

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ГАЛУЗЕВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ
ТОВ «АГРОПРОМИСЛОВА СУЧАСНА ПОСИЛЕНА ІЗОЛЯЦІЯ»
ТОВ «ЕЛІТДАХ»
ПАТ «БАРСЬКИЙ МАШИНОБУДІВНИЙ ЗАВОД»
ТОВ «ХАС ЛІФТ УКРАЇНА»
ТОВ «РЕМБУДМОНТАЖ-ВВС»



«ВІБРАЦІЇ В ТЕХНІЦІ ТА ТЕХНОЛОГІЯХ»

XVI Міжнародна науково-технічна конференція

Збірник тез доповідей

м. Вінниця

26–27 жовтня 2017 року

25-та річниця проведення Першої МНТК «Вібрації в техніці та технологіях»

Конференція присвячена 70-річчю від дня народження керівника наукової школи гідроімпульсного привода вібраційного і віброударного обладнання професора, д. т. н. Ісковича-Лотоцького Ростислава Дмитровича

Вінниця
ВНТУ
2017

Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/463>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>

УДК 621.9; 62-8; 62-93; 624.1; 004.942; 62-3

B41

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 12 від 28.09.2017 р.)

Рецензенти:

Л. Г. Козлов, доктор технічних наук, професор

І. В. Севостьянов, доктор технічних наук, професор

Н. Р. Веселовська, доктор технічних наук, професор

B41 «Вібрації в техніці та технологіях» XVI Міжнародна науково-технічна конференція 26–27 жовтня 2017 р. : збірник тез доповідей. – Вінниця : ВНТУ, 2017 – 182 с.

ISBN 978-966-641-708-7

До збірника матеріалів конференції включено тези представлених доповідей, які стосуються проблем вібраційного та віброударного обладнання, систем керування та елементів приводів вібраційного та віброударного обладнання, використання вібрацій в технологічних процесах, динаміки, міцності та надійності вібраційних та віброударних машин, САПР та комп'ютерного моделювання у вібраційних та віброударних системах, використання вібрацій в технологічних процесах.

Збірник призначений для широкого кола науковців та спеціалістів, працюючих в галузі теоретичних досліджень та практичного застосування вібрацій в техніці та технологіях. Збірник буде корисним викладачам, аспірантам та студентам технічних вищих навчальних закладів.

УДК 621.9; 62-8; 62-93; 624.1; 004.942; 62-3

ISBN 978-966-641-708-7

© ВНТУ, 2017

Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/463>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова програмного комітету:

Грабко В. В. – д-р. техн. наук, професор, ректор ВНТУ.

Заступники голови програмного комітету:

Іскович-Лотоцький Р. Д., д-р. техн. наук, професор ВНТУ;

Павлов С. В. д-р. техн. наук, професор, проректор ВНТУ.

Члени програмного комітету:

- Афтаназів І. С. – д-р. техн. наук (м. Львів);*
Бобир М. І. – д-р. техн. наук, професор (м. Київ);
Богомолів О. В. – д-р. техн. наук, професор (м. Харків);
Веселовська Н. Р. – д-р. техн. наук, професор (м. Вінниця);
Внуков Ю. М. – д-р. техн. наук, професор (м. Запоріжжя);
Гордєєв А. І. – д-р. техн. наук, професор (м. Хмельницький);
Грабченко А. І. – д-р. техн. наук, професор (м. Харків);
Грицай І. Є. – д-р. техн. наук, професор (м. Львів);
Дащенко О. Ф. – д-р. техн. наук, професор (м. Одеса);
Дудніков А. А. – д-р. техн. наук, професор (м. Полтава);
Зав'ялов В. Л. – д-р. техн. наук, професор (м. Київ);
Зінковський А. П. – д-р. техн. наук, професор (м. Київ);
Костогриз С. Г. – д-р. техн. наук, професор (м. Хмельницький);
Кузьо І. В. – д-р. техн. наук, професор (м. Львів);
Ланець А. С. – д-р. техн. наук, професор (м. Львів);
Ловейкін В. С. – д-р. техн. наук, професор (м. Київ);
Лур'є З. Я. – д-р. техн. наук, професор (м. Харків);
Луців І. В. – д-р. техн. наук, професор (м. Тернопіль);
Надутий В. П. – д-р. техн. наук, професор (м. Дніпро);
Назаренко І. І. – д-р. техн. наук, професор (м. Київ);
Огородніков В. А. – д-р. техн. наук, професор (м. Вінниця);
Олександренко В. П. – д-р. техн. наук, професор (м. Хмельницький);
Павленко І. І. – д-р. техн. наук, професор (м. Кропивницький);
Паламарчук І. П. – д-р. техн. наук, професор (м. Київ);
Панченко А. І. – д-р. техн. наук, професор (м. Мелітополь);
Полонський Л. Г. – д-р. техн. наук, професор (м. Житомир);
Рей Р. І. – д-р. техн. наук, професор (м. Кременчук);
Ремарчук М. П. – д-р. техн. наук, професор (м. Харків);
Рудь В. Д. – д-р. техн. наук, професор (м. Луцьк);
Саленко О. Ф. – д-р. техн. наук, професор (м. Кременчук);
Сокіл Б. І. – д-р. техн. наук, професор (м. Львів);
Струтинський В. Б. – д-р. техн. наук, професор (м. Київ);
Тіхенко В. М. – д-р. техн. наук, професор (м. Одеса);
Тонконогий В. М. – д-р. техн. наук, професор (м. Одеса);

- Філімоніхін Г. Б.** – д-р. техн. наук, професор (м. Кропивницький);
Франчук В. П. – д-р. техн. наук, професор (м. Дніпро);
Шатохін В. М. – д-р. техн. наук, професор (м. Харків);
Ярошевич М. П. – д-р. техн. наук, професор (м. Луцьк);
Яхно О. М. – д-р. техн. наук, професор (м. Київ);
Бабічев А. П. – д-р. техн. наук, професор (м. Ростов-на-Дону, РФ);
Блехман І. І. – д-р. техн. наук, професор (РФ);
Бубуліс Алжимантас (Algimantas Bubulis) – д-р. техн. наук, професор (м. Рига, Латвія).
Бурек Ян (Jan Burek) – д-р техн. наук, професор (м. Жешув, Польща).
Карл-Хайнц Норман – професор (м. Цвіккау, Німеччина).
Копилов Ю. Д. – д-р. техн. наук, професор (м. Воронеж, РФ);
Лисов О. А. – д-р. техн. наук, професор, декан ПДУ (м. Полоцьк, Білорусь).
Серга Г. В. – д-р. техн. наук, професор (м. Краснодар, РФ);
Харченко Є.В. – д-р. техн. наук, професор (м. Ольштин, Польща).

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова організаційного комітету:

Іскович-Лотоцький Р. Д., д-р. техн. наук, професор, ВНТУ.

Заступники голови організаційного комітету:

- Богачук В. В.** – к.т.н., доцент ВНТУ;
Коц І. В. – к.т.н., професор ВНТУ;
Обертюх Р. Р. – к.т.н., професор ВНТУ;
Поліщук Л. К. – д.т.н., професор ВНТУ;
Севостьянов І. В. – д.т.н., професор ВНТУ.

Вчений секретар організаційного комітету:

Іванчук Я. В. – к.т.н., доцент ВНТУ.

Члени організаційного комітету:

- Булига Ю. В.** – к.т.н., доцент ВНТУ;
Івашко Є. І. – ст. лаборант ВНТУ;
Манжілевський О. Д. – к.т.н., доцент ВНТУ;
Міськов В. П. – к.т.н. – ст. викладач ВНТУ;
Слабкий А. В. – к.т.н., доцент ВНТУ.

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

ПАТОН Б. Е., ЛЕБЕДЕВ В. А., ЖУК Г. В., ДРАГАН С. В. Механические импульсные и вибрационные воздействия в оборудовании и технологиях механизированной сварки и наплавки.....	10
НАЗАРЕНКО І. І., РУЧИНСЬКИЙ М. М., СВИДЕРСЬКИЙ А. Т. Створення енергоефективних вібротехнічних будівельних машин.....	17
ТАЛАНЧУК П. М., СТРУТИНСЬКИЙ В. Б. Основні напрямки діяльності Академії інженерних наук України та перспективи її розвитку.....	18
КУЗЬО І. В. Львівська політехніка і прикладна механіка. Історія і сьогодення.....	19
ЛАНЕЦЬ О. С. Передумови та принципи створення вібраційного технологічного обладнання у Науковій школі ім. професора В. О. Повідайла.....	21
СЕРГА Г. В., МАРЧЕНКО А. Ю. Винтовые роторы, винтовые барабаны, винтовые решета-генераторы колебаний больших амплитуд в рабочих органах вибрационных машин.....	23
САЛЕНКО О. Ф. Новые возможности 3-D печати препрегов композиционных заготовок многокомпонентной нитью для деталей, работающих в экстремальных условиях.....	25
ДМИТРИЄВ Д. О., РУСАНОВ С. А., ФЕДОРЧУК Д. Д. Методологія синтезу нового технологічного обладнання каркасних компоновок за критеріями точності, жорсткості і функціональності.....	26

СЕКЦІЯ 1.

«ВИКОРИСТАННЯ ВІБРАЦІЙ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ»

ГАНЗЮК А. Л., ОЛЕКСАНДРЕНКО В. П. Вплив вібраційного навантаження на номінально-нерухомі з'єднання та еволюційна модель фретинг-корозії із впливом зовнішнього середовища.....	29
ПАЛАМАРЧУК І. П. Технологічно-конструктивні аспекти застосування віброконвеєрних систем у процесах тепломасообмінної обробки сипких мас.....	31
ПЕЛЕХ М. П., ВЕРХОЛА І. І. Віброоб'ємна обробка з можливістю її інтенсифікації шляхом поєднання з іншими технологічними методами.....	33
ЛУЦІВ І. В., СТАХУРСЬКИЙ О. О., РЕМЗОВИЧ О. С. Вібраційні навантаження при обробці електромагнітними багаторізовими головками.....	35
САМОЙЧУК К. О., ПАЛЯНИЧКА Н. О., ВЕРХОЛАНЦЕВА В. О., ЛЕВЧЕНКО Л. В. Перспективи використання вібраційних гомогенізаторів молока.....	36
ІСКОВИЧ-ЛОТОЦЬКИЙ Р. Д., ІВАНЧУК Я. В., ПАВЛЕНКО Я. В. Підвищення ефективності розвантаження навалочних вантажів на транспортних засобах.....	38
АДЛЕР О. О., ПОЛІЩУК Л. К. Проблеми інноваційного розвитку машинобудування.....	39
ЛЕБЕДЕВ В. И., СИМУТЕНКОВ И. В., ДРАГАН С. В., ЖУК Г. В., НОВИКОВ С. В. Автоматическая наплавка под флюсом с поперечной высокочастотной вибрацией электродной проволоки.....	40
ІСКОВИЧ-ЛОТОЦЬКИЙ Р. Д., МІСЬКОВ В. П. Можливі напрями подальшого використання гідроімпульсного привода з електрогідравлічною системою керування в сучасному виробництві.....	43
КЕБКО О. В. Дослідження електричних властивостей олив та робочих рідин будівельних машин.....	44

РУДЬ В. Д., САВЮК І. В., САМЧУК Л. М., ПОВСТЯНА Ю. С. Дослідження ступеня подрібнення окалини сталі у барабанних млинах.....	45
БЕРНИК І. М. Дослідження робочого процесу взаємодії акустичного апарату із технологічним середовищем...	47
РУДЬ В. Д., ХРИСТИНЕЦЬ Н. А. Кінетика підйому часток сапоніту в сипкому середовищі під дією вібрації.....	49
ДЕЙНЕКА К. Ю., НАУМЕНКО Ю. В. Вплив ступеня заповнення обертової камери на автоколювання зернистого завантаження.....	50
ФРАНЧУК В. П., ФЕДОСКИНА О. В., КУЗБАКОВ Ж. И. Предпосылки использования виброщёковых дробилок в технологическом процессе разделки слитков ферросплавов.....	53

СЕКЦІЯ 2.

«ВІБРАЦІЙНЕ ТА ВІБРОУДАРНЕ ОБЛАДНАННЯ»

ГОРДЕЄВ А. І. Вібраційна машина для мийки радіотехнічних виробів.....	55
АФТАНАЗІВ І. С., ТОПЧІЙ В. І., ШЕВЧУК Л. І., СТРОГАН О. І. Пристрій для зміцнення торсіонних валів та циліндричних довгомірних деталей.....	56
ВРУБЛЕВСЬКИЙ І. Й. Підвищення продуктивності вібраційних транспортних пристроїв з електромагнітним приводом для подачі масивних вантажів.....	58
ДЫРДА В. И., ЧЕРНИЙ А. А. Исследование температурной устойчивости резиновых виброамортизаторов вибрационных горных питателей.....	60
ШОЛОВІЙ Ю. П., МАГЕРУС Н. І. Вплив параметрів коливань віброруднища на ефективність роботи розвантажувальної лунки бункера.....	65
СЕВОСТЬЯНОВ І. В., ЛУЦИК В. Л. Аналіз способів та обладнання для зневоднення відходів харчових виробництв.....	67
ОБЕРТЮХ Р. Р., СЛАБКІЙ А. В. Пристрої для вібраційного різання та деформаційного зміцнення з пружними елементами високої жорсткості.....	68
ЛЕБЕДЕВ В. А., СИМУТЕНКОВ И. В., ДРАГАН С. В., ЖУК Г. В., НОВИКОВ С. В. Устройство для автоматической наплавки под флюсом с вибрационным воздействием на электродную проволоку.....	71
БУЛИГА Ю. В., ПАРИЙЧУК Б. М. Пристрій для спалювання сипучих відходів у затисненому шарі.....	73
ШАТОХИН В. М. О выборе параметров дебалансных вибрационных аппаратов с эксцентриковым ротором и асинхронным электроприводом.....	74
ОРИЩЕНКО С. В., МАЦЮК Б. Г. Визначення раціональних параметрів віброударного грохота.....	76
НАЗАРЕНКО І. І., МІЩУК Є. О. Дослідження параметрів та режимів роботи віброробарки.....	78
ГОРБАЙ О.З., ДІВЕЄВ Б. М., ДОРОШ І. М., ЧЕРЧИК Г. Т. Оптимізація різного типу динамічних гасників коливань.....	80
ЛЕБЕДЕВ В. А., НОВИКОВ С. В., ЖУК Г. В. Расчёт скорости наплавки в условиях аддитивного воздействия колебания сварочного инструмента и вибрации сварочной ванны.....	81
ФРАНЧУК В. П., ФЕДОСКИН В. О., ЕРИСОВ М. М., КОНРИЛЕНКО К. И. Повышение эффективности работы вибротранспортёра сушильной установки.....	85
РЕМАРЧУК М. П., ЗАДОРОЖНИЙ А. О., ЧМУЖ Я. В. Вплив вібрації на працездатність машин з поступальним і обертовим рухом їх механізмів.....	86

СЕКЦІЯ 3.

**«СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ЕЛЕМЕНТИ ПРИВОДІВ ВІБРАЦІЙНОГО
ТА ВІБРОУДАРНОГО ОБЛАДНАННЯ»**

БОРОВЕЦЬ В. М., САВЧИН Б. М., ШЕНБОР В., С., БОРОВЕЦЬ Я. В. Автоматизація процесу оброблення у вібраційних машинах торгового типу.....	88
ШЕНБОР В. С., БОРОВЕЦЬ В. М., КОРЕНДІЙ В. М., БРУСЕНЦОВ В. Г. Про деякі особливості прикладного оптимального проектування вібраційних трубчастих транспортерів з електромагнітним приводом.....	90
ЗАХАРОВ В. М., КОРЕНДІЙ В. М., ГАВРИЛЬЧЕНКО О. В. Аналіз конструктивних особливостей та розрахунок пружної системи вібровикінчувального верстата.....	92
ШЕНБОР В. С., БОРОВЕЦЬ В. М., КОРЕНДІЙ В. М., ШЕНБОР Ю. В. Удосконалення тримасних вібраційних транспортно-маніпулюючих модулів.....	95
ДІВЕСЬ Б. М., КЕРНИЦЬКИЙ І. С., КОТІВ М. В., ПЛЕХ Я. М. Напівактивні динамічні гасники коливань для вібронавантажених споруд.....	97
МАНЖІЛЕВСЬКИЙ О. Д. Розробка гідравлічного приводу вібраційних ножиць.....	99
ШЕВЧЕНКО О. В., ЛІЩІНЕР-ІВАЩЕНКО О. В. Ефективне гасіння коливань різального інструменту при токарній обробці.....	101
НОВІК М. А., ЮРЧИШИН О. Я., ІВАЩЕНКО М. В. Свердловинні пневмогідравлічні генератори імпульсної дії.....	103
ПОЛЩУК Л. К., ШОНТКЕВИЧ О. В. Дослідження динамічної стійкості адаптивного приводу конвеєра.....	104
ПОБЕРЕЖНИЙ М. І., ОГОРОДНІКОВ В. А., КОЦ І. В. Использование гидростатических опор в вибрационных стендах.....	106
КОЗЛОВ Л. Г. Механотронний гідропривод маніпулятора з адаптивним гасителем коливань на основі нечіткої логіки.....	107
СТРУТИНСЬКИЙ С. В. Підвищення вібростійкості аеростатичних сферичних шарнірів використанням газорідних робочих середовищ.....	108
ПІВЕНЬ М. В. Дослідження процесу завантаження робочої поверхні віброрешета.....	109
ВОЙТОВИЧ М. І., КОВАЛЬЧУК Р. А., ЛІЩІНСЬКА Х. І. До питання дослідження вібрацій ротора турбогенератора у випадку локальних перегрівів.....	111
КОБИЛЯНСЬКИЙ Є. О., ВІШТАК І. В. Удосконалення мікропроцесорної системи керування технологічною лінією обробки листового металу.....	112

СЕКЦІЯ 4.

**«ДИНАМІКА, МІЦНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ВІБРАЦІЙНИХ
ТА ВІБРОУДАРНИХ МАШИН»**

БОЛІЙ Б. Г. Теоретичні дослідження робочого процесу віброформування об'ємних елементів.....	114
ЕЛИСЕЕВ В. И., ТОЛСТОПЯТ А. П., ФЛЕЕР Л. А., ШЕВЧЕНКО А. Ф., ШЕВЧЕНКО С. А. Колебания цилиндрического сосуда с жидкостью.....	115
РАХМАНОВ С. Р. Особенности формирования динамики замкнутой силовой линии прошивного стана трубопрокатного агрегата.....	117
СТРУТИНСЬКИЙ В. Б., КОВАЛЬОВ П. В. Хвильові вібраційні процеси, що виникають в стрижневій несучій системі мобільного верстата-робота з паралельними кінематичними зв'язками.....	121

КОЦ І. В.

Моделювання робочих процесів автоматичного керівного органу – імпульсного клапана у гідроприводах технологічних машин вібраційної та ударно-вібраційної дії..... 122

ГУРСЬКИЙ В. М., КУЗЬО І. В.

Синтез та експериментальні дослідження резонансних вібраційних систем..... 124

ЗАХАРОВ В. М., КОРЕНДІЙ В. М., ГАВРИЛЬЧЕНКО О. В., ШПАК Я. В.

Обґрунтування структурно-розрахункових схем коливальних систем вібровикінчувальних верстатів..... 126

ЯРОШЕВИЧ М. П., ЗАБРОДЕЦЬ І. П., ЯРОШЕВИЧ Т. С.

Динаміка вібромашин з інерційним приводом з урахуванням його пружності..... 128

ДЕМ'ЯНЕНКО А. Г.

Динамічна дія рухомого навантаження на пружні об'єкти – деякі особливості, аналогії математичних моделей та методи їх дослідження..... 130

КОЗЯР М. М., ВОЙТОВИЧ Л. В., СЕРІЛКО Л. С., ЩУРИК В. О.

Дослідження динаміки вільноролікової центрифуги для формування залізобетонних трубчастих виробів при радіальному зміщенні напівформ..... 131

ПЕТРОВ О. В., КОЗЛОВ Л. Г., РЯБИЙ С. О.

Динаміка гідроприводу, чутливого до навантаження, з урахуванням хвильових процесів у робочій гідролінії..... 133

ГЕЛЕТІЙ В. М., НОВИЦЬКИЙ Я. М., КИЙ А. В.

Динамічні моделі транспортуючих канатних систем з активацією коливань для підвищення ефективності технологічних операцій..... 134

ОБЕРТЮХ Р. Р., МАРУЩАК М. В.

Динамічна та математична моделі гідроімпульсного пристрою для деформаційного зміцнення матеріалів..... 136

АРХИПОВА Т. Ф.

Влияние анизотропии механических характеристик при разрушении..... 137

КОЗЯР М. М., ЗІНЬ І. В., СЕРІЛКО Л. С., ЩУРИК В. О.

Аналітичне визначення власних частот згинних коливань в рамі вібраційно-ножового робочого органу шнекороторного каналокочача..... 139

ТОВКАЧ А. О.

Зменшення коливальності мехатронного гідропривода з насосом змінного робочого об'єму..... 141

ХАРЧЕНКО С. О.

Дослідження довговічності віброрешіт при інтенсифікації процесів просіювання зернових сумішей..... 143

СЕКЦІЯ 5.

«САПР ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У ВІБРАЦІЙНИХ ТА ВІБРОУДАРНИХ СИСТЕМАХ»

ДЕДОВ О. П.

Моделювання напружено-деформованого стану металоконструкцій плоских робочих органів при динамічному навантаженні..... 146

ІСКОВИЧ-ЛОТОЦЬКИЙ Р. Д., ІВАНЧУК Я. В., ІВАШКО Є. І.

Моделювання робочих процесів гідроімпульсного привода навісного обладнання для зондування ґрунтів..... 147

ЗЕЛІНСЬКА О. В.

Інформаційні технології в проектуванні складних систем..... 149

МАРТИНЕНКО Г. Ю., МАРУСЕНКО О. М.

Особливості розрахунків роторної динаміки за допомогою стандартних програмних засобів..... 150

ЛИТВИН О. В., ГАВРУШКЕВИЧ Н. В.

Прогресивні методи оцінки жорсткості системи затискний патрон–заготовка..... 153

ДРАЧ І. В., РОЙЗМАН В. П.

Моделювання роботи рідинного автобалансуючого пристрою. Суть явища пасивного автобалансування ротора..... 154

ЗАБОЛОТНИЙ К. С., ЖУПІЄВ А. Л., КОСЕНКО Ю. А. Разработка методики поверочных расчётов дисковых затворов с использованием пакетов SolidWorks Flow Simulation и Solidworks Simulation.....	155
НЕМЧИНОВ С. І. Дослідження напружено-деформованого стану рами гідравлічного пресу поверхового.....	157
ДЕРІБО О. В., ДУСАНЮК Ж. П., РЕПІНСЬКИЙ С. В., ГОРАЛЬ М. В. Імітаційне дослідження динаміки електрогідравлічного слідкувального приводу пристрою для обкочування вісенесиметричних заготовок.....	158
ВЕСЕЛОВСЬКА Н. Р., ЯРЕМЧУК О. А. Оцінка рівня впливу зношування фрез на чистоту оброблюваних поверхонь.....	160
ПОЛЩУК Л. К., ХАРЧЕНКО Є. В. Математична модель нестационарних коливань стріли буртоукладника в процесі завантаження.....	161
НІКІТИНА Г. О., ТАРАСЮК Ю. В., ХМЕЛЬОВСЬКИЙ М. С. Система вібродіагностики стану циліндрів двигунів внутрішнього згорання.....	163
ЗАБОЛОТНИЙ К. С., ЖУПІЄВ О. Л., МОЛОДЧЕНКО А. В. Разработка модели контактного взаимодействия колодочного тормоза с барабаном шахтной подъемной машины.....	165
КОВАЛЬЧУК Р. А., ВОЙТОВИЧ М. І., БЛАШ О. В. Нестационарні процеси у вантажопідіймальних стрілових кранах.....	167
ЗАБОЛОТНИЙ К. С., ПАНЧЕНКО Е. В., ЖУПІЄВ О. Л. Разработка математической модели переставного устройства барабанов шахтных подъемных машин.....	168
ІСКОВИЧ-ЛОТОЦЬКИЙ Р. Д., ІВАНЧУК Я. В., ВЕСЕЛОВСЬКИЙ Я. П. Моделювання робочих процесів гідроімпульсного приводу з однокаскадним клапаном пульсатором.....	170
МОСКАЛЬОВА Т. В. Скінченоелементна модель шахтної підйомної установки для аналізу коливань струни каната.....	172
ПОЛУШИНА М. В. Динамическая модель подъемной установки со шкивами трения и бобинным уравновешивающим устройством в режиме предохранительного торможения.....	174
СОКІЛ Б. І., СЕНИК А. П., СОКІЛ М. Б. Математичні моделі динаміки сипких середовищ та аналітичні методи їх дослідження.....	176
Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович	177
СПОНСОРИ XVI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «ВІБРАЦІЇ В ТЕХНІЦІ ТА ТЕХНОЛОГІЯХ»	178

УДК 621.791.03

Патон Б. Е., Лебедев В. А., Жук Г. В., Драган С. В.

**МЕХАНИЧЕСКИЕ ИМПУЛЬСНЫЕ И ВИБРАЦИОННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ
В ОБОРУДОВАНИИ И ТЕХНОЛОГИЯХ
МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ**

В статье систематизирован и проанализирован ряд способов и устройств для их реализации при решении задачи совершенствования дуговой механизированной сварки и наплавки за счёт импульсных и вибрационных воздействий.

Выделены основные направления разработок для создания систем и механизмов для виброимпульсных воздействий: в конструкции механизированного оборудования; в конструкциях механизмов перемещения изделия.

Рассмотрены эффекты, получаемые при импульсных и вибрационных воздействиях и определяющих качество сварного соединения или наплавленного слоя.

Приведен ряд примеров реализации технических средств и технологий виброимпульсных воздействий

Ключевые слова: механизированное оборудование проволока, подача, перенос, электрод, механизм подачи, импульс, вибрации, параметры, технология, формирование шва, регулирование.

**МЕХАНІЧНІ ІМПУЛЬСНІ І ВІБРАЦІЙНІ ВПЛИВИ В ОБЛАДНАННІ
ТА ТЕХНОЛОГІЯХ МЕХАНІЗОВАНОГО ЗВАРЮВАННЯ І НАПЛАВЛЕННЯ**

У статті систематизовано та проаналізовано ряд способів і пристроїв для їх реалізації під час вирішення завдання вдосконалення дугової механізованої зварки і наплавлення за рахунок імпульсних і вібраційних впливів.

Виділено основні напрямки розробок для створення систем і механізмів для віброімпульсних впливів: в конструкції механізованого обладнання; в конструкціях механізмів переміщення виробів.

Розглянуто ефекти, одержувані при імпульсних і вібраційних впливах і які визначають якість зварного з'єднання або наплавленого шару.

Наведено ряд прикладів реалізації технічних засобів і технологій віброімпульсних впливів

Ключові слова: механізоване обладнання, дріт, подача, перенесення, электрод, механізм подачі, імпульс, вібрації, параметри, технологія, формування шва, регулювання

**MECHANICAL PULSED AND VIBRATIONAL IMPACT IN EQUIPMENT
AND TECHNOLOGIES MECHANIZED WELDING AND SURFACING**

The article systematized and analyzed a number of methods and devices for their implementation in solving the problem of improving arc mechanized welding and surfacing due to impulsive and vibrational influences.

The main directions of development for the creation of systems and mechanisms for vibrating impulses are identified: in the design of mechanized equipment; in the construction of the mechanisms of moving the product.

The effects obtained with pulsed and vibrating influences and determining the quality of the welded joint or the welded layer are considered.

A number of examples of the implementation of technical means and technologies of vibration impulse actions

Keywords: mechanized equipment wire, feed, transfer, electrode, feed mechanism, impulse, vibrations, parameters, technology, formation of seam, regulation.

В настоящее время сварка – преимущественный способ получения качественного неразъемного соединения материалов. Механизированная дуговая сварка и наплавка являются одними из наиболее распространённых видов соединения, упрочнения и восстановления различных конструкций, следовательно, совершенствование оборудования и технологий для их более эффективного применения, в частности для повышения качественных результатов процесса, их производительности, а также расширение сфер применения, является актуальной, технологически и экономически обоснованной задачей. При этом ещё одной задачей, постоянно требующей решения со всё более высокой результативностью, является задача повышения показателей энерго и ресурсосбережения [1,2].

Целью настоящей работы является анализ одного из самых перспективных направлений совершенствования механизированного оборудования для сварки и наплавки сплошными и порошковыми электродными проволоками – использование импульсных и вибрационных воздействий со стороны систем оборудования и вибрационных

влиятельный со стороны конструкции, которую сваривают или наплавляют, а также поиск способов дальнейшего развития этих направлений.

Существует в настоящее время несколько способов получения и применения импульсных и вибрационных воздействий при разработке систем механизированного дугового оборудования и их реализации в технологиях сварки – наплавки, которые укрупнено представлены в табл. 1

Таблица 1



Целенаправленное импульсное воздействие на дуговой процесс, производимое от источника сварочного тока по определённым алгоритмам наиболее применимо в настоящее время и оказывает два основных воздействия:

- управляет переносом электродного металла, путём отрыва его капли и транспортирования в сварочную ванну как основное воздействие;
- вибрационные колебания ванны расплавленного металла как сопутствующее воздействие вследствие электродинамических сил.

Использование современных конструкций источников сварочного тока (инверторы) с различными импульсными алгоритмами, в том числе синергетическими уже получило широкое распространение [3].

Менее известны и поэтому ещё недостаточно распространены различные способы механических импульсных и вибрационных воздействий в технике и технологии дуговой механизированной сварки, хотя в этих направлениях созданы весьма эффективные технические средства.

Система подачи электродной проволоки сварочного или наплавочного полуавтомата и автомата – это тот объект, который, будучи оснащён системой подачи или колебаний позволяет в значительной степени улучшить качество сварного шва или наплавленного валика, снизить энерго и ресурсо затраты, обеспечить процесс в различных пространственных положениях и др.

Одним из наиболее ранних процессов, используемых при дуговой упрочняющей и восстанавливающей наплавке (в основном тела вращения) является вибродуговой процесс [4], при реализации которого сварочная горелка с электродной проволокой колеблется с частотой порядка 50...100 Гц вдоль оси подачи проволоки. Способ весьма эффективен, так как обеспечивает хорошие механические свойства изделия, но может быть применён только в стационарных условиях – в составе наплавочных станков и установок.

В настоящее время развиваются способы сварки с импульсной подачей электродной проволоки, при которых проволока подаётся импульсами, т.е. ускорение движения направлено вдоль оси подачи. Существует достаточно большое число способов и устройств, обеспечивающих такой характер перемещения электродной проволоки в зону горения дуги – от жёстко заданных механическими преобразователями параметров импульсов [5] до управляемых и, в последнее с синергетическим управлением, использующих обратные связи по энергетическим характеристикам сварочного процесса – ток и напряжение дуги [6].

Импульсная подача электродной проволоки с управляемыми параметрами движения является в настоящее время одним из наиболее перспективных средств повышения эффективности при механизированной дуговой сварке и наплавке в различных пространственных положениях и разных средах, например при подводной сварке мокрым способом. При сварке-наплавке с импульсной подачи электродной проволоки с короткими замыканиями достигается существенная экономия электроэнергии. Этот процесс позволяет управлять формой сварного соединения и наплавленным слоем, существенно повысить механические свойства сваренной или наплавленной конструкции из сталей и сплавов алюминия, снизить толщины металла, который сваривается, обеспечив качественное формирование шва без прожогов [7]. Получаемые результаты являются следствием управляемого переноса электродного металла с заданными характеристиками переносимых капель, а также вибрационному воздействию процесса переноса на

жидкий металл, позволяющий дегазировать ванну, обеспечить удаление неметаллических соединений и тем самым повысить эксплуатационные свойства сварного шва или наплавленного слоя.

На рис.1 представлены сравнительные результаты обычного процесса и сварки с синергетической подачей электродной проволоки – наиболее проблемного валика, выполняемого в горизонтальном положении на вертикальной плоскости порошковой самозащитной электродной проволокой диаметром 1,6 мм на токах 200...220 А.

Следует отметить, что с использованием способа сварки-наплавки достигаются хорошие результаты выполнения работ в потолочном положении.

На рис. 2 показаны возможности сварки с управляемой импульсной подачей конструкций из тонколистовых алюминиевых сплавов толщиной 0,9 мм электродной проволокой диаметром 1,0 мм на токах 25...35 А. Полученный результат практически не отличается по качеству и свойствам от сварки неплавящимся электродом, но по производительности превосходит последнюю в 1,5...2,0 раза.

Следует заметить, что при многослойной сварке конструкций из толстолистового алюминия (сварка с несколькими проходами), использование импульсной подачи электродной проволоки и вызываемые ею вибрационные колебания жидкого металла способствуют всплыванию окисных плёнок алюминия, тем самым обеспечивая получение плотного соединения с минимально возможным количеством пор.

Импульсная подача обычно осуществляется с частотами в диапазоне 20...60 Гц с шагами 1,0...4,0 мм и в управляемом варианте с изменяемой скважностью следования импульсов, регулированием формы и направления движения (импульс с частичным реверсированием направления движения).

Импульсное движение может быть получено с применением электродвигателей и преобразователей вращательного движения вала в прямолинейную импульсную подачу электродной проволоки на основе различных конструкций механизмов и систем от простейших до весьма совершенных с регулированием характеристик подачи. Следует особо отметить класс механизмов импульсной подачи, когда проволока вибрирует в поперечном положении, это движение используют для организации её импульсного прямолинейного движения [8]. Естественно большинство этих механизмов и систем имеют ощутимую вибрацию, что негативно сказывается на сроках работы оборудования. При разработке и применении систем с механическим преобразованием энергии решается задача их балансировки [9], что, в итоге, сказывается на габаритах и массе механизма, а также на соответствующем оборудовании с увеличением его манёвренности и расширением зоны обслуживания.



Рис. 1. Фрагменты валиков наплавленных в горизонтальном положении на вертикальной плоскости: 1,2,3,4,10 – использование дозированной подачи электродной проволоки; 5,6,7,8,9 – традиционный способ подачи

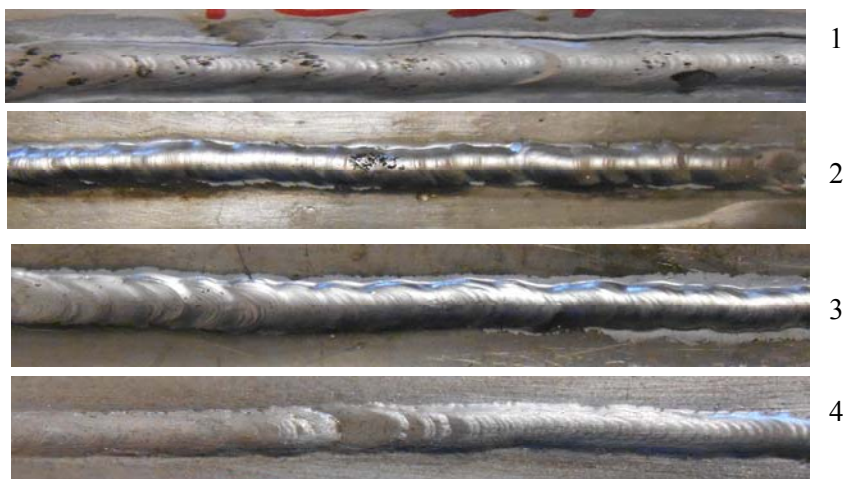


Рис. 2. Фрагменты валиков на тонколистовых металлоконструкциях, наплавленных полуавтоматом и автоматом: 1 – валик, полученный при сварке с управляемой импульсной подачей электродной проволоки; 2, 3 (стыковой шов) 4 (автоматический режим) – валики, полученные при дозированной подаче электродной проволоки

Новой разработкой последнего времени является механизм импульсной подачи на основе безредукторного быстродействующего вентильного компьютеризованного электропривода специальной оптимизированной конструкции [10]. Такой механизм является полностью управляемым по всем параметрам импульсного перемещения электродной проволоки. Вибрации такой системы минимальны и не сказываются в отрицательном смысле на функционировании механизированного оборудования.

Существует ещё один способ сварки – наплавки также с прерывистым движением электродной проволоки. Это способ с модуляцией сварочного тока, величина которого пропорциональна скорости подачи. При этом технологическом приёме достигается управление тепловложением в ванну жидкого металла, а также действие на неё вибрационной динамической составляющей от варьирования скоростью подачи. При сварке – наплавке с модуляцией обычно используют частоты в диапазоне 0,2...5,0 Гц. Этот способ используется, как правило, при сварке-наплавке на вертикальной плоскости [11].

Имеются способы сварки с поперечными вибрациями электрода с получением определённых технико – технологических эффектов.

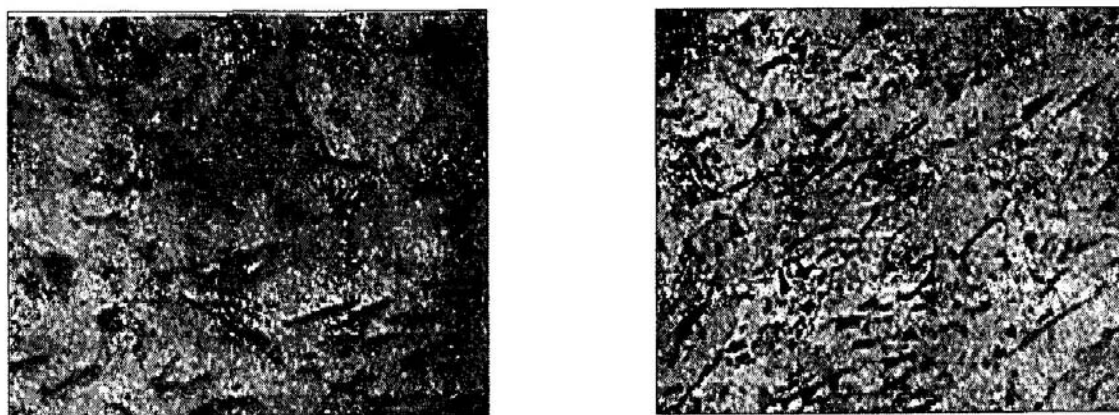
Рассмотрим два таких способа:

- с низкочастотными вирациями (колебания горелки с электродной проволокой или проволоки внутри горелки);

- с высокочастотными вибрациями (колебания собственно электродной проволоки).

Воздействия механических низкочастотных колебаний (частоты порядка 0,2...100 Гц, в зависимости от приоритета задач) на ванну жидкого металла базируются на изменении длины дугового промежутка при колебаниях сварочной горелки. При этом изменяются сила и плотность тока в дуге, что определяет тепловложение в сварочную ванну, а это обуславливает изменение структуры металла, размеров шва, остаточных деформаций и напряжений в зоне сварки или наплавки [12, 13]. Следует уточнить, что и в этом случае имеется эффект воздействия изменяющегося давления дуги на сварочную ванну. Весьма часто такие системы применяют для получения качественного шва при зазорах, повышения производительности наплавки за счёт получения более широкого валика. Системы колебаний для этого способа сварки – наплавки оснащаются как приводами на основе электродвигателей, так и на основе электромагнитов, в частности для организации вибраций самой электродной проволоки. Можно заметить, что колебательные системы на основе электродвигателей применимы в стационарном оборудовании (автоматы станки, установки), а системы с электромагнитами могут применяться и в сварочно – наплавочных полуавтоматах и оборудовании с установкой основных узлов полуавтоматов.

На рис. 3 представлены сравнительные микрошлифы металла шва с улучшением их структуры при применении поперечной низкочастотной вибрации электродной проволоки.



а)

б)

Рис. 3. Структура металла шва при сварке малоуглеродистой стали (X200):

а) – без вибрации электродной проволоки; б) – с поперечными колебаниями проволоки

Весьма интересными и перспективными являются поисковые работы и полученные результаты с использованием устройств с высокочастотными колебаниями электродной проволоки.

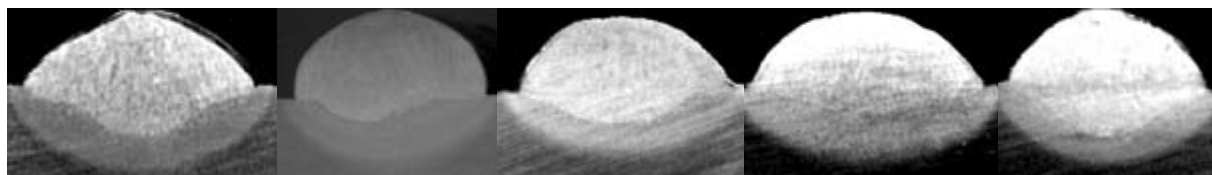
В настоящее время изыскиваются новые технические средства, позволяющие эффективно решать задачи получения низкочастотных колебаний с управляемыми параметрами.

Высокочастотные (500...1000 Гц) малоамплитудные (около 130 мкм) поперечные импульсные перемещения электрода способствуют снижению глубины проплавления и долей участия основного металла в наплавленном слое. В этом случае эффект достигается в результате периодического при нудительного удаления жидкометаллической прослойки с торца электрода при вибрационном воздействии позволяющем регулировать массу переносимых через дугу капель электродного металла.

Поперечные высокочастотные перемещения торца электродной проволоки создаются с помощью генератора, представляющего собой электромеханический привод, обеспечивающий его работу в двух режимах: межрезонансном и резонансном, с широким диапазоном регулирования частоты импульсного воздействия [14]. В

области частот, близьких к резонансу (регулируемый параметр), амплитуда колебаний резко возрастает. Увеличение амплитуды перемещения торца электродной проволоки расширяет зону переноса металла через дугу, способствует рассредоточению теплового и силового воздействия дуги на сварочную ванну, вследствие чего глубина проплавления и доля основного металла уменьшаются, что является весьма желаемым при выполнении наплавки. Отмеченные воздействия на ванну ведут к улучшению структуры наплавленного металла, повышению его механических характеристик, обуславливаемых, в том числе наличием легирующих элементов после наплавки.

На рис.4 представлены некоторые результаты по управлению формированием наплавленных валиков и оценкой доли основного металла при разных частотах вибраций.



<u>Частоты, Гц</u>				
0	680	1295	3820	5800
<u>Доли основного металла (%)</u>				
0,36	0,13	0,30	0,22	0,25

Рис.4. Формирование наплавленного валика при высокочастотных поперечных колебаниях электродной проволоки

Выводы. Высокочастотные импульсные перемещения электродной проволоки оказывают влияние и на производительность наплавки. Увеличение частоты и амплитуды способствует уменьшению толщины жидкометаллической прослойки на торце проволоки, возрастанию теплопередачи от дуги к электроду и повышению коэффициента расплавления электрода.

Интересными могут быть технико-технологические решения по получению и оценке высокочастотных и низкочастотных вибраций торца электродной проволоки вдоль направления ведения дугового процесса. Пока эта работа оценивается как перспективная, хотя уже имеются первые результаты.

Все вышеприведенные способы сварки– наплавки достаточно универсальны и применимы как для сплошных (сварка в защитных газах) так и для порошковых самозащитных электродных проволок.

Отметим ещё один вариант применения импульсно – вибрационных воздействий на дуговой процесс – это периодическое изменение давления при подаче защитного газа или импульсной его подачи при соответствующем способе сварки [15]. При этом можно получить следующие основные эффекты при применении гелия и аргона:

1. гелий, обладая высокой текучестью, проникает в стык между свариваемыми кромками и обеспечивает защиту и подогрев обратной стороны шва. По сравнению с традиционной технологией дуговой сварки в защитных газах без пульсаций эта технология более эффективна для получения бездефектных швов;

2. применение при дуговой сварке в защитных газах попеременной импульсной подачи разнородных газов (гелия и аргона) позволило создать принципиально новый технологический процесс, сочетающий достоинство аргонодуговой и гелиеводуговой сварки. Благодаря пульсирующему изменению давления в столбе дуги, вызванному различием плотности и потенциалов ионизации аргона и гелия, возникает эффект периодического ударного воздействия на сварочную ванну, обеспечивающий получение металла сварного шва с мелкозернистой структурой, высокими пластичностью и прочностью металла.

К числу недостатков этого способа сварки следует отнести некоторое ограничение в применение, а также технические сложности при быстродействующем управлении потоком защитного газа.

Рассмотрим ещё одну область применения вибраций при выполнении дуговой автоматической и механизированной сварки- наплавки – при организации колебаний изделия с управляемыми параметрами [16].

Обычно управляемые колебания изделия выполняются в направлении перпендикулярном направлению ведения процесса, как для плоских так и для цилиндрических металлоконструкций определённой массы и габаритов с частотами 1...10 Гц.

Схематически наплавка с колебаниями изделия и установка для наплавки плоских тел представлены на рис. 5.

Следует указать, что управление циклом сварки и параметрами колебательных движений изделия осуществляется компьютеризированной системой, а в качестве приводного электродвигателя применяется высокомоментный шаговый электродвигатель с безредукторной связью с платформой колебателя.

При реализации этого процесса достигаются следующие основные результаты:

1. підвищення продуктивності наплавки за счёт розширення зони дії дуги і розтанення рідиної ванни;
2. поліпшення структури металу шва за счёт змельчення зерна в рідиной шарі металічної ванни;
3. зменшення величини пропалення і доли основного металу.

На рисунку 6 дані для прикладу порівняльні результати наплавки з коливаннями і без коливань виробу. Частота коливань 12 Гц, амплітуда – 1 мм. Маса наплавляємої пластини 2,5 кг.

Реальне застосування цієї технології обмежується масою і габаритами наплавляємої деталі або конструкції. Намі виконана робота по наплавці матриць штампового інструменту з високими показателями зносостійкості і продуктивності процесу, яке крім усього іншого, природно, зменшує перегрів виробу.

Очевидно, що в останнє час розроблено достатньо велике число імпульсних і вібраційних впливів на процеси дугової механізованої зварки і наплавки. Всі вони, окрім імпульсної подачі захисних газів розглянуті, перевірені і ряд з них суттєво поліпшені, в ряду випадків отримані нові технологічні ефекти з розробкою нових систем і пристроїв для напівавтоматів і автоматів.

В якості найближчих перспектив розвитку дугової зварки і наплавки з імпульсними і вібраційними впливами слід вважати технічне вдосконалення систем і способів для реалізації цих впливів, їх впровадження в різні сфери застосування, включаючи підводну зварку і різку з застосуванням імпульсної подачі електродної проволоки. При цьому слід звернути увагу на розробку адаптивних технологій по прикладу [17].

К числу фундаментальних завдань ми відносимо розробку нових способів імпульсних і вібраційних впливів, основу яких, виходячи з нашого досвіду, повинні становити комбіновані впливи, що поєднують в собі достоїнства кожного з складових комбінацій. К числу прикладів можна віднести процес з одночасним імпульсним впливом джерела зварочного струму з імпульсними алгоритмами і механізмом імпульсної подачі з певними закономірностями взаємодії і загальної дії [18].

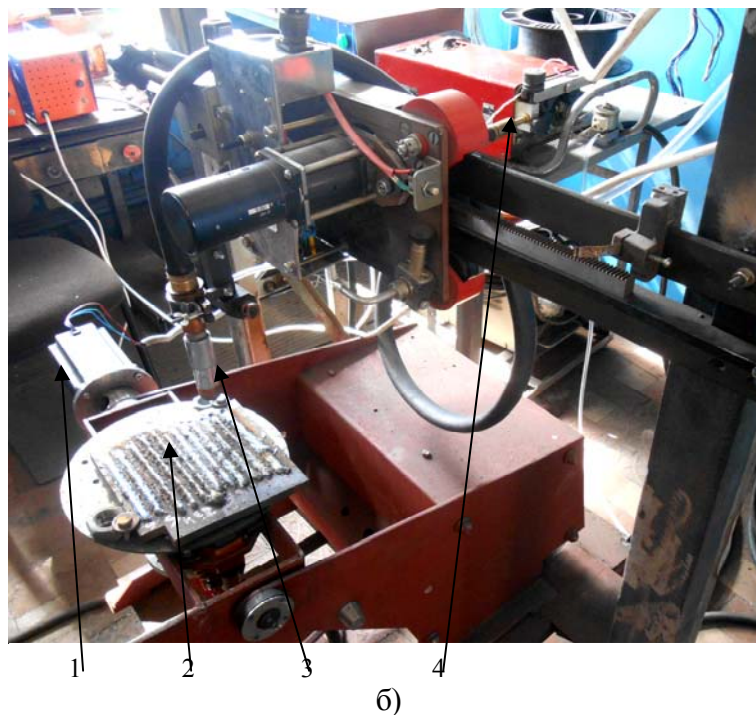
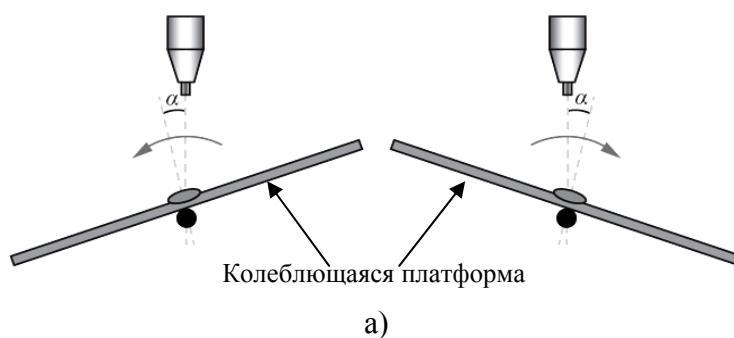


Рис.5. Схема коливань (а) і установка (б) для наплавки з коливаннями: 1 – привод колибателя; 2 – наплавляємої вироби; 3 – зварочна горелка; 4 – комп'ютеризована система управління



Рис. 6. Результати порівняльної наплавки: 1 – без колибаний; 2 – з колибаннями

Выводы.

1. Импульсные и вибрационные воздействия при механизированной дуговой сварке-наплавке являются мощным средством совершенствования процесса, систем и комплектного оборудования, имеющем разные технико-технологические решения.
2. Основные составляющие импульсных и вибрационных действий различного происхождения на дуговой процесс, в основном, складываются из управления переносом электродного металла, вибрационных колебаний ванны жидкого металла, электрода, защитного газа, следствием чего является упорядочивание переноса металла, структуризации металла шва, управления формой сварного соединения и наплавленного слоя, упрощение ведения процесса в разных пространственных положениях.
3. По нашему мнению промышленное внедрение в ощутимых величинах в ближайшее время получат системы импульсной подачи электродной проволоки, другие системы и способы импульсных воздействий будут внедряться для решения отдельных задач сварочно – наплавочного производства.

1. Патон Б. Е. *Современные направления исследований и разработок в области сварки и прочности конструкций*//Автоматическая сварка. – 2003. Октябрь – ноябрь. – С. 7 – 13.
2. Маковецкая, О. К. *Основные тенденции на рынке сварочной техники в 2008-2011 гг. и прогноз его развития (Обзор) [Текст] / О. К. Маковецкая // Автоматическая сварка – 2012. – № 6. – С. 44–50.*
3. Воронай Н. М. *Особенности импульсно-дуговой сварки с синергетическим управлением параметрами режимов (Обзор) / Н. М. Воронай, В. М. Илюшенко, Ю. Н. Ланкин // Автомат. сварка. – 1999. – № 6. – С. 25–32.*
4. *Исследование и применение вибродуговой наплавки / [Пацкевич И. Р., Попков А. М., Куликов Г. Д. и др.]; под ред. И. Р. Пацкевича. – М. : Машиностроение. – 1964. – 280 с.*
5. Патон Б. Е., Лебедев В. А., Лендел И. В., Полосков С. Ю. *Использование механических импульсов для управления процессами автоматической и механизированной сварки плавящимся электродом //Сварка и Диагностика. 2013. № 6. С. 16–20*
6. В. А. Лебедев *Механизированная синергетическая сварка с импульсной подачей электродной проволоки //Наукоёмкие технологи в машиностроении. 2016. № 2. С. 19–24.*
7. Лебедев В. А., Лендел И. В. *Исследование технологических возможностей дуговой сварки и наплавки с импульсной подачей электродной проволоки //Наукоёмкие технологи в машиностроении. 2015. № 9. С. 20–27*
8. Лебедев В. А. *Возможные варианты конструкций механизмов подачи проволоки в сварочном оборудовании / В. А. Лебедев // Вестник машиностроения. – 2004. – № 6. С. 10–14.*
9. Лебедев В. А., Плющ Д. В. *Системы подачи электродной проволоки механизированного оборудования для сварки и наплавки. Основа. 2013. 432 с.*
10. Лебедев В. А. *Электропривод для механизма управляемой импульсной подачи электродной проволоки в механизированном и автоматизированном оборудовании для дуговой сварки / Электрика 2014. – № 6. С.14–19*
11. Вагнер Ф. А. *Оборудование и способы сварки пульсирующей дугой / Вагнер Ф. А. – М. : Энергия, 1980. – 120 с.*
12. Панарин В. М., Воронцова Н. В., Воронцов Н. И. *Автоматическое управление дуговой сваркой с поперечными колебаниями плавящегося электрода. // Сварочное производство. – 2004. – № 11. – С. 21–23.*
13. Роянов В. А., Псарас Г. Г., Захарова И. В. *Технологические особенности электродуговой наплавки с поперечным колебанием дуги. // Вестник ПГТУ. – 2002. – Вып.12.*
14. *Управление размерами валика при наплавке под флюсом с поперечными высокочастотными импульсными перемещениями электрода. / В. А. Лебедев, С. В. Драган, Ж. Г. Голобородько, И. В. Симутенков. // Заготовительные производства в машиностроении. – 2014. – № 4. – С. 6–10.*
15. Тарасов Н. М., Тулин В. М. *Управление переносом электродного металла кратковременным повышением скорости истечения защитного газа // Сварочное производство, – 1982. – № 8. – С. 23–25.*
16. Лебедев, В. А. *Управление формированием структуры шва при воздействии низкочастотными механическими колебаниями на расплав сварочной ванны (обзор и анализ) Текст] / В. А. Лебедев, С. В. Драган, С. В. Новиков, И. В. Симутенков, // Збірник наукових праць НУК. – 2017. – № 3. – С. 1–18.*
17. Сараев Ю. Н. *Адаптивные импульсно-дуговые методы механизированной сварки при строительстве магистральных трубопроводов.// Сварочное производство. 2002, № 1, С. 4–11*
18. Патон Б. Е. *Способ комбинированного управления процессом переноса электродного металла при механизированной дуговой сварке / Б. Е. Патон, В. А. Лебедев, Я. И. Микитин // Сварочное производство. – 2006. – № . 8. – С. 27–32.*

Патон Борис Євгенійович, д.т.н., професор, академік, президент НАН України, директор Інституту електродварювання ім. Є. О. Патона НАН України.

Лебедев Володимир Олександрович, д. т. н., професор, Інститут електродварювання ім. Є. О. Патона НАН України.

Драган Станіслав Володимирович, к. т. н., професор, Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв.

Жук Геннадій Володимирович, директор ДП «ДКТБ ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України».

Назаренко І. І., Ручинський М. М., Свідерський А. Т.

СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ВІБРОМАШИН БУДІНДУСТРІЇ

Розроблена теорія спільного руху робочих органів вібромашин і оброблюваних середовищ, що моделюються дискретно-континуальними системами. Визначені основні технологічні параметри та режими резонансного, субрезонансного та суперрезонансного руху вібромашин. Розроблені конструкції машин із реалізацією енергоефективних режимів досліджених систем.

The developed theory of general motion of the workings of organs of vibromachines and processed environments, which are modeled on discrete-continuous systems. The determined technological parameters are modes of resonant, subresonant and superresonant motion of vibromachines. Designs of machines are developed with the realization of energy-efficient regimes of the investigated systems.

Постановка проблеми. Вібраційні машини різного технологічного призначення, як правило, працюють в гармонійному, переважно за резонансному, режимі. Це обумовлено забезпеченням стабільного режиму, що і є їх основною перевагою. Однак, енергоємність таких машин, наприклад, вібромашин будіндустрії, є значною, що в більшості випадків спонукає до зниження надійності, підвищення матеріалоемності, збільшення довготривалості робочого процесу. Більш привабливими є машини резонансного типу, робота яких можлива і на інших ефективних режимах (субрезонансних і суперрезонансних режимах), що і є предметом досліджень, приведених в даній статті. Реалізація таких режимів дає можливість значно зменшити енергоємність, підвищити загальну ефективність всіх показників робочого процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням подібних режимів присвячена робота [1] при моделюванні вібросистем дискретними параметрами. Більш достовірними є моделі з дискретно-континуальними системами [2,3], коли машина в своєму русі представлена дискретними параметрами, а оброблювальне середовище (технологічне навантаження) моделюється розподіленими параметрами. Математичні труднощі рішення задачі долаються зведенням дискретно-континуальних систем до дискретних систем, шляхом приведення діючих сил континуальної системи до контактної сили у дискретному вигляді [2], залежність якої враховує вплив розподілених параметрів відповідними хвильовими коефіцієнтами [3].

Формулювання мети. Метою статті є визначення стійких зон реалізації багатьох режимних коливань вібросистеми «машина – середовище» і створення на цій основі нових конструкцій із високою ефективністю виконання технологічних процесів.

Викладення основного матеріалу. Багаторежимні рухи притаманні нелінійним динамічним системам, в яких виникають субгармонійні і супергармонійні коливання. Такі режими формуються при певних умовах, визначених співвідношеннями кількості періодів вимушеної сили із періодами руху віброударних систем, використанням нелінійних пружних характеристик відновлюючих сил, зміною пружних характеристик у часі. Для досягнення означеної мети були сформульовані основні наукові робочі гіпотези: ефективність вібросистем із кусочно-лінійною характеристикою відновлюючої сили визначається ударним прискоренням і при розрахунку динамічних параметрів системи варто враховувати її власні коливання та вклад вищих гармонік; стабілізація або керування системою здійснюється ціленаправленим спільним використанням активних і реактивних складових сил робочих органів і оброблених середовищ в заданому вібраційному процесі. В основу теоретичних досліджень покладено рівняння, що описує рух вібросистеми з кусочно-лінійною відновлюючою пружною силою за методикою, приведеною в роботі [2]. Дослідженню підлягала і вібросистема, що має параметричне збудження коливань за рахунок зміни коефіцієнта пружності гумового елемента. Рівняння руху відрізняється видом збудження та законом зміни жорсткості приводного пружного елемента в напрямку дії. Рішення рівнянь здійснювалось на ЕОМ зміною параметрів при значеннях, що відповідає середньому рівню втрат енергії у вібраційних машинах і оброблювальних середовищах [3]. Визначення енергії вібросистеми на підтримання коливань здійснювалось із умови її балансу. В результаті рішення рівнянь були отримані амплітудно-частотні характеристики та здійснена оцінка вкладу вищих гармонік в загальний процес руху вібросистеми «машина – технологічне навантаження». Аналізом АХЧ встановлено, що за прийнятими числовими значеннями параметрів отримано раціональне співвідношення показників коефіцієнтів пружності в межах 3-5, а коефіцієнт динамічного підсилення коливань на субрезонансі збільшується в 2-3 рази. Виявлено, що на кожній частоті збудження існують свої межові значення сили, за межами яких субгармонійний режим втрачає стійкість. Амплітудно-частотна характеристика супергармонійних коливань вібросистеми засвідчила зміну амплітуди для різних значень ступені межевої несиметрії Δ . Експериментальні дослідження здійснювались на спеціальній установці, де заміряли параметри коливань з фіксацією амплітуд коливань, фази та динамічного тиску. Обробка результатів досліджень підтвердила стійкі комбінаційні режими коливань. За результатами виконаних досліджень розроблено ряд конструкцій нових вібромашин з максимальною передачею енергії робочого органа до робочого середовища із внеском вищих гармонік.

Висновки

1. Досліджені рухи вібромашин, що реалізують комбінаційні резонанси з ціле направленим спільним використанням внутрішніх властивостей робочих органів і оброблювальних середовищ.
2. Визначені зони стійкості вібромашин з кусочно-лінійною характеристикою відновлюючої сили при моделюванні загальної вібросистеми дискретно-континуальними параметрами.
3. Розроблені принципові нові схеми вібромашин із багаторежимними законами руху.

1. *Иоршиш Ю. И. Субгармонический резонанс в системе с упругими ограничителями хода./ Иоршиш Ю. И. Журн. техн. физики, 1946, т.16, вып.6, с. 681-694.*

2. *Назаренко І. І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем (2-е видання) / І. І. Назаренко // К. : Видавничий Дім «Слово». 2010. 440 с.*

3. *Nazarenko I. I. Research and the creation of energy-efficient vibration machines based on the stress-strain state of metal and technological environments/ I. I. Nazarenko, O. P. Dedov, A. T. Svidersky, N. N. Ruchinsky // The Triennial International Conference HEAVY MACHINERY 2014, B, Kraljevo-Serbia. – 2014 – p. 85–89.*

Назаренко Іван Іванович, д.т.н., професор, завідувач кафедри машин і обладнання технологічних процесів, КНУБА.

Ручинський Микола Миколайович, к.т.н., доцент, доцент кафедри машин і обладнання технологічних процесів, КНУБА.

Свідерський Анатолій Тофілійович, к.т.н., професор, професор кафедри машин і обладнання технологічних процесів, КНУБА.

УДК 001.1+001.38:001.92

Таланчук П. М., Струтинський В. Б.

**ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ДІЯЛЬНОСТІ АКАДЕМІЇ ІНЖЕНЕРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ РОЗВИТКУ**

Дана характеристика діяльності громадської організації «Академія інженерних наук України». Викладено основні напрямки діяльності Академії, зокрема впорядкування її структури, міжнародна діяльність, міжнародна акредитація інженерних спеціальностей, комерціалізація об'єктів інтелектуальної власності, підготовка наукових кадрів. Окреслені основні перспективи діяльності Академії.

Вступ. Підвищення престижу і розвиток інженерної справи на Україні є важливою проблемою загальнодержавного рівня.

Невирішеною частиною даної загальної проблеми є консолідація зусиль українських інженерів. Це доцільно здійснити з використанням наявних громадських організацій інженерного напрямку, зокрема Академії інженерних наук України.

Метою проведеної роботи є виклад основних напрямків діяльності Академії інженерних наук України та перспектив її розвитку.

Виклад основного матеріалу. Академія інженерних наук України існує з 1991 року як громадська самоврядна організація. Вона об'єднує понад 300 учених, конструкторів, організаторів виробництва, представників вищої школи. У її складі 42 зарубіжних учених із 11 країн. Нині в Академії інженерних наук існує 21 відділення. Територіально відокремлені підрозділи охоплюють всю територію України.

В Академії інженерних наук відповідно до Статуту є два види членства – колективне та індивідуальне. До індивідуальних членів входять вчені, спеціалісти практики, інженери, конструктори і технологи, організатори виробництва, менеджери, які збагатили науку та інженерну практику своїми працями, конкурентоспроможними розробками сучасних виробів і технологій.

Колективними членами обираються колективи підприємств, установ, навчальних закладів, фірм, корпорацій чи банків, які визнають статут АІН України та своєю діяльністю сприяють успішному вирішенню завдань, що стоять перед Академією.

Протягом 18 років видається науково-технічний журнал «Вісті Академії інженерних наук України».

Академія інженерних наук України входить до Світової спілки академій інженерних і технологічних наук-CAETS (International Council of Academies of Engineering and Technological Sciences), яка об'єднує Академії інженерних наук 27 країн світу. Зокрема це: Royal Academy of Engineering of the United Kingdom (Великобританія); National Academy of Engineering United States (США); The Engineering Academy of Japan (Японія); Canadian Academy of Engineering (Канада); Chinese Academy of Engineering (Китай); Indian National Academy of Engineering (Індія); German Academy of Technical Sciences (Німеччина); Academy of Engineering in Poland (Польща) та інші.

Основними завданнями АІН України є розвиток інженерно-технічного потенціалу України, підготовка необхідних кадрів, підвищення міжнародного іміджу українських інженерів, сприяння постачанню промислових

галузей ефективними новітніми технологіями, розробка і втілення нових концепцій інженерної освіти, комерціалізація результатів наукових досліджень, що виконані ученими Академії, та ряд інших.

В даний час основними напрямками діяльності Академії інженерних наук України є: впорядкування структури Академії створення нових відокремлених підрозділів; виконання робіт по міжнародній акредитації інженерних спеціальностей технічних університетів України; комерціалізація об'єктів інтелектуальної власності; розробки і впровадження методичного наповнення освітньої програми «Доктор філософії».

Впорядкування структури Академії здійснено шляхом оновлення складу наявних відділень Академії та створення відокремлених підрозділів у більшості регіонів України. Згідно закону про громадські об'єднання наявність мережі відокремлених підрозділів є основою визнання всеукраїнського статусу Академії.

З метою міжнародної акредитації інженерних спеціальностей технічних університетів України Академія інженерних наук України разом із Спілкою наукових і інженерних об'єднань України веде роботи в рамках всеукраїнського проекту «Євроінженер». Проект «Євроінженер» має європейський масштаб започаткований і організовується європейською федерацією FEANI (European Federation of National Engineering Associations). Фахівці, що мають EUR ING отримують відповідний диплом і вносяться в FEANI реєстрацію, яка ведеться в Брюсселі. Наявність реєстрації в європейській громадській організації FEANI сприяє українським інженерам в плані академічної мобільності та встановлення зв'язків з фахівцями і організаціями Європи. Для участі в програмі «Євроінженер» подається пакетна заявка яка включає матеріали міжнародної акредитації кафедри вищого навчального закладу та інформацію про випускників кафедри (не менше десяти) які успішно працюють в інженерній галузі. Спільна робота Академії інженерних наук України та Спілки наукових та інженерних об'єднань України по реалізації програми «Євроінженер» включає підготовку пакетних заявок та направлення їх у відповідні структури FEANI. В даний час накопичено певний досвід по підготовці пакетних заявок FEANI INDEX та EUR ING.

До перспективних напрямків діяльності Академії інженерних наук України відноситься підготовка наукових кадрів у галузі інженерних наук. В рамках даного напрямку розроблені пропозиції по наскрізній підготовці фахівців по схемі «бакалавр» – «магістр» – «доктор філософії» – «доктор наук». Серед пропозицій Академії є незалежна громадська експертиза науково-дослідних та атестаційних (дисертаційних) робіт яка може бути здійснена в мережі відділень (відокремлених підрозділів) Академії.

Висновки.

1. Академія інженерних наук України за 25 років свого існування виконала значний обсяг робіт по підвищенню інженерного потенціалу України і має значні можливості по своєму розвитку.

2. Основними напрямками діяльності Академії є розширення і впорядкування структури Академії, міжнародна діяльність, заходи по міжнародній акредитації інженерних спеціальностей та роботи в напрямку підготовки наукових кадрів.

Таланчук Петро Михайлович, д.т.н., проф., президент Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна», президент Академії інженерних наук.

Струтинський Василь Борисович, д.т.н., проф., завідувач кафедри Конструювання верстатів та машин Механіко-машинобудівного інституту НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського».

УДК 001.1

Кузьо І. В.

ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА І ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА. ІСТОРІЯ І СЬОГОДЕННЯ

Подано історію та коротку хронологію розвитку механічного відділу (факультету) згодом Інституту інженерної механіки та транспорту у Львівській політехніці. Розроблено основні етапи створення Спеціалізованої Вченої Ради та охарактеризовано її діяльність за 20 років.

Національний університет «Львівська політехніка» – один з найдавніших технічних навчальних закладів у Європі та перший в Україні – у 2016 р. відзначив своє 200-річчя від дня заснування.

8 березня 1816 р. Австрійський цісар Франц Йосиф I схвальною резолюцією «поблагословив на добру славу» створення у Львові реальної школи з технічним і економічним спрямуванням. Фактично ця школа стала основою для створення у Галичині Вищої технічної школи.

Механіка, одна з древніх технічних наук, тісно пов'язана з практичною діяльністю людей, з перших днів була представлена і в Реальній школі, а з 1844 р. – вже і у новоствореній Технічній Академії у Львові, де на технічному відділі однією з перших відкрили кафедру механіки.

У 1874 р. започатковано відділ будови машин, який згодом перетворився на один з найбільших відділів (факультетів) під назвою «механічний». У 30-ті роки минулого сторіччя механічний відділ став найбільшим у Львівській політехніці.

У 1939 р. механічний відділ у своєму складі налічував три підрозділи (відділення):

1) відділення машин, до складу якого входили групи: конструкційна, авіаційна, залізнична, технологічна і рухова;

2) електротехнічне відділення об'єднувало дві групи потужних двигунів і слабих (малопотужних) двигунів з двома секціями – радіотехнічною та телетехнічною;

3) нафтове відділення.

До 1920 р. на механічному відділі було і гірниче відділення, яке ліквідували після відкриття в 1919 р. Гірничої Академії в Кракові. На механічному відділі працювало 19 кафедр.

Реорганізації, які відбувались у структурі вже перейменованого в 1939 р. політехнічного інституту під впливом вимог часу і відповідних змін у суспільно-політичному житті краю, призвели до того, що у 1939-1941 рр. з механічного виділилися електротехнічний факультет, а механічний перейменували на енергомашинобудівний, який у 1944 р. розділили на енергомашинобудівний і механічний.

У 1947 р. ці два факультети знову об'єднують в один механічний факультет. Постійне збільшення механічних спеціальностей дало поштовх до створення у 1962 р. на базі механічного двох факультетів: механіко-машинобудівного (ММФ) та механіко-технологічного (МТФ). В 1996 р. ММФ отримав назву факультету машинобудування і автомобільного транспорту (ФМАТ).

Внаслідок структурної реорганізації у 2001 р. у Львівській політехніці створено 12 навчально-наукових інститутів, зокрема на базі двох механічних факультетів створено Інститут інженерної механіки та транспорту (ІІМТ), до складу якого увійшло вісім випускових і три загальноінженерні кафедри: теоретичної механіки, деталей машин і опору матеріалів. У 2008 р. кафедру опору матеріалів передали до складу Інституту будівництва та інженерії доквілля.

У 2009 р. кафедру теоретичної механіки об'єднали з кафедрою автоматизації та комплексної механізації машинобудування. І у 2016 р. до складу ІІМТ входили вісім випускових кафедр: технології машинобудування (ТМБ); автомобілебудування (АБ); експлуатації та ремонту автомобільної техніки (ЕРАТ); зварювального виробництва, діагностики та відновлення металоконструкцій (ЗВДВ); транспортних технологій (ТТ); прикладного матеріалознавства та обробки матеріалів (ПМОМ); механіки та автоматизації машинобудування (МАМ); проектування та експлуатації машин (ПЕМ) й загально-інженерна кафедра технічної механіки та динаміки машин (ТМДМ).

Професорсько-викладацький склад інституту налічує 138 осіб. З них 20 – доктори наук, 79 – кандидати наук, доценти.

В ІІМТ навчається майже 1800 студентів. Щороку до 300 випускників отримують дипломи спеціаліста і магістра з 15 спеціальностей. Загалом за повоєнний період, починаючи з 1945р. до 2015р. підготовлено 32788 фахівців механічних спеціальностей, зокрема 19285 – стаціонарної форми, 5656 – вечірньої форми і 6798 – заочної форми навчання. Від 1998р. підготовлено 1049 магістрів з 15 спеціальностей.

У 2016/17 н. р. розпочато підготовку фахівців за новою класифікацією в галузях знань «Механічна інженерія» (спеціальності: 131 – Прикладна механіка, 132 – Прикладна металургія, 133 – Галузеве машинобудування) та «Транспорт і транспортна інфраструктура» (спеціальності: 274 – автомобільний транспорт, 275 – транспортні технології).

У 2012 р. НУ «Львівська політехніка» одному з перших в Україні надано статус Самоврядного дослідницького університету.

В ІІМТ видаються два тематичних вісники: «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів». «Оптимізація виробничих процесів і механічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні», а також міжвідомчий науково-технічний збірник «Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні».

В ІІМТ започатковано випуск Всеукраїнського щомісячного науково-технічного журналу «Машинознавство», головним редактором якого є д-р техн. наук, проф. Б. І. Кіндрацький.

Починаючи з 1993 р. у Львівській політехніці регулярно проводиться міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків. Регулярними є також організовані науковцями ІІМТ міжнародні конференції «Теорія та практика конструювання машинобудівних конструкцій», «Вібрації в техніці та технологіях», «Перспективні технології в машинобудуванні».

Для підвищення рівня фахівців вищої кваліфікації у 1994р. у Львівській політехніці створено спеціалізовану вчену раду із захисту докторських і кандидатських дисертацій з двох спеціальностей: «Машинознавство», «Динаміка і міцність машин». Головою ради призначено проф. С. Г. Калініна, вченим секретарем проф. В. Т. Павлище.

У 1997 р. у раді відкрито спеціальність «Технологія машинобудування», а в 1999р. – спеціальність «Автомобілі і трактори». З цього часу головою ради є проф. І. В. Кузьо, а вченим секретарем – доц. Ю. П. Шоловій.

У 2009 р. спеціальність 05.02.02 «Автомобілі і трактори» припинили діяльність у раді. На її основі згодом відкрили спеціалізовану вчену раду із захисту кандидатських дисертацій з двох спеціальностей «автомобілі і трактори» та «транспортні технології».

Загалом за роки діяльності спеціалізованих вчених рад захищено більше 100 кандидатських дисертацій та понад 20 докторських.

Як Львівська політехніка загалом, так і Інститут інженерної механіки та транспорту мають славні наукові традиції. У довоєнний період тут працювали відомі вчені-механіки: С. Банах, М. Губер, В. Бужинський та ін. У новітній історії розвиток інженерної механіки пов'язаний з іменами професорів Г. Савіна, М. Леонова, А. Рабиновича, М. Медвідя, М. Комарова, М. Шульги, С. Калініна, П. Сеніка, К. Русинка, Д. Мочернюка, В. Повідайла та ін. Особливого значення набули науково-дослідні лабораторії, сформувалися потужні наукові

школи, істотно розширився і зміцнів зв'язок з промисловістю. Можливості й рівень підготовки фахівців-механіків, наукові традиції та результати, міжнародне визнання школи львівських механіків пройшли випробування часом і створюють добру основу для подальших здобутків у царині однієї з найдавніших наук – механіки.

Кузьо Ігор Володимирович, д.т.н., проф., завідувач кафедри механіки та автоматизації машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка».

УДК 621.01

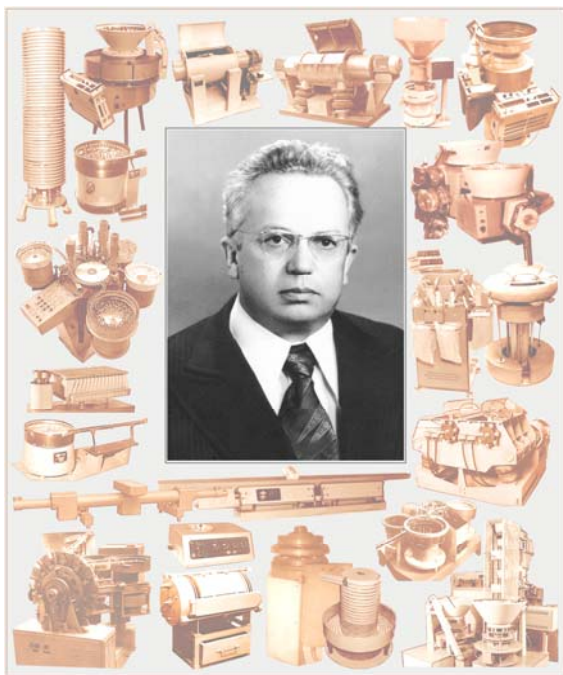
Ланець О. С.

ПЕРЕДУМОВИ ТА ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ У НАУКОВІЙ ШКОЛІ ІМ. ПРОФЕСОРА В. О. ПОВІДАЙЛА

Розкриваються основні підходи у створенні вібраційних машин різного технологічного призначення, типу та режиму роботи, рух робочого органа яких відбувається за гармонійним законом. Вібраційне обладнання зводиться до одно-, дво- та тримасових коливальних систем, що охоплюють переважну більшість існуючих конструкцій.

The basic approaches in creation of vibratory machines of different technological purposes, type and mode of work are revealed, the movement of the working body of which takes place according to the harmonious law. Vibration equipment is limited to one-, two- and three-dimensional oscillation systems that cover the vast majority of existing structures.

На сьогодні існує достатньо напрацювань, присвячених питанням створення вібраційної техніки. Вітчизняні наукові школи та їх яскраві представники, серед яких можна виділити Дніпровську: Потураєв В. М.†, Франчук В. П., Надутий В. П., Червоненко А. Г.†, Дирда В. І.; Київську: Чубук Ю. Ф.†, Назаренко І. І., Гарнець В. М.; Вінницьку: Берник П. С.†; Луцьку: Ярошевич М. П.; Полтавську: Сердюк Л. І.†, Нестеренко М. П.; Хмельницьку: Сілін Р. І., Гордєєв А. І.; Харківську: Тищенко Л. М.†; Кременчуцьку: Маслов О. Г., опублікували багато наукової та навчальної літератури в області вібротехнологій. Можна було б відразу зацікавлених осіб спрямувати до їхніх праць з впевненістю, що основи вібротехніки вони освоюють.



Професор

Повідайло Володимир Олександрович
(14.05.1926 р.–05.03.2012 р.)

Проте, кожна наукова школа має свої особливості. Одна займається великогабаритним обладнанням з інерційним та ексцентриковим приводом для гірничої промисловості, друга – віброударними системами для будівельної, третя – вібраційними машинами для сільського господарства і так можна продовжувати довго. Кожна з цих шкіл, у більшості випадків, вузько спеціалізується і зосереджується на певних напрямках наукових досліджень, адже задачі, які їм приходиться вирішувати, можуть суттєво відрізнятися як за підходами, так і за методами їх вирішення, що накладає відбиток на методологію проектування вібраційного обладнання. Завдяки цьому наукові школи набули своєї неповторності. Це стосується і Львівської школи вібротехнологій імені професора В. О. Повідайла.

Так історично склалось, що у Львові і в західному регіоні не було поширене важке машинобудування. Проте, він був насичений машинобудівними, приладобудівними та іншими заводами, на яких необхідно було автоматизувати виробництво. Виконувати це представники Школи старались з використанням вібраційної техніки. Створюване обладнання не було великогабаритним (його технологічне призначення переважно поштучне подавання деталей, їх орієнтація, контроль якості та кількості, складання; рідше притирання, поверхневе зміцнення, полірування, шліфування). Акцент ставився на резонансних вібромашинах з електромагнітним приводом. Одна з суттєвих їх переваг – відсутність рухомих з'єднань, що дозволяє досягати високої надійності роботи такого типу обладнання.

Під безпосереднім керівництвом В. О. Повідайла на базі комбінованого пружного вузла (поєднання гіперболоїдного та центрального циліндричного торсіонів) виготовлено вібраційні бункерні живильники, швидкість транспортування деталей в яких становила 1.7 м/с; із використанням колоподібних рухів, що реалізовувались пружним вузлом у вигляді «білячого колеса», створено вібраційні притиральні верстати, що доводили площинність плоских поверхонь кремнієвих частин програмоносіїв до 0.3 мкм на діаметрі 100 мм, забезпечуючи точність, яка перевищувала світові стандарти; на базі гратчастих пружних елементів, що забезпечували еліпсоподібні коливання робочого органа, створено вібросепаратор, на якому суміш кульок

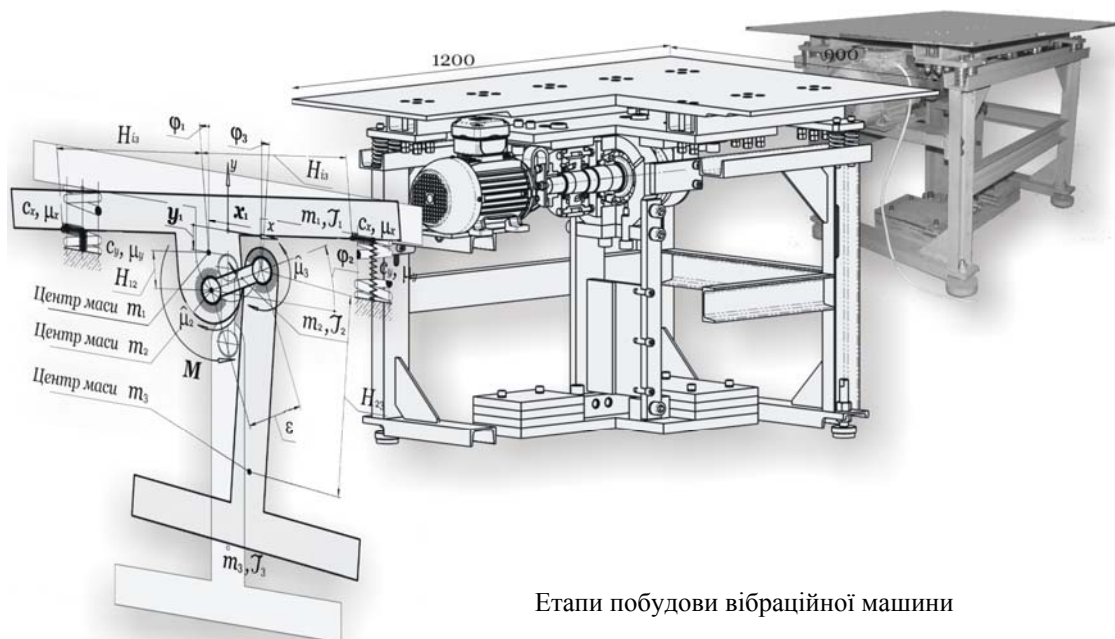
розмірами 80-200 мкм розділялась по розмірам на фракції, які відрізнялись одна від другої не більше ніж на 10 мкм; розроблено і виготовлено транспортно-маніпулюючі модулі гнучких виробничих систем і довгопротяжні вібротранспортні системи для переміщення виробів із швидкістю 80 м/хв на довільну відстань. Так, для Московської міської телефонної станції була створена унікальна автоматична замкнена система, яка давала змогу одночасно транспортувати, сепарувати, рахувати та фасувати у банківські мішки монети номіналом в 1 та 2 копійки з величезною на той час продуктивністю – до 6 тон монет за день.

Актуальність роботи. Усе це відноситься і до наповнення представлених викладень. Їх автор є представником Львівської школи вібротехнологій, а тому резонансні вібромашини з електромагнітним приводом є домінуючим матеріалом, який, надіюсь, буде цінним для загалу. Саме потреба надати широкому загалу інформацію про особливості створення такої вібраційної техніки, не забуваючи за інші найбільш поширені типи машин, і стали причиною даних матеріалів.

Постановка проблеми та викладення основного матеріалу. Отже, основна мета даного матеріалу – розкрити принципи створення вібромашин, надавши ґрунт для розуміння та здатності самостійного їх проектування.

Для цього розглядаються основні підходи у розрахунку та конструюванні вібромашин різного технологічного призначення, типу та режиму роботи, рух робочого органа яких відбувається за гармонійним законом. Структурно конструкції вібромашин діляться на одно-, дво- та тримасові коливальні системи. Одномасові переважно використовуються для створення нерезонансного вібраційного обладнання на базі інерційного привода; двомасові – це в основному резонансні конструкції, для приведення в рух яких часто застосовують електромагнітні віброзбуджувачі, рідше – інерційні, а також такі системи використовуються для реалізації динамічно зрівноважених конструкцій з ексцентриковим приводом; тримасові – найменш поширені, проте, саме на базі них можна синтезувати високоефективні коливальні системи.

До кожної коливальної системи з найбільш поширеними типами збурення наводиться теорія її розрахунку з виведенням основних аналітичних залежностей, що встановлюють параметри коливальних систем. Застосування того чи іншого привода обумовлює використання певного режиму роботи проектного обладнання (до- чи зарезонансного), накладаючи тим самим особливості при його розрахунку та побудові. Наводиться поетапне розроблення вібромашин з відповідними посиланнями на теоретичні викладення.



Етапи побудови вібраційної машини

Акцент поставлений на висвітленні засобів, необхідних для конструктивного та параметричного синтезу одиниці вібраційного обладнання, не заглиблюючись в обґрунтування технологічних параметрів. Так, маючи задані технологічні параметри руху робочого органа (амплітуда та частота його коливань, маса завантаження, тощо) розробляється дієздатна одиниця обладнання. Для цього, беручи до уваги призначення вібромашини та можливі рекомендації щодо її подальших умов роботи, ґрунтуючись на технологічних параметрах, які вона повинна забезпечувати – формується її принципова схема, обирається тип привода та режим роботи. Встановлюються інерційно-жорсткісні та силові параметри коливальної системи. Базуючись на них – окреслюються конструктивні параметри вібромашини, розробляється її конструкція. Здійснюється моделювання її роботи, що дозволяє попередньо оцінити роботоздатність майбутньої установки. Отримані результати за необхідності коректуються і втілюються у виготовленому зразку одиниці обладнання. Експериментально встановлюються дійсні режими та технологічні параметри, що забезпечуються нею. Тим самим демонструється цілісність методології створення вібраційного технологічного обладнання (див. ілюстроване пояснення вище).

1. Повідайло В. А. *Вибрационные устройства в машиностроении* / В. А. Повідайло, Р. И. Силин, В. А. Щигель. – Москва – Киев : Машигиз, 1962. – 120 с.
2. Повідайло В. О. *Вібраційні процеси та обладнання: Навч. посібник* / В. О. Повідайло. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. – 248 с.
3. Повідайло В. А. *Расчет и конструирование бункерных загрузочных устройств для металлорежущих станков: Учебное пособие* / В. А. Повідайло, К. И. Беспалов – Киев: Южное отделение Машигиза, 1959. – 108 с.
4. Повідайло В. А. *Расчет и конструирование вибрационных питателей* / В. А. Повідайло. – М. : Машигиз, 1962. – 152 с.

Ланець Олексій Степанович, д.т.н., доцент, директор Інституту інженерної механіки та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка».

УДК 621.924

Серга Г. В., Марченко А. Ю.

ВИНТОВЫЕ РОТОРЫ, БАРАБАНЫ И РЕШЕТА–ГЕНЕРАТОРЫ КОЛЕБАНИЙ БОЛЬШИХ АМПЛИТУД В РАБОЧИХ ОРГАНАХ ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН

Вскрыто противоречие между способом технологического воздействия на предметы обработки (массы загрузки) и способом осуществления их технологического транспортирования в рабочих органах вибрационных машин. Показана возможность устранения этого противоречия за счет применения прогрессивного, принципиально нового технологического оборудования во время выполнения транспортного движения. Эта возможность реализуется за счет использования в качестве рабочего и транспортирующего агрегата:

- рабочего органа со смонтированными по его периметру плоских, криволинейных или прутковых элементов, разнонаправленных по отношению к винтовым линиям, которые названы нами винтовыми роторами, барабанами и решетками (роторно-винтовые технологические системы);
- со сложной поверхностью по периметру, с закрепленными внутри пружинами растяжения, в которых используется эффект сложно винтового пространственного движения, которые названы нами комбинированными барабанами.

Изменение взаимного расположения плоских, криволинейных или прутковых элементов в роторно-винтовых технологических системах, а также изменение длины пружин растяжения в комбинированных барабанах, позволяет управлять сложно пространственным движением потоков частиц масс загрузки, т.е. регулировать скорость транспортирования частиц от загрузки к выгрузке.

Сложно пространственное винтовое движение, с амплитудой 10–1000 мм и более, в предлагаемых конструкциях вибрационных машин на базе роторно-винтовых технологических систем сообщается элементами барабанов различных параметров и конфигураций, которое усложняется также винтовыми линиями по их периметру с различным числом заходов и направлений друг относительно друга или витками пружин, закрепленных внутри комбинированных барабанов.

К числу наиболее важных выводов теоретического и экспериментального исследования скорости перемещения частиц масс загрузки, следует отнести:

- Наибольшее влияние на скорость перемещения частиц масс загрузки имеет частота вращения рабочего органа.
- Выявлено значительное влияние на скорость продольного перемещения частиц масс загрузки значения коэффициента заполнения объема внутренней полости рабочих органов.
- Весьма существенное влияние на скорость перемещения оказывает конструкция рабочих органов.
- Выявлено существенное влияние конструктивных особенностей рабочих органов на кинематику движения частиц, величину амплитуд и направление их движения.
- Изменение массы частиц оказывает незначительное влияние на величину скорости их продольного перемещения.
- С увеличением площади проходного сечения рабочего органа скорость продольного перемещения частиц увеличивается, примерно, в линейной зависимости.

На основе результатов исследований разработано 65 винтовых роторов, барабанов и решет различных форм и классов, в том числе: 22 цилиндрических, 15 конических, 4 выпуклых, 1 вогнутый, 5 прутковых, 5 кольцевых (торовых), 1 спиральный, 4 квадратных, а также 8 типов комбинированных барабанов.

Унікальные возможности винтовых роторов, барабанов, решет и комбинированных барабанов позволяют успешно осуществлять и повышать производительность не только отделочно-зачистные и упрочняющие операции, но и транспортировку предметов, перемешивание, разрушение предметов, сепарацию, сушку, измельчение:

- в машиностроении, например: при выполнении отделочно-зачистной обработки на отдельных ее разновидностях (черновая обработка, снятие заусенцев) удастся повысить производительность в 1,2–1,5 раза, схемы и принцип работы такого оборудования представлены в изобретениях [1];

- в химической промышленности, например: при изготовлении краски удастся повысить производительность в 1,1-1,3 раза, схемы и принцип работы такого оборудования представлен в изобретениях [2];

- в пищевой и легкой промышленности при выполнении отдельных операций, например, галтовка пельменей, мойки сыпучих материалов можно добиться повышения производительности в 1,4–1,5 раза, схемы и описание оборудования представлены в изобретениях [3];

- в сельском хозяйстве, например: для приготовления кормов, уборки зерновых культур сушки куриного помета очистки семян можно повысить производительность в 1,8–2 раза, схемы и описание оборудования представлены в изобретениях [4,5,6];

- в строительстве и производстве строительных материалов использование винтовых роторов обеспечивает повышение производительности в 1,1–1,5 раза, схемы и описание такого оборудования представлены в изобретениях [7,8].

Реализация предлагаемой технологии и вибрационных машин на базе роторно-винтовых технологически систем и комбинированных барабанов позволяет снизить затраты труда и металлоемкость машин более чем в 1,2–2 раза.

Для реализации результатов исследований представляется рабочая документация на технологическое оборудование с использованием винтовых роторов.

1. Пат. 2228252 Российская Федерация, МПК В24В31/06. Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей / Бабичев А.П., Бабичев И.А., Серга Г.В.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. – № 2002135225/02; заявл. 25.12.2002; опубл. 10.05.2004, Бюл. № 13. – 3 с. : ил.

2. Пат. 1783991 Российская Федерация, МПК В01F 11/00. Устройство для приготовления лакокрасочной продукции / Ю. И. Ерошенко, Д. Ш. Верунидзе, Г. В. Серга, А. Н. Куцериб; заявитель и патентообладатель Батумский промышленный комбинат Серга Георгий Васильевич. – № 90 4880858; заявл 02.10.1990; опубл. 10.11.2000. – 4 с. : ил.

3. Пат. 2305471 Российская Федерация, МПК А23N 12/02. Машина для мойки сыпучих предметов / Г. В. Серга, К. М. Кретинин; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. – № 2006105559/13; заявл 22.02.2006; опубл. 10.09.2007, Бюл. № 25. – 3 с. : ил.

4. Пат. 2007226 Российская Федерация, МПК В02С17/04. Семяочистительная машина / Серга Г. В., Филин К. В. ; заявитель и патентообладатель Серга Г. В., Филин К. В. № 4926616/03; заявл. 11.03.1991; опубл. 15.02.1994, Бюл. № 1. – 3с.; ил.

5. Пат. 2027130 Российская Федерация, МПК F26В 11/04. Сушилка для куриного помета / Г. В. Серга, К. В. Филин ; заявитель и патентообладатель Серга Георгий Васильевич, Филин Константин Владимирович. – № 5005024/06; заявл. 10.09.1991; опубл. 20.01.1995. – 3 с. : ил.

6. Пат. 2442312 Российская Федерация, МПК А01D 41/00, А01F 7/06, А01F 12/18. Комбайн зерноуборочный / Г. В. Серга, В. Д. Таратута ; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. – № 2010118928/13; заявл. 11.05.2010; опубл. 20.02.2012, Бюл. № 5. – 3 с. : ил.

7. Пат. 2044643 Российская Федерация, МПК 6В28С5/18. Бетоносмеситель / Г. В. Серга, С. Г. Шеховцов, В. В. Стрельников, К. М. Кретинин; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет № 5066133/33; заявл. 24.08.1992; опубл. 27.09.1995, Бюл. № 27. – 3с.: ил.

8. Пат. 2139150 Российская Федерация, МПК В07В 1/22. Барабанный грохот / Г. В. Серга, А. В. Ляу, А. Н. Иванов; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. – № 98114703/03 ; заявл. 28.07.1998; опубл. 10.10.1999. – 3 с. : ил.

Серга Георгій Васильович, д.т.н., професор, завідувач кафедри нарисної геометрії і графіки, Кубанський державний аграрний університет ім. І. Т. Трубіліна.

Марченко Олексій Юрійович, к.т.н., доцент кафедри нарисної геометрії і графіки, Кубанський державний аграрний університет ім. І. Т. Трубіліна.

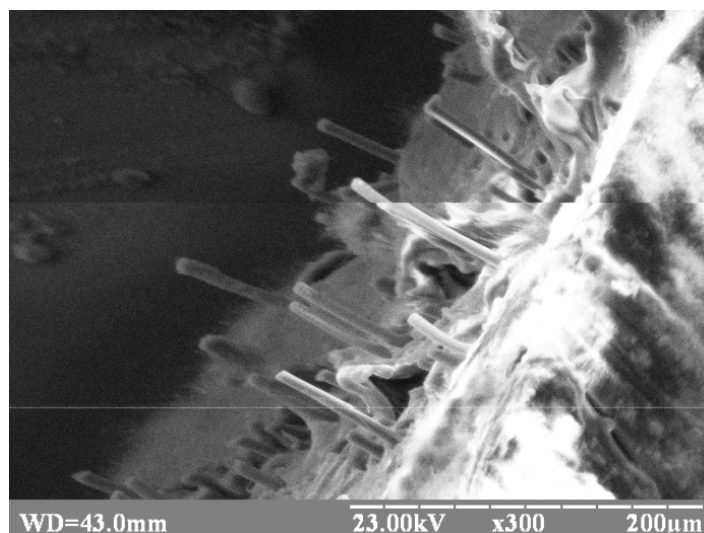
Саленко А. Ф., Орел В. Н., Ченчевая О. А., Лашко Е. Е., Гусарова И. А., Самусенко А.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ 3-D ПЕЧАТИ ПРЕПРЕГОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЗАГОТОВОК МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ НИТЬЮ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

В настоящее время изделия, получаемые методом 3-D печати, получают все большее распространение в различных отраслях промышленности, что обусловлено широкими технологическими возможностями данного метода. Последние обуславливаются как применяемыми материалами, так и способами воспроизведения объекта.

В инженерном деле для макетирования и решения некоторых исследовательских задач применяются материалы на основе различных полимеров: PPVA, PVC, ABS пластики, а также армированные материалы. К последним относятся PET/Carbon филаменты, выпускаемые промышленно многими мировыми химическими концернами.

Не является исключением и аэрокосмическая отрасль, для которой спектр применения изделий, полученных методом 3-D печати, велик. Как правило, к таким изделиям предъявляется ряд требований, которые должны обеспечить надежное функционирование изделия в штатных режимах и лимитированное функционирование в нештатных ситуациях.



Для этих целей наиболее подходящими являются филаменты, содержащие армирующие наполнители. Как правило, такие наполнители несколько повышают механические свойства готового изделия, препятствуют термическому деформированию и усадке изделия в процессе остывания.

Однако многие научные лаборатории продолжают активный поиск способов и методов дальнейшего повышения физико-механических свойств готовых изделий. Нами предложено выполнять печать армированным филаментом в управляемом магнитном поле.

В этом случае появляется возможность управлять процессом распределения рубленных армирующих компонентов по сечению расплавленной нити перед ее экструзией из сопла. При этом изменением условий экструзии, вида магнитного поля и его напряженности можно производить ориентирование армирующих компонентов, заставляя отдельные элементы образовывать своего рода кластеры, повышающие механические свойства в изделии в целом.

Это даст возможность не только выполнять ответственные конструктивные элементы с заданным способом армирования, но и подготавливать препреги, используя двухэкструдерную печать с применением удаляемого компонента. В этом случае удаляемый компонент, при сохранении общей схемы армирования, может быть заменен любыми синтетическими смолами, позволяющими значительно улучшить механические свойства изделия.

Саленко Олександр Федорович, д. т. н., професор, завідувач кафедри процесів і обладнання механічної та фізико-технічної обробки, Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського.

Орел В. Н., Ченчевая О. А., Лашко Е. Е., Гусарова И. А., Самусенко А., Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського.

**МЕТОДОЛОГІЯ СИНТЕЗУ НОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ
КАРКАСНИХ КОМПОНОВОК ЗА КРИТЕРІЯМИ ТОЧНОСТІ,
ЖОРСТКОСТІ І ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ**

Проведено порівняння типових стратегій обробки і базування деталі в найбільш розповсюджених каркасних компоновках верстатів з МПС. Запропоновано методику врахування в процесі синтезу технологічного обладнання з МПС обмежень, що враховують аналіз відклику каркасної системи МПС на зовнішні навантаження в ракурсі оцінки жорсткості системи, точності позиціонування, аналізу вібрацій обладнання.

Ключові слова: стратегії обробки, каркасні компоновки, оцінка жорсткості системи, точне позиціонування, аналіз вібрацій.

**МЕТОДОЛОГІЯ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГІЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С МПС
ПО КРИТЕРИЮ ТОЧНОСТИ, ЖЕСТКОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

Проведено сравнение типичных стратегий обработки и базирования детали в наиболее распространенных каркасных компоновках станков с МПС. Предложена методика учета в процессе синтеза технологического оборудования с МПС ограничений, учитывающих анализ отклика каркасной системы МПС на внешние нагрузки в ракурсе оценки жесткости системы, точности позиционирования, анализа вибраций оборудования.

Ключевые слова: стратегии обработки, каркасные компоновки, оценка жесткости системы, точное позиционирование, анализ вибраций.

**METHODOLOGY OF SYNTHESIS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT WITH MPS
ON THE CRITERIA OF ACCURACY, RIGIDITY AND PERFORMANCE**

Comparison of typical strategies for machining and basing a part in the most common wireframe configurations of machine tools with MPS is described. The technique of accounting in the process of synthesis of technological equipment with MPS limitations, taking into account the analysis of the response of the MPS frame system to external loads in the view of system rigidity estimation, positioning accuracy, vibration analysis of equipment is suggested.

Key words: processing strategies, frame layouts, system rigidity estimation, precise positioning, vibration analysis.

Задача синтезу кінематичних схем механізмів паралельної структури (МПС) не має однозначного рішення у зв'язку з тим, що одні і ті ж переміщення вихідної ланки можуть бути виконані з використанням різних кінематичних схем [1]. Тому синтез технологічного обладнання, побудованого на базі мехатронних систем з використанням МПС, має бути узгоджений з конкретними виробничими задачами.

Метою даної роботи є аналіз синтезу МПС з обмеженнями, що враховують зовнішні збуджуючі фактори, які безпосередньо впливають на точність позиціонування та загальну функціональність обладнання.

Викладання основного матеріалу. Якщо МПН є складовою металообробного обладнання для виготовлення складнопрофільних деталей, то із міркувань забезпечення достатньої точності обробки необхідна окрема алгоритмічна гілка для аналізу відклику каркасної системи МПС на зовнішні навантаження в ракурсі оцінки жорсткості системи. Для цього необхідно, з одного боку, виконати декомпозицію задачі з врахуванням властивостей деяких груп елементів або окремих ланок, що може бути сьогодні реалізовано за методом скінчених елементів, з іншого ж боку, необхідне врахування складних режимів обробки, що може вносити значну нелінійність та/або зворотній зв'язок в задачу при завданні особливого вигляду для закону зміни зовнішнього навантаження. В роботі МПС реалізуються складні просторові значення жорсткості як залежності не тільки від радіусу-вектору положення інструменту, але й напряму дії відтискових навантажень, що еквівалентно формуванню тензорного поля жорсткостей в робочій зоні обробки. При цьому діапазон значень жорсткості навіть в рамках єдиного сценарію обробки може бути досить широкий – від екстремально низьких значень, до достатніх для проведення достатньо «важких» обробок. Окремо необхідно виділити проблеми віброаналізу та пошук резонансних частот конструкції. Таким чином до задач синтезу в кінематичному сенсі додаються задачі генерування стратегії обробки, завдання пошуку оптимальних (в сенсі несучої спроможності обладнання) траєкторій та взаємних конфігурацій розташування системи «інструмент-деталь». Вказані обмеження потребують розробки систем наскрізного аналізу множини можливих компоновок МПС, що включають відповідні до перерахованих задач модулі та мають достатню гнучкість для швидкого реагування на зміну вхідних даних.

Розглянемо детально реалізацію вищевказаної послідовності за допомогою лінійки програмних продуктів Tools Glide [2], Tools Response та Tools Apps [3], що розроблені на кафедрі транспортних систем та технічного сервісу Херсонського національного технічного університету. Вказана лінійка призначена для генерування кінематики та аналізу статичного та динамічного відкликів глайд-обладнання без обмежень на форму зовнішніх навантажень, що можуть бути задані як довільні функції часу та внутрішніх параметрів системи з підтримкою зворотного зв'язку. Як вхідні дані, окрім геометрії конструкції, імпортується MPN-файл, що являє собою список з координат точок контакту інструменту та деталі, напрям інструменту, вектор нормалі та дотичної до оброблюваної поверхні тощо. На рис. 1 вказана схема для отримання MPN-файлу з типових стратегій – траєкторій обробки обмежених поверхнею еліпсоїду.

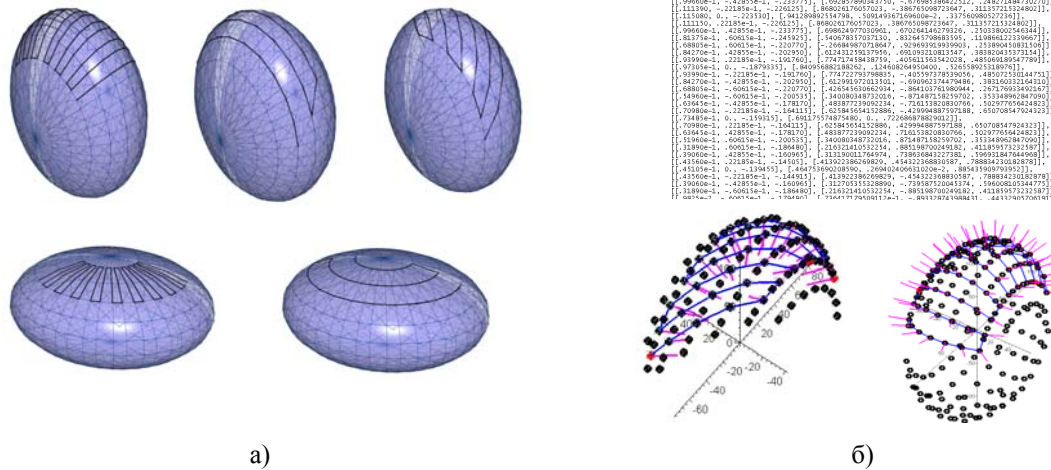


Рис. 1. Типові стратегії – траєкторії обробки обмежені поверхню еліпсоїду (а) та MPN-файл з його візуалізацією (б)

Вказані сімейства кривих є вхідними даними як для етапу генерування L-координат (модуль Tools Glide, рис. 2, а), так і для процедур порівняння функціональної здатності обладнання до виконання заданих стратегій з точки зору точності реалізації траєкторій в умовах наявності зовнішніх зусиль як функцій положення інструменту, його орієнтації, властивостей матеріалу та режимів технологічного процесу (модуль Tools Response, рис. 2, б).

Для аналізу відклику конструкції на робочі зовнішні навантаження в усьому діапазоні технологічного процесу обробки система відокремлює статичні та динамічні навантаження – проходить наскрізний обмін даними між відповідними модулями: кінематика (пряма або зворотна задачі) – статичний відклик (формування тензорів коефіцієнтів жорсткості) – динамічний відклик [4-5]. Бібліотека скінченних елементів Tools Response пристосована для задач такого типу, з підтримкою можливості з'єднання компонентів шарнірами різних типів, бібліотеки ж останніх можуть бути поповнені додатковими об'єктами.

Система дозволяє отримати параметри точності обробки як відхилення від заданої траєкторії та порівняти стратегії за нормами:

$$\Delta_1 = \sum_i (\mathbf{r}_i^* - \mathbf{r}_i)^2 / n; \tag{1}$$

$$\Delta_2 = \max(\mathbf{r}_i^* - \mathbf{r}_i)^2,$$

де \mathbf{r}_i^* та \mathbf{r}_i – вектор поточної координати інструменту з врахуванням відклику та цільової відповідно. За необхідністю таку ж оцінку можна провести щодо відхилення напрямків орієнтації інструменту.

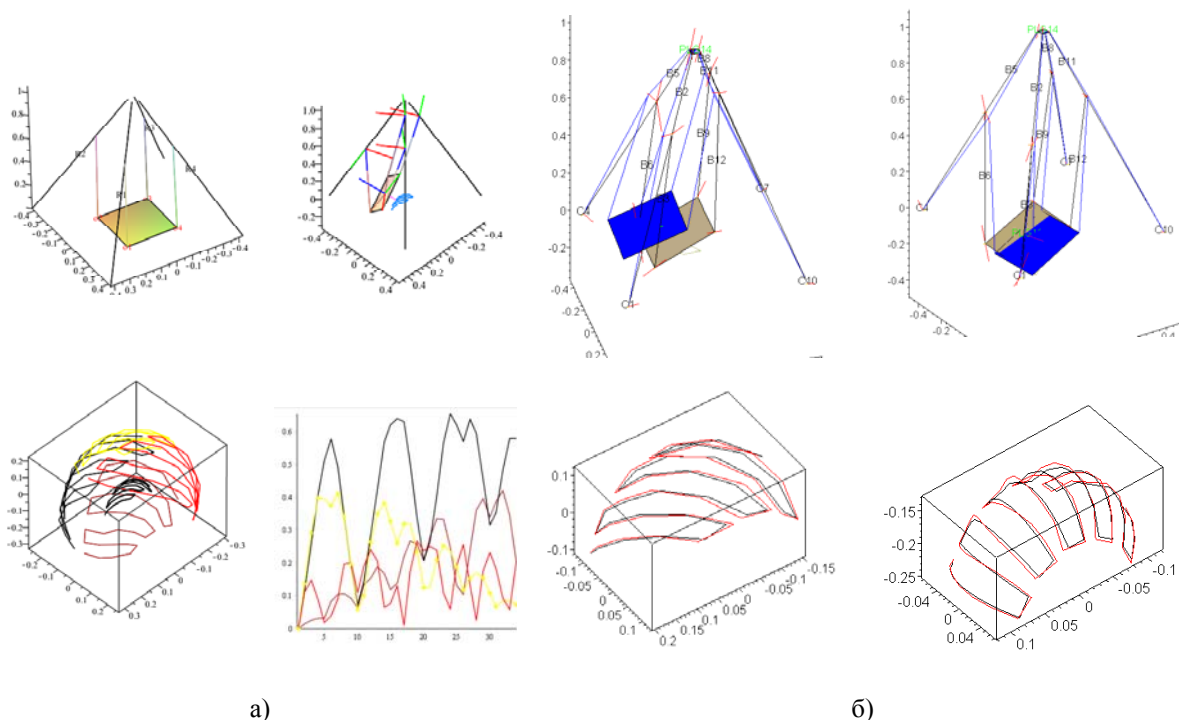


Рис. 2. Етапи опрацювання МПС в системі Tools Glide (а) та Tools Response (б).

Модуль Tools App дозволяє розрахувати резонансні частоти для всіх конфігурацій МПС за умови імпорту тензору податливостей розмірності 6×6 (з врахуванням крутильної складової) з модулю Tools Response (рис. 3). Окремо вкажемо на наявність модулю розрахунків задачі прямої кінематики TAngle.

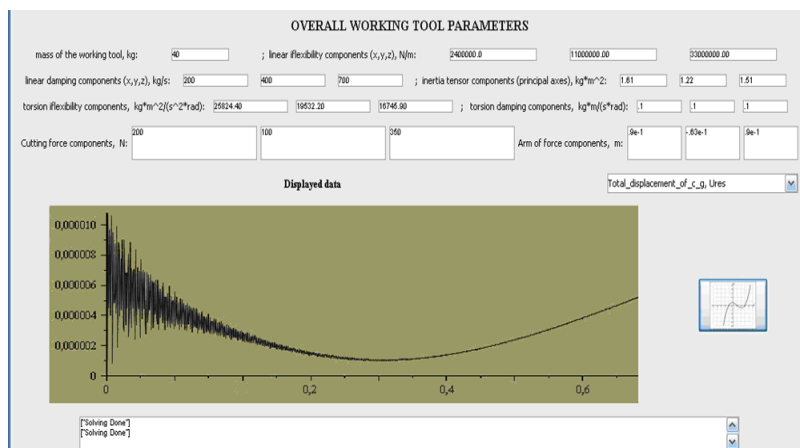


Рис. 3. Аналіз вібрацій обладнання в модулі Tools App

Висновки. Розглянуто методику порівняння типових стратегій обробки (рухів обробного інструменту) і базування деталі в найбільш розповсюджених каркасних компоновках верстатів з МПС. Запропоновано методику врахування в процесі синтезу технологічного обладнання з МПС обмежень, що враховують гілку аналізу відклику каркасної системи МПС на зовнішні навантаження в ракурсі оцінки жорсткості системи, точності позиціонування, аналізу вібрацій обладнання тощо. Порівняння стратегій можна проводити за рівняннями (1).

1. Кузнєцов Ю. М. *Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури: Монографія* / Ю. М. Кузнєцов, Д. О. Дмитрієв, Г. Ю. Діневич; під ред. Ю. М. Кузнєцова. – Херсон : ПП Вишемирський В. С., 2009. – 456 с.

2. Комп'ютерна програма «ToolsGLIDE». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 57913. / С. А. Русанов, Д. О. Дмитрієв, П. В. Кеба, Ю. М. Кузнєцов. – Заявл. 03.11.2016; Опубл. 29.12.2016.

3. Комп'ютерна програма «ToolsApp». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 57913. / С. А. Русанов, Д. О. Дмитрієв, М. І. Подольський, Ю. М. Кузнєцов. – Заявл. 03.11.2014; Опубл. 29.12.2014.

4. Русанов С. А. *Комплексний аналіз механізмів паралельної структури засобами цільових систем автоматизованого моделювання* / С. А. Русанов, Д. О. Дмитрієв // *Тези доповідей VII міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти»*, Київ – Херсон, 2016, с. 152–155.

5. Дмитрієв Д. О. *Зовнішні модулі для прогнозування та управління складними рухами ланок механізмів паралельної структури* / Д. О. Дмитрієв, С. А. Русанов, П. В. Кеба, С. М. Півень // *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2016): матеріали тез доповідей VI міжнародної науково-практичної конференції*. – Чернігів : ЧНТУ, 2016. – С. 44–47.

Дмитрієв Дмитро Олексійович, д. т. н., професор кафедри транспортних систем і технічного сервісу, Херсонський національний технічний університет.

Русанов Сергій Аркадійович, к. т. н., доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу, Херсонський національний технічний університет.

Федорчук Дмитро Дмитрович, студент, Херсонський національний технічний університет.

УДК 621.01:620.193.16

Ганзюк А. Л., Олександренко В. П.

**ВПЛИВ ВІБРАЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НОМІНАЛЬНО-НЕРУХОМІ
З'ЄДНАННЯ ТА ЕВОЛЮЦІЙНА МОДЕЛЬ ФРЕТИНГ-КОРОЗІЇ
ІЗ ВПЛИВОМ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

Проведено аналіз впливу вібраційного навантаження та зовнішніх факторів на експлуатацію нерухомих з'єднань автомобільної техніки з точки зору надійності вузлів кріплення та фретинг-процесів. У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано динамічну модель фретинг-процесу з урахуванням зовнішнього рідинного середовища.

The analysis of influence of the oscillation loading and external factors is conducted on exploitation of immobile connections of motor-car technique from the point of view of reliability of knots of fastening and fringing processes. As a result of undertaken theoretical and experimental studies the dynamic model of fretting process is offered taking into account a liquid environment.

Довговічність машин та механізмів визначається різноманітними видами з'єднань, а саме які відносяться до класу попередньо напружених та працездатність яких забезпечується наявністю тертя в контакт – номінально-нерухоми фрикційні з'єднання.

Експлуатація автомобільної техніки з точки зору надійності вузлів кріплення та фретинг-процесів відрізняється головними чинниками: не стаціонарністю динамічних навантажень та вплив агресивного середовища. Саме не стаціонарність навантаження призводить до раптового руйнування вузлів нерухомого спряження, а прихованість довготривалої дії від фретингу не дає можливості передбачати аварійну ситуацію.



Рис. 1. Загальний вигляд пошкодження елементів передньої підвіски автобуса «Ікарус»



Рис. 2. Детальний вигляд пошкодження різьбової частини наконечника лівої штанги передньої підвіски автобуса «Ікарус»

З детального аналізу вигляду пошкоджень різьбової частини наконечника лівої штанги передньої підвіски автобуса «Ікарус» можна зробити висновок, що механізм динамічних переміщень у номінально-нерухомих з'єднаннях автомобільної техніки характеризується широким спектром силового та вібраційного навантаження, при збільшенні кількості циклів навантаження об'єми, які знаходились в розукріпленому стані, укріплюються, а об'єми, які були раніше укріплені розукріплюються. При цьому відбувається ніби рух хвиль «укріплення - розукріплення» в глибину шарів.

Оточуюче середовище, а саме рідина з різними домішками, є одним з факторів, який визначає хід фізико-хімічних процесів в зоні тертя. Так на поверхнях металів в атмосферних умовах присутні окисні та адсорбовані газові плівки, які попереджують безпосередній контакт ювенільних металевих поверхонь. В процесі тертя ці плівки зношуються та руйнуються. Але активна взаємодія газового середовища на матеріал в зоні тертя приводить до їх регенерації. Тому закономірності тертя в повітрі в значній мірі визначаються властивостями поверхневих плівок.

Внаслідок корозії проходять гетерогенні хімічні реакції, які приводять до переходу металу в окислений, іонний стан. Гетерогенність кородуючого середовища визначається тим, що метал знаходиться в контакт з газовою та рідкою фазами агресивних агентів, які викликають окислення.

Авторами [1,2] проведено ряд експериментальних досліджень по зміні властивостей та енергетичного стану води, яка підлягала впливу вібраційних коливань із виниканням кавітаційних процесів. В результаті досліджень встановлено, що зменшується коефіцієнт поверхневого натягу рідини, збільшується показник до значення рН 9 одиниць, зменшується показник окислювально-відновлювального потенціалу води.

Виникаючі в системі активні частки після переходу в розчин сольватуються і реагують з розчиненими речовинами. На цій стадії, коли здійснюється дія вібраційних коливань, на хід процесу гетерогенної хімічної реакції можуть впливати практично не тільки хімічно активні гази – O_2 і H_2 , а і під дією вібраційних коливань проходить гемолітичний розрив ковалентних зв'язків у молекулах води з утворенням радикальних частинок H^+ , OH^- , O^- , які мають підвищену окислювальну здібність (рис.3). Іон H^+ має високу рухомість і може швидко виходити шляхом дифузії з потоку, при цьому значна частина їх залишається у потоці, OH^- накопичується, що приводить до зростання рН.

У кінцевому рахунку, вплив кавітації на водні розчини зводиться до єдиного процесу – розщеплення молекул води в кавітаційних пухирцях. Незалежно від природи розчинених речовин, звукові коливання діють на одну речовину – на воду, що приводить до зміни її фізико-хімічних властивостей: збільшенню рН, електропровідності води, збільшенню числа вільних іонів і активних радикалів, структуризації й активації молекул.

Експериментальні результати [1] показали, що при вібраційному навантаженні водних розчинів спостерігається різка зміна фізико-хімічних і хімічних властивостей води. Наприклад, при ударному стисненні до $1,27 \cdot 10^4$ МПа концентрація кожного з одночасно існуючих іонів H^+ і OH^- досягає 5 моль-екв/л, тобто змінюється на сім порядків. Збільшення електролітичної дисоціації води було використано для здійснення у водних розчинах за вельми короткий проміжок часу ~ 1 мкс при тисках $(2,7 \dots 4,0) \cdot 10^3$ МПа деяких окисно-відновних реакцій за участю іонів хромату, нітрату, перхлорату, сульфату і т. п.

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано динамічну модель фретинг-процесу з урахуванням зовнішнього рідинного середовища яка представлена на рис. 4 та системою диференціальних рівнянь :

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x} = c(x - y) + F \\ M \cdot \ddot{y} = c(x - y) + ky^2 \end{cases} \quad (1)$$

де m – маса еластичного елемента, як опис тангенціальної жорсткості зовнішнього шару і третього тіла ($M \gg m$) ;

c – пружність еластичного елемента;

F – сила тертя;

M – маса третього тіла;

$k = \frac{1}{E}$ – коефіцієнт демпфірування; E – модуль пружності рідини на розтяг.

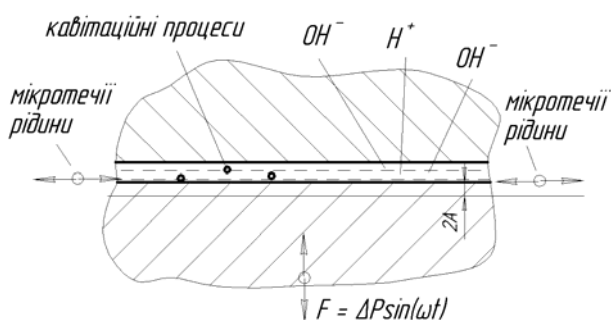


Рис. 3. Динамічна модель впливу вібраційних коливань на водне середовище

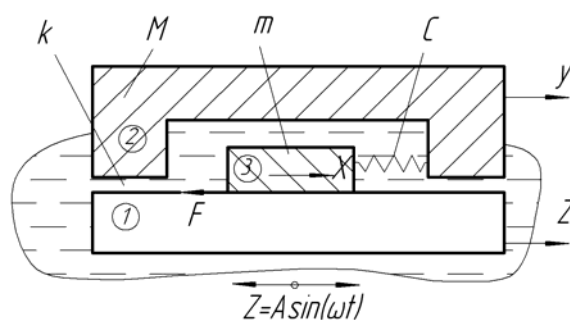


Рис. 4. Динамічна двомірна модель з трьох тіл занурених у рідину: 1 – робить коливальний рух по специфічному закону; 2 – еластичний елемент з масою, як опис тангенціальної жорсткості зовнішнього шару; 3 – тіло, як рух усього елемента

Аналіз впливу різних зовнішніх факторів на експлуатацію автомобільної техніки з точки зору надійності вузлів кріплення та фретинг-процесів показав, що вони відрізняється головними чинниками: не стаціонарністю вібраційних динамічних навантажень та впливом агресивного середовища.

Розглянуто основні етапи трибохімічних процесів деформаційної моделі механізму фретинг-процесів та запропоновано перебіг трибохімічних реакцій на поверхнях контактуючих тіл з урахуванням хімічно-активних газів та радикальних частинок водного середовища H^+ , OH^- , O^- , які мають підвищену окислювальну здібність.

У результаті обґрунтування перебігу вібраційних фретинг-окислювальних процесів встановлено, що проходять складні фізико-хімічні перетворення, які в певній мірі пояснюють можливості проходження відповідних трибо-хімічних реакцій у вібраційних номінально-нерухомих фрикційних з'єднаннях.

1. Маргулис М. А. *Основы звукохимии (химические реакции в акустических полях)* / М. А. Маргулис: учеб. пособие для хим. и хим.-технол. спец. вузов. – М. : Высш. шк., 1984. – 272 с.

2. Федоткин И. М. *Кавитация. Кавитационные энергетические аппараты и установки* / И. М. Федоткин, С. И. Гулый. – К. : Арктур-А, 1998. – 130 с.

Ганзюк Андрій Леонідович, директор Хмельницького НДЕКЦ МВС України.

Олександренко Віктор Петрович, д.т.н., професор, декан ФІМ ХНУ.

УДК 621.01

Паламарчук І. П.

ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТИВНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРОКОНВЕЄРНИХ СИСТЕМ У ПРОЦЕСАХ ТЕПЛОМАСООБМІННОЇ ОБРОБКИ СИПКИХ МАС

На основі теоретичних та експериментальних досліджень вирішена наукова проблема органічного поєднання транспортного та технологічного рухів при забезпеченні високої інтенсифікації та рівномірності тепломасообмінних процесів, що дозволило за необхідної якості обробки та продуктивності обладнання значно зменшити енерговитрати на металоємкість порівняно з традиційними віброконвеєрними машинами, що мають недеформований вантажонесучий орган; обґрунтовані основні режимні параметри при реалізації основної технологічної дії на сировину та вібраційного або хвильового транспортування продукції в умовах псевдозрідженого шару.

Інтенсивна термічна дія, зокрема при використанні інфрачервоного опромінення, на поверхневий шар сировини створює водночас проблеми його перегріву та нерівномірності пошарової обробки. Тому є перспективним при транспортуванні продукції в зоні обробки використовувати віброконвеєрні та хвильові технології, що дозволяють створити сприятливі умови для інтенсифікації процесу виробництва та застосування ефективних методів дії на його об'єкт; реалізувати технологічний рух у безперервному режимі; зменшити та усунути взагалі використання непродуктивної праці; зокрема при здійсненні допоміжних операцій; створити загальне керування динамічним станом системи, в якій відбувається технологічна дія; мінімізувати механічні пошкодження об'єкта.

Поєднання вібраційної та поточної технологій в конвеєрних вібромашинах обумовлює реалізацію автоматизації виробничого процесу, гармонійне співвідношення його основних структурних складових, здійснення ефективної об'ємної дії на продукцію, що відповідає вищим формам досконалості технологічного обладнання.

Розвиток вібраційних конвеєрних машин веде початок із хвильових та вібраційних конвеєрів, що зумовило вибір предмета дослідження у даній науковій роботі.

Метою досліджень є інтенсифікація тепломасообмінних процесів, зменшення енерговитрат та металоємкості при обробці сипких технологічних мас шляхом теоретичного та експериментального визначення залежностей для основних параметрів масообміну в умовах псевдозрідженого шару сировини, розробки вібраційних конвеєрних машин та оптимізації режимних параметрів досліджуваного тепломасообмінного процесу.

Для здолання основної конструктивно-технологічної суперечності між транспортним та технологічним рухом, що притаманна саме для систем досліджуваного типу, пошук їх приводного та виконавчого структурних складових зупинився на вібраційних конвеєрних системах, властивості яких представлені на рис. 1.

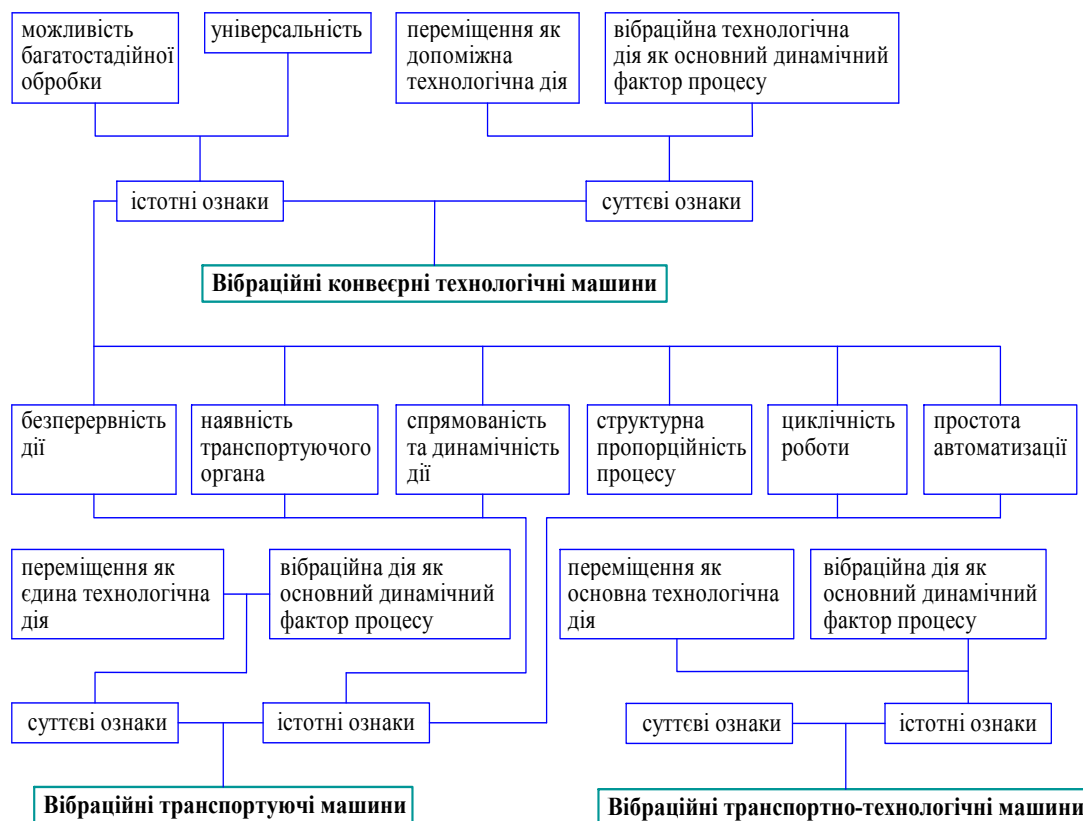


Рис. 1. Обґрунтування основних властивостей досліджуваної транспортно-технологічної системи

В якості предмета досліджень використовувались віброконвеєрні машини двоконтейнерного U-видного (рис. 2) та стрічкового (рис. 3) типів.

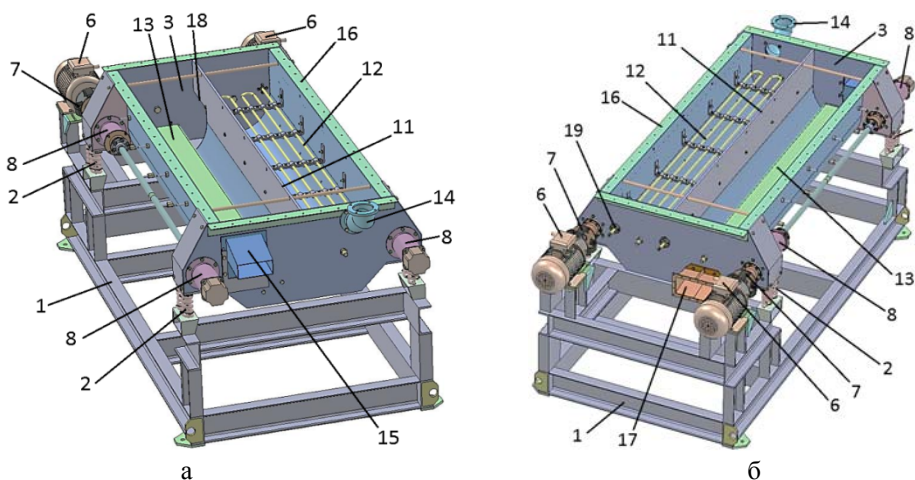


Рис. 2. Вібраційна двоконтейнерна сушарка

з адаптивним регулюванням параметрів процесу сушіння:

- а – вид із сторони завантажувальної та розвантажувальної горловини; б – вид із сторони електродвигунів: 1 – рама; 2 – пружна підвіска; 3 – корпус; 6 – привод; 7 – муфта; 8 – дебалансний вібропривод; 11 – бічна стінка; 12 – ТЕН; 13 – порожнистий патрубок; 14 – завантажувальна горловина; 15 – вивантажувальна горловина; 16 – кріплення кришки; 17 – пневмережа; 18 – виріз; 19 – електричні контакти.

Для оцінки динаміки руху виконавчих органів системи за основу були прийняті розроблені схеми механічного, кінематичного та комбінованого віброзбудження.

Для забезпечення транспортного руху сипкого технологічного середовища всередині робочої зони застосовувались вібротранспортувальні та віброхвильові механізми, які дозволили здійснювати одночасно процеси переміщення та перемішування в умовах термічної дії на сировину, забезпечуючи максимальну інтенсивність процесу, яка обмежується тільки механізмом масоперенесення.

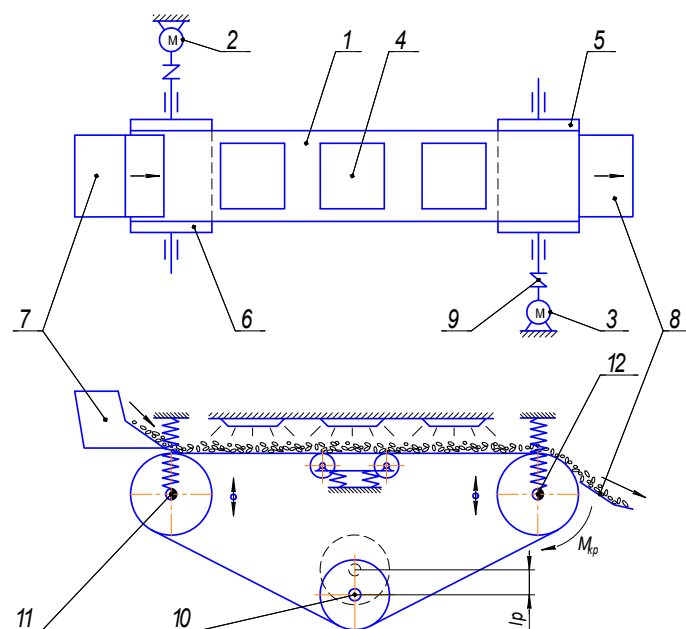


Рис. 3. Конвеєрна віброхвильова інфрачервона сушарка:

1 – стрічка; 2, 3 – двигуни віброзбуджувачів; 4 – інфрачервоні випромінювачі; 5, 6 – котки; 7 – живильник; 8 – приймальний бункер; 9 – гнучка муфта; 10 – натяжний коток; 11, 12 – дебалансні віброзбуджувачі

Для забезпечення необхідної швидкості просування продукції у робочій зоні був проведений теоретичний аналіз впливу силових параметрів незрівноваженості коливальної системи на кінематичні характеристики потоку сипкої маси, що дозволяє обґрунтувати потрібну траєкторію їх руху та прогнозувати час знаходження продукції під тепловою дією. Найбільш сприятливі умови дозволили отримати за комбінованої силової та моментної незрівноваженості системи при русі виконавчих органів за «правим» або «лівим» динамічним гвинтом.

Застосування деформованого вантажонесучого органу, двох дебалансних віброзбуджувачів, що сполучені гнучким зв'язком дозволило реалізувати транспортно-технологічну функцію обладнання, що у 3...5 разів є менш енергоємною та у 4...6 разів – менш металоемкою порівняно з традиційними віброконвеєрними інфрачервоними сушарками.

Паламарчук Ігор Павлович, д.т.н., професор, завідувач кафедри харчових технологій та мікробіології Вінницького національного аграрного університету

УДК 621.762.8(088.8)

Пелех М. П., Верхола І. І.

ВІБРООБ'ЄМНА ОБРОБКА З МОЖЛИВІСТЮ ЇЇ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ШЛЯХОМ ПОЄДНАННЯ З ІНШИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ

The treatment of hard-alloyed products, especially in their mass production, is a labor-intensive and energy-intensive technological process. Therefore, advanced methods such as vibration and high-temperature processing are used. Using special screens you can get the given shaped surfaces. The resulting shaped surface on hard-alloyed tooth, obtained by high-temperature and vibrational methods, greatly increases the operational durability of the drilling hard-alloyed tool.

Вібраційна обробка виробів має широке розповсюдження та володіє значними технологічними можливостями, високою продуктивністю при очисних, шліфувальних і зміцнюючих операціях. Вона являється новим прогресивним напрямом в технології обробки деталей машин і приладів з різних конструкційних матеріалів.

Для видалення поверхневого шару твердосплавних виробів більше 0,05 мм шляхом віброоб'ємної обробки необхідно затратити більше 10 годин. Крім цього, без додаткових операцій неможливо здійснити обробку окремих ділянок поверхонь з метою формозміни виробів, оскільки їй властива усестороння і достатньо рівномірна обробка усіх поверхонь виробу. З метою інтенсифікації вібраційної обробки твердосплавних виробів найбільш перспективним є спосіб, який полягає у зніманні поверхневого шару шляхом окислення при нагріванні виробів до температури 973-1173К в окисній атмосфері, наприклад повітрі, і наступним видаленням оксидів розчиненням або механічною обробкою. При цьому видалення оксидів більш ефективно можна проводити віброоб'ємною обробкою.

Проведено дослідження впливу термо-віброоб'ємної обробки на об'ємну міцність або тільки на поверхневий шар. В зв'язку з цим проводилось зняття поверхневого шару товщиною 0,25 мм шляхом шліфування взірців, які пройшли термо-віброоб'ємну обробку (при вибраному оптимальному режимі). Доведено, що вона підвищує величину σ_{gr} на 50–55% – для сплаву ВК8 і ВК8В і на 35% для сплавів ВК15. Це свідчить про те, що спосіб термо-віброоб'ємної обробки у порівнянні з абразивною або алмазною обробкою забезпечує найвищі значення границі міцності при згині металокерамічних твердих сплавів WC-Co. Експериментальні дані показали, що після зняття поверхневого шару товщиною 0,25 мм на взірцях, які не піддавались термо-віброоб'ємній обробці, величина σ_{gr} не змінилась.

Дослідження взірців на ударну в'язкість із сплаву ВК8В, які піддавались термо-віброоб'ємній обробці, шліфуванню і поєднанню цих операцій, показали якісно такі ж результати. Це свідчить про те, що зміцнення твердого сплаву при термо-віброоб'ємній обробці має об'ємний характер. Отже, таку обробку з наступним алмазним шліфуванням поверхні можна застосовувати для забезпечення високої точності розмірів і геометричної форми твердосплавних виробів при значному підвищенні їх міцності.

Одним з основних критеріїв оцінки якості твердих сплавів, які застосовуються для виготовлення бурового інструмента, є їх дослідження при бурінні в експлуатаційних умовах. Бурові шарошкові долота, армовані зубками із металокерамічних твердих сплавів ВК8В, знаходять найбільш широке розповсюдження в гірничій і нафтодобувній промисловості. Їх експлуатаційну стійкість визначали в метрах загальної проходки при бурінні в однакових гірничо-геологічних умовах, проводячи при цьому аналіз стану твердосплавних зубків по їх сколенні і зношенні. Результати дослідження способу термо-віброоб'ємної обробки фасок на твердосплавних зубках показали, що на відміну від шліфування цей метод забезпечує плавне сполучення утворюючих поверхонь фаски і циліндра, а також співвісність цих поверхонь. Крім цього, за рахунок віброобробки суттєво зменшується шорсткість шліфованої поверхні. Це створює передумови для підвищення якості збирання доліт з зубками, а також, завдяки значному зміцненню твердого сплаву, збільшення їх довговічності.

З метою проведення випробувань твердосплавних зубків, які пройшли термо-віброоб'ємну обробку, на перевірку їх експлуатаційної стійкості при бурінні була виготовлена дослідна партія бурових доліт типу У243ОКП. Заготовки зубків для цих доліт були виготовлені з однорідної за фізико-механічними властивостями партії сплаву ВК8В, при цьому шліфування цих зубків було проведено тільки по циліндричній поверхні. Після шліфування зубки оброблялись високотемпературним способом в електричній печі в спеціальних касетах при температурі 973-1173К. Касети були заповнені сумішшю дрібнозернистого піску і порошку графіту. За наявності повітря, кисень який знаходиться в ньому взаємодіє як із засипкою так і з твердим сплавом зубка. Відбувається окислення двох компонентів. Але оскільки кисень, щоб дійти до поверхні зубка, повинен дифондувати через шари засипки, то з глибиною змінюється градієнт кисню. По поверхні зубка відбувається нерівномірне розподілення кисню, а відповідно і окислення буде нерівномірним. Таким чином, регулюючи процентний вміст складових у засипці, а також температуру нагріву та час витримки можна отримувати різноманітні фасонні поверхні.

Твердосплавні зубки, у яких фаски отримані термічною обробкою, при запресовуванні в шарошки бурових доліт не викликають контактних напружень, які перевищують границю міцності матеріалу шарошки, і тому виключається явище появи мікротріщин. При запресовуванні серійних зубків, у яких фаски виконані методом шліфування, в з'єднанні виникають напруження, що перевищують границю міцності матеріалу шарошки і на поверхні, цементованій на глибині 1,5–2 мм, з'являються мікротріщини. Це зумовлює збільшення моменту згину зубка. за рахунок збільшення плеча, що пов'язано з руйнуванням цементованого поверхневого шару.

Збільшення проходки при бурінні дослідними долотами, які були армовані твердосплавними зубками та після їх розмірної термо-віброоб'ємної обробки, склало в середньому 46% у порівнянні із серійними. Основною причиною виходу з ладу серійних доліт було часткове сколення і повний злом їх зубків (до 70% від загального числа зубків), в той час як для дослідних доліт було характерним збереження 60-80% їх зубків цілими.

Враховуючи зазначене, можна стверджувати, що міцність і ударна в'язкість твердих сплавів в результаті термо-віброоб'ємної обробки суттєво зростає, завдяки чому значно збільшується експлуатаційна довговічність бурового твердосплавного інструмента.

1. *Пелех М. П., Вібраційна обробка військових виробів з можливістю її інтенсифікації у поєднанні з іншими технологічними методами / М. П. Пелех, І. І. Верхола, О. В. Флюд // Матеріали доповідей науково-практичної конференції «Наукове забезпечення службово-бойової діяльності Національної гвардії України». – Харків : НАНГУ, 2017. – С. 123-124.*

2. *Пелех М. П. Метод підвищення експлуатаційної та пробивної здатності куль / М. П. Пелех, І. І. Верхола // Матеріали доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ». – Львів: АСВ, 2017р. – С. 102.*

Пелех Мирон Петрович, к.т.н., доцент, професор кафедри Інженерної механіки (озброєння та техніка інженерних військ), Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного;

Верхола Ірина Ігорівна, к.т.н., доцент кафедри Інженерної механіки (озброєння та техніка інженерних військ), Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного;

Наукове видання

«ВІБРАЦІЇ В ТЕХНІЦІ ТА ТЕХНОЛОГІЯХ»

Збірник тез доповідей XVI Міжнародної науково-технічної конференції

Редактор Р. Д. Іскович-Лотоцький

Укладачі : Олександр Дмитрович Манжілевський
Ярослав Володимирович Іванчук

Оригінал-макет підготовлено Я. В. Іванчуком, Є. І. Івашком

Підписано до друку 18.10.17 р.
Формат 29,7×42¹/₂. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 21,02
Наклад 90 прим. Зам № В2017-25

Вінницький національний технічний університет,
ІРВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.
21021, м. Вінниця, вул. Порики, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.