

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**Р. Д. Іскович-Лотоцький, О. Д. Манжілевський**

**ВІБРОАБРАЗИВНА ОБРОБКА  
ДЕТАЛЕЙ НА УСТАНОВКАХ  
З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2014

УДК 62-822

ББК 34.447

I-86

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 3 від 31.10.2013 р.)

Рецензенти:

**І. О. Сивак**, доктор технічних наук, професор

**Н. Р. Веселовська**, доктор технічних наук, професор

**Іскович-Лотоцький, Р. Д.**

I-86 Віб्रोобразивна обробка деталей на установках з гідроімпульсним приводом : монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький, О. Д. Манжілевський. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 152 с.

ISBN 978-966-641-579-3

В монографії розглядаються питання щодо створення гідроімпульсного приводу установки для віброобразивної обробки деталей складної конфігурації, що дозволяє підвищити продуктивність процесу обробки таких деталей за рахунок накладання зовнішнього складнопросторового вібронавантаження. Описано проведені експериментальні дослідження процесів в системі приводу запропонованої установки в широких діапазонах зміни режимів роботи на основі яких визначені конструктивні параметри, які забезпечують стійку роботу приводу та встановлено раціональний режим обробки деталей складної конфігурації.

УДК 62-822

ББК 34.447

**ISBN 978-966-641-579-3**

© Р. Іскович-Лотоцький, О. Манжілевський, 2014

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1 ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ВІБРОАБРАЗИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ .....	6
1.1 Огляд існуючих віброабразивних технологій фінішних операцій обробки деталей .....	6
1.2 Приводи устаткування (верстатів) для віброабразивної обробки .....	18
1.3 Особливості процесів віброабразивної обробки .....	22
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОСТОРОВОЇ ВІБРОАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ .....	31
2.1 Вибір та обґрунтування схем навантаження при віброабразивній обробці .....	31
2.2 Вибір та обґрунтування технологічних параметрів УВО.....	37
2.3 Обґрунтування вибору приводів .....	43
2.3.1 Привод робочої камери .....	43
2.3.2 Вибір схеми віброзбуджувача та обґрунтування вибору виконавчих гідроциліндрів .....	56
2.3.3 Привод примусового руху оброблюваної деталі.....	65
2.4 Конструктивна схема та принцип дії УВО .....	70
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИВОДУ ВИКОНАВЧИХ ЛАНОК УВО .....	76
3.1 Розробка структурно-розрахункової схеми УВО.....	76
3.2 Обґрунтування вибору динамічної моделі приводів вібрацій та примусового руху деталі.....	79
3.3 Математична модель плунжерного вібраційного гідроциліндра .....	84
3.4 Визначення жорсткості підвіски та моделювання просторових коливань.....	89
3.5 Математична модель приводу руху деталі .....	94
3.6 Дослідження та розрахунок параметрів на ПЕОМ .....	98

3.6.1 Дослідження рівнянь руху робочої камери вібраційної установки.....	98
3.6.2 Дослідження параметрів руху плунжерного вібраційного гідроциліндра .....	109
<b>РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УСТАНОВКИ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ.....</b>	<b>111</b>
4.1 Обґрунтування вибору методики проведення експериментального дослідження.....	111
4.2 Обладнання та датчики для постановки експериментального дослідження.....	115
4.3 Лабораторна установка (опис конструкції та принципу дії експериментальної установки) .....	120
4.4 Аналіз результатів експериментально визначених робочих параметрів приводів установки .....	126
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>138</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>140</b>

## ВСТУП

### Актуальність теми дослідження

Проблема очищення зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей від окалини, оксидів, бруду, округлення гострих кромek довільного радіуса, видалення задирок, а також обробки цих поверхонь перед нанесенням покриттів фізико-хімічними методами або фарбуванням на машинобудівних підприємствах існує давно. Особливо це стосується деталей складної конфігурації, виготовлених литтям (корпусних деталей, елементів силових гідроциліндрів, напрямних ниткопрядних машин), що не потребують точної розмірної обробки і на механічну обробку поверхонь яких витрачається вартісний інструмент або застосовуються шкідливі для довкілля методи хімічної очистки.

Для вирішення цієї проблеми у промисловості, в основному, використовують такі методи очищення: механічний (віброабразивна, просторова, піскоструменева обробки), фізичний (ультразвукова обробка, струменевий облив), хімічний (ополіскування синтетичними миючими засобами, обробка розчинно-емульгуючими засобами), комбінований (фізико-хімічна, фізико-механічна обробки). Найпоширенішим є механічний метод (віброабразивна обробка), що характеризується універсальністю, малою енергоємністю, простотою утилізації відходів та легкістю забезпечення відповідності санітарним нормам. Найчастіше цей метод обробки реалізується на спеціальному вібраційному обладнанні із різними типами приводів з використанням одновісного вібронавантаження, що не забезпечує високої продуктивності обробки деталей складної конфігурації.

На основі порівняння відомих способів механічної обробки виявлено, що найефективнішою для обробки деталей складної конфігурації є просторова віброабразивна обробка.

Проведений аналіз типів приводів показав, що найефективнішим для реалізації способу просторової віброабразивної обробки деталей складної конфігурації є гідроімпульсний привод, який забезпечує складнопросторовий режим вібронавантаження. Гідроімпульсний привод дозволяє відносно просто регулювати частоту і амплітуду проходження силових імпульсів і енергію одного робочого ходу по кожному з напрямків вібронавантаження.

Розв'язання комплексу задач зі створення високопродуктивного технологічного обладнання з гідроімпульсним приводом і складнопросторовим режимом вібронавантаження для віброабразивної обробки складних за своєю конфігурацією виробів, а також розробка науково обґрунтованої методики розрахунку і проектування таких машин є актуальним завданням.

# РОЗДІЛ 1

## ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

### ВІБРОАБРАЗИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

#### 1.1 Огляд існуючих віброабразивних технологій фінішних операцій обробки деталей

Вібраційна обробка залежно від характеру робочого середовища є механічним або хіміко-механічним процесом знімання найдрібніших частинок металу і його оксидів з оброблюваної поверхні, а також згладжування мікронерівностей шляхом їх пластичної деформації частинками робочого середовища, що здійснюють в процесі роботи коливальний рух. Процес супроводжується послідовним нанесенням на поверхню оброблюваних деталей великого числа мікроударів частинками робочого середовища при їх взаємному зіткненні і ковзанні. Удари викликані дією направлених вібрацій, що надаються робочій камері, в якій розміщені оброблювані деталі і робоче середовище.

Якщо робочому органу установки надаються вібраційні переміщення у двох (трьох) напрямках, то такий тип механічної обробки називається просторовою віброабразивною обробкою. Такий тип обробки є більш енергоємним процесом, але, водночас, і більш ефективним та менш тривалим, у порівнянні із процесом обробки при накладанні одностороннього вібраційного навантаження. Це пояснюється тим, що чим складніший рух виконує робоча камера з абразивним матеріалом, тим більша величина кінетичної обробки передається середовищу та зануреним у неї оброблюваним деталям, що і приводить до інтенсифікації процесу обробки [1, 2].

Існує декілька технологічних схем виконання процесу вібраційної обробки: обробка в «суху» або з циркуляцією розчину; обробка вільно завантажених деталей, порівняно невеликих розмірів з періодичним або безперервним їх завантаженням і розвантаженням; обробка важких і великогабаритних деталей, закріплених в спеціальних пристосуваннях; обробка довгомірних деталей типу труб, прутків профілів і дроту шляхом повільного прошовування чи протягування їх через вікна, що виконані в стінках робочої камери.

Технологічні можливості вібраційної обробки достатньо широкі і визначаються особливостями взаємодії робочого середовища з повер-

хнею оброблюваних деталей, режимами обробки, характеристикою робочого середовища.

Поєднання таких елементів процесу, як послідовне нанесення безлічі мікроударів, інтенсивне перемішування робочого середовища і оброблюваних деталей при різній їх взаємній орієнтації, супроводжувані залежно від характеристики і складу робочого середовища і режимів вібрації зніманням металу, його оксидів і поверхневою пластичною деформацією створює умови для виконання операцій: очищення литих заготовок; видалення ґрату на заготовках з металів, пластмас і гуми; очищення деталей і заготовок від окалини і корозії; шліфування і полірування поверхні; видалення задирок; округлення і полірування гострих кромки; поверхневого наклепу, миття і сушки деталей, очищення деталей від нагару, накипу і щільно прилеглого ґрунту при ремонті і ін.

Конструкція устаткування для вібраційної обробки дозволяє розміщувати і застосовувати різні тверді, рідкі і змішані склади робочих середовищ. Це створює умови як для протікання процесів механічної обробки (мікрорізання і пластична деформація), так і фізико-хімічних процесів (хімічних реакцій, дифузії, адгезії, адсорбції) і їх поєднання шляхом введення до складу робочого середовища відповідних порошкоподібних матеріалів, розчинів, суспензій, електролітів.

Новий вид вібраційної обробки [3] створений шляхом введення в робочу зону магнітного і теплового полів електрохімічного процесу і надання оброблюваним деталям додаткових рухів. На цій основі створені вібраційна шпindelна обробка, віброабразивна електрохімічна обробка, магнітновіброабразивна обробка, вібраційна механо-термічна обробка тощо.

Шпindelна віброабразивна обробка (рис. 1.1) є процесом обробки поверхні деталей, що контактують з робочим середовищем, що не передбачає зміни точності їх розмірів. Обробка залежно від характеристики робочого середовища здійснюється внаслідок знімання найдрібніших частинок металу, його оксидів або пластичної деформації оброблюваної поверхні в результаті відносного ковзання і зіткнення з достатньо високою швидкістю оброблюваної поверхні і частинок робочого середовища.

Для виконання необхідної по кількості і характеру рухів оброблюваної деталі надається обертання (шляхом закріплення її у шпинделі верстата) або інші види рухів; з швидкістю від 0,5...1 до 7...15 м/с. Робоче середовище піддається дії направлених вібрацій з частотою 1500...2000 хв<sup>-1</sup> і амплітудою 1...5 мм (рис. 1.2) [3–5].

Робоча камера створює сприятливі умови для застосування хімічно і поверхнево-активних речовин з метою інтенсифікації процесу.

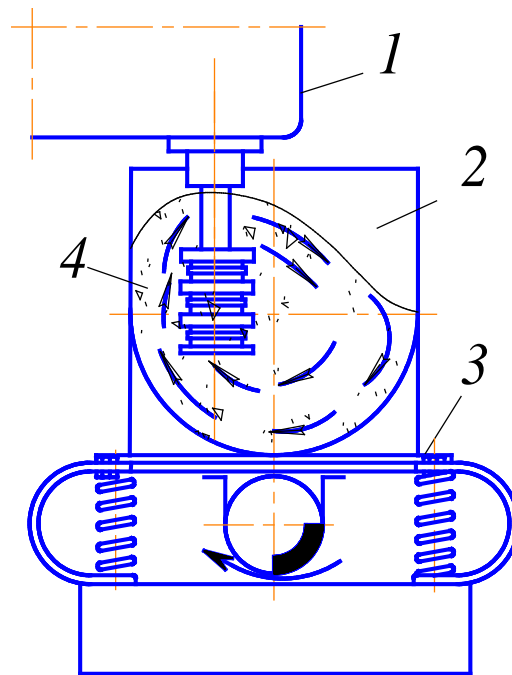


Рисунок 1.1 – Схема процесу шпиндельної віброабразивної обробки:  
1 – шпиндель верстата; 2 – робоча камера (бункер); 3 – вібраційна установка;  
4 – оброблювана деталь

Великий робочий простір, де знаходиться робоче середовище, дозволяє здійснювати обробку деталей у всьому об'ємі камери, виключаючи при цьому необхідність жорсткого зв'язку оброблюваної поверхні з оброблювальним середовищем і, крім того, створюються передумови для автоматизації процесу і збільшення продуктивності операції в результаті багатошпиндельної (пакетної) обробки (рис. 1.2з, і). З погляду класифікації видів рухів, необхідних для здійснення процесу обробки, головним є рух (наприклад, обертання), що надається оброблюваній деталі.



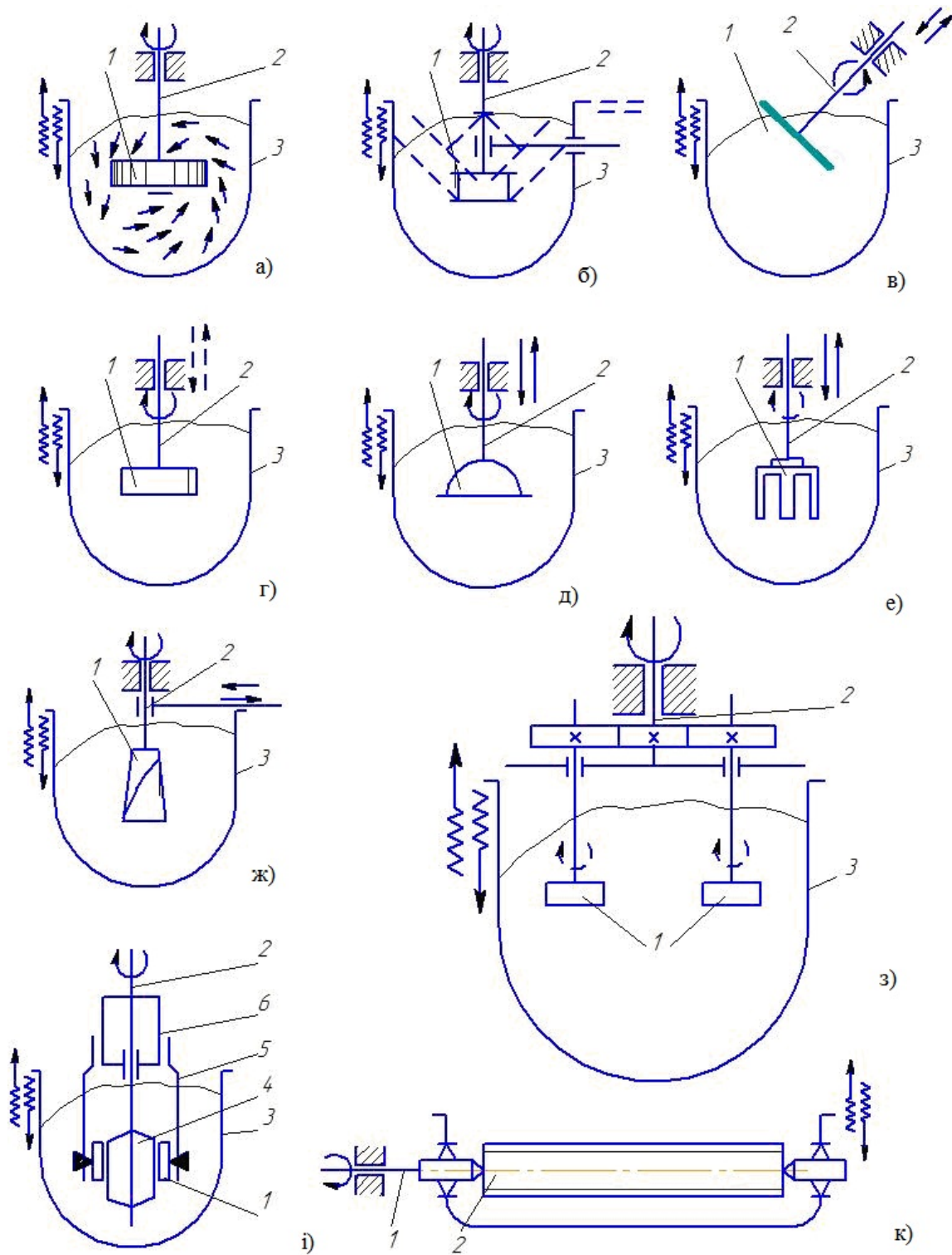


Рисунок 1.2 – Схеми руху оброблюваної деталі при різних видах вібраційної шпиндельної обробки:

- 1 – оброблювана деталь; 2 – шпиндель верстата;
- 3 – робоча камера віброустановки; 4 – інструмент (лопаті);
- 5 – пристосування для закріплення деталі; 6 – піноль верстата;

Вібрація робочої камери створює умови для отримання необхідного тиску робочого середовища, її інтенсивного перемішування, видалення продуктів зносу від оброблюваної поверхні, підведення нових шарів абразиву, руйнування «склепінь», що утворюються навколо деталі. Під дією вібрацій робоче середовище стає рухомим, його щільність знижується і забезпечується вільне введення і виведення оброблюваних деталей.

Шпиндель може розташовуватися вертикально, горизонтально або під різними кутами (рис. 1.2а, б, в). На рис. 1.2 показані можливі схеми рухів при обробці різних типів деталей. Шпиндельна віброабразивна обробка дозволяє здійснювати шліфувально-полірувальні, очисні, оздоблювально-зміцнювальні операції, видалення задирок та інше.

Дослідження показали [1, 5–7], що основою процесу шпиндельної віброабразивної обробки є ударна дія абразиву на оброблювану поверхню. Мікрорельєф поверхні утворюється в результаті багаторазового випадкового накладання слідів обробки і характеризується наявністю слідів кратероподібного типу та коротких подряпин у напрямку, близькому до вектора результуючої сили тертя.

Стан робочої зони визначає енергетику, характер та інтенсивність процесів, що протікають при взаємодії абразиву з оброблюваною поверхнею, та з достатньою повнотою може бути відображений моментом опору віброуючого абразивного середовища обертанню оброблюваного тіла. Кількісна оцінка моменту тертя дозволяє комплексно характеризувати процеси, що відбуваються при шпиндельній віброобробці.

Було встановлено, що пропорційність моменту тертя  $M_{тр}$  кутовій швидкості обертання  $\omega$  спостерігається при значеннях  $\omega < 20$  1/с. Технологічно ефективні швидкості обертання створюють умови, при яких різкіше проявляються відмінності між в'язкою рідиною та її псевдоаналогом – сипучим матеріалом, підданим вібруванню. Суттєву роль тут відіграє значно більша енергія відкинутих після удару частинок, які, створюючи протитечію, утворюють навколо поверхні, що обертається, зону з відмінними від загальної віброуючої маси властивостями. Однак зміна стану віброуючого абразиву в робочій камері веде до зміни структури робочої зони, що, в свою чергу, приводить до зміни величини моменту тертя [3, 7].

Вивчення поверхні зразків і послідовно знятих профілограм [3, 5, 7] показали, що процес обробки відбувається рівномірно по всій поверхні, і після утворення досяжної для заданих умов шорсткості має місце повторюване відтворення величини і характеру мікрорельєфу.

Характер зміни зняття металу при збільшенні зернистості абразиву відображає сумарна дія змінних факторів процесу. На заданій площі поверхні в одиницю часу може брати участь в роботі одночасно цілком певна кількість зерен.

В результаті пластичної деформації в поверхневому шарі спостерігається збільшення мікротвердості до 15 %, товщини наклепаного шару – до 5...40 мкм, а ступінь пластичної деформації збільшується зі збільшенням крупності абразиву. Дослідження мікроструктури приповерхневих шарів показало відсутність помітних змін.

При вихідних розтягувальних напруженнях першого роду після шпindelної віброобробки виникають стискаючі напруги, що залягають в тонкому поверхневому шарі. Величина залишкових напружень залежить від умов пружно-пластичного контакту і зростає зі збільшенням зернистості абразиву.

Шпindelна віброабразивна обробка забезпечує отримання поверхонь високих класів шорсткості (до  $Ra0,16...Ra0,04$ ), а також високий якісний стан поверхневого шару оброблюваних деталей. Позитивною якістю процесу є можливість суміщення операцій, пов'язаних з отриманням високоякісних поверхонь, з такими, наприклад, як видалення задирок і округлення гострих кромки, шліфування і очищення допоміжних поверхонь, галтелей, канавок від окалини.

В якості загальної закономірності шпindelної віброабразивної обробки відмічено зменшення вихідної шорсткості поверхонь, утворених інструментом з  $Ra5$  до  $Ra0,5$ , однак за умови обробки поверхонь з твердістю не менше  $H_{50} = 800$  дан/мм<sup>2</sup> і вихідною шорсткістю  $Ra0,125$ , коли одночасно з утворенням специфічного рельєфу відбувається згладжування вихідних нерівностей аж до  $Ra0,04$ , що відповідає вимогам до якості поверхонь бігових доріжок кілець підшипників кочення, нитководучим поверхням прядильних кілець та інших відповідальних деталей [3, 7].

Вплив додаткового руху на продуктивність виявляється через механізм збільшення вібров'язкості, а монотонне зниження шорсткості, що супроводжує збільшення амплітуди коливань шпинделя, є резуль-

татом зменшення глибини проникнення частинок внаслідок розсіювання їх при взаємодії зустрічних потоків середовища: циркуляційного і коливального, викликаного рухом шпинделя [3, 5, 7].

Підвищення ефективності процесу обробки вирішуються шляхом накладання на шпиндель додаткових рухів, які, змінюючи стан середовища і характер його впливу на оброблювану поверхню, підвищують продуктивність процесу в порівнянні з базовою схемою обробки на 25...40 %.

Накладення і взаємне перекриття слідів обробки формує специфічну шорсткість. Аналіз профілограм показує, що згладжування мікронерівностей відбувається за рахунок знімання металу з їх вершин [3, 7].

Техніко-економічні переваги шпиндельної віброабразивної обробки полягають в механізації операцій полірування, скороченням витрат полірувальних матеріалів та підвищенням продуктивності в 5–6 разів [3].

Віброабразивна електрохімічна обробка [3, 4, 7] (рис. 1.3) полягає в такому: пакет деталей (або одна деталь), встановлений в шпиндель верстата (або оправку), що обертається, занурюється у віброуюче абразивне середовище, зволене електролітом необхідного складу.

Позитивний полюс джерела струму через мідно-графітові щітки 9 і струмоз'ємне кільце 8 сполучене з деталями (анодом) 15, а електроліт (катод) 16 – з негативним полюсом. При включенні джерела струму відбувається електрохімічне (анодне) розчинення поверхневого шару оброблюваної деталі і безперервне механічне видалення зернами абразиву продуктів анодного розчинення, а також деякої частини металу унаслідок мікрорізання (щільність струму  $a = 0,5...0,9 \text{ А/см}^2$ , напруга  $U = 20 \text{ В}$ ). Інтенсивність знімання металу зростає в 5–7 разів в порівнянні з шпиндельною обробкою деталей і в 70 разів при обробці нерухомо закріплених деталей [3].

Особливо ефективно застосовувати віброабразивну електрохімічну обробку при обробці деталей великих розмірів з матеріалів високої твердості із закріпленням їх в спеціальних пристосуваннях, але потребує додаткових затрат.

Магнітно-віброабразивна обробка (рис. 1.4), [3, 4, 7] полягає в тому, що в робочій зоні вібраційної установки створюється постійне або змінне силове магнітне поле, направлене уздовж осі циркуляційного руху робочого середовища.

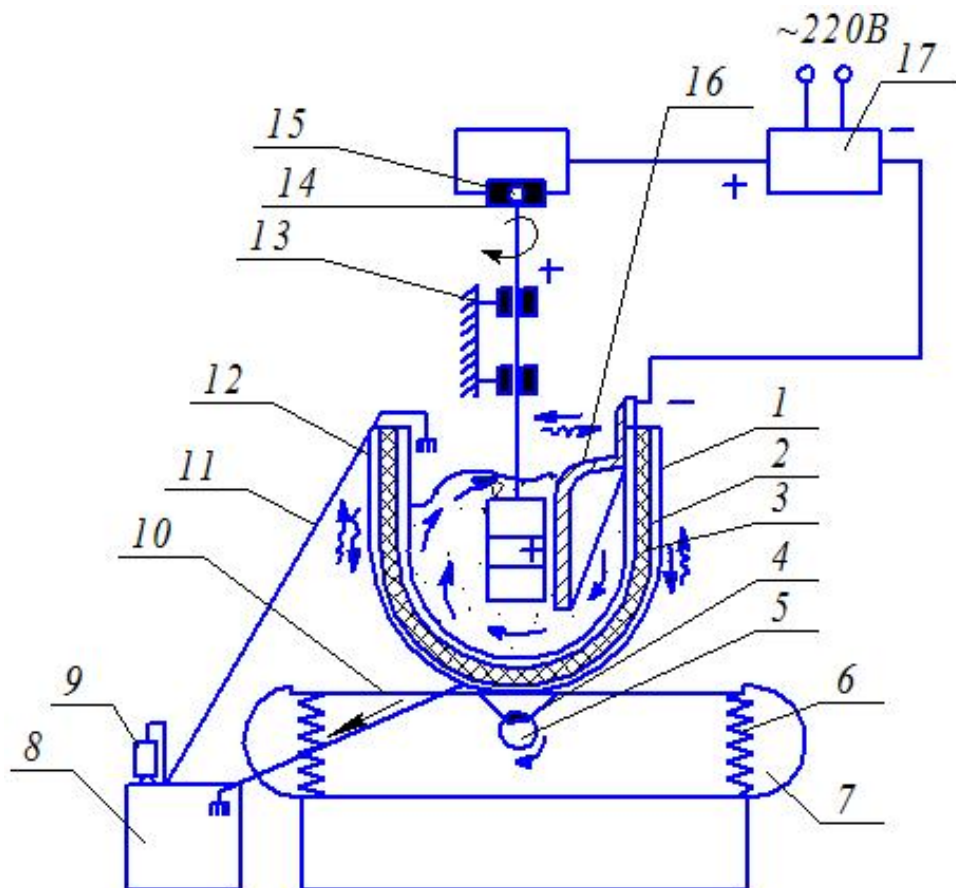


Рисунок 1.3 – Схема пристрою для віброабразивної електрохімічної обробки:  
 1 – робоча камера; 2 – гумове облицювання робочої камери; 3 – облицювання з нержавіючої сталі; 4 – вал вібратора; 5 – грузнув; 6 і 7 – пружини; 8 – бак з електролітом; 9 – насос; 10 – злив електроліту; 11 – шланг подачі електроліту; 12 – пакет оброблюваних деталей; 13 – текстолитові підшипники; 14 – мідно-графітові щітки; 15 – струмоз’ємне кільце; 16 – катод; 17 – випрямляч

Робоче середовище 3 під дією коливань стола 4 переміщується в камері 1. Коливання створює неврівноважена маса вібратора 5, що обертається, а оброблювані феромагнітні деталі 2 або оправки (супутники) із закріпленими на них деталями орієнтуються уздовж магнітних силових ліній.

Робоча камера виконується з діамагнітного матеріалу (нержавіюча сталь, дюралюміній). Полюси електромагнітів 6, звернені до робочої камери, отримують різнойменну намагніченість і магнітні силові лінії проходять через робочу камеру в напрямі від одного полюса до іншого.

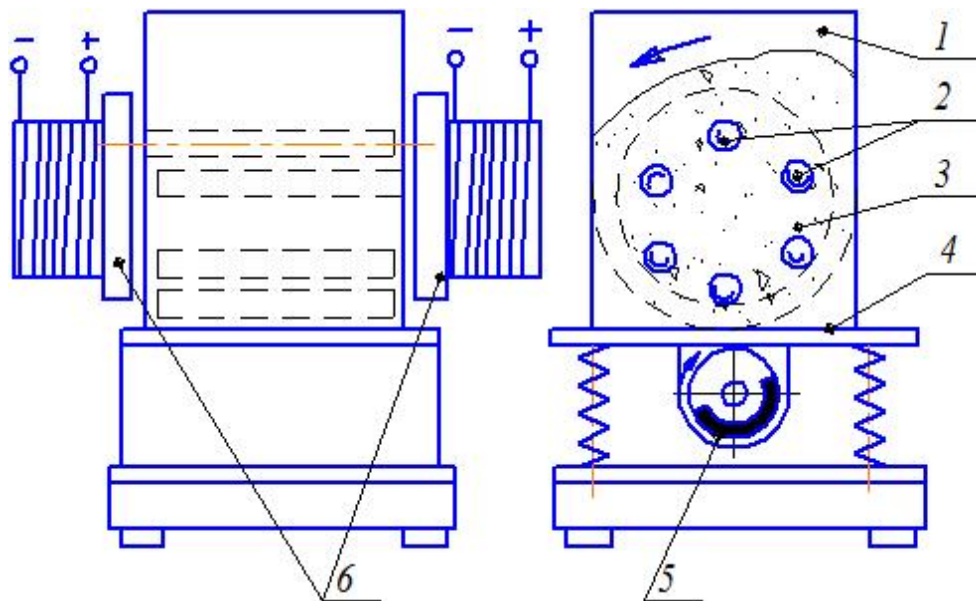


Рисунок 1.4 – Схема пристрою для магнітновібраабразивної обробки

Деталі переміщуються (обертаються) навколо загального центру циркулюючого середовища у напрямі його руху, але з меншою швидкістю, яку регулюють величиною магнітного поля, і навколо власної осі. Циркуляція середовища забезпечує рівномірне знімання металу зі всіх деталей, оскільки вони переміщуються по різних зонах робочої камери, де щільність і інтенсивність руху частинок середовища неоднакові.

За допомогою магнітного поля можна керувати розташуванням і рухом деталей в процесі їх обробки. Магнітно-вібраабразивна обробка деталей в діелектричному середовищі є сукупністю імпульсних процесів мікрорізання і пластичної деформації поверхневого шару деталей, розташуванням і рухом яких управляють за допомогою магнітного поля.

Цей метод, незважаючи на високу вартість, доцільно застосовувати для чистової обробки деталей складних форм з підвищеними вимогами до точності виготовлення і якості поверхні (кулачкові валики паливних насосів, розподільні вали двигунів, гвинти верстатів, машин, шпинделі бавовнозбиральних комбайнів, шнеки, шестерні, кільця і т. п.).

Вібротермомеханічна абразивна обробка (рис. 1.5) [3, 7] дозволяє здійснювати нагрівання оброблюваних деталей при відповідній зміні конструкції робочої камери. У вібраційних установках охолодження

здійснюється за допомогою системи циркуляції стислого повітря або мастильно-охолоджувальної рідини. Вібротермомеханічна абразивна обробка може бути застосована як попередня обробка для наступного нанесення деяких видів плівок.

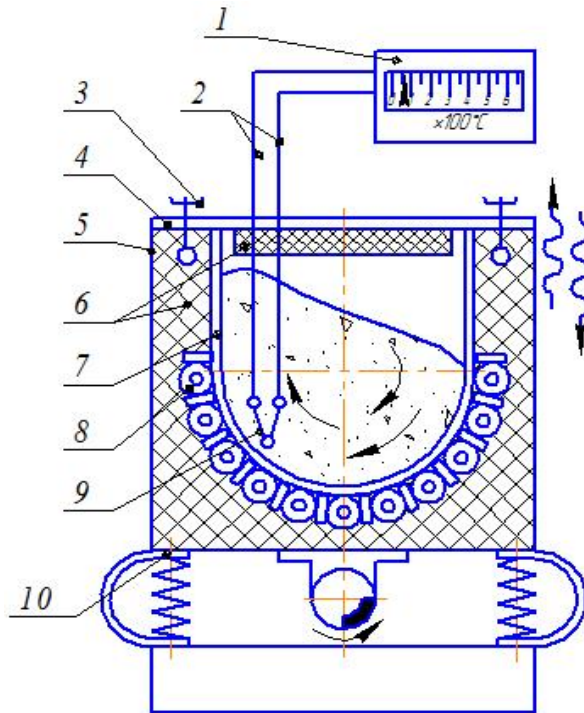


Рисунок 1.5 – Схема пристрою для вібротермомеханічної обробки

У нижній частині термокамера 7 пристрою [3, 6] для вібротермомеханічної обробки (див. рис. 1.5), що встановлена на вібростенді 10, розташовані трубчасті електронагрівачі 8, що розділені тепловідвідними ребрами 9. Між кожухом і камерою, а також у вставній частині кришки 4 знаходиться теплоізолятор 6 (жаростійка тканина або гранульована мінеральна вата, футерована зовні металевим листом 5). Кришка кріпиться за допомогою відкидних болтів 3. Для регулювання і запису теплового режиму використана хром-копелева термопара 2 з потенціометром 1.

Просторова механічна віброабразивна обробка полягає у тому, що робочій камері надається переміщення складнопросторової форми, що суттєво підвищує ефективність процесу обробки, адже чим складніший рух виконує робоча камера з абразивним матеріалом, тим більша



величина кінетичної обробки передається середовищу та зануреним у неї оброблюваним деталям [1, 2, 9, 10].

Також складнопросторове переміщення абразивної маси може створюватись формою робочої камери.

Досить широко розповсюджені установки з кільцевими (тороїдальними) робочими камерами. Прикладом такої установки може бути «Спіратрон» (рис. 1.6), що складається із циліндра 1, вібратора 2, порога 3, робочої камери тороїдальної форми 4, пружин 5, сітки сепаратора 6 та електродвигуна 7.

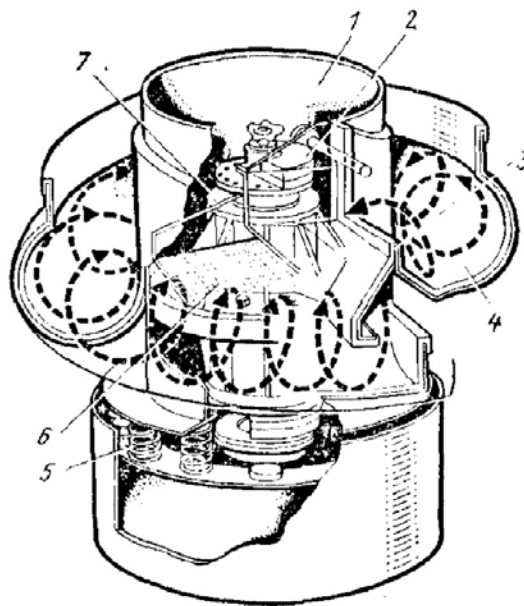


Рисунок 1.6 – Схема установки «Спіратрон»

Вертикально розташований віброзбуджувач надає вібраційне переміщення тороїдальному контейнеру, у якому, за рахунок його форми, створюється складний просторовий рух, в результаті чого завантажені деталі переміщуються по безперервній спіральній траєкторії навколо кільця контейнера. Подібні установки компактні, а їхня робота супроводжується меншим шумом. Серед недоліків можна назвати складність виготовлення та армування гумою робочих контейнерів, а також менше на 20...25 % [8, 9] знімання металу порівняно із машинами з контейнерами класичної форми.

У вищерозглянутих установках використовується, в основному, дебалансний привод, що є дешевим, але відтворює обмежений діапазон



частот, тому для розширення технологічних можливостей обладнання для віброабразивної обробки досить широко використовується гідроімпульсний привод (ГІП) для створення вібрацій у робочій камері.

Перевагами такого приводу є значна питома енергоємність, а також здатність забезпечення заданого закону руху та зміни робочих параметрів процесу (частота, амплітуда) під час обробки та незалежне їх регулювання [11–14].

Схема установки з гідроімпульсним приводом для обробки довгомірних показана на рис. 1.7.

Виконавча ланка 1 з об'єктом обробки (труба великого діаметра) приводиться в двокоординатний (гвинтовий) рух горизонтальним 2 та кутовим 3 гідроциліндрами. Керування гідроциліндрами здійснюється віброзбуджувачем 5, підключеним до напірних порожнин гідроциліндрів за схемою «на виході». Виконавча ланка 1 та станина 4 пружно зв'язані між собою. Переміщення робочої ланки в горизонтальному та кутовому напрямках обмежено жорсткими упорами.

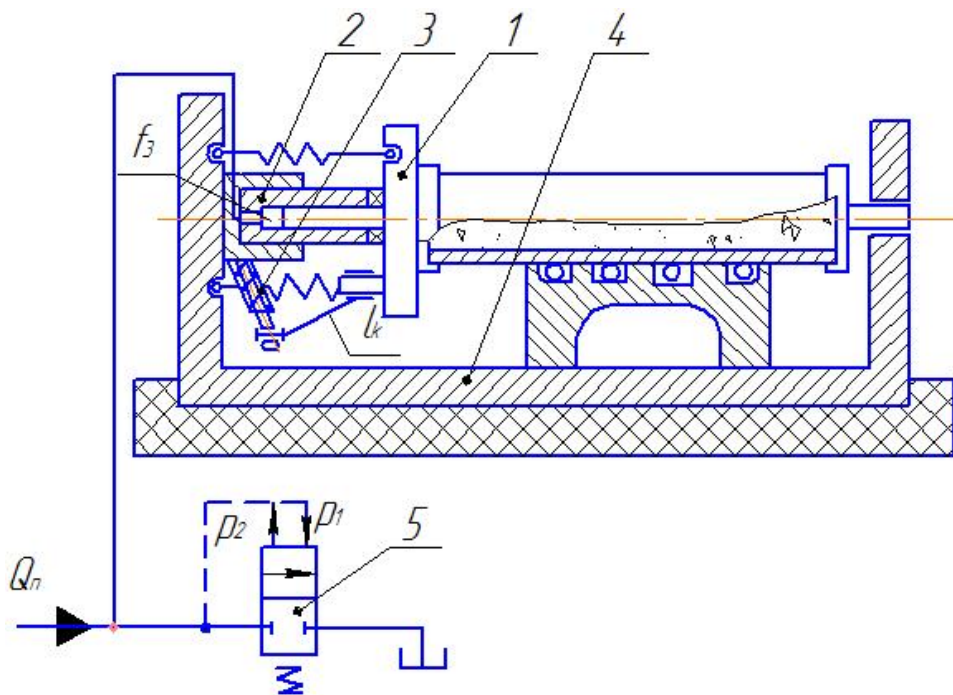


Рисунок 1.7 – Схема установки з гідроімпульсним приводом для обробки довгомірних труб

За рахунок вищевказаних переваг час обробки на установці з гідроімпульсним приводом для обробки довгомірних труб скорочується приблизно у 2–3 рази в порівнянні із обробкою з такими ж режимами на установках з дебалансним приводом [11, 12, 14].

## **1.2 Приводи устаткування (верстатів) для віброабразивної обробки**

Для створення вібрацій (або коливальних рухів) робочого органу (камери) пристроїв для віброабразивної обробки здебільшого використовують механічні дебалансні приводи.

В якості приводу подібних машин може бути також застосований електромагнітний, гідравлічний пневматичний, комбінований типи приводів. Детальніше переваги та недоліки кожного типу вібраційних приводів зображені на рис. 1.8.

На рис. 1.9а–д показані схеми віброзбуджувачів вищевказаних типів приводів.

Схема з механічним приводом (рис. 1.9а) [4, 15, 16]. У відцентрових віброзбуджувачах примусова сила створюється в результаті обертання неврівноваженого інерційного елемента. За типом інерційного елемента відцентрові віброзбуджувачі отримали назву дебалансних і планетарних. Простота конструкції та дешевизна виготовлення зумовила широке їх розповсюдження, незважаючи на низку недоліків: високий рівень шуму, необхідність надійної віброізоляції, недовговічність конструкції та відсутність можливості регулювання параметрів віброзбуджувача.

Схема з пневматичним приводом (рис. 1.9б) [4, 17]. Пневматичні вібратори, в основному беззолотникові, застосовуються переважно в ливарному виробництві. Регулювання параметрів вібраторів здійснюється таким чином: частота регулюється зміною тиску, а амплітуда – встановленням спеціальних упорів. До переваг цього типу вібраторів відносяться малі габаритні розміри, простота конструкції та низька вартість. Головними недоліками є ударний характер роботи, що спричиняє значний шум, та невелика потужність.

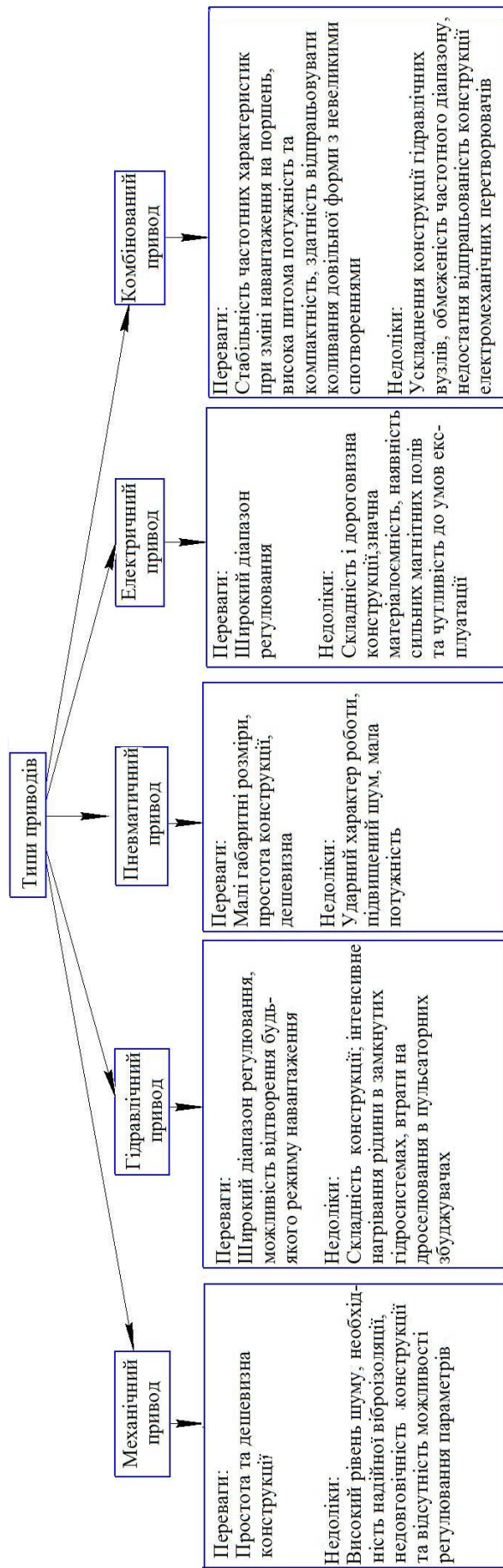


Рисунок 1.8 – Типи приводів, переваги та недоліки

Схема з електричним приводом (рис. 1.9в) [18–22]. Електричні вібробудувачі за принципом дії підрозділяються на магнітні та динамічні. В електромагнітних вібробудувачах сили, що збуджують коливання, виникають у результаті впливу на феромагнітні тіла змінного в часі магнітного поля. Простота конструкції електромагнітних вібробудувачів не може компенсувати такі їх недоліки, як значна металоємність, великі витрати дорогих електротехнічних матеріалів, залежність амплітуди вібрацій від величини допустимого зазору між якорем і осердям електромагніту.

В електродинамічних вібробудувачах змінна сила виникає при взаємодії постійного магнітного поля з провідником, по якому протікає змінний електричний струм.

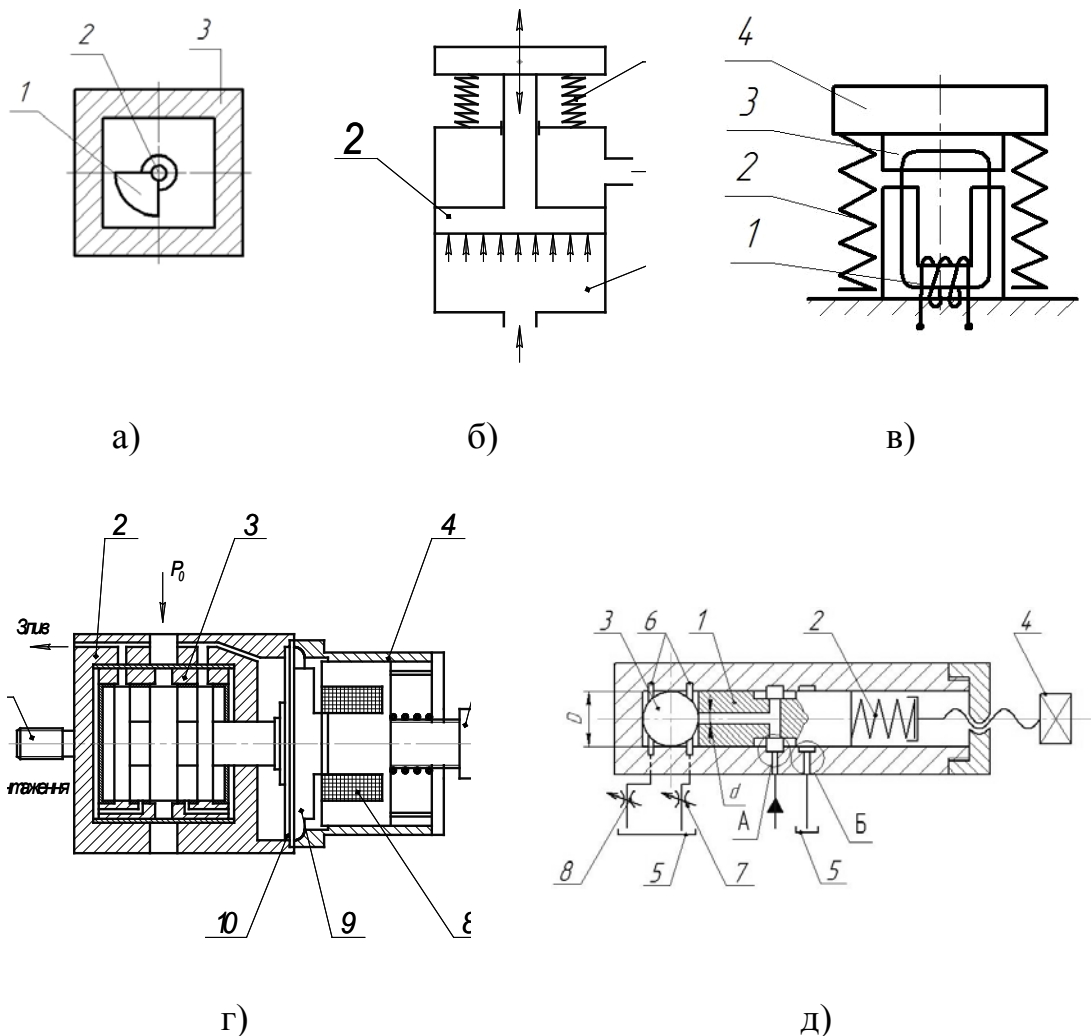


Рисунок 1.9 – Схеми типових вібробудувачів:  
 а) механічний; б) пневматичний; в) електромагнітний;  
 г) електрогідравлічний; д) гідравлічний вібробудувач

## ЛІТЕРАТУРА

1. Овчинников П. Ф. Виброреология / П. Ф. Овчинников. – К. : Наукова думка, 1983. – 272 с.
2. Блехман И. И. Вибрационное перемещение / И. И. Блехман, Г. Ю. Джанелидзе. – М. : Наука, 1964. – 410 с.
3. Бабичев А. П.. Основы вибрационной технологии / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев. – Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 1998. – 624 с. – ISBN 5-7890-0043-6
4. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). – М : Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. – 1981. – 509 с., ил.
5. Бабичев А. П. Вибрационная обработка деталей в абразивной среде / А. П. Бабичев. – М. : Машиностроение, 1968. – 92 с.
6. Бабичев А. П. Вибрационная обработка деталей / А. П. Бабичев. – М. : Машиностроение, 1974. – 136 с.
7. Бабичев А. П. Конструирование и эксплуатация вибрационных станков для обработки деталей / А. П. Бабичев, Л. К. Зеленцов, Ю. М. Самодумский. – Ростов-на-Дону : Изд-во Ростовского ун-та, 1981. – 160 с.
8. Денисов П. Д. Анализ конструкций вибрационных машин непрерывного действия / П. Д. Денисов // Вибрации в технике и технологиях. – №2 – Винница. – 1995. – С. 3–7.
9. Бернік П. С. Конвеєрні вібраційні машини для оздоблювально-зміцнювальної обробки / П. С. Бэрнік, І. П. Паламарчук. – К. : Вища школа, 1996. – 327 с. – ISBN 5-7763-8876-7.
10. Бернік П. С. Вибрационные технологические машины с пространственными колебаниями рабочих органов / П. С. Берник, Л. В. Ярмоленко ; под ред. П. С. Берника. – Винница : Издательский центр ВГСХИ, 1998. – 116 с.
11. Іскович-Лотоцький Р. Д. До питання синтезу схем гідроімпульсних вібр машин з декількома робочими ланками / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1994. – № 1(2). – С. 82–88.

12. Искович-Лотоцкий Р. Д. Гидроимпульсный привод установки для виброабразивной очистки внутренних поверхностей трубчатых изделий / Р. Д. Искович-Лотоцкий, Н. Н. Вирнык // Гидропривод и гидропневмоавтоматика. Респ. межв. научн.-техн. сборник. – 1992. – Вып. 27. – С. 83–86.
13. Искович-Лотоцкий Р. Д. Гидровибрационные машины обработки давлением (состояние и перспективы развития) / Р. Д. Искович-Лотоцкий, Р. Р. Обертюх, А. А. Гуменчук // Вестн. машиностроения. – 1993. – № 12. – С. 8–12.
14. Искович-Лотоцкий Ростислав Дмитриевич. Машины вибрационного и виброударного действия / Р. Д. Искович-Лотоцкий, И. Б. Матвеев, В. А. Крат. – К. : Техніка, 1982. – 576 с.
15. Быховский И. И. Центробежный вибрационный привод строительных и дорожных машин / И. И. Быховский, А. М. Виленкин. – М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1968. – 58 с.
16. Вайнкоф Я. Ф. Вибрационная техника на вспомогательных транспортных операциях / Я. Ф. Вайнкоф, А. К. Квитко. – М. : Машиностроение, 1964. – 164 с.
17. Герц Е. Ф. Пневматические приводы / Е. Ф. Герц. – М. : Машиностроение, 1969. – 360 с.
18. Гончаревич И. Ф. Электровибрационная транспортная техника / И. Ф. Гончаревич, Л. П. Стрельников. – М. : Гостекиздат, 1959. – 261 с.
19. Гордон А. В. Электромагниты переменного тока / А. В. Гордон, А. Г. Сливинская. – М. : Энергия, 1968. – 200 с.
20. Ходжаев К. Ш. Колебания, возбуждаемые электромагнитами в линейных механических системах / К. Ш. Ходжаев // МТТ. – 1968. – № 5. – С. 11–26.
21. Ходжаев К. Ш. Синтез электромагнитов, предназначенных для возбуждения вибраций / К. Ш. Ходжаев // Электричество. – 1975. – № 6. – С. 63–68.
22. Чесноков А. Е. Колебания электромагнитного вибратора при наличии в его цепи последовательно подключенного конденсатора / А. Е. Чесноков // Научные записи Одесского политехнического института. – 1959. – Т. XVI. – С. 134–155.

23. Бидерман В. Л. Прикладная теория механических колебаний / В. Л. Бидерман. – М. : Высшая школа, 1972. – 416 с.
24. Блехман И. И. Что может вибрация? О «вибрационной механике» и вибрационной технике / И. И. Блехман. – М. : Наука, 1988. – 208 с. – ISBN 5-02-013808-8 : 0.80 р.
25. Гончаревич И. Ф. Вибрация-нестандартный путь: вибрация в природе и технике / И. Ф. Гончаревич ; отв. ред. Э. Г. Гудушаури. – М. : Наука, 1986. – 209 с.
26. Ганиев Р. Ф. Динамика частиц при воздействии вибраций. / Р. Ф. Ганиев, Л. Е. Украинский. – К. : Наук. думка, 1975. – 168с.
27. Нагаев Р. Ф. Периодические режимы вибрационного перемещения / Р. Ф. Нагаев. – М. : Наука, 1978. – 160 с.
28. Лавендел Э. Э. Исследование движения модели загрузки при объемной вибрационной обработке / Э. Э. Лавендел, А. П. Субач, Г. Ю. Поплавский // Вопросы динамики и прочности. Рига : Зинатне. – 1970. – Вып. 20. – С. 5–19.
29. Липовский М. И. Об одном виде вибрационного перемещения сыпучей среды / М. И. Липовский. – Изв. АН СССР, МТТ. – 1969. – № 3. – С. 3–9.
30. Слиеде П. Б. Исследование послойного движения сыпучего материала при продольном вибротранспортировании / П. Б. Слиеде // В кн.: Вопросы динамики и прочности – Рига : Зинатне, 1972. – Т. 22. – С. 19–32.
31. Копылов Ю. Р. Динамика процесса и технологии виброударного упрочнения деталей сложной формы : Автореф. дис. д-ра техн. наук: спец. 05.03.01 «Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки» / Копылов Юрий Романович. – Воронеж, 1990. – 42 с.
32. Кулаков Ю. М. Отделочно-зачистная обработка деталей / Ю. М. Кулаков, В. А. Хрульков. – М. : Машиностроение, 1979. – 216 с.
33. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах / [И. Н. Карташов, М. Е. Шаинский, В. А. Власов и др.] // К. : Вища школа, 1975. – 188 с.

34. Политов И. В. Использование вибрации для очистки и отделки поверхностей деталей / И. В. Политов, Н. А. Кузнецов. – Л., 1966. – 36 с.
35. Субач А. П. Динамика процессов и машин объемной и центробежной обработки насыпных деталей / А. П. Субач. – Рига : Знание, 1991. – 400 с.
36. Искович-Лотоцький Р. Д. Плуножерний вібраційний гідроциліндр / Р. Д. Искович-Лотоцький, О. Д. Манжілевський // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : Збірник наукових праць. Житомир. – 2011. – № 31. – С. 218–226. – ISSN 1817-2997.
37. Манжілевський О. Д. Гідроімпульсний привод робочих ланок віброабразивних зачисних верстатів / О. Д. Манжілевський // Сучасні технології в промисловому виробництві: II Всеукраїнська міжвузівська науково-технічна конференція, 17–20 квіт. 2012 р. : тези доп. – Суми, 2012. – С. 51–52.
38. Бауман В. А. Вибрационные машины и процессы в строительстве : учебное пособие для студентов строительных и автомобильно-дорожных вузов / В. А. Бауман, И. И. Быховский. – М. : Высшая школа, 1977. – 255 с.
39. Сергиев А. П. Отделочно-зачистная обработка в свободных абразивных средах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kafedratm.ru/nauchnaya-rabota/otdelочно-zachistnaya-obrabotka-v-svobodnich-abrazivnich-sredach.html>.
40. Овчинников П. Ф. О резонансном режиме работы вибрационных машин / П. Ф. Овчинников. – Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1968. – № 10. – С. 171–177.
41. Михайлов Н. В. Основные принципы новой технологии бетона и железобетона / Н. В. Михайлов. – М. : Госстройиздат, 1961. – 53 с.
42. Баркан Д. Д. Виброметод в строительстве / Д. Д. Баркан. – М. : Госстройиздат, 1959. – 315 с.
43. Десов А. Е. О рациональных режимах вибрирования бетонных смесей: Технология и свойства тяжелых бетонов / А. Е. Десов. // Тр. НИИЖБ. – 1959. – Вып. 11. – С. 7–19.



44. Куннос Г. Я. О схематизации механизма вибрирования бетонных смесей / Г. Я. Куннос // Исслед. по бетону и железобетону. – 1957. – № 11. – С. 7–27.
45. Овчинников П. Ф. Некоторые вопросы виброперемещения строительных смесей / П. Ф. Овчинников // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1965. – № 5. – С. 123–130.
46. Пановко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я. Г. Пановко. – Л. : Машиностроение, 1976. – 320 с.
47. Кац А. М. Вынужденные колебания при прохождении через резонанс / А. М. Кац // Инж. сб. – 1947. – № 2. – С. 7–20.
48. Спиваковский А. О. Горнотранспортные вибрационные машины / А. О. Спиваковский, И. Ф. Гончаревич. – М. : Углетехиздат, 1959. – 181 с.
49. Членов В. А. Виброкипящий слой / В. А. Членов, Н. В. Михайлов. – М. : Наука, 1972. – 343 с.
50. Блехман И. И. Вибрационное перемещение / И. И. Блехман, Г. Ю. Джаналидзе. – М. : Наука, 1964. – 410 с.
51. Добронравов С. С. Строительные машины. Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / С. С. Добронравов, С. П. Сергеев. – М. : Высш. школа, 1981. – 320 с.
52. Баранов В. Н. Электрогидравлические и гидравлические вибрационные механизмы. Изд. 2-е, перераб. и доп. / В. Н. Баранов, Ю. Б. Захаров. – М. : Машиностроение, 1977. – 326 с.
53. Іскович-Лотоцький Р. Д. Дослідження роботи електромеханічної частини гідроімпульсного приводу вібраційного обладнання / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, О. В. Поліщук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 2. – С. 71–75.
54. Іскович-Лотоцький Р. Д. Методика проектного розрахунку електромеханічної частини гідроімпульсного приводу вібраційного обладнання / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, О. В. Поліщук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 1(53). – С. 32–35.
55. Гончаревич И. Ф. Теория вибрационной техники и технологии / И. Ф. Гончаревич, К. В. Фролов. – М. : Наука, 1981. – 320 с.
56. Якубович В. П. Однокаскадный клапан-пульсатор для гидрорывов циклического действия: дис. канд. техн. наук. 05.05.03 / В. П. Якубович. – Винница, 1994. – 215 с.

57. Обертюх Роман Романович. Динамика гидроимпульсного привода вибромашин сложно-пространственного нагружения / Р. Р. Обертюх, Р. Д. Искович-Лотоцкий, Ю. В. Булыга // Вибрации в технике и технологиях. – 1996. – № 1(13). – С. 23–26.

58. Вірник М. М. Вібраційні та віброударні процеси і машини у ливарному виробництві : монографія / М. М. Вірник, Р. Д. Іскович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 198 с. – ISBN 978-966-641-233-4.

59. Патент України на корисну модель № 53711, МПК F15B21/12. Генератор імпульсів тиску / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх В. І. Томчук, Ю. В. Булгга, М. Р. Обертюх; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 99123916; заявл. 20.12.1999; опубл. 17.02.2003, Бюл. № 13 – 3 с. : іл.

60. Клапанний генератор імпульсів тиску з регуляторами швидкості руху запірних елементів другого каскаду / [Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, М. Р. Архипчук, М. А. Бернада] // Вібрації в техніці та технологіях. – 2005. – № 1(39). – С. 25–27. – ISBN 5-7763-9123.

61. Варсановьев В. Д. Гидравлические вибраторы / В. Д. Варсановьев, О. В. Кузнецов. – Л. : Машиностроение, 1979. – 143 с.

62. Іскович-Лотоцький Р. Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування : монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 338 с. – ISBN 966-641-178-4.

63. Патент України на корисну модель № 69742, МПК B24B 1/04(2006.01). Плунжерний вібраційний гідроциліндр / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Ю. В. Булига, О. Д. Манжілевський; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u 2011 12876 ; заявл. 02.11.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9 – 3 с. : іл.

64. Патент України на корисну модель № 68778, МПК F15B 15/04 (2006.01), B30B 15/16(2006.01). Плунжерний вібраційний гідроциліндр / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Ю. В. Булига, О. Д. Манжілевський; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201111383; заявл. 26.09.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7 – 3 с. : іл.

65. Іскович-Лотоцький Р. Д. Сучасне обладнання для віброабразивної обробки деталей складної конфігурації / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Ю. В. Булига, О. Д. Манжілевський // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. Луцьк. – 2011. – № 31. – С. 134–138.
66. Глазунов В. А. Пространственные механизмы параллельной структуры: / В. А. Глазунов, А. Ш. Колискор, А. Ф. Крайнев. – М. : Наука, 1991. – 95 с. – ISBN 5-02-006759-8.
67. Обрабатывающее оборудование нового поколения. Концепция проектирования / [В. Л. Афонин, А. Ф. Крайнев, В. Н. Ковалев и др.]; под ред. В. Л. Афолина. – М. : Машиностроение, 2001. – 256 с. – ISBN 5-217-03093-3
68. Бушуев В. В. Механизмы параллельной структуры в машиностроении / В. В. Бушуев, И. Г. Хольшев // СТИН. – 2001. – № 1. – С. 3–8.
69. Tripod Machine SKM 400 Design, Calibration and Practical Application. / [E. Schoppe, A. Ponisch, V. Maier, T. Puchtler and others] // 3-rd Chemnitz Parallel Kinematics Seminar: Development Methods and Application Experience of Parallel Kinematics. – Chemnitz, 2002. – P. 579–594.
70. Neumann K. E. Tricept Applications. 3-rd Chemnitz Parallel Kinematics Seminar: Development Methods and Application Experience of Parallel Kinematics / K. E. Neumann // Chemnitz, 2002. – P. 547–551.
71. New Automation Solutions in Aeronautics Through Parallel Kinematic Systems. / [A. J. Saenz, V. Collado, M. Gimenez, I. San Sebastian] // 3-rd Chemnitz Parallel Kinematics Seminar: Development Methods and Application Experience of Parallel Kinematics. – Chemnitz, 2002. – P. 563–578.
72. Bonev I. A. Geometric Analysis of Parallel Mechanisms. / I. A. Bonev // Ph. D. dissertation, University of Laval, Quebec, Canada, 2002. – 28 p.
73. Parallel Kinematic Structures in Manufacturing. / [R. Neugebauer, C. Harzbecker, W.-G. Drossel and others] // 3-rd Chemnitz Parallel Kinematics Seminar: Development Methods and Application Experience of Parallel Kinematics. – Chemnitz, 2002. – P. 17–47.

74. Бушуев В. В. Жесткость станков / В. В. Бушуев // СТИН. – 1996. – № 8. – С. 26–32.
75. Хольшев И. Г. Проектирование структуры станков типа «гексапод»: дис. канд. техн. наук: 05.03.01. / И. Г. Хольшев. – М., 2001. – С. 211. – Библиогр. : С. 102–138.
76. The Modeling and Optimization System of Hexapod Layout / [V. Astanin, A. Duyunov, G. Smotritsky, V. Usov] // 3-rd Chemnitz Parallel Kinematics Seminar: Development Methods and Application Experience of Parallel Kinematics. – Chemnitz, 2002. – P. 189–195.
77. Interaction Between Machine Tool and Process - Modelling, Simulation and Identification of Milling Operations on Hexapod 6X HEXA / [R. Neugebauer, J. Leopold, K. Hoyer and others] // 3-rd Chemnitz Parallel Kinematics Seminar: Development Methods and Application Experience of Parallel Kinematics. – Chemnitz, 2002. – P. 833–841.
78. Іскович-Лотоцький Р. Д. Спеціальний верстат для віброобразивної обробки деталей складної конфігурації/ Р. Д. Іскович-Лотоцький, Ю. В. Булига, О. Д. Манжілевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 6(87). – С. 86–89. – ISSN 1997-9266.
79. Іскович-Лотоцький Р. Д. Використання елементів паралельної кінематики в установках для віброобразивної обробки виробів складної форми / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Ю. В. Булига, О. Д. Манжілевський // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 3(55). – С. 66–68. – ISBN 5-7763-9123.
80. Вирнык Николай Николаевич. Математическое моделирование динамики рабочего процесса гидравлического вибровозбудителя / Н. Н. Вирнык, Р. Д. Іскович-Лотоцький, Ю. В. Булига // Вибрации в технике и технологиях. – 1995. – № 2. – С. 42–43.
81. Бочаров Ю. А. Основы общей теории гидравлических кузнечно-штамповочных машин / Ю. А. Бочаров // Машины и технология обработки металлов давлением. – 1980. – С. 32–39 – (Тр. МВТУ: № 335).
82. Іскович-Лотоцький Р. Д. Стенд з гідроімпульсним приводом для моделювання просторового вібронавантаження / Р. Д. Іскович-

Лотоцкий, Ю. В. Булига, О. Д. Манжілевський // Вібрації в техніці та технологіях. – 2010. – № 4(60). – С. 13–16. – ISBN 5-7763-9123.

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

84. Искович-Лотоцкий Р. Д. Вибрационные прессы: Обзор. / Р. Д. Искович-Лотоцкий, И. Б. Матвеев. – М. : НИИМаш, 1979. – 50 с.

85. Искович-Лотоцкий Р. Д. Гидравлические вибровозбудители на базе стандартной контрольно-распределительной аппаратуры / Р. Д. Искович-Лотоцкий, Р. Р. Обертюх, Б. Н. Пентюк // Вестник машиностроения. – 1984. – № 8. – С. 17–20.

86. 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: спец. 05.03.05 «Процессы и машины обработки давлением» / Р. Р. Обертюх. – М., 1987. – 313 с.

87. Гуменчук А. А. Разработка конструкции и методики проектирования экспериментального вибропресса с пространственным движением рабочего стола для прессования заготовок из порошков непластичных материалов. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.03.05 / А. А. Гуменчук. – М., 1991. – 24 с.

88. Гидропривод сваепогружающих и грунтоуплотняющих машин / [М. Е. Иванов, И. Б. Матвеев, Р. Д. Искович-Лотоцкий и др.] – М. : Машиностроение, 1977. – 174 с.

89. Моделирование систем, расчет элементов формообразования поверхности, защитные покрытия и новое оборудование в машиностроении. / [Э. И. Жуковский, П. П. Лизунов, Р. Д. Искович-Лотоцкий и др.] – К. : Вища школа, 1989. – 360 с.

90. Матвеев И. Б. Гидропривод машин ударного и вибрационного действия / И. Б. Матвеев. – М. : Машиностроение, 1974. – 184 с.

91. Божко А. Е. Воспроизведение вибраций / А. Е. Божко – К. : Наукова думка, 1975. – 190 с.

92. Бидерман В. Л. Теория механических колебаний : учебник для вузов / В. Л. Бидерман. – М. : Высшая школа, 1980. – 408 с., ил.

93. Божко А. Е. Пространственное вибровозбуждение / А. Е. Божко, А. В. Гноевой, В. П. Шпачук. – К. : Наукова думка, 1987. – 192 с.
94. Вильсон У. Кер. Вибрационная техника / У. Кер Вильсон. – М. : Машгиз, 1963. – 415 с.
95. Ганиев Р. Ф. Колебания твердых тел / Р. Ф. Ганиев, В. О. Кононенко. – М. : Наука, 1976. – 432 с.
96. Гноевой А. В. Создание пространственных колебаний упруго подвешенным твердым телом / А. В. Гноевой. – Изв. вузов. Машиностроение, 1982. – № 1. – С. 28–31.
97. Найденко О. К. Амортизация судовых двигателей и механизмов / О. К. Найденко, П. П. Петров. – М. : Судпромгиз, 1962. – 288 с.
98. А. с. 403984 СССР, МКИ G01 m 7/00. Стенд для испытания изделий на вибрацию / А. В. Гноевой. Оpubл. 26.10.73. – Бюл. № 43.
99. А. с. 806379 СССР, МКИ B24 B31/06 Вибрационная машина для обработки длинномерных и крупногабаритных деталей / П. Д. Денисов, Н. Ф. Брайлян и В. М. Кунин. Заявлено 03.05.79. Оpubл. 23.02.81, Бюлл. № 7 //Открытия. Изобретения. – 1981. – № 7.
100. Tonshoff H. Modelling and Control of a Linear Direct Driven Hexapod. // Н. Tonshoff, Н. Grendel, M. Grotjahn // 3-rd Chemnitz Parallel Kinematics Seminar: Development Methods and Application Experience of Parallel Kinematics. – Chemnitz, 2002. – P. 335–350.
101. Потапов В. А. Прецизионное оборудование нового поколения. / В. А. Потапов // СТИН, 1990. – № 1. – С. 28–32.
102. Подураев Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение / Ю. В. Подураев. – М. : Машиностроение, 2007. – 256 с.
103. Merlet J. P. Parallel Robots. Solid mechanics and its applications / J. P. Merlet. – Kluwer Academic Publishers, 2000. – 74 p.
104. Махов А. А. Моделирование механических систем с помощью пакета расширения SimMechanics: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://exponenta.ru/educat/systemat/mahov/simmechanics.asp>
105. Іскович-Лотоцький Р. Д. Математичне моделювання гідроімпульсного приводу стенду для створення просторового вібронавантаження / Р. Д.Іскович-Лотоцький, Ю. В. Булига, О. Д. Манжілевський // Вісник СевНТУ. – Випуск 117/2011. – С. 60–63. – ISBN 5-7763-4399-2.

106. Булига Ю. В. Математична модель віброустановки із гідроімпульсним приводом для очищення труб великого діаметра / Ю. В. Булига, О. І. Проценко, О. Д. Манжілевський // Промислова гідравліка та пневматика. – 2012. – № 2(36). – С. 81–84. – ISSN 1994-4691.

107. Диксон Д. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений. Перевод с английского / Д. Диксон. – М. : Мир, 1969. – 440 с.

108. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. Пер. с польск. / Я. Дитрих. – М. : Мир, 1981. – 456 с.

109. Левшина Е. С. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи). Учеб. пособие для вузов / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинград. отд-ние, 1983. – 320 с.

110. Коваленко И. Н. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / И. Н. Коваленко., А. А Филипова. – М. : Высшая школа, 1982. – 256 с.

111. Шушкевич В. А. Основы электротензометрии / В. А. Шушкевич. – Минск : вышэйшая школа, 1975. – 352 с.

112. Геводян Т. А. Приборы для измерений и регистрации колебаний / Т. А. Геводян, Л. Т. Киселев. – М. : Машгиз, 1962. – 467 с.

113. Бахвалов Н. С. Численные методы (анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения) / Н. С. Бахвалов. – М. : Наука, 1975. – 629 с.

114. Щеголев Б. М. Математическая обработка наблюдений / Б. М. Щеголев. – М. : Наука, 1969. – 344 с.

115. Іскович-Лотоцький Р. Д. Гідроімпульсний привод установки для віброобразивної обробки деталей складної конфігурації / Р. Д. Іскович-Лотоцький, О. Д. Манжілевський // III Міжнародна науково-технічна конференція АС ПГП «Промислова гідравліка та пневматика», 19–21 вер. 2012 р. : тези доп. – Чернігів, 2012. – С. 51–52.

116. Патент України на корисну модель № 42228, МПК (2009) В24В 1/04. Пристрій для вібраційного очищення великогабаритних деталей та деталей складної конфігурації / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Ю. В. Булига, О. Д. Манжілевський; заявник і патентовласник Він-

ницький національний технічний університет. – № u200901114; заявл. 12.02.2009; опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12 – 2 с. : іл.

117. Патент України на корисну модель № 61057, МПК В24В 1/04 (2006.01). Три координатний вібростенд / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Ю. В. Булига, О. Д. Манжілевський; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201014269; заявл. 29.11.2010; опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13. – 2 с. : іл.

118. Патент України на корисну модель № 57625, МПК (2011.01) F15В, В24В 1/04. Пристрій для вібраційного очищення великогабаритних деталей та деталей складної конфігурації / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Ю. В. Булига, О. Д. Манжілевський; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201008802 ; заявл. 27.09.2010; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 5. – 3 с. : іл.

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

120. Ключев В. В. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: Справочник в 2-х кн. / под ред. В. В. Ключева. – М. : Машиностроение, 1978. – 439 с. : ил.

121. Пантелеев В. Ф. Исследование гидросистем периодического нагружения с клапанами-пульсаторами: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.03 «Системы приводов» / В. Ф. Пантелеев. – М. : Машиностроение, 1978. – 26 с.



*Наукове видання*

**Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович  
Манжілевський Олександр Дмитрович**

**ВІБРОАБРАЗИВНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ  
НА УСТАНОВКАХ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено О. Манжілевським

Підписано до друку 10.09.2014 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 8,78  
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) прим. Зам № В2014-37

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.