення площі припадає не на врізанні, а в наступному положенні. Таким чином вона зростає від моменту врізання інструмента до наступного положення, а далі поступово спадає. Така сама тенденція спостерігається і при нарізанні зовнішнього вінця порядків.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ren, Z., Fang, Z., Arakane, T., Kizaki, T., Nishikawa, T., Feng, Y., ... & Sugita, N. Parametric modeling of uncut chip geometry for predicting crater wear in gear skiving. Journal of Materials Processing Technology. - 2021. –Vol. 290, 116973. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116973>.

2. Грицай І.С. Теоретико-прикладні основи комплексних наукових досліджень процесу нарізання зубчастих коліс. Львів; Сполом, 2009. – 254 с..

**Сліпчук Андрій Миколайович** – к-т техн. наук, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, [andsl@ukr.net](mailto:andsl@ukr.net).

## SIMULATION OF A POWER SKIVING GEAR CUTTING PROCESS FOR INTERNAL RING GEARS

### **Abstract**

*Adequate chip formation models were created and quantitative estimates of cutting parameters for the Power skiving process were obtained in the study. The obtained results can be applied to solve a number of technological problems with the selection of effective cutting parameters, namely, establishing effective tool feed and establishing the required rotation frequency of both the workpiece and the cutter. A complex system of grapho-analytical, mathematical and computer modeling of this process has been developed, which takes into account its kinematics and reliably reproduces the regularities of cutting-forming processes for such a task*

**Keywords:** gear cutting, power skiving technology, process kinematics, modeling.

**Slipchuk Andrii** – Ph. D. Tech. Science, Lecturer of Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, [andsl@ukr.net](mailto:andsl@ukr.net).

## ІННОВАЦІЙНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Донбаська державна машинобудівна академія

***Анотація.** В публікації висвітлені деякі результати діяльності Проблемної науково-дослідної лабораторії мобільних інтелектуальних технологічних машин, що створена в Донбаській державній машинобудівній академії спільно з Інститутом проблем штучного інтелекту НАН України. Показані перспективні напрямки інноваційного розвитку механоскладальних виробництв на базі реконфігуремих технологічних машин з інтелектуальними системами управління.*

***Ключові слова:** машинобудування, технологічний процес, виробнича гнучкість, реконфігурація, ідентифікація, штучний інтелект, розподілені системи.*

В машинобудівному виробництві зараз є попит на стрімке зростання складності виробів – насамперед тих, які претендують на конкурентоспроможність в рамках глобальних ринків. Відповідно зростає і складність технологій, за допомогою яких створюються ці вироби, але, це відбувається з деяким відставанням від підвищення складності самих виробів, оскільки для розвитку технологій потрібні додаткові вкладення і час. При цьому має місце експоненційний ріст технологій для того, щоб постійно виробляти багатомініклатурну конкурентоспроможну продукцію в умовах завжди жорстко обмежених часових і фінансових ресурсів.

Оскільки зростання гнучкості систем управління значно випереджає і надалі випереджатиме гнучкість механічної частини технологічного обладнання, слід створювати універсальну систему реконфігурування, зокрема на основі механізмів паралельної структури і принципу конструктивної гнучкості, поступово заміщаючи ними традиційні засоби автоматизації виробничих процесів.

Інноваційний розвиток виробничих систем різного призначення потребує врахування таких особливостей:

- потік замовлень на продукцію виробничо-економічних систем є багатомініклатурним, малосерійним та індивідуальним і має необмежене призначення;
- обладнання майбутніх виробничо-економічних систем повинно мати необмежену операційну гнучкість одночасно з цільовим функціональним призначенням;
- завдання функціональної діагностики повинні бути спрямовані на швидкодію та отримання постійно оновлюваної інформації про сильно- та слабоформалізовані фактори, що діють у системах;
- інформаційне забезпечення повинно базуватися на отриманні та опрацюванні великих масивів даних у реальному часі.

В Донбаській державній машинобудівній академії спільно з Інститутом проблем штучного інтелекту НАН України наприкінці 2015 року створено Проблемну науково-дослідну лабораторію мобільних інтелектуальних технологічних машин під керівництвом та за участю авторів цієї публікації. Внаслідок цієї діяльності з'ясовано, що перспектива застосування мобільних інтелектуальних роботів дає змогу поглянути на умови організації виробничого процесу цеху щодо мобільності не тільки з боку гнучкості технологічних можливостей обладнання. Також, стає необхідною адаптація машинобудівного виробництва до будь-якої номенклатури виробів, що вимагає переміщення технологічного обладнання (мобільних інтелектуальних технологічних машин) за потребою на виробничі ділянки для виконання технологічних операцій або на складальні дільниці для перекомпонування. Цьому разі зміна номенклатури виробів призводить до зміни вимог щодо компонування дільниць цеху, а традиційні схеми організації виробництва з устаткуванням, яке встановлено на фундаментах, є неприйнятними. Доведено, що обладнання різного призначення можна побудувати на базі

рухливих механізмів паралельної структури, забезпечуючи не тільки велику апаратну гнучкість, але й функціональну адаптивність на основі багатоканального та багатоконтурного управління за допомогою систем автоматичного керування. При цьому виникає потреба забезпечити автоматичну діагностику внутрішнього та зовнішнього оточення виробничих систем. Для цього запропоновано концепцію управління елементами таких систем на базі ідентифікації об'єктів і їх станів по спектрам акустичного зондування робочих зон базових механізмів мобільних технологічних машин.

Усе це формує, на думку авторів, уявлення про мережевий характер побудови виробничих систем, де виробничі ділянки створюються за миттєвим замовленням. Обладнання має вигляд мобільних технологічних машин, які компонуються відповідно до виробу, що потрібно виготовити. Кожне наступне замовлення потребує реалізації циклу розкладання та складання нових конфігурацій цих машин. Мережевий характер компонування реконфігурованого обладнання може передбачати вільне розміщення обладнання без прив'язки до певного місця.

Це зумовлює створення системи управління мобільними технологічними машинами на основі штучного інтелекту, оскільки людина неспроможна розв'язувати складні завдання оптимального управління постійно переналагоджуваними реконфігурованими системами технологічних машин. Тому проривним вирішенням проблеми побудови машинобудівних виробництва майбутнього мають стати запропоновані принципово нові апаратні та програмні засоби операційної системи штучного інтелекту у вигляді розподіленого в тотальній системі інтелектуального комп'ютера. У кожен момент часу необхідно тримати в полі зору всю систему і всі її взаємодіючі компоненти, щоб не ставалося такого, коли поліпшення характеристик одного компонента тягне за собою погіршення характеристик іншого.

Створення такого виробничого середовища приведе до інтенсифікації інноваційних процесів в машинобудівному виробництві і дасть можливість об'єднати ці системи в межах мережевого простору підприємства на базі ключових параметрів таких систем. Результатами цих нововведень стають поліпшення умов праці, зростання якості продукції, скорочення потреби в робочій силі і систематичне підвищення прибутку.

**Ковалевський Сергій Вадимович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Інноваційних технологій і управління Донбаської державної машинобудівної академії, м.Краматорськ, [kovalevskii61@gmail.com](mailto:kovalevskii61@gmail.com);

**Ковалевська Олена Сергіївна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Обробки металів тиском Донбаської державної машинобудівної академії, м.Краматорськ, [olenakovalevskaya@gmail.com](mailto:olenakovalevskaya@gmail.com);

## INNOVATIVE DIRECTIONS OF MECHANICAL COMPONENT PRODUCTION DEVELOPMENT

**Abstract.** *The publication highlights some of the results of the Problem Research Laboratory of Mobile Intelligent Technological Machines, which was created at the Donbas State Engineering Academy together with the Institute of Artificial Intelligence Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine. Prospective directions of innovative development of mechanical assembly production based on reconfigurable technological machines with intelligent control systems are shown.*

**Keywords:** *mechanical engineering, technological process, production flexibility, reconfiguration, identification, artificial intelligence, distributed systems.*

**Kovalevskyy Sergiy**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Innovative Technologies and Management of the Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, [kovalevskii61@gmail.com](mailto:kovalevskii61@gmail.com);

**Kovalevska Olena**, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Metal Pressure Processing of the Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, [olenakovalevskaya@gmail.com](mailto:olenakovalevskaya@gmail.com).

## РОЗРОБКА РОЗТИСКНОЇ ОПРАВКИ З ПНЕВМОПРИВОДОМ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*В роботі запропоноване спеціальне верстатне пристосування для обробки деталей з базовим отвором певного діаметру, яке дозволяє значно спростити та пришвидшити установку і закріплення деталей.*

**Ключові слова:** пневмопривод, цанга, технологічне оснащення, пристосування, режим різання, заготовка.

Інтенсифікація виробництва в машинобудуванні нерозривно пов'язана з технічним переозброєнням і модернізацією засобів виробництва на базі застосування новітніх досягнень науки і техніки. Технічне переозброєння, підготовка виробництва нових видів продукції машинобудування та модернізація засобів виробництва неминуче включає в себе проектування засобів технологічного оснащення і їх виготовлення.

В загальному обсязі коштів технологічного оснащення приблизно 50% складають верстатні пристосування. Застосування верстатних пристосувань дозволяє: надійно базувати і закріплювати оброблювану деталь із збереженням її жорсткості у процесі обробки; стабільно забезпечувати високу якість оброблених деталей незалежно від кваліфікації робітника; підвищити продуктивність праці.

При цьому до верстатних пристосувань висувають такі вимоги: простота конструкції та дешевизна у виготовленні; зручність і безпека в роботі; достатня жорсткість для забезпечення необхідної точності; швидкодія і висока продуктивність; зручність для установки на верстат; доступність для ремонту і заміни зношених деталей.

Застосування пристосувань підвищує точність обробки за рахунок правильної орієнтації деталі і різального інструменту, підвищує продуктивність праці завдяки скороченню допоміжного часу, полегшує працю робітника, розширює технологічні можливості обладнання і скорочує витрати часу на контроль деталей.

Отже, спеціальні пристосування відіграють велику роль у виготовленні складних деталей. За рахунок їх використання зникає необхідність розмітки заготовок, зростає продуктивність праці, з'являється можливість використання підвищених режимів різання за рахунок збільшення можливої сили закріплення, спрощується процес установки складних заготовок, з'являється можливість багатостанкового обслуговування та автоматизації виробництва, а також знижується собівартість продукції.

Пристосування в зборці повинно відповідати технічним вимогам креслення загального виду та забезпечувати якісну обробку заготовки за заданими розмірами.

Точність виконання заданих розмірів оброблених поверхонь досягається у випадку обробки поверхні за один установ з базовою поверхнею або з закріпленням за базову поверхню. В інших випадках кожен новий установ створює нові похибки розташування поверхонь, які в результаті впливають на якість готової деталі. Оскільки зазвичай усю деталь неможливо обробити за один установ, то на всіх операціях за базову приймають одну й ту ж поверхню. Як правило базова поверхня є найбільш точною поверхнею серед усіх.

Також важливою умовою для досягнення точності є дотримання принципу постійності та сумісності баз. Принцип полягає у тому, що на усіх операціях за базову береться одна і та ж поверхня, у випадку коли це неможливо – за базову приймається найточніша поверхня. Для забезпечення найбільшої точності контроль розмірів проводиться відносно тих баз, відносно яких проводилася обробка деталі.

Проектоване пристосування призначене для надійного базування і закріплення деталей за внутрішні циліндричні поверхні. Використання в якості затискного механізму цанги, яка є самоцентрувальною, забезпечує нульову похибку базування для даного пристрою, що підвищує точність обробки деталей. Пристосування може бути встановлене на токарні або токарно-фрезерні обробні центри, і дозволяє обробляти достатньо великі і складні деталі з високими режимами різання. Закріплення за допомогою цанги дозволяє виконувати достатньо широкий ряд операцій: точіння внутрішніх, зовнішніх циліндричних, торцевих та фасонних поверхонь, фрезерування поверхонь складного профілю, довбання, та нарізання модульною фрезою зубчатих поверхонь.

Пристосування (рис. 1) складається з двох основних частин: передньої частини (цанга (32), корпус оправки (26), накладка (28)) і задньої частини (пристрій подачі повітря в порожнину гільзи і пневмоциліндр (33)). Затискання і розтискання відбувається за рахунок переміщення конусу (23) цанги, прикріпленого до штока (34) пневмоциліндра, що приводиться в дію тиском стисненого повітря.

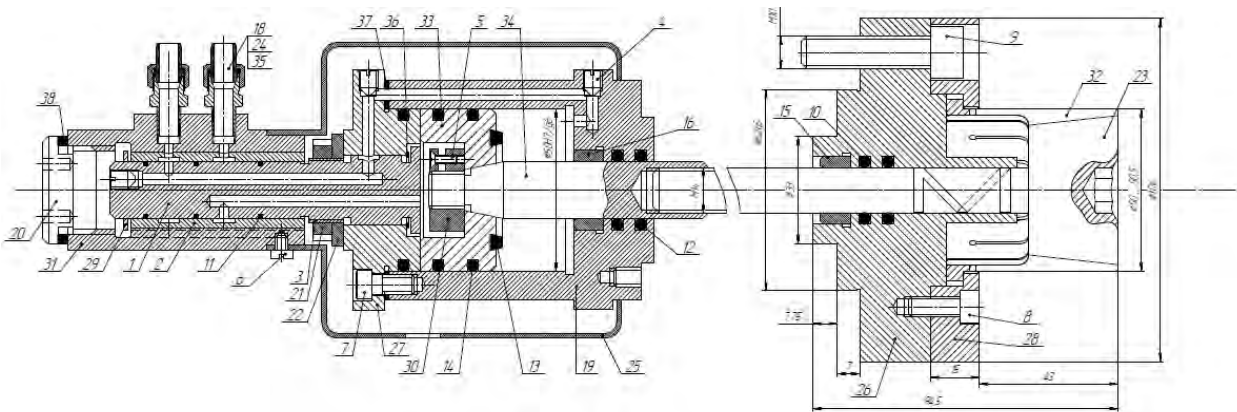


Рисунок 1. Розтискна оправка з пневмоприводом

Для обробки заготовка встановлюється в пристосування на розтискну оправку з упором торця в накладку. В порожнину гільзи (19) пневмоциліндра (в праву порожнину поршня) подається повітря, рухаючи пневмоциліндр, який закріплений на штоці, що втягує конус цанги і пелюстки цанги розтискаються, затискаючи деталь. Після закінчення циклу обробки для зняття заготовки з пневмомережі повітря під тиском подається в ліву порожнину поршня, переміщуючи поршень вправо конус переміщується в іншу сторону, пелюстки цанги стискаються, розтискаючи заготовку.

Герметичність з'єднань забезпечують манжети-ущільнювачі (10 - 14). Кришка (27) гільзи служить упором для переміщення пневмоциліндра вліво. Упором для переміщення поршня вправо служить сама гільза, що обмежує хід поршня. Зовнішній вигляд пристосування показано на рис. 1

Експлуатація пристосування відбувається за таким алгоритмом: 1) встановлення та закріплення пристосування на верстаті з урахуванням нульової точки верстата; 2) підготовка базових поверхонь до встановлення заготовки; 3) встановлення заготовки на оправку; 4) натисканням педалі пневморозподільника здійснюється закріплення заготовки; 5) обробка заготовки; 6) натискання педалі для відкріплення заготовки; 7) знімання заготовки; 8) під час обробки вплив атмосферних опадів і агресивних середовищ неприпустимий.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Верстатне обладнання : навч. посіб. / Я. Бурек, І. В. Гурей, З. А. Стоцько ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2014. - 167 с. : рис. - Бібліогр.: с. 162.
2. Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. Конструктивні особливості та основи програмування верстатів з числовим програмним керуванням: Навч. посіб. / Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. –[Електронний ресурс] / - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 158с.

3. Кузнецов Ю.М. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: Навч. посібник/Ю.М. Кузнецов, О.Ф. Саленко, О.О.Харченко, В.Т. Щетинін. – Київ-Кременчук-Севастополь: Вид-во «Точка», 2014. – 500 с.
4. Кузнецов Ю.М., Придальний Б.І. Приводи затискних механізмів металообробних верстатів. – Луцьк: Вежа-Друк, 2016. – 352с.
5. Кузнецов Ю.М., Придальний Б.І. Проектування цільових механізмів маніпулювання верстатів нового покоління. /Під загальною редакцією проф. Ю.М.Кузнецова. - Луцьк, 2012. - 425 с.
6. Стадник В.А. Деталі машин. Електронне навчальне видання – К.: – НТУУ КПІ, 2012. – 650 с.
7. Мархель І. І. Деталі машин : навчальний посібник / І. І. Мархель – К. : Алерта, 2017. – 368 с.
8. Деталі машин. Навчальний посібник. В. Павлов, Г. Борозенець, І. Семак. – К. :Кондор, 2021. – 220 с.
9. Павлице В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин / В. Т. Павлице – Львів : Афіша, 2004. – 578 с.

**Поліщук Олександр Васильович**, к. т. н., доц., доцент кафедри педагогіки безпеки та безпеки життєдіяльності, ВНТУ, e-mail: polischuk@vntu.edu.ua.

**Слабкий Андрій Валентинович**, к. т. н., доц., доцент кафедри галузевого машинобудування, ВНТУ, e-mail: slabkiyandrey@vntu.edu.ua.

**Чубур Сергій Олександрович**, студент групи ГМ-22б, Факультет машинобудування та транспорту, ВНТУ, e-mail: slabkiyandrey@vntu.edu.ua.

## DEVELOPMENT OF PRESSING MANDLE WITH PNEUMATIC DRIVE

### Abstract

*The work proposes a special machine tool for processing parts with a base hole of a certain diameter, which allows you to significantly simplify and speed up the installation and fastening of parts.*

**Keywords:** *pneumatic drive, collet, technological equipment, device, cutting mode, workpiece.*

**Polishchuk Oleksandr Vasylivych**, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Safety Pedagogy and Life Safety, VNTU, e-mail: polischuk@vntu.edu.ua.

**Slabkiy Andriy Valentinovych**, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, VNTU, e-mail: slabkiyandrey@vntu.edu.ua.

**Chubur Serhiy Oleksandrovysh**, student of group GM-22b, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, VNTU, e-mail: serhichubur15@gmail.com.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІВНЯ КОЛИВАНЬ У КРИСТАЛІЗАТОРІ МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК

Український державний університет науки та технологій  
м. Дніпро

### **Анотація**

*Вирішена проблема підвищеного рівня коливань у кристалізаторі машини безперервної лиття заготовок. Виконаний аналіз та встановлена причина яка призводить до підвищеної амплітуди коливань у кристалізаторі, що дозволило покращити якість заготовки та зменшення утворень шлакових включень.*

**Ключові слова:** коливання рівня, МБЛЗ, амплітуда, кристалізатор, іонізуюче випромінювання, коробки.

### **Вступ**

Металургічні підприємства, при виготовленні круглої, квадратної заготовок за допомогою технології безперервного лиття заготовок, використовують машину безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Однією з найважливіших частин машини є кристалізатор, від якості роботи якого визначається якість заготовки в цілому. Тому для дотримання режимів його роботи, траєкторії руху та покращення якості злитка, такі машини потребують використання систем моніторингу та діагностики механізму хитання кристалізатора [1].

Кристалізатор – мідна, порожниста зсередини посудина, певної геометричної форми, яка не має дна. Установка, яка служить для перероблення матеріалу з розплавленого стану у твердий продукт певної форми. Затвердіння розплавленого матеріалу відбувається шляхом його охолодження до температури кристалізації.

Користуючись системами контролю руху коливань кристалізатора ми можемо оцінити правильність налаштування обладнання, та його працездатність. перевірити справність та визначити поломки в процесі розливки сталі та запобігти можливим зламам та надзвичайним ситуаціям [2].

Метою роботи є дослідження процесу коливань кристалізатора та визначення причин деформування стінок металевих бачків, які знижують проходження іонізуючого випромінювання через вплив негативних чинників які впливають на коливання та які, в свою чергу, впливають на якість металу.

### **Результати дослідження**

На практиці експлуатації обладнання МБЛЗ особливо гостро стоїть проблема контролю стану механізму хитання кристалізатора, від умов роботи якого, багато в чому, залежить якість безперервнолитої заготовки. Підвищений рівень коливань призводить до появи дефектів в заготовці в налаштуванні і роботі механізму хитання кристалізатора (МХК) призводить до збільшення ймовірності прориву і розвитку дефектів типу «Ромб» [3].

Встановлений нормативний термін напрацювання роботи кристалізатору він має бути від 50 до 70 год. В процесі тривалої експлуатації, у кристалізаторі відбуються зміни які можливо виявити тільки при розборці та детальному дослідженні внутрішніх та зовнішніх його деталей.

Амплітуда коливань рівня металу у кристалізаторі залежить від багатьох факторів, а саме: роботи тягнучо-правильного пристрою, заклинювання роликів, не коректної роботи сцинтиляційних детекторів, землі у електродвигуну та інших неполадок. Довгий час при розливання сталі відбувався підвищений рівень коливань металу у кристалізаторі. У процесі розливання сталі, вже на 30-40 годині напрацювання роботи кристалізатора, відбувалось підвищення амплітуди коливань близько 20% (див. рис.1). У порівнянні зі звичайною роботою кристалізатору підвищення амплітуди коливань складає близько 10%. (див. рис.2).



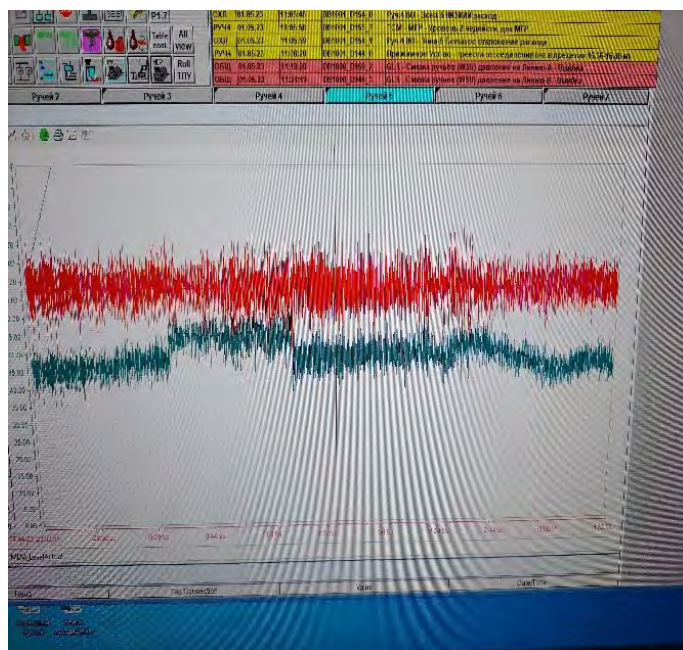


Рис.1. Підвищена амплітуда коливань рівня металу на 20%

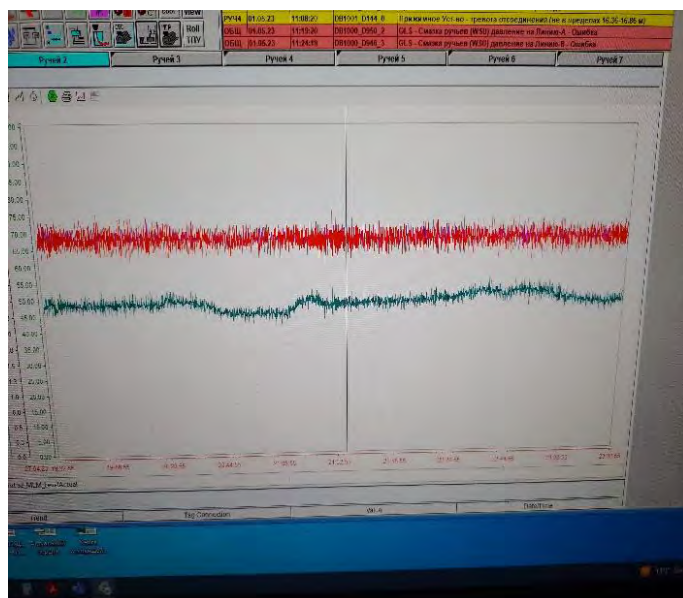


Рис.2. Звичайна амплітуда коливань кристалізатора близько 10%

На протязі тривалого часу були періодичні підвищення амплітуди коливань металу у кристалізаторі. Під час зупинки на планово-попереджувальні ремонти та перепідготовці, проводилась заміна сцинтиляційного детектора та самого кристалізатора. Проблема з підвищеною амплітудою зникала на деякий час та потім з'являлась повторно.

При детальному розбиранні самого кристалізатора з'ясувалось, що бачки, які знаходяться в середні кристалізатора, мають деформовані вертикальні стінки (див. рис.3).

«Звужений» переріз бачка призводить до зменшення інтенсивності проходження електромагнітного сигналу, що призводить до підвищеного коливання рівня розплаву металу в кристалізаторі та призводить до:

- відстрілу струмка у процесі розливання;
- виплескування металу із кристалізатора;
- утворення шлакових включень у заготовці.



Рис. 3. Деформовані (вогнуті) стінки бачка кристалізатора

### Висновки

Встановлено та досліджено, що на стабільну роботу коливань рівня металу у кристалізаторі суттєво впливає цілісність металевих бачків, які встановлені всередині кристалізатора та впливають на проходження електромагнітного сигналу, гамма-кванти з енергією  $\sim 1,3$  MeV, від джерела іонізуючого випромінювання до сцинтиляційного детектора LB 6752-11. Зменшення розміру перерізу бачка з 40 мм до 20 мм призводить до нестабільної роботи струмка підвищеної амплітуди коливань у кристалізаторі та виведення струмка з технологічного процесу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сидоров В.А., Сотніков О.Л., Цокур В.П. Аналіз характеру і причин несправностей підшипникових вузлів механізму хитання кристалізатора. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. Машинобудування і машинознавство*. 2009. Вип. 6(154). С. 226-235.
2. Моделювання несправних станів механізму хитання кристалізатора МБЛЗ / Р.В. Ковальов, Н.Н. Лисіков та ін. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Український міжвідомчий науково-технічний збірник*. 2007. Вип. 41. С. 116-127.
3. Моделювання несправних станів механізму хитання кристалізатора МБЛЗ / Р.В. Ковальов, Н.Н. Лисіков, В.А. Сидоров, О.Л. Сотніков; відп. ред. З.А. Стоцько // *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Український міжвід. наук.-техн. зб.* – Львів: "Львівська політехніка", 2007. – Вип. 41. – С. 116-127

**Волох Віталій Іванович** — аспірант кафедри «Галузеве машинобудування», Український державний університет науки та технологій, Дніпро, e-mail: [aliha2004@ukr.net](mailto:aliha2004@ukr.net)

**Мазур Ігор Анатолійович** — канд. техн. наук, доцент кафедри «Галузеве машинобудування», Український державний університет науки та технологій, Дніпро, e-mail: [igor.mazur1974@gmail.com](mailto:igor.mazur1974@gmail.com)

### *Study of the influence of the level of fluctuations in the crystalliser of the continuous casting machine*

#### **Abstract**

*Solving the problem of increased level of fluctuations in the crystallizer of the machine of continuous casting of blanks. The analysis was carried out and the cause was established, which leads to an increased amplitude of oscillations in the crystallizer, which made it possible to improve the quality of the workpiece and reduce the formation of slag inclusions.*

**Keywords:** level fluctuations, MBLZ, amplitude, crystallizer, ionizing radiation, boxes.

**Volokh Vitaly I.**— graduate student of the Department of "Industrial Mechanical Engineering", Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, e-mail: [aliha2004@ukr.net](mailto:aliha2004@ukr.net)

**Mazur Ihor A.**— candidate. technical of Sciences, associate professor of the Department "Industrial Mechanical Engineering", Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, e-mail: [igor.mazur1974@gmail.com](mailto:igor.mazur1974@gmail.com)

## ГІДРОПНЕВМАТИЧНА СМАРТ-СИСТЕМА ОБ'ЄКТА ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА МАЛОГО ТА СЕРЕДНЬОГО ОБ'ЄМУ

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### Анотація

Запропоновано структуру мехатронної системи мікроклімату. Запропоновано алгоритм керування, який базується на еталонній моделі процесу змін параметрів теплиці та здійсненні упереджуючих дій виконавчими пристроями системи. Виконано тестове випробування еталонної моделі.

**Ключові слова:** мікроклімат, час стабілізації, температура, швидкість, тиск.

### Вступ

Існують різні варіанти реалізації автоматизованого керування мікрокліматом (нейро-нечіткої модель, модель системи PFCS і т.д.). Незважаючи на широке застосування даних моделей в тепличних об'єктах, вони є досить специфічними і потребують більшого вивчення [1,2,3,6].

### Результати дослідження

Тестовий експеримент стабілізації параметрів мікроклімату в часі має наступні вихідні параметри: об'єм тепличного об'єкту – 1400 м<sup>3</sup>; початкове значення температури повітря – 20 °С; швидкість надходження повітря в замкнений об'єм – 1,1 м/с; переріз вхідного отвору – 0,35 м<sup>2</sup>; температура потоку повітря, що надходить – 22,1 °С [4,5,7]. Час стабілізації температури зображений на рис. 1. і становить - 10,2 секунди.



Рис. 1. Час стабілізації температури

Час стабілізації тиску зображений на рис. 2. і складає більше 50 секунд.



Рис. 2. Час стабілізації тиску

Час стабілізації швидкості зображений на рис. 3. - коливальний процес не затихає 60 секунд, амплітуда 0,05 м/сек.

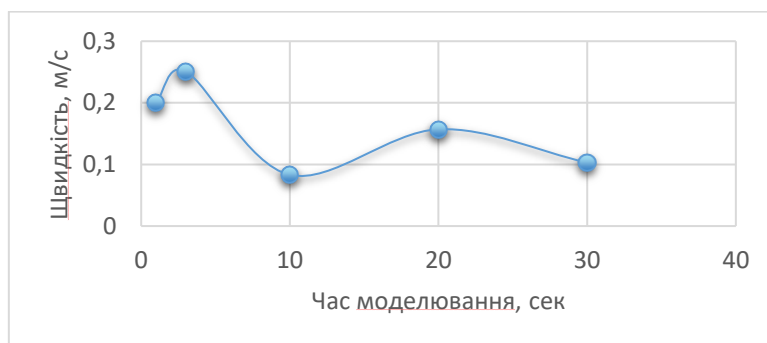


Рис. 3. Час стабілізації швидкості

### Висновки

Розроблено і теоретично обґрунтовано математичну модель змін параметрів мікроклімату в тепличному об'єкті, яку реалізовано в пакеті Ansys Discovery, та виконані тестові випробування моделі, що показало її придатність при процесах тепло-масообміну під дією зовнішніх чинників.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Nachidi, M. Stabilization of T-S Fuzzy Systems with Application on a Greenhouse: Static Output-Feedback Control Design Problem; Lap Lambert Academic Publishing GmbH KG: Saarbrucken, Germany, 2012. Available online: <https://books.google.lu/books?id=-VWHMgEACAAJ> (accessed on 15 March 2017).
2. Zhang, D.; Wu, X.; Zhang, C. The application of fuzzy control in greenhouse environment control. Appl. Mech. Mater. 2014, 543–547, 1432–1435. [CrossRef]
3. СІНГ, В. К. \* - ТІВАРІ, К. Н.
4. Індійський технологічний інститут Харагпур, Західна Бенгалія, Індія (Отримано 22 жовтня 2016 р.; прийнято 28 січня 2017 р.)
5. He et al., 2007; Said, 1992; Imran et al., 2002
6. Yang, B.; Chen, Y.; Guo, Z.; Wang, J.; Zeng, C.; Li, D.; Shu, H.; Shan, J.; Fu, T.; Zang, X. Levenberg-Marquardt backpropagation algorithm for parameter identification of solid oxide fuel cells. Int. J. Energy Res. 2021, 45, 17903–17923. [CrossRef]
7. Lv, C.; Xing, Y.; Zhang, J.; Na, X.; Li, Y.; Liu, T.; Cao, D.; Wang, F.Y. Levenberg–Marquardt Backpropagation Training of Multilayer Neural Networks for State Estimation of a Safety-Critical Cyber-Physical System. IEEE Trans. Ind. Inform. 2018, 14, 3436–3446. [CrossRef]

**Синицина Єлизавета Юрївна** — аспірант групи МА-01ф, механіко-машинобудівний інститут, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, e-mail: [dudka2811@gmail.com](mailto:dudka2811@gmail.com)

#### *Hydropneumatic smart system for small and medium-sized greenhouse facilities*

##### **Abstract**

*The structure of the mechatronic microclimate system is proposed. A control algorithm based on the reference model of the process of changes in greenhouse parameters and the implementation of proactive actions by the system's actuators is proposed. A test case of the reference model was performed.*

**Keywords:** microclimate, stabilization time, temperature, speed, pressure.

**Synytsyna Yelyzaveta Yuriivna** - PhD student of MA-01f group, Mechanical Engineering Institute, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, e-mail: [dudka2811@gmail.com](mailto:dudka2811@gmail.com)

# ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПОЛИЦЬ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЇХ СОБІВАРТОСТІ

<sup>1</sup> ТОВ «ГРІН КУЛ»;

<sup>2</sup> Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Запропоновано конструктивні зміни в полицях холодильного обладнання для зменшення їх собівартості. Результати інженерного аналізу полиць холодильного обладнання обґрунтовано дослідженнями в середовищі прикладної програми SolidWorks.

**Ключові слова:** інженерний аналіз, холодильне обладнання, SolidWorks.

## Вступ

На сьогоднішній день випуск холодильного обладнання набирає обертів через збільшення температури повітря навколишнього середовища. Можливість зменшення собівартості комплектуючих холодильного обладнання дозволить в цілому зменшити собівартість виготовлення цих технічних засобів, що в свою чергу підвищить конкурентоспроможність підприємства [1, 2].

Метою роботи є зменшення собівартості та розроблення рекомендацій для полиць холодильного обладнання шляхом інженерного аналізу їх технічних параметрів.

## Результати дослідження

Розглянуто 3D моделі полиць для холодильного обладнання (див. рис. 1). Запропоновано використати зразок I у якого по контуру розміщено полосу 9x4 мм та зразок II з прутком 6 мм по контуру. При чому матеріал зразків I та II однаковий.

Згідно розрахунків площа поперечного перерізу зразка I становить 36 мм<sup>2</sup>, для зразка II – 28,26 мм<sup>2</sup>. Різниця між ними складає 21,5% за ваговим параметром на користь зразка II.

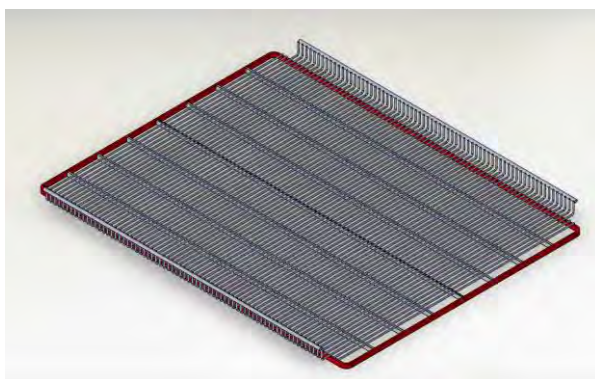


Рис. 1. Зразок I полиці із половою 9x4 мм по контуру для холодильного обладнання

Для інженерного аналізу використано середовище прикладної програми SolidWorks [3, 4]. Моделювалися ситуації коли зразки I та II полиць повністю заставлені алюмінієвими пляшками по 0,5 л із загальною вагою 50 кг/зразок.

В результаті моделювання утворився в центрі полиці максимальний прогин 5,1 мм для зразка I, та максимальний прогин 5,88 мм для зразка II (див. рис. 2).



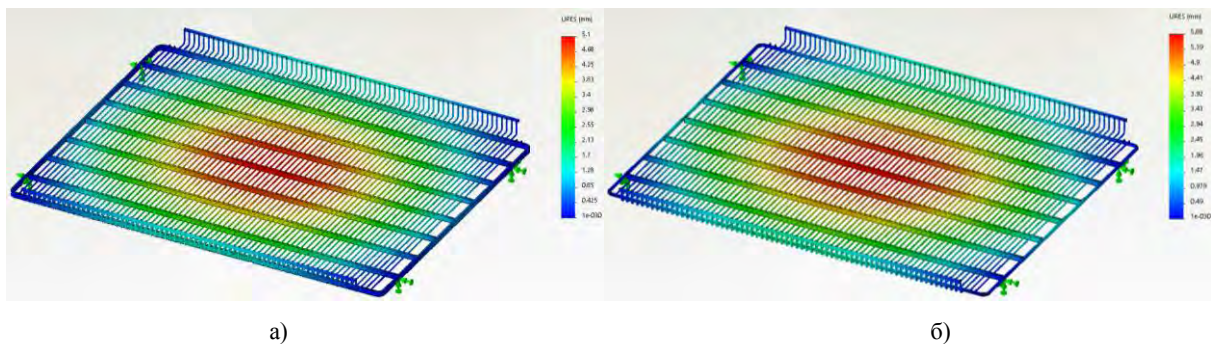


Рис. 2. Інженерний аналіз полиць холодильного обладнання: а) зразок I та б) зразок II

Згідно вимог до полиць холодильного обладнання, що прописані в PepsiCo на міцності шаф на холодильні вітрини, зазначено, що зразки I та II з площею  $0,4 \text{ м}^2$  мають не перевищувати прогин під навантаженням  $7,2 \text{ мм}$ . Тому отримані результати будуть влаштовувати замовника для зразка I та II. Однак, затрати на собівартість для зразка II є меншими на  $15,6\%$  ніж для зразка I.

### Висновки

Проведено інженерний аналіз імітації навантаження в  $50 \text{ кг/зразок}$  на полиці холодильного обладнання. Рекомендовано для полиць холодильного обладнання обирати конструкцію зразка II із прутка  $6 \text{ мм}$  по контуру, яка дозволяє зменшити ваговий показник до  $21,5\%$ , а собівартість до  $15,6\%$ , що буде давати прогин в  $5,88 \text{ мм}$  та задовольнятиме вимоги замовників.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хмельнюк, М. Г. Важливість стану холодильного господарства у забезпеченні продовольчої безпеки України [Текст] / М. Г. Хмельнюк, А. Ю. Лагунін, В. П. Кочетов, О. М. Томчик // Наукові праці ОНАХТ. – вип. 45, Т. 1. – 2014. – С. 116-121
2. Базюк В.В. Аналіз сучасних холодильних установок з автоматичним управлінням охолодження води / В. В. Базюк // І міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи та комп'ютерно-інтегровані технології: ідеї, проблеми, рішення – 2021», 2021. — С. 125 — 127.
3. Petrov O. Improvement of the hydraulic units design based on CFD modeling. / O. Petrov, L. Kozlov, D. Lozinskiy, O. Piontkevych // In: Lecture Notes in Mechanical Engineering XXII, 2019. – P. 653–660. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6\\_65](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_65)
4. Kozlov L. Optimization of design parameters of the counterbalance valve for the front-end loader hydraulic drive / L. Kozlov, Yu. Burennikov, O. Piontkevych, O. Paslavskaya // Proceedings of 22nd International Scientific Conference «MECHANIKA 2017». – Kaunas University of Technology, Lithuania, 19 May 2017. – P. 195 – 200.

**Ницимайло Вячеслав Олегович** — начальник виробничо технологічного відділу, ТОВ «ГРІН КУЛ», м. Вінниця, Вінницького р-ну, Вінницької обл.

**Піонткевич Олег Володимирович** — канд. техн. наук, старший викладач кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [piontkevych@vntu.edu.ua](mailto:piontkevych@vntu.edu.ua)

### *Engineering analysis of designs of refrigerating equipment shelves to reduce their cost*

#### **Abstract**

*Design changes in the shelves of refrigeration equipment to reduce their cost are proposed. The results of engineering analysis of the shelves of refrigeration equipment are substantiated by research in the environment of the SolidWorks application program.*

**Keywords:** engineering analysis, refrigerating equipment, SolidWorks.

**Nytsymailo Viacheslav O.** — head of the production technology department, LTD «GRIN COOL», Vinnytsia, Vinnytsia district, Vinnytsia region

**Piontkevych Oleh V.** — Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [piontkevych@vntu.edu.ua](mailto:piontkevych@vntu.edu.ua)

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ БАШТОВОГО КРАНА ІЗ ПРОПЕЛЕРНОЮ ТЯГОЮ

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15

### Анотація

*Представлено експериментальні дослідження лабораторної установки по визначенню кута повороту стріли задля подальшого вдосконалення механізму повороту.*

**Ключові слова:** дослід, експериментальна установка, енкодер.

### Вступ

Металоконструкція баштових кранів має багато недоліків, таких як: динамічне навантаження, ривки при повороті стріли, вертикальні коливання стріли при роботі, тому більшість дослідів, пов'язаних з баштовими кранами, зосереджені саме на усунення них. Тому нами було проведено експериментальні досліді за допомогою інкрементального енкодера [1] (датчик кута повороту) (рис. 2), який було встановлено на експериментальній установці, поворот якої виконується за рахунок механізму повороту із пропелерною тягою (рис. 1). Метою дослідів є визначення кута повороту установки за певний час при певних потужностях моторів, розгону стріли при повороті.



Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної установки

Для проведення дослідів був написаний код в системі програмування Arduino IDE для плати Arduino UNO [2].

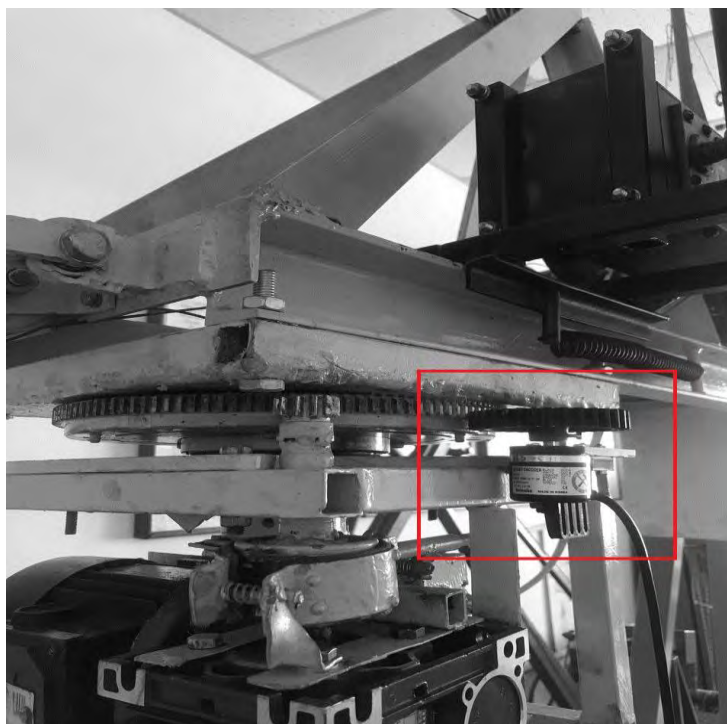


Рис. 2. Місце розташування енкодера на експериментальній установці

Вимірювали величини трьох показників величина напруги мотора ( $y$  %, де 100% це 12В), кут повороту стріли, час.

При подачі напруги 10 та 20% від номіналу (12В) сили сухого тертя стріли були більшими ніж тягова сила моторів, тому ці величини напруг в подальшому ми не використовували.

Всього було проведено 16 дослідів, це вимірювання вищезазначених показників на напругах 30, 40, 50, ..., 100% по кожному з моторів.

Для визначення даних використовували енкодер AUTONICS E40S6-5000-3-T-24:

- Точність визначення: 5000імп. /об.;
- Напруга живлення: 12...24В.

### Висновки

Зібрані дані експерименту придатні для подальшої обробки в середовищі Wolfram Mathematica та побудови математичної моделі, яка буде виступати математичною моделлю пристрою.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енкодер інкрементальний AUTONICS E40S6-5000-3-T-24. URL: <https://www.tme.eu/ua/ru/details/e40s6-5000-3-t-24/kodiruiushchie-ustroistva/autonics/>
2. Плата Arduino UNO. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>

**Губар Ярослав Сергійович** — аспірант, факультет конструювання та дизайну, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, e-mail: [yarik252@meta.ua](mailto:yarik252@meta.ua).

**Ромасевич Юрій Олександрович** — доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, e-mail: [romasevichyuriy@ukr.net](mailto:romasevichyuriy@ukr.net).

### *Experimental studies of the rotation mechanism of a tower crane with a propeller thrust*

#### **Abstract**

*Experimental studies of a laboratory setup for determining the angle of rotation of the boom for further improvement of the rotation mechanism are presented.*

**Keywords:** experiment, experimental setup, encoder.

**Yaroslav Serhiyovych Hubar** — 2nd year graduate student, Faculty of Construction and Design, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: [yarik252@meta.ua](mailto:yarik252@meta.ua).

**Yuriy Oleksandrovych Romasevich** — doctor of technical sciences, professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: [romasevichyuriy@ukr.net](mailto:romasevichyuriy@ukr.net).



## ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЛІНІЙ

Луцький національний технічний університет

### Анотація

Запропоновано матричний метод прогнозування прибутку, який забезпечується вибором конструкції накопичувачів на основі точних розрахунків з гнучким варіюванням техніко-економічних показників.

**Ключові слова:** прогнозування, відмови, обладнання, накопичувачі, автоматизовані лінії, прибуток

### Вступ

Для успішного вирішення задач синтезу виробничих систем методами математичного моделювання потрібен коректний опис випадкових компонентів потоку заготовок між вузлами механізмів, що проектуються. Випадкові компоненти формуються не тільки відмовами обладнання, а також при помилкових спрацьовуванням завантажувальних або орієнтаційних пристроїв. Опис цих компонент з допомогою експоненціальних функцій щільності вірогідності відмов, яка має монотонно спадаючий вид, не завжди вірний.

### Результати дослідження

Розробляються [1] методи математичного моделювання, що враховують не монотонність цієї функції і забезпечують облік появи в ній дискретних складових

Метою роботи є розроблення методу прогнозування прибутку який забезпечується вибором конструкції накопичувачів на основі точних розрахунків з гнучким варіюванням техніко-економічних показників.

Розглянемо наступну схему. Елемент 1 створює випадковий потік  $F_1$ , який для прохідних накопичувачів повинен направлятися у буфер, для тупикових розділяється на потік у буфер і потік на елемент 2.

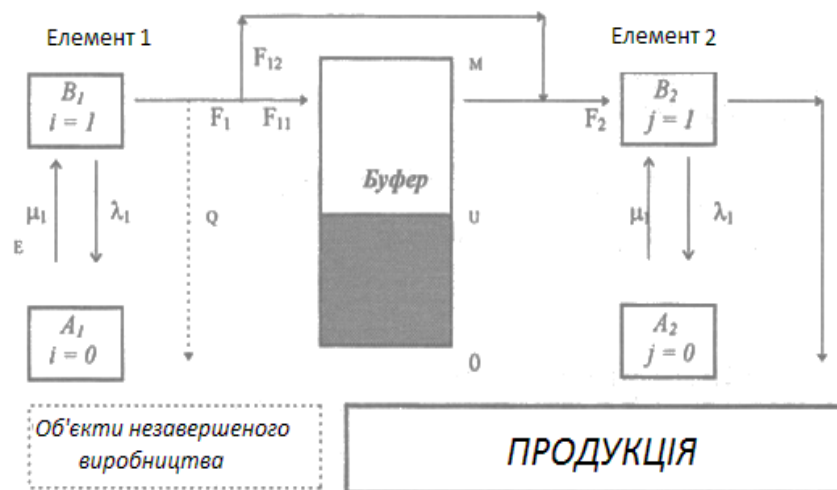


Рис. 1. Схема транспортування заготовок в автоматизованій лінії з накопичувачем

Реально існує і враховується у розрахунку відгалуження цього потоку в місткість для об'єктів незавершеного виробництва. Елемент 2 сприймає випадковий потік  $F_2$  тільки із буфера або

безпосередньо від елемента 1. Місткість буфера рівна  $M$ , рівень накопичення  $U$ . Перший елемент системи може знаходитися в стані  $S_1 = A_1$  або  $S_1 = B_1$ , другий у станах  $S_2 = A_2$  або  $S_2 = B_2$ , переходи між станами проходять у випадкові моменти часу. Елемент 1 может генерувати потік тільки в стані  $B_1$ , елемент 2 може сприймати потік тільки у стані  $B_2$ . Значення потоків залежать також від рівня  $U$  і від типу накопичувача. При аналізі конструкції накопичувача формується граф станів і складається алгоритм формування матриці  $A$ . Потоки заготовок моделювались за допомогою матричного методу.

Оптимізована місткість накопичувача є складною функцією від проєктованого терміну виготовлення виробів. Для термінів в даному випадку менше чотирьох років встановлення накопичувача із-за малої інтенсивності відмов і його високої ціни порівняно з річним прибутком є економічно недоцільним. Дана методика дозволяє включати до схеми розрахунку різноманітні елементи. У межах запропонованого підходу враховуються такі чинники, як нестабільний попит ринку. Для цього в дерево подій включається ще один буфер - склад нереалізованої продукції, а також, як елемент 3 - сам ринок зі станом здатності сприймати або не сприймати об'єкти виробництва у складі виробу або партій виробів. При модернізації обладнання може виникнути аналогічне завдання - чи має сенс збільшувати ємність, а якщо збільшувати, - то з умови мінімального терміну окупності переробок. У багатьох випадках через обмеженість коштів підприємство змушене прагнути отримати прибуток у найкоротші терміни. До цього може змусити і розгляд варіанту, в якому імітується падіння попиту на ринку. У цих випадках накопичувачі розраховуються на таку ємність, щоб їх встановлення максимально швидко окупилося.

### Висновки

Запропоновано матричний метод прогнозування прибутку, який забезпечується вибором конструкції накопичувачів на основі точних розрахунків з гнучким варіюванням техніко-економічних показників. Розвиток і практична реалізація даного методу, особливо при малосерійному виробництві виробів, може бути успішною при наявності вихідних даних, структура яких також визначена в даній роботі.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sobchuk L., Szabajkowicz W., Miezenecw S.: Moduly zasobnikowych elastycznych systemow moruzowych. Technologia i Automatyzacja montazu, N2, 1996, s. 11-16..
2. ELMAKIAS, David (ed.). New computational methods in power system reliability. Springer Science & Business Media, 2008.
3. BICKEL, Peter J.; DOKSUM, Kjell A. Mathematical statistics: basic ideas and selected topics, volumes I-II package. CRC Press, 2015.

*Добровольська Любов Наумівна*— канд. техн. наук, професор кафедри електричної інженерії, e-mail: lsobchuk@gmail.com, Луцький національний технічний університет

*Собчук Дмитро Сергійович*— канд. техн. наук, доцент кафедри електричної інженерії, Луцький національний технічний університет

### ***EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF TRANSPORT STORAGE OF AUTOMATED LINES***

#### ***Abstract***

*A matrix method for forecasting profits is proposed, which is ensured by choosing the storage design based on accurate calculations with a flexible variation of technical and economic indicators.*

***Key words:*** forecasting, failures, equipment, drives, automated lines, profit

*Dobrovol'ska Lyubov* — professor of Electrical Engineering, Lutsk National Technical University, Lutsk e-mail: lsobchuk@gmail.com

*Sobchuk Dmytro* — cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Electrical Engineering, Lutsk National Technical University, Lutsk

## РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ СОБІВАРТОСТІ ЗАГОТОВКИ, ВИГОТОВЛЕНОЇ ЛИТТЯМ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Розроблено алгоритм та комп'ютерну програму, призначену для автоматизованого швидкого і точного розрахунку собівартості литої заготовки. Програма містить набір довідкових даних, за допомогою яких автоматично вибираються коефіцієнти, необхідні для розрахунку. Програма може бути корисна інженерам, студентам для розрахунків під час проектування технологічних процесів.

**Ключові слова:** лита заготовка, способи виготовлення заготовки, собівартість заготовки, алгоритм, комп'ютерна програма.

### Вступ

Розрахунок собівартості заготовок деталей машин є важливим етапом при плануванні виробництва та управлінні його вартістю. Відомості про собівартість заготовок деталей машин дозволяють ефективно оцінити вартість їх виробництва, встановити конкурентоспроможні ціни на продукцію, а також забезпечити рентабельність підприємства. Розрахунок собівартості допомагає приймати обґрунтовані рішення щодо виробничих процесів, вибору постачальників та оптимізації витрат.

Розрахунок собівартості заготовок деталей машин – це досить трудомістка робота [1 – 4]. Тому за необхідності багаторазового повторювання однотипних розрахунків рекомендується застосовувати комп'ютерні технології.

**Мета роботи** – розробка алгоритму та прикладної комп'ютерної програми для розрахунку собівартості литої заготовки, що дозволяє автоматизувати процес розрахунку та скоротити його час.

### Результати дослідження

Собівартість заготовок, що виготовляють такими способами, як лиття в піщано-глинисті форми, кокілі, за виплавними моделями, в оболонкові форми, під тиском, відцентровим литтям з достатньою точністю можна визначити за формулою [1, 3, 4]

$$C_{заг.лит.} = \frac{Q_{заг} \cdot C_{лит} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{II}}{1000} - \frac{(Q_{заг} - Q_{дет}) \cdot C_{відх}}{1000} \text{ [грн.]}, \quad (1)$$

де  $Q_{дет}$ ,  $Q_{заг}$  – маса деталі та заготовки відповідно, кг;

$C_{лит}$  – базова вартість 1 т заготовок, грн.;

$K_T$ ,  $K_M$ ,  $K_C$ ,  $K_B$ ,  $K_{II}$  – коефіцієнти, що залежать відповідно від класу точності вилівка, марки матеріалу, групи складності, маси і об'єму виробництва заготовок;

$C_{відх}$  – вартість 1 т відходів, грн./т.

Розроблено алгоритм та комп'ютерну програму для розрахунку собівартості заготовки виготовленої литтям. Програма працює в діалоговому режимі. Після запуску програми, в головному діалоговому вікні (рис. 1) потрібно вводити вручну, чи вибирати з ряду наявних початкові (вихідні) дані.

Заготовка виготовлена литтям

Оберіть спосіб лиття

- Лиття в піщано-глинисті форми
- Лиття в оболонку віб. форми
- Лиття в необлицьований кокінь
- Лиття в облицьований кокінь
- Лиття під тиском
- Лиття за виплавним муляжем

Коефіцієнт  $K_p$   
Матеріал заготовки  
 $K_p$  Чавун, сталь, кольорові с

Коефіцієнт  $K_q$   
Матеріал заготовки  
 $K_q$  Алюмінієві сплави, латунь

Коефіцієнт  $K_m$   
Матеріал заготовки  
 $K_m$  Алюмінієві сплави АЛ2...

Коефіцієнт  $K_c$   
Матеріал заготовки  
 $K_c$  Алюміній

Коефіцієнт  $K_t$   
 Чорні метали  
 Кольорові метали

Вихідні дані

Маса деталі 1,425 кг

Маса виливка 1,657 кг

Вартість однієї тонни відходів 20000 грн

Вартість однієї тонни заготовок 38200 грн

Об'єм виробництва 12 тис. шт.

Клас розмірної точності 7т

Група складності 3

Отримати розрахунок

Повернутись назад

Рис. 1. Інтерфейс комп'ютерної програми для розрахунку собівартості заготовки виготовленої литтям

Після введення всіх початкових даних потрібно натиснути кнопку «Отримати розрахунок». Після цього на екрані з'явиться діалогове вікно (рис. 2) з результатами розрахунку собівартості заготовки виготовленої литтям, а саме:

- собівартість заготовки  $C_{заг.лит.}$ ;
- значення при розрахунку собівартості заготовки коефіцієнтів  $K_T$ ,  $K_M$ ,  $K_C$ ,  $K_B$  і  $K_P$ , що автоматично вибрані комп'ютерною програмою згідно введених початкових та довідкових даних, закладених у алгоритм роботи програми.

Розрахунки по литтю

Вартість заготовки  $C_{заг. шт.}$  281,16

Коефіцієнт  $K_t$  1,0

Коефіцієнт  $K_m$  4,23

Коефіцієнт  $K_c$  0,91

Коефіцієнт  $K_q$  1,02

Коефіцієнт  $K_p$  1,15

Зберегти результати

Закрити форму

Рис. 2. Інтерфейс комп'ютерної програми з результатами розрахунку собівартості заготовки виготовленої литтям

Результати розрахунку, у разі необхідності, можна зберегти у текстовий файл активувавши для цього кнопку «Зберегти результати» або закрити форму за допомогою активації кнопки «Закрити форму».

## Висновки

Розроблено алгоритм та комп'ютерну програму для розрахунку собівартості заготовки, виготовлюваної литтям. Програма призначена для швидкого і точного розрахунку собівартості такої заготовки та містить набір довідкових даних, за допомогою яких перед розрахунком автоматично вибираються коефіцієнти, що враховують клас точності заготовки, її матеріал, групу складності заготовки, масу заготовки і коефіцієнт, що залежить від обсягу виробництва, тобто річної програми випуску заготовок. Програма значно спрощує трудомісткий процес вибору коефіцієнтів згідно довідкових даних і може бути корисна інженерам, студентам для розрахунків під час проектування технологічних процесів виготовлення машинобудівних деталей.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки : навчальний посібник / Ж. П. Дусанюк, О. П. Шиліна, С. В. Репінський, С. В. Дусанюк. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 199 с.
2. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Гаряче об'ємне штампування : навчальний посібник / Ж. П. Дусанюк, І. О. Сивак, С. В. Дусанюк, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 106 с.
3. Оцінювання ефективності способів виготовлення заготовки за техніко-економічними показниками / Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо, С. В. Репінський, М. С. Плис // Вісник машинобудування та транспорту. – 2018. – № 1(7). – С. 44–51.
4. Порівняльний аналіз способів виготовлення заготовки деталі типу «Фланець» [Електронний ресурс] / Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо, С. В. Репінський, М. С. Плис // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22-24 березня 2017 р. – Електрон. текст. дані. – 2017. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/2779>.

**Репінський Сергій Володимирович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [repinskyisv@gmail.com](mailto:repinskyisv@gmail.com).

**Дерібо Олександр Володимирович** – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [deriboov@ukr.net](mailto:deriboov@ukr.net).

**Лозовський Владислав Геннадійович** – студент групи 2ПМ-22м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

**Семенюк Юрій Андрійович** – студент групи 1ПМ-22м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

### *Development of an algorithm and a computer program for calculating the cost of a billet made by casting*

#### **Abstract**

*An algorithm and a computer program have been developed for automated, fast and accurate calculation of the cost of a cast billet. The program contains a set of reference data, with the help of which the coefficients necessary for the calculation are automatically selected. The program can be useful to engineers, students for calculations in the design of technological processes.*

**Keywords:** cast billet, billet manufacturing methods, billet cost, algorithm, computer program.

**Repinskyi Serhii V.** – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [repinskyisv@gmail.com](mailto:repinskyisv@gmail.com).

**Deribo Oleksandr V.** – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [deriboov@ukr.net](mailto:deriboov@ukr.net).

**Lozovskyi Vladyslav H.** – Student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

**Semeniuk Yurii A.** – Student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## З ДОСВІДУ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «РОЗМІРНО-ТОЧНІСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ» У ВІННИЦЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ ТЕХНІЧНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Розглянуто досвід викладання дисципліни «Розмірно-точнісне моделювання конструкцій і технологічних процесів» (РТМК і ТП) підготовки магістрів зі спеціальності 131 – Прикладна механіка (освітня програма «Технології машинобудування») на кафедрі технологій та автоматизації машинобудування Вінницького національного технічного університету. Зміст і структуру дисципліни РТМК і ТП сформовано з урахуванням того, що однією з головних задач технолога-машинобудівника є забезпечення необхідної точності складальних одиниць і деталей.*

**Ключові слова:** розмірний аналіз конструкцій і технологічних процесів, досвід викладання, механічна обробка, точність, складальна одиниця, деталь.

Відомо [1-3], що ефективним сучасним засобом якісного і кількісного аналізу наявних і синтезу нових машинобудівних конструкцій та технологій є розмірний аналіз. Саме тому у навчальному процесі кафедри ТАМ програма дисципліни «Основи технології машинобудування» вже досить тривалий час містить теми «Розмірний аналіз конструкцій» [4, 5] і «Розмірний аналіз технологічних процесів механічної обробки» [6, 7]. Практичні навички виконання розмірного аналізу конструкцій виробів студенти отримують під час роботи над відповідним індивідуальним домашнім завданням. В результаті роботи потрібно визначити показники точності всіх складових ланок і вибрати метод забезпечення точності ланки замикання. Тема «Розмірний аналіз технологічних процесів механічної обробки» розглядається у другому модулі курсу ОТМ і є обов'язковим розділом курсового проекту [8] з дисципліни «Технологія машинобудування» (ТМ). Разом з тим, досить обмежений обсяг годин курсів ОТМ і ТМ, відведений для лекційних і практичних занять, не дозволяють розглянути усі аспекти застосування розмірного аналізу у машинобудуванні. Саме тому вирішено увести у навчальний план підготовки магістрів зі спеціальності 131 — Прикладна механіка (освітня програма «Технології машинобудування») вибіркову дисципліну «Розмірно-точнісне моделювання конструкцій і технологічних процесів» (РТМК і ТП).

Методика і дидактика викладання дисципліни РТМК і ТП ґрунтується на багаторічному досвіді роботи колективу кафедри технологій та автоматизації машинобудування (ТАМ) у цьому напрямі і узгоджується зі змістом аналогічних дисциплін, які викладаються в інших технічних ЗВО України [1-3, 9]. Метою вивчення дисципліни РТМК та ТП є формування у майбутніх магістрів спеціальності 131 – Прикладна механіка (освітня програма – Технології машинобудування) глибоких систематичних знань і практичних навиків зі встановлення й забезпечення необхідних показників точності машинобудівних виробів (складальних одиниць та деталей) під час їх проектування й виготовлення. Завданням вивчення дисципліни РТМК та ТП є теоретичне та практичне освоєння методів та засобів застосування розмірно-точнісного моделювання під час проектування машин і технологічних процесів їх складання й виготовлення деталей. В результаті вивчення дисципліни студент має знати: методи теорії розмірних ланцюгів; суть методів забезпечення точності ланок замикання під час складання машини і сфери їх використання; мету, початкові дані для розрахунку конструкторських розмірних ланцюгів і послідовність його виконання; мету, початкові дані для розмірно-точнісного моделювання технологічних процесів механічної обробки та послідовність його виконання. Студент має уміти: будувати конструкторські ланцюги та визначити показники точності ланок замикання.

торські лінійні та кутові розмірні ланцюги і розв'язувати як пряму, так і обернену задачі їх розрахунку; визначати розташування ланок замикання складальних одиниць, встановлювати їх номінальні розміри і граничні відхилення і вибирати методи їх забезпечення під час складання; за допомогою розмірно-точнісного моделювання технологічних процесів механічної обробки визначати операційні технологічні розміри, розміри вихідної заготовки і перевіряти правильність призначення допусків технологічних розмірів. Структурна схема дисципліни РТМК та ТП показана на рис. 1.

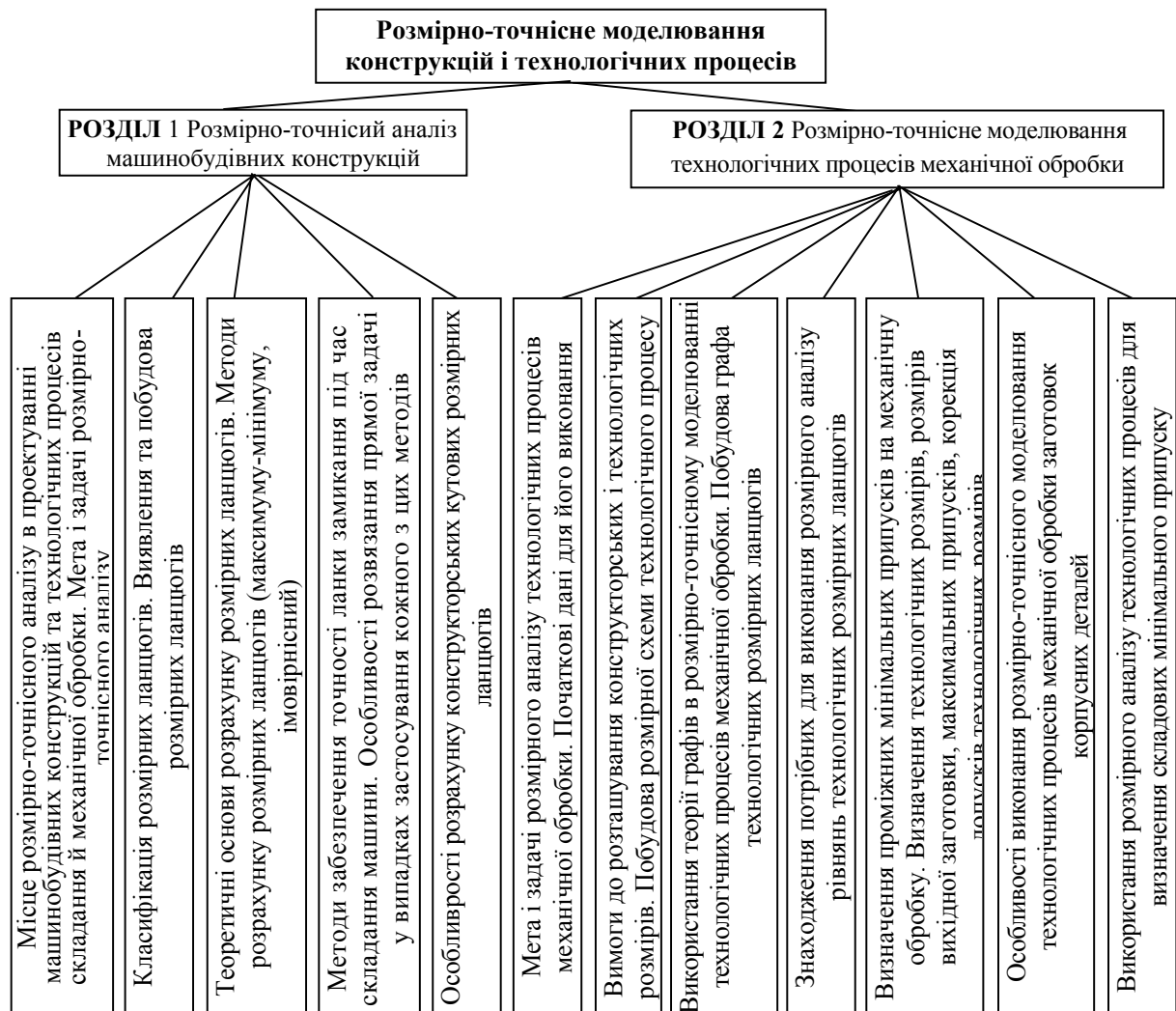


Рис. 1. Структурна схема змісту дисципліни «Розмірно-точнісне моделювання конструкцій і технологічних процесів»

Для набуття навичок практичного використання теоретичного матеріалу студенти виконують два індивідуальних домашніх завдання (ІДЗ) такого змісту:

- ІДЗ №1 – розмірний аналіз конструкції виробу;
- ІДЗ №2 – передбачає розв'язання комплексу задач з розмірно-точнісного моделювання технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі, яка зазвичай відповідає завданню на магістерську кваліфікаційну роботу (МКР), а саме:

- 1) вибір розташування технологічних розмірів;
- 2) попереднє призначення допусків технологічних розмірів;
- 3) побудова розмірної схеми технологічного процесу;
- 4) побудова графів-дерева і суміщеного графа;
- 5) виявлення рівнянь технологічних розмірних ланцюгів;
- 6) встановлення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь;



7) визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків, корекція допусків технологічних розмірів.

За умови якісної роботи над ІДЗ №2, її результати зазвичай стають основою для подальшого виконання одного з підрозділів МКР.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бондаренко С. Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва: Навч. посібник. — К.: ІСДО, 1993. — 544 с.
2. Приходько В. П. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / В. П. Приходько; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: pdf - 15.2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с. [Електронний ресурс] : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38826>.
3. Рудь В. Д. Розмірно-точнісний аналіз конструкцій та технологій / В. Д. Рудь, О.О. Герасимчук, Т. П. Маркова. — Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2008. — 344 с.
4. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1: / О. В. Дерібо — Вінниця : ВНТУ, 2013.— 125 с.
5. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : навчальний посібник / О. В. Дерібо — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 112 с.
6. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1: практикум / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський — Вінниця : ВНТУ, 2017. — 106 с.
7. Дерібо О.В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : практикум / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. І. Сухоуков — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 116 с.
8. Дерібо О.В. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник / О.В. Дерібо, Ж.П. Дусанюк, В.П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.
9. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування. / Рудь В. Д. — К. : ІСДО, 1996. — 300 с.

**Дерібо Олександр Володимирович** – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [deriboov@ukr.net](mailto:deriboov@ukr.net).

**Репінський Сергій Володимирович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [repinskyisv@gmail.com](mailto:repinskyisv@gmail.com).

### *From the experience of teaching the discipline "Dimensional and accurate modeling of structures and technological processes" at the Vinnytsia National Technical University*

#### **Abstract**

*The experience of teaching the discipline "Dimensional and accurate modeling of structures and technological processes" (RTMK and TP) of master's training in the specialty 131 - Applied mechanics (educational program "Mechanical engineering technologies") at the Department of Technologies and Automation of Mechanical Engineering of the Vinnytsia National Technical University was considered. The content and structure of the discipline of RTMK and TP was formed taking into account the fact that one of the main tasks of a mechanical engineering technologist is to ensure the necessary accuracy of assembly units and parts.*

**Keywords:** *dimensional analysis of structures and technological processes, teaching experience, mechanical processing, accuracy, assembly unit, detail.*

**Deribo Oleksandr V.** – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [deriboov@ukr.net](mailto:deriboov@ukr.net).

**Repinskyi Serhii V.** – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [repinskyisv@gmail.com](mailto:repinskyisv@gmail.com).



## РЕГУЛЯТОР НА БАЗІ ШТУЧНИХ НЕЙРОМЕРЕЖ ДЛЯ ГІДРОСИСТЕМИ МАНІПУЛЯТОРА ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЯ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Розглянута будова регулятора для електрогідролічної гідросистеми маніпулятора вантажного автомобіля. Регулятор формує основну складову сигналу керування з використанням нейромережі класичного типу з прямим розповсюдженням сигналу. В регуляторі також використана корегувальна складову сигналу керування на основі узагальнено-регресійної нейромережі. Представлена методика навчання нейромереж, що входять до складу регулятора.*

**Ключові слова:** гідросистема, вантажний автомобіль, маніпулятор, регулятор, нейромережі.

### Вступ

В Україні налагоджено випуск спецтехніки на базі вантажних автомобілів та колісних тракторів. Така спецтехніка оснащується маніпуляторами з гідравлічним приводом. Це дозволяє застосовувати ці машини для виконання широкої номенклатури операцій на протязі всіх сезонів року [1,2]. В таких машинах часто виникає потреба суміщати роботу двох гідродвигунів, які забезпечують роботу виконавчого механізму. Найкраще така можливість забезпечується при використанні гідросистем з електрогідролічним керуванням, оснащених пропорційними регуляторами [4,5]. Так, наприклад, при виконанні операції буріння шурфів за допомогою шнека необхідно забезпечувати певне співвідношення між частотою обертання шнека та його подачею. При необхідного співвідношення виникає явище заштибовування шнека, процес буріння необхідно припинити, підняти шнек із шурфу і вручну видалити ґрунт. Це суттєво зменшує продуктивність роботи машини. Пропорційний регулятор електрогідролічної системи на основі сигналів від датчиків тиску, встановлених на вході в гідродвигуни приводів шнека, за певним алгоритмом обчислює необхідне співвідношення між частотою обертання і подачею шнека. У цьому випадку заштибовуванню можна запобігти, що забезпечить безперервність процесу буріння шурфу і відповідно буде збільшена продуктивність роботи машини.

### Результати дослідження

Перспективним є створення пропорційних регуляторів для електрогідролічних гідросистем на основі штучних нейромереж [6]. Такі регулятори можуть забезпечувати алгоритми керування сформовані на основі процесу навчання по базах даних визначених в процесі імітаційних або експериментальних досліджень гідросистем. Вони можуть забезпечувати адаптацію режимів роботи гідросистеми до зміни навантажень або умов роботи та зміну виконуваних операцій. На рис. 1 представлено схему регулятора на основі двох нейромереж, який формує сигнал керування подачею гідроциліндра шнека в залежності від частоти обертання шнека та навантаження на ньому [3]. Регулятор включає блок 1 формування корегувальної складової сигналу керування, блок 2 переключення режимів роботи, блок 3 формування сигналу холостого ходу, блок 4 формування сигналу керування величиною подачі, блок 5 формування похідної, нейромережу 6 корегувальної складової та нейромережу 7 основної складової сигналу керування. Регулятор формує сигнал  $U_m$  для керування величиною подачі шнека за залежністю:

$$U_m = F_1(i_p) - F_2(i_p, i_h) \cdot \frac{di_p}{dt},$$

де  $F_1(i_p)$  – передавальна функція нейромережі основної складової сигналу регулятора;  
 $F_2(i_p, i_h)$  - передавальна функція нейромережі корегувальної складової сигналу регулятора.

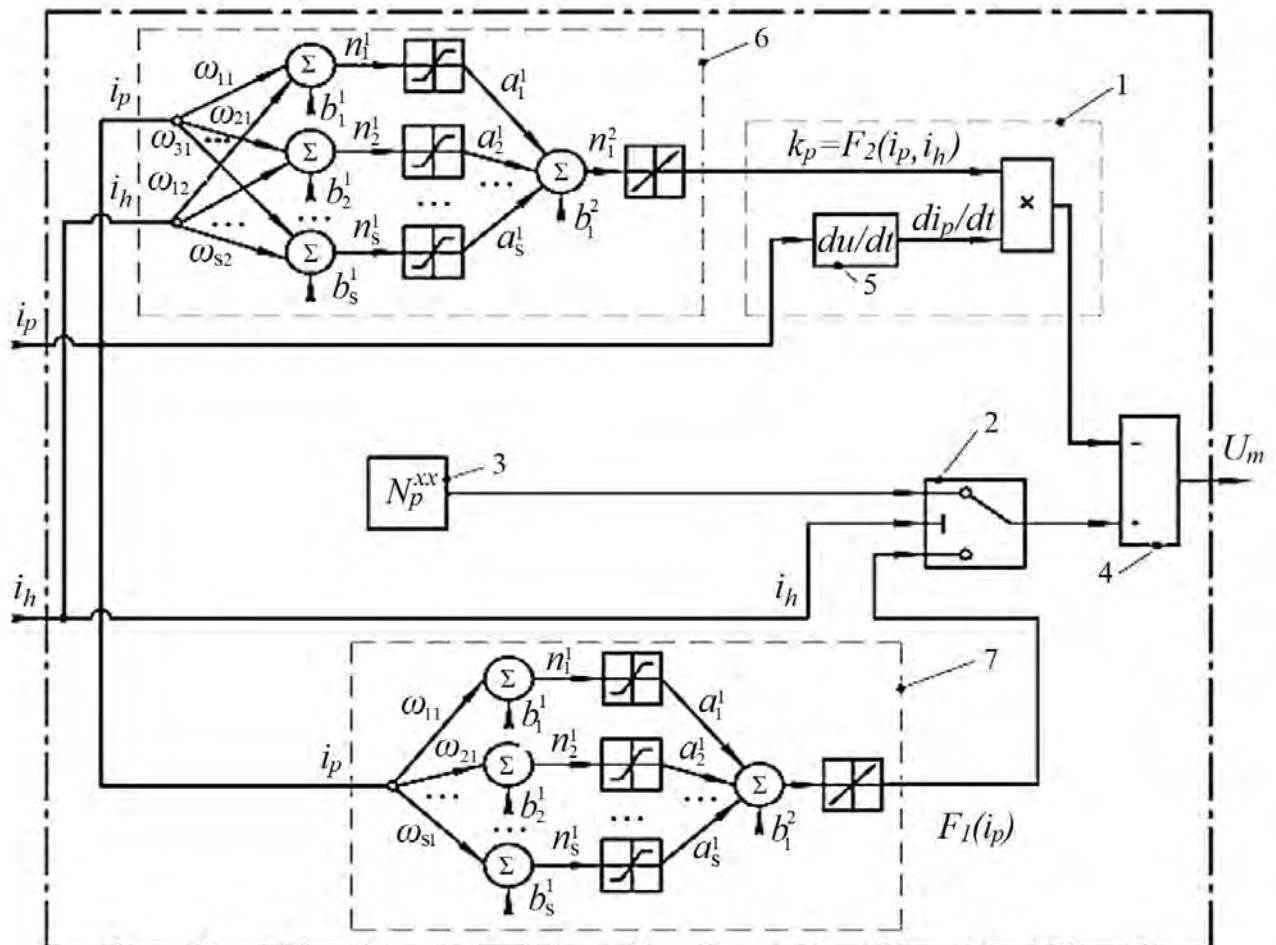


Рис. 1. Структурна схема адаптивного регулятора на основі нейромереж

Запропонований регулятор реалізовано в середовищі MATLAB-Simulink. Основну складову сигналу керування (нейромережа 7) реалізовано функцією:

$$\text{net} = \text{newff}(\text{PR}, [\text{S1}, \text{S2} \dots \text{SN1}] \text{TF1}, \text{TF2} \dots \text{TFN1}, \text{BTF}, \text{BLF}, \text{PF}),$$

де PR – значення сигналів на вході і виході нейромережі із бази даних;

[S1, S2...SN1] – кількість нейронів в прихованих шарах нейромережі;

TF1, TF2...TFN1 – функції активації для прихованих шарів;

BTF – функція навчання нейромережі;

BLF – функція налаштування вагових коефіцієнтів та зміщень;

PF – функція похибки.

Для newff використана функція активації нейронів прихованого шару  $\text{tansin}$ , а для вихідного нейрона –  $\text{purelin}$ , функція навчання –  $\text{trnsngd}$ , функція для вагових коефіцієнтів на зменшень  $\text{learnngdm}$ , для похибки –  $\text{mse}$ .

Доцільне використання градієнтного алгоритму навчання GD. Для припинення процесу навчання використані наступні параметри:  $\text{epochs}$  – максимальна кількість циклів,  $\text{goal max-fail}$  – максимальне значення функціонала навчання,  $\text{min-grad}$  – мінімальне значення градієнта. В якості функціонала навчання використана величина відхилення сигналу, що генерується нейромережею від бажаних значень сигналу.

$$j = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q \sum_{i=1}^{S^M} (t_i^q - a_i^{S^M})^2,$$

де  $Q$  – об'єм вибірки навчання;

$M$  – число шарів мережі;

$q$  – номер елемента вибірки;

$a^q = \begin{bmatrix} a_i^{q^m} \end{bmatrix}$  – вектор сигналу на вході мережі;

$t^q = \begin{bmatrix} t_i^q \end{bmatrix}$  – вектор значення сигналу на виході мережі.

Цей функціонал має назву похибки навчання, а процес навчання є процесом знаходження параметрів нейромережі мінімізуючих функціонал навчання

Для реалізації корегувальної складової сигналу регулятора застосовано нейромережу узагальнено-регресійного типу. Нейромережа корегувальної складової сигналу регулятора реалізована функцією newgrnn (P, T, spread). Тут позначено P, T – вхідних та вихідних даних для нейромережі; spread – параметр для навчання нейромережі. Функція активації нейрона має вигляд  $\text{radbas}(n)=e^{-n^2}$ . Нейромережа має два прихованих шари: радіально-базисний шар та лінійний. Число нейронів у радіально-базисному шарі дорівнює числу пар навчальних даних. Для навчання узагальнено-регресійної нейромережі основним параметром є spread. Чим більше значення spread, тим більше число нейронів реагують на вхідні значення і в підсумку залежність, що генерується нейромережею стає більш плавною і наближеною до бажаної.

При застосуванні нейромережі необхідно зібрати базу даних для проведення їх навчання. Нейромережа працює з числовими даними взятими з діапазону, що відповідає робочому діапазону зміни параметрів та режимів роботи гідропривода. На рис. 2 подано алгоритм проведення навчання нейромереж, що входять до складу адаптивного регулятора.

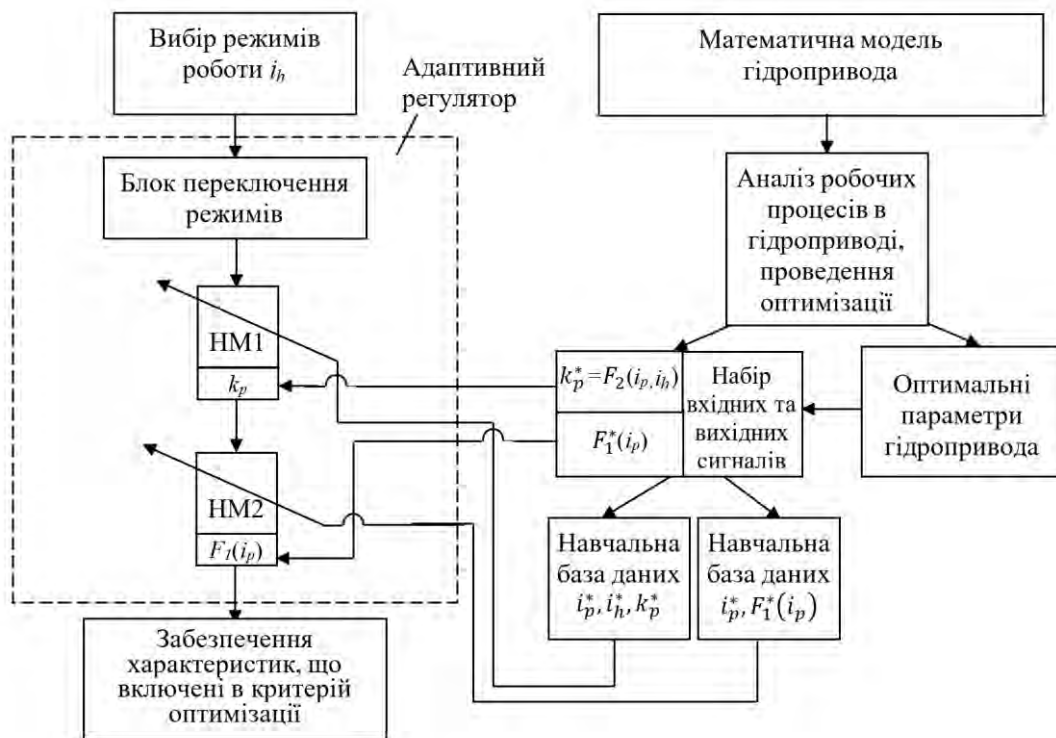


Рис. 2. Алгоритм навчання нейромереж адаптивного регулятора

Основою для створення бази даних навчання нейромережі є математична модель гідропривода. В процесі оптимізації визначені параметри гідропривода, сполучення яких забезпечує найкраще значення розробленого критерію оптимізації. При оптимальному сполученні параметрів гідропривода необхідно провести дослідження по створенню баз даних для навчання нейромереж.

Навчальна база для нейромережі основної складової сигналу регулятора включає сукупність значень  $i_p^*$  та  $F_1^*(i_p)$ , які визначаються на основі імітаційних досліджень.

Навчальна база для нейромережі корегувальної складової включає сукупність значень  $i_p^*$  та  $i_h^*$ , яким відповідає сукупність даних  $k_p^*$ . Необхідна залежність між цими величинами визначається на основі результатів досліджень по математичній моделі [3]. Як правило, для опису  $k_p^*$  використовується його середнє значення та середньоквадратичне відхилення.

Результатом навчання є кількість прихованих шарів, кількість нейронів у них та параметри нейромереж, які при відомих значеннях сигналів  $i_p, i_h$  на вході регулятора забезпечують формування необхідного сигналу  $U_m$  на виході регулятора. При знайдених залежностях сигналу керування  $U_m$  від сигналів  $i_p, i_h$  буде забезпечуватись робота гідропривода з характеристиками, що були включені в критерій оптимізації.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мережа Internet: Продукція підприємства «Завод спецтехніки «Технокомплект»». Режим доступу: <https://thk.kiev.ua/>
2. Мережа Internet: Продукція підприємства «Будагромаш». Режим доступу: <https://budagromash.com.ua/>
3. Leonid Kozlov, Algorithm of Controlling an Adaptive Hydraulic Circuit for Mobile Machines. /Leonid Kozlov, Yuri Buriennikov, Oana Rusu, Volodymyr Pyliavets, Vadym Kovalchuk, Oleksandr Petrov, Ioan Rusu, International Journal of Modern Manufacturing Technologies, Special Issue, Vol. XIII, No. 3 / 2021, pp. 79-86.
4. Ніконов О. Я. Електрогідравлічні слідуючі приводи з нейрокеруванням для транспортних машин високої прохідності / О. Я. Ніконов // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2007. – № 3, Ч.1. – С. 184 – 189.
5. Takao Nishiumi. Hydraulic servo control using a neural net / Takao Nishiumi, Shizuro Konami, John Watton // Proceedings of the 2nd International scientific forum on the. Developments in Fluid Power Control of Machinery and Manipulators. – Cracow, 2000. – Mode of access: URL: <http://fpn.mech.pk.edu.pl/polish/docs/publicat/ksiazki/83-86219-71-8-3.html>.
6. М.А. Новотарський, Б.Б. Нестеренко. Штучні нейронні мережі: обчислення // Праці Інституту матем. НАН України. – Т50. – Київ: Ін-т математики НАН України, 2004. – 408 с.

**Кашканов Андрій Альбертович** – докт. техн. наук, професор, директор інституту аспірантури та докторантури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [a.kashkanov@gmail.com](mailto:a.kashkanov@gmail.com)

**Козлов Сергій Леонідович** – аспірант, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [serhii.kozlov@gmail.com](mailto:serhii.kozlov@gmail.com)

#### ***The regulator based on artificial neural networks for the hydraulic system of the truck manipulator***

##### ***Abstract***

*The structure of the regulator for the electro-hydraulic hydraulic system of the truck manipulator is considered. The regulator forms the main component of the control signal using a neural network of the classical type with direct signal propagation. The controller also uses a corrective component of the control signal based on a generalized regression neural network. The method of training neural networks included in the regulator is presented.*

**Key words:** hydraulic system, vintage car, manipulator, regulator.

**Kashkanov Andrii** – doct. tech. sciences, prof. Director of the Institute of Postgraduate and Doctoral Studies, Vinnitsa National Technical University, e-mail: [a.kashkanov@gmail.com](mailto:a.kashkanov@gmail.com).

**Kozlov Serhii** - postgraduate student, Vinnitsa National Technical University, e-mail: [serhii.kozlov@gmail.com](mailto:serhii.kozlov@gmail.com)

**Leonid Kozlov<sup>1</sup>**  
**Iurii Buriennikov<sup>1</sup>**  
**Petro Michailenko<sup>2</sup>**  
**Ioan Rusu<sup>3</sup>**  
**Volodymyr Pyliavets<sup>1</sup>**

## ADAPTIVE HYDRAULIC CIRCUIT FOR MOBILE MACHINES

<sup>1</sup>Vinnytsia National Technical University, Ukraine

<sup>2</sup>TDB "Bratslav" Ukraine

<sup>3</sup>"Gheorghe Asachi" Technical University, Romania

### Abstract

*Hydraulic systems based on adjustable pumps, proportional electrohydraulic equipment and controllers are used in mobile machines. The authors propose a new scheme of the hydraulic system for mobile machines, which provides the auger drilling operation. A number of studies have shown that a certain ratio should be maintained between the frequency of auger rotation and its feed during operation, where the productivity of soil disruption should not exceed the productivity of transporting loose soil from the drilling zone. Ensuring the required ratio between the speed of the auger rotation and its feed is implemented by a controller that works according to a certain algorithm. The algorithm for controlling the auger feed value is formed. This c provides the necessary ratio between the auger feed and speed, as well as reducing the feed rate in the case of soil hardness increases. This creates the conditions for uninterrupted pit drilling at full depth and protection of the hydraulic system from overload.*

**Key words.** adaptive hydraulic circuit, mobile machines, controller, algorithm.

### Introduction

Mobile machines have hydraulic systems based on controlled pumps and modulated hydraulics. Such hydraulic circuits become more efficient if they are equipped with electrohydraulics, sensors and controllers. Controllers allow adapting the hydraulic circuit operating modes to the changes of external conditions of the machine operation.

The authors have proposed a new pattern of a mobile machine hydraulic circuit that provides auger drilling of shot holes with diameter up to 600 mm and up to 3 m deep in soil without rock. The proposed hydraulic circuit involves two controlled pumps, a partitioned distributor with modulated electrohydraulics, sensor system and a controller with analogue inputs and outputs. The hydraulic circuit provides the auger rotation and its supply during the shot hole drilling. Some known researches have proven that a certain ratio should be maintained between the auger rotation frequency and its supply during operation; such ratio should provide that the soil destruction productivity does not exceed the productivity of transporting the unconsolidated soil from the drilling area. The required ratio between the auger rotation frequency and its supply is provided by the controller operating according to a certain algorithm.

### Results

In Fig. 1, the scheme of the adaptive hydraulic system developed by the authors is presented. The adaptive hydraulic system includes: adjustable pumps 1 and 2, distributors 3, 4, hydraulic cylinder 5, hydraulic motor 6, adjustable throttles 7, 16, differential pressure valves 8, 17, controller 9, amplifiers 10, 11, pressure sensor 12 and tank 19. The hydraulic cylinder 5, which moves the handle 14 is mounted on the boom 13 of the excavator. On the handle 14, the hydraulic motor 6 is installed, which actuates the auger 15.

The hydraulic system uses an adaptive regulator (Fig. 2), which has the unit 1 for switching modes, units 2, 3 for adjusting the flow rates for hydraulic motors, mode switch 4, signal delay units 5, 6, unit 7 for forming the pattern of the ratio change between the flow rates to hydraulic motors, unit 8 for forming the transfer coefficient of the adjusting component, unit 9 for forming the derivative.

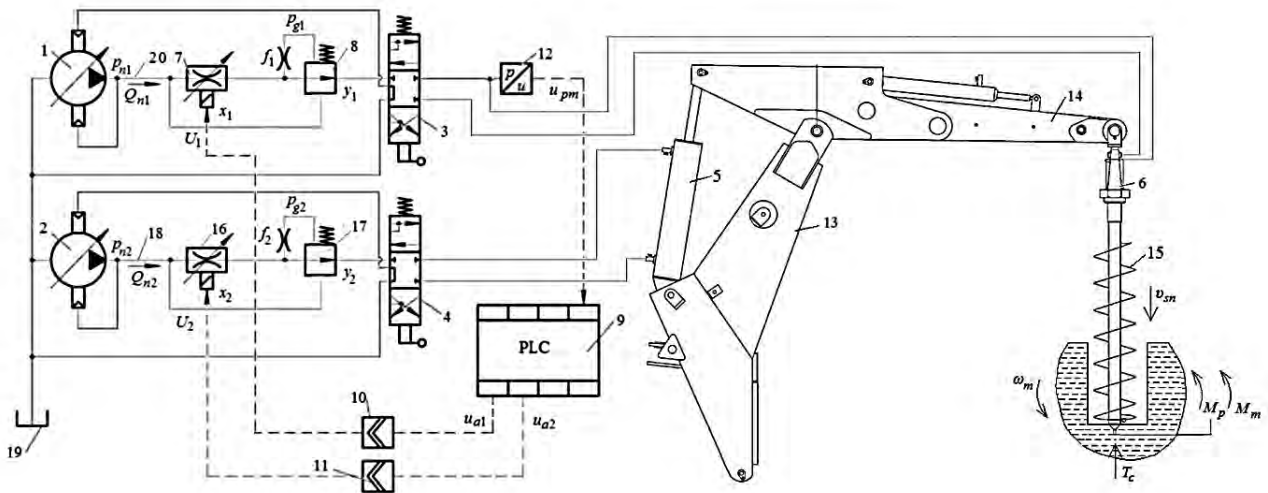


Fig. 1 Scheme of the adaptive hydraulic system

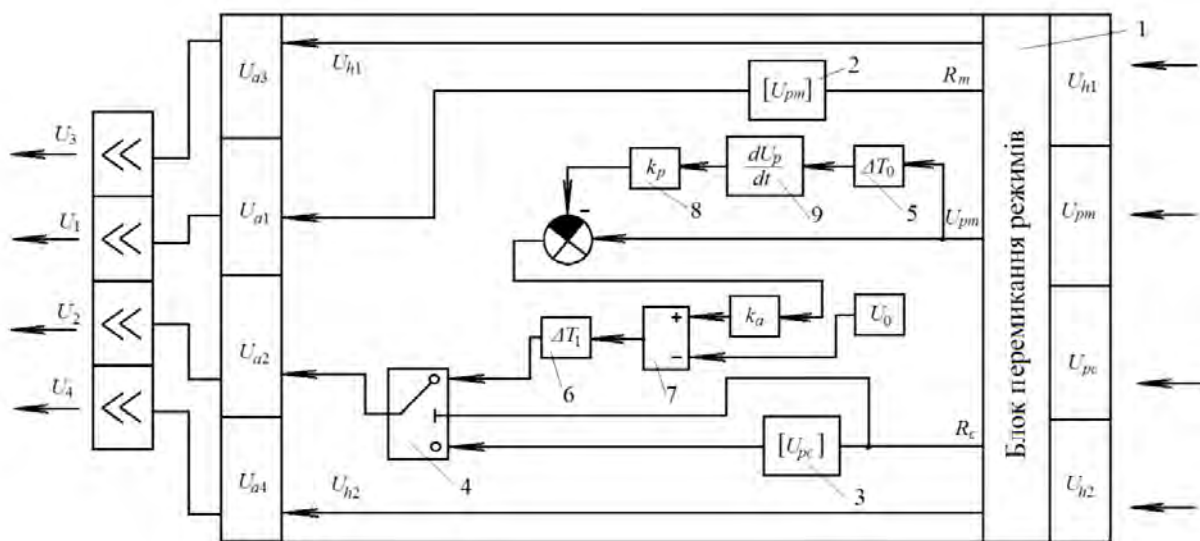


Fig. 2 Adaptive regulator

The adaptive regulator provides adjustment of the cross-connection signal between circuits which provide auger rotation and feed in order to improve the dynamic characteristics of the hydraulic system. The adaptive controller provides for possible adjustment of the parameter  $k_p$  – the transfer ratio of the adjustment component and  $\Delta T_0$  – the time delay of the cross-connection signal.

A mathematical model was developed for the presented adaptive hydraulic system. According to the mathematical model, the characteristics of the adaptive hydraulic system were calculated.

During the operation of the adaptive hydraulic system for pit drilling operations, it is necessary to maintain a stable rotation speed  $\omega_m$  of the hydraulic motor shaft, which actuates the auger. This is ensured by the presence of the throttle 7 and the differential pressure valve 8 in the adaptive hydraulic system (see Fig.1). The controller 9 provides a change in the feed rate  $v_c$  according to a certain dependence, which is implemented in the program. The program uses the dependence of type  $U_{a2} = U_0 - k_0 U_{pm}$ , where  $U_0$  and  $k_0$  are rates that vary depending on the mode of operation of the adaptive hydraulic system and the value of loads on the auger.

The algorithm provides automatic adjustment of two parameters for setting the adaptive hydraulic system:

Ensuring the ratio between the rotation speed of the auger  $\omega_m$  and the feed of the auger  $v_c$ , at which the productivity of loose rock transportation exceeds the productivity of drilling. This ratio eliminates pinching of the auger during drilling.

Active pressure control of  $p_m$  at the inlet to the hydraulic motor is carried out in order to limit the pressure of  $p_{n1}$  at the pump outlet and ensure uninterrupted drilling when soil properties are changed.

## Conclusions

The proposed control algorithm of the adaptive hydraulic system provides such a ratio between the rotation speed of the auger and the value of its feed in the drilling process, in which the productivity of soil disruption with the auger does not exceed the productivity of transporting loose soil from the drilled depth, which ensures uninterrupted operation of the machine in the working cycle. Depending on loading, the auger feed value changes under condition of not exceeding admissible pressure value in the hydraulic system.

## References

1. Burennikov Y. Mechatronics hydraulic drive with regulator based on artificial neural network / Burennikov Y., Kozlov L., Pyliavets V., Piontkovich O. // International conference on innovative research – ICIR EUROINVENT – Romania, 2017, Web of Science
2. Kozlov L. G. Scientific foundations for designing the systems of manipulator hydraulic drives with an adaptive neural network-based controllers for mobile working machines. – Manuscript copyright. National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute» of the Ministry of Education of Ukraine, Kyiv, 2015.

**Kozlov Leonid** – doct. of tech. sciences, prof., chief of Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnitsa National Technical University, Ukraine, e-mail: [osna2030@gmail.com](mailto:osna2030@gmail.com)

**Buriennikov Iurii** – cand. of tech. sciences, prof., prof. of Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnitsa National Technical University, Ukraine, e-mail: [yu.burennikov@gmail.com](mailto:yu.burennikov@gmail.com)

**Michailenko Petro** – CEA of «Bratslav-3M», Bratslav, Ukraine, e-mail: [bratslavplus@gmail.com](mailto:bratslavplus@gmail.com).

**Rusu Ioan** – Professor of Technical University “Gheorghe Asachi” of Iasi, Romania, e-mail: [vrusu2003@gmail.com](mailto:vrusu2003@gmail.com)

**Pyliavets Volodymyr** – cand. of tech. sciences, Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnitsa National Technical University, e-mail: [volodymyr.pyliavets@gmail.com](mailto:volodymyr.pyliavets@gmail.com).

### *Адаптивна гідравлічна схема для мобільних машини*

#### **Анотація**

*У мобільних машинах використовуються гідравлічні системи на основі регульованих насосів, пропорційної електрогідравлічної апаратури та регуляторів. Авторами запропоновано нову схему гідравлічної системи мобільних машин, яка забезпечує роботу шнекового буріння. У ряді досліджень показано, що між частотою обертання шнека та його подачею під час роботи необхідно підтримувати певне співвідношення, при якому продуктивність руйнування ґрунту не повинна перевищувати продуктивність транспортування рихлого ґрунту із зони буріння. Забезпечення необхідного співвідношення між швидкістю обертання шнека та його подачею здійснюється контролером, який працює за певним алгоритмом. Сформовано алгоритм керування величиною шнекової подачі. При цьому забезпечується необхідне співвідношення між подачею шнека та швидкістю, а також зниження швидкості подачі у разі підвищення твердості ґрунту. Це створює умови для безперервного буріння котловану на всю глибину та захисту гідросистеми від перевантаження.*

**Ключові слова.** адаптивна гідравлічна схема, мобільна машина, контролер, алгоритм.

**Козлов Леонід** – д.т.н., професор, завідувач кафедри Технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Україна, e-mail: [osna2030@gmail.com](mailto:osna2030@gmail.com).

**Бурєнніков Юрій** – к.т.н., проф, професор кафедри Технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Україна, e-mail: [yu.burennikov@gmail.com](mailto:yu.burennikov@gmail.com).

**Михайленко Петро** – генеральний директор ТОВ «Брацлав-3М», Україна, e-mail: [bratslavplus@gmail.com](mailto:bratslavplus@gmail.com).

**Русу Іоан** – професор Технічного університету «Георге Асакі» м. Ясси, Румунія, e-mail: [vrusu2003@gmail.com](mailto:vrusu2003@gmail.com).

**Пілявець Володимир** - к.т.н., проф, кафедра Технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Україна, e-mail: [volodymyr.pyliavets@gmail.com](mailto:volodymyr.pyliavets@gmail.com).

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*В роботі досліджено механізм підвищення експлуатаційних характеристик циліндричних поверхонь деталей. Запропоновано використовувати технологію обкочування роликком зі змінним кроком деформувальних поверхонь. Показано зв'язок між кроком гвинтової поверхні ролика, кількістю проходів, глибиною деформування та твердістю і шорсткістю обробленої поверхні.*

**Ключові слова:** поверхневе пластичне деформування, обкочування, гвинтовий ролик, твердість, шорсткість

В сучасній економічній ситуації покращення експлуатаційних характеристик деталей дає можливість конкурувати українським виробникам з дешевими виробами з Китаю або більш якісними та коштовними виробами з ЕС. Одними з основних показників, що впливають на експлуатаційні характеристики деталей є твердість та шорсткість робочих поверхонь.

Найбільш часто для підвищення ресурсу машин під час експлуатації у різних режимах навантаження є необхідним підвищити твердість робочої поверхні деталей. Для цього використовують процес поверхневого пластичного деформування [1]. Зазвичай у якості інструмента використовують кульку, яка вдавлюється в оброблену поверхню і обкочує її. При цьому відбувається ущільнення поверхневого шару, зменшується висота мікронерівностей. Для отримання необхідних експлуатаційних характеристик циліндричних поверхонь деталей процес обкочування кулькою повторюють від 10 до 20 раз. В деяких випадках велика кількість проходів інструментом призводить до утворення тріщин в поверхневому шарі та відшаруванню матеріалу.

Для зменшення кількості робочих рухів інструмента нами було запропоновано використовувати ролик, у якого на робочій поверхні наявні гвинтоподібні деформувальні поверхні, які розташовані зі змінним кроком вздовж вісі інструменту [2]. Це дає можливість уникнути появи канавок від багатократного проходження кульки по обробленій поверхні [3]. за рахунок збільшення твердості поверхневих шарів заготовки під час деформування обкочуванням відбувається покращення фізико-механічних властивостей металу і експлуатаційних характеристик деталей.

Використання гвинтоподібного профілю деформувальних поверхонь інструменту призводить до появи крім стискаючих зусиль, направлених до вісі заготовки, ще й зусиль зсуву, які направлені вздовж вісі. Це покращує схему напружено-деформованого стану в осередку деформації.

Почергова зміна напрямку руху інструменту вздовж вісі заготовки, також позитивно впливає на шорсткість обробленої поверхні заготовки. При обкочуванні гвинтоподібним роликком додатково відбувається процес вигладжування, тобто суттєвого зменшення мікронерівності [4].

### Висновки

Дослідження показали, що поверхневе пластичне деформування циліндричних поверхонь деталей роликком, зі змінним кроком деформувальних поверхонь, збільшує твердість поверхневого шару та зменшує шорсткість.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kogut L., Elastic-Plastic Contact Analysis of a Sphere and a Rigid Flat / L. Kogut, I. Etsion // ASME J. Appl. Mech., 69(5), 2002. – pp. 657–662.
2. Сердюк О. В. Дослідження процесу обкочування роликом із гвинтовою робочою поверхнею / О. В. Сердюк, С. І. Сухоруков, В. В. Сердюк, О. А. Корчинський // Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». – Хмельницький, 2021. – № 5(301). – С. 66-68.
3. Ghaednia H. A review of elastic-plastic contact mechanics / H. Ghaednia, X. Wang, S. Saha, Y. Xu, A. Sharma, R.L. Jackson // Appl. Mech. Rev. 69 (6) (2017), <https://doi.org/10.1115/1.4038187>, 060804–060804-30, ISSN 0003–6900
4. Сердюк О. В. Оцінка пластичності поверхневого шару металу при немонотонному навантаженні / О. В. Сердюк, І. О. Сивак, С. І. Сухоруков, Р. І. Сивак // Наукові нотатки: міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»). – 2016. – Випуск 54. – С. 277–281

*Сердюк Ольга Валентинівна* – канд. техн. наук, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет

*Сухоруков Сергій Іванович* — к-т техн. наук, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

*Петров Олександр Васильович*— канд. техн. наук, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет;

## INCREASING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF CYLINDRICAL PARTS SURFACES

### Abstract

*The mechanism of improving the performance characteristics of the cylindrical surfaces of parts is investigated in the work. It is proposed to use the technology of roller rolling with a variable pitch of deformable surfaces. The relationship between the pitch of the helical surface of the roller, the number of passes, the depth of deformation, and the hardness and roughness of the treated surface is shown.*

**Keywords:** surface plastic deformation, rolling, screw roller, hardness, roughness

*Serduk Olga V.* — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor, Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

*Suhorukov Sergiy I.* — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor, Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

*Petrov Oleksandr V.* — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor, Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

## ПРОБЛЕМИ І МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ТА БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСОВАНИХ ЗАПИТУВАЧІВ ЦИВІЛЬНИХ ТА ВІЙСЬКОВИХ СИСТЕМ ВТОРИННОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ

Науковий центр Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних  
Сил імені Івана Кожедуба

### Анотація.

*Розглянуті системи вторинної радіолокації для державного впізнання об'єктів та керування повітряним рухом, запитувачі яких мають забезпечувати інформаційні потреби Повітряних Сил Збройних Сил України. Показані технічні обмеження побудови комплексованих запитувачів та їх застосування у складі радіолокаторів спостереження та зенітних ракетних комплексів.*

**Ключові слова:** протиповітряна оборона, керування повітряним рухом, радіолокаційне впізнання, системи вторинної радіолокації, комплексовані запитувачі.

Протиповітряна оборона (ППО) держави в сучасних умовах потребує надійної і детальної інформації радіолокаційного впізнання для своєчасного знищення засобів повітряного нападу противника і запобігання “дружньому вогню” по своїх та нейтральних повітряних суднах (ПС). Для керування військовою авіацією потрібна також польотна інформація (висота польоту, запас палива). Інформацію впізнання надають запитувачі: системи державного радіолокаційного впізнання України “Пароль” [1] (лише військові ПС України), системи впізнання НАТО Mk ХА [2], Mk ХІА (військові ПС, в окремих режимах – цивільні ПС), цивільної системи вторинної радіолокації для керування повітряним рухом SSR (режими УВД [3] – військова авіація України, Білорусі та Росії, режими RBS – цивільна, урядова і частково воєнно-транспортна авіація), тому Повітряним Силам потрібні запитувачі, які здатні запитувати виявлені ПС в усіх перелічених системах. Застосування таких запитувачів ускладнюється тим, що всі системи розроблялись незалежно і тому є несумісними на системному (принципи впізнання ПС) і на технічному рівнях [4]. Технічна несумісність полягає головним чином у суттєвій різниці робочих частот і різної поляризації радіохвиль, що не дозволяє використовувати єдині пристрої генерування, випромінювання та приймання сигналів.

Різні принципи і можливості впізнання вимагають також різної технічної реалізації відображення результатів упізнання, автоматичного прийняття рішень за результатами впізнання. Через це в окремих існуючих зразках ОБТ – оглядових радіолокаційних станціях (РЛС) з фазованими антенними решітками, РЛС зенітних ракетних комплексів (ЗРК) – застосування комплексованих запитувачів (запитувачів більше ніж однієї системи) суттєво ускладнюється або є неможливим, що демонструє навіть зовнішній вигляд цих РЛС (рис. 1).



а) 79К6



б) AN/TPQ-64



в) AN/MPQ-53

Рисунок 1 – Приклади засобів радіолокації з антенними решітками

Можливості створення і застосування комплексованих запитувачів надають дзеркальні антени. На рис. 2, а) показаний автономний експериментальний запитувач [5], який забезпечував роботу в усіх режимах систем “Пароль” і Mk XII, в режимах УВД і RBS. Умонтований комплексований запитувач може бути використаний у вітчизняній РЛС 35Д6 різних модифікацій (рис. 2, б). Інший варіант – автономний вторинний радіолокатор типу “Траса” з окремими антенами (рис. 2, в).



Рисунок 2 – Можливі варіанти побудови комплексованих НРЗ.

Автономні комплексовані запитувачі можуть видавати інформацію безпосередньо на командні пункти Повітряних Сил, інших збройних формувань, що мають засоби ППО. Застосування таких запитувачів – єдиний спосіб забезпечення інформацією впізнання обслуг РЛС, ЗРК західного виробництва, розрізнення ПС за принципом “Військовий-цивільний”.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ В 8822:2018 Засоби радіолокаційної системи державного впізнання. Наземні радіолокаційні запитувачі. Загальні технічні вимоги.
2. ДСТУ В 8823:2018 Засоби системи впізнання “свій-чужий” Mk XA. Загальні технічні вимоги.
3. ГОСТ 21800–89 Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением. Общие технические требования.
4. Маляренко О.С., Трофимов І.М. Державне впізнання об’єктів в сучасних умовах застосування засобів ППО різних країн походження. Основні вимоги до запитувачів малої дальності// Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки: ІІ Українська наук.-техн. інтернет-конф., 17-18 листопада 2022р.– Вінниця, 2022.– С. 189.
5. Маляренко А.С. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного радиолокационного опознавания: Справочник.– Харьков: ХУВС, 2007.– 78 с.

**Маляренко Олександр Сергійович** кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, a\_mal@meta.ua.

**Трофимов Іван Миколайович** кандидат технічних наук, старший дослідник, начальник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, tininterpritor@ukr.net.

Problems and possibilities of creation and combat use of integrated interrogators of civil and military secondary radar systems

#### Abstract.

*Secondary radar systems for identification Friend or Foe of objects and air traffic control are considered, the interrogators of which should meet the information needs of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. The technical limitations of the construction of integrated interrogators and their application as part of surveillance radars and surface-air missiles are shown.*

**Keywords:** Air Defense, Air Traffic Control, Identification Friend or Foe, Secondary Radar Systems, Integrated Interrogators.

**Oleksandr Maliarenko** Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Lead Researcher of Air Force Science Centre of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, a\_mal@meta.ua.

**Ivan Trofymov** Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Chief of Scientific Research Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, tininterpritor@ukr.net.

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІЛОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ АЕРОДРОМІВ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Проведено аналіз основних характеристик існуючих засобів світлосигнального обладнання аеродромів.

**Ключові слова:** аеродромний вогонь, світлотехнічне обладнання, джерело світла.

### Abstract

An analysis of the main characteristics of existing airfield light signaling equipment was carried out.

**Keywords:** airfield fire, lighting equipment, light source.

### Вступ

Сучасний стан справ щодо світлотехнічного забезпечення аеродромів вимагає проведення удосконалення та модернізації існуючих засобів світлосигнального обладнання аеродромів, посадкових прожекторів та маяків з дотриманням вимог національних нормативних документів та стандартів і рекомендованої практики ІКАО до світлотехнічного обладнання аеродромів державної та цивільної авіації.

### Результати досліджень

Для світлотехнічного забезпечення польотів на аеродромах державної авіації використовуються світлотехнічні засоби як радянського виробництва розробки 1950-1970 років, так і новітні засоби вітчизняного виробництва ТОВ "ОСП Корпорація "Ватра".

З метою подальшого удосконалення та модернізації світлотехнічного обладнання доцільно провести аналіз основних характеристик цих засобів.

На аеродромах державної авіації застосовується два основні типи аеродромних світлосигнальних маяків: кодово-неоновий світломаяк КНС-4 радянського виробництва; маяк імпульсний "Фотон-МІ" вітчизняного виробництва.

Основні характеристики світлосигнальних маяків наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

№ з/п	Найменування характеристик	Тип світломаяка	
		КНС-4	"Фотон-МІ"
1.	Максимальна сила світла, кд	2500	2250
5.	Споживана потужність, Вт	3 600	130
6.	Вага, кг	150	15
7.	Габаритні розміри світлового приладу: висота, мм діаметр, мм	1400 460	925 250
8.	Джерела світла	6-ть ламп ДНеСГ-500-1	300 світлодіодів
9.	Середній ресурс джерел світла, год	1 000	25 000

Недоліками маяка "Фотон-МІ" є дещо нижча максимальна сила світла та обмеженість у виборі кодів при роботі у кодованому режимі (спроможний забезпечувати вибір лише однієї літери коду Морзе). Решта основних характеристик однакові або виграшні порівнюючи з маяками типу КНС-4.

З аеродромних посадкових прожекторів на аеродромах державної авіації на цей час використовуються чотири основні типи: АПМ-90М і АПП-90П радянського виробництва; “Сяйво-Д” і “Сяйво-Н” вітчизняного виробництва.

Основні характеристики аеродромних посадкових прожекторів наведено у таблиці 2.

Таблиця 2.

№ з/п	Найменування характеристик	Тип прожектора			
		АПМ-90М авто	АПП-90П авто	“Сяйво-Д” стац.	“Сяйво-Н” стац.
1.	Максимальна сила світла, ккд:	16 000	3500	6 000	650
2.	Кути розсіювання, град: у вертикальній площині із: захисним склом розсіювачем  у горизонтальній площині із: захисним склом розсіювачем	не більше 3,5 не більше 5,5  не більше 2,5 -17 ÷ +30 (47)	- не менше 3,25  - не менше 50	не більше 5 -  не більше 14 -	не більше 9 -  не менше 70 -
3.	Джерела світла	вуглі ПІГ-П У 16-150	ДРИЩ-2500	HQI-TS-2000 W/D/S	HQI-TS-2000 W/D/S
4.	Електроживлення	380/220 від зовн. джерел (агрегат АЭТ-110-150 )  генератор ПР-125	220 В від зовн. джерел  АБ-4-0/230	380 В від зовн. джерел  АБ-8-Т/400	380 В від зовн. джерел  АБ-8-Т/400
5.	Ресурс джерел світла, год	1,25	100	6 000	6 000
6.	Транспортна база	ЗИЛ-130	УАЗ-33031	-	-
7.	Маса прожектора, кг (без авто)	900	300	60	65
8.	Споживана потужність, кВт	16,5	3,0	2,2	2,2

Відсутність можливості універсального застосування прожекторів типу “Сяйво” та недосконала система електроживлення, яка потребує використання двох фаз для функціонування одного прожектора, що призводить до нерівномірного по-фазного навантаження електромережі (перекошу фаз) та необхідності застосування додаткового пристрою – баласту для навантаження третьої фази автономного електричного генератора, у разі його використання, а також недосяжні до прожектора АПМ-90М характеристики, дають простір для удосконалення та модернізації новітніх аеродромних посадкових прожекторів.

В реаліях сьогодення на аеродромах державної авіації використовується світлосигнальне обладнання Луч-2, АС-59У, “Фотон” та Луч-4, з яких Луч-2, АС-59У та “Фотон” мають в своєму складі лише вогні малої та середньої інтенсивності, а Луч-4 – вогні високої інтенсивності.

Основні характеристики світлосигнального обладнання “Фотон” та Луч-2 практично ідентичні, а от прожекторні вогні Луч-4 мають максимальну силу світла на порядок вищу. Наряду з перевагами щодо показників енергоспоживання вогнів та надійності світлосигнального обладнання “Фотон”, існує потреба у розробці вогнів високої інтенсивності.

#### Висновки

Аналіз основних характеристик існуючих засобів світлосигнального обладнання аеродромів дає простір щодо удосконалення та модернізації цих засобів, а також дає змогу у визначенні перспективних напрямків їх розвитку.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Світлотехнічне забезпечення польотів авіації: Засоби світлотехнічного забезпечення польотів та перспективи їх розвитку: навч. посіб. С. А. Макаров, В. М. Славихін, В. П. Манаєнков та ін. – Х. : ХНУПС, 2021. – 208 с.

**Бондаренко Павло Якович** – старший викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [pavlobondarenko1970@gmail.com](mailto:pavlobondarenko1970@gmail.com)

**Вищун Ігор Вячеславович** – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [viv@vntu.edu.ua](mailto:viv@vntu.edu.ua)

**Табачук Григорій Васильович** – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [gtabachukv@gmail.com](mailto:gtabachukv@gmail.com)

**Bondarenko Pavlo** – Senior Lecturer of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinntsia, e-mail: [pavlobondarenko1970@gmail.com](mailto:pavlobondarenko1970@gmail.com)

**Vishchun Ihor** – Lecturer of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinntsia, e-mail: [viv@vntu.edu.ua](mailto:viv@vntu.edu.ua)

**Tabachuk Hryhoriy** – Lecturer of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinntsia, e-mail: [gtabachukv@gmail.com](mailto:gtabachukv@gmail.com)

## ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНИХ СПОСОБІВ ОГЛЯДУ ПРОСТОРУ ТА ТИПУ АНТЕНИ РЛС ВІЯВЛЕННЯ ГІПЕРЗВУКОВИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

### Анотація.

Обґрунтовано доцільні способи огляду простору спеціалізованими радіолокаційними станціями виявлення гіперзвукових літальних апаратів. Визначено типи та конструктивний обрис антенних систем означених засобів радіолокації.

**Ключові слова:** антенна система, гіперзвукові літальні апарати, зона виявлення, огляд простору, радіолокаційна станція

В оглядових радіолокаційних станціях (РЛС) контролю повітряного простору зазвичай використовують паралельний огляд в кутомісцевій площині і послідовний огляд в горизонтальній площині через регулярне обертання антенної системи [1]. Такий спосіб огляду простору є оптимальним для оглядових РЛС виявлення і супроводження літальних апаратів на швидкостях польоту до 3М. Для їхнього супроводження достатньо здійснювати оновлення інформації через кожні 10...20 с. Обертання антенних систем з таким періодом навіть в РЛС метрового діапазону хвиль, в яких антени за масогабаритними характеристиками є найбільшими, не викликає труднощів.

Інша справа зі супроводженням гіперзвукових літальних апаратів (ГЗЛА), які рухаються зі швидкістю 5...10 М. Темп оновлення інформації по них має бути не більше 2 с [2]. Обертати масивні антенні системи з таким періодом є рішенням неприйнятним. Отже, механічне сканування променем має бути замінено електронним, що автоматично визначає і тип антенних систем – фазовані антенні решітки (ФАР).

Існують три основні способи огляду заданої області простору  $\Delta B \times \Delta E$  ( $\Delta B$  – ширина сектору сканування в азимутальній площині,  $\Delta E$  – у вертикальній): послідовний, паралельний і послідовно-паралельний. Найбільш доцільним є останній спосіб, в якому компромісно поєднуються переваги та недоліки перших двох способів. Варіацій такого поєднання може бути безліч. В оглядових РЛС, в яких немає потреби в довільному переміщенні променя в обох площинах, доцільним з міркувань технічної реалізації є використання одного лезоподібного скануючого передавального променя і віяла нерухомих лезоподібних ортогонально орієнтованих відносно передавального променя приймальних променів (рис. 1, а, б). При цьому можливими є два варіанти.

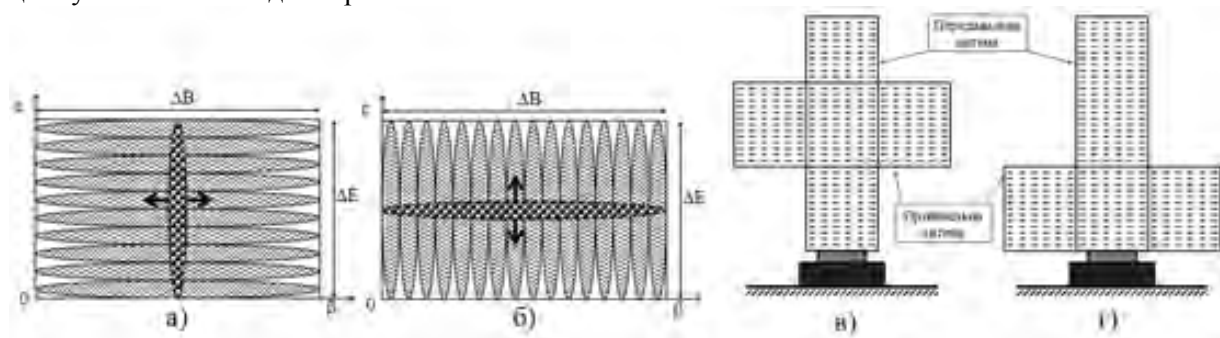


Рисунок 1. – Способи огляду простору (а, б) та обрис антенних систем (в, г) РЛС виявлення ГЗЛА.

За першого варіанту вертикально орієнтований лезоподібний передавальний промінь (рис. 1, а) здійснює сканування в азимутальному секторі  $\Delta B$ , а вертикальний сектор  $\Delta E$  перекриває віяло горизонтально орієнтованих лезоподібних нерухомих приймальних променів. За другого варіанту передавальний промінь зорієнтований горизонтально (рис. 1, б) і здійснює сканування в секторі кутів місця  $\Delta E$ , а віяло вертикально орієнтованих лезоподібних нерухомих приймальних променів перекриває азимутальний сектор  $\Delta B$ .

Перевагою розглянутих варіантів послідовно-паралельного огляду простору є значне спрощення конструкції антенної системи. Апертура антени замість прямокутної форми розміром  $50\lambda \times 75\lambda$ , яка була б характерною при використанні послідовного або паралельного способів, тепер може мати форму хреста "+" (рис. 1, в) або перевернутої літери "1" (рис. 1, г). Це суттєво зменшує вагові характеристики антенної системи, її парусність, підвищує стійкість проти ожеледі, тощо.

Проведений аналіз можливих способів огляду простору, які використовуються в оглядовій радіолокації, показав, що в РЛС виявлення та супроводження ГЗЛА, найбільш доцільним способом огляду простору є використання послідовно-паралельного огляду зі скануванням передавального променя у вертикальній площині.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основы построения радиолокационного вооружения радиотехнических войск: Учебник для вузов Войск ПВО страны / под ред. В.В.Литвинова. Харьков: ВИРТА ПВО, 1986. 348 с.
2. Климченко В.Й., Тютюнник В.О., Тах'ян К.А., Рибалка Г.В. Особенности радиолокационной разведки гиперзвуковых летальных аппаратов. Системы озброєння і військова техніка. 2020. №2(72). Харків: ХНУПС. С. 41–46.

**Климченко Василь Йонович** – кандидат технічних наук доцент провідний науковий співробітник Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0003-3999-8130>, [vasklim@i.ua](mailto:vasklim@i.ua)

**Тютюнник Владислав Олександрович** – кандидат технічних наук старший науковий співробітник начальник науково-дослідного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>, [tvlad1970@gmail.com](mailto:tvlad1970@gmail.com)

**Тах'ян Кристина Альбертівна** – старший науковий співробітник науково-дослідного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, [madi27@ukr.net](mailto:madi27@ukr.net)

#### JUSTIFICATION OF APPROPRIATE METHODS OF INSPECTION OF SPACE AND TYPE OF RADAR ANTENNA FOR DETECTION OF HYPERSONIC AIRCRAFT

##### **Abstract.**

*Rational methods of airspace surveillance for hypersonic aircraft detection radars are discussed. The types and structure of the array for hypersonic aircraft detection radars are proposed.*

**Key words:** airspace surveillance, array, detection zone, hypersonic aircraft, radar

**Vasyl Klimchenko** – Philosophy Doctor in Engineering Associate Professor Leading Researcher of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0000-0003-3999-8130>, [vasklim@i.ua](mailto:vasklim@i.ua)

**Vladyslav Tiutiunnyk** – Philosophy Doctor in Engineering Senior Researcher Head of Scientific Research Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>, [tvlad1970@gmail.com](mailto:tvlad1970@gmail.com)

**Kristina Tahyan** – Senior Researcher of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0003-0087-9601>, [madi27@ukr.net](mailto:madi27@ukr.net)



М. Г. Домненко  
І. В. Віщун  
Г. В. Табачук

## БОЄПРИПАСИ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація:

Запропоновано розроблення спеціальних боєприпасів для безпілотних авіаційних комплексів з метою ураження живої сили противника.

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати, противник, ручні гранати, мінометні міни, піхота, бойові дії, боєприпас.

### Aannotation:

It is proposed to develop special ammunition for unmanned aerial systems to destroy the enemy's manpower

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, enemy, hand grenades, mortar mines, infantry, combat operations, ammunition.

### Вступ

Із 24.02.2022 р. противник планував нанести масований ракетно-авіаційний удар. Але в процесі реалізації задуму він вилився в ракетний удар крилатими ракетами.

У той же час ЗСУ ефективно використали винищувальну авіацію для відбиття нападу. Зокрема, за березень–травень 2022 р. ЗСУ знищували в середньому по 178 бойових літаків та 153 гелікоптерів на місяць, а до кінця грудня ця цифра знизилася до 11 та 14 відповідно. З липня активність пілотованої авіації ПКС противника зменшилася з метою уникнення великих втрат. З березня сторони конфлікту широко використовують безпілотні авіаційні літальні апарати (далі – БПЛА).

Динаміку знищення БПЛА противника за місяцями до кінця 2022 р. продемонстровано в таблиці.

БПЛА	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	24.02.2022 р.– 31.12.2022 р.
Оперативно-тактичного призначення	83	232	515	641	94	114	154	410	149	184	<b>1746</b>

Боротьба за панування у повітрі змінилася з використання пілотованої авіації до безпілотної.

ЗСУ отримують БПЛА DJI Mavic 3, DJI Matrice, з'являється так звана аеророзвідка, а, як наслідок, створюються її підрозділи. БПЛА адаптують для скидання бойових гранат (Ф-1, РГД-5, РГО, РГН, РКГ-3) та мін (ВОГ-17, 82 мм для міномета 2Б14 та 120 мм для – 2Б11, 2Б12) на ворога. БПЛА перетворюються на високоточну зброю, яка одночасно виконує і завдання ведення аеророзвідки.

Нижче приведені вагові характеристики зазначених боєприпасів.

Назва	Вага (г)	Назва	Вага (Г)	Назва	Вага (Г)	Назва	Вага (г)
Граната Ф-1	600	Граната РГН	310	Граната РКГ-3	1007	Міна 82 мм	3140
Граната РГД-5	310	Граната РГО	530	Міна ВОГ-17	280	Міна 120 мм	3900



Вага боєприпасів, які доставляють БПЛА, змінюється у дуже широких межах: від 280 до 3 900 грам.

З цієї причини БПЛА ЗСУ DJI Mavic 3 застосовує всі види гранат та міну ВОГ-17, а DJI Matrice – 82 та 120 мм міни.

Зазначені боєприпаси розраховані на здійснення вибуху, за якого осколки розлітаються радіально, тобто у всіх напрямках від центру вибуху. Їх більша кількість використовується неефективно. Виняток становить граната РКГ-3, яка призначена для знищення броньованої техніки.

### Основна частина

Для зменшення ваги БП пропонується виготовляти їх із міцної пластмаси або інших неметалевих матеріалів, які дуже міцні і не деформуються під час дії вибуху. Вага БП не повинна бути дуже малою, інакше, вітер знесе його на значну відстань від точки прицілювання. Форма БП повинна бути кільцеподібною з отвором усередині для зручності кріплення до корпусу БПЛА.

У зовнішні стінки БП вплавляються елементи ураження, які є гострими конусами (розташовуються гострим кінцем назовні) або стрілами розміром від 2 до 4 см, які розміщуються аналогічно. Елементи ураження скріплюються між собою пластмасою, яка швидко руйнується під час вибуху, щоб елементи ураження отримували більшу енергію руху ніж залишки корпусу.

Вибухова речовина БП розташовується за елементами ураження так, щоб забезпечувався вибух направленої дії у всіх напрямках, утворюючи зону суцільного ураження по колу. Підрив БП потрібно здійснити не на земній поверхні, а на відстані 50–80 см над нею для утворення зони ураження у всіх напрямках на висоті від 0 до 200 см. Забезпечити вибух над землею можна завдяки вже відомим механічним схемам або з використанням електронних таймерів. Проте у такому разі потрібно здійснювати скидання боєприпасів із фіксованої висоти та комплектувати їх спеціальною електронною схемою підриву з елементами живлення.

Для знищення групових цілей потрібна розробка іншого спеціального БП, який здійснює вибух на висоті 10–12 м над скупченням живої сили. Такий БП повинен мати іншу форму та забезпечувати направлений вибух із повітря на землю.

### Висновки

Отже, розроблення, дослідження та вироблення спеціальних боєприпасів для БПЛА суттєво підвищить ефективність їх використання для знищення живої сили противника.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Настанова зі стрілецької справи. Ручні гранати. Київ: «Центр учбової літератури», 2022. 54 с. ISBN 978-611-01-2723-3.
2. Міномет калібру 82-мм «УПК-82». Настанова щодо експлуатування. Київ: «Центр учбової літератури», 2022. 60 с. ISBN 978-611-01-2762-2.
3. Міномет калібру 120-мм МП-120. Настанова щодо експлуатування. Київ: «Центр учбової літератури», 2022. 112 с. ISBN 978-611-01-2.

*Домненко Микола Григорович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mikoladomnenko568@gmail.com*

*Віщун Ігор Вячеславович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [viv@vntu.edu.ua](mailto:viv@vntu.edu.ua)*

*Табачук Григорій Васильович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [gtabachukv@gmail.com](mailto:gtabachukv@gmail.com)*

*Domnenko Mykola, Lecturer, Department of Military Training, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, e-mail: mikoladomnenko568@gmail.com*

*Vishchun Ihor – Lecturer of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [viv@vntu.edu.ua](mailto:viv@vntu.edu.ua)*

*Tabachuk Hryhoriy – Lecturer of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [gtabachukv@gmail.com](mailto:gtabachukv@gmail.com)*

**В.В. Старцев,  
А.А. Леках,  
О.П. Мусієнко,  
О.М. Гурін**

## **НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В СИСТЕМІ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗС УКРАЇНИ**

*Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

**Анотація:** Розглянуті нові науково-технічні підходи щодо вирішення проблем відновлення озброєння та військової техніки (ОВТ) у системі логістичного забезпечення (ЛЗ) Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил (ЗС) України під час відсічі широкомасштабної агресії з боку РФ та виконання завдань у складі угруповання військ у зоні проведення операції об'єднаних сил на сході України.

**Ключові слова:** бойові дії, відновлення, озброєння та військова техніка, ефективність відновлення, логістичне забезпечення, ремонтно-відновлювальні роботи, ступінь пошкодження.

Процес удосконалення науково-технічних підходів щодо виконання заходів з відновлення ОВТ в системі ЛЗ ПС ЗС України пропонується поділити на три взаємопов'язаних етапи: перший – аналіз процесу відновлення ОВТ; другий – розробка методичного апарату; третій – розробка рекомендацій (пропозицій) щодо удосконалення системи ЛЗ з питань організації та здійснення відновлення ОВТ.

Аналіз процесу відновлення ОВТ складається з різних складових, головними з яких є проведення аналізу факторів що впливають на організацію відновлення ОВТ, способів і підходів до оцінювання ефективності відновлення ОВТ, існуючого методичного апарату оцінювання ефективності відновлення ОВТ, організаційно-штатної структури ремонтно-відновлювальних органів (РВО) ПС ЗС України, розробки вимог до організації відновлення пошкодженого ОВТ та визначення показників які характеризують ефективність відновлення ОВТ.

Для оцінювання ефективності відновлення пошкоджених ОВТ в умовах бойового застосування необхідна розробка методичного апарату, якій повинний складатися з опису ряду методик, наприклад: методики оцінювання стану ОВТ, пошкодженого під час ведення бойових дій; методики оцінювання можливостей відновлення ОВТ; методики визначення кількісно-якісного складу виїзних ремонтних бригад (ВРБр) з відновлення ОВТ; методики оцінювання ефективності функціонування відновлення ОВТ під час ведення бойових дій (БД) тощо.

Методика оцінювання стану ОВТ, пошкодженого під час ведення бойових дій призначена для проведення розрахунків очікуваних пошкоджень ОВТ внаслідок застосування противником засобів ураження. Методика оцінювання можливостей відновлення пошкодженого ОВТ призначена для проведення розрахунків очікуваних термінів відновлення ОВТ, пошкодженого противником. Методика визначення кількісно-якісного складу ВРБр з відновлення ОВТ пошкодженого в ході БД призначена для розрахунку оптимальної кількості ВРБр з відновлення ОВТ та їх складу.

Розробка рекомендацій та пропозицій щодо удосконалення системи ЛЗ з питань організації та здійснення відновлення ОВТ може включати різні напрями діяльності, головними з яких на наш погляд повинні бути: визначення проблемних питань організації відновлення пошкодженого ОВТ ПС ЗС України; вироблення рекомендацій щодо удосконалення відновлення ОВТ; розробка пропозицій щодо удосконалення організаційно-штатної структури та оснащення ремонтно-відновлювальних органів ПС ЗС України; вироблення рекомендацій органам військового управління щодо розробки необхідних керівних документів з відновлення ОВТ в системі ЛЗ ПС ЗС України; розробка Керівництва з відновлення ОВТ ПС ЗС України.

Аналіз існуючої організаційно-штатної структури та оснащення РВО ПС ЗС України, що висуваються до організації ремонтно-відновлювальних робіт на ОВТ, пошкодженого під час ведення БД, свідчить про зростаючу актуальність розробки та впровадження нових підходів щодо реорганізації системи відновлювання ОВТ в особливий період та створення сучасних засобів діагностування, технічного обслуговування та військового ремонту ОВТ родів військ ПС.

Основною метою розробки Керівництва з відновлення ОВТ ПС ЗС України є встановлення загальних вимог до планування, порядку організації та проведення ремонтно-відновлювальних робіт на ОВТ в особливий період (під час ведення бойових дій).

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Доктрина Об'єднана логістика: затверджена Головнокомандувачем Збройних Сил України 19 вересня 2020 року. – К.: ГШ ЗС України, 2020. – 40 с.

2. Тимчасова настанова з логістичного забезпечення бойових дій частин (підрозділів) Повітряних Сил Збройних Сил України: Наказ Генерального штабу Збройних Сил України від 28.012.2019 № 494.

3. Основы теории восстановления эксплуатационных свойств технических систем: монографія / Ковтуненко А.П., Шишанов М.А, Зубарев В.В. Київ : НАУ., 2009. :637с.

4. Старцев В.В. Підходи щодо підтримки рішення на виконання заходів з відновлення озброєння та військової техніки в системі логістичного забезпечення Повітряних Сил Збройних Сил України / В.В. Старцев, В.Ф. Третяк, М.Б. Бровко, В.О. Джігірей, О.В. Коломійцев // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. – Чернігів: ДНДІ ВС ОВТ, 2022. – Вип.1 (11). – С.116-126. – DOI: 10.37701/dndivsovt.11.2022.13.

*Старцев Володимир Вікторович*, науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-1562-6669>, електронна адреса: [Starsevv1962@gmail.com](mailto:Starsevv1962@gmail.com).

*Леках Альберт Анатольович*, кандидат технічних наук начальник науково-дослідної лабораторії Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0003-2848-2593>, електронна адреса: [super-albert.lekakh@ukr.net](mailto:super-albert.lekakh@ukr.net).

*Мусяненко Олександр Павлович*, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-2441-4609>, електронна адреса: [HealsportUA@gmail.com](mailto:HealsportUA@gmail.com).

*Гурін Олександр Миколайович*, кандидат військових наук, старший науковий співробітник Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-0951-3713>, електронна адреса: [goorin61@gmail.com](mailto:goorin61@gmail.com).

#### SCIENTIFIC AND TECHNICAL APPROACHES TO IMPROVEMENT RECOVERY OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT IN THE LOGISTICS SUPPLY SYSTEM OF THE AIR FORCES OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

##### Abstract:

Considered new scientific and technical approaches to solving the problems of restoring weapons and military equipment in the system of logistical support of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine during the repulse of large-scale aggression by the Russian Federation and the performance of tasks as part of a group of troops in the area of joint forces operations in the east . of Ukraine.

**Keywords:** combat operations, recovery, weapons and military equipment, recovery efficiency, logistical support, repair and recovery works, degree of damage.

*Volodymyr Startsev* Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0000-0002-1562-6669>.

*Albert Lekakh* Candidate of Technical Sciences Chief of Sciences and Research Laboratory of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0000-0003-2848-2593>.

*Olexander Musienko* Candidate of Technical Sciences Leading Researcher Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-2441-4609>.

*Olexander Gurin* Candidate of Military Sciences Senior Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-0951-3713>.

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛІВ

<sup>1</sup> Український державний університет науки і технологій

### *Анотація*

*Запропоновано конструкцію паливної системи дизельного двигуна, з одночасною подачею дизельного і альтернативного палива, що дасть змогу підвищити економічні та екологічні показники роботи двигуна.*

**Ключові слова:** паливо, паливна система, форсунка, дизельне паливо, альтернативне паливо, економічні показники, екологічні показники.

При підготовці та проведенні Збройними Силами України заходів з матеріально-технічного забезпечення підрозділів, бойової підготовки, ведення бойових дій та інших залучається велика кількість транспортних засобів та військової техніки, які потребують значної кількості палива. Враховуючи економічну ситуацію в нашій країні, високу вартість та кількість паливо-мастильних матеріалів, які витрачаються, втілення заходів з економії палива та зменшення викидів шкідливих речовин є актуальною задачею.

Метою роботи є вирішення задачі з підвищення економічних та екологічних показників роботи дизельного двигуна.

Зменшити витрати палива та викидів шкідливих речовин в газах, що відробили, можливо не тільки за рахунок застосування організаційних заходів: підвищення технічної культури технічного обслуговування та ремонту, використання транспортних засобів на найбільш економічних режимах роботи двигунів та ін., а також за рахунок вдосконалення конструкції паливної системи дизельного двигуна.

Вдосконалення конструкції паливної системи полягає в тому, що додатково встановлюється апаратура для подання альтернативного палива разом з дизельним в камеру згоряння через спеціальну форсунку.

Конструкція форсунки забезпечує одночасну подачу у камеру згоряння дизельного та альтернативного палива за рахунок встановлення додаткової голки. В якості приводу голок форсунки застосовуються пакети з п'єзокристалів, які взаємодіють з голками за допомогою клапанів. Передача руху п'єзокристалом здійснюється завдяки ефекту розширення п'єзокристалів в електричному полі. Схема запропонованої паливної системи наведена на рисунку 1.

Паливна система включає в себе бак з дизельним паливом 1, паливний насос високого тиску 2 для подання дизельного палива, форсунки 3 (по одній на кожний циліндр двигуна) та апаратуру акумуляторного типу, для подання альтернативного палива, яка складається з баку 4 з альтернативним паливом, редуктору 5, балону 6 з інертним газом, акумулятора 7, манометра 8, крану 9 і зворотного клапану 10 [1].

Форсунка складається з корпусу 11, в якому розміщено електромагніт 12, які взаємодіють з рухомими якорями 13 та пакетами п'єзокристалів 14. Пакети п'єзокристалів 14 зв'язані з голками розпилювача 15 за допомогою керованих клапанів 16. Паливо до запірного конусу голок 15 подається через лінію високого тиску, а відводиться через лінію зливу.

Система працює наступним чином. Дизельне паливо з бака 1 за допомогою паливного насоса високого тиску 2 подається через лінію високого тиску до керованого клапану 16. В цей час електромагніт 12 подає керуючий імпульс на якор 13, який переміщується і підіймає клапан 16 та голку розпилювача 15. Дизельне паливо подається до конуса голки розпилювача 15 і під високим тиском впорскується в камеру згоряння двигуна, після чого електромагніт 12 подає керуючий імпульс струму на пакет з п'єзокристалів 14, який розширюється і передає зусилля на клапан 16 і голку розпилювача 15 відповідно, які перекривають подачу дизельного палива.

Дизельне паливо, яке залишилось в лінії високого тиску, через лінію зливу потрапляє до баку 1. В кінці впорскування дизельного палива подається альтернативне з акумулятора 7 до другого керованого клапану 16. Цикл впорскування альтернативного палива є аналогічним циклу впорскування дизельного палива [1].

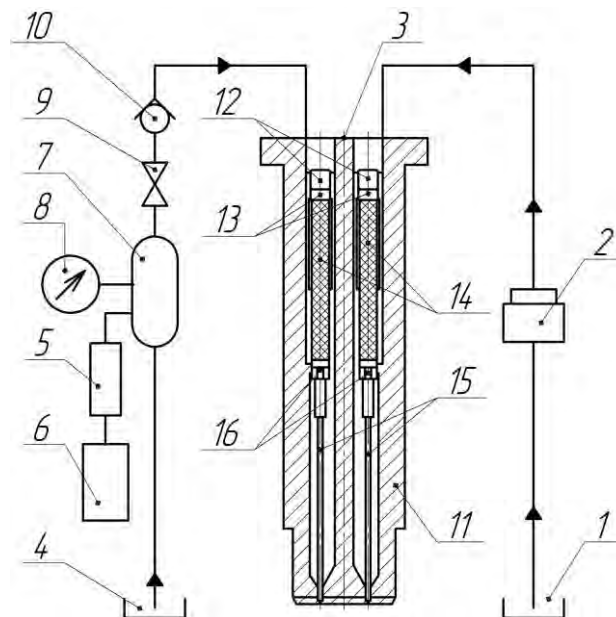


Рис. 1. Схема паливної системи

В акумулятор 7 альтернативне паливо подається з бака 4. Постійний тиск в акумуляторі альтернативного палива забезпечується застосуванням балону 6 з інертним газом. Тиск контролюється редуктором 5 і реєструється манометром 8. В разі необхідності переходу тільки на дизельне паливо подання альтернативного припиняється перекриттям крана 9.

Економічність роботи двигуна підвищується за рахунок того, що в приводі дозуючого пристрою форсунки немає механічних деталей (відсутнє тертя). Завдяки чому паливо розпилюється більш рівномірно та як наслідок відбувається найбільш повне його згоряння. Підвищення швидкодії голки розпилювача, яке дозволить зменшити інтервал між послідовними впорскуваннями і оптимізувати процес управління впорскуванням, та застосування альтернативного палива одночасно з дизельним дасть змогу для здійснення зонального сумішоутворення і покращення згоряння суміші, яке призведе до зниження витрат палива та викидів шкідливих речовин.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Система подання альтернативного палива в камеру згоряння теплового двигуна. Приходько А.М., Назарець В.С., Лосіков О.М., Загоруля М.О.: пат. 34966 Україна: МПК (2006) F02В 13/00. № u200804690; заявл. 11.04.2008; опубл. 26.08.2008, Бюл. № 16.

**Лосіков Олександр Михайлович** — старший викладач кафедри галузевого машинобудування, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, e-mail: kgtz.al8@gmail.com.

#### *Ways to increase the economic and environmental indicators of diesel engines of vehicles of military unit*

##### **Abstract**

*The design of the fuel system of a diesel engine is proposed, with the simultaneous supply of diesel and alternative fuel, which will make it possible to increase the economic and environmental performance of the engine.*

**Keywords:** fuel, fuel system, injector, diesel fuel, alternative fuel, economic indicators, environmental indicators.

**Losikov Oleksandr M.** — senior lecturer, department of branch engineering, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, e-mail: kgtz.al8@gmail.com.

## СИСТЕМА МОДУЛЬНОГО МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ОСНОВІ СІДЛОВИХ ЕЛЕКТРОБУСІВ

Науково-технічний центр "Автополіпром"

### Анотація

Запропонована концепція створення модульної системи електробусного транспорту для здійснення міських перевезень пасажирів у періоди з різною інтенсивністю пасажиропотоків. Наведений варіант системи модульного проектування міських сідлових електробусів типу ОНС та оцінені їх основні розмірні параметри та параметри пасажировмістимості.

**Ключові слова:** міський сідловий електробус, модульний електротранспорт, пасажировмістимість, інтенсивність пасажиропотоків.

На нинішній час для перевезень пасажирів на міських маршрутах все зростаючого застосування набувають міські електробуси різних типів. Для сучасного стану економічного розвитку сфери пасажирських перевезень найбільш доцільними для створення та експлуатації являються електробуси типу ОНС, обладнані системою повільного заряджання тягових акумуляторних батарей (АКБ) у нічний час доби. Проте, електробусам цього типу притаманні ряд суттєвих недоліків, зокрема, значно менша номінальна пасажировмістимість у порівнянні з дизельними автобусами з кузовами однакової довжини. Тягові АКБ великої енергопотужності, необхідної для забезпечення денного пробігу хоча б до 200 км без їх додаткового заряджання, якими обладнані електробуси з кузовами довжиною біля 12,0 м, мають масу 3000-3500 кг. Тому, навіть за умови регламентованої допустимої маси електробусів 19500 кг, яка на 1500 кг більша за допустиму для двомостових автобусів, їх пасажировмістимість становить всього 65-89 чол. проти 100-106 чол. у найбільш поширених дизельних автобусів з кузовами 12,0 м. Інший недолік полягає у тому, що у періоди з малою інтенсивністю пасажиропотоків експлуатація таких електробусів вкрай не ефективна, адже більшість електроенергії тягових АКБ витрачається для їх руху, а не для перевезень пасажирів.

Напрямки зменшення впливу цих недоліків на показники експлуатаційної ефективності міських електробусів типу ОНС, які полягають в оптимізації довжини кузовів електробусів та у застосуванні систем заміни розряджених блоків тягових АКБ під час робочих змін на заряджені, наведені у роботах [1].

У даній роботі запропонована система модульного міського сідлового електробусного транспорту, яка, з метою збільшення номінальної пасажировмістимості та підвищення ефективності експлуатації міського електробусного транспорту у періоди малої інтенсивності пасажиропотоків на маршрутах, передбачає застосування міських електробусів типу ОНС у вигляді сідлових потягів, тобто:

- міський електробус типу ОНС розділений на два модулі: модуль ДСТ – двомостовий сідловий тягач та модуль ОПНПр – одномостовий пасажирський напівпричіп (рис.1);

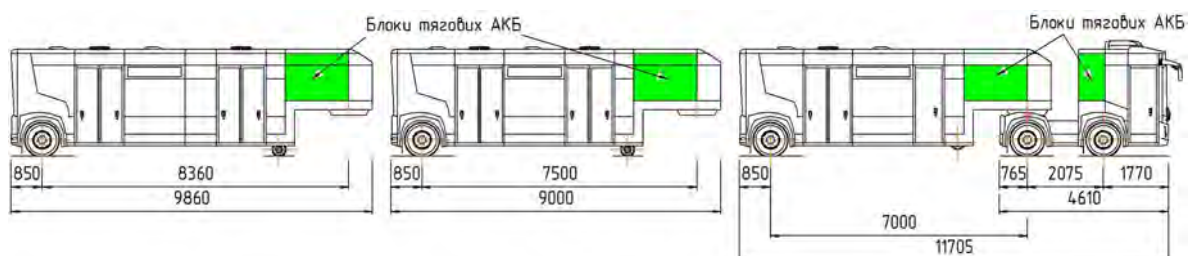


Рис. 1. Типорозмірний ряд модульних міських сідлових електробусів типу ОНС

- модуль ДСТ виконаний з мінімізованою колісною базою і обладнаний тяговим мостом з незалежною підвіскою коліс, блоком тягових АКБ та системою керування тяговим приводом;

- модуль ОПНПр виконаний у кількох типорозмірах за довжиною кузова і, відповідно, за номінальною пасажиромістимістю та обладнаний блоком тягових АКБ і двома або трьома подвійними пасажирськими дверима;

- енергопотужність блоків тягових АКБ модуля ДСТ розрахована на його переміщення без модуля ОПНПр, як мінімум, на протязі однієї робочої зміни;

- рух сідлового електробуса на протязі заданого автономного пробігу забезпечується енергопотужністю блоків тягових АКБ лише модуля ОПНПр.

Оскільки під час денної зміни сідловий електробус повинен використовувати модулі ОПНПр з різною номінальною пасажиромістимістю відповідно до середньостатистичної інтенсивності пасажиропотоків у відповідні періоди перебування на маршруті, вони можуть бути обладнані такою кількістю блоків тягових АКБ, енергопотужність яких достатня для подолання необхідного автономного пробігу.

Основні розмірні параметри та параметри пасажиромістимості пропонуваніх сідлових електробусів у порівнянні з електробусами типу ONC з довжиною кузовів біля 12,0 м наведені на рис. 1 та у табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри пасажиромістимості сідлових та класичних міських електробусів типу ONC

Модель/ проєкт електробуса	АПП-СЕ01	АПП-СЕ02	АПП-СЕ03	E19 Електрон	Lion City 12e
Повна конструктивна маса, кг	28000 (допустима)			19000	19500
Довжина кузова, м	-			12,0	12,2
Довжина сідлового електробуса, м	11,705	12,195	13,055	-	
- довжина напівпричепи, м	8,5	9,0	9,86	-	
Номінальна містимість, чол.	61	67	77	80	88
- сидячих	15	16	20	34	25
- стоячих	46	51	57	46	63

Аналіз номінальної пасажиромістимості сідлових та класичних (колісна формула 4x2.2) електробусів типу ONC показує, що номінальна пасажиромістимість сідлового електробуса проєкту АПП-СЕ03 загальною довжиною 13,055 м практично співставима з містимістю класичного електробуса моделі E19 "Електрон", довжина кузова якого лише на 1,055 м менша, але величина автономного пробігу лише 160 км проти понад 200 км для сідлового електробуса.

Хоча, експлуатація пасажирських напівпричепів ще у минулому столітті була заборонена, але експлуатація такого пасажирського електричного транспорту видається цілком доцільною і при відповідних конструктивних рішеннях цілком безпечною.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтків С. В. Напрямки створення конкурентоспроможних міських електробусів великого класу. Зб. наук. матер. міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. "Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту". Кропивницький : ЦНТУ, 2019. С. 13-24.
2. Войтків С. В. Аналіз технічної досконалості міських електробусів різних типів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: Харків : ХНАДУ, 2022. 21. С. 64-78.

**Войтків Станіслав Володимирович**, к.т.н., Заслужений машинобудівник України, генеральний конструктор, Науково-технічний центр "Автополіпром", м. Львів, voytkivsv@ukr.net.

#### SYSTEM OF MODULAR CITY PASSENGER TRANSPORT BASED ON SADDLE ELECTRIC BUSES

##### **Abstract**

*The proposed concept of creating a modular system of electric bus transport for urban transportation of passengers in periods with different intensity of passenger traffic. A variant of the modular design system of ONC-type urban saddle electric buses is presented and their main dimensional parameters and parameters of passenger capacity are evaluated.*

**Keywords:** urban saddle electric bus, modular electric transport, passenger capacity, intensity of passenger traffic.

**Voytkiv Stanislav V.** – Cand. Sc. (Eng), general designer "Scientific and technical center "Autopoliprom", The deserved machine engineer of Ukraine, e-mail: voytkivsv@ukr.net



## ОГЛЯД І АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖНИХ ВЕЛОЕЛЕКТРОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ L1e-A

Науково-технічний центр "Автополіпром"

### Анотація

Розглянуті конструкції велоелектромобілів – вантажних транспортних засобів з гібридним тяговим приводом (мускульним водія та електричним) категорії L1e-A. Наведені компоувальні схеми таких транспортних засобів, їх основні розмірні параметри та параметри мас і вантажопідйомності.

**Ключові слова:** велоелектромобіль категорії L1e-A, компоувальна схема, конструктивні параметри.

У багатьох містах європейських та інших країн світу набули поширення вантажні велоелектромобілі – транспортні засоби, обладнані гібридним тяговим приводом – мускульним (водія) та електричним. Вони широко застосовуються, наприклад, такими компаніями як "Amazon.com, Inc.", для доставляння невеликих і легких вантажів безпосередньо споживачам або замовникам [1].

Такі транспортні засоби належать до категорії L1e-A, до якої відносяться три- або чотириколісні веломобілі, обладнані окрім педального приводу допоміжним електричним тяговим двигуном номінальною безперервною потужністю не більше 1,0 кВт. Максимальна швидкість таких транспортних засобів не повинна бути вищою за 25 км/год. При досягненні цієї швидкості привід від електродвигуна припиняється [2].

Проте, потужність тягового електродвигуна велоелектромобілів не перевищує 0,25 кВт а максимальна швидкість обмежена на рівні 25 км/год. Такі обмеження, а також ширина не більше 1,0 м дозволяє рух таких транспортних засобів по виділених велосипедних доріжках [3].

За компоувальною схемою кабіни і розміщення переднього моста можна виділити два основні типи велоелектромобілів – капотного типу (рис. 1а) та вагонного типу (рис. 1б-1г).



Рис. 1. Велоелектромобілі капотного типу (а) та вагонного типу (б, в, г):  
а) – "Citkar"; б) – "CityQ"; в) – "Mubea"; г) – "EAV eCargo"

За колісною формулою у конструкціях велоелектромобілів застосовують задній (4x2.1з) або передній (4x2.1п) привід (наприклад, на моделі "Citkar"). Механічний (мускульний) привід може здійснюватися безпосередньо на тягові колеса або на електричний генератор (рис. 2).

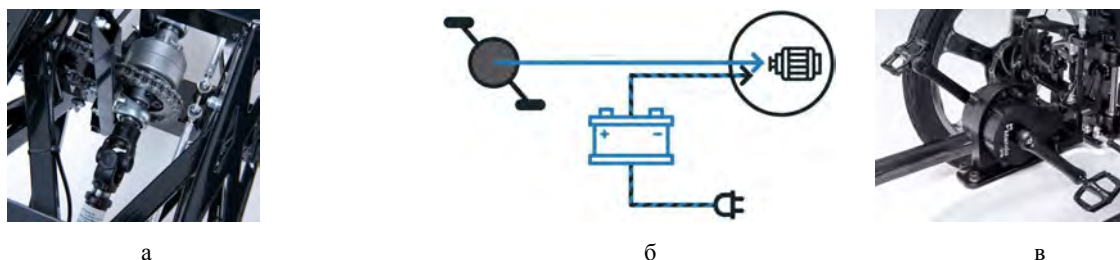


Рис. 2. Гібридний тяговий привід вантажних велоелектромобілів:  
а) – на тягові колеса керованого моста; б) і в) – привід з електричним генератором (безланцюговий)

Конструктивно, велоелектромобілі обладнуються незалежними підвісками коліс керованого і тягового мостів, велосипедними або мотоциклетними колесами.



Кабіни велоелектромобілів одномісні, зазвичай, без дверей у обох боковинах, обладнуються кермом велосипедного (мотоциклетного) типу, сидінням водія велосипедного типу або, іноді, жорстким сидінням автомобільного типу.

Основні технічні параметри велоелектромобілів категорії L1e-A і, для порівняння, електромобіля категорії L6-BU моделі "Antric One", наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Основні технічні параметри велоелектромобілів категорії L1e-A

Модель електромобіля	Citkar	Mubea	EAV eCargo	CityQ	Antric One
Вмістимість кабіни, чол.	1	1	1	1	1
Розмірні параметри, м:					
- довжина/ ширина/ висота	3,01/ 1,0/ 1,79	2,77/ 0,995/ 1,99	2,775/ 1,0/ 1,935	2,22/ 0,87/ 1,55	3,05/ 1,18/ 2,02
- колісна база	-	1,746	-	-	2,485
- вантажного кузова	0,67/ 0,96/ 1,12	1,27/ 0,907	1,32/ 1,0/ 1,45	-	1,57/ 0,82/ 1,78
Об'єм вантажного відсіку, м <sup>3</sup>	1,55	1,9	2,0	2,0	2,3
Параметри мас, кг: - повна					
- споряджена	415	500	420	350	615
- вантажопідйомність*	200	300	170	100	193
Параметри тягового приводу:					
- номінальна потужність, кВт	0,25	0,25	0,25	0,25	-
- тип АКБ	літій-іонні				LiFePO <sub>4</sub>
- ємність / потужність АКБ, А·год./ кВт·год.	1,44/	-/	-	-	-/
- напруга, В	-	48	48	-	-
- автономний пробіг, км	40	50	65	70-100	50
Максимальна швидкість, км/год.	-	25	25	25	25
Примітки: *3 масою водія					

У якості автономних джерел електроенергії застосовуються виключно літій-іонні тягові акумуляторні батареї (АКБ), які характеризуються малою питомою масою. Енергопотужність тягових АКБ забезпечує автономний пробіг у діапазоні 40-100 км

Габаритна довжина велоелектромобілів розглянутих моделей становить 2,2-3,01 м, споряджена маса – від 100 до 300 кг у залежності від ємності тягових АКБ, вантажопідйомність сягає 215-250 кг при повній конструктивній масі 350-500 кг.

Напрямок створення та застосування велоелектромобілів категорії L1e-A вважається найперспективнішим у сфері доставляння дрібних вантажів кінцевим замовникам і стрімко набирає все ширшого застосування у європейських країнах. Тому, видається доцільним розвиток цього напрямку електромобілебудування і в Україні.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Wilhelm E., Hahn W., Kyburz M. Kyburz Small Electric Vehicles: A Case Study in Successful Deployment. Ewert A. et al. (eds.), Small Electric Vehicles. 2021. P. 143-155. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-65843-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-65843-4_11).
2. Regulation (EU) No 168/2013 of the European Parliament and of the Council of 15 January 2013 on the approval and market surveillance of two- or three-wheel vehicles and quadricycles (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union, L60.
3. Directive 2006/126/EC of the European Parliament and of the Council of 20 december 2006 on driving licences (Recast). Official Journal of the European Union, L403

**Войтків Станіслав Володимирович**, к.т.н., Заслужений машинобудівник України, генеральний конструктор, Науково-технічний центр "Автополіпром", м. Львів, voytkivsv@ukr.net.

#### OVERVIEW AND ANALYSIS OF STRUCTURES VELOELECTRIC VEHICLE OF CATEGORY L1e-A

##### Abstract

The considered designs of bicycle-electric vehicles are cargo vehicles with a hybrid traction drive (driver's muscle and electric) category L1e-A. The layout diagrams of such vehicles, their main dimensional parameters and parameters of mass and carrying capacity are presented.

**Keywords:** veloelectric vehicle of category L1e-A, layout diagram, structural parameters.

**Voytkiv Stanislav V.** – Cand. Sc. (Eng), general designer "Scientific and technical center "Autopoliprom", The deserved machine engineer of Ukraine, e-mail: voytkivsv@ukr.net

## ПРОБЛЕМИ ПРОВЕДЕННЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В ХОДІ ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАЦІЇ ЗБРОЙНИМИ СИЛАМИ УКРАЇНИ

<sup>1</sup> Український державний університет науки і технологій

### *Анотація*

*Освітлено основні проблеми проведення обслуговування та відновлення озброєння і військової техніки з'єднань та частин в ході проведення операцій Сил оборони України.*

**Ключові слова:** відновлення, військова техніка, логістичне забезпечення, озброєння, ремонт.

Важливою умовою під час підготовки та у ході проведення операції Сил оборони України, бойових дій з'єднань та частин є своєчасне і в повному обсязі проведення технічного обслуговування та результативне відновлення озброєння і військової техніки.

Метою роботи є висвітлення основних проблем проведення обслуговування та відновлення озброєння і військової техніки з'єднань та частин в ході проведення операцій Сил оборони України.

Технічне обслуговування (ТО) озброєння і військової техніки (ОВТ) в період підготовки до виконання бойових завдань має дві основні мети: перша -забезпечити надійну роботу військової техніки в ході виконання поставлених завдань, друга – максимально зменшити обсяг обслуговування під час ведення бойових дій. При цьому час підготовки ОВТ та обсяг проведення технічного обслуговування буде залежати від багатьох обставин. Головний критерій, який впливає на терміни і обсяги проведення обслуговування, буде визначати оперативна обстановка та визначені плани щодо бойового застосування з'єднань та частин в ході проведення операції Сил оборони України. Необхідний обсяг обслуговування визначається на підставі фактичного стану озброєння і бойових машин, характеру поставленого завдання та можливий розмір пробігу техніки, особливостей району операції Сил оборони України, можливості рухомих засобів обслуговування, наявності експлуатаційних матеріалів і запасних частин, а також визначеного часу на проведення обслуговування. Основні проблеми які виникають при проведенні технічного обслуговуванні ОВТ під час підготовки та у ході проведення операції пов'язані з реальним станом обставин, які виникали протягом останніх років. На сьогодні, значна частина рухомих засобів та стаціонарного обладнання технічного обслуговування і військового ремонту морально застаріла та не відповідає сучасним вимогам навіть для існуючого парку зразків озброєння та військової техніки. Вони мають обмеження з номенклатури складових частин, що ремонтуються, видам робіт, які проводяться при технічному обслуговуванню і військовому ремонту, що не дозволяє своєчасно та якісно виконати ці роботи в місцях виконання бойових завдань з'єднаннями та частинами. Враховуючи різноманітність ОВТ (а це і види та модифікації бойових машин різного року виробництва, і трофейна техніка, і озброєння та військова техніка яка надходить в рамках допомоги з інших держав) технологічний процес виконання проведення ТО і ремонту в ході бойового використання озброєння і військової техніки значно ускладнюється. Виникає необхідність контролю тактико-технічних характеристик озброєння та бойової техніки і підтримання їх в боездатному стані та з урахуванням відмінності, що новітні зразки ОВТ мають елементи комп'ютеризації та роботизації комплексів, системи навігації, зв'язку та діагностики, які необхідно діагностувати та проводити перевірку технічного стану відповідно до встановлених стандартів військових підрозділів НАТО. Для проведення цих заходів недостатньо засобів діагностування, а деякі контрольно-перевірочні машини для перевірки систем забезпечення бойової техніки та їх діагностики відсутні навіть в ремонтних підрозділах. Особливо необ-

хідно виділити питання логістичного забезпечення, а саме проблеми наявності запасних частин, експлуатаційних та ремонтних матеріалів та обладнання, ремонтних комплектів. На даний час проблема наявності даного забезпечення в підрозділах з'єднань та частин – одна з найбільш важливих, оскільки своєчасне забезпечення або наявність необхідної кількості та номенклатури запасних частин і ремонтних матеріалів дає підрозділам можливість швидкого проведення робіт з технічного обслуговування і ремонту ОВК та, відповідно, забезпечення їх ефективного використання в бойових умовах.

Відновлення пошкодженого озброєння і військової техніки включає визначений комплекс заходів з технічної розвідки, евакуації зразків озброєння та військової техніки, передачі ОВТ встановленим порядком, ремонту, приведення у технічно готовий стан, повернення до строю. Під час проведення операції Сил оборони України особовий склад бойових підрозділів може проводити незначні роботи по відновленню ОВТ. При цьому виникають проблеми в недостатній кількості евакуаційних засобів. На більшості броньованих евакуаційних тягачах на відміну від подібних закордонних зразків відсутня захищеність тягачів динамічним захистом, що призводить до ураження об'єктів і загибелі екіпажів. При евакуації або відновленню навіть незначно пошкодженої техніки виникають труднощі з технічним оснащенням евакуаційних груп, відсутності такелажного та ремонтного обладнання. Більшість пошкодженої техніки евакуюють на збірні пункти пошкоджених машин. В умовах пошкодженої мережі доріг та інфраструктури в районах бойових дій питання переміщення великовантажної броньованої техніки автопоїздами вкрай обмежено, а кількість відповідних тягачів з причепами недостатня.

Основні роботи по відновленню пошкодженого озброєння і військової техніки проводяться підрозділами окремого ремонтно-відновлювального полку, ремонтно-відновлювальних батальйонів, виїзними ремонтними бригадами та ремонтними заводами підприємства «Українська оборонна промисловість». Основні проблеми які виникають в ремонтних підрозділах при відновленню ОВТ в першу чергу пов'язані з логістичним забезпеченням проведення ремонту військової техніки. Недостатньо профілактичного та ремонтного устаткування, запасних частин, деяких видів інструментів та експлуатаційних матеріалів, спеціалізованого (діагностичного) технологічного устаткування. Також є проблеми підготовки та навчання фахівців-ремонтників, наявності та рівня підготовки спеціалістів, які здатні проводити якісне діагностування, обслуговування та ремонт сучасного озброєння та техніки, неуккомплектованості особовим складом ремонтно-відновлювальних підрозділів з'єднань та частин Сил оборони України, недостатність технічно-експлуатаційної документації українською мовою особливо для закордонних зразків озброєння і військової техніки. Доцільно прискорити запровадження стандартів НАТО в Збройних Силах України.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи організації експлуатації і ремонту озброєння та військової техніки / за ред. Мацько О.Й. Київ : НУОУ, 2018. 400 с.
2. Застосування підрозділів та військових частин технічного забезпечення: в 2 книгах / Підрозділи технічного забезпечення / Копашинський С. А. та ін. Київ : МОУ, 2017. 136 с.

**Сидоренко Віктор Кононович** — старший викладач кафедри галузевого машинобудування (полковник в відставці), Український державний університет науки і технології, м. Дніпро, e-mail: kgtz.vk7@gmail.com

*Problems of maintenance and restoration of weapons and military equipment during the operation by the Armed Forces of Ukraine*

#### **Abstract**

*The main problems of maintenance and restoration of weapons and military equipment of units and units during operations of the Defense Forces of Ukraine are highlighted*

**Keywords:** *restoration, military equipment, logistical support, armament, repair.*

**Sidorenko Viktor C.** — senior lecturer (retired colonel), Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, e-mail: kgtz.vk7@gmail.com

## ПРОПОЗИЦІЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВІВ-КОНТЕЙНЕРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЇХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

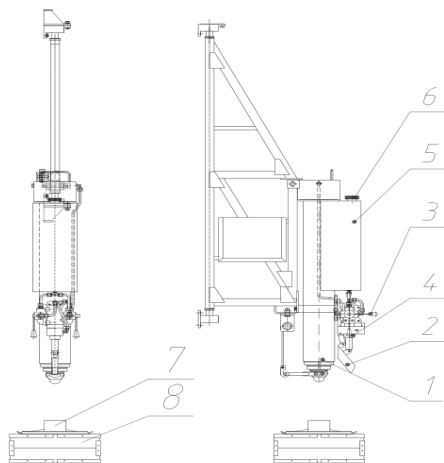
Національна академія Національної гвардії України

### Анотація

*У статті досліджено розвиток та сучасний стан використання кузовів-контейнерів для забезпечення потреб військ. Проаналізовано нормативні документи про контейнерні перевезення, розглянуто правове регулювання контейнерних перевезень в досліджуваній сфері. Виявлено характерні риси українського законодавства у сфері контейнерних перевезень. Визначено напрямки оптимізації та підвищення ефективності використання кузовів-контейнерів, а також шляхи розвитку у сфері виробництва та модернізації кузовів-контейнерів для забезпечення потреб військ.*

**Ключові слова:** кузов-контейнер, контейнерне перевезення вантажу, життєвий цикл, спрощення перевезень, стандартизація контейнерів, гідравлічна опора.

Військові частини та підрозділи Національної гвардії України оснащені досить великою кількістю зразків військової техніки, які призначені для функціонування всіх існуючих видів забезпечення військ як в мирний час, так і під час ведення бойових дій, навчання, експлуатації та випробування. Кузова-контейнери є перспективним напрямом в області машинобудування та використання їх для забезпечення потреб військ [1,2]. Вони призначені для розміщення оптико-електронних, тепловізійних, інфрачервоних та радіотехнічних станцій, розміщення друкарського обладнання, а також рухомих засобів ремонту та ТО, штабних, житлових, продовольчих, речових, адміністративних, медичних та інших мобільних приміщень [3,4,5]. При використанні кузовів-контейнерів загальна кількість зразків ОВТ для роботи, як у польових, так і в стаціонарних умовах буде менше, тому що частина техніки з підготовки ОВТ на стаціонарних базах може бути використана і в польових умовах при розгортанні ЗППМ та інших пунктів в залежності від характеру завдань. Крім того, на автомобілях, з яких знято кузова-контейнери, можлива доставка різних вантажів (боєприпасів, МТЗ, продовольства та ін.) у військові частини та підрозділи, що дозволить скоротити кількість машин у частинах підвезення, а отже, зменшити витрати на їх експлуатацію. Роль кузовів-контейнерів зростає з появою нових видів озброєння, засобів технічного, тилового та медичного забезпечення. Застосування кузовів-контейнерів для комплектації ОВТ дозволить більш оперативно та з меншими витратами вирішити питання застосування ОВТ. Кузова-контейнери оснащені сучасними системами життєзабезпечення (опалення, вентиляція, освітлення), щитком електроживлення з автоматичним захистом від ураження електричним струмом, пультами управління цими системами, а також іншим обладнанням, необхідним для їх нормального функціонування [6]. Зниження рівня життєвого циклу кузовів-контейнерів відбувається при експлуатації або зберіганні, коли вони знаходяться на ґрунті після розвантаження. Виникає ряд чинників, які негативно впливають на зберігання і підтримання їх у надійному стані. Під час довготривалого зберігання або використання, безпосередньо знаходячись на ґрунті, кузова-контейнери піддаються впливу зовнішніх подразників, внаслідок чого відбуваються процеси корозії зовнішніх елементів та подальший вплив на внутрішні системи функціонування кузова-контейнера. Рішенням цієї проблеми може бути впровадження та використання гідравлічного вантажно-розвантажувального пристрою (Рис. 1). Гідравлічний вантажно-розвантажувальний пристрій (ГВРП) забезпечує навантаження і розвантаження кузова-контейнера на транспортний засіб, а також надійну фіксацію виробу на опорній поверхні у робочому положенні. Пристрій складається з чотирьох гідравлічних підйомних пристроїв – гідравлічних опор, які дозволяють підняти кузов-контейнер над платформою автомобіля, після чого автомобіль своїм ходом виїжджає з-під кузова-контейнера та вантажно-розвантажувальні пристрої опускають кузов-контейнер на поверхню.



- 1—гідроциліндр телескопічний;
- 2—кронштейн для установки приводного ричага;
- 3—рукоятка;
- 4—насос ручний;
- 5—бак для робочої рідини;
- 6—пробка;
- 7—башмак;
- 8—колодка.

(Рис. 1) Гідравлічний вантажно-розвантажувальний пристрій.

Таким чином, використання кузовів-контейнерів під монтаж ОБТ різного призначення, як технічний засіб забезпечення військ зумовлюється необхідністю підвищення мобільності та ефективності застосування ОБТ як у військовій, так і у мирній час.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила перевезення вантажів в універсальних контейнерах (ст. 7, 38, 54, 119 Статуту), затверджені наказом Міністерства транспорту України від 20.08.2001 р. № 542 // Офіційний вісник України. 2001. № 37. Ст. 1721.
2. ДСТУ ISO 1496-2:2013 Вантажні контейнери серії 1. Технічні вимоги та методи випробування. Ч. 2. Ізотермічні контейнери (ISO 1496-2:2008, IDT) – Наказ Мінекономрозвитку України від 29.11.2013, № 1424 з 2014-07-01.
3. Українські виробники розробили житлові модулі для військових [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://realestate.24tv.ua/zhitlovi-moduli-dlya-viyskovih-yaki-zahishhayut-vid-snyaryadiv\\_n2179624](https://realestate.24tv.ua/zhitlovi-moduli-dlya-viyskovih-yaki-zahishhayut-vid-snyaryadiv_n2179624) (дата звернення: 13.04.2023). — Назва з екрана.
4. Техніка військових підрозділів, силових структур та ГСЧС [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://polycar.com.ua/katalog/tehnika-silovikh-struktur/> (дата звернення: 15.04.2023). — Назва з екрана.
5. На озброєння прийняли нову штабну машину вітчизняного виробництва [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://mil.in.ua/uk/news/na-ozbrovnyya-pryinyaly-novu-shtabnu-mashynu-vitchyznyanogo-vyrobnnytstva/> (дата звернення: 13.04.2023). — Назва з екрана.
6. Кондратюк, І. (2021). Аналіз розвитку мобільного технічного обслуговування та ремонту військової техніки. *Журнал наукових праць "Соціальний розвиток і безпека"*, 11 (1), 52-69. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.1.6> (дата звернення: 15.04.2023). — Назва з екрана.

**Смагін Олег Ігорович**, старший викладач кафедри технічного та тилового забезпечення факультету логістики, Національна академія Національної гвардії України, місто Харків, [Smagin-oleg@ukr.net](mailto:Smagin-oleg@ukr.net)

**Дерев'янюк Максим Олександрович**, старший викладач кафедри технічного та тилового забезпечення факультету логістики, Національна академія Національної гвардії України, місто Харків, [dmakss@ukr.net](mailto:dmakss@ukr.net)

### PROPOSALS FOR IMPROVING THE DESIGN OF CONTAINER BODIES TO INCREASE THEIR LIFE CYCLE INDICATORS

#### Abstract

*The article examines the development and current state of the use of container bodies to meet the needs of the troops. The regulatory documents on container transportation were analyzed, the legal regulation of container transportation in the researched area was considered. Characteristic features of Ukrainian legislation in the field of container transportation have been identified. The areas of optimization and increasing the efficiency of the use of container bodies, as well as ways of development in the field of production and modernization of container bodies to meet the needs of the troops, have been determined.*

**Keywords:** container body, container transportation of cargo, life cycle, simplification of transportation, standardization of containers, hydraulic support.

**Smahin Oleh**, Senior lecturer of the Department of technical and logistic support of the faculty of logistics, National academy of the National guard of Ukraine, Kharkiv, [Smagin-oleg@ukr.net](mailto:Smagin-oleg@ukr.net)

**Derevianko Maksym**, Senior lecturer of the Department of technical and logistic support of the faculty of logistics, National academy of the National guard of Ukraine, Kharkiv, [dmakss@ukr.net](mailto:dmakss@ukr.net)

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ НА ГУСЕНИЧНІЙ БАЗІ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Проведений аналіз факторів, які впливають на функціонування системи технічного обслуговування і ремонту інженерної техніки показав, що поряд із зовнішніми факторами на функціонування системи значно впливає технічний стан машин.*

*Розроблено двохфакторну математичну модель безвідмовності інженерної техніки на гусеничній базі та удосконаленні методики підвищення ефективності функціонування системи її технічного обслуговування і ремонту.*

*Розробка математичної моделі обумовлюють досягнення мети дослідження - розробка рекомендацій та організаційно-технічних заходів підвищення ефективності функціонування системи технічного обслуговування і ремонту зразків озброєння та військової техніки на гусеничній базі.*

**Ключові слова:** системи технічного обслуговування і ремонту озброєння, термін перебування в експлуатації.

Аналіз існуючої системи технічного обслуговування і ремонту озброєння і військової техніки показав, що вона не повною мірою забезпечує підтримання інженерної техніки у працездатному стані, оскільки при визначенні періодичності проведення й обсягів робіт технічного обслуговування не враховується один з важливих чинників, який впливає на технічний стан інженерної техніки – термін перебування їх в експлуатації. Невідповідність системи сучасним вимогам безпосередньо впливає на стан бойової готовності частин і з'єднань. Тому задача щодо удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту інженерної техніки є актуальною.

Проведений аналіз факторів, які впливають на функціонування системи технічного обслуговування і ремонту інженерної техніки показав, що поряд із зовнішніми факторами (географічні, погодно-кліматичні умови, навченість особового складу тощо) на функціонування системи значно впливає технічний стан машин. Встановлено, що із збільшенням напрацювання та терміну перебування інженерної техніки в експлуатації її технічний стан погіршується, що сприяє збільшенню кількості відмов у роботі систем, вузлів і агрегатів. Ці відмови виникають через знос, старіння матеріалів, розвиток корозійних процесів і утомних напруг. Нині із загальної кількості інженерної техніки Збройних Сил України 44% перебуває в експлуатації до 15 років, 34% – до 20 років і 22% – більше 20 років.

Проведений аналіз науково-методичної бази у даній предметній області свідчить про те, що до теперішнього часу виконана значна кількість робіт, у яких з різних позицій розглянуті роль і місце системи технічного обслуговування і ремонту в системі технічного забезпечення військ, проаналізовані особливості функціонування системи в умовах проведення операцій, сформульовані можливі напрямки її удосконалення і вирішення задач технічного обслуговування і ремонту. Разом із тим в даних роботах питання можливостей нарощення ефективності профілактико-відновлювальних заходів для техніки, що відпрацювала встановлені технічні ресурси розглянуті недостатньо повно. При цьому, як правило, призначені профілактичні заходи зводяться до планово-попереджувальної заміни вузлів і агрегатів з низькою довговічністю і створення гарантованої кількості запасних частин визначеної номенклатури для усунення імовірних відмов. При цьому не враховуються географічні умови, терміни використання і зберігання інженерної техніки, вплив особового складу на зміну характеристик надійності зразків інженерної техніки, не розглядаються шляхи зменшення відмов за рахунок оптимізації системи контролю технічного стану машини, удосконалення системи підготовки особового складу, коригування обсягів і періодичності планово-попереджувальних заходів.

Для вирішення завдання використані наступні методи досліджень: системного аналізу – при проведенні аналізу функціонування існуючих системи технічного обслуговування і ремонту та напрямків її удосконалення; математичної статистики і теорії ймовірностей при плануванні експерименту для визначення впливу напрацювання і терміну перебування в експлуатації інженерної техніки на імовірність їх безвідмовної роботи, обґрунтуванні періодичності та обсягу робіт технічного обслуговування інженерної техніки, вимог щодо ефективності, своєчасності, достатності та економічності системи технічного обслуговування і ремонту інженерної техніки; найменших квадратів – для отримання аналітичної залежності значення параметра потоку відмов інженерної техніки від напрацювання і терміну перебування їх в експлуатації; моделювання – при розробленні математичної моделі для проведення розрахунково-теоретичного дослідження впливу на зміну імовірності безвідмовної роботи інженерної техніки напрацювання і терміну перебування їх в експлуатації; порівняння – для перевірки адекватності розробленої моделі та достовірності отриманих під час досліджень результатів.

Результатами, які було отримано в роботі, є розробка двохфакторної математичної моделі безвідмовності та удосконалення методики підвищення ефективності функціонування системи технічного обслуговування і ремонту інженерної техніки на гусеничній базі.

Практичне значення отриманих результатів дослідження полягає в розробці організаційно-технічних заходів та рекомендацій, щодо підвищення ефективності функціонування системи технічного обслуговування і ремонту інженерної техніки, їх впровадження дозволяє підвищити ефективність функціонування системи технічного обслуговування і ремонту інженерної техніки шляхом виконання робіт додаткового технічного обслуговування на ділянках напрацювання між черговими номерними технічними обслуговуваннями.

Для практичного використання заходів, які пропонуються для підвищення імовірності безвідмовної роботи інженерної техніки, необхідні математичні розрахунки проведені заздалегідь і оформлені в таблицях. Це дозволяє методику визначення періодичності та обсягів робіт з додаткового технічного обслуговування інженерної техніки застосовувати безпосередньо у військах.

Таким чином, розробка двохфакторної математичної моделі безвідмовності інженерної техніки та удосконаленні методики підвищення ефективності функціонування системи її технічного обслуговування і ремонту є результатом вирішення сформульованого завдання і обумовлюють досягнення мету дослідження, що полягає в розробці рекомендацій та організаційно-технічних заходів щодо підвищення ефективності функціонування системи технічного обслуговування і ремонту інженерної техніки на гусеничній базі.

*Поляков Андрій Павлович - д.т.н., професор завідувач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [poliakovap61@gmail.com](mailto:poliakovap61@gmail.com).*

*Терещенко Олександр Петрович - к.т.н., доцент кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [atereschenko96@gmail.com](mailto:atereschenko96@gmail.com)*

*Мороз Лариса Василівна – старший викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [farv@inmt.vntu.edu.ua](mailto:farv@inmt.vntu.edu.ua).*

## JUSTIFICATION OF INDICATORS OF THE EFFECTIVENESS OF THE SYSTEM OF MAINTENANCE AND REPAIR OF SAMPLES OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT ON A TRACKED BASE

### Abstract

*The analysis of factors affecting the functioning of the system of technical maintenance and repair of engineering equipment showed that along with external factors, the functioning of the system is significantly influenced by the technical condition of the machines.*

*A two-factor mathematical model of failure-free engineering equipment on a tracked base and the improvement of the methodology for increasing the efficiency of the system of its technical maintenance and repair have been developed.*

*The development of a mathematical model determines the achievement of the research goal - the development of recommendations and organizational and technical measures to increase the efficiency of the system of maintenance and repair of samples of weapons and military equipment on a tracked base.*

**Keywords:** systems of maintenance and repair of weapons, period of stay in operation.

*Polakov Andriy – Dr.Sc. (Eng.), Professor, head of the department of military training, Vinnytsia National Technical University, e-mail [poliakovap61@gmail.com](mailto:poliakovap61@gmail.com).*

*Tereschenko Oleksandr - Ph.D., Associate Professor of military training, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [atereschenko96@gmail.com](mailto:atereschenko96@gmail.com)*

*Moroz Larisa – Senior Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [farv@inmt.vntu.edu.ua](mailto:farv@inmt.vntu.edu.ua).*

## МОЖЛИВОСТІ ЗНИЖЕННЯ ПИТОМОЇ ВАГИ ДОДАТКОВОГО БРОНЕЗАХИСТУ ЛЕГКОБРОНЬОВАНОЇ ТЕХНІКИ

<sup>1</sup>Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

**Анотація.** Досліджено структурно-технологічні фактори виготовлення кераміко-полімерних матеріалів з вмістом керамічних елементів з реакційно-спеченого карбіду кремнію. Встановлено ефективність використання кераміко-полімерних бронеелементів дискретної структури для додаткового бронезахисту ЛБТ. Показано можливість зниження питомої ваги додаткового бронювання порівняно зі сталеву броню.

**Ключові слова:** додатковий бронезахист ЛБТ, кераміко-полімерні бронееlementи, дискретна структура, реакційно-спечений карбід кремнію

Традиційна сталева броня легкоброньованої техніки (далі ЛБТ) (БМП, БТР та інші) забезпечує недостатній рівень захисту від високоенергетичних бронейних засобів ураження (вище за 3,0 кДж) та суттєво збільшує вагу транспортного засобу і впливає на тактико-технічні характеристики. Воєнні дії в Україні показали, що сучасний стан захисту техніки та особового складу від ураження бронейними засобами калібрів 7,62, 12,7 та 14,5 мм виявився недостатнім і вимагає створення сучасних комбінованих матеріалів та багаторівневих систем бронезахисту. За критерієм питомої ваги для ряду застосувань, як в засобах індивідуального захисту, так і бронезахисту транспортних засобів все більшого розвитку набуває легка броньова кераміка і комбіновані матеріали з вмістом шарів кераміки та полімерних композитів.

Броньова кераміка – це група матеріалів, що перешкоджає проникненню засобів ураження (кулі, уламки снарядів), які мають високу кінетичну енергію, завдяки її дисипації в результаті крихкого руйнування, фрагментування і руху уламків керамічної перешкоди, а також деформування і руйнування засобів ураження [1].

За показниками вартості, можливістю використання сировини вітчизняного виробництва, питомою вагою та високими захисними властивостями найбільш прийнятною для України є кераміка з карбіду кремнію. Метод реакційного спікання виявився найбільш технологічним та продуктивним і отримав широке застосування в технології карбідокремнієвої кераміки. Вартість таких виробів в 3-5 разів менше вартості виробів з карбіду бору, крім того, важливим є те, що сировина (порошки карбіду кремнію) виробляються в Україні.

З метою зменшення ваги броньових покриттів було запропоновано використовувати броньове покриття з використанням дискретних керамічних елементів.

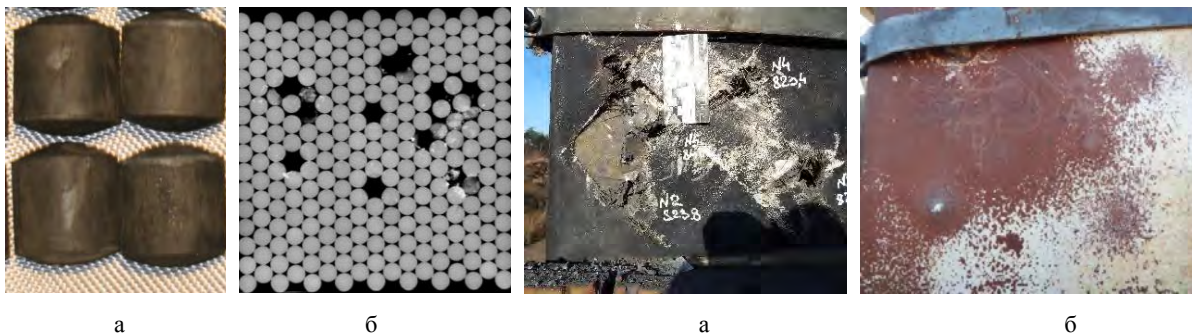
Основними вимогами до таких елементів були обрані наступні:

1. Надійний захист від ураження відповідного боєприпасу.
2. Розміри дискретного елемента повинні унеможливити проникнення між бронееlementами кулі меншого калібру, яка здатна пробити базову броню.
3. Поверхнева питома вага такого покриття має бути менше, ніж у балістичних покриттів виготовлених із плоских пластин.

З урахуванням вищезначених вимог в ІПМ НАНУ було запропоновано використання дискретних керамічних елементів із реакційно-спеченого карбіду кремнію циліндричної форми із сферичними торцевими поверхнями (рисунок 1). Така форма елементів сприяє ефекту зміни траєкторії польоту кулі при влученні в броньову конструкцію, а геометричні розміри керамічного елемента забезпечують непроникнення кулі Б-32 калібру 7,62 мм (діаметр осереддя такої кулі дорівнює 6,12 мм) в порожнечі між циліндрами.



Результати балістичних випробувань (рисунок 2) показали, що захисні властивості кераміко-полімерних конструкцій додаткового бронювання залежать від характеристик основної броні ЛБТ і потребують певної оптимізації відповідно до товщини, твердості, кута нахилу частини корпусу машини, що захищається. Для захисту легкоброньової техніки, з базовою бронєю (броня корпусу) завтовшки 6-8 мм, від бронебійних куль типу Б-32, калібру 12,7 та 14,5 мм можливо використання конструкцій додаткового бронювання дискретної структури з поверхневою питомою вагою 60 -90 кг/м<sup>2</sup>, що в 2 рази менше порівняно з рівностійкою металевною бронєю.



**Рисунок 1** – Дискретний бронезахист:  
а) циліндричні керамічні елементів із реакційноспеченого карбїду кремнію;  
б) характер руйнування

**Рисунок 2** – Дослідний зразок додаткового бронювання: а) після чотирьох кондиційних улучень; б) тильна сторона броньового листа

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Неорганическое материаловедение: Энциклопед. изд.: В 2т. / Під ред. В.В.Скорохода, Г.Г.Гнесіна.- Київ: Наук.думка, 2008.– т.1, 1152 с

**Мазна Олександра Вікторівна**, кандидат технічних наук, завідувач відділу композиційних матеріалів, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук, України, м. Київ, [mazna@i.ua](mailto:mazna@i.ua)

**Безсмертна Вікторія Ігорівна**, PhD, старший науковий співробітник, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук, України, м. Київ, [bezsmertna.vi@gmail.com](mailto:bezsmertna.vi@gmail.com)

**Кулик Володимир Петрович**, головний технолог, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук, України, м. Київ, [18469Vladimir@gmail.com](mailto:18469Vladimir@gmail.com)

#### POSSIBILITIES FOR REDUCING THE SPECIFIC WEIGHT OF ADDITIONAL ARMORED PROTECTION OF LIGHT ARMORED VEHICLES

**Abstract.** *Structural and technological factors for manufacturing ceramic-polymer materials containing ceramic elements from reaction-sintered silicon carbide have been studied. The effectiveness of using ceramic-polymer armor elements of a discrete structure for additional armor protection of light armored vehicles has been established. The possibility of reducing the specific weight of additional armor compared to steel armor is shown.*

**Keywords:** additional armor protection for light armored vehicles, ceramic-polymer armor elements, discrete structure, reaction-sintered silicon carbide

**Mazna Oleksandra**, Ph.D in Technical Science, Head of Composite Materials Department, Frantsevich Institute for Problems of Material Sciences of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, [mazna@i.ua](mailto:mazna@i.ua)

**Bezsmertna Viktoriia**, PhD, Senior Scientific Associate Frantsevich Institute for Problems of Material Sciences of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, [bezsmertna.vi@gmail.com](mailto:bezsmertna.vi@gmail.com)

**Kulyk Volodymyr**, chief technologist, Frantsevich Institute for Problems of Material Sciences of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, [18469Vladimir@gmail.com](mailto:18469Vladimir@gmail.com)

В. П. Городнов<sup>1</sup>  
 В.В. Овчаренко<sup>2</sup>  
 Д.О. Сізон<sup>1</sup>  
 І.В. Кірієнко<sup>1</sup>  
 Н.Є. Сальна<sup>1</sup>

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗ РЕЗУЛЬТАТІВ УРАЖЕННЯ БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

<sup>1</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба  
<sup>2</sup>Київський інститут Національної гвардії України

**Анотація** Мета дослідження полягала у розробці аналітичної моделі для оперативного прогнозу очікуваних результатів ураження боєприпасами супротивника багато елементних зразків ОВТ за ступенями ураження, що необхідно для планування та управління експлуатацією військової техніки. Для досягнення мети використовувалася авторська технологія розробки моделей, яка дозволила побудувати модель поразки у класі Марківських процесів з безперервним аргументом (вражаючим зарядом) та дискретними станами, що вперше забезпечило можливість прогнозування результатів пошкодження елементів ОВТ з нульовим довірчим інтервалом та одиначною довірчою ймовірністю.

**Ключові слова:** моделювання, багато елементні зразки ОВТ, ступені поразки.

У ході планування та експлуатації озброєння та військової техніки (ОВТ) суттєве місце займає прогнозування результатів її ураження та можливості щодо її відновлення залежно від ступеня пошкодження елементів ОВТ, а саме – немає пошкодження, слабкий, середній, сильний ступінь пошкодження, повне руйнування.

Метою дослідження є розробка аналітичної моделі, яка дозволяє в реальному масштабі часу планування та управління експлуатацією зразків ОВТ, з нульовим довірчим інтервалом та одиначною довірчою ймовірністю, визначати очікуваний ступінь пошкодження зразків ОВТ залежно від умов ураження, що необхідно для планування та організації відновлення ОВТ.

Для досягнення поставленої мети використано авторську технологію [1] розробки моделей, яка дозволила, в описі процесу ураження, відмовитися від використання фактора часу (моментів) підриву боєприпасів, який є «пасивною» величиною, що фіксує лише моменти настання руйнувань та відповідного ступеня пошкодження.

Відповідно до згаданої технології вдалося встановити той факт, що ступінь пошкодження елементів ОВТ визначається не моментами підриву боєприпасів, а величиною вражаючого заряду  $q$  і відстанню до точки підриву  $r$ , і залежить від (коефіцієнта  $K$ ) стійкості елементів зразка ОВТ до вражаючих факторів вибуху боєприпасів. При розробці моделі враховані найбільш суттєві взаємозв'язки параметрів процесу ураження: щільність розподілу випадкової величини промаху  $r$ , яка описується законом Релея  $f(r) = r\sigma^{-2} \cdot \exp(-r^2(2\sigma^2)^{-1})$ ; залежність радіуса ураження  $r$  [м] при вибуху боєприпаса від ваги  $q$  [кг] вибухової речовини, яка для вибуху біля поверхні землі, описується за формулою Садовського [2]  $r = (K \cdot q)^{0.5}$ . На першому кроці розглянуто лише перехід елементів із стану «немає пошкоджень» у стан «слабких пошкоджень». У цьому випадку закон розподілу  $f(q)$  вражаючого заряду  $q$  можна знайти як закон розподілу функції випадкової величини  $r$  з параметром  $\lambda_1$ :

$$f(q) = f(r) \cdot |r'(q)| = \frac{K}{2\sigma^2} \cdot \exp\left(\frac{-K}{2\sigma^2} \cdot q\right) = \lambda_1 \cdot \exp(-\lambda_1 \cdot q), \quad \lambda_1 = \frac{K}{2\sigma^2}. \quad (1)$$

Індуктивне доведено збереження виду показового закону розподілу вражаючого заряду та для послідовності переходів у наступні ступені пошкодження з параметрами  $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  відповідно, під впливом випадкових вражальних зарядів  $q_i$  з математичним сподіванням  $M[q_i] = \lambda_i^{-1}$ , які переводять елементи зразка ОВТ у більш тяжкі ступені ушкоджень.

Таким чином, уявлення процесу ураження залежно не від випадкових інтервалів часу між вибухами, а від випадкової величини вражаючого заряду  $q$ , який має показовий закон розподілу (1), дозволило застосування апарату Марківських процесів з дискретними станами та безперервним аргументом – вражаючим зарядом. Такий процес описується диференціальними рівняннями Колмогорова, які мають аналітичне рішення, що дозволяє знайти аналітичні описи безпосередньо ймовірностей всіх можливих станів елементів зразка ОВТ, та забезпечує нульове значення довірчого інтервалу і одиничне значення довірчої ймовірності оцінок.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Gorodnov, V.P. Option of methodological and technological bases of development, evaluation and forecast the efficiency of real objects' and processes' mathematical models. InterConf, 67, pp. 444-460. DOI 10.51582/interconf.19-20.07.2021.046.

2. Садовский, М. А. Избранные труды: Геофизика и физика взрыва. Отв. ред. В.В. Адушкин. – М.: Наука, 2004. – 404 с. ISBN 5-02-032960-6. [http://elibrary.bibliotom.ru/text/sadovskiy\\_izbrannye-trudy\\_2004/go,84/](http://elibrary.bibliotom.ru/text/sadovskiy_izbrannye-trudy_2004/go,84/).

**Городнов Вячеслав Петрович** доктор військових наук, професор, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, vgor46@ukr.net.

**Овчаренко Вячеслав Володимирович** доктор військових наук, доцент, заступник начальника Київського інституту Національної гвардії України, м. Київ.

**Сізон Дмитро Олександрович** начальник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, ssdimass80@ukr.net.

**Кірієнко Ігор Вячеславович** науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, kirgoff1996as@gmail.com.

**Сальна Наталія Євгенівна** науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, n.salna@ukr.net.

## MODELING AND PREDICTION THE RESULTS OF WEAPONS' AND MILITARY EQUIPMENT MULTI-ELEMENT SAMPLES DESTRUCTION

**Abstract** The purpose of the research was to develop an analytical model for the operational forecast of the expected results of defeating by enemy ammunition the many elements' weapons and military equipment samples by degrees of destruction, which is necessary for planning and managing the operation of military equipment. To achieve the goal, the author's model development technology was used, which made it possible to build a destruction model in the class of Markov processes with a continuous argument (damaging charge) and discrete states, which made it possible to predict the results of destruction the weapons and military equipment elements with a zero confidence interval and a one confidence probability for the first time.

**Keywords:** modeling, multi-element samples of weapons and military equipment, degrees of damage

**Gorodnov Viacheslav Petrovych**, doctor of military sciences, professor, senior researcher of Scientific Research Department of Air Force Scientific Center of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, vgor46@ukr.net.

**Ovcharenko Viacheslav Vladimirovych**, doctor of military sciences, associate professor, deputy head of the Kyiv institute of the National guard of Ukraine, Kyiv, gepard72@ukr.net.

**Dimitry Oleksandrovych Sizon**, Head of Scientific Research Department of Air Force Scientific Center of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, ssdimass80@ukr.net.

**Thor Vyacheslavovych Kiriyenko**, researcher of Scientific Research Department of Air Force Scientific Center of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, kirgoff1996as@gmail.com.

**Nataliia Yevgenivna Salna** researcher of Scientific Research Department of Air Force Scientific Center of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, n.salna@ukr.net

**М.О. Максимов,  
А.Д. Карлов,  
О.С. Шульга,  
М.О. Котляр**

## **Дослідження ігрових інтеграцій як засіб підвищення мотивації та підготовки до навчання курсантів військових навчальних закладів технічних та льотних спеціальностей**

*Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

***Анотація:** Розглянуті дослідження зосереджується на використанні ігрових технологій та симуляторів, які сприяють активному залученню курсантів до навчання, розвитку комунікативних та стратегічних навичок, а також формуванню реалістичного розуміння ситуацій, що можуть виникнути у їхній майбутній професійній діяльності. У доповіді будуть представлені результати експериментального дослідження, під час якого курсанти брали участь у спеціально розроблених ігрових сценаріях, що моделюють реальні військові ситуації із залученням БпЛА. Аналізуючи підходи до вирішення завдань у віртуальному середовищі, дослідники оцінювали рівень мотивації, підготовленості та ефективності курсантів.*

***Ключові слова:** ігрові інтеграції, мотивація, підготовка до навчання, курсанти, військові навчальні заклади, навчальний процес, симулятори, віртуальне середовище, експериментальне дослідження, ефективність, зацікавленість, прийняття рішень, технічне обладнання.*

З початку широкомасштабного вторгнення збройних сил російської федерації на територію нашої держави, ворог чисельно перевищує наші Збройні Сили тому для збереження життя та здоров'я наших людей потрібно прискорити темпи розвитку інноваційних технологій, цифровізації суспільства та навчання майбутніх військових спеціалістів, особливо технічних та льотних спеціальностей. Для швидкого впровадження та використання інноваційних технологій потребується впровадження та реалізації гейміфікації та ігрових інтеграцій в навчання курсантів.

Застосування елементів відеоігор в освітньому процесі та ефективний підхід, який забезпечує позитивні зміни в поведінці та ставленні здобувачів освіти до навчання – підвищують рівень мотивації навчання та активно залучають до участі в освітньому процесі курсантів. Так, наприклад при дослідженні щоденного застосування програмного забезпечення "VelociDrone FPV Racing Simulator", який є звичайною грою у сфері гоночних квадрокоптерів показало, що курсанти після тижневого навчання з легкістю опанували практику польоту на справжньому БпЛА мультикоптерного типу, тим самим викреслили вірогідність руйнування техніки при практиці.

Програмне забезпечення "VelociDrone FPV Racing Simulator" - це динамічний кооперативний та одиночний гоночний симулятор на БпЛА з можливостями керування квадрокоптером як від першої особи, так і від третьої особи, залежно від того, яким чином оператор (гравець) спостерігає за квадрокоптером.

Керування квадрокоптером "від першої особи" означає, що оператор спостерігає за діями безпілотного літального апарата через відеопотік або віртуальні окуляри, як наче він знаходиться всередині самого безпілотника. Оператор бачить те, що бачить камера, встановлена на БпЛА, і керує ним на основі цієї позиції. Це дає більш імерсійний досвід і дозволяє оператору відчувати, що він сам знаходиться у повітрі.

Керування квадрокоптером "від третьої особи" означає, що оператор спостерігає за діями квадрокоптера зовні, з висоти третьої особи. Оператор бачить борт збоку або зверху і керує ним, спираючись на свою зовнішню позицію. Цей підхід дає більший огляд ситуації навколо БпЛА і може бути корисним для точного позиціонування та виконання завдань. Використовую-

чи гоночні дрони з реального світу, можна літати вздовж необмеженої кількості індивідуальних маршрутів з багатьма локаціями та бар'єрами, щоб відточити свої навички керування.

Таким чином гейміфікація та ігрова інтеграція в освітній процес не лише сприяє залученню курсантів та військовослужбовців до активної навчально-пізнавальної діяльності, а й суттєвим чином впливає на їхній когнітивний та фізичний розвиток. На думку дослідників, такий ігровий метод пошуку ідей для розв'язання проблем, як брейнстормінг, стимулює творче й аналітичне мислення здобувачів освіти, а також поліпшує швидкість, з якою їхній мозок здатний обробляти отриману інформацію. Більш того, застосування гейміфікації в освітньому процесі надає змогу, по-перше, побудувати розвивальне освітнє середовище, яке позитивним чином впливає на особистісний розвиток, а по-друге, забезпечити їхню успішну соціалізацію й розвиток соціальних навичок. Невіддільними елементами ігрової інтеграції, які мають бути впроваджені в освітню діяльність курсантів, є рейтинги учасників ігор відповідно до здобутих результатів (у тому числі, складання списків учасників ігор, списків лідерів тощо); використання спеціальних відзнак задля їхнього заохочення; урізноманітнення видів ігор, а також поєднання традиційних й онлайн ігор.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Арістова Н. О. (2002). Проблема поняття «мотивація учіння» в науковій літературі. Теоретичні питання культури, освіти та виховання, 22, 97–100.
2. Бугаєва, В. (2018). Гейміфікація як спосіб формування активної професійної поведінки майбутніх фахівців ІТ галузі. Educational Challenges, 0(56), 129–135. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.577567>.
3. Жерновникова О. А., Перетяга Л. Є., Ковтун А. В., Кордубан М. В., Наливайко О. О., Наливайко Н. А. (2020). Технологія формування цифрової компетентності майбутніх учителів засобами гейміфікації. Інформаційні технології і засоби навчання, 75(1), 170–185. doi: <https://doi.org/10.33407/itlt.v75i1.3036>.
4. Wanasek, S. (2022). 4 Classroom Gamification Elements And Examples. ClassPoint. Retrieved from <https://blog.classpoint.io/4-classroom-gamification-examples/>.
5. Посилання на сайт симулятора <https://www.velocidrone.com/>.

*Максимов Максим Олександрович*, науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0009-0005-4464-7863>, електронна адреса: [maximoff.max2000@gmail.com](mailto:maximoff.max2000@gmail.com).

*Карлов Антон Дмитрович*, начальник групи міжнародного військового співробітництва Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-0812-7052>, електронна адреса: [karlov.anton.dmitrievich@gmail.com](mailto:karlov.anton.dmitrievich@gmail.com).

*Шульга Олексій Сергійович*, науковий співробітник науково - дослідної лабораторії льотного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0003-1696-9214>, електронна адреса: [amdalex@icloud.com](mailto:amdalex@icloud.com).

*Котляр Максим Олександрович*, молодший науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0009-0007-8970-3683>, електронна адреса: [makskot4238@gmail.com](mailto:makskot4238@gmail.com).

### **Research on game-based integrations as a means to enhance motivation and preparation for learning among cadets of military educational institutions specializing in technical and aviation disciplines**

#### **Abstract:**

The presented research focuses on the utilization of gaming technologies and simulators to actively engage cadets in their learning process, develop their communication and strategic skills, and foster a realistic understanding of situations they may encounter in their future professional activities. The report will present the results of an experimental study in which cadets participated in specially designed gaming scenarios that simulate real military situations involving the use of UAVs. By analyzing the approaches to solving tasks in a virtual environment, the researchers assessed the cadets' level of motivation, preparedness, and effectiveness.

**Keywords:** game-based integrations, motivation, preparation for learning, cadets, military educational institutions, learning process, simulators, virtual environment, experimental study, effectiveness, interest, decision-making, technical equipment.

**Maksym Maksymov** Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0009-0005-4464-7863>.

**Anton Karlov** Head of the International Military Cooperation Group of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0000-0002-0812-7052>.

**Oleksiy Shulga** Research Associate at the Research Laboratory of the Aviation Faculty of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0000-0003-1696-9214>.

**Maksym Kotlyar** Junior Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0009-0007-8970-3683>.

## ІННОВАЦІЙНІ СИСТЕМИ ОЗБРОЄНЬ НА ОСНОВІ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАВОЮВАННЯ ПЕРЕВАГИ В ПОВІТРІ

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

### Анотація

*Представлено огляд перспективних програм країн - членів НАТО зі створення інноваційних систем озброєнь на основі безпілотних та пілотованих авіаційних комплексів з автономними системами управління на основі штучного інтелекту, swarm-технологій та новітніх робототехнічних систем.*

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, штучний інтелект, swarm-технологія, робототехнічні та автономні системи

З розвитком інформаційних технологій проблема різного роду обчислень була вирішена за допомогою цифрового середовища та певних алгоритмів. Однак, прийняття рішення (зокрема - у військовій сфері) до цього часу залишається за людиною, а комп'ютер, як і раніше, відіграє допоміжну роль та здійснює лише формалізовані та автоматизовані операції. Однак, проблему передачі знань людини комп'ютеру з розширенням сфери їх застосування передбачається через розвиток нових технологій штучного інтелекту (ШІ).

ШІ дозволяє машині виконувати завдання, які зазвичай потребують людського інтелекту, наприклад розпізнавання закономірностей, вивчення досвіду, створення висновків, прогнозування або вжиття заходів – чи то в цифровому вигляді, чи як інтелектуальне програмне забезпечення, що стоїть за автономними фізичними системами. Тому, основні досягнення в робототехніці та автономних системах, як поточні, так і передбачувані, переважно базуються на вдосконаленні технологій ШІ [1].

За думкою фахівців НАТО, станом на 2022 рік існувало 9 канонічних нових та революційних технологій, одними з яких є ШІ та технології робототехніки і автономних систем [2]. Так, у США розроблена Третя стратегія компенсації (Third Offset Strategy), в якій визначені пріоритетні напрямки в розробці інноваційних систем озброєнь, які здатні кардинально змінити характер і способи ведення війни. В рамках цієї стратегії особлива увага приділяється проектуванню, розробці і розвитку гіперзвукових літальних апаратів та засобів ураження, робототехнічних і автономних безпілотних систем озброєння, досягнення переваги в яких засновано на використанні ШІ [3]. Причому ШІ у цій сфері потрібна певна еволюція, під час якої він повинен пройти певні рівні та етапи розвитку для набуття статусу повноцінного учасника бойових дій.

Серед багатьох (їх рахунок вже йде на десятки) перспективних авіаційних програм, що реалізуються у провідних країнах світу на основі технологій ШІ, уваги заслуговують концепції, прийняті у США – “Gremlin” і “Loyal Wingman”, які є розвитком swarm-технологій (від swarm – зграя, рій) та передбачають масоване застосування безпілотних літальних апаратів (БпЛА).

Програма “Gremlin” спрямована на розробку інноваційних технологій і систем, що дозволяють виконувати запуск малих і недорогих БпЛА з різних типів літаків військово-транспортної, стратегічної і тактичної авіації та їх повернення після виконання завдань на військово-транспортний літак С-130, який обладнаний спеціальною системою їх захоплення у повітрі і доставки у вантажний відсік. На носіїві може розміщуватися до 20-24 БпЛА. Радіус дії БпЛА становить 500...800 км від точки запуску, час польоту становить 2-3 години зі швидкістю 0,7-0,8 М. Кількість застосувань БпЛА при такому використанні – не менше 20 разів, час підготовки до повторного вильоту – не більше 24 годин. Головною ідеєю програми “Gremlin” є створення щільності нальоту, яка б перевищувала можливості системи протиповітряної

оборони противника за допомогою застосування тактики “рою” у поєднанні з крилатими ракетами в єдиному бойовому порядку. Це дасть змогу створити сприятливі умови для успішного виконання завдання радіоелектронного придушення і вогневого ураження елементів системи ППО ударними БпЛА та пілотованими літаками, а також ураження цілей в глибині території противника наступними ударними ешелонами.

Ще однією програмою, яка виконується в інтересах ВПС США, є програма “Loyal Wingman”, що у перекладі звучить як “відданий ведений”. Мова йде про БпЛА, які можуть працювати повністю в автономному режимі або знаходитися під керуванням як наземних пунктів управління, так і пілотів (операторів) бойових літаків (включаючи спеціалізовані літаки, літаки-заправники, тощо) та повітряних командних пунктів.

Передбачається, що БпЛА виконують політ в одному бойовому порядку із літаками стратегічної, військово-транспортної та спеціальної авіації і виконують завдання з їх патрульного супроводження. При загрозі атаки винищувачів противника БпЛА будуть виконувати завдання тактичних груп винищувачів супроводження з їх прикриття способом створення заслонів у повітрі, провокуючи противника на відкриття вогню в даному випадку по “хибній” цілі. В рамках програми розглядається варіант використання БпЛА з метою ураження повітряних цілей та передбачена можливість виконання повітряного тарану ворожого винищувача у визначених випадках.

Аналогічні концепції відпрацьовуються і в інших країнах – це програма LANCA (Lightweight Affordable Novel Combat Aircraft) у Великобританії, у спільному проєкті Франції і Німеччини Loyal Pack of Hounds, Австралії - ATS (Airpower Teaming System), тощо.

Подібними проєктами, які використовують БпЛА із застосуванням ШІ та пов’язані з обміном інформацією та сумісними скоординованими діями розподілених колективних систем озброєння, є також програмивід Науково-дослідної лабораторії ВПС США – “Skyborg” та від Агентства передових оборонних досліджень Міністерства Оборони США (DARPA) – “CODE” і “SoSITE”.

Проєкт “Skyborg” передбачає створення БпЛА, висотно-швидкісні характеристики якого подібні до характеристик винищувача. БпЛА типу XQ-58 Valkyrie буде знаходитися під управлінням винищувачів типу F-35 чи F15EX та забезпечувати виконання ними бойових завдань за допомогою програмного забезпечення, основаному на технології ШІ.

В рамках програми “CODE” (Collaborative Operations in Denied Environment) відпрацьовується управління БпЛА з пілотованих бойових літаків, а також використання ШІ для сумісної роботи зграї БпЛА з обміном інформацією та координацією дій, в тому числі у випадку втрати зв’язку з повітряним командним пунктом і придушенні сигналів GPS.

Більш широкий спектр завдань реалізується в рамках іншого проєкту під назвою “SoSITE” (The System of System Integration Technology and Experimentation). Реалізація проєкту дозволить розробити і продемонструвати концепції підтримки переваги у повітрі за допомогою нової архітектури “системи систем”, яка включає літаки, озброєння, системи контролю і управління повітряними суднами (як пілотованими, та і безпілотними)[4].

Загальною рисою усіх перелічених перспективних програм є використання ШІ для ведення групових дій за єдиним замислом і планом. Штучний інтелект – це технологія, яка в перспективі дозволить створити адаптовану для будь-яких умов єдину бойову систему на основі поєднання засобів ураження і забезпечення. Очікується, що синергетичне поєднання автономії, даних і штучного інтелекту у військовій справі призведе до значного збільшення обсягу даних, аналіз і опрацювання яких можливий на основі технологій 5G (та їй подібних), когнітивного електромагнітного управління, кращих технологій акумуляторів, 3-Д друку, тощо[2]. Такі інноваційні системи озброєння повинні створити стратегічну і оперативну перевагу країн НАТО (в тому числі і України, як члена блоку у найближчій перспективі) у прийнятті рішень при виконанні завдань зі збереження цілісності та недоторканості держави у майбутньому.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. NATO Science and Technology Organization. Science and Technology. Trends 2023-2043. Across the Physical, Biological, and Information Domains. VOLUME 1: Overview. URL: [https://www.nato.int/nato\\_static\\_fl2014/assets/pdf/2023/3/pdf/stt23-vol1.pdf](https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2023/3/pdf/stt23-vol1.pdf).
2. NATO Science and Technology Organization. Science and Technology. Trends 2023-2043. Across the Physical, Biological, and Information Domains. VOLUME 2: Analysis. URL: [https://www.nato.int/nato\\_static\\_fl2014/assets/pdf/2023/3/pdf/stt23-vol2.pdf](https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2023/3/pdf/stt23-vol2.pdf).



3. Gentile, Gian, Michael Shurkin, Alexandra T. Evans, Michelle Grisé, Mark Hvizda, and Rebecca Jensen. A History of the Third Offset, 2014–2018. RAND Corporation, RR-A454-1, 2021. As of April 27, 2023: URL: [https://www.rand.org/pubs/research\\_reports/RRA454-1.html](https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA454-1.html).

4. Моисеев С. Искусственный интеллект: Состояние развития и перспективы применения в военной авиации // Аэрокосмическое обозрение. - 2020. - № 3(105). - С. 42-46.

**Корнієнко Анатолій Петрович**, к.т.н., с.н.с., начальник науково-дослідної лабораторії, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, e-mail: [korney-2008@ukr.net](mailto:korney-2008@ukr.net).

**Скорий Юрій Володимирович**, к.т.н., провідний науковий співробітник, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, e-mail: [skory1971@gmail.com](mailto:skory1971@gmail.com).

**Лященко Руслан Вікторович**, старший науковий співробітник, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, e-mail: [liachshenko27@gmail.com](mailto:liachshenko27@gmail.com).

## INNOVATIVE WEAPON SYSTEMS BASED ON THE LATEST TECHNOLOGIES FOR WINNING ADVANTAGE IN THE AIR

### **Abstract**

*An overview of promising programs of NATO member countries for the creation of innovative weapons systems based on unmanned and manned aircraft complexes with autonomous control systems based on artificial intelligence, swarm technologies and the latest robotic systems is presented.*

**Keywords:**unmanned aerial vehicle, artificial intelligence, swarm technology, robotics and autonomous systems.

**Korniienko Anatolii Petrovych**, PhD in Engineering, Senior Researcher, Head of the research laboratory, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, UA, e-mail: [korney-2008@ukr.net](mailto:korney-2008@ukr.net).

**Skoryi Yuri Volodymyrovych**, PhD in Engineering, Leading Researcher, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, UA, e-mail: [skory1971@gmail.com](mailto:skory1971@gmail.com).

**Liashchenko Ruslan Viktorovich**, Senior Researcher, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, UA, e-mail: [liachshenko27@gmail.com](mailto:liachshenko27@gmail.com).

# ВПЛИВ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ ҐРУНТУ НА ПРОХІДНІСТЬ ВІЙСЬКОВОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

## Анотація

Запропоновано аналіз впливу опорної поверхні ґрунту на прохідність автомобільної техніки, яке дозволило визначити основні фактори та причини що вплинули на зменшення мобільності автомобіля, на прикладі армії росії.

**Ключові слова:** аналіз, прохідність, автомобільна техніка, опорна поверхня, грантові дороги, вологість, рослинність, дерен, природно – кліматичні фактори.

## Вступ

В Україні весною 2022 року були найбільш непрохідними для автомобільної техніки (АТ) через підвищену вологість ґрунту, перепад температури (повітря – ґрунт), рослинність і оранку полів, що значно збільшило глибину зволоженого ґрунту майже у двічі від норми, а використання змішаних автомобільних колон (колісна-гусенична) армії росії знизило прохідність АТ до повної їх зупинки.

Метою статті є аналіз впливу факторів опорної поверхні ґрунту на показники прохідність/мобільність автомобільної техніки на прикладі армії росії.

## Результати дослідження

У різних природних районах і за різних погодних умов виникають різні складні комбінації шарів різної густини та вологості ґрунту.

Вплив місцевості, ґрунту, рослинності на прохідність і втрати АТ, танків, бойових броньованих машин (ББМ) армії росії зображено на рис. 1 яка визначається з урахуванням кліматичної зони, пори року та доби, а також метеорологічних умов (рис. 2) [1 - 3].

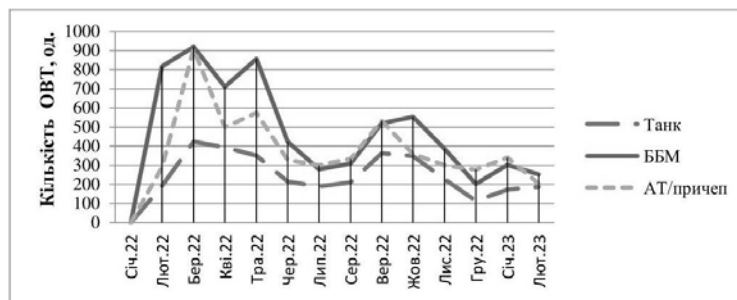


Рис. 1. Загальна кількість втрат основних зразків ВТ РФ по місяцях 2022-2023 року

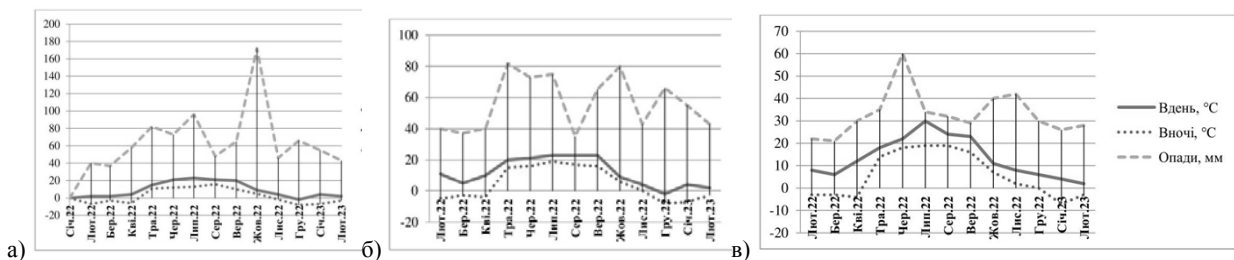


Рис. 2. Природно - кліматичних фактори північних областей (а - північ, б - схід, в - південь) України

З рис. 2а-б випливає, що на півночі та сході України менш сприятливі для пересування АТ по ґрунтовим дорогам – весна, осінь, через значну кількість опадів, підвищену вологість ґрунту, відлигу, рослинність та перепад температури, що в комплексі створюють значні труднощі у прохідності автомобіля.

У південних районах (рис. 2в) з малою глибиною промерзання ґрунту і сніговим покривом прохідність сильно ускладнюється в період зимових відлиг, особливо в лютому-березні. Під час відлиги тане сніжно-крижаний покрив дороги і відтає верхній шар ґрунту, який насичується поверхневою водою і переходить у м'якопластичний або текучий стан.

Основною характеристикою ґрунтів, що визначає їхню прохідність машинами, є несуча здатність опорної поверхні. Межа несучої здатності ґрунту визначає допустиму величину питомого тиску на ґрунт, за якого пластичні деформації ґрунту змінюються його руйнуванням. У цих умовах зруйнований ґрунт не забезпечує необхідну силу тяги через недостатнє зчеплення рушія АТ з ґрунтом. Відбувається буксування коліс або гусениці, внаслідок чого машина поступово заривається в ґрунт до днища [4-5].

Сукупність властивостей місцевості, що сприяють пересуванню по ній АТ називають прохідністю місцевості. Прохідність місцевості залежить від рельєфу, характеру ґрунтів, виду і характеристик рослинного покриву, гідрографічної мережі, а також від пори року і метеорологічних умов.

При експлуатації АТ середньої, великої і надвеликої вантажопідйомності необхідно попередньо оцінити прохідність по ґрунту з рослинністю на визначеній місцевості.

## Висновки

Таким чином, для покращення прохідності колісної АТ потрібно розробити сучасний метод оцінювання мобільності. В основі якого доцільно використати "WES" – метод, який у своїх розрахунках використовував би додаткові показники нового фактору - характеристики трав'яного покриву (розмір, об'єм стебла, об'єм кореневої системи, а також вагову частку в об'ємі ґрунту).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. МО України. Загальні втрати російських окупантів. URL: <https://www.mil.gov.ua/news/2023/02/26/stanovlyat-uzhe-blizko-148-1-tis-osib-znishheno-ponad-3380-tankiv-voroga-%E2%80%93-genshtab-zsu/> (дата звернення 01.05.2023)
2. Україна: погодні умови та стан рослин озимих зернових культур у квітні 2022 року – НААН України. URL: <https://www.apk-inform.com/uk/exclusive/topic/1526779> (дата звернення 05.05.2023).
3. Інформація про погодні умови та стан озимих культур в Україні в листопаді 2022 року. URL: <https://www.apk-inform.com/uk/exclusive/topic/1530783> (дата звернення 10.05.2023).
4. Бабков В.Ф., Бирюля А.К. Сиденко В.М. Проходимость колесных машин по грунту. М.: ТИМАТИ ШД РСФСР. 1959. 189 с.
5. Грубель М., Крайник К. Прохідність військових автомобілів: монографія. Київ: Видавничий дім "Профісiонал", 2023. 184 с.

**Кохан Василь Федорович** – кандидат технічних наук, докторант - штатний науково-організаційного відділу Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

### *The influence of the soil bearing surface on the passability of military vehicles*

#### **Abstract**

*The analysis of the influence of the ground support surface on the cross-country ability of the automobile technique has been offered, it has allowed to determine the main factors and reasons, which influenced the reduction of the automobile mobility, by the example of the russian army.*

**Keywords:** analysis, cross-country capability, automotive equipment, support surface, unpaved roads, moisture, vegetation, turf, natural-climatic factors.

**Kokhan Vasyl F.** – Can. Sc. (Eng), doctoral student, Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy Lviv, e-mail: [vdv29121974@gmail.com](mailto:vdv29121974@gmail.com)

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

## ЗАГАЛЬНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У ЗБРОЙНИХ КОНФЛІКТАХ СУЧАСНОСТІ

**Анотація.** У доповіді розглянуті загальні тенденції застосування малорозмірних безпілотних літальних апаратів (БпЛА) у збройних конфліктах сучасності, чинники, що забезпечують необхідність застосування таких БпЛА, підвищення ефективності їх дій, приклади вироблення нових тактичних прийомів застосування. Наведені основні завдання малорозмірних БпЛА та об'єкти для нанесення ударів боєприпасів-камікадзе.

Наведені відомості щодо базових принципів використання як одиночних малорозмірних БпЛА, так і робота групою, розглянуті перспективи їх застосування.

На основі аналізу останніх військових конфліктів вказані напрямки застосування малорозмірних БпЛА у збройних силах провідних країн світу.

Розглянуті дії по вдосконаленню групового застосування малорозмірних БпЛА, за рахунок яких може досягатися підвищення ефективності бойових дій.

**Ключові слова:** малорозмірні БпЛА, принципи застосування малорозмірних БпЛА, основні напрямки застосування, чинники ефективності.

Сучасні війни докорінно відрізняються від битв ще недалекого минулого. Неможливо зараз уявити масштабні наступи часів Другої світової війни, коли потай від ворога переміщувались мільйонні угруповання військ для завдання удару. Сьогодні авіаційна та космічна розвідка не дозволять утримати в таємниці навіть невелике зосередження військ. Численні безпілотні літальні апарати практично відразу виявляють переміщення та розташування навіть невеликих підрозділів протилежної сторони.

Найбільш яскраво це виявилось під час воєнних конфліктів останнього десятиріччя - у громадянській війні в Сирії (з 2011 року), в війні в Ємені (з 2015 року), під час збройного конфлікту у Нагорному Карабаху (2020 року), у війні на сході України (з 2014 року) та під час повномасштабного вторгнення Росії на територію України (з 2022 року).

Сучасні війни відрізняються від війн ХХ сторіччя застосуванням величезної кількості не тільки розвідувальних БпЛА, але й ударних: від баражуючих боєприпасів і коптерів, що скидають бомби, до великих літаків-розвідників з спеціалізованими ракетами.

Експерти з безпілотних систем Центру військово-морського аналізу та Центру нової американської безпеки взагалі вважають, що в даний час ми стали свідками війни безпілотників. На їх думку, війна росії проти України – перша великомасштабна війна, у якій так широко використовуються пропріетарні військові та комерційні безпілотними [1].

Під терміном “малорозмірний безпілотний літальний апарат” в цих тезах слід розуміти БпЛА класифікаційних типів Micro-UAV (Мікро-БпЛА) та Mini-UAV (Міні-БпЛА) або Close-Range UAV (БпЛА ближнього радіуса дії), тобто такі, що мають радіус дії до 10 км та тривалість польоту до 2 годин [2] - [3].

Існує кілька типів таких БпЛА, які різняться за своїми характеристиками та призначенням. Найбільшу поширеність у бойових діях отримали два з них:

– мультироторні БпЛА (Multirotor UAVs) - найпоширеніший тип малорозмірних БпЛА, оснащених кількома гвинтами, зазвичай чотирма, шістьма або вісьмома. Відрізняються простотою керування, вертикальним зльотом та посадкою, а також здатністю стабільно зависати у повітрі. Широко використовуються у сферах фотографії та відеозйомки, для розвідки, скидання невеликих боєприпасів.

– БпЛА з фіксованим крилом (Fixed-wing UAVs) - мають фіксовані крила, аналогічно традиційним літакам. Зазвичай мають більшу дальність польоту, більшу швидкість і здатність нести більший вантаж, але вимагають більшого простору для зльоту і посадки. Застосовуються для розвідки, скидання невеликих боєприпасів та як дрон-камікадзе.

На малорозмірних БпЛА застосовуються різні системи управління, які забезпечують контроль над польотом та виконання завдань [4].

Найбільше поширення знайшли системи управління за допомогою автопілота, які є основою систем управління більшості БпЛА-камікадзе та систем розвідки, що працюють в потенційно небезпечних районах, де можливе застосування противником засобів радіоелектронної боротьби. Вони також мають можливість виконання автономних місій, проходження заданого маршруту та автоматичної стабілізації польоту. Автопілоти зазвичай оснащені інерційними вимірювальними пристроями, GPS-приймачами та іншими датчиками для визначення положення та орієнтації БпЛА у просторі.

Використовується також і радіокомандне управління. Пульти керування зазвичай мають джойстики, перемикачі та інші елементи керування для керування польотом, наприклад, зміни швидкості, зміни напрямку та виконання маневрів. Останнім часом дуже популярними стають системи FPV, що розшифровується як "First Person View" і означає вигляд від першої особи. У контексті БпЛА FPV відноситься до методу управління, при якому оператор бачить відеопотік з камери, встановленої на самому БпЛА, і отримує відчуття, що знаходиться всередині апарату. FPV зазвичай застосовуються в одноразових БпЛА для ураження небезпечної військової техніки або об'єктів, де точне керування є важливим фактором.

Масова поява малорозмірних БпЛА змінює тактику ведення загальновійськового бою.

Досвід ведення бойових дій в Україні показав, що обидві воюючі сторони використовують групи безпілотників у небі, вишукуючи важливу ціль. Це дозволяє значно підвищити ймовірність виявлення малорозмірних, добре замаскованих об'єктів.

Сучасна тенденція розвитку розвідувально-ударних комплексів на базі малорозмірних БпЛА вимагає від командира сухопутного підрозділу не лише детально опрацювати виконання завдання, а й додатково проробляти маневри у разі виявлення групи військових коптером ворога та відкриття ворогом вогню по його військам.

Найчастіше група операторів малорозмірних БпЛА знаходиться в одному місці або має загальний район дій. Так, помітивши ворожу групу в районі ведення бойових дій, по ній працюватиме не один БпЛА, а найчастіше три або чотири. Поки один працює, інший "перезаряджається".

Тому при виявленні БпЛА, війська будуть змушені розосередитися, змінити бойовий порядок, перебудуватися в безладний, одиночний стрій і надати маршрут слідування кожному з бійців. Район слідування необхідно заздалегідь передбачити, вибрати якийсь запасний пункт збору, куди потрібно всім прибути.

Малорозмірні БпЛА мультироторного типу широко застосовуються у війні з росією також для боротьби з диверсійно-розвідувальними групами противника, коли лише один апарат, озброєний кількома гранатами, може змусити ворога припинити завдання і повернутися назад, переносячи своїх поранених.

Сучасні тенденції розвитку безпіотної авіаційної техніки, особливо з масовою появою малих БпЛА, зумовлюють активізацію та актуальність розробок щодо використання БпЛА в інтересах збройних сил, при цьому передбачається застосування як однотипних, так і різнотипних апаратів в складі єдиного комплексу. Найбільш складними для реалізації завданнями є робота розвідувальних ударних БпЛА у складі одного комплексу з підрозділами сухопутних військ.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Every. Single. Drone. Fighting In Russia's War Against Ukraine. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.popularmechanics.com/military/a40298287/drone-fighting-ukraine-war-russia/>.
2. Randal W. Beard and Timothy W. McLain. Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://github.com/randybeard/uavbook>. Дата доступу 21.05.2023.
3. Paul Fahlstrom and Thomas Gleason. Introduction to UAV System. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://baumanka.pashinin.com/IU2/sem8/%D0%A1%D0%90%D0%A3%20%D0%9B%D0%90/%D0%9B%D0%90%D0%>

91%D0%AB/\_%D0%90%D0%A3%D0%9B%D0%90\_%D0%9B%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0\_2017\_03\_17/Fahlstrom\_Introduction\_to\_UAV\_Systems\_2012.pdf. Дата доступу 21.05.2023.

4. Brent Terwilliger and David C. Ison. Small Unmanned Aircraft Systems Guide: Exploring Designs, Operations, Regulations, and Economics. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dokumen.pub/small-unmanned-aircraft-systems-guide-exploring-designs-operations-regulations-and-economics-9781619543959.html>. Дата доступу 21.05.2023.

**Коробецький Олександр Валерійович.** Старший науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку, підготовки та застосування авіації Повітряних Сил науково-дослідного управління розвитку, застосування та забезпечення авіації Повітряних Сил наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил. Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба (ХНУПС), 61023, м. Харків-23, вул. Сумська, 77/79. Електронна адреса: [avtokor@i.ua](mailto:avtokor@i.ua).

**Марченко Олександр Михайлович.** Науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку, підготовки та застосування авіації Повітряних Сил науково-дослідного управління розвитку, застосування та забезпечення авіації Повітряних Сил наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил. Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба (ХНУПС), 61023, м. Харків-23, вул. Сумська, 77/79. E-mail: [boss.inform@ukr.net](mailto:boss.inform@ukr.net).

**Кудрявцев Андрій Федорович.** Науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку, підготовки та застосування авіації Повітряних Сил науково-дослідного управління розвитку, застосування та забезпечення авіації Повітряних Сил наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил. Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба (ХНУПС), 61023, м. Харків-23, вул. Сумська, 77/79. E-mail: [rapid\\_2013@ukr.net](mailto:rapid_2013@ukr.net).

## GENERAL TRENDS IN THE USE OF SMALL UNMANNED AERIAL VEHICLES IN MODERN ARMED CONFLICTS

**Abstract:** The report examines the general trends in the use of small unmanned aerial vehicles (UAVs) in modern armed conflicts, the factors that ensure the need to use such UAVs, increase the effectiveness of their actions, and examples of the development of new tactical methods of use. The main tasks of small UAVs and targets for striking with kamikaze munitions are presented.

Information is provided on the basic principles of using both single small UAVs and group operations, and the prospects for their use are considered.

Based on the analysis of recent military conflicts, the author indicates the areas of application of small UAVs in the armed forces of the leading countries of the world.

Actions to improve the group use of small UAVs, which can increase the effectiveness of combat operations, are considered.

**Keywords:** small UAVs, principles of small UAVs application, main areas of application, efficiency factors.

**Korobetskyi Oleksandr Valeryovych** – Senior Scientist of the research department of the development, training and application of Air Force aviation of the research department of the development, application and maintenance of Air Force aviation of the Air Force Research Center of the Kharkiv National University of the Air Force. Kharkiv National University of the Air Forces named after Ivan Kozhedub (KhNUPS), 61023, Kharkiv-23, str. Sumska, 77/79. E-mail address: [avtokor@i.ua](mailto:avtokor@i.ua).

**Marchenko Oleksandr Mykhailovych** – Researcher of the research department of the development, training and application of Air Force aviation of the research department of the development, application and maintenance of Air Force aviation of the Air Force Research Center of the Kharkiv National University of the Air Force. Kharkiv National University of the Air Forces named after Ivan Kozhedub (KhNUPS), 61023, Kharkiv-23, str. Sumska, 77/79. E-mail: [boss.inform@ukr.net](mailto:boss.inform@ukr.net).

**Kudriavtsev Andrii Fedorovich** – Researcher of the research department of the development, training and application of Air Force aviation of the research department of the development, application and maintenance of Air Force aviation of the Air Force Research Center of the Kharkiv National University of the Air Force. Kharkiv National University of the Air Forces named after Ivan Kozhedub (KhNUPS), 61023, Kharkiv-23, str. Sumska, 77/79. E-mail address: [rapid\\_2013@ukr.net](mailto:rapid_2013@ukr.net).

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МІЖДЕРЖАВНИХ МЕРЕЖЕВИХ ГРУП ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ

Державна наукова установа «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації»,<sup>1, 2</sup>

**Анотація.** Наведено тлумачення поняття «міждержавна мережева група підтримки трансферу технологій». Описано модель оцінки технологічної зрілості груп/організацій в управлінні інноваційними проєктами з теорії американського вченого доктора Гарольда Керцнера. Визначено основні заходи щодо підвищення рівня ефективності функціонування групи з різним рівнем технологічної зрілості, різним рівнем підготовки фахівців.

**Ключові слова:** трансфер технологій, інформація, менеджмент, дослідження, інформаційне забезпечення.

Метою кожного вченого є прагнення оцінити ефективність своєї роботи, виявити рівень користі результатів своєї діяльності для споживачів. Так, автори статті спробували узагальнити дані щодо оцінки ефективності роботи міждержавної мережевої групи, яка функціонує на базі Автоматизованої системи формування інтегрованих міждержавних інформаційних ресурсів (АСФІМІР) [1], виділивши основні заходи для підвищення рівня ефективності з метою покращення роботи в майбутньому.

Оцінку ефективності функціонування мережної групи підтримки трансферу технологій здійснено авторами за моделлю технологічної зрілості. Американський вчений, доктор наук Г. Керцнер визначив загальні фази, які проходять групи/компанії у міру свого розвитку та вдосконалення. Ця модель отримала назву «модель оцінки технологічної зрілості груп/організацій в управлінні проєктами (у тому числі у сфері трансферу технологій)». [2]

АСФІМІР є базою, робочим майданчиком для функціонування групи, її основним інструментом, яким користуються постійно діючі члени групи з метою пошуку нових контактів, обміну інформацією з потенційними партнерами та клієнтами. Модель Г. Керцнера передбачає рамковий розподіл рівнів з математичних розрахунків, використовуючи бальну систему. Проте особливість мережної групи підтримки трансферу технологій системи АСФІМІР полягає у її універсальності, адаптивності, гнучких кордонах. Тому можна виділити такі характеристики функціонування типових мережевих груп у сфері трансферу технологій: 1 рівень: наявність спільної мови у колективі. 2 рівень: загальні процеси. 3 рівень: єдина методологія. 4 рівень: бенчмаркінг [3]. 5 рівень: безперервні поліпшення.

Поєднуючи вищенаведену інформацію, а також досвід роботи мережевої групи, можна виділити окремі проблеми під час виконання проєктів у сфері трансферу технологій: низька організаційна ефективність персоналу; відсутність можливості розподілу робочого часу на звичайну діяльність та роботу з інноваційними впровадженнями у сфері трансферу технологій; вимога високої професійної компетенції співробітників всіх рівнях управління групою. Ці проблеми актуальні для групи на базі УкрІНТЕІ.

Отже, результатом проведеного дослідження стали узагальнені заходи щодо підвищення рівня ефективності функціонування мережевих груп у сфері трансферу технологій, а також інших подібних мережевих груп/структур:

1. В ідеальній ситуації починати діяльність мережної групи рекомендується з напрацювання регламенту діяльності групи, в якому має бути зазначена уточнююча інформація.

2. Важливо на початковому етапі створити орган, відповідальний за діяльність групи. Це може бути як керівництво установи, на основі якої створено групу, так і певний орган.

3. Разом із визначенням відповідального органу/особи за діяльністю міждержавної мережної групи важливим етапом є створення головного/проєктного офісу групи.

4. Бажано уникати великих масштабів регламентації за рахунок впровадження автоматизації управління та систематизації процесів та введення в обіг вивірених алгоритмів роботи групи.

5. На певному етапі за плечима учасників мережі з'являться перші позитивні результати від виконання проєктів у сфері трансферу технологій; їх важливо використовувати в майбутньому.

6. Досвід невдалих проєктів також є дуже корисним досвідом. Слід враховувати його під час своєї роботи.

7. Важливою складовою процесу функціонування мережної групи є її бюджет. Централізоване планування фінансової діяльності – невід'ємна частина роботи під час виконання проєктів у різних галузях, у тому числі у сфері трансферу технологій.

8. Приділяти велику увагу процесу бенчмаркінгу – безперервному систематичному пошуку та впровадженню кращих практик, які приведуть групу до більш досконалої форми.

9. Збільшення можливості самореалізації постійних членів мережевої групи. Розробка та впровадження системи внутрішніх інновацій.

10. Важливе місце у роботі мережевих групах грає рівень корпоративної культури у колективі.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизована система формування інтегрованих міждержавних інформаційних ресурсів (АСФІМІР) [Електронний ресурс]. – 2017. - Режим доступу: <http://store.uinte1.kiev.ua/transfer/ua/pages/asfimir.html>. - Дата доступу: 28.04.2023.

2. Керцнер Г. Стратегічне планування управління проєктами з використанням моделі зрілості: Пер. з англ. – М.: Компанія АйТі; М.: ДМК Прес, 2003. – С. 118-124.

3. Бенчмаркетинг. Записки маркетолога [Електронний ресурс]. – 2005. - Режим доступу: [http://www.marketch.ru/marketing\\_dictionary/marketing\\_terms\\_b/benchmark/](http://www.marketch.ru/marketing_dictionary/marketing_terms_b/benchmark/). – Дата доступу: 28.04.2023.

**Баланчук Ірина Сергіївна**, завідувач Відділу міжнародного науково-технічного співробітництва та трансферу технологій, Державна наукова установа «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації», Київ, [slavira218@gmail.com](mailto:slavira218@gmail.com)

**Михальченкова Олена Євгенівна**, адміністратор Центру трансферу технологій, Державна наукова установа «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації», Київ, [alenasimchuk5566@gmail.com](mailto:alenasimchuk5566@gmail.com)

## INCREASING THE EFFICIENCY OF THE WORK OF INTERSTATE NETWORK GROUPS IN THE IMPLEMENTATION OF INNOVATIVE PROJECTS

**Abstract.** *The interpretation of the concept of "interstate network technology transfer support group" is given. A model for assessing the technological maturity of groups/organizations in the management of innovative projects is described according to the theory of the American scientist Dr. Harold Kerzner. The main measures to improve the efficiency of the functioning of the group with different levels of technological maturity, different levels of training of specialists are determined.*

**Keywords:** *technology transfer, information, management, research, information support.*

**Balanchuk Iryna Serhiyivna**, Head of the Department of International Scientific and Technical Cooperation and Technology Transfer, State Scientific Institution "Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information", Kyiv, [slavira218@gmail.com](mailto:slavira218@gmail.com)

**Mikhalchenkova Olena Evgenivna**, Administrator of the Technology Transfer Center, State Scientific Institution "Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information", Kyiv, [alenasimchuk5566@gmail.com](mailto:alenasimchuk5566@gmail.com)



## ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У КУРСОВОМУ ПРОЄКТУВАННІ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

### *Анотація*

*Запропоновано підхід до курсового проєктування з використанням інформаційних технологій, що направлений на відхід від традиційних паперових звітів і, в той же час, формує у здобувача програмні результати навчання виконання реальних виробничих задач.*

**Ключові слова:** курсове проєктування, випробувальна лабораторія, програмні результати навчання, навчальний тренажер,

### **Вступ**

Для досягнення необхідних програмних результатів навчання і здобуття відповідних компетентностей під час навчання необхідно мати відповідну технічну базу, що дозволяє імітувати умови реальних виробничих ситуацій.

Метою роботи є розробка підходу до курсового проєктування, направленою на мінімізацію використання паперових носіїв інформації та формування у здобувача програмних результатів навчання виконання реальних виробничих задач.

### **Результати дослідження**

Раніше було розроблено концепт віртуального тренажера випробувальної лабораторії призначеного для використання у навчальному процесі при навчанні майбутніх фахівців випробувачів [1]. Запропонований віртуальний тренажер випробувальної лабораторії призначений для використання у навчальному процесі при навчанні майбутніх фахівців випробувачів. Віртуальний тренажер випробувальної лабораторії являє собою програмний комплекс, що дозволяє відтворити і реалізовувати процеси управління діяльністю лабораторії без безпосереднього перебування у лабораторії. Він побудований за принципом конструюючої активності (орієнтований на середовище, пост класичний) – оператор (здобувач) є активним діячем в середовищі, що реалізується тренажером. Активність суб'єкта формує його когнітивні і операціональні структури, що сприяють досягненню певних програмних результатів навчання, які в свою чергу допомагають виконувати професійну діяльність.

Пропонується використати цей віртуальний тренажер для виконання курсової роботи за освітнім компонентом «Інформаційні технології у сфері стандартизації». Метою курсової роботи є набуття навичок самостійного розв'язання практичних задач з застосування інформаційних технологій під час проєктування та функціонування систем управління якістю та стандартизації продукції та технологічних процесів. Результатом виконання курсової роботи повинні бути здобуті навички інноваційного розв'язання задач стандартизації продукції та технологічних процесів з використанням інформаційних технологій та автоматизації планування і контролювання функціонування процесів системи управління якістю.

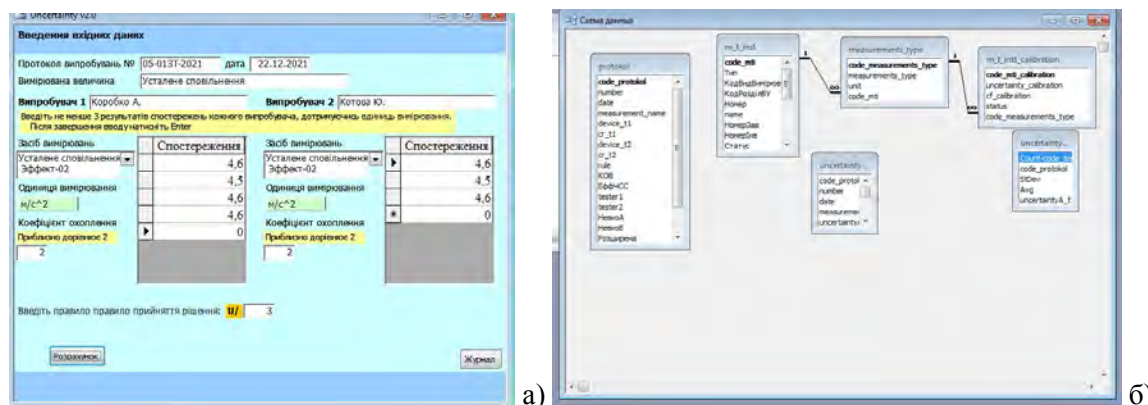
Пояснювальна записка на паперовому носіїві зводиться до мінімуму і містить: титульний аркуш, лист завдання, короткий опис діючої на підприємстві системи якості (або схема її процесів) або технологічний процес стандартизації продукції чи послуги (ця інформація необхідна для розуміння суті задачі, що розв'язується), структура бази даних для реалізації завдання (або програмний код), приклад вікон форм візуалізації програми, перелік використаної літератури. Об'єм паперових аркушів не повинен перевищувати 10 аркушів паперу. Основний результат виконаної курсової роботи – це файл програмного засобу, що направлений на розв'язання поставленого завдання. Після здачі студентом роботи файл зберігається у системі дистанційного

навчання.

Основні переваги такого підходу дві:

- можливість підписання файлу курсової роботи цифровим підписом (це є актуальним під час дистанційного навчання);
- демонстрація реально діючої інформаційної технології згідно з поставленим завданням (свідчення того, що заплановані програмні результати навчання досягнуті).

Приклад візуалізації виконаного завдання курсової роботи показано на рис. 1. Завдання було наступне: розробити модуль розрахунку співпадіння результатів випробувань у випробувальній лабораторії та інтегрувати його у віртуальний тренажер [1].



а) інтерфейс модуля; б) структура даних модуля

Рис. 1. Інтерфейс модуля «Coincidence»

## Висновки

Запропонований підхід до організації виконання курсової роботи дозволяє мінімізувати використання паперових носіїв інформації та формувати у здобувача програмні результати навчання виконання реальних виробничих задач.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Коробко А. І., Шатіхіна В. Є. Віртуальний тренажер акредитованої випробувальної лабораторії. *Перспективні технології та прилади*. 2020. 17. 72–78.

**Котова Юлія Миколаївна** — студентка групи ТП-41-19, факультет транспортних систем, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

**Коробко Андрій Іванович** — канд. техн. наук, доцент кафедри технології машинобудування та ремонту машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, e-mail: ak82andrey@gmail.com

## *Application of Information Technologies for Course Design*

### **Abstract**

*An approach to course design with the use of information technologies is proposed, which is aimed at moving away from traditional paper reports and, at the same time, forms in the student the programmatic results of learning to perform real production tasks.*

**Keywords:** course design, testing laboratory, program learning outcomes, educational simulator.

**Kotova Yulia M.** — student of group TP-41-19, Faculty of Transport Systems, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

**Korobko Andrii I.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Mechanical Engineering and Machine Repair Technology, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: [ak82andrey@gmail.com](mailto:ak82andrey@gmail.com)

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЬНИХ ЗАПИТАНЬ ТА МОЗКОВОГО ШТУРМУ ДЛЯ ПОШУКУ ЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ З ВІДСІКАННЯ ШЛАКУ ПРИ ВИПУСКУ СТАЛІ З КИСНЕВОГО КОНВЕРТЕРУ

<sup>1</sup> ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

<sup>2</sup> ТОВ "МЕТІНВЕСТ-СМЦ"

### Анотація

*Проаналізовані способи відсікання шлаку при розливі сталі з кисневого конвертору. Показана необхідність удосконалення механізмів та способів відсікання шлаку для підвищення ефективності киснево-конверторної плавки та якості сталі. Показано застосування методів інтенсифікації творчої діяльності, таких як метод контрольних запитань та метод мозкового штурму, для аналізу стану питання та пошуку ефективних напрямків розв'язання проблеми ефективного відсікання шлаку при розливі сталі з кисневого конвертеру.*

**Ключові слова:** кисневий конвертер, плавка, розливка, ківш, відсікання шлаку

Відсікання шлаку є одною з технологічних операцій при випуску плавки зі сталеплавильних агрегатів у ківш та широко застосовується при виробництві сталі конвертерним способом. Для цього металургійним машинобудуванням розробляються механізми і способи, що блокують перехід шлаку у ківш при операціях розливу сталі. Перешкоджання потраплянню шлаку у ківш необхідне для зменшення угару розкислювачів і феросплавів для легування, забезпечення чистоти сталі від потрапляння неметалевих включень, утруднення переходу фосфору і сірки зі шлаку у рідку сталь, тобто підвищення ефективності десульфуратії, збільшення кампанії футеровки ковша і т.п.

Відомі технічні рішення з механічного відсікання шлаку [1], що полягають у тому, що для уникнення потрапляння шлаку на початку випуску при нахилі кисневого конвертору сталевипускний отвір закривають ззовні пробкою, ковзаючим пічним або шибєрним затвором, використовують системи «поплавок» або «стопор» (рис. 1). При хімічному відсіканні шлаку використовують здатність шлаку згущуватись (твердіти) за рахунок додавання присадок (наприклад, у вигляді коксу або графіту) [2]. Авторами [3] запропоновано систему газодинамічного відсікання шлаку, що передбачає наявність термокамер або магніточутливих сенсорів для раннього виявлення частинок шлаку в струмені розплаву. Також дієвим технологічним прийомом вважається неповний випуск рідкої сталі з конвертеру, але в такому разі знижується продуктивність сталеплавильного агрегату.

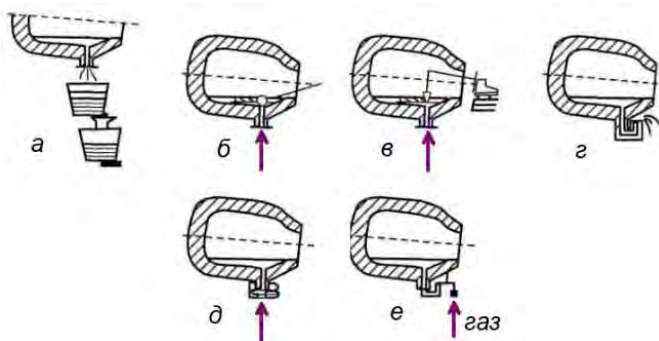


Рисунок 1 – Способи відсікання шлаку при розливі з кисневого конвертору: а – розлив через промковш; б, в – використання вогнетривких плаваючих куль та стопорів; г – сильфон для стікання заливаного металу; д – шибєрний затвор; е – газодинамічний стопор

Метою роботи було проведення аналізу, пошук і розробка пропозицій з підвищення ефективності відсікання шлаку при випуску сталі з кисневого конвертера шляхом психологічної активізації творчого процесу методами контрольних запитань та мозкового штурму. Зазначимо, що метод контрольних запитань часто комбінують із методом мозкового штурму для ефективної проробки стану питання, генерування ідей, формулювання відповідей та пошуку раціональних варіантів.

Для реалізації методу контрольних запитань використовувати вибіркові питання зі списків А. Осборна та Т. Ейлоарта. Нижче наведено виконаний аналіз у форматі: «Питання» – «Відповідь». Спочатку розглядали питання А. Осборна.

«Що можна додати» – «До системи відсікання шлаку можна додати сучасні пристрої (камери фіксації, датчики, аналізатори), що дозволять оператору або системі автоматизації точно і швидко реагувати на перебіг випуску сталі, досягти ефекту, при якому в сталь буде попадати менше шлаку».

«Що можна продублювати» – «Можна сконструювати шибер із дублюючим затвором на випадок, якщо основний затвор не спрацює».

«Підібрати іншу форму, забарвлення, звук» – «Можна використати ефект візуальної різниці, коли у шлак добавляють фарбник, який робить його візуально контрастним, але така реалізація утруднена через високі температури металу та шлаку. Тому доцільно використання тепловізорів та/або термографів для посилення ефекту візуальної різниці кольору, що виникає в наслідок різної температури (через різні властивості тепловіддачі)».

«Підібрати інший компонент» – «Підібрати до складу шлаку нові компоненти, що дозволять використовувати метод згущення шлаку більш ефективно».

«Зробити з іншого матеріалу» – «Плаваючі відсічні пристрої (металева куля з арматурним хвостовиком та вогнетривкою оболонкою, керамічний конус з циліндричною напрямною тощо) виготовити з графену (експериментів із плавлення графену немає, проте комп'ютерні моделі дають температуру плавлення від 4225 до 4625 °C [4]).

Надалі використовували питання з переліку Т. Ейлоарта:

«Бути весь час зануреним у проблему – з нею йти на роботу, на прогулянку, приймати душ, їхати, їсти, грати в теніс чи футбол – весь час бути з нею» – «Реалізації такого підходу буде сприяти набуття практичного досвіду на одному з металургійних підприємств».

«З'ясувати, чи намагався хтось ще вирішити це завдання і що у нього вийшло» – «Проведений пошук у вітчизняних та закордонних періодичних виданнях, патентних джерелах; дещо з результатів наведено вище у огляді»

«Розглянути можливість вживання всіляких матеріалів і енергій: тверде тіло, рідини, газу, гель; електричну, світлову, магнітну енергію; хвилі різного діапазону, поверхневі властивості; різні ефекти (Фарадея, Джоуля–Томсона); різні стани речовини (лід, пара) і інше» – «Використання графену в якості матеріалу для відсічних пристроїв та підібрати до складу шлаку нові компоненти, що дозволять використовувати метод згущення шлаку більш ефективно».

«Поцікавитися думкою людей, що абсолютно не знаються на досліджуваному питанні» – «Фахівці у інших сферах відповіли так: а) купити закордоном найсучасніше обладнання; б) збільшити швидкість обладнання, що безпосередньо фізично відсікає шлак; в) розробити пристрій/машину, що буде повністю без залишку знімати шлак з поверхні розплавленої ванни металу».

Реалізація методу мозкового штурму відбувалася на практичному занятті академічної групи. Згенеровані ідеї наведено нижче:

1. Запропоновано використовувати додаткове обладнання, наприклад, пневматичне.
2. В умовах виробництва (на прикладі ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», де шлак визначають візуальним методом) запропоновано побудувати/обладнати систему відсікання шлаку датчиками (розпізнавання температури, кольору), які будуть допомагати визначити, що шлак почав/закінчився вилитися.
3. Обладнати ємність конвертеру пневматичним шиберним затвором.
4. Встановити спектрометр, який дасть змогу чітко відрізнити шлак і метал.
5. Додати присадки, що допоможуть згустити шлак і збільшити контрастність між шлаком і сталлю.
6. Підфарбовувати шлак для кращої візуалізації.
7. Обладнати конвертер плаваючим пристроєм відсікання шлаку, який буде працювати за рахунок різниці в щільності шлаку і сталі.
8. Розробити такий склад шлаку, щоб він в процесі набував газоподібної форми.

Вибір найкращого методу показав те, що більшість зі згенерованих методів вже існують у тій чи іншій формі та широко використовуються на різних виробництвах в усьому світі. Серед основних можна виділити наступні методи:

1. Шлак скачують з поверхні за допомогою гребків, у т.ч. із застосуванням пневматичних механізмів; 2. Існують електронні системи виявлення шлаку в потоці витікаючого металу за допомогою електромагнітного індикатора (різниця в магнітній проникності металу та шлаку), за допомогою термокамери (різниця в інтенсивності випромінювання з поверхні металу та шлаку), за допомогою датчиків раннього виявлення шлаку (вимірює вібрації литвовой труби), тощо; 3. Існують пневматичні шибєрні затвори. 4. Використовуються методи згущення шлаку (наприклад, введення порції холодного доломіту для ускладнення витікання шлаку з агрегату). 5. Використовуються системи з плаваючими відсічними пристроями.

Таким чином, в результаті наведеного аналізу, можна зробити висновки, що для підвищення ефективності методів відсікання шлаку необхідно, в першу чергу, віднести визначення самої проблеми до умов конкретного виробництва. Якщо сфокусуватися на виробництві, наприклад, ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», де шлак відсікають «підривом струменю», достатньо раціональною ідеєю виглядає використання домішок, що дозволить оператору більш ефективно виявляти шлак в потоці металу, або використовувати автоматизовані системи розпізнавання за спектрограмою або термограмою. З виробничого досвіду відомо, що досвідчені сталевари виявляють шлак в потоці металу не тільки за кольором, а й, навіть, за звуком, що пояснюється різною густиною та в'язкістю шлаку і рідкої сталі, що розливаються. Тому, окрім застосування автоматизованих систем контролю та керування, при розпізнаванні та обробці візуальної та звукової інформації раціональне використання систем штучного інтелекту.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Golub, T., Molchanov, L., Koveria, A., & Kieush, L. (2022). Study on a Two-Phase Low-Temperature Model of the Features of Metal Tapping in Basic Oxygen Furnace. *Acta Metallurgica Slovaca*, 28(3), 151-156.
2. Kamaraj, A., Mandal, G. K., Shanmugam, S. P., & Roy, G. G. (2022). Quantification and analysis of slag carryover during liquid steel tapping from BOF vessel. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 61(2), 202-215.
3. Eron'ko, S. P., Gorbatyuk, S. M., Oshovskaya, E. V., & Starodubtsev, B. I. (2017). Development of automatic system of gas-dynamic cut-off of slag for converter with rotating vessel shell. *Izvestiya Ferrous Metallurgy*, 60(11), 863-869.
4. Борисюк, В. М., & Максакова, О. В. (2020). Фізичні властивості двовимірних наноматеріалів та металевих наночастинок : монографія. Сумський державний університет. 100 с.

**Кухар Володимир Валентинович**, д-р техн. наук, професор, проректор з науково-дослідної роботи, ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя, [kvv.mariupol@gmail.com](mailto:kvv.mariupol@gmail.com)

**Савенок Максим Олександрович**, спеціаліст, ТОВ "МЕТІНВЕСТ-СМЦ", м. Миколаїв; магістрант ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя, [maksym.savenok@mipolytech.education](mailto:maksym.savenok@mipolytech.education)

#### APPLICATION OF CONTROL QUESTIONS AND BRAINSTORMING METHODS TO FIND EFFECTIVE SOLUTIONS FOR SLAG CUT-OFF DURING STEEL OUTPUT FROM A BOF

##### Abstract

Methods of slag cut-off during steel casting from an BOF were analyzed. The necessity of improving the mechanisms and methods of cutting off slag in order to increase the efficiency of BOF melting and the quality of steel is shown. The application of methods of intensification of creative activity, such as the method of control questions and the method of brainstorming, is shown for analyzing the "state of the art" and finding effective area for solving the problem of effective cutting of slag when pouring steel from an oxygen converter.

**Keywords:** BOF, melting, pouring, ladle, slag cut-off

**Volodymyr V. Kukhar**, D.Sc. (Eng.), Professor, Vice-Rector for R&D Work, TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC" LLC, Zaporizhzhia, [kvv.mariupol@gmail.com](mailto:kvv.mariupol@gmail.com)

**Maksym O. Savenok**, Specialist, METINVEST-SMC LLC, Mykolaiv; Master's student of TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC" LLC, Zaporizhzhia, [maksym.savenok@mipolytech.education](mailto:maksym.savenok@mipolytech.education)

**М.О. Максимов,  
А.Д. Карлов,  
О.С. Шульга,  
М.О. Котляр**

## **Дослідження ігрових інтеграцій як засіб підвищення мотивації та підготовки до навчання курсантів військових навчальних закладів технічних та льотних спеціальностей**

*Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

**Анотація:** Розглянуті дослідження зосереджується на використанні ігрових технологій та симуляторів, які сприяють активному залученню курсантів до навчання, розвитку комунікативних та стратегічних навичок, а також формуванню реалістичного розуміння ситуацій, що можуть виникнути у їхній майбутній професійній діяльності. У доповіді будуть представлені результати експериментального дослідження, під час якого курсанти брали участь у спеціально розроблених ігрових сценаріях, що моделюють реальні військові ситуації із залученням БпЛА. Аналізуючи підходи до вирішення завдань у віртуальному середовищі, дослідники оцінювали рівень мотивації, підготовленості та ефективності курсантів.

**Ключові слова:** ігрові інтеграції, мотивація, підготовка до навчання, курсанти, військові навчальні заклади, навчальний процес, симулятори, віртуальне середовище, експериментальне дослідження, ефективність, зацікавленість, прийняття рішень, технічне обладнання.

З початку широкомасштабного вторгнення збройних сил російської федерації на територію нашої держави, ворог чисельно перевищує наші Збройні Сили тому для збереження життя та здоров'я наших людей потрібно прискорити темпи розвитку інноваційних технологій, цифровізації суспільства та навчання майбутніх військових спеціалістів, особливо технічних та льотних спеціальностей. Для швидкого впровадження та використання інноваційних технологій потребується впровадження та реалізації гейміфікації та ігрових інтеграцій в навчання курсантів.

Застосування елементів відеоігор в освітньому процесі та ефективний підхід, який забезпечує позитивні зміни в поведінці та ставленні здобувачів освіти до навчання – підвищують рівень мотивації навчання та активно залучають до участі в освітньому процесі курсантів. Так, наприклад при дослідженні щоденного застосування програмного забезпечення "VelociDrone FPV Racing Simulator", який є звичайною грою у сфері гоночних квадрокоптерів показало, що курсанти після тижневого навчання з легкістю опанували практику польоту на справжньому БпЛА мультикоптерного типу, тим самим викреслили вірогідність руйнування техніки при практиці.

Програмне забезпечення "VelociDrone FPV Racing Simulator" - це динамічний кооперативний та одиночний гоночний симулятор на БпЛА з можливостями керування квадрокоптером як від першої особи, так і від третьої особи, залежно від того, яким чином оператор (гравець) спостерігає за квадрокоптером.

Керування квадрокоптером "від першої особи" означає, що оператор спостерігає за діями безпілотного літального апарата через відеопотік або віртуальні окуляри, як наче він знаходиться всередині самого безпілотника. Оператор бачить те, що бачить камера, встановлена на БпЛА, і керує ним на основі цієї позиції. Це дає більш імерсійний досвід і дозволяє оператору відчувати, що він сам знаходиться у повітрі.

Керування квадрокоптером "від третьої особи" означає, що оператор спостерігає за діями квадрокоптера зовні, з висоти третьої особи. Оператор бачить борт збоку або зверху і керує ним, спираючись на свою зовнішню позицію. Цей підхід дає більший огляд ситуації навколо БпЛА і може бути корисним для точного позиціонування та виконання завдань. Використовую-

чи гоночні дрони з реального світу, можна літати вздовж необмеженої кількості індивідуальних маршрутів з багатьма локаціями та бар'єрами, щоб відточити свої навички керування.

Таким чином гейміфікація та ігрова інтеграція в освітній процес не лише сприяє залученню курсантів та військовослужбовців до активної навчально-пізнавальної діяльності, а й суттєвим чином впливає на їхній когнітивний та фізичний розвиток. На думку дослідників, такий ігровий метод пошуку ідей для розв'язання проблем, як брейнстормінг, стимулює творче й аналітичне мислення здобувачів освіти, а також поліпшує швидкість, з якою їхній мозок здатний обробляти отриману інформацію. Більш того, застосування гейміфікації в освітньому процесі надає змогу, по-перше, побудувати розвивальне освітнє середовище, яке позитивним чином впливає на особистісний розвиток, а по-друге, забезпечити їхню успішну соціалізацію й розвиток соціальних навичок. Невіддільними елементами ігрової інтеграції, які мають бути впроваджені в освітню діяльність курсантів, є рейтинги учасників ігор відповідно до здобутих результатів (у тому числі, складання списків учасників ігор, списків лідерів тощо); використання спеціальних відзнак задля їхнього заохочення; урізноманітнення видів ігор, а також поєднання традиційних й онлайн ігор.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Арістова Н. О. (2002). Проблема поняття «мотивація учіння» в науковій літературі. Теоретичні питання культури, освіти та виховання, 22, 97–100.
2. Бугаєва, В. (2018). Гейміфікація як спосіб формування активної професійної поведінки майбутніх фахівців ІТ галузі. Educational Challenges, 0(56), 129–135. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.577567>.
3. Жерновникова О. А., Перетяга Л. Є., Ковтун А. В., Кордубан М. В., Наливайко О. О., Наливайко Н. А. (2020). Технологія формування цифрової компетентності майбутніх учителів засобами гейміфікації. Інформаційні технології і засоби навчання, 75(1), 170–185. doi: <https://doi.org/10.33407/itlt.v75i1.3036>.
4. Wanasek, S. (2022). 4 Classroom Gamification Elements And Examples. ClassPoint. Retrieved from <https://blog.classpoint.io/4-classroom-gamification-examples/>.
5. Посилання на сайт симулятора <https://www.velocidrone.com/>.

*Максимов Максим Олександрович*, науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0009-0005-4464-7863>, електронна адреса: [maximoff.max2000@gmail.com](mailto:maximoff.max2000@gmail.com).

*Карлов Антон Дмитрович*, начальник групи міжнародного військового співробітництва Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-0812-7052>, електронна адреса: [karlov.anton.dmitrievich@gmail.com](mailto:karlov.anton.dmitrievich@gmail.com).

*Шульга Олексій Сергійович*, науковий співробітник науково - дослідної лабораторії льотного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0003-1696-9214>, електронна адреса: [amdalex@icloud.com](mailto:amdalex@icloud.com).

*Котляр Максим Олександрович*, молодший науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0009-0007-8970-3683>, електронна адреса: [makskot4238@gmail.com](mailto:makskot4238@gmail.com).

#### **Research on game-based integrations as a means to enhance motivation and preparation for learning among cadets of military educational institutions specializing in technical and aviation disciplines**

##### **Abstract:**

The presented research focuses on the utilization of gaming technologies and simulators to actively engage cadets in their learning process, develop their communication and strategic skills, and foster a realistic understanding of situations they may encounter in their future professional activities. The report will present the results of an experimental study in which cadets participated in specially designed gaming scenarios that simulate real military situations involving the use of UAVs. By analyzing the approaches to solving tasks in a virtual environment, the researchers assessed the cadets' level of motivation, preparedness, and effectiveness.

**Keywords:** game-based integrations, motivation, preparation for learning, cadets, military educational institutions, learning process, simulators, virtual environment, experimental study, effectiveness, interest, decision-making, technical equipment.

**Maksym Maksymov** Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0009-0005-4464-7863>.

**Anton Karlov** Head of the International Military Cooperation Group of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0000-0002-0812-7052>.

**Oleksiy Shulga** Research Associate at the Research Laboratory of the Aviation Faculty of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0000-0003-1696-9214>.

**Maksym Kotlyar** Junior Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0009-0007-8970-3683>.



## **ЦІЛЬОВА ПЕРЕОРІЄНТАЦІЯ СИСТЕМИ ВИЩОЇ ТЕХНІЧНОЇ ОСВІТИ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ ВІДБУДОВИ УКРАЇНИ В ПОВОЄННИЙ ПЕРІОД**

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

### **Анотація**

*Розглянуто перспективи та нагальні потреби, які повоєнний час поставив перед системою вищої технічної освіти з метою забезпечення реанімаційних процесів відбудови промисловості України.*

**Ключові слова:** вища технічна освіта, відбудова країни, навчальний процес, підготовка фахівців.

### **Вступ**

Вимоги ринку, новітніх технологій і конкурентна боротьба не могли не позначитися на системі генерації та передачі знань, на вимогах до якості підготовки фахівців з вищою технічною освітою. Ще десятиліття тому стало зрозумілим, що не можна за 5-6 років підготувати інженера до професійної діяльності із багажем знань на все життя, адже щорічно оновлюється близько 5% теоретичних і 20% професійних знань в галузі науки і техніки. Науковцями США встановлено, що період «напіврозпаду» компетентностей фахівця знижується на 50% унаслідок появи нової інформації, за багатьма професіями настає навіть менше ніж за 5 років. Стосовно нашої системи вищої освіти період «напіврозпаду» компетентностей фахівця з вищою технічною освітою настає раніше, ніж закінчується термін навчання здобувача освіти в університеті.

Дана наукова розвідка ставить своєю метою прогнозування процесів осучаснення вищої технічної освіти в умовах повоєнної відбудови держави.

### **Результати дослідження**

Ще донедавна проблеми вищої технічної освіти в Україні були такими ж, як і в більшості європейських країн. Але військова агресія з боку росії призвела до того, що спектр питань, які має вирішувати освітня система України не лише значно розширився, але й набув аврального характеру:

- першою нагальною потребою стало забезпечення умов безпечного проведення навчальних занять, що закріпило в методиці викладання змішані та дистанційні форми;
- ще однією проблемою стала хронічна нехватка коштів у бюджеті країни на освіту: старіння лабораторної та дослідницької бази для відпрацювання навичок практичної роботи, скорочення необхідної кількості штатних одиниць науково-педагогічного персоналу університетів;
- в умовах війни набув критичних значень відтік науковців і викладачів за кордон;
- відтік потенційних здобувачів вищої освіти за кордон;
- втрати в результаті бойових дій, серед яких значну кількість складає молодь;
- зростання кількості закладів вищої освіти III –IV рівнів акредитації, незважаючи на демографічний процес, що мали місце в Україні в довоєнний період;
- процеси автоматизації й переобладнання підприємств та нові технології, автоматично призведуть до зростання вимог до якості освіти та до скорочення робочих місць для майбутніх випускників університетів [1].

На жаль, низку проблем, що стоять перед технічними ЗВО України можна було б продовжувати, але наше завдання не бідкатися, а знаходити шляхи для подолання проблем і відбудовування країни. Головним завданням системи технічних ЗВО є забезпечення якості освіти, яка відповідатиме ринку праці та особистості в умовах сучасної України.

Таким чином, можна констатувати, що найближчим часом усю вищу технічну освіту потрібно буде перебудувати з науково-практичної на переважно практичну спрямованість зі скороченням навчального часу на оволодіння необхідними практичними компетентностями, адже потрібно буде компенсувати зменшення кількості фахівців для промисловості. Така переорієнтація вищої школи не може не позначитись на якості підготовки фахівців і тут на перший план вийдуть не лише освітні програми, а й якість науково-педагогічного складу закладів вищої освіти.

Стосовно викладацького складу ЗВО, перш за все, постануть питання, які доведеться якимось чином вирішувати:

- кваліфікація викладачів, адже частина досвідчених педагогів виїхала за кордон і не всі з них повернуться в Україну, а частина, загинула в боях, захищаючи країну;
- переосмислення теоретичного та методологічного забезпечення концептуальних засад діагностики й оцінки якості діяльності викладачів вищої школи;
- переосмислення теоретичного та дидактичного забезпечення спеціальних (інженерних) дисциплін, адже жоден технічний ЗВО України не готує таких викладачів;
- реформація системи підвищення педагогічної майстерності професорсько-викладацького складу технічних ЗВО та інші.

### Висновки

Існує пряма залежність кількості університетів у країні та якості їх випускників: чим більше ЗВО тим нижчою є якість підготовки фахівців, а це неминуче призведе до їх скорочення. Реформування вищої технічної освіти повинно вже відбуватися з огляду на ті проблемні питання, які час ставить перед Україною, без цього неможливо забезпечити участь випускників наших технічних університетів в ефективній та результативній діяльності по відновленню нашої країни.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bondarenko V., Kopytkov D. The teacher of the higher vocational school as a basis of education quality. Вісник ХНАДУ. Харків, 2017. Вип. 77. С. 7-12.

*Бондаренко Володимир Васильович* – канд. пед. наук, професор, завідувач кафедри філософії та педагогіки професійної підготовки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: vv\_bond57@email.ua

*Шейн Віталій Сергійович* – канд. техн. наук, доцент кафедри технології машинобудування та ремонту машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: sheinvitalis@gmail.com

### **Targeted reorientation of the system of higher technical education in accordance with the requirements for the restoration of Ukraine in the post-war period**

#### *Abstract*

The prospects and urgent needs that the post-war period will put before the system of higher technical education in order to ensure resuscitation processes of restoring the industry of Ukraine are considered.

**Keywords:** higher technical education, restoration of the country, educational process, training of specialists.

*Bondarenko Volodymyr V.* – Ph.D., professor, Philosophy and Pedagogy of Vocational Training Department, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkiv, email: vv\_bond57@email.ua

*Shein Vitalii S.* – Ph.D., associate professor, Technology of Machinery Manufacturing and Machine Maintenance Department, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkiv, email: sheinvitalis@gmail.com

## ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ

<sup>1</sup> ДЗ «ЛНУ ім. Тараса Шевченка»;

### **Анотація**

*На основі аналізу літературних даних та результатах власного досвіду пов'язаного з викладацькою діяльністю в тезах наголошується про необхідність та актуальність застосування сучасного програмного забезпечення в навчальному процесі, що стосується дисциплін пов'язаних з освітньою галуззю «Технології».*

**Ключові слова:** навчальний процес, технологічна освіта, комп'ютерна програма, Софт.

### **Вступ**

Використання сучасних комп'ютерних програмних комплексів (КПК) в навчальному процесі є невіддільною частиною сучасної технологічної освіти. Вона забезпечує здобувачів вищої освіти знаннями та практичним досвідом в різних галузях, таких як інженерія, технологія, автоматика, електроніка та багато інших. На кафедрі технологій виробництва і професійної освіти постійно відбуваються зміни в навчальному процесі, пов'язані з удосконаленням викладання дисциплін.

### **Результати дослідження**

Однією з переваг використання КПК є можливість набувати практичних навичок безпосередньо на етапі навчання. Здобувачі вищої освіти можуть виконувати вправи, проводити експерименти та тестувати нові технології на віртуальних моделях. Це дозволяє їм швидше і більш ефективно засвоювати теоретичні відомості, а також закріплювати практичні навички.

Окрім того, використання сучасних КПК дозволяє здобувачам вищої освіти бути в курсі останніх технологічних та наукових розробок, що є важливою складовою успішної кар'єри у майбутній викладацькій діяльності.

Серед КПК, що використовуються у галузі технологічної освіти, можна виділити такі:

- 3D-моделювання та віртуальна реальність;
- проектування електричних схем та автоматизації технологічних процесів;
- програмування мікроконтролерів та мікропроцесорів;
- комп'ютерна аналітика та статистика.

Серед найбільш відомих КПК можна навести: ANSYS, Abaqus FEA (раніше ABAQUS), LS-DYNA, NASTRAN, DEFORM, різні програмні рішення корпорації MSC Software та ін.

На кафедрі за грантові кошти був придбаний сучасний 3D-принтер та відповідне програмне забезпечення, а також роботи (які можна програмувати) для навчального процесу.

Також слід зазначити, що є низка безкоштовних програмних продуктів та пропозиції від виробників програмного забезпечення, які можна використовувати в навчальному процесі зі значними знижками.

Таким чином, використання сучасних комп'ютерних програмних комплексів у навчальному процесі є важливою складовою успішної підготовки фахівців у галузі технологічної освіти. Воно дозволяє не тільки забезпечити здобувачів вищої освіти практичними навичками та знаннями, але й сприяє розвитку їх креативності та творчого мислення. Завдяки використанню КПК комплексів, здобувачі вищої освіти можуть експериментувати з різними рішеннями та знаходити оптимальні шляхи розв'язання задач.

Крім того, використання сучасних КПК є важливим елементом формування компетентностей здобувачів вищої освіти у галузі інформаційних технологій. Навички роботи з програмними продуктами, які використовуються в різних галузях, є важливими для успішної кар'єри майбутніх фахівців.

### Висновки

У сучасному світі, де швидко змінюються технології та вимоги до фахівців, використання сучасного програмного забезпечення є необхідністю для підготовки викладачів у галузі технологічної освіти. Тому важливо забезпечити необхідну інфраструктуру та доступ до сучасних КПК для здобувачів вищої освіти, особливо у воєнний та повоєнний час, що забезпечить їх ефективну підготовку до майбутньої професійної діяльності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурдун В. В., Ревякіна О. О., Колеснікова Є. Б. Деякі приклади застосування інформаційних технологій в автомобільній галузі та освіті. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: IX-та міжн. науково-практич. конф., 14–15 квітня 2021 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 30–34.
2. Бурдун В.В., Колесніков В.О., Ревякіна О.О., Васецька Л.О., Колеснікова Є.Б. Використання сучасних комп'ютерних пакетів програм для моделювання механічної обробки модифікованих сталей та сплавів. Нові сталі та сплави і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів: XV-та міжн. науково-практич. конф., 8–9.
3. Колесніков В.О., Бурдун В.В. Комп'ютерне моделювання механічної обробки Ni-Co сплавів. Нові сталі та сплави і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів: XV-та міжн. науково-практич. конф., 8–9 листопада 2022 р.: зб. наук. праць. Запоріжжя: Національний університет Запорізька політехніка з УкрНДІСпецСталь, 2022. С. 76–78.
4. Колесніков В. О., Павлова Ю. В. Нові технології підготовки спеціалістів з вищою технічною освітою в галузі автомобільного транспорту. Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту: VI-а Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф., 12–13 квітня 2018 р.: мат. конф. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2018. С. 95–99.
5. Колесніков В.А., Сыроваткин С.В., Колеснікова Е.Б. Использование технологий виртуальной реальности для подготовки специалистов в области автомобильного транспорта. Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту: IV-а Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф., 14–15 квітня 2016 р.: мат. конф. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2016. С. 18–22.
6. Балицький О.І., Колесніков В.О., Бикадорова Н. О., Рожкова А.Ю. Комп'ютерне моделювання ортогонального точіння жароміцного нікелевого сплаву. Нові сталі та сплави і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів: XV-та міжн. науково-практич. конф., 8–9 листопада 2022 р.: зб. наук. праць. Запоріжжя: Національний університет Запорізька політехніка з УкрНДІСпецСталь, 2022. С. 84–86.
7. Колесніков В. О., Гаврилюк М. Р., Бикадорова Н. О., Колеснікова Є. Б. Приклади застосування та впровадження нових технологій в транспортній галузі та енергомашинобудуванні. Частина 1. Змашувальні матеріали. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: X-та міжн. науково-практич. конф., 14–15 квітня 2022 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2022. С. 139–146.
8. Колесніков В. О., Гаврилюк М. Р., Бикадорова Н. О., Колеснікова Є. Б. Розпізнавання зображень частинок зношування як інструменту для технічної діагностики в транспортній галузі та енергомашинобудуванні. Актуальні питання, проблеми та перспективи розвитку науки та освіти: I Всеукраїнська міждисциплінарна науково-практич. конф., 27-28 квітня 2022 р. Полтава: матеріали. Вид-во ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», 2022. С. 205–208.

**Бурдун Віктор Васильович** — канд. пед. наук, доцент, зав. кафедри технологій виробництва та професійної освіти, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Полтава, м. Лубни, e-mail: [burdun\\_v\\_v@ukr.net](mailto:burdun_v_v@ukr.net)

**Ревякіна Ольга Олександрівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри технологій виробництва та професійної освіти, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Полтава, м. Лубни, e-mail: [olga.0509239777@gmail.com](mailto:olga.0509239777@gmail.com)

***The use of modern computer software systems in the educational process for training specialists in the field of technological education***

#### **Abstract**

*Based on the analysis of literature data and the results of own experience related to teaching, the thesis emphasizes the need and relevance of using modern software in the educational process related to disciplines related to technological education.*

**Keywords:** educational process, technological education, computer program, transport, Software.

**Burdun Victor V.** — PhD, assistant professor professor in Engineering sciences of the Department of Production Technologies and Professional Education, Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Lubny, e-mail: [burdun\\_v\\_v@ukr.net](mailto:burdun_v_v@ukr.net)

**Revyakina Olga O.** — PhD, assistant professor professor in Engineering sciences of the Department of Production Technologies and Professional Education, Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Lubny, e-mail: [olga.0509239777@gmail.com](mailto:olga.0509239777@gmail.com)

## **ПЕРСПЕКТИВИ ТА НЕОБХІДНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ В ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ**

<sup>1</sup> ДЗ «ЛНУ ім. Тараса Шевченка»;

<sup>2</sup> Фізико-механічний інститут НАН України

### **Анотація**

*На основі аналізу літературних даних та результатах власного досвіду пов'язаного з викладацькою діяльністю в тезах наголошується про необхідність та актуальність застосування сучасного програмного забезпечення в навчальному процесі, що стосується дисциплін пов'язаних з транспортом.*

**Ключові слова:** навчальний процес, транспортна галузь, комп'ютерна програма, транспорт, Софт.

### **Вступ**

У сучасному світі комп'ютерні технології використовуються в усіх сферах життя, включаючи навчальний процес. У транспортній галузі, застосування комп'ютерних програм та технологій є дуже важливим і необхідним елементом підготовки майбутніх фахівців. На кафедрі технологій виробництва та професійної освіти постійно працюють над вдосконаленням навчальних дисциплін та впровадженням інновацій в навчальний процес наскільки це можливо.

### **Результати дослідження**

Однією з головних переваг використання комп'ютерних програм у навчальному процесі є можливість швидкого та ефективного засвоєння матеріалу. Крім того, програмні комплекси дозволяють проводити різноманітні вправи, тести та інші форми контролю знань, що сприяє більш ефективному вивченню матеріалу.

Включно з, що застосування комп'ютерних програм в навчальному процесі потребує використання ліцензійного програмного забезпечення. Одним з виходів з цієї ситуації є застосування безплатних версій (демоверсій), або версій зі студентською ліцензією. Наприклад, до такого Софту можна віднести набір програмного забезпечення для аналізу скінченних елементів і систем автоматизованого проектування Abaqus FEA (раніше ABAQUS).

Комп'ютерні програми також дозволяють студентам практикуватися у різних віртуальних середовищах, що дає можливість отримувати практичний досвід без ризикування реальними транспортними засобами. Наприклад, студенти можуть практикуватися у водінні автомобілів, керуванні авіатранспортними засобами, залізничним транспортом у віртуальних середовищах.

Крім того, застосування комп'ютерних програм дозволяє підготувати студентів до роботи зі спеціальними програмними продуктами, які використовуються в транспортній галузі, такими як програми для планування маршрутів, моніторингу руху транспорту, обробки даних про аварії тощо.

### **Висновки**

Загалом, використання сучасних комп'ютерних програмних комплексів у навчальному процесі для підготовки фахівців у транспортній галузі є необхідним та перспективним напрямком. Він дозволяє студентам отримувати більше практичного досвіду, особливо у під час пандемії, воєнний та повоєнний час.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурдун В.В., Колесніков В.О., Ревякіна О.О., Васецька Л.О., Колеснікова Є.Б. Використання сучасних комп'ютерних пакетів програм для моделювання механічної обробки модифікованих сталей та сплавів. Нові сталі та сплави і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів: XV-та міжн. науково-практичн. конф., 8–9.
2. Колесніков В. О., Павлова Ю. В. Нові технології підготовки спеціалістів з вищою технічною освітою в галузі автомобільного транспорту. Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту: VI-а Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф., 12–13 квітня 2018 р.: мат. конф. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2018. С. 95–99.
3. Колесніков В.О., Бурдун В.В. Комп'ютерне моделювання механічної обробки Ni-Co сплавів. Нові сталі та сплави і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів: XV-та міжн. науково-практичн. конф., 8–9 листопада 2022 р.: зб. наук. праць. Запоріжжя: Національний університет Запорізька політехніка з УкрНДІСпецСталь, 2022. С. 76–78.
4. Бурдун В. В., Ревякіна О. О., Колеснікова Є. Б. Деякі приклади застосування інформаційних технологій в автомобільній галузі та освіті. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: IX-та міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2021 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 30–34.
5. Колесніков В. О., Гаврилук М. Р., Бикадорова Н. О., Колеснікова Є. Б. Приклади застосування та впровадження нових технологій в транспортній галузі та енергомашинобудуванні. Частина 1. Змащувальні матеріали. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: X-та міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2022 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2022. С. 139–146.
6. Колесніков В. О., Гаврилук М. Р., Бикадорова Н. О., Колеснікова Є. Б. Розпізнавання зображень частинок зношування як інструменту для технічної діагностики в транспортній галузі та енергомашинобудуванні. Актуальні питання, проблеми та перспективи розвитку науки та освіти: I Всеукраїнська міждисциплінарна науково-практичн. конф., 27–28 квітня 2022 р. Полтава: матеріали. Вид-во ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», 2022. С. 205–208.
7. Балицький О.І., Колесніков В.О., Бикадорова Н. О., Рожкова А.Ю. Комп'ютерне моделювання ортогонального точіння жароміцного нікелевого сплаву. Нові сталі та сплави і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів: XV-та міжн. науково-практичн. конф., 8–9 листопада 2022 р.: зб. наук. праць. Запоріжжя: Національний університет Запорізька політехніка з УкрНДІСпецСталь, 2022. С. 84–86.

**Бурдун Віктор Васильович** — канд. пед. наук, доцент, зав. кафедри технологій виробництва та професійної освіти, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Полтава, м. Лубни, e-mail: burdun\_v\_v@ukr.net

**Колесніков Валерій Олександрович** — канд. техн. наук, доцент кафедри технологій виробництва та професійної освіти, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Полтава, м. Лубни, науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів, e-mail: kolesnikov197612@gmail.com

**Бикадорова Наталія Олексіївна** — ст. викладачка кафедри технологій виробництва та професійної освіти, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Полтава, м. Лубни, e-mail: itottstar@gmail.com

***Prospects and necessity of using modern computer software complexes in the educational process for training of specialists in the transport industry***

### **Abstract**

*Based on the analysis of literature data and the results of my own teaching experience, the thesis emphasizes the need and relevance of using modern software in the educational process related to transport-related disciplines.*

**Keywords:** educational process, transportation industry, computer program, transport, Software.

**Burdun Victor V.** — PhD, assistant professor professor in Engineering sciences of the Department of Production Technologies and Professional Education, Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Lubny, e-mail: burdun\_v\_v@ukr.net

**Kolesnikov Valerii O.** — PhD, Researcher at the Department of strength of materials and structures in hydrogen-containing environments, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, assistant professor in Engineering sciences of the Department of Production Technologies and Professional Education, Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Lubny, e-mail: [kolesnikov197612@gmail.com](mailto:kolesnikov197612@gmail.com).

**Bikadorova Natalia O.** — Senior Lecturer in Engineering sciences of the Department of Production Technologies and Professional Education, Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Lubny, e-mail: itottstar@gmail.com.

## ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*В роботі висвітлено переваги та перспективи використання адитивних технологій в освітньому процесі, показано окремі програмні продукти, які використовуються, зокрема, для 3D-друку та розглянуто можливості такого програмного забезпечення, як SolidWorks.*

**Ключові слова:** адитивні технології, освітній процес, програмне забезпечення, 3D-друк, машинобудування, модель, прототип.

Адитивні технології, також відомі як 3D-друкування, представляють собою процес створення фізичних об'єктів шар за шаром на основі цифрової моделі. Цей процес відрізняється від традиційних виробничих методів, де матеріал зазвичай видаляється або вирізається зі сировини для отримання кінцевого продукту. Так спочатку створюється цифрова модель об'єкта, яка потім розбивається на тонкі шари. Після цього використовуються різноманітні методи, такі як видалення, сплавлення або з'єднання матеріалів, для нанесення шару за шаром та побудови фізичного об'єкта.

Адитивні технології використовуються в різних галузях, таких як виробництво, медицина, архітектура, авіація, прототипування та багато інших. Вони дозволяють виготовляти складні, настроювані та індивідуальні об'єкти з різних матеріалів, включаючи пластик, метал, кераміку та навіть біологічні матеріали.

Адитивні технології, зокрема 3D-друк, досить широко застосовуються в освітніх процесах. Використання адитивних технологій у навчанні має такі переваги:

1. Візуалізація та конкретизація. Студенти можуть створювати фізичні моделі об'єктів, що дозволяє їм краще уявити та зрозуміти просторові концепції та складні структури.

2. Прототипування та дизайн. Можливість створювати прототипи нових продуктів або деталей швидко та ефективно.

3. Застосування в STEM-освіті. Адитивні технології є цікавим інструментом для викладання наукових (Science), технологічних (Technology), інженерних (Engineering) та математичних (Mathematics) дисциплін. Це стимулює інтерес студентів до STEM-предметів, допомагають зрозуміти складні концепції та сприяють розвитку просторової мислення та творчості.

4. Індивідуалізація навчання. Студенти можуть створювати власні об'єкти та проекти, що розвиває їхню самостійність та творчі навички.

Адитивні технології, такі як 3D-друк, відіграють значну роль в машинобудуванні. Вони змінюють традиційний підхід до виготовлення компонентів та деталей, пропонуючи нові можливості та переваги: 1) Адитивне виробництво дозволяє швидко створювати фізичні прототипи компонентів та виробів. Це значно скорочує час розробки та тестування нових конструкцій та дозволяє швидше впровадження інновацій; 2) Можливість виготовляти складні геометричні форми, які складно або неможливо виготовити традиційними методами. Це дає можливість оптимізувати форму деталей для досягнення кращої продуктивності та ефективності. 3) Адитивні технології дозволяють виробляти деталі з використанням мінімальної кількості матеріалу, що сприяє зниженню ваги виробів. 4) Адитивні технології дозволяють виготовляти деталі з індивідуальними характеристиками та розмірами без значних затрат на зміну виробничих процесів.

Для розробки 3D моделей, які можуть бути виготовлені за допомогою адитивних технологій, використовується різноманітне програмне забезпечення. Популярними програмними пакетами, які використовуються у сфері адитивних технологій є:

1. Autodesk Fusion 360. Це інтегроване програмне забезпечення для проектування та моделювання, яке має вбудовані інструменти для створення 3D моделей, підготовки їх для друку та експорту в формати, зрозумілі для пристроїв адитивного виробництва.

2. SolidWorks. Це програмне забезпечення для 3D-проектування та моделювання, яке широко використовується в машинобудуванні. Воно має потужні інструменти для створення складних 3D моделей та підготовки їх для адитивного виробництва.

3. Ultimaker Cura. Це програмне забезпечення для підготовки моделей для 3D-друку. Воно дозволяє імпортувати 3D моделі, налаштовувати параметри друку, генерувати G-код для використання на 3D-принтері.

4. Tinkercad. Це безкоштовне онлайн-програмне забезпечення для моделювання 3D об'єктів. Воно підходить для початківців і має простий інтерфейс та інструменти для створення основних 3D моделей.

5. Blender. Це повнофункціональне програмне забезпечення для 3D-моделювання та анімації. Воно може використовуватися для створення складних 3D моделей та їх підготовки для друку.

Остаточний вибір залежить від потреб, можливостей та особистих вподобань користувача або закладу освіти. Наприклад на кафедрі галузевого машинобудування ВНТУ студенти мають можливість використовувати навчальну версію програмного пакета SolidWorks, що має ряд функцій, які можна використовувати для роботи з адитивними технологіями. Ось деякі з них:

1. SolidWorks дозволяє створювати 3D моделі деталей та складних збірок, які можуть бути використані для адитивного виробництва. Можна створювати моделі з нуля або імпортувати готові моделі з інших програм.

2. SolidWorks має функції для оптимізації та підготовки моделей для адитивного виробництва. Доступні інструменти дозволяють видалити непотрібні деталі, створити отвори для підтримуючих частин та додати структурні елементи для покращення міцності деталей.

3. SolidWorks дозволяє створювати опорну структуру для складних адитивних моделей. Можна використовувати інструменти для автоматичної генерації або ручного розміщення опорних структур для запобігання деформаціям під час друку.

4. SolidWorks має вбудовані інструменти для перевірки та аналізу моделей перед друком. Можна перевірити готовність моделі до адитивного виробництва, виявити можливі проблеми, такі як недоліки, перекивання, недостатній розмір отворів тощо.

5. SolidWorks дозволяє експортувати 3D моделі у форматах, зрозумілих для пристроїв адитивного виробництва, таких як STL (Standard Tessellation Language) або AMF (Additive Manufacturing File Format). Це дозволяє передавати моделі безпосередньо на 3D-принтер для друку.

Тож використання адитивних технологій в освітній галузі відкриває широкі можливості для всіх учасників освітнього процесу, оскільки як викладачі, так і студенти мають можливість створювати не тільки прототипи навчальних моделей та власних розробок, а і їх робочі зразки, що можуть використовуватись для проведення практичних досліджень.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрощук Г. О. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D-друку (I частина) / Г.О. Андрощук // Наука, технології, інновації. - 2017. - № 1. - С. 68-77.
2. Андрощук Г. О. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D-друку (II частина) // Наука, технології, інновації. - 2017. - № 2 (2). - С. 29-36.
3. Гречко О. М. Сучасні адитивні технології та 3D-друк. Огляд останніх досягнень в різних сферах людського життя // Вісник НТУ «ХП». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. - 2019. - №1. - С. 63-75.
4. Козяр М.М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks : Навчальний посібник / М.М. Козяр, Ю. В. Фещук, О. В. Парфенюк. Херсон: Олді-плюс, 2018. - 252с. // Режим доступу: <https://ep3.nuwm.edu.ua/22175/1/Комп%27ютерна%20графіка.pdf>
5. ISCAR вступає в епоху адитивного виробництва // [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.iscar.com/newarticles.aspx/lang/ua/newarticleid/2554>



## INTERLINGUAL EQUIVALENTS IN ELECTRONIC ENGLISH-UKRAINIAN DICTIONARY ON ENGINEERING

<sup>1</sup>Vinnytsia National Technical University

**Abstract** *The article deals with the arrangement of translation equivalents in electronic dictionaries on mechanical engineering. Semantic and grammatical difficulties of the Ukrainian equivalents selection have been analyzed. The cognitive model of source code processing along with choosing translation equivalents to the terms have been considered and the principles of the equivalent correspondence representation in the electronic dictionary have been offered.*

**Keywords:** translation equivalent, lexicography, electronic dictionary, term, cognitive model of translation, branch vocabulary.

Representation of equivalents between native and foreign-language terms is one of the key problems in compiling a translation dictionary, particularly in technical vocabulary. The main reasons for the emergence of multiple choice translation of a term scientists refer to objective (features of the division of objective reality in different languages, in particular, the technical sphere; the unstable nature of terminology in many branches of science and technology; the constant development of scientific thought; the limitations of paper dictionaries on the volume of presentation of lexicographic information about the original lexeme; the inability to combine differently in type and content lexicographic parameters in traditional dictionaries) and subjective factors (insufficient work on streamlining terminology and compiling specialized dictionaries; poor cooperation on international terminology streamlining; lack of cooperation between linguists, terminological standards compilers, and branch dictionary compilers).

The presentation of possible equivalents without interpretation and explanation concerning their use in a certain sphere is one of the significant drawbacks of translation dictionaries. In this regard, in our opinion, some principles of lexicographic processing of translated equivalents should be revised, based on the achievements not only of term description but also of translation studies, terminology, and computer lexicography. The main suggestions for solving the problem are:

- 1) using equivalents of the industry described;
- 2) adding special contexts to the input term;
- 3) revealing the semantic structure of the register word through a detailed description of each of its meanings [3, 32].

The suggested ideas on the lexicographic arrangement of translated equivalents are certainly effective, but the interpretation and translation of equivalents to the source language terms alone are not always sufficient for making a final translation decision. The translator is also interested in the grammatical, syntactic, and stylistic features of the foreign-language term. However, not every dictionary, particularly "paper ones", can meet the user's needs. This problem can be solved to a large extent by an electronic dictionary. The development of the principles of the electronic lexicographic description of several equivalents should be based on the comprehensive application of traditional and computer lexicography.

The theory of translation distinguishes such cases of inter-lingual semantic equivalents: absolute (or complete) and partial (or incomplete), among which a special role belongs to the equivalents of polysemous lexemes, to which different words correspond in the target language.

In addition to semantic characteristics, the subject of lexicographical description is also lexicogrammatical and syntactic features of English technical terms.

Not only linguistic but also encyclopedic knowledge may influence the choice of translation options for individual terms.

The structure of a computer dictionary may consist of linguistic and encyclopedic sections. The linguistic section provides for the lexicography of a term according to the following parameters: lexico-semantic, semantic, word-formation, and illustrative. The encyclopedic section of the dictionary entry provides information about the subjects or concepts represented by the terms of the analyzed branch in the form of a verbal description.

Thus, the principles of presenting the equivalents to foreign-language terms must be developed taking into account not only the lexical, semantic, grammatical, and syntactic features of foreign-language terms but also the specifics of professional processing of the original text, based on which the user decides to translate lexemes. Such processing is carried out using both linguistic and encyclopedic knowledge.

#### REFERENCES

1. Марченко Н.В. Методичні матеріали щодо забезпечення самостійної роботи студентів з дисципліни «Теорія та практика перекладу з першої іноземної мови галузевого спрямування (німецька мова)» (для бакалаврів). – К., 2008. – 62 с.
2. Словник іношомовних слів / Уклад. С.М. Морозов, Л.М. Шкарапута. – К., 2000. – 680 с.
3. Купріянов Є.В. Міжмовні відповідники в електронному англійсько-українському словнику з енергомашинобудування // Мовознавство, 2015, №5. – с. 30-38.
4. Britannica Online Encyclopedia. – <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/210530/floodgate>.
5. Dictionary of Science and Technology: English-German / By A.F. Dorian. – New York. – 1401 p.
6. Карабан В. Переклад англійської наукової і технічної літератури: Граматичні труднощі, лексичні, термінологічні та жанрово-стилістичні проблеми., - 4-е вид., виправлене. – Вінниця: Нова книга. 2004. – 574 с.
7. Коваленко А. Загальний курс науково-технічного перекладу. – К.: «Фірма «Інкос», 2002. – 317 с.

**Sergii O. Kot** – PhD, assistant professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [kot.sergii@vntu.edu.ua](mailto:kot.sergii@vntu.edu.ua)

#### ***Міжмовні відповідники в електронному англійсько-українському словнику з машинобудування.***

**Анотація** У статті розглянуто упорядкування еквівалентів перекладу в електронних словниках з машинобудування. Проаналізовано семантичні та граматичні труднощі підбору українських еквівалентів. Розглянуто когнітивну модель опрацювання вихідного коду при виборі перекладацьких еквівалентів до термінів та запропоновано принципи представлення еквівалентних відповідників в електронному словнику.

**Ключові слова:** перекладний еквівалент, лексикографія, електронний словник, термін, когнітивна модель перекладу, галузева лексика.

**Сергій Олександрович Кот** – кандидат філологічних наук, доцент кафедри іноземних мов Вінницького національного технічного університету, Вінниця, [kot.sergii@vntu.edu.ua](mailto:kot.sergii@vntu.edu.ua)

## ТЕНДЕНЦІЇ ІННОВАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ У ВИЩІЙ ОСВІТІ В ПОВОЄННИЙ ЧАС

Вінницький національний технічний університет

***Анотація.** Проведено аналіз основних тенденцій розвитку вищої освіти в Україні в повоєнний період шляхом визначення базових інноваційних зрушень вищої школи. Сформульовано пріоритетні напрямки євроінтеграційних процесів вищої школи із врахуванням актуальних завдань розвитку та відновлення освітніх процесів у післявоєнний період.*

**Ключові слова.** Інновації, освіта, повоєнний період, розвиток, євроінтеграція, вища школа.

Система вищої освіти України зазнала серйозних втрат і руйнувань внаслідок нового етапу війни з росією. До початку повномасштабного вторгнення росії на порядку денному для системи вищої освіти стояли питання реформування, імплементації норм прийнятого у 2014 році у новій редакції Закону України «Про вищу освіту», створення системи внутрішнього та зовнішнього забезпечення якості вищої освіти, узгодженої зі стандартами, що діють у Європейському просторі вищої освіти, тощо. Після початку повномасштабної збройної агресії ситуація у вищій освіті України ще більше ускладнилася. Учасники освітнього процесу опинилися в різних умовах, часто за межами України або в регіонах подалі від зони бойових дій; дехто продовжує перебувати на тимчасово окупованих територіях. Українська система вищої освіти зіткнулася з питанням адаптації освітнього процесу до нових умов. Проте, сьогодні мова повинна йти не лише про збереження та відбудову вищої освіти України, а про її повоєнний розвиток. Тому питання повоєнного розвитку вищої освіти є сьогодні особливо актуальними.

На сьогодні активно реалізовується Стратегія розвитку вищої освіти на найближче десятиліття, в межах якої передбачено: прогнозування наявних на ринку праці потреб; розвиток альтернативних форм здобуття вищої освіти; трансформація підходів до наукової та науково-технічної діяльності у вишах; побудова університетів рівня 4.0; оновлення критеріїв оцінювання якості освіти й звільнення вищої освіти від корупції та бюрократії; належне фінансування й автономізація вищої освіти; інтернаціоналізація та інтеграція вищої освіти.

Серед основних завдань повоєнної перспективи є відновлення й розбудова освітньої інфраструктури; забезпечення сталості і безперервності освітнього процесу; психологічна підтримка учасників освітнього процесу; реформування та якісні трансформації на рівні вищої освіти з метою досягнення високих світових стандартів. Вирішення цих завдань можливе шляхом відкрити освітніх хабів, створення навчально-практичних центрів та інших сучасних реалізацій.

В зв'язку із цим, пріоритетними інноваційними напрямками трансформації вищої освіти у післявоєнний період є:

- діджиталізація вищої освіти;
- повна інтеграція вищої освіти та сфери економіки;
- залучення більшої кількості іноземних студентів;
- забезпечення вищої освіти України якісними характеристиками, що відповідають міжнародним стандартам;
- надання автономії вітчизняним закладам вищої освіти.

Таким чином, незважаючи на загарбницьку агресію Росії, Україна продовжує генерувати коротко- та довгострокові стратегії розвитку вищої освіти. Українські ЗВО стають сильнішими, шляхом розробки стратегій реконструкції та продовження започаткованих реформ в освіті. В найближчі роки Україна планує збільшення обсягу освітніх послуг, надати підтримку світових гуманітарних і культурних цінностей та ініціатив, інтеграцію іноземних студентів до навчання в потужних навчальних закладах.

Сьогодні увесь цивілізований світ згоден підтримати подальший розвиток української вищої школи. Усі процеси підтримки реалізуються шляхом фінансової допомоги Україні для розвитку вищої освіти й реалізації освітніх ініціатив, що в свою чергу згенерує ресурси, які необхідні для відбудови пошкоджених навчальних закладів і надання якісної освіти широкому колу вітчизняних та іноземних здобувачів. Поряд із тим, актуальним залишається питання контролю за доброчесністю у сфері вищої школи. Усі розглянуті пріоритетні тенденції інноваційного розвитку вищої освіти України у повоєнний час повинні стосуватися перспектив перебудови у сфері вищої освіти, програмовій покроковій розробці імплементації окремих напрямів трансформації.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хромова О. І., Міщенко О. В., Ніколенко К. В. 2022, Перспективи трансформації української вищої освіти у післявоєнний період. *Освітній дискурс: збірник наукових праць*. 41(7-9). С. 47-56.
2. Книш, Т., Козак, А. & Іванашко, О. 2022, Психолого-педагогічні особливості адаптації освітнього процесу в закладах вищої освіти в умовах воєнного стану. *Актуальні питання гуманітарних наук*. Випуск 51. С. 534–541.
3. Освіта України в умовах воєнного стану. Інноваційна та проєктна діяльність: Науково-методичний збірник / за загальною ред. С. М. Шкарлета. Київ-Чернівці «Букрек». 2022. 140 с.
4. Левкулич, В. 2022, Вища освіта у дзеркалі викликів та альтернатив сучасності. *Philosophy of Education*. Випуск 28, Т. 1. С. 139–158.
5. Литвин, Н. А. 2022. Освітній процес ВНЗ в умовах воєнного часу: стан та перспективи розвитку. Освітній процес в умовах воєнного стану в Україні : матеріали всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації, 3 травня – 13 червня 2022 року, С. 267–272.
6. Міністерство освіти і науки України 2022, МОН презентувало проєктні пропозиції для вирішення нагальних проблем української освіти у воєнний та післявоєнний періоди. 9 травня 2022 року. URL: <https://mon.gov.ua/ua/news/mon-prezentovalo-proyektni-propoziciyi-dlya-virishennya-nagalnih-problem-ukrayinskoyi-osviti-u-voynnij-ta-pislyavoyennij-periodi>
7. Освітній процес в умовах воєнного стану в Україні : матеріали всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації, 3 травня – 13 червня 2022 року. – Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2022. 504 с.
8. Є. Николаєв, Г. Рій, І. Шемелинець. 2023. Вища освіта в Україні: зміни через війну: аналітичний звіт / Київ: Київський університет імені Бориса Грінченка, 94 с.

*Лесько Олександр Йосипович* к.е.н., доцент, завідувач кафедри економіки підприємства та виробничого менеджменту, Вінницький національний технічний університет, [epvm@ukr.net](mailto:epvm@ukr.net).

*Адлер Оксана Олександрівна* к.т.н., доцент, доцент кафедри економіки підприємства та виробничого менеджменту, Вінницький національний технічний університет, [oksana\\_adler1983@ukr.net](mailto:oksana_adler1983@ukr.net).

## TENDENCIES OF INNOVATIVE ACTIVITIES IN HIGHER EDUCATION IN THE POST-WAR PERIOD

**Abstract.** *An analysis of the main trends in the development of higher education in Ukraine in the post-war period was carried out by determining the basic innovative shifts of higher education. The priority directions of the European integration processes of the higher school are formulated, taking into account the current tasks of development and restoration of educational processes in the post-war period.*

**Keywords.** Innovations, education, post-war period, development, European integration, higher education.

Oleksandr Lesko, Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Business Economics and Production Management, Vinnytsia National Technical University, [epvm@ukr.net](mailto:epvm@ukr.net).

Oksana Adler, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Business Economics and Production Management, Vinnytsia National Technical University, [oksana\\_adler1983@ukr.net](mailto:oksana_adler1983@ukr.net).

## АКТИВІЗАЦІЯ НАВЧАЛЬНО-ПІЗНАВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

<sup>1</sup> Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

<sup>2</sup> Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Проаналізовано найпоширеніші в закладах вищої освіти інноваційні інформаційні технології та їх можливості щодо забезпечення активізації здобувачів вищої освіти в процесі професійного навчання. Окреслені перспективи подальших наукових розвідок, які полягають в обґрунтуванні педагогічних умов використання сучасних інформаційних технологій як засобу активізації навчально-пізнавальної діяльності здобувачів вищої освіти*

**Ключові слова:** професійна підготовка, активізація навчально-пізнавальної діяльності, інформаційні технології, фахівці технічних спеціальностей.

Розвиток освітнього середовища зумовлений необхідністю оновлення системи вищої освіти, забезпечення формування конкурентоздатного фахівця, зокрема шляхом забезпечення активності і самостійності особистості в процесі професійної підготовки. Крім того, комп'ютеризація та інтенсивний розвиток всіх галузей науки та виробництва, зокрема і машинобудування потребують впровадження актуальних освітніх технологій.

Проблема впровадження методів активного навчання в процес професійної підготовки майбутніх фахівців розглядалася в низці публікацій [2; 5; 6], однак на сьогодні залишається ряд невирішених питань. Зокрема, відсутня чітка класифікація сучасних методів, інноваційність низки із них виявляється лише в назві, а не в змістовому наповненні. Крім того, не розроблені методичні шляхи впровадження методів активного навчання в закладах вищої освіти із врахуванням особливостей сучасних інформаційних технологій.

На нашу думку, будь-яке навчання передбачає певну ступінь активності студента, оскільки за повністю пасивного відношення до навчального процесу навчання є неможливим. Однак, ступінь цієї активності може бути різним. Ефективними вважаються технології, які забезпечують значно більший рівень активності студентів в порівнянні із традиційними освітніми технологіями.

Незважаючи на різні підходи до трактування змісту методів активного навчання, науковці сходяться в думці, що до них варто віднести такі, які дозволяють студентам в більш короткі терміни і з меншими зусиллями оволодіти знаннями і вміннями за рахунок формування позитивної мотивації до навчально-пізнавальної діяльності. Саме таку самостійну цілеспрямовану навчальну діяльність здобувачів вищої освіти і розглядають як активність особистості.

Наразі, найбільш поширеними в педагогічній практиці є такі методи активного навчання: метод проєктів, організація диспутів, мозковий штурм, ділові та рольові ігри, імітаційні технології, тренінги, аналіз практичних ситуацій (case-study) тощо. Вибір певного методу навчання визначається різними факторами (чисельністю студентської групи, рівнем їх пізнавального та інтелектуального розвитку, сформованих навичок співпраці тощо), але, в першу чергу, дидактичною метою. Цікавий досвід використання методів активного навчання описаний у публікаціях [1; 3-4].

Розвиток інформаційних технологій та його впровадження в освітній процес призвів до необхідності визначити їх місце та роль у контексті впровадження методів активного навчання. До найбільш перспективних інноваційних освітніх технологій, які забезпечують активізацію

навчально-пізнавальної діяльності здобувачів вищої освіти та базуються на використанні інформаційних технологій є: ігрові технології, хмарні технології, технології дистанційного навчання, технології віртуальної, доповненої та змішаної реальності тощо.

Кожна з наведених технологій має низку переваг та недоліків, специфічні особливості, а також потребує визначення педагогічних умов щодо їх використання в процесі професійної підготовки майбутніх фахівців технічних спеціальностей.

Відтак, сучасна вища освіта орієнтована на забезпечення функціональності набутих знань в процесі професійної підготовки, формуванню так званих softskills. Впровадження методів активного навчання, які базуються на інноваційних інформаційних технологіях сприятиме розв'язанню багатьох актуальних освітніх завдань, зокрема: формування критичного мислення, здатності майбутніх фахівців самостійно приймати рішення і нести відповідальність за можливі наслідки, стимулювання активності й ініціативності студентів у навчальному процесі й поза ним.

Вже на етапі навчання у закладах вищої освіти студенти мають змогу набути певного досвіду щодо вирішення проблемних завдань, навчитися продуктивно працювати в команді, ефективно обмінюватися досвідом та координувати діяльність у групі для досягнення спільної мети. З іншого боку, використання методів активного навчання стимулює викладача до вдосконалення стилю роботи та підвищення власного професійного та методичного рівня.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Dembitska S.V, Kuzmenko O.S. Innovative trends in higher education in the context of sustainable development (on the example of physics and technics disciplines). Collective monograph. Science and education for sustainable development. Series of monographs Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts University of Technology, Katowice. Monograph 50. Publishing House of University of Technology, Katowice. – 2022. – С.203–209.

2. Kuzmenko O., Dembitska S. Improvement of self-educational activity of students of technical specialties based on innovative society development (on the example of studying physics) // Knowledge, Education, Law, Management. – 2021. – № 2 (38), vol. 1. – С. 24–30

3. Дембіцька С. В. Впровадження інноваційних методів навчання з метою формування самоосвітньої компетентності // Актуальні аспекти розвитку STEM-освіти у навчанні природничо-наукових дисциплін: збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 70-річчю Льотної академії Національного авіаційного університету, м. Кропивницький, 12-13 травня 2021 р. Кропивницький: Льотна академія НАУ. – 2021. – С.78–81.

4. Дембіцька С. В., Кобилянська І. М., Пугач С. С. Інноваційні технології дистанційного навчання в закладах вищої освіти // Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми : збірник наукових праць. Вінниця : ТОВ «Друк плюс». – 2021. – Вип. 60. – С. 388–399.

5. Дембіцька С. В., Кобилянська І.М., Молчанов В.П., Татарчук В.В. Використання технології відкритого простору в процесі підготовки фахівців в закладах вищої освіти. Колективна монографія. Особистісно-професійний розвиток майбутніх фахівців: діалог із стейкхолдерами: монографія. Вінниця: ТОВ «Друк». – 2021. – С. 219–235.

6. Дембіцька С. В., Кобилянський О.В., Пугач С.В. Використання методів активного навчання в процесі підготовки майбутніх фахівців // Актуальні дослідження в соціальній сфері: матеріали шістнадцятої міжнародної науково-практичної конференції (м.Одеса, 17 листопада 2020р.). Одеса: ФОП Бондаренко М.О. 2020. – С. 135–137.

**Мястковська Марина Олександрівна** – кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерних наук, фізико-математичний факультет, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, Кам'янець-Подільський, e-mail: marinenka1@gmail.com.

**Поліщук Олександр Васильович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:polischuk@vntu.edu.ua.

## ACTIVATION OF EDUCATIONAL AND COGNITIVE ACTIVITIES OF HIGHER EDUCATION ACQUIRES OF TECHNICAL SPECIALTIES THROUGH THE IMPLEMENTATION OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES

### Abstract

*The most common innovative information technologies in higher education institutions and their possibilities for ensuring the activation of higher education students in the process of professional training are analyzed. The prospects of further scientific investigations are outlined, which consist in substantiating the pedagogical conditions for the use of modern information technologies as a means of activating the educational and cognitive activities of students of higher education.*

**Keywords:** *professional training, activation of educational and cognitive activities, information technologies, specialists in technical specialties.*

**Myastkovska Maryna Oleksandrivna** – Ph.D., Department of Computer Sciences, Faculty of Physics and Mathematics, Ivan Ohienko Kamianets-Podilskyi National University, Kamianets-Podilskyi, e-mail: marinenka1@gmail.com

**Polishchuk Oleksandr Vasylivych** – Department of Life Safety and Safety Pedagogy, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: polischuk@vntu.edu.ua.

## PSYCHOLOGICAL SUPPORT IN THE TRAINING OF CIVIL AVIATION PILOTS IN WARTIME AND POST-WAR

National aviation university

### Abstract

*The article reveals the importance of psychological support of the educational process in the training of civil aviation pilots in wartime and post-war; explains the importance of professional orientation and professional selection for successful mastery of the profession; substantiates the need to search for innovative technologies for developing the psychological readiness of future pilots to perform professional activities, identifies the main directions for development of psychological readiness in accordance with the understanding of the essence and structure of this phenomenon.*

**Keywords:** *psychological support, innovative technologies, psychological readiness, civil aviation pilots.*

Ensuring the continuity and high quality technical specialist's training in Ukraine in wartime makes it necessary to involve innovative technologies in the educational process in higher education institutions. The priority remains to create comfortable conditions for the social and intellectual development of higher education students, preserve their psychological health, provide psychological and socio-pedagogical support to all participants in the educational process under any socio-political conditions, which is psychological support of the educational process. The search for innovative approaches to the development of psychological readiness of technical specialists to perform professional activities is one of the priority areas of psychological support of the educational process.

The problem of psychological support of the educational process has been highlighted in the scientific works of many well-known teachers and psychologists: L. Vygotsky, H. Kostiuk, S. Maksymenko, V. Moliako, V. Rybalka, V. Synev, N. Chepeleva, O. Khokhlina, V. Panko and others [1]. Certain aspects of psychological support for the training of aviation specialists are found in the works of K. Platonov, D. Gander, R. Makarov, V. Ponomarenko, R. Nevzorov, V. Yagupov, T. Plachinda, G. Pukhalska, O. Kernytskyi, I. Okulenko, O. Pidlubna, A. Dranko, V. Zlahodukh, K. Voevoda, O. Gorskyi and others. The previous and latest developments of scientists point to the important role of psychological support of the educational process and the need for constant rethinking of its content and structure.

When discussing the issue of psychological support, it is necessary to emphasize the importance of preliminary career guidance and psychological selection. By vocational guidance we mean an organized set of activities that are carried out with the aim of professional orientation of a person to choose or change a profession, employment based on the consideration of his/her individual psychological characteristics, interests, capabilities and needs of the labor market for personnel [2]. Professional selection is a system of psychodiagnostic examination of a person aimed at determining the degree of his or her suitability for certain types of professions in accordance with regulatory requirements, to assist in the identification and selection of a specific profession, work place based on the study and assessment of his or her individual psychological characteristics, interests, abilities [3]. Professional selection is of particular importance in relation to extreme professions, because they place high demands on the candidate in terms of motivation, personal qualities and psychophysiological characteristics necessary for mastering the profession. As you know, the latter are biologically determined, stable, and therefore the least susceptible to psychocorrective influence during further professional training.

Psychological support of the aircraft pilot at the stage of educational and professional training is aimed at maintaining high educational activity by developing interest and motivation to master the chosen specialty, familiarizing him with the content, means, conditions of flight activity and psychological, educational and professional requirements for the pilot as a subject of such activity; studying the dynamics of the moral and psychological state, predicting its development; psychodiagnostics of mental processes, states and properties; control over the level of nervousness. Psychological support in modern conditions is also aimed at overcoming the negative psychological



consequences of the war in Ukraine; at forming a healthy psychological climate in the institution as a whole; at promoting social and psychological protection and providing psychological assistance to victims, displaced persons, refugees, relatives of the victims.

The development of psychological readiness for professional activity as a general, long-term readiness, as an integrative personal formation, as the readiness of all spheres of the psyche to perform activities with high efficiency, should take place in the course of psychological support of educational and professional activities, taking into account all external (content, means, working conditions, etc.) and internal (professionally important qualities) aspects of flight work, as well as its structure. A high level of young specialist's psychological readiness involves, in particular, the education of a system of motivations, interests and values (motivational component of psychological readiness), acquisition of knowledge, skills and abilities necessary for professional activity (experience component), exercise of cognitive and emotional-volitional mental processes (professionally important features of mental processes), training of nervous and emotional-volitional characteristics necessary for effective performance of activities [4]. Our Program for the development of pilot's psychological readiness for their professional activity will also use empirical data obtained as a result of studying the indicators of all the above components of psychological readiness at the ascertaining stage of the study.

Thus, the effectiveness of training a highly professional modern pilot in higher education institutions is ensured, in addition to educational and professional theoretical and practical training, by timely and phased psychological work with young men, which includes career guidance, professional selection at the stage of admission to the university and psychological support of the future aviator at the stage of his formation as a specialist.

#### REFERENCES:

1. Pomytkin, E.O., Rybalka, V.V., Ignatovych, O.M., Pavlyk, N.V., Stanovskyyh, Z.L., Radzimovska, O.V., Tataurova-Osyka, G.P., & Zhmurko, M.D. (2019). Psykholohichniy suprovod navchannia riznykh katehoriy dorosloho naselennia [Psychological support of training for different categories of adults]. Kyiv [in Ukrainian].
2. Yehorova, Ye.V., Ihnatovych, O.M., Kobchenko, V.V., Lytvynova, N.I., Marchenko, I.B., Merzliakova, O.L., Syniavskiy, V.V., Tataurova-Osyka, H.P., Shevenko, A.M. & Ihnatovych, O.M. (Eds.). (2014). Profesiina orientatsiia [Professional orientation]. Kirovohrad : Imeks-LTD [in Ukrainian].
3. Obukhivska, A.H., Ostrova, V.D. & Panok, V.G. (Eds.). (2016). Psykholohichna sluzhba [Psychological service]. Kyiv: Nika-Tsentr [in Ukrainian].
4. Cherniavska, S.M. (2023). Psykholohichni aspekty profesiinoy diialnosti pilotiv tsyvilnoyi aviatsii ta yikh pidhotovky u ZVO [Psychological aspects of professional activity of civil aviation pilots and their training in higher education institutions]. Perspektivy ta innovatsii nauky. Serii: «Psykholohiia» - Prospects and innovations of science. Series: "Psychology", 7 (25), 461-476 [in Ukrainian].

*Cherniavska Svitlana Mykolaivna, PhD student of the Department of Aviation Psychology, Faculty of Linguistics and Social Communications, National Aviation University, Kyiv, sv.lanko@ukr.net.*

## ПСИХОЛОГІЧНИЙ СУПРОВІД ПІДГОТОВКИ ПІЛОТІВ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ У ВОЄННИЙ ТА ПОВОЄННИЙ ЧАС

#### Анотація

У статті розкривається значення психологічного супроводу освітнього процесу при підготовці пілотів цивільної авіації у воєнний та повоєнний час; висвітлено значення попередньої професійної орієнтації та професійного відбору для успішного оволодіння професією; обґрунтовано необхідність пошуку інноваційних технологій розвитку психологічної готовності майбутніх пілотів до виконання професійної діяльності; визначено основні напрямки розвитку психологічної готовності відповідно до розуміння суті та структури цього явища.

**Ключові слова:** психологічний супровід, інноваційні технології, психологічна готовність, пілоти цивільної авіації.

*Чернявська Світлана Миколаївна, аспірант кафедри авіаційної психології Факультету лінгвістики та соціальних комунікацій Національного авіаційного університету, Київ, sv.lanko@ukr.net.*

## РОЛЬ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ВИЩОЇ ОСВІТИ У ПОВОЄНИЙ ЧАС

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*В роботі висвітлено ключову роль закладів вищої освіти у відбудові країни після війни, основні тенденції розвитку закладів вищої освіти у повоєнний час, розглянуто основні пункти, які впливають на розвиток вищої освіти в Україні та окремих її регіонів та показано окремі можливості забезпечення відновлення, розвитку та стабілізації суспільства після воєнних подій.*

**Ключові слова:** *заклад вищої освіти, освітній процес, фахівці, інновації, технології, міжнародна співпраця.*

Заклади вищої освіти (ЗВО) відіграють ключову роль у відбудові після війни і мають значний вплив на розвиток суспільства та економіки. Основні аспекти ролі ЗВО у відбудові після війни включають:

1. *Підготовку* нового покоління *фахівців*, необхідних для відновлення різних сфер суспільства, таких як інженерія, медицина, архітектура, економіка, соціальна робота та інші. ЗВО забезпечують освіту та навички, необхідні для ефективної відбудови і розвитку країни.

2. *Дослідження* і розвиток нових технологій *та інновацій*. ЗВО сприяють виявленню нових методів і підходів до відновлення та розвитку, а також створенню нових ринків та можливостей для економічного зростання.

3. Можуть *залучати зовнішні ресурси*, такі як фінансові кошти, технічна підтримка та експертний досвід, через міжнародну співпрацю, партнерства з урядовими та недержавними організаціями, бізнес-сектором та іншими зацікавленими сторонами. Це дозволяє залучити додаткові ресурси для відновлення та розвитку.

4. ЗВО виступають як центри *соціальної мобілізації*, сприяючи включенню різних груп населення у процес відновлення та розвитку. Вони забезпечують можливості освіти для людей з різних соціальних шарів та забезпечують рівний доступ до освіти, що сприяє підвищенню рівня життя і покращенню соціально-економічного статусу.

5. ЗВО відіграють важливу роль у *розвитку культурного життя* та підтримці національної спадщини після війни. Вони зберігають інтелектуальну спадщину, розвивають мистецтво, літературу, музику та інші аспекти культури, сприяючи зміцненню національного самосвідомості та єдності.

У повоєнний час ЗВО стикаються зі специфічними тенденціями розвитку, які враховують вимоги та потреби суспільства після воєнних подій. Деякі з найважливіших тенденцій розвитку ЗВО у повоєнний час включають:

1. *Реорганізація та відновлення*. Після війни багато ЗВО можуть потребувати реорганізації та відновлення своїх структур, інфраструктури та програм. Це може включати відновлення пошкоджених приміщень, лабораторій, бібліотек та інших навчальних ресурсів.

2. *Орієнтація на практичну спрямованість*. Після воєнних руйнацій і втрат суспільство потребує фахівців, які можуть активно сприяти відновленню та розвитку. Тому ЗВО звертають більше уваги на практичне навчання, стажування та підготовку студентів до реальних завдань, що стоять перед ними у повоєнний період.

3. *Міждисциплінарність*. Відновлення та розвиток після війни вимагають комплексного підходу та співпраці між різними галузями знань. ЗВО здійснюють активну роботу з міждисциплінарним навчанням та дослідженнями, сприяючи взаємодії між фахівцями різних галузей для знаходження інноваційних рішень.

4. Розвиток дистанційного навчання та онлайн-освіти. Віртуальні технології та інтернет надають нові можливості для навчання та доступу до освіти. ЗВО розвивають дистанційне навчання, використовують онлайн-платформи та інструменти для забезпечення доступу до освіти для студентів, які можуть бути обмежені географічно, фізично або в інший спосіб.

5. Міжнародна співпраця. У повоєнний період міжнародна співпраця стає особливо важливою для обміну досвідом, залучення зовнішніх ресурсів та підтримки розвитку. ЗВО активно співпрацюють з міжнародними університетами, науковими організаціями та громадськими установами для розвитку спільних проєктів, обміну студентами та викладачами, а також для залучення фінансової та технічної підтримки.

6. Підтримка військових ветеранів та постраждалих. ЗВО також відіграють важливу роль у підтримці військових ветеранів та постраждалих осіб, які можуть потребувати спеціалізованої освіти та підтримки для своєї реінтеграції у суспільство та робочий процес.

Загалом, роль ЗВО у відбудові після війни полягає в підготовці фахівців, проведенні досліджень та інновацій, залученні зовнішніх ресурсів, соціальній мобілізації та культурному розвитку. Ці аспекти сприяють відновленню та стабілізації суспільства після війни і спрямовані на забезпечення мирного та стійкого розвитку країни.

Ці тенденції визначають розвиток ЗВО у повоєнний час і спрямовані на забезпечення відновлення, розвитку та стабілізації суспільства після воєнних подій.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Altbach, P. G., Reisberg, L., & Rumbley, L. E. (2009). Trends in global higher education: Tracking an academic revolution. UNESCO
2. Cummings, W. K., & Genn, M. C. (Eds.). (2013). Rebuilding societies after civil war: Critical roles for international assistance. US Institute of Peace Press
3. Marginson, S., & Rhoades, G. (2002). Beyond national states, markets, and systems of higher education: A glonacal agency heuristic. Higher education, 43(3), 281-309
4. Morphet, C. C., & Eckel, P. D. (Eds.). (2009). Disciplines and departures: The internationalization of higher education. Purdue University Press
5. UNESCO. (2014). Higher education in post-war recovery: Case studies in Afghanistan and Iraq. UNESCO Publishing
6. Yudkevich, M., Altbach, P. G., & Rumbley, L. E. (Eds.). (2018). Academic inbreeding and mobility in higher education: Global perspectives. Springer
7. Zgaga, P., Teichler, U., & Brennan, J. (Eds.). (2015). The globalisation challenge for European higher education: Convergence and diversity, centres and peripheries. Peter Lang.

*Віштак Інна Вікторівна*, к. т. н., доц., доцент кафедри педагогіки безпеки та безпеки життєдіяльності, ВНТУ, e-mail: [vishtakiv@vntu.edu.ua](mailto:vishtakiv@vntu.edu.ua).

*Майданевич Леонід Олександрович*, к. філ. н., адвокат, Рада адвокатів Вінницької області, Вінниця, e-mail: [lmaidanevych@gmail.com](mailto:lmaidanevych@gmail.com)

#### THE ROLE OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS AND TRENDS IN DEVELOPMENT OF HIGHER EDUCATION DURING POSTWAR TIME

##### Abstract

*In work reflects the key role of higher educational institutions in the reconstruction of country after the war, the main trends in development of higher educational institutions in post-war period, the main points that affect the development of higher education in Ukraine and its individual regions are considered and shows some of the possibilities for ensuring the recovery, development and stabilization of society after the war.*

**Keywords:** *institution of higher education, educational process, specialists, innovations, technologies, international cooperation.*

*Vishtak Inna Viktorivna*, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Safety Pedagogy and Life Safety, VNTU, e-mail: [vishtakiv@vntu.edu.ua](mailto:vishtakiv@vntu.edu.ua).

*Maidanevych Leonid O.* – Ph. D. (Philos.), Lawyer, Vinnytsia Bar Council, Vinnytsia? e-mail: [lmaidanevych@gmail.com](mailto:lmaidanevych@gmail.com)

**A. O. Polishchuk<sup>1</sup>**  
**O. S. Polishchuk<sup>1</sup>**  
**M. Ye. Skyba<sup>1</sup>**  
**S. P. Lisevich<sup>1</sup>**

## **DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PROCESSING POLYMER WASTE INTO FINISHED PRODUCTS BY 3D PRINTING**

<sup>1</sup> Khmelnytskyi National University

### **Abstract**

*The technology of processing polymer waste into finished products by the 3D printing method is proposed*

**Keywords:** polymer, polymer waste, shredding, extrusion, 3D printing

### **Introduction**

Polymers are the most popular materials in the production of containers, packaging, tape, packaging film, clothes, shoes and other products. The widespread use of plastic has created the problem of its accumulation, which can be dealt with only by establishing its secondary processing, which is the main, rather even the only, way to solve the problem of environmental pollution.

Accumulation of polymer waste is the main negative impact of humans on the environment. Trying to make modern life simple and comfortable, people think about harm to nature last. The problem of the accumulation of polymer waste is particularly acute today, as it has a deadly effect on the environment and its inhabitants, including people themselves.

Without solving the problem of recycling polymer materials, it is impossible to solve the environmental problems of any country, moreover, other methods of disposal of such waste can only worsen the situation. Combustion of plastic in primitive low-temperature plants and simply in landfills leads to the release of substances extremely dangerous to health, primarily dioxins. Modern waste incineration plants using pyrolysis partially solve this problem, but only recycling is a cardinal and, moreover, economically beneficial solution.

According to statistical data, the use of secondary raw materials in the world is steadily increasing. This is not surprising - according to some indicators, stocks of secondary raw materials already exceed the amount of available primary materials. Therefore, scientists of all countries are making significant efforts to create, develop and improve technologies for processing various types of waste.

The purpose of the work is to development of a technology for the processing of products containing of plastic waste into consumables for 3D printing [1, 2].

### **Results of the research**

Plastic is a material that is easily recycled and can be used in the second cycle without losing its basic properties. Many objects necessary in everyday life are made from secondary plastic. They are used to make: building materials (tiles, paving slabs, etc.); bags, suitcases and backpacks, which are in no way inferior to products made from primary raw materials; sports equipment, bicycles, etc.; packages, packaging materials; clothes (suits, jackets, t-shirts), shoes (sports sneakers); furniture (tables, chairs, benches); road surfaces and others.

Modern light industry uses various types of raw materials for the manufacture of clothing and household items. Among synthetic polymers, the leading positions in the world are occupied by polyester (polyester) and nylon (nylon).

Polyester - fibers that appeared thanks to the active evolution of the oil refining industry. This is a type of synthetic material. Outwardly, it resembles fine wool, but in terms of consumer properties, it is closer to cotton. It is made from a melt of polyethylene terephthalate - a strong, wear-resistant thermo-

plastic, which is a good dielectric.

One of the varieties of polyester fiber.

A wide range of finished products made of polyester and nylon raises the question of their further disposal after the period of operation or processing into finished products.

Most light industrial products are still thrown away and burned in incinerators or end up in landfills. Among them are products containing polyester (mylar) and nylon fibers.

Recycling also faces a number of challenges, meaning that globally only less than one percent of all materials used in clothing are recycled back into clothing. This reflects the lack of technologies for their further processing. In addition, the existing technologies that allow the processing of clothing into virgin fibers are still imperfect.

One of the advantages is that when heated, polyester and nylon melt, and if they are passed through small holes, thin skeins are obtained. When cooled, they harden and form threads.

Due to its physical and chemical properties, plastic, as already mentioned above, can go through an infinite number of cycles of production and processing. The development of new technologies and equipment for processing will help to solve the problem of excess plastic waste, and in the future eliminate the need for new plastic production.

A new technology for processing polymer waste into finished products by 3D printing is proposed, which includes:

1. Sorting.
2. Crushing.
3. Cleaning and washing.
4. Drying.

Some milled materials may not require steps 3 and 4.

5. Heating the crushed material in the extruder of the 3D printer and extrusion of the molten polymer.

6. Formation of the finished product. The mass is squeezed out through the nozzle of the extruder and the finished product is formed layer by layer.

Thus, the number of operations to obtain the finished product is reduced.

An experimental installation was used to grind polymer waste from light industry, which allows to implement the process of grinding textile materials with the possibility of taking into account all factors that have an impact on this process. The design of the installation allows you to change within certain limits the technological and structural parameters, which allows you to study their influence on the grinding process and carry out the necessary measurements. But the main thing is that it allows you to adjust the size of the fiber that will be obtained after the grinding process. This issue is relevant when used as an initial value for 3D printing.

As samples during experimental studies of the process of shredding fibrous polymer waste, waste from textile materials, which were formed by the method of cutting parts of flooring products, were used. Samples of the following materials were used for grinding: polyester and nylon.

In order to conduct a research experiment to confirm that the crushed waste of polymeric materials can be remelted, an extrusion machine was used.

The conducted experimental studies confirmed the possibility of re-processing the crushed waste of polymer materials into finished products using 3D printers, which use granules or crushed polymer waste as raw materials.

### **Conclusions**

In the future, it is necessary to develop the design of a 3D printer, carry out the process of printing finished products on it and investigate their properties.

### **REFERENCES**

1. Zozulya P.F., Polishchuk O.S., Polishchuk A.O. Prospects for the use of 3D printing in light industry. Bulletin of Khmelnytskyi National University, 2017. № 4. – P. 102-104, (in Ukraine).
2. Zozulya P.F., Polishchuk O.S., Nejmak V.S., Polishchuk A.O. Application of 3D printing technology in the footwear industry. Scientific notes. Lutsk National University, 2019. – Issue №67. – P.48-52, (in Ukraine).

**Polishchuk Andrii Olehovich** — PhD student, Faculty of Engineering, Transport and Architecture, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, email: andrepol215@gmail.com

**Polishchuk Oleh Stepanovich** — Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Machines and Devices, Electromechanical and Energy Systems, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, email: opolishchuk71@gmail.com

**Skyba Mykola Yehorovych** — Doctor of Engineering, Professor, Head of the Academic Council, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, email: mykolaskyboxnu@gmail.com

**Lisevich Svitlana Petrivna.** — senior lecturer of the department of machines and devices, electromechanical and energy systems, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, email: lisevichsv@gmail.com

### ***Розробка технології переробки полімерних відходів у готові вироби методом 3D-друку***

#### ***Анотація***

*Запропоновано технологію переробки полімерних відходів у готові вироби методом 3D-друку*

**Ключові слова:** полімер, полімерні відходи, подрібнення, екструзія, 3D-друк.

**Поліщук Андрій Олегович** — аспірант, факультет інженерії, транспорту та архітектури, Хмельницький національний університет, Хмельницький, e-mail: andrepol215@gmail.com

**Поліщук Олег Степанович** — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем, Хмельницький національний університет, Хмельницький, email: opolishchuk71@gmail.com

**Скиба Микола Єгорович** — доктор технічних наук, професор, голова Вченої ради, Хмельницький національний університет, Хмельницький, email: mykolaskyboxnu@gmail.com

**Лісевич Світлана Петрівна** — старший викладач кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем, Хмельницький національний університет, Хмельницький, email: lisevichsv@gmail.com

## ОПТИМІЗАЦІЯ ДЕТАЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ FUSION 360 ТА ФУНКЦІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ФОРМИ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет.

### Анотація:

Розглянуто використання функції оптимізації форми в програмі Fusion 360 для оптимізації деталі, та під час друку на 3-D принтері. Розглянуто методика використання програми для отримання оптимальної форми деталі.

**Ключові слова:** оптимізація форми, Fusion 360, 3-D принтер, машинобудування, деталь.

### Вступ

В сучасному світі з розвитком технологій все більшого значення набуває оптимізація та вдосконалення виробництва. В машинобудуванні та інженерній галузі оптимізація форми деталей є ключовим процесом, що дозволяє покращити їх функціональність та знизити витрати на їх виробництво. Для досягнення цієї мети використовуються різні інструменти, серед яких важливе місце займає програма Fusion 360 [1,2,3,4].

### Основна частина

Однією з головних функцій Fusion 360 є оптимізація форми деталей. Ця функція дозволяє автоматично оптимізувати форму деталі з урахуванням заданих умов та обмежень. Вона забезпечує швидку інженерну підготовку деталі, що зменшує час витрат на розробку та покращує якість деталі. Для оптимізації форми деталі за допомогою програми Fusion 360 використовують функцію "Optimize". Ця функція дає можливість створити оптимальну форму деталі за заданими критеріями. Наприклад, можна задати критерії такі як маса, міцність або жорсткість, максимальна товщина стінок, коефіцієнт навантаження тощо і програма знайде форму, яка відповідає заданим вимогам (рис.1).

Після отримання оптимальної форми деталі в програмі Fusion 360 її можна експортувати у форматі, адаптованому до 3-D друку [2,3,4].



Рисунок 1- Зображення використання функції Shape Optimization в програмі Autodesk Fusion 360

Після проведення оптимізації форми деталі, ми можемо експортувати отриману модель у форматі STL для подальшого виготовлення на 3D-принтері. На кафедрі галузевого машинобудування використовується 3D-принтер для виготовлення прототипів та деталей для різних технічних задач.

Однією з головних переваг Fusion 360 є те, що він забезпечує повну інтеграцію між проектуванням та виробництвом, що дозволяє прискорити розробку та виготовлення деталей.

Процес оптимізації деталі за допомогою Fusion 360 починається з моделювання деталі за допомогою програми. Після створення моделі деталі, користувач може використовувати функцію оптимізації форми для поліпшення її характеристик.

Функція оптимізації форми дозволяє використовувати різні методи оптимізації, такі як "топологічна оптимізація", "генетичний алгоритм", "метод перебору" тощо. Кожен із зазначених методів має свої переваги та недоліки і їх вибір залежить від конкретного технічного завдання.

Після вибору методу оптимізації, користувач встановлює параметри оптимізації. Функція оптимізації форми автоматично створює нову форму деталі, яка відповідає заданим параметрам оптимізації.

## Висновки

Отже, оптимізація форми деталей за допомогою Fusion 360 є важливим інструментом для розробки та виготовлення деталей у галузі машинобудування. Вона дозволяє підвищити якість деталей, зменшити вагу та витрати на виробництво, а також покращити продуктивність готових виробів. Використання 3D-принтера для виготовлення деталей, розроблених з використанням оптимізації форми, дозволяє прискорити процес виготовлення прототипів та дослідних зразків, що є важливим фактором для успішного впровадження нових продуктів на ринок.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Поліщук Л.К. Адитивні технології в навчальному процесі спеціальності "Галузеве машинобудування" [Електронний ресурс] / Л. К. Поліщук, Ю. В. Булига, О. Д. Манжілевський // Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту», Вінниця, 13-15 травня 2021 р. – Електрон. текст. дані. – Вінниця, 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2021/paper/viewFile/13424>
2. Fusion 360. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>, вільний (дата звернення: 10.05.2023).
3. Learning Autodesk Fusion 360, Taylor Hokanson, linkedin.com, 2016.
4. Autodesk Fusion 360 Introduction to Parametric Modeling: Autodesk Authorized Publisher - 2nd Edition ASCENT Center for Technical Knowledge, 2018.

*Гулевич Руслан Михайлович* – аспірант кафедри галузеве машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [goruslan98@gmail.com](mailto:goruslan98@gmail.com)

*Поліщук Леонід Клавдійович* - д.т.н., проф., завідувач кафедри «Галузеве машинобудування», Вінницький національний технічний університет, e-mail: [leo.polishchuk@gmail.com](mailto:leo.polishchuk@gmail.com), 21021, Україна, Вінницька обл., м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95

*Шенфельд Валерій Йосипович* – к.т.н., доцент кафедри «Галузеве машинобудування», Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail [leravntu@gmail.com](mailto:leravntu@gmail.com);

### Part optimization with Fusion 360 and shape optimization

#### Annotation:

Using the Shape Optimization feature in Fusion 360 to optimize a part for use on a 3D printer. The technique of using the program and obtaining the optimal shape of the part is considered.

**Keywords:** shape optimization, Fusion 360, 3D printer, mechanical engineering, part.

*Hulevich Ruslan Mikhailovich* – postgraduate student, Faculty of Industrial Engineering, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, e-mail: [goruslan98@gmail.com](mailto:goruslan98@gmail.com)

*Polishchuk Leonid K.* — Doctor of Engineering Sciences, Head of Department of «Industrial Engineering», Vinnitsa National Technical University, tel., 21021, Vinnitsa, st. Khmelnytsky Highway, 95, e-mail: [leo.polishchuk@gmail.com](mailto:leo.polishchuk@gmail.com).

*Shenfeld Valeriy* - Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Industrial Engineering, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: [leravntu@gmail.com](mailto:leravntu@gmail.com)



**Широн Ю.О.**  
**Науковий керівник: Чернобай Л.І.**

## ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ В СИСТЕМІ ОЦІНЮВАННЯ ПЕРСОНАЛУ

Національний університет «Львівська політехніка», Інститут економіки і менеджменту,  
кафедра менеджменту і міжнародного підприємництва

**Анотація:** проведено дослідження основних методів оцінки персоналу, які дають змогу оцінити економічну ефективність соціально-психологічних методів управління та систематизовано відповідно за рівнями застосування

**Ключові слова:** соціально-психологічні методи управління, оцінювання персоналу, особисті якості працівника, результативність праці, рівень професійної поведінки

В сучасних складних умовах функціонування українських підприємств, які характеризується стресовістю, невизначеністю та нестабільністю, на перший план у системі управління підприємством виступають саме соціально-психологічні методи. Серед основних показників, які визначають ефективність соціально-психологічних методів управління є результативність праці, рівень професійної поведінки та особисті якості працівника [1].

Ряд авторів [5, с. 27; 4] зазначають вагоме місце оцінювання персоналу у системі соціально-психологічного управління. Сьогодні у сфері менеджменту існує велика кількість теоретичних підходів до процесу оцінки персоналу, і щодня вчені в даній області винаходять все нові методи. Перед керівництвом компанії стоїть важливе завдання пошуку найефективнішого методу оцінювання саме для їхньої організації, адже від якості оцінки залежить велика кількість показників: задоволення персоналу їх діяльністю, успішність системи менеджменту, та загальної продуктивності діяльності підприємства. Також важливим завданням постає пошук методів оцінки персоналу, які дадуть змогу в повній мірі оцінити економічну ефективність соціально-психологічних методів управління

Важливо зазначити, що за рівнями застосування виділяють індивідуальні та групові методи оцінювання персоналу [7, с.75]. Також ряд методів можуть використовуватись як для оцінки окремих працівників так і їх груп. Індивідуальні методи за необхідності можна інтегрувати в групову оцінку.

В таблиці 1 найпоширеніші, на нашу думку, на сьогоднішній день методи оцінки персоналу систематизовані за рівнями застосування. Також зазначені основні показники ефективності соціально-психологічних методів управління, які визначають дані методи.

Таблиця 1

Матриця взаємозв'язку методів оцінювання персоналу за рівнями їх застосування та показників ефективності соціально-психологічних методів управління

Метод оцінювання персоналу	Основні показники ефективності		
	рівень професійної поведінки	особисті якості працівника	результативність праці
Індивідуальні			
Анкетування	+	+	
Метод рейтингових поведінкових установок	+		+
Інтерв'ю	+	+	
Описовий метод оцінки	+	+	
Метод оцінки на основі моделей компетентності			+
Тестування	+	+	
Метод 360 градусів	+	+	
Метод незалежних суддів	+	+	

Продовження таблиці 1

Групові			
Ранговий метод			+
Метод ділових ігор	+		
Метод анкет і порівняльних анкет		+	
Індивідуальні та/або групові			
Спостереження	+	+	
Панель			+
Експеримент	+	+	
КРІ (Key Performance Indicators)			+
МВО (Management by Objectives)	+		+
Метод асесмент-центру	+	+	
Аналіз людських ресурсів (HRA)		+	

\* Сформовано на основі [2, 3, 6, 8]

Отже, як свідчать дані, наведені в таблиці, перелічені методи оцінювання персоналу на всіх рівнях їх застосування дають змогу оцінити лише окремі соціально-психологічні якості працівників і не дозволяють оцінити їх комплексно. Саме тому, з метою ефективної оцінки соціально-психологічних методів управління, логічним та необхідним є застосування декількох методів оцінки працівників, вдале поєднання яких дасть змогу позитивно вплинути на результативність та продуктивність їх діяльності, а також покращити кінцеві показники ефективності діяльності підприємства.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Балабанова Л. В., Сардак О. В. Управління персоналом. Підручник.– К.: Центр учбової літератури, 2011. – 468 с
2. Дідур К. М. Сучасні методи оцінки персоналу / К. М. Дідур. // Ефективна економіка. - 2011. - № 11. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek\\_2011\\_11\\_20](http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2011_11_20).
3. Інтернет ресурс: Офіційний сайт: «ОК Онлайн сервіс Кадровик» Оцінка персоналу: методи, які повинен знати кожний HR. Режим доступу: [[https://k.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/ocinka\\_personalu\\_metodi\\_yaki\\_pov-3-501391.pdf](https://k.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/ocinka_personalu_metodi_yaki_pov-3-501391.pdf)]
4. Крушельницька О.В. Управління персоналом: навчальний посібник / О.В. Крушельницька, Д.П. Мельничук. К.: Кондор, 2003. 296 с
5. Медвідь Н. П. Соціально-психологічні особливості атестації керівників сфери державного управління дис.канд.соц.наук: 19.00.05 / Медвідь Н.П. НУ Львівська політехніка – Львів, 2016 – 264 С
6. Миронова Л.Г. Сучасні методи оцінювання персоналу підприємств / Л.Г. Миронова // Культура народів Причорномор'я. — 2011. — № 214. — С. 46-50
7. Цимбалюк С. О. Оцінювання персоналу : Навч. посіб. / С. О. Цимбалюк, О. М. Білик. — К.: КНЕУ, 2021. — 311
8. Чавичалов І. І. Методи оцінки ефективності управлінського персоналу підприємства / І. І. Чавичалов // Інвестиції: практика та досвід. - 2018. - № 1. - С. 41-44.

*Широн Юлія Олегівна, аспірант кафедри менеджменту та міжнародного підприємництва Національного університету «Львівська політехніка», місто Львів, Yuliia.O.Shyron@lpnu.ua*

#### INDICATORS OF EFFECTIVENESS OF SOCIO-PSYCHOLOGICAL MANAGEMENT METHODS IN PERSONNEL EVALUATION SYSTEM

*Abstract: A study has been conducted on the main methods of personnel evaluation that allow assessing the economic effectiveness of socio-psychological management methods, and they have been systematically categorized according to levels of application.*

**Keywords:** socio-psychological management methods, personnel evaluation, employee personal qualities, work performance, level of professional behavior.

*Yuliia Shiron, a graduate student at the Department of Management and International Entrepreneurship, Lviv Polytechnic National University, Lviv City. Email: Yuliia.O.Shyron@lpnu.ua.*

V.V. Kalachova  
O.M. Misiura  
D.O. Sizon  
V.M. Pylypenko  
V.O. Pavlii

## EFFECTIVE SOLUTIONS AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE CONTEXT OF TRAINING SPECIALISTS IN TECHNICAL SPECIALTIES IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF UKRAINE IN THE CONDITIONS OF MARTIAL LAW AND AFTER VICTORY

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

### **Abstract**

*The russian-Ukrainian war, which began in 2014 and turned into a large-scale aggression by the occupying forces of the russian federation after February 24, 2022, led to significant changes in the priority forms of the educational process in Educational Institutions of Ukraine. In the conditions of martial law, introduced in the country on the day of the start of the large-scale invasion, mixed and distance learning became the forms of providing educational services that, based on the active use of innovative technologies, were able to ensure a quick recovery of the educational process with minimal financial costs for its organization.*

**Keywords:** information technologies, distance learning, learning management system, informational and educational environment, augmented reality, presence effect, simulation models, 3D- models, educational simulators.

In conditions of martial law MD and MES of Ukraine began to find the ways restoration of the educational process in Educational Institutions of Ukraine. MES of Ukraine appealed to well-known global corporations and companies in the field of digital industry for charitable assistance for the rapid restoration of the educational process in the country in the conditions martial law. The result of these negotiations was: providing Google and Microsoft corporations with access to their educational software packages and supporting the processes of providing Ukrainian educators with additional devices for learning; free access to ZOOM products; reaching an agreement with the leaders of the online education market - Coursera, Udemy and edX platforms to provide free access to courses to Ukrainian students and much more. In order to successfully carry out the educational process in mixed and distance forms, Educational Institutions were recommended to use in their work the following informational technologies: learning management systems (LMS) (MOODLE, Google Workspace for Education, Microsoft Office 365 Education etc.); applications for conducting video conferences and webinars (BigBlueButton, Microsoft Teams, Google Meet etc.); electronic versions of textbooks; video-lessons from leading Ukrainian and foreign teachers; live broadcasts-streams; forums; chat rooms; simulation models of objects and processes (3-D models, flesh-animation, educational cartoons and computer educational games). The best own innovative technologies that were developed by specialists of Ukraine for training specialists in technical specialties in Higher Educational Institutions in conditions of martial law are: the informational and educational environment «DIALOG», the universal system for the development and conducting of computer tests, the complex of designing the academic schedule «CASCAD»; an interactive educational and training complex for fire training «Learn to shoot accurately» («AK74 Trainer»), complex simulator of the «Mi-8 MTB» helicopter - KNAFU; LMSs «KPI Web Class» and «CIM» - NTU(KPI); the educational video-content is based on the use of modern video technology with the effect of presence and is designed for laboratory works in technical disciplines which use complex hardware, laboratories with remote access to equipment (on-line laboratory), where students can create a project in real time and test its viability outside laboratories, many year experience in conducting on-line laboratory and practical classes, exams and

defense of bachelor's and master's qualification theses - KNURE; the special training simulators for honing the skills of shooting from anti-tank and anti-aircraft missile systems ("Fagot", "Corsair", "Stugna-P", "Igla"), simulating real combat conditions with the use of augmented reality technologies – NANGU and much more [1,2]. The use of innovative technologies is the way to our VICTORY!!!

## REFERENCES

1. Kalachova, V., Misiura, O., Shcherbinin, S. et al. (2023), Positive influence of distance learning technologies on the restoration of the educational process in Higher Educational Institutions of Ukraine in the conditions of large-scale armed aggression russian federation against Ukraine, Scientific Collection «InterConf+», No. 33(155), pp. 408-427. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023>.

2. Kalachova, V., Misiura, O., Sizon, D. et al. (2023), The role of distance learning technologies in the organization of the educational process in Higher Educational Institutions of Ukraine in the conditions of the large-scale armed aggression russian federation against Ukraine, Scientific Collection «InterConf+», No. 31(147), pp. 540-559. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.03.2023>.

**Kalachova Vironika Valeriivna** PhD in Engineering, Associate Professor, Senior Researcher, Leading Researcher of Scientific Research Department of Air Force Scientific Center, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, [vkadres@ukr.net](mailto:vkadres@ukr.net).

**Misiura Oleh Mykolayovych** PhD in Engineering, Senior Researcher, Deputy Head of Air Force Scientific Center, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, [ncps@i.ua](mailto:ncps@i.ua).

**Sizon Dimitry Oleksandrovych**, Head of Scientific Research Department of Air Force Scientific Center, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, [ssdimass80@ukr.net](mailto:ssdimass80@ukr.net).

**Pylipenko Vitalii Mykolayovych** Deputy Head of Scientific Research Department of Air Force Scientific Center, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, [pilipenko\\_v75@i.ua](mailto:pilipenko_v75@i.ua).

**Pavlii Vladyslav Oleksandrovych**, PhD in Engineering, Associate Professor, Senior Researcher of Scientific Research Department of Air Force Scientific Center, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, [ncps@i.ua](mailto:ncps@i.ua).

## ЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В КОНТЕКСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ У ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ ТА ПІСЛЯ ПЕРЕМОГИ

### Анотація

*Російсько-українська війна, яка почалася в 2014 році та перетворилася на повномасштабну агресію окупаційних військ РФ після 24 лютого 2022 року, призвела до суттєвих змін у пріоритетних формах здійснення освітнього процесу в навчальних закладах України. В умовах воєнного стану, запровадженого в країні в день початку повномасштабного вторгнення, змішане та дистанційне навчання стали тими формами надання освітніх послуг, які базуються на активному використанні інноваційних технологій, змогли забезпечити швидке відновлення навчального процесу з мінімальними фінансовими витратами на його організацію.*

**Ключові слова:** інформаційні технології, дистанційне навчання, система дистанційного навчання, інформаційно-освітнє середовище, доповнена реальність, ефект присутності, імітаційні моделі, 3D-моделі, навчальні тренажери

**Калачова Віроніка Валеріївна** канд. техн. наук, доцент, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, [vkadres@ukr.net](mailto:vkadres@ukr.net).

**Місюра Олег Миколайович** канд. техн. наук, старший науковий співробітник, заступник начальника наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, [ncps@i.ua](mailto:ncps@i.ua).

**Сізон Дмитро Олександрович** начальник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, [ssdimass80@ukr.net](mailto:ssdimass80@ukr.net).

**Пилипенко Віталій Миколайович** заступник начальника науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, [pilipenko\\_v75@i.ua](mailto:pilipenko_v75@i.ua).

**Павлій Владислав Олександрович** канд. техн. наук, доцент, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, [ncps@i.ua](mailto:ncps@i.ua).

## ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ 3D-ДРУКУ ОБ'ЄКТІВ

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури<sup>1</sup>

### Анотація

*Впровадження технологій 3D-друку у будівельну галузь не тільки пришвидшить будівництво нових та відновлення зруйнованих будівельних об'єктів, а також зменшить вартість будівництва та введе будівельну галузь на новий рівень.*

**Ключові слова:** 3D-друк, будівельна суміш, екструдер.

### Вступ

Різні сфери виробництва застосовують інноваційні будівельні технології, які направлені на поліпшення якості житла та зменшення його вартості, зведення сучасних промислових споруд. Ці технології передбачають практичне використання досягнень у IT-сфері, які забезпечують новітній напрямок у розвитку будівельних кластерів і розробці стартапів. До таких технологій відноситься 3D-друкування об'єктів різного призначення [1, 2, 3].

### Результати дослідження

Інноваційний проект 3D-друкування будівельних об'єктів пов'язаний з удосконаленням обладнання. Розроблено різні види головок 3D-принтерів: з декількома екструдерами, встановленими на різних рівнях; з рухомим середнім екструдером для укладання елементів жорсткості між зовнішніми та внутрішніми стіновими конструкціями будівель; з можливістю регулювання параметрів шарів сировини, що укладається [4]. Розроблено та виготовлено декілька 3D-принтерів мостової конструкції та екструдера з два вихідними отворами (рис.).

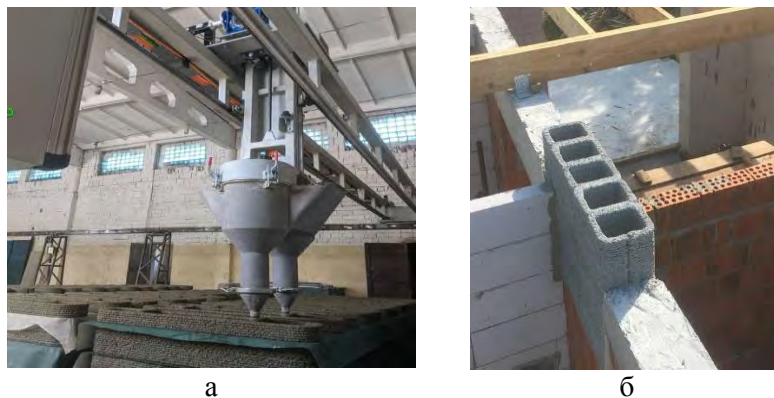


Рис. 3D-принтер конструкції ПДАБА з екструдером з двома вихідними отворами:  
а – принтер; б – надруковані будівельні вироби

У основі технології 3D-друкування лежить принцип пошарового створення твердої моделі. 3D-принтер дозволяє виводити тривимірну інформацію, тобто створювати певні фізичні об'єкти. У будівництві 3D-друкування вимагає створення технологій, матеріалів, ефективного обладнання, нормативної бази. Експлуатація 3D-принтерів конструкції ПДАБА протягом чотирьох останніх років показало доцільність широкого впровадження цієї технології у будівельну сферу, особливо для відновлення пошкодженої інфраструктури України та швидкого зведення доступного житла.

З урахуванням поточних витрат та середньої рентабельності близько 25% річний прибуток

компанії, що використовує 3D-принтер, складе 1 178 тис. грн. Строк окупності інвестицій в бізнес складе не більше 10 місяців [5].

## Висновки

Інноваційні будівельні технології, зокрема 3D-друкування об'єктів, направлені на поліпшення якості житла та зменшення його вартості, зведення сучасних промислових споруд. Ця технологія передбачає практичне використання досягнень у ІТ-сфері, яка забезпечує новітній напрямок у розвитку будівельних кластерів і розробці стартапів. Розглянуто різні типи будівельних 3D-принтерів, які мають недоліки та вимагають удосконалення. Розроблені перспективні конструкції 3D-принтерів та їх складових частин, які передбачають розширення технологічних властивостей обладнання та підвищення продуктивності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрійчук О. В., Оласюк П. Я. Застосування технології 3D-друку в будівництві. *Сучасні технології та методи розрахунку в будівництві*. 2015. Вип. 3. С. 11–18.
2. Про застосування 3D технологій у будівництві. URL: <http://www.n-zodchie.com/ua/articles/pro-zastosuvannya-3d-tehnologiy-u-budivnytstvi.html>
3. Левинская А. Стройка 3D. URL: <https://www.rbc.ru/magazine/2017/06/592567559a7947e1bb4b7>
4. Шатов С. В. Обобщение инновационных технологий 3D-печати строительных объектов для разработки стартапов / С. В. Шатов, Н. В. Савицкий, С. А Карпушин // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Вып. 99. Д.: ГВУЗ «ПГАСА», 2017, с. 194-200.
5. Шатов С. В. Еколого-економічні переваги переходу на 3D-друк будівельних об'єктів у руслі Industry 4.0 / С. В. Шатов, О. М. Маценко, Є. О. Скрипка, І. О. Даниленко // Український журнал будівництва та архітектури. – Д.: 2021. - № 1, с. 124-131.

**Шатов Сергій Васильович** - доктор техн. наук, доцент, професор кафедри будівельних і дорожніх машин, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, e-mail: [shatov.sv@ukr.net](mailto:shatov.sv@ukr.net).

**Голубченко Олександр Іванович** – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедрою будівельних і дорожніх машин, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, e-mail: [holubchenko.oleksandr@pdaba.edu.ua](mailto:holubchenko.oleksandr@pdaba.edu.ua).

**Даниленко Ігор Олегович** - студент групи БМО-21мн, факультет Інформаційних технологій та механічної інженерії, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, e-mail: [igor.danilenko.333@ukr.net](mailto:igor.danilenko.333@ukr.net).

## Equipment for 3D printing of objects

### Abstract

*The implementation of 3D printing technologies in the construction industry will not only speed up the construction of new and restoration of destroyed construction objects, but also reduce the cost of construction and bring the construction industry to a new level.*

**Keywords:** 3D printing, building mix, extruder.

**Shatov Serhiy V.** - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Prydniprovsk state academy of construction and architecture, [shatov.sv@ukr.net](mailto:shatov.sv@ukr.net).

**Golubchenko Oleksandr I.** - candidate of technical sciences, associate professor, head of the Department of Construction and Road Machinery, Prydniprovsk state academy of construction and architecture, e-mail: [holubchenko.oleksandr@pdaba.edu.ua](mailto:holubchenko.oleksandr@pdaba.edu.ua).

**Danylenko Ihor O.** - student Faculty of Information Technologies and Mechanical Engineering of Prydniprovsk state academy of construction and architecture, e-mail: [igor.danilenko.333@ukr.net](mailto:igor.danilenko.333@ukr.net).

## ОРГАНІЗАЦІЯ ТА МЕТОДИКА ПЕДАГОГІЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ВПЛИВУ ПЕДАГОГІЧНИХ УМОВ ФОРМУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ У МАЙБУТНІХ БАКАЛАВРІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГАЛУЗІ В ПРОЦЕСІ ЗМІШАНОГО НАВЧАННЯ

Вінницький національний технічний університет

**Анотація.** Пандемія та військовий стан в Україні внесли корективи в умови форм навчання, які змінювались, статистичний аналіз результатів формування математичної компетентності майбутніх бакалаврів комп'ютерної галузі в умовах змішаного навчання теж має власну специфіку щодо етапів та відповідних змін в групах, які задіяні в педагогічному експерименті. Це стосується порівняння отриманих результатів не загалом спочатку і до кінця, а поступово за семестрами, тому подальша нумерація груп відповідає семестрам.

**Ключові слова:** педагогічний експеримент, майбутні фахівці комп'ютерної галузі, змішане навчання, технічні заклади вищої освіти.

В нашому аналізі статистичних даних ми притримувалися принципів організації педагогічних досліджень, а саме: об'єктивності, виділення основних факторів, врахування об'єктивних суперечностей, що притаманні педагогічним, співвідношення досягнутого рівня з моделлю, метою, єдності дослідницького і навчально-виховного процесів.

Визначено також, що педагогічний експеримент, на відміну від інших методів, створює умови для: 1) перевірки ефективності запроваджень у навчально-виховний процес; 2) порівняння ролі та впливу різних факторів на педагогічний процес; 3) вибору оптимальних факторів для організації певних ситуацій навчання та виховання; 4) виявлення умов реалізації певних педагогічних задач; 5) виявлення специфіки та закономірностей перебігу педагогічного процесу в конкретних, у тому числі, й заданих умовах [1, с.125].

Педагогічний експеримент ми розглядаємо як метод дослідження, що дозволяє здійснювати перевірку результатів, зокрема формуванню компетентності майбутніх бакалаврів комп'ютерної галузі, що відбувається в у звичній, природній обстановці навчально-виховного процесу, яку дослідник не може принципово змінювати залученням нового фактору педагогічного впливу [2-5].

Основними вимогами щодо планування педагогічного експерименту та оптимізації досліджуваного процесу стали:

- об'єктивність дослідження процесу формування математичної компетентності майбутніх бакалаврів комп'ютерної галузі, на що впливали природні умови навчального процесу та закритий характер дослідження;
- комплексність підходу до сформованості компонентів математичної компетентності що відображають цілісне уявлення про процес формування математичної компетентності майбутніх бакалаврів комп'ютерної галузі;
- одночасне проведення контрольних зрізів в експериментальних і контрольних групах;
- «чистота» педагогічного експерименту (студенти, які є учасниками, не мають бути освідомленні, що вони беруть участь в експерименті задля того, щоб уникнути змінювання їхнього ставлення до навчання);
- обов'язкове виявлення однорідності експериментальної та контрольної груп й одного складу викладачів (якщо це можливо), що задіяні у проведенні педагогічного експерименту.

Педагогічний експеримент відбувався у 4 етапи в межах науково-дослідної теми кафедри вищої математики ВНТУ №10.КЗ «Формування базового рівня професійної компетентності у майбутніх фахівців з вищою технічною освітою»:

1) *Констатувально-діагностичний етап* де відбувалось виявлення суперечностей між вимогами освітньо-кваліфікаційних програмах навчання фахових дисциплін майбутніх бакалаврів комп'ютерної галузі та фактичним результатом сформованості складових математичної компетентності при завершенні ними курсу вищої математики, обґрунтування актуальності проблеми, уточнено й використано критерії і показники рівнів сформованості майбутнього фахівця комп'ютерної галузі, здійснено добір методики за кожним критерієм, технології «зрізу» рівня сформованості складових відповідно до визначених критеріїв та було визначено однорідні за складом експериментальні й контрольні групи.

2) *Організаційно-практичний етап* педагогічного експерименту мав за мету складання програми експерименту, забезпечення умов для її реалізації, підготовку матеріальної бази експерименту, аналіз наявного методичного забезпечення для планування нових та оновлення існуючих методів, технологій навчання вищої математики майбутніх бакалаврів комп'ютерної галузі, створення системи моніторингу для здійсненні контрольних діагностичних зрізів та корекції проміжних (поточних) результатів з метою саме формування математичної компетентності в умовах змішаного навчання.

3) *Формувальний етап*, у процесі чого відбувалась апробація розробленої структурно-змістової моделі, ядром якої стали організаційно - педагогічні умови формування математичної компетентності майбутніх бакалаврів комп'ютерної галузі в умовах змішаного навчання.

4) *Узагальнювально-впроваджувальний етап* зорієнтований на аналіз здобутих емпіричних даних, співвіднесення результатів експерименту з поставленою метою і завданнями, аналіз та формулювання висновків відповідно до кінцевих результатів, оформлення результатів дослідження та поширення і впровадження запропонованих методичних рекомендацій щодо формування математичної компетентності, на прикладі майбутніх бакалаврів комп'ютерної галузі, в процесі навчання розділів вищої математики студентів інших спеціальностей в технічних ЗВО в умовах змішаного навчання.

Однорідність експериментальних груп визначалась вибіркою з генеральної сукупності студентських груп підготовки за спеціальностями комп'ютерної галузі. За результатом вхідного рівня («0» контрольна робота з математики на перших заняттях зі студентами 1 курсу) із генеральної сукупності 2140 осіб, що взяли участь у процесі констатувально - діагностичного етапу педагогічного експерименту, нами було відібрано 574 майбутніх бакалаврів комп'ютерної галузі, а саме:

- факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації (ФПТА - «ФАКСУ»), напрями підготовки: 6.050201- «Системна інженерія» (СІ-156); 6.05202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АВ-156); спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Інтелектуальні комп'ютерні системи управління» (АКІТ-176;196;216); 122 «Комп'ютерні науки» (КН-226);

- факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії (ФІТКІ), напрями підготовки: 123 «Системне програмування» (2КІ-216; 2СП-216), 121 «Інженерія програмного забезпечення» (4ПІ-216), 125 «Безпека інформаційних і комунікаційних систем» (1БКС-216);

- факультету інформаційних електронних систем (ФІЕС - «ФАКСУ»), напрями підготовки: 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка. Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології» (МІТ-176, КІВТ-176,196,216); «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка. Комп'ютеризовані оптико-інформаційні системи» (КОІС-196,216); 6.051001 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка (МІТ-156); 6.051002 «Метрологія, стандартизація та сертифікація» (МСС-156) 6.051004 «Лазерна техніка та оптоінформатика» (ЛОТ-156, ЛТО-176).

У склад **КГ** увійшли академічні групи: ФПТА (АВ-156,176; 1,2 СІ-156; МІТ+МСС+ЛОТ-156; АКІТ-176; ЛТО+ІЯП+КІВТ-176; 4,5,6-КН-226), що склало 293 особи.

У склад **ЕГ** увійшли академічні групи: ФПТА (1,2 АКІТ-196, 216; КІВТ-196; 216; КОІС -196; 216; 1,2,3 КН - 226) та ФІТКІ (2СП- 216; 2КІ-216; 4ПІ-216; 1БКС-216; 4,5,6-КН-226), що склало 281 особу.



За результатами статистичного аналізу доведено, що відібрані з генеральної сукупності групи для формувального етапу педагогічного експерименту є однорідними за рівнями розвитку всіх складових математичної компетентності після закінчення шкільного курсу математики та здійснення бажання вступу до технічного ЗВО, що забезпечує реальні результати застосування створеної поетапної за опануванням розділів в 1 семестрі навчання, експериментальної технології формування математичної компетентності майбутніх бакалаврів комп'ютерної галузі під час змішаного навчання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гончаренко С. У. Організаційно-педагогічні дослідження: методологічні поради молодим науковцям / С. У. Гончаренко. – Київ-Вінниця : ДОВ «Вінниця», 2008. – 278 с.
2. Прозор О.П. Сачанюк-Кавецька Н.В, Клеопа І.А. Організація контролю навчальних досягнень студентів за допомогою автоматизованих систем тестування / О.П. Прозор, Н.В. Сачанюк-Кавецька, І.А. Клеопа // Фізико-математична освіта. Випуск 3(25). Ч.1. 2020 С. 87-93.
3. Петрук, В.А. Формування базового рівня професійної компетентності у майбутніх фахівців технічних спеціальностей засобами інтерактивних технологій : монографія / В. А. Петрук. — Вінниця : ВНТУ, 2011. — 285 с.
4. Петрук, В. А., Клеопа, І.А. Дистанційне навчання вищої математики студентів технічного університету. / В.А. Петрук, І.А. Клеопа //Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми: збірник наукових праць, 60, 290-299 ( 2021) ) «Б» <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2021-60-290-299>.
5. Петрук, В., Семеніхіна, О., & Сабадош, Ю. Нові підходи до статистичного аналізу результатів педагогічного експерименту./ В.А. Петрук, О.В. Семеніхіна, Ю.Г. Сабадош, //Фізико-математична освіта, 33 (1), 36-42. (2022) «Б» <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2022-033-1-006>.

*Клеопа Ірина Анатоліївна – аспірант, асистент кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, [paceka08@gmail.com](mailto:paceka08@gmail.com).*

*Петрук Віра Андріївна – професор, д.пед.н., професор кафедри вищої математики, академик АНПРЕ, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, [petruk-va@ukr.net](mailto:petruk-va@ukr.net).*

### ORGANIZATION AND METHODOLOGY OF A PEDAGOGICAL EXPERIMENT ON THE INFLUENCE OF PEDAGOGICAL CONDITIONS ON THE FORMATION OF MATHEMATICAL COMPETENCE IN FUTURE BACHELORS OF THE COMPUTER FIELD IN THE PROCESS OF BLENDED LEARNING

**Abstract.** The pandemic and the state of war in Ukraine made adjustments to the conditions of the forms of education that were changing, the statistical analysis of the results of the formation of mathematical competence of future bachelors in the computer field in the conditions of mixed education also has its own specificity regarding the stages and corresponding changes in the groups involved in the pedagogical experiment. This refers to the comparison of the obtained results not in general from the beginning to the end, but gradually by semesters, therefore the subsequent numbering of the groups corresponds to the semesters.

**Keywords:** pedagogical experiment, future specialists in the computer industry, blended learning, technical institutions of higher education.

*Klieopa Iryna Anatolievna – graduate student, assistant of the department of higher mathematics; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [paceka08@gmail.com](mailto:paceka08@gmail.com).*

*Petruk Vira Andreevna - doctor of sciences, professor of the department of higher mathematics; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [petruk-va@ukr.net](mailto:petruk-va@ukr.net).*

## ОСВІТА, ЯК РЕАБІЛІТАЦІЯ ВНУТРІШНЬО ПЕРЕСЕЛЕНИМ ОСОБАМ ТА УЧАСНИКАМ БОЙОВИХ ДІЙ В УКРАЇНІ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Роботу присвячено проблемі створення інклюзивного освітнього середовища для створення доступних умов навчання для внутрішньо переселених осіб та інвалідів учасників та потерпілих внаслідок бойових дій.*

***Ключові слова:** інклюзивна освіта, внутрішньо переселена особа, учасник бойових дій, безбар'єрне середовище, освітні цифрові технології.*

Внаслідок військової агресії та ведення бойових дій з боку Росії Україна зіткнулась із проблемою забезпечення нормальних умов життєдіяльності внутрішньо переселеним особам, які втратили свої будинки, робочі місця, доступ до основних послуг і життєвих ресурсів, та шукають безпеки в інших регіонах своєї країни. Такі люди потребують захисту, підтримки та допомоги з боку своєї власної країни. Це може включати надання безпечного житла, доступу до медичної допомоги, освіти, забезпечення засобами існування та іншими основними потребами. Причому внутрішньо переселені особи можуть потребувати захисту від дискримінації, експлуатації чи інших негативних впливів з боку суспільства. Крім того для нормальної адаптації до нових умов, внутрішньо переселені особи можуть потребувати як отримання повної спеціальної або вищої освіти, так і перекваліфікації для отримання можливості зміни сфери трудової діяльності.

Ще однією проблемою з якою зустрілась освітня галузь є навчання інвалідів учасників та потерпілих внаслідок бойових дій. В сучасних реаліях це стало важливою складовою інклюзивної освіти. Зокрема учасники бойових дій заслужили нашу повагу та підтримку через свої внески у захист країни і суспільства.

Інклюзивна освіта передбачає, що ніхто не повинен бути виключений з можливості отримувати освіту через фізичні, психічні або інші обмеження. Тож інваліди учасники та потерпілі внаслідок бойових дій, незалежно від своїх обмежень, повинні мати право на доступ до якісної освіти.

Для забезпечення ефективного навчання інвалідів учасників та потерпілих внаслідок бойових дій, необхідно враховувати їхні індивідуальні потреби та можливості. Освітні заклади повинні мати адаптоване фізичне середовище, яке дозволяє зручний доступ та переміщення для людей з фізичними обмеженнями. Також потрібно забезпечити доступ до спеціалізованих технологій та пристосувань, які полегшують навчання інвалідів та потерпілих.

Важливо мати на увазі психологічні потреби інвалідів учасників та потерпілих внаслідок бойових дій. Надання психологічної підтримки та психологічного консультування може допомогти їм подолати посттравматичний стрес та інші психологічні труднощі, що виникли внаслідок конфліктів чи воєнних дій.

Крім того, важливо залучати інвалідів учасників та потерпілих внаслідок бойових дій до соціального життя школи або університету. Створення сприятливого середовища, де вони можуть взаємодіяти з іншими студентами та отримувати підтримку спільноти, є важливим аспектом інклюзивної освіти.

Освіта є потужним інструментом реабілітації та інтеграції інвалідів учасників та потерпілих внаслідок бойових дій в суспільство. Вона допомагає їм розвивати навички, отримувати нові знання та підготовку для професійного зростання, що сприяє їхній соціальній адаптації та самореалізації.

Загальна ідея полягає в тому, щоб створити безбар'єрне навчальне середовище, де інваліди учасники та потерпілі внаслідок бойових дій можуть розкрити свій потенціал, розвиватися та досягати успіху разом з іншими здобувачами освіти.

Ключовими аспектами створення безбар'єрного середовища в освіті є:

1. Створення комфортного фізичного середовища. Навчальні заклади повинні бути доступними для людей з фізичними обмеженнями. Це означає наявність пандусів, підйомників та інших пристосувань, які полегшують рух людей з обмеженими можливостями.

2. Доступні навчальні матеріали. Навчальні посібники, підручники та інші навчальні матеріали повинні бути доступними для здобувачів освіти з різними потребами. Це може включати використання шрифтів збільшеного розміру для людей з вадами зору, аудіо- або відеоматеріали для слухової підтримки, адаптацію текстів для учнів з дислексією тощо.

3. Особливі педагогічні підходи. Викладачі повинні мати навички та знання для використання різних педагогічних підходів, які враховують потреби різних здобувачів. Це може включати індивідуалізацію навчання, диференціацію завдань, використання візуальних та аудіальних засобів навчання, а також застосування сучасних інформаційних технологій для полегшення процесу навчання.

4. Соціальна інтеграція. Важливо створити позитивне соціальне середовище, де здобувачі освіти з різними потребами можуть взаємодіяти, співпрацювати та підтримувати один одного. Це може бути досягнуто шляхом організації спільних занять, проєктів, спортивних і культурних заходів, а також шляхом поширення усвідомлення та розуміння різноманітності потреб.

5. Забезпечення професійного розвитку викладачів. Викладачі мають отримувати необхідну підготовку та підтримку для роботи зі здобувачами освіти з різними потребами. Професійний розвиток повинен включати навички адаптації навчального процесу, розуміння особливостей різних обмежень та способи підтримки здобувачів освіти у їхньому розвитку.

Великий потенціал для надання підтримки людям з особливими потребами мають цифрові технології, а саме:

1. Цифрові асистивні технології допомагають людям з обмеженими можливостями виконувати різні завдання. Наприклад, електронні читачі або програми для оптичного розпізнавання символів можуть допомогти людям з вадами зору отримувати доступ до тексту. Адаптивна клавіатура або миша можуть бути корисними для людей з фізичними обмеженнями, що ускладнюють рухи.

2. Для людей з розладами мовлення або комунікаційними обмеженнями існують спеціальні додатки та пристрої, які допомагають у висловленні своїх думок та комунікації з іншими. Це можуть бути програми з синтезом мови, додатки з символічною комунікацією або пристрої для жестової мови.

3. Електронні навчальні платформи, що надають можливості для індивідуалізованого навчання та адаптації навчального матеріалу для осіб з особливими потребами. За допомогою таких платформ здобувачі освіти можуть мати доступ до спеціальних навчальних ресурсів, виконувати завдання у своєму темпі та отримувати зворотний зв'язок.

4. Віртуальна реальність та доповнена реальність, що можуть створювати навчальні середовища з ефектом присутності, які полегшують процес навчання для учнів з особливими потребами.

Відтак створення безбар'єрного середовища в освіті – це процес, який вимагає системної підтримки та співпраці всіх учасників освітнього процесу. Важливо пам'ятати, що забезпечення рівних можливостей для всіх учасників освітнього процесу і, зокрема інвалідів учасників та потерпілих внаслідок бойових дій, сприяє створенню справедливого та інклюзивного суспільства.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Колупаєва А.А., Таранченко О.М. «Інклюзивна освіта: від основ до практики»: [монографія] / А.А. Колупаєва, О.М. Таранченко – К. : ТОВ «АТОПОЛ», 2016. – 152 с.

2. Мотуз, Т., Пасічник, Л., & Баранець, Я. (2021). Інформаційно-комунікаційні технології в інклюзивному середовищі закладу освіти. Збірник наукових праць Уманського державного

педагогічного університету, (1), 172–181.//[Електронний ресурс] Режим доступу: <http://znp.udru.edu.ua/article/view/236678>

3. Інклюзивна освіта: досвід і перспективи. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, м. Вінниця, 23 листопада 2017 р. / За заг. ред. Г.В. Давиденко. – Вінниця : ТОВ «Ніланд-ЛТД», 2018. – 197 с.

4. Будник, О. Б., Кондур, О. С., Дяків, І. Б. (2020). Цифрові технології в інклюзивній освіті: реалії, проблеми та перспективи. Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Серія: "Педагогічні науки", (3).//[Електронний ресурс] Режим доступу: <https://ped-ejournal.cdu.edu.ua/article/view/3919>

5. Інклюзія в освіті//[Електронний ресурс] Режим доступу: [https://tcpio.ipro.kubg.edu.ua/?page\\_id=48](https://tcpio.ipro.kubg.edu.ua/?page_id=48).

**Поліщук Олександр Васильович**, к. т. н., доц., доцент кафедри педагогіки безпеки та безпеки життєдіяльності, ВНТУ, e-mail: [polischuk@vntu.edu.ua](mailto:polischuk@vntu.edu.ua).

**Віштак Інна Вікторівна**, к. т. н., доц., доцент кафедри педагогіки безпеки та безпеки життєдіяльності, ВНТУ, e-mail: [innavish322@gmail.com](mailto:innavish322@gmail.com).

## EDUCATION AS REHABILITATION FOR INTERNALLY DISPLACED PERSONS AND PARTICIPANTS OF COMBAT ACTIONS IN UKRAINE

### Abstract

*The work is devoted to the problem of creating an inclusive educational environment to create accessible learning conditions for internally displaced persons and disabled participants and victims of hostilities.*

**Keywords:** *inclusive education, internally displaced person, combatant, barrier-free environment, educational digital technologies.*

**Polishchuk Oleksandr Vasyliovych**, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Safety Pedagogy and Life Safety, VNTU, e-mail: [polischuk@vntu.edu.ua](mailto:polischuk@vntu.edu.ua).

**Vishtak Inna Viktorivna**, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Safety Pedagogy and Life Safety, VNTU, e-mail: [innavish322@gmail.com](mailto:innavish322@gmail.com).

## ФОРМУВАННЯ ПОГЛЯДІВ В СУЧАСНОМУ ВИЩІ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

*Анотація.* В публікації розглянуто питання формування особистості студента у вищому навчальному закладі шляхом співпраці кафедри та особистості викладача. Розглянуте питання взаємного впливу особистості студента та особистості викладача.

*Ключові слова.* Особистість, світогляд, кафедра, викладач.

Сучасний вищий навчальний заклад формує світогляд людини. Це відбувається в процесі навчання. Скільки людина навчається, стільки вона і стикається з новими для неї знаннями, які і формують її погляди на життя.

Однією з основних складових університету є кафедра. Саме в цій назві відбивається її основна функція. Це місце з якого відбувається сприйняття всього, чому вчать. І тут дуже доречним буде торкнутись досить важливого питання, як особистість викладача. Це є етичне питання, але воно і є основою складового процесу пізнання.

Скільки разів ми вже стикались з тим, що особистість творить Історію, яка відповідно і створює світосприйняття сучасників. Так є Час, який саме і створює цю особистість, але цей час тільки висвітлює риси самої особистості. Це все безпосередньо відноситься до кафедри. Хто на ній творить, той і має відповідну кафедру. І відповідну атмосферу навчання молоді, яка створює формування її поглядів. Кафедра це не один викладач і не тільки завідувач кафедри, а це ті особистості, які і складають кафедру. Це те що формує особистість студента, а відповідно формує його погляди. При цьому погляди, як в професійному, так і в моральному плані.

Все що відбувається в процесі викладання на кафедрі завжди пов'язано з тим, хто викладає. Як саме він викладає, які приклади наводить, які висновки робить разом зі студентами. А все це безпосередньо впливає на молоде світосприйняття студентів, яке вже сформовано, але ще не остаточно. І саме в цей час є можливість закріпити як добре, так і зле. Навчіть його вивертатись і вийде, а навчіть його бути відвертим і також вийде. Слід зазначити, що вищий навчальний заклад це не є школа, де вчителі. У виш він вже приходить сформованим, як самородок діаманту (або навпаки), але всі його грані починають виблискувати саме в університеті – це огранка. І тут потрібна саме майстерність особистості викладача на кафедрі. Як кажуть – не нашкодъ.

При цьому необхідно враховувати той факт, що при шліфуванні особистості студента головне, щоб особистість викладача була ще більш сильною. Так як можлива та ситуація, коли студент має більший вплив на викладача, ніж навпаки. При цьому необхідно враховувати також той факт, що дві особистості (студента і викладача) також навчають одна одну.

**Висновки.** Кожна епоха розвитку людства була пов'язаною з освітою. І відповідно якість освіти є основою складовою формування світогляду сучасної молоді. При цьому в цьому процесі головну роль відіграє особистість викладача.

*Чухліб Віталій Леонідович*, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Комп'ютерне моделювання та інтегровані технології обробки тиском», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, [profdnepro@gmail.com](mailto:profdnepro@gmail.com)

## FORMATION OF VIEWS IN A MODERN UNIVERSITY

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

*Abstract.* The publication deals with the issue of forming a student's personality in a higher education institution through the cooperation of the department and the teacher's personality. The question of mutual influence of the student's personality and the teacher's personality is considered.

*Keywords.* Personality, outlook, department, teacher.

*Chukhlib Vitaliy*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Modeling and Integrated Forming Technologies, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, [profdnepro@gmail.com](mailto:profdnepro@gmail.com)

**В. Р. Галетинко**  
**О. І. Морозова**  
**Є. І. Фесенко**  
**К. В. Фесенко**

## **РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ НАВЧАННЯ КЕРУВАННЮ ТА МОНІТОРИНГУ БПЛА**

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

### **Анотація**

*Веб-застосунок для навчання керуванню та моніторингу безпілотними літальними апаратами (БПЛА) є інноваційним рішенням, яке надає користувачам теоретичні знання про характеристики БПЛА та дозволяє їм отримати практичний досвід у віртуальному середовищі. Цей застосунок використовує інтерактивні карти світу для симуляції роботи БПЛА, дозволяючи користувачам вивчати його функціональні можливості та вміння планувати його маршрути та режими роботи. Одним з ключових переваг цього веб-застосунку є можливість планування типу БПЛА, його радіусу дії та маршруту, а також моніторингу. Користувачі можуть експериментувати з різними варіантами БПЛА в залежності від їхнього призначення та вимог проекту.*

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, керування БПЛА, характеристики БПЛА, веб-застосунок, інтерактивні карти, симуляція роботи БПЛА.

Протягом останніх років БПЛА набули визнання як цінні і універсальні платформи для різних сфер застосування, включаючи сільське господарство, цивільну сферу та військові операції [1]. Їх все частіше використовують для нагляду за територією та патрулювання кордонів. Наразі БПЛА використовуються в основному в одиночних місіях, але злагоджена дія групи таких апаратів виявляється значно ефективнішою, оскільки дозволяє охопити більшу площу для зйомки місцевості та економить значну кількість часу [2,3].

У сучасному інформаційному суспільстві веб-застосунок є невід'ємною частиною в будь-якій сфері, він забезпечує інформаційну підтримку, функціональні можливості та багато іншого. Веб-застосунки також можуть охоплювати взаємодію із керуванням БПЛА, а саме позитивно вплинути на використання БПЛА, зробити їх більш результативними.

Розроблено веб-застосунок для навчання керуванню БПЛА на основі інтерактивних мап, який має наступний функціонал:

- можливість авторизації конкретного користувача;
- можливість керування БПЛА з відстеженням радіуса його дії у різних випадках;
- надання списку можливих для використання БПЛА з їхніми актуальними характеристиками;
- створення та збереження маршруту БПЛА на мапі;
- моніторинг БПЛА як окремого дрона так і у складі флоту безпілотників;
- можливість маркування різних відміток на мапі, наприклад, координат втраченого БПЛА або коментарів користувача.

Розроблений веб-застосунок має покращити результативність використання БПЛА. Всі операції з БПЛА виконуються в режимі реального часу за допомогою взаємодії клієнтської частини із серверною. Для розробки клієнтської частини використана мова програмування JavaScript/TypeScript, протоколи комунікації WebSocket, HTTP. Зберігання даних, комунікація із сервером, авторизація та деплой проекту реалізовані за допомогою платформи Firebase. Усі сервіси розроблено і спроектовано у відповідності до стандарту ECMAScript6 та принципів проектування SOLID. Для покращення досвіду користувача та продуктивності клієнтської частини використано React фреймворк та менеджер пакетів npm.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Different Types of Drones and Uses (2023 Full Guide). JOUAV. URL: <https://www.jouav.com/blog/drone-types.html> (дата звернення: 21.05.2023)
2. Перспективи та особливості групового використання безпілотних літальних апаратів / С.О. Бондар, Е.В. Кожохина, В.А. Боровик та інші – Control systems and computers, 2018, № 5 – С. 26-37.
3. Kharchenko, V., Kliushnikov, I., Rucinski, A., Fesenko, H., & Illiashenko, O. (2022). UAV Fleet as a Dependable Service for Smart Cities: Model-Based Assessment and Application. Smart Cities, 5(3), 1151–1178. <https://doi.org/10.3390/smartcities5030058>

*Галетинко Володимир Романович, студент 2 курсу магістратури Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, [v.haletynko@student.csn.khai.edu](mailto:v.haletynko@student.csn.khai.edu)*

*Морозова Ольга Ігорівна, д.т.н, професор, професор кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, [o.morozova@csn.khai.edu](mailto:o.morozova@csn.khai.edu)*

*Фесенко Євген Ігорович, студент 2 курсу магістратури Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, [y.fesenko@student.csn.khai.edu](mailto:y.fesenko@student.csn.khai.edu)*

*Фесенко Ксенія Володимирівна, к.т.н., доцент кафедри теорії авіаційних двигунів Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, [k.fesenko@khai.edu](mailto:k.fesenko@khai.edu)*

## DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A WEB APPLICATION FOR TRAINING IN UAV CONTROL AND MONITORING

### Abstract

*The web application for learning to control and monitor unmanned aerial vehicles (UAVs) is an innovative solution that provides users with theoretical knowledge about the characteristics of UAVs and allows them to gain practical experience in a virtual environment. This application uses interactive world maps to simulate the operation of the UAV, allowing users to learn its functionality and the ability to plan its routes and modes of operation. One of the key advantages of this web application is the ability to plan the type of UAV, its range and route, as well as monitoring. Users can experiment with different variants of UAVs depending on their purpose and project requirements.*

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, UAV control, UAV characteristics, web application, interactive maps, UAV operation simulation.

*Haletynko Volodymyr Romanovych, 2nd year master's student at the National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, [v.haletynko@student.csn.khai.edu](mailto:v.haletynko@student.csn.khai.edu)*

*Morozova Olga Ihorivna, Doctor of Science, Professor, Professor of the Department of Computer Systems, Networks and Cyber Security of the National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, [o.morozova@csn.khai.edu](mailto:o.morozova@csn.khai.edu)*

*Fesenko Yevhen Ihorovych, 2nd year master's student at the National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, [y.fesenko@student.csn.khai.edu](mailto:y.fesenko@student.csn.khai.edu)*

*Fesenko Kseniia Volodymyrivna, Ph.D., Associate Professor of the Department of Aviation Engine Theory of the National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, [k.fesenko@khai.edu](mailto:k.fesenko@khai.edu)*

*Електронне наукове видання*

**Збірник тез доповідей  
III-ї Міжнародної науково-технічної конференції  
“Перспективи розвитку машинобудування  
та транспорту – 2023”**

Матеріали подаються в авторській редакції

Підписано до видання 25.06.2023 р.  
Гарнітура Times New Roman.  
Зам. № P2023-067

Видавець та виготовлювач -  
Вінницький національний технічний університет,  
Редакційно-видавничий відділ.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Хмельницьке шосе, 95,  
м. Вінниця, 21021.  
**press.vntu.edu.ua**,  
Email: [irvc.vntu@gmail.com](mailto:irvc.vntu@gmail.com).  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.