

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий

**ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВІБРОТОЧІННЯ
НА БАЗІ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИВОДА**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2015

УДК 621.91+62-82
ББК 34.85.+34.447
О-13

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 3 від 30.10.2014 р.)

Рецензенти:

І. П. Паламарчук, доктор технічних наук, професор

І. О. Сивак, доктор технічних наук, професор

Обертюх, Р. Р.

О-13 Пристрої для віброточіння на базі гідроімпульсного привода : монографія / Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 164 с.

ISBN 978-966-641-625-7

В монографії проведено аналіз способів віброрізання та пристроїв для їх реалізації під час різних видів механічної обробки різанням і визначено тенденції розвитку пристроїв для віброточіння з гідроімпульсним приводом. Запропоновано нові принципи побудови гідроімпульсних пристроїв для віброрізання, які реалізовано в конструкції гідроімпульсного пристрою для радіального віброточіння з вбудованим генератором імпульсів тиску (ГІТ) параметричного типу, силову і пружну ланки якого виконано у вигляді поршня–прорізної пружини. Робота розрахована на науковців, фахівців з вібротехніки та вібротехнологій, викладачів, аспірантів і студентів.

УДК 621.91+62-82

ББК 34.85.+34.447

ISBN 978-966-641-625-7

© Р. Обертюх, А. Слабкий, 2015

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ СТВОРЕННЯ ТА РОЗВИТКУ СПОСОБІВ І ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВІБРОРІЗАННЯ	7
1.1 Способи подрібнення стружки	7
1.2 Способи та пристрої для вібраційного різання	12
1.2.1 Способи вібраційного різання	13
1.2.2 Способи вібраційної обробки різанням циліндричних поверхонь	16
1.2.3 Способи обробки вібраційним різанням плоских поверхонь ..	17
1.2.4 Типи вібраційних приводів пристроїв для вібраційного різання металів	20
2 ТЕХНІЧНІ І ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМОГИ ДО ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВІБРОТОЧІННЯ, ПРИНЦИПОВІ ТА КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ РАДІАЛЬНОГО ВІБРОТОЧІННЯ З ВБУДОВАНИМ ГІТ	34
2.1 Обґрунтування технічних та технологічних вимог до пристроїв для віброточіння	34
2.2 Розробка конструктивної схеми гідроімпульсного пристрою для віброточіння зі вбудованим ГІТ	36
2.3 Дослідження прорізної пружини пристрою для радіального віброточіння з вбудованим ГІТ	42
2.3.1 Розробка уточненої методики розрахунку прорізних пружин з врахуванням їх циклічного навантаження в гідроімпульсному пристрої	42
2.3.2 Випробування різних варіантів конструкцій ППП та розробки раціонального варіанта	46
2.3.3 Оцінка циклової довговічності запірною елемента гідроімпульсного пристрою для віброточіння, виконаного у вигляді комбінації поршня з прорізною пружиною	54
2.4 Порівняння технічних параметрів розробленого гідроімпульсного пристрою для радіального віброточіння з вбудованим ГІТ з відомими пристроями для віброточіння	63

3 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ РАДІАЛЬНОГО ВІБРОТОЧІННЯ З ВБУДОВАНИМ ГЕНЕРАТОРОМ ІМПУЛЬСІВ ТИСКУ	64
3.1 Динаміка гідроімпульсного пристрою для віброточіння з вбудованим генератором імпульсів тиску	64
3.2 Спрощені динамічні та математичні моделі прямого та зворотного ходів рухомих ланок гідроімпульсного пристрою для віброточіння	92
3.3 Результати аналізу математичних моделей гідроімпульсного приводу пристрою для радіального віброточіння з вбудованим ГІТ	102
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИВОДА ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ РАДІАЛЬНОГО ВІБРОТОЧІННЯ З ВБУДОВАНИМ ГІТ	106
4.1 Розробка методики експериментального дослідження	111
4.2 Вимірально-реєструюча апаратура для експериментальних досліджень привода дослідного зразка гідроімпульсного пристрою для радіального віброточіння з вбудованим ГІТ	114
4.3 Експериментальні дослідження закономірностей робочих режимів гідроімпульсного приводу пристрою для радіального віброточіння з вбудованим ГІТ регулюванням параметрів спрацювання ГІТ	120
5 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТНОГО РОЗРАХУНКУ ПРИВОДА ПРИСТРОЮ ДЛЯ РАДІАЛЬНОГО ВІБРОТОЧІННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВІБРОТОЧІННЯ.....	131
5.1 Порівняння результатів теоретичного та експериментального досліджень привода пристрою для радіального віброточіння	131
5.2 Методика проектного розрахунку гідроімпульсного приводу пристрою для радіального віброточіння з вбудованим ГІТ	134
5.3 Перспективні конструкції пристроїв для віброточіння.....	139
ВИСНОВКИ.....	152
ЛІТЕРАТУРА.....	154

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АТ	– теплообмінний апарат
АЦП	– аналого-цифровий перетворювач
Б	– бак
БЖ	– блок живлення
ГЛ	– гідравлічна лінія
ГІТ	– генератор імпульсів тиску
Д	– дроссель
Д1	– давач переміщення
Д2	– давач тиску
ДП	– друкуючий пристрій (принтер)
ЗВ	– зворотний клапан
ЗК	– запобіжний клапан
ЗЛ	– зливна лінія
ЗМН	– золотниковий розподільник
ЗРЕ	– запірно-регулюючий елемент
ЗПП	– золотник-прорізна пружина
ЗОР	– змащувально-охолоджувальна рідина
МН	– манометр
Н	– гідронасос
НС	– насосна станція
НП	– напірна лінія
ПВ	– пристрій візуалізації (дисплей)
ППП	– поршень-прорізна пружина
ПТП	– пакет тарілчастих пружин
ПК	– персональний комп'ютер
РВ	– регулятор витрат
РПТПШ	– різець–пакет тарілчастих пружин–штовхач
Ф	– фільтр

ВСТУП

В сучасному машинобудуванні виникає потреба в обробці матеріалів з високими показниками міцності, зносостійкості, жаростійкості, твердості тощо. Зазвичай такі матеріали піддаються механічній обробці різанням, яке може проходити з утворенням зливної стружки, через швидке сходження якої з оброблюваної поверхні і велику її довжину виникає небезпека травмування верстатника. Крім того, зливну стружку важко утилізувати, оскільки вона займає великий об'єм. Одним із способів, що запобігає утворенню зливної стружки, є вібраційне різання. Вібраційне різання можна здійснювати для різних видів механічної обробки: точіння, свердлення, фрезерування тощо. Одним із найбільш вивчених є процес вібраційного точіння (віброточіння), яке в залежності від частоти вібрацій різця умовно поділяють на: низькочастотне (до 200 Гц), високочастотне (з частотою від 200 до 15000 Гц) та ультразвукове (15000 Гц і більше). Низькочастотне віброточіння забезпечує надійне подріблення стружки під час обробки будь-якого матеріалу на різних режимах за рахунок миттєвого припинення процесу різання. Широке впровадження віброточіння в практику токарної обробки стримується відсутністю ефективного і компактного обладнання для віброрізання, яке можна б було використовувати без змінення основних вузлів верстатів, наприклад таких як супорт токарних верстатів.

Пристрої, що реалізують вібраційне різання, будуються на основі різних типів приводів — механічного, електромагнітного, пневматичного, гідравлічного та інші. З усіх типів приводів найбільш компактним з широкими технологічними можливостями є гідравлічний привод і, зокрема, його різновид — гідроімпульсний привод, переваги якого перед іншими типами приводів вібраційних технологічних машин доведені. Відомі приводи пристроїв для віброточіння мають відносно великі габарити і в більшості випадків вимагають перебудову верстатів (зміна кінематики верстатів, оснащення спеціальними супортами тощо), тому пошук схемних і конструктивних рішень компактного обладнання для віброточіння на базі гідроімпульсного привода та розробка відповідної науково-обґрунтованих методик розрахунку приводу пристроїв такого типу є актуальною науковою та інженерною задачею.

1 ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ СТВОРЕННЯ ТА РОЗВИТКУ СПОСОБІВ І ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВІБРОРІЗАННЯ

1.1 Способи подрібнення стружки

Інтенсифікація технологічних процесів під час оброблення металів різанням приводить до різкого збільшення маси стружки, що знімається, вихід якої залежно від оброблюваного матеріалу складає до 35,6 % від маси деталі [1]. Під час обробки в'язких і тугоплавких матеріалів (нержавіючих, високолегованих і швидкоріжучих сталей), і низки сплавів кольорових металів, стружка має форму довгої безперервної стрічки або спіралі, що практично не дозволяє передбачити напрямок її сходження [2]. Наявність такої стружки, що отримала назву «зливної», є негативним чинником обробки металів різанням через низку обставин, основні з яких такі [3]:

- внаслідок витрат часу на видалення зливної стружки із зони обслуговування верстата знижується продуктивність праці через необхідність переривання технологічного процесу;

- такий тип стружки унеможлиблює використання автоматизованого обладнання, оскільки присутність зливної стружки в зоні оброблення перешкоджає використанню промислових роботів і маніпуляторів для міжопераційного транспортування оброблюваної деталі;

- зберігання та транспортування зливної стружки пов'язані з певними труднощами, оскільки сучасні пристрої для транспортування з гідравлічним, пневматичним або механічним приводом можуть транспортувати попередньо подрібнену стружку [1];

- зливна стружка в порівнянні із подрібненою займає набагато більший об'єм, що утруднює її складування в цеху та спричиняє додаткові затрати часу на виведення стружки з технологічного простору цеху;

- зливна стружка є одним із основних джерел важкого травмування верстатника, оскільки під час виходу із зони різання вона має високу температуру та небезпечну гостру форму, внаслідок чого можлива велика кількість опіків та порізів [3].

Із викладеного можна зробити висновок, що пошук нових технологічних і конструктивних рішень способів і пристроїв для подріб-

нення стружки та дослідження процесів подрібнення є актуальною інженерною та науковою проблемою.

На сьогодні розроблено значну кількість способів і пристроїв, направлених на вирішення цієї проблеми.

Класифікація способів подрібнення стружки наведена на рис. 1.1 [4, 5]. Ця класифікація не розповсюджується на технологічні процеси, під час яких елементна стружка утворюється автоматично, наприклад, під час фрезерування, стругання чи тангенціального точіння.

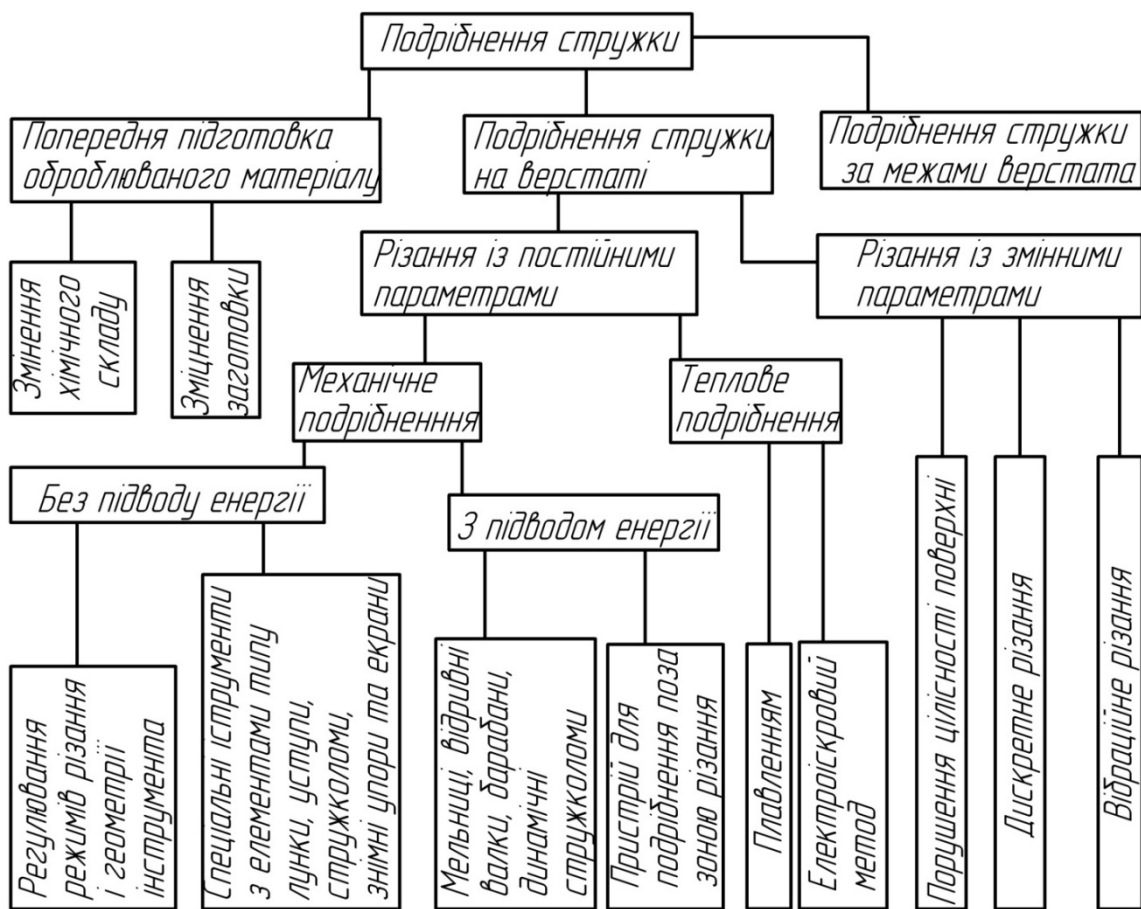


Рисунок 1.1 – Класифікація способів подрібнення стружки

Способи подрібнення стружки залежно від часу і місця їх проведення умовно можна розділити на три види [5–13]:

– попередня підготовка матеріалів для оброблюваних деталей або вибір такого хімічного складу матеріалів деталей, механічна обробка яких автоматично приводить до подрібнення стружки;

– подрібнення стружки на верстаті під час обробки деталі шляхом застосування спеціальних режимів обробки, інструментів або пристроїв;

– подрібнення стружки за межами верстата після її утилізації.

За першим видом способів попередня підготовка оброблюваного матеріалу може проводитись безпосередньо в процесі обробки, наприклад, в результаті плавлення матеріалу або шляхом відповідної підготовки матеріалу.

Матеріалів, під час механічної обробки яких утворюється подрібнена стружка, небагато. Найбільш відомі автоматні сталі марок АС14, АС35Г2, які достатньо широко застосовуються в машинобудуванні. Інколи для забезпечення стружкоподрібнення під час механічної обробки різанням використовується попереднє зміцнення заготовки. Очевидно, що способи для цього виду не є універсальними, оскільки не забезпечують в потрібному діапазоні вимог сучасного машинобудування до матеріалів деталей механізмів і машин різного призначення.

Подрібнення стружки за межами верстата може здійснюватись на різних технологічних машинах, наприклад, млинах або ножицях, а також під час процесу брикетування стружки, проте цей вид способів подрібнення ніяк не вирішує проблем, пов'язаних з утворенням зливної стружки під час обробки високов'язких матеріалів.

Подрібнення стружки на верстаті залежить від характеру взаємодії ріжучого інструменту та оброблюваної деталі. Під час різання з постійними параметрами забезпечується незмінність швидкості різання, подачі та глибини в межах заданої технологічної операції. Злам і подрібнення стружки за такого режиму різання носить певною мірою випадковий характер. Щоб зробити цей режим регулярним, необхідно виконати кропітку з великими затратами часу та коштів роботу з підбирання характеристик технологічного процесу механічної обробки матеріалу деталі, а для деяких матеріалів такі режими оброблення взагалі неможливі.

Різання зі змінними параметрами технологічного процесу механічної обробки може гарантувати отримання елементної стружки, причому слід відмітити, що умови отримання такої стружки носять не ймовірнісний, а строго детермінований характер. Станом на сьогодні способи механічної обробки зі змінними режимами застосовуються не

дуже широко, проте перспективність їх очевидна, особливо під час обробки в'язких і важкооброблюваних матеріалів.

Під час різання з постійними параметрами стружка може подрібнюватись шляхом механічного або теплового подрібнення. У першому випадку механічна енергія, що затрачується на процес різання, спричиняє пружну і пластичну деформації стружки, що приводить до зламу стружки. Методи другого типу передбачають руйнування стружки за рахунок теплової енергії, що підводиться ззовні. Ці способи реалізуються методом розплавлення або електроіскровим. Обидва ці методи знаходять застосування під час різання з малими швидкостями та невеликою площею перетину шару матеріалу, що зрізується [5].

Найбільш розповсюдженим способом руйнування зливної стружки під час механічного подрібнення є її руйнування без зовнішнього підведення енергії. Спосіб втілюється шляхом регулювання режимів різання та підбирання геометрії інструмента, а також за допомогою спеціального інструмента, на якому утворено елементи типу лунок, уступів, стружколомів, упорів, екранів тощо.

Регулювання режимів різання полягає в підбиранні експериментальним шляхом швидкості різання, глибини та подачі різання, ґрунтуючись на відомих властивостях стружки. Геометрія інструмента, яка сприяє подрібненню стружки, підбирається такою, щоб стружка ламалась на дрібні елементи безпосередньо після її утворення. Основний вплив на цей процес мають кути заточування інструмента.

Ці способи застосовуються обмежено, оскільки зміни режимів різання та геометрії інструмента, з метою подрібнення стружки, часто погіршують інші характеристики різання. У багатьох випадках, особливо під час обробки в'язких сталей та сплавів кольорових металів, зміна режимів різання та геометрії інструмента взагалі не забезпечує подрібнення стружки.

Найбільш поширеним способом змінення геометрії інструмента, наприклад, для токарних різців, є утворення на їх передній поверхні лунок та уступів, які змінюють напрям руху стружки в бік більш крутого її закручування. В цей час вільний кінець стружки, що сходить, впирається в поверхню оброблюваної деталі, яка обертається, що викликає періодичне подрібнення стружки на окремі елементи. Умови руйнування стружки залежать від виду оброблюваного матеріалу, геометрії інструмента, режимів різання, виду змащувально-охолод-

жувальної рідини (ЗОР) та ін. Розміри уступу та лунки, геометрію заточування інструмента (різця) підбирають експериментально для кожного виду оброблюваного матеріалу та режиму різання. Подібний процес подрібнення стружки можна отримати у випадку установки накладних стружколомів, упорів, що знімаються, та екранів.

Спосіб зміни геометрії інструмента не є універсальним з таких причин:

- заточування уступів і лунок на передній поверхні інструмента поблизу від ріжучої кромки знижує її міцність, особливо для інструментів із ріжучою частиною з твёрдосплавних і мінералокерамічних матеріалів;

- в залежності від властивостей оброблюваного матеріалу і потрібних режимів різання інструмент повинен мати відповідну геометрію заточування, конструкцію та розміри стружколома тощо, що обумовлює необхідність проведення кропіткої експериментальної роботи з підбору режимів різання та конструктивних параметрів інструмента і його оснащення;

- під час обробки високов'язких сталей та сплавів зміною геометрії інструмента та режимів різання не вдається досягти стабільного подрібнення стружки.

Ефективність процесу подрібнення стружки за рахунок спеціальної геометрії інструмента та пристосувань до нього перевірялась експериментально [2, 5, 9] під час повздовжнього точіння сталі X18H9T, в результаті якого утворюється зливна стружка. В ході цих експериментів встановлено, що хоча різець мав спеціальну геометрію та стружколомні лунки, подрібнення зливної стружки не спостерігалось.

Механічне подрібнення стружки за межами верстата реалізується пристроями, до яких відносять: млини, відривні валки, барабани для намотування стружки та динамічні стружколоми.

Інколи використовують спеціальні пристрої [2, 5, 9] для подрібнення стружки, які встановлюють поза зоною різання. Типова схема подрібнення в цих пристроях така: стружка, що сходить по передній поверхні інструмента, попадає в приймальний вловлювач спеціального пристосування для її подрібнення. Зазвичай подрібнення стружки в цих пристосуваннях здійснюється або перемелюванням між спеціальними зубчастими колесами, або шляхом пресування в спеціальних пресформах, де одночасно стружка брикетується. Застосовуються такі

пристрої обмежено в силу очевидних недоліків, основні з яких це – оснащення металорізальних верстатів додатковим складним обладнанням з окремим приводом і необхідність додаткової виробничої площі для розміщення цього обладнання.

Подрібнення зливної стружки можна досягти шляхом різання із змінними параметрами, наприклад, за рахунок періодичного зменшення перетину шару металу, що зрізується [3, 5]. Для цього поперечно утворюють риски або канавки на оброблюваній поверхні деталі. Риски та канавки наносяться на поверхню деталі або вершиною різця, або внаслідок пластичної деформації поверхні деталі спеціальним інструментом. Цей спосіб використовується лише для напівчистового точіння, оскільки під час чорнової обробки потрібні великі за розміром заглиблення, а під час чистової можуть залишатись сліди від рисок (канавок) на обробленій поверхні деталі.

Більш ефективно подрібнення стружки досягається за так званого дискретного процесу різання [3, 5]. Для реалізації цього процесу металорізальний верстат оснащується пристроєм, що дозволяє періодично припиняти подачу різального інструмента або швидко відводити інструмент в напрямі, протилежному подачі. Можливі і інші варіанти схеми процесу різання. Дискретний процес різання є різновидом вібраційного різання (віброрізання) металів, який може здійснюватись як за гармонічних, так і не гармонічних коливань різального інструмента.

1.2 Способи та пристрої для вібраційного різання

Фізична суть процесу вібраційного різання полягає в тому, що на прийнятну кінематичну схему руху інструмента для заданої технологічної операції обробки накладається додаткове направлене вібраційне переміщення інструмента щодо оброблюваної деталі [5, 10]. Внаслідок такого переміщення відбувається періодичне зміння режимів різання та циклічне навантаження оброблюваного матеріалу та різального інструмента, що приводить до миттєвого переривання процесу різання і подрібнення стружки.

Теоретичні та експериментальні дослідження процесів вібраційного різання розглянуто у роботах багатьох дослідників [2–5, 8–11]. Найбільш широко досліджено процес вібраційного точіння в роботі

[10], що дозволило установити такі переваги цього процесу перед звичайним точінням:

- зменшується опір різанню (середня сила різання в 3–10 разів менша, ніж під час звичайного різання);
- підвищується точність обробки;
- зменшується температура різання;
- відсутнє утворення наросту;
- підвищується плавність сходу стружки;
- покращуються змащувальні та охолоджувальні властивості ЗОР;
- покращується мікрорельєф обробленої поверхні;
- підвищується зносостійкість і корозійна стійкість різця;
- підвищується в цілому стійкість інструмента.

Цими узагальненими перевагами віброточіння перед звичайним точінням доведено ефективність і перспективність цього виду механічної обробки металів, хоча, слід відмітити, що віброрізання та віброточіння зокрема має певні недоліки, такі як додаткові динамічні навантаження різальних інструментів і всіх систем металорізальних верстатів.

Повна ліквідація вказаних недоліків віброрізання технічно неможлива, але теоретичні та експериментальні дослідження процесів віброрізання, з метою знаходження їх оптимальних режимів, за яких мінімізуються негативні ефекти, є актуальною науковою та інженерною задачею, яка тісно пов'язана зі схемним пошуком, розробкою та дослідженнями пристроїв для віброрізання.

1.2.1 Способи вібраційного різання

Ідея використання вібрацій для поліпшення процесу різання знайшла промислове застосування завдяки роботам Р. М. Ривкіна, В. І. Самойлова, М. Н. Улітіна, М. Р. Куріцина, С. А. Чернічкіна в 1950-х рр. [5]. В той же час почалися теоретичні та експериментальні дослідження цього способу механічної обробки матеріалів в МДТУ ім. М. Е. Баумана, за результатами яких віброрізання було апробовано у виробництві [14]. Найповніше питання кінематики та механіки процесу вібраційного різання висвітлені в роботах проф. В. Н. Подураєва [2, 9] та Д. Кумабе [10]. За результатами цих науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт виявлена велика кількість способів віброрізання, які пізніше були систематизовані в роботі М. І. Ахметшіна [5], за такою класифікацією (ри. 1.2а). Ці способи можуть реалізувати

різноманітний вібраційний рух інструмента, наприклад, токарного різця (рис. 1.2б).

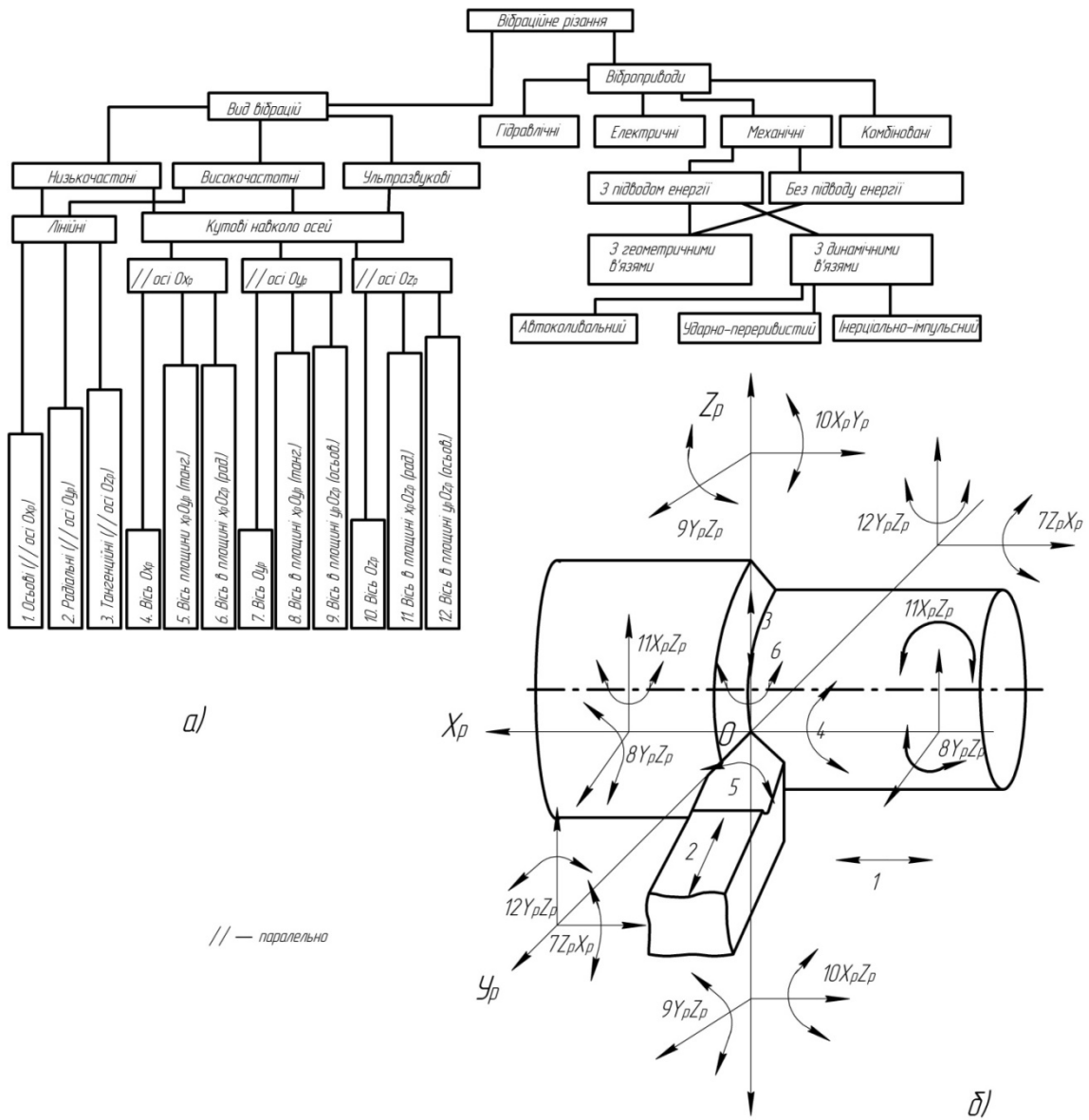


Рисунок 1.2 – Класифікація способів вібраційного різання (а) та схем вібраційного руху різця (б)

Всі способи вібраційного різання металу можна розділити за двома ознаками: видом вібрацій різального інструмента (або оброблюваної деталі) та типом вібропривода, що забезпечує потрібний вид вібрацій. Вид вібрацій характеризується частотою, амплітудою та напрямом коливань інструмента, а тип вібропривода визначає спосіб і конструкцію пристрою для реалізації заданих параметрів вібрації.

В залежності від частоти вібрації віброрізання умовно поділяють на: низькочастотне, високочастотне та ультразвукове [14]. Вважається, що поріг частоти коливань низькочастотних вібрацій складає до 200 Гц. Установлено, що коливання інструмента з такою частотою вібрацій приводять тільки до кількісної зміни умов стружкоутворення та, в основному, використовуються тільки для подрібнення стружки. Різання з низькочастотними вібраціями може розглядатися як статичне різання зі змінними параметрами [3].

Високочастотні (з умовною частотою від 200 Гц до 15 000 Гц) та ультразвукові вібрації (з частотою 15 000 Гц і вище) якісно впливають на механізм стружкоутворення таким чином, що підвищується шорсткість і точність обробки деталі [9, 10, 14]. За даними роботи [10] під час віброточіння у високочастотному та ультразвуковому діапазоні досягається 5–6 квалітет точності, що дозволяє під час обробки деяких матеріалів не застосовувати верстати шліфувальної групи.

Під час віброрізання інструменту можна надати вібраційний рух в будь-якому напрямі – лінійному або кутовому. У випадку лінійних коливань інструмента щодо заготовки він здійснює прямолінійний вібраційний рух, напрям якого паралельний одній з координатних осей, як вказано на рис. 1.2, а у випадку кутових вібрацій інструмент здійснює кутові коливання навколо координатних осей (див. рис. 1.2).

Умовно лінійні коливання інструмента, напрям яких є паралельним Ox_p (паралельних осьовій подачі), названо осьовими вібраціями (на рис. 1.2 позначено цифрою 1) [3].

Аналогічно лінійні коливання інструмента в напрямку паралельному осі Oy_p (паралельно радіальній подачі) вважаються радіальними вібраціями (на рис.1.2 позначено цифрою 2), а лінійні коливання інструмента в напрямку, паралельному осі Oz_p (паралельно вектору швидкості різання), отримали назву тангенціальних вібрацій (на рис. 1.2 позначено цифрою 3).

Кутові вібрації інструмента умовно розділені на вібрації навколо початку координат (т. О, в якій знаходиться вершина інструмента – різця, див. рис. 1.2) і відповідної осі (на рис. 1.2 позначено цифрами навколо відповідної осі Ox_p – 4; Oy_p – 7; Oz_p – 10) та вібрації навколо осей, що розташовані в паралельних площинах (наприклад, 7 Z_pX_p – це кутові коливання навколо осі, що розташована паралельно площині X_pZ_p (або перпендикулярно осі X_pY_p), див. рис. 1.2).

1.2.2 Способи вібраційної обробки різанням циліндричних поверхонь

Обробка циліндричних поверхонь деталей віброрізанням може здійснюватись на токарних, фрезерувальних, протяжних і шліфувальних верстатах [10]. Таку обробку умовно можна назвати вібраційним: точінням (віброточіння); фрезеруванням (віброфрезерування); протягуванням (вібропротягування); шліфуванням (віброшліфування).

Віброточіння реалізують за такими основними способами:

– оброблювану деталь встановлюють в патроні токарного верстата, а на супорті монтують пристрій для віброрізання (можливий варіант – супорт замінюють на спеціальний вібросупорт), який надає ріжучій кромці інструмента (різця) коливальний рух у напрямі сили різання з частотою ν та амплітудою h за постійної частоти обертання деталі;

– в супорті верстата встановлюють звичайний різець, а у вібраційний рух приводять оброблювану деталь за допомогою спеціального пристрою для збудження крутильних коливань в коловому напрямі, що збігається з напрямом сили різання.

Другий спосіб віброточіння вимагає суттєвого втручання в конструкцію головного привода верстата, що накладає певні обмеження на його використання за таких умов: конфігурація оброблюваних деталей повинна бути простою (наприклад, гладкий вал), а припуски на обробку та довжина різання – малими.

Віброточіння за першим способом не потребує кардинальної переробки верстатних систем, що є його перевагою, яка й обумовлює більш широке його використання.

Токарна вібраційна обробка за цим способом може здійснюватись за різними схемами:

– прохідним різцем з подовжньою подачею S та тангенціальними вібраціями з частотою ν та амплітудою h (рис. 1.3а);

– фасонним різцем з широким лезом з поперечною подачею S та тангенціальними вібраціями з частотою ν та амплітудою h (рис. 1.3б);

– прохідним різцем з подовжньою подачею S та радіальними вібраціями з частотою ν та амплітудою h (рис. 1.3в);

– відігнутих різцем для обробки торцевих канавок з подовжньою подачею та крутильними коливаннями різцетримача (рис. 1.3г).

Віброточіння за описаними схемами може бути реалізовано в різних частотних діапазонах – низькочастотному, високочастотному та

ультразвуковому. Вібраційний привод різця для кожного діапазону має свою специфіку та область використання. Схема обробки циліндричної поверхні способом вібропротягування зображена на рис. 1.3д. Протяжка здійснює вібрації в поздовжньому напрямі, та в цьому ж напрямі по дотичній подається на деталь, що обертається. Щоб отримати необхідну геометричну форму оброблюваної деталі за низької її частоти обертання зубці протяжки відповідним чином спрофільовані. Установлено [10], що вібропротягування ефективно за значної потужності вібропривода з частотою коливань 80–200 Гц та амплітудою 0,2–0,3 мм. У випадках використання для вібропротягування ультразвукового привода вздовж протяжки може виникати стояча хвиля, у вузлах якої амплітуда коливань рівна нулю і процес віброрізання тут відсутній, тому доцільно в місцях утворення на протяжці стоячої хвилі вузлів не передбачати ріжучих кромки.

Схема віброфрезерування циліндричної поверхні наведена на рис. 1.3е (фреза здійснює крутильні вібрації в коловому напрямі).

Установлено [10], що для ефективності віброфрезерування співвідношення між швидкостями та фрези повинно задовольняти умову $v \geq v_c$. Схема віброшліфування (рис. 1.3ж), аналогічна віброфрезеруванню. Можливі й інші варіанти віброшліфування, наприклад, коли абразивний круг здійснює вібрації не в коловому напрямі, а в осьовому, що сприяє самоутворенню мікроканалів на поверхні деталі.

1.2.3 Способи обробки вібраційним різанням плоских поверхонь

Основні способи обробки вібраційним різанням плоских поверхонь зображені на рис. 1.4. Установлено [3, 10], що для забезпечення потрібної точності під час обробки різанням плоских поверхонь необхідно, щоб статична і динамічна складові сили різання були невеликими, а частота зміни динамічної складової була високою.

Такі умови реалізуються внаслідок збільшення кута зсуву φ матеріалу, що зрізується, і формуванні поверхонь зсуву з малою площею та рухом стружки від різальної кромки вгору. Важливими також є умови, за яких по всій довжині різання зрізування матеріалу відбувалося б через малі інтервали L_r . Задовольнити описані умови точної обробки плоских поверхонь можна накладанням на процес різання вібрацій, наприклад, під час стругання, фрезерування або шліфування плоских поверхонь.

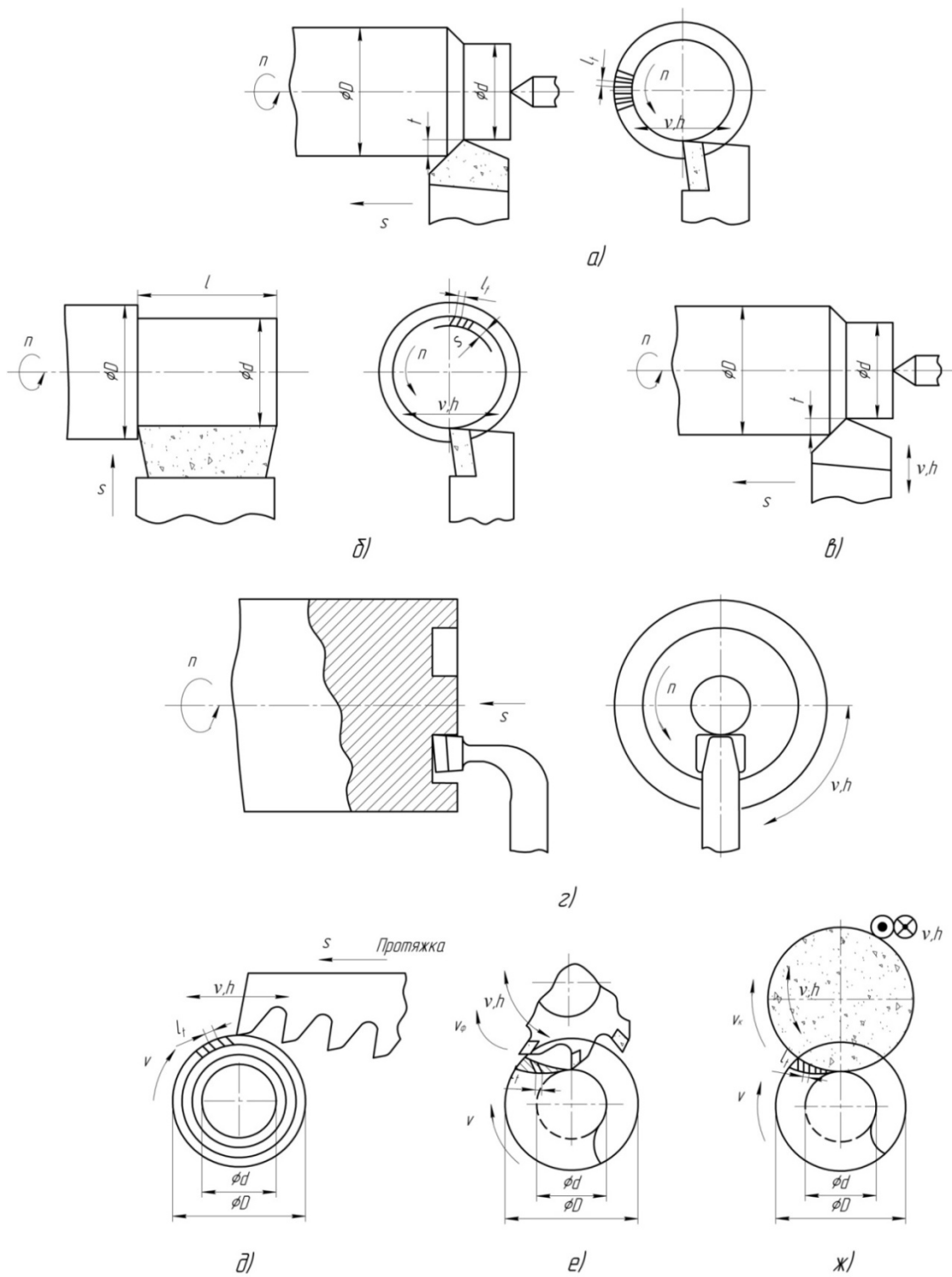


Рисунок 1.3 – Схеми способів обробки вібраційним різанням циліндричних поверхнь (v, h – напрям вібрацій інструмента; v – напрям колової швидкості деталі; s – подача; n – частота обертання деталі)

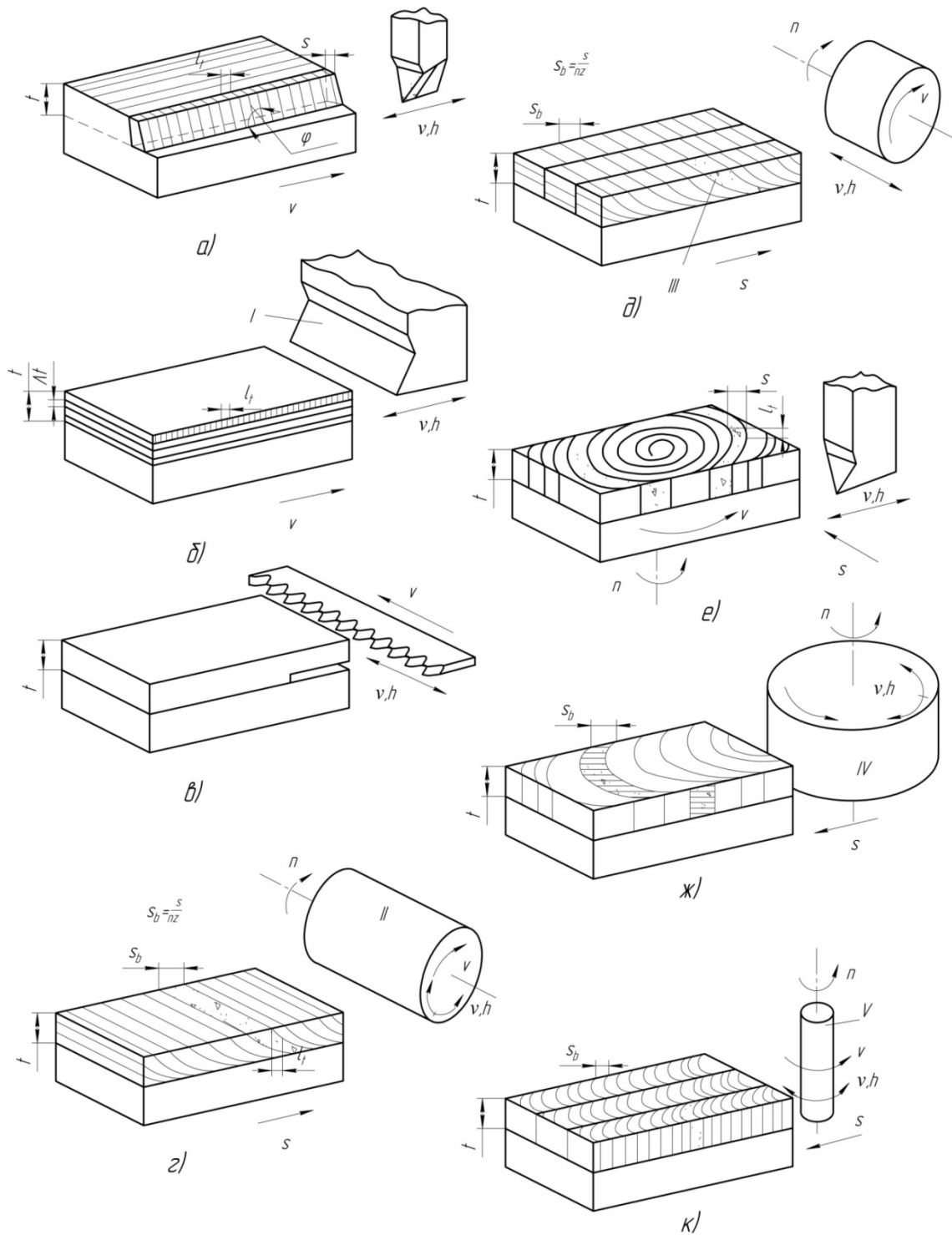


Рисунок 1.4 – Схеми способів обробки плоских поверхонь вібраційним різанням (ν , h – частота та амплітуда вібрацій; v – напрям швидкості різання; s – напрям подачі; I – різець або зуб протяжки; II – фреза з числом зубців z ; III – механізм самоутворення поверхневих мікроканалок; IV – торцева фреза або шліфувальний круг; V – кінцева фреза)

Типові способи вібростругання плоских поверхонь з точковим контактом вершини різця та лінійним контактом різальної кромки фасонного різця наведені на рис. 1.4а, б, е. У перших двох випадках (див. рис. 1.4а, б) вібрації різця за напрямом співпадають з напрямом подачі деталі, а за схемою, що зображена на рис.1.4е, обробка плоскої поверхні здійснюється на токарному або вертикальному токарно-карусельному верстаті, де рух подачі надається не деталі, а різцю, тому такий вид віброрізання доцільно віднести не до вібростругання, а до віброточіння. Інструменту під час обробки плоских поверхонь може надаватись різноманітний вібраційний рух: прямолінійний в напрямку подачі (див. вібростругання, рис. 1.4а, б); прямолінійний перпендикулярно напрямку подачі (див. рис. 1.4в – вібропротягування паза та рис. 1.4д – віброшліфування чи віброфрезерування); крутильний (див. рис. 1.4г, ж, к – віброшліфування або віброфрезерування за допомогою різного типу фрез).

Вибір виду вібраційного руху інструмента диктується характером обробки плоскої поверхні, типом інструмента, напрямом подачі заготовки чи інструмента, та заданим технологічним процесом обробки, який також визначає потрібні параметри вібрацій – частоту та амплітуду. Установлено [8, 10], що точна розмірна обробка плоских поверхонь віброрізанням досягається за ультразвукових частот порядку 15...21 кГц та малих амплітуд (не більше 15 мкм) вібрацій. За таких параметрів довжина поверхні різання ділиться на мікроінтервали, що і є позитивним ефектом віброрізання.

Проведеними дослідженнями [10] також виявлено, що ефективна чорнова та напівчистова обробка плоских поверхонь віброрізання реалізується за вібрацій з частотою 100...200 Гц та амплітудою 0,2...0,3 мм.

1.2.4 Типи вібраційних приводів пристроїв для вібраційного різання металів

Пристрої для віброрізання можуть мати різні типи приводів, серед яких найбільш розповсюдженні такі:

- електромагнітний вібраційний привод;
- електрогідравлічний привод;
- гідромеханічний привод;
- механічний привод;
- електрострикційний або магніострикційний приводи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Куприн А. И. Гидротранспорт стружки / А. И. Куприн, А. М. Тихонцов. – М. : Машиностроение, 1978. – 80 с.
2. Подураев В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов / В. Н. Подураев. – М. : Машиностроение, 1974. – 587 с.
3. Обертюх Р. Р. Основні тенденції створення та розвитку способів і пристроїв для подрібнення стружки / Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий, В. П. Міськов // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. – Житомир. – 2011. – № 10. – С. 251–267.
4. Обертюх Р. Р. Гідроімпульсний пристрій для радіального віброточіння / Р. Р. Обертюх, М. Р. Архипчук, А. В. Слабкий // Промислова гідроліка і пневматика. – Вінниця. – 2010. – № 3(29). – С. 84–88.
5. Jerald Lee Overcash Tunable, ultrasonic, vibration assisted diamond turning: A dissertation submitted to the faculty of the University of North Carolina at Charlotte in partial fulfillment of the degree of Doctor of Philosophy in the Department of Mechanical Engineering / Jerald Lee Overcash. – Charlotte. – 2006. – P. 164.
6. Жарков И. Г. Вибрации при обработки лезвийным инструментом / И. Г. Жарков – Л. : Машиностроение. Ленингр. отделение, 1986. – 184 с.
7. Власов А. Ф. Безопасность при работе на металлорежущих станках / А. Ф. Власова. – М. : Машиностроение, 1977. – 121 с.
8. Ахметшин Н. И. Вибрационное резание металлов / Н. И. Ахметшин, Э. М. Гоц, Н. Ф. Родиков. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отделение, 1987. – 80 с. – (Б-ка инженера. Вибрационная техника; Вып. 10).
9. Подураев В. Н. Обработка резанием с вибрациями / В. Н. Подураев. – М. : Машиностроение, 1970. – 352 с.
10. Кумабэ Д. Вибрационное резание / Д. Кумабэ ; пер. с яп. С. Л. Масленникова / Под ред. И. И. Портнова, В. В. Белова. – М. : Машиностроение, 1985. – 424 с.
11. Effect of groove-type chip breakers on twist drill performance / [Sushanta K. Sahu, O. Burak Ozdoganlar, Richard E. DeVor, Shiv G. Kapoor]. – International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2003. – Vol. 43. – No. 6. – P. 617–627.
12. Shin Y. C. Control of Chips in the Turning of 4150 Steel by Using an Obstruction Type Chip Breaker / Y. C. Shin, C. A. Betts // Transactions

of ASME, Journal of Engineering for Industry. –1993. – Vol. 115. – No. 1. – P. 160–163.

13. Бережний М. М. Розпушення стружки під час обробки деталей різанням // М. М. Бережний, Ю. Г. Вілкул, В. А. Чубенко // Сборник научных трудов Национального горного университета. – Днепропетровск : ДНУ. – 2004. – № 19, Т. 5. – С. 98–104.

14. Баранов В. Н. Электрогидравлические и гидравлические вибрационные механизмы. Издание 2-е, перераб. и доп. / В. Н. Баранов, Ю. Е. Захаров. – М. : Машиностроение, 1977. – 326 с.

15. Масленников А. В. Проектирование электромагнитного привода возбуждателя высокочастотных вибраций / А. В. Масленников, А. И. Барботько, И. В. Бондарцев // Вестник машиностроения. – № 10. – 2007. – С. 19–21.

16. Марковський Д. А. Використання електромагнітного віброприводу для процесу вібраційного точіння / Д. А. Марковський // Вісник ЖДТУ. – Житомир. – 2011. – № 3(58). – С. 72–77.

17. Чубенко В. А. Підвищення ефективності вібраційного різання важкооброблюваних матеріалів лезовим інструментом. Дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / Вікторія Анатоліївна Чубенко – М., 2006. – 159 с.

18. Іскович-Лотоцький Р. Д. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій : монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, І. В. Севостьянов. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 171 с.

19. Іскович-Лотоцький Р. Д. Генератори імпульсів тиску для керування гідроімпульсними приводами вібраційних та віброударних технологічних машин : монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, М. Р. Архипчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 171 с.

20. Обертюх Р. Р. Разработка методики проектного расчета и создание новой конструкции вибропресса для прессования металлопорошковых заготовок в капсулах при возвратно-винтовом движении вибростола: Дис канд. техн. наук: 05.03.05. / Роман Романович Обертюх. – М., 1986. – 313 с.

21. Булыга Ю. В. Разработка и исследование гидроимпульсного привода установки для виброабразивной очистки крупногабаритных деталей: Дис канд. техн. наук: 05.02.03. / Юрий Владимирович Булыга. – Винница, 1996. – 220 с.

22. Чупраков Ю. И. Гидропривод и средства гидроавтоматики / Ю. И. Чупраков. – М. : Машиностроение, 1979. – 232 с.

23. Слабкий А. В. Гідроімпульсний віброударний пристрій для радіального віброточіння / А. В. Слабкий, Р. Р. Обертюх // Зб. матеріалів XXXIX науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ. – Вінниця, 2010.

24. Слабкий А. В. Гідроімпульсний пристрій для радіального віброточіння / А. В. Слабкий, Р. Р. Обертюх // «Прогресивні напрямки розвитку машино-приладобудівних галузей і транспорту», матеріали міжнар. студ. наук. конф., Севастополь, 11–15 травня 2010 р. – С. 143–144. / Міністерство освіти та науки України, СевНТУ. – 2010. – 398 с.

25. Пат. № 76517 Україна, МПК (2013.01) B23B1/00. Гідроімпульсний віброударний пристрій для радіального та осевого віброточіння з вбудованим генератором імпульсів тиску клапанного типу / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Архипчук М. Р.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – u201206573; заявл. 30.05.2012; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.

26. Искович-Лотоцкий Р. Д. Машины вибрационного и виброударного действия / Р. Д. Искович-Лотоцкий, И. Б. Матвеев, В. А. Крат. – К. : Техніка – К., 1982. – 206 с.

27. Абрамов Е. И. Элементы гидропривода / Е. И. Абрамов, К. А. Колесниченко, В. Т. Маслов // Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Техніка, 1977. – 320 с.

28. Сорокин В. Г. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.

29. Конструкционные материалы. Справочник / Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1990. – [Б. Н. Арзамасов, В. А. Брострем, Н. А. Буше и др.] 688 с. – (Основы проектирования машин).

30. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя / В. И. Анурьев. – М. : Машиностроение, 2001. – Т. 1. – 920 с.

31. Заплетохин В. А. Конструирование деталей механических устройств. Справочник / В. А. Заплетохин. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд.-ние, 1990. – 669 с.

32. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя / В. И. Анурьев. – М. : Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 920 с.

33. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя / В. И. Анурьев. – М. : Машиностроение, 2001. – Т. 3. – 920 с.

34. Обертюх Р. Р. Вибір геометричних параметрів запірно-силової ланки малогабаритного гідроімпульсного пристрою для віброточіння /

Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий // «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій», матеріали міжнародної науково-технічної конференції, тези доповідей, Львів, 7–9 листопада 2012 р. – С. 87–88. КІНПАТРИ ЛТД. – 2012. – 182 с.

35. Обертюх Р. Р. Аналіз відомих методик розрахунку прорізних пружин / Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий // «11–й Міжнародний симпозиум українських інженерів–механіків у Львові», тези доповідей, Львів, 15–17 травня 2013 р. – С. 47–48. / КІНПАТРИ ЛТД. – 2013. – 214 с.

36. Обертюх Р. Р. Особливості розрахунку та проектування силових ланок гідроімппульсних пристроїв для вібраційного різання та поверхневого зміцнення, виконаних у вигляді комбінації поршня з прорізною пружиною та золотника з прорізною пружиною / Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий, О. В. Поліщук // Наукові нотатки. – Вип. 42. – 2013. – С. 193–207.

37. Пат. № 51957 Україна, МПК (2009) В23В1/00. Гідроімппульсний віброударний пристрій для віброточіння / Обертюх Р. Р., Архипчук М. Р., Слабкий А. В., Вірник М. М.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u201000904; заявл. 29.01.2010; опуб. 10.08.2010. Бюл. № 15.

38. Пат. № 53519 Україна, МПК (2009) В23В1/00. Гідроімппульсний віброударний пристрій для віброточіння зі вбудованим генератором імпульсів тиску / Обертюх Р. Р., Архипчук М. Р., Слабкий А. В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u201003931; заявл. 06.04.2010; опуб. 11.10.2010. Бюл. № 19.

39. Пат. № 63958 Україна, МПК (2011.01) В23В1/00. Гідроімппульсний віброударний пристрій для радіального та осьового віброточіння з вбудованим генератором імпульсів тиску / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u201103794; заявл. 25.10.2011; опуб. 25.10.2011. Бюл. № 20.

40. Пат. № 72257 Україна, МПК (2012.01) В23В1/00. Гідроімппульсний віброударний пристрій для радіального та осьового віброточіння з вбудованим генератором імпульсів тиску клапанного типу / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Архипчук М. Р.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u201201534; заявл. 13.02.2012; опуб. 10.08.2012. Бюл. № 15.

41. Пат. № 69738 Україна, МПК (2012.01) В23В47/00. Пристрій для вібросвердління / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Архипчук М. Р., Місь-

ков В. П.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u201112869; заявл. 02.11.2011; опуб. 10.05.2012. Бюл. № 9.

42. Пат. № 74369 Україна, МПК (2006.01) B23B39/04. Гідроімпульсний віброударний пристрій для деформаційного зміцнення деталей / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Архипчук М. Р., Чернійко В. В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u201204409; заявл. 09.04.2012; опуб. 25.10.2012. Бюл. № 20.

43. Пат. № 81039 Україна, МПК (2006.01) B24B39/04. Гідроімпульсний віброударний пристрій для деформаційного зміцнення деталей / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Архипчук М. Р.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u201209805; заявл. 14.08.2012; опуб. 25.06.2013, Бюл. № 12.

44. Обертюх Р. Р. Пристрій для вібросвердління / Р. Р. Обертюх, М. В. Насонов, А. В. Слабкий // «Сучасні технології в промисловому виробництві», матеріали міжвузівської науково-технічної конференції, тези доповідей, Суми, 17–18 квітня 2012 р. – 76–77. / Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, СумДУ. – 2012. – Ч. 1. – 184 с.

45. Пономарев С. Д. Расчет упругих элементов машин и приборов / С. Д. Пономарев, Л. Е. Андреева. – М. : Машиностроение, 1980. – 326 с.

46. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин. Справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1993. – 640 с.

47. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин. Справочное пособие / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Р. М. Шнейдерович. – М. : Машиностроение, 1966. – 616 с.

48. ДСТУ 2860–94 Надійність техніки. Терміни і визначення.

49. ГОСТ 23207–78 Соппротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения.

50. Серенсен С. В. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. Руководство и справочное пособие / С. В. Серенсен, В. П. Когаев, Р. М. Шнейдерович – 3-е изд, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1975. – 488 с.

51. Когаев В. П. Расчеты на прочность при напряженных, переменных во времени / В. П. Когаев. – М. : Машиностроение, 1977. – 232 с.

52. Когаев В. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. Справочник / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.

53. Теоретичні основи процесів фазового розділення вологих дисперсних матеріалів в полі віброударних інерційних навантажень: Звіт про НДР (проміжний) / Вінницький національний технічний університет, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України; № ДР 0111U901108; інв. № 0404U002487 – К., 2011. – 263 с.

54. Обертюх Р. Р. Генератори імпульсів тиску для гідроімпульсного привода / Р. Р. Обертюх, Р. Д. Іскович-Лотоцький // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – № 1(6). – 1995. – С. 42–47.

55. Обертюх Р. Р. Оцінка циклової довговічності запірнього елемента гідроімпульсного пристрою для віброточіння, виконаного у вигляді комбінації золотника з прорізною пружиною / Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий // Технологічні комплекси. – 2012. – № 1, 2(5, 6). – С. 198–204.

56. ГОСТ 25.504–82 Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости.

57. Петерсон Р. Коэффициенты концентрации напряжений / Р. Петерсон ; пер. с англ. И. А. Нечая, И. П. Сухарева, Б. Н. Ушакова. – М. : Мир, 1977. – 302 с.

58. Обертюх Р. Динамическая и математическая модели гидроимпульсного виброударного устройства для радиального виброточения с встроенным шаровым генератором импульсов давления параметрического типа / Р. Обертюх, А. Слабкий // MOTROL commission of motorization and energetics in agriculture, an international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Vol. 15. – No 6. – С. 29–42.

59. Обертюх Р. Р. Динамічна та математична моделі гідроімпульсного пристрою для віброточіння з вбудованим генератором імпульсів тиску / Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий // Вісник СевНТУ. – 2011. – № 117. – С. 118–127.

60. Іскович-Лотоцький Р. Д. Дослідження динаміки гідроімпульсного привода вібраційної розкочувальної машини / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, В. І. Томчук // Прогрессивные технологии и системы машиностроения : Межд. сб. научн. тр. № 12. – Донецк : ДонГТУ, – 2000. – С. 42–52.

61. Iskovich–Lototsky R. D. Dynamics of vibration machines by hydroimpulsive drive / R. D. Iskovich–Lototsky. – Poznan : Vibration in physical systems, 1996. – P. 1170–1173.

62. Dynamics of transient processes in hydroimpulsive drives / [R. Iskovich–Lototkiy, R. Obertuh, Y. Bulyha, M. Arkhipchuk] // Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Tomul XLVI (L) Fasc. 3–4. – 2000. – Stiinta si Ingineria Materialelor. – P. 15–20.

63. До питання інженерного розрахунку генераторів імпульсів тиску в рідині / [Р. Р. Обертюх, Р. Д. Іскович-Лотоцький, Ю. В. Булига, Д. М. Климчук] // Вибрации в технике и технологиях. – 1998. – № 1(5). – С. 37–41.

64. Бочаров Ю. А. Основы общей теории гидравлических кузнечно-штамповочных машин / Ю. А. Бочаров // Машины и технология обработки металлов давлением : Сб. науч. Трудов МВТУ № 330. – М., 1980. – С. 12–40.

65. Пановко Я. Г. Введение в теорию механического удара / Я. Г. Пановко. – М. : Наука, 1977. – 224 с.

66. Іскович-Лотоцький Р. Д. Використання гідроімпульсного приводу в обладнанні харчових переробних виробництв : монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, О. В. Поліщук. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 115 с.

67. Іскович-Лотоцький Р. Д. Вібраційні та віброударні пристрої для розвантаження транспортних засобів : монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Я. В. Іванчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2012. – 155 с.

68. Іскович-Лотоцький Р. Д. Динамічна та математична моделі швидкодіючого генератора імпульсів тиску вібропреса / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, М. Р. Архипчук // Вібрація в техніці та технологіях. Вип. – № 3(41). – 2005. – С. 41–49.

69. Дьяконов. В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя / В. П. Дьяконов. – М. : Солон–Пресс. – Санкт–Петербург. – 2002. – 640 с.

70. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB / Ю. Лазарев. – СПб. : Питер; – К. : Издательская группа ВНУ, 2005. – 512 с.

71. Левшина Е. С. Электрические измерения физических величин (Измерительные преобразователи) : учеб. пособ. для вузов / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий – Л. : Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1983. – 320 с.

72. Ермаков С. М. Математическая теория планирования эксперимента / С. М. Ермаков, В. З. Бродский и др. ; под. ред. С. М. Ермакова. – М. : Наука, 1983. – 392 с.

73. Севостьянов Б. А. Курс теории вероятностей и математической статистики / Б. А. Севостьянов – М. : Наука, 1982. – 256 с.

74. Коваленко И. Н. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособ. / И. Н. Коваленко, А. А. Филиппова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1982. – 256 с.

75. Датчики давления, разрежения и разности давлений ADZ–SML(SMX). – Руководство по эксплуатации ADZ–SML(SMX) РЭ. – Москва, 2006.

76. Индуктивные датчики TURK. Базовая программа [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://pdb.turck.de/ru/DE/group/000000010002461b00030023>. – Название с экрана.

77. Модули E14–140, E14–140–M. Руководство пользователя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.lcard.ru/products/external/e-140m>. – Название с экрана.

78. Измерение параметров вибрации и удара / [В. С. Шкаликов, В.С. Пеллинец, Е.Г. Исакович, Н.Я. Цыган]. – Изд. стандартов, 1980. – № 1. – 280 с.

79. Алиев Т. М. Измерительная техника : учеб. пособ. для техн. вузов / Т. М. Алиев, А. А. Тер–Хачатуров. – М. : Высшая школа, 1991. – 384 с.

80. Клаасон К. Б. Основы измерений. / К. Б. Клаасон Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М. : Постмаркет, 2000. – 352 с.

81. Розробка та дослідження спеціальної контрольно-розподільної апаратури та арматури гідроімпульсного привода: заключний звіт / Вінницький державний технічний університет, Міністерство освіти і науки України; керівник Р. Д. Іскович-Лотоцький. – № ДР 0100V002927. – К., 2001. – 89 с.

82. Методы и средства натурной тензометрии : справочник / М. Л. Дайчик, Н. И. Пригоровский, Г. Х. Хуршудов. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с.

83. Томчук В. І. Гідроімпульсний привід вібраційного руху робочого органу розкочувальної машини для виготовлення кільцевих заготовок. Дис. канд. техн. наук. 05.02.03. – Вінниця, 2003. – 209 с.

84. Искович–Лотоцкий Р. Д. Экспериментальные исследования гидроимпульсного привода многокоординатного вибростенда /

Р. Д. Искович–Лотоцкий, И. В. Севостьянов // Вибрации в технике и технологиях. – 1996. – № 1(5). – С. 19–21.

85. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов : справочник / Под ред. В. А. Баумана, Н. И. Быховского и Б. Г. Голдштейна. – М. : Машиностроение, 1970. – 548 с.

86. Бауман В. А. Вибрационные машины и процессы в строительстве / В. А. Бауман, И. И. Быховский. – М. : Высшая школа, 1977. – 255 с.

87. Вибрации в технике : справочник. В 6–ти т. / Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. – М. : Машиностроение, 1981. – 509 с.

88. Искович-Лотоцкий Р. Д. Дослідження гідроімпульсного приводу машин із зворотно-гвинтовим рухом робочої ланки / [Р. Д. Искович-Лотоцкий, Р. Р. Обертюх, Ю. В. Булига, М. Р. Архипчук] // Наукові нотатки. – Луцьк : ЛДТУ. – 2002. – Вип. 11. – С. 170–176.

89. Дрончак В. А. Разработка и исследование нагружающего устройства для циклических испытаний элементов гидропривода. Дис. канд. техн. наук 05.02.03. – М. : 1986. – 273 с.

90. Golshan K. Physical design essentials: an ASIC design implementation perspective. / K. Golshan. – NY. : Springer. – 2007.

91. Гарманов А. В. Подключение измерительных приборов. Решение вопросов электросовместимости и помехозащиты на примере продукции Л–КАРД / А. В. Гарманов // М., L–Card, 2003. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.lcard.ru/publ-11.php3>. – Название с экрана.

92. Гарманов А. В. Требование к источникам сигналов АЦП с входным динамическим коммутатором каналов в многоканальном режиме / А. В. Гарманов // М., L–Card, 2005. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lcard.ru/distortions.pdf>. – Название с экрана.

93. Синфазный помехоподавляющий фильтр LTR–СМФ. Руководство пользователя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.lcard.ru/products/accesories. – Название с экрана.

94. Модули E14–140, E14–140–М. Типичные примеры подключения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.lcard.ru/download/e14-140_conn_examples.pdf. – Название с экрана.

95. Практика оптимизации соотношения сигнал/помеха при подключении АЦП в реальных условиях / А. В. Гарманов [Электронный

ресурс]. – Режим доступа : http://www.lcard.ru/download/articles/optimisation_snr_adc.pdf. – Название с экрана.

96. Денисенко В. Защита от помех датчиков и соединительных проводов систем промышленной автоматизации / В. Денисенко, А. Халявко // Журнал СТА. – М. – 1/2001. – С. 68–75.

97. Руководство пользователя программы LGraph 2 [Электронный ресурс]. – М. – 2012. – С. 98 – Режим доступа : http://www.lcard.ru/lgraph2_help.pdf. – Название с экрана.

98. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1973. – 832 с.

99. Левшина Е. С. Электрические измерения физических величин (Измерительные преобразователи) : учеб. пособ. для вузов / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1983. – 320 с.

100. Слабкий А. В. Дослідження гідроімпульсного привода для радіального віроточіння / А. В. Слабкий, Р. Р. Обертюх, О. В. Дерібо // Промислова гідравліка і пневматика. – № 2(40). – 2013. – С. 84–90.

101. Structure end organization of the automated systems of designing works «hydraulic impulse drive» [R. Iskovich–Lototkiy, R. Obertuh, Y. Bulyha, M. Arkhipchuk] // Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Tomul XLVIII (LII) Fasc. 3–4. 2002. Stiinta si Ingineria Materialelor. – P. 187–191.

102. Іскович-Лотоцький Р. Д. Експериментальні дослідження режимів роботи вібромашини із клапанним генератором імпульсів тиску / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, М. Р. Архипчук // Промислова гідравліка і пневматика. – № 1(7). – 2005. – С. 83–88.

103. Кузьмичев В. Е. Законы и формулы физики / отв. ред. В. К. Тартаковский. – К. : Наукова думка, 1989. – 864 с.

104. Хорин В. Н. Объемный гидропривод забойного оборудования / В. Н. Хорин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1980. – 415 с.

105. Поляков Д. И. Производство гидрооборудования в США / Д. И. Поляков, В. М. Коновалов // Обзор. – М. : НИИМаш, 1977. – 61 с.

106. Розенберг А. М. Факторы, влияющие на процесс деформации при резании / А. М. Розенберг, К. А. Нассонов // Известия Томского Ордена трудового красного знамени политехнического института имени С. М. Кирова. – 1957.. – Т. 85. – С. 118–131.

Наукове видання

**Обертюх Роман Романович
Слабкий Андрій Валентинович**

**ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВІБРОТОЧІННЯ
НА БАЗІ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИВОДА**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено А. Слабким

Підписано до друку 12.05.2015 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 9,47
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № В2015-25

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ 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.