

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

На правах рукопису

МІСЬКОВ ВАДИМ ПЕТРОВИЧ

УДК 621.762.06

ІНЕРЦІЙНИЙ ВІБРОПРЕС-МОЛОТ З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЮ
СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИВОДА ДЛЯ
ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВОК З ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Спеціальність 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
Іскович-Лотоцький Р. Д.
доктор технічних наук, професор

Вінниця – 2015

ЗМІСТ

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП | 4 |
| 1 ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ СТВОРЕННЯ ВІБРОПРЕСОВОГО ОБЛАДНАННЯ З РІЗНИМИ ТИПАМИ ПРИВОДІВ ДЛЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВОК З ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ..... | 12 |
| 1.1 Вібраційне формоутворення заготовок з порошкових матеріалів..... | 12 |
| 1.2 Обладнання для вібропресового формоутворення заготовок з порошкових матеріалів | 21 |
| 1.3 Способи реалізації вібрацій на вібропресовому обладнанні для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів | 27 |
| 1.4 Висновки, мета та задачі даного дослідження | 37 |
| 2 РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИВОДА ІНЕРЦІЙНОГО ВІБРОПРЕС-МОЛОТА..... | 39 |
| 2.1 Обґрунтування технічних та технологічних вимог до інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода | 39 |
| 2.2 Принципова та конструктивна схема інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів | 41 |
| 2.3 Конструктивні та технологічні особливості електрогідравлічних клапанів | 50 |
| 2.4 Висновки | 61 |
| 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНЕРЦІЙНОГО ВІБРОПРЕС- МОЛОТА З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИВОДА | 63 |
| 3.1 Розробка математичних і динамічних моделей інерційного вібропрес- молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода | 69 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2 Результати аналізу математичних моделей інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода..... | 89 |
| 3.3 Висновки | 92 |
| 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНЕРЦІЙНОГО ВІБРОПРЕС-МОЛОТА З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИВОДА..... | 94 |
| 4.1 Розробка методики експериментального дослідження..... | 97 |
| 4.2. Вимірювально-реєструвальна апаратура для експериментальних досліджень інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів | 100 |
| 4.3. Експериментальні дослідження закономірностей робочих режимів інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керуванням гідроімпульсного привода..... | 106 |
| 4.4 Перспективні напрямки розвитку дослідження електрогідравлічної системи керування гідроімпульсного привода | 113 |
| 4.5 Порівняльний розрахунок собівартості виготовлення електрогідравлічної системи керування та генератора імпульсів тиску | 117 |
| 4.6 Висновки | 119 |
| ВИСНОВКИ..... | 121 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 124 |
| Додаток А Акт використання результатів дисертаційної роботи..... | 138 |
| Додаток Б Програма досліджень на ПК інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів, побудована на основі пакету MATLAB Simulink..... | 139 |

ВСТУП

Актуальність теми. Формоутворення заготовок з порошкових матеріалів (оксидів, карбідів, нітридів, силіцидів та інших) – складний технологічний процес, під час якого складні та великогабаритні заготовки виробів повинні мати відповідну міцність, щільність і рівнощільність по об'єму в умовах безвідходного виробництва, усунувши подальшу механічну обробку для того, щоб дану заготовку можна було б транспортувати до камери спікання без втрати її форми. Найбільш ефективно формоутворення заготовок з порошкових матеріалів здійснюється на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом. Такий тип приводу у порівнянні з механічним, пневматичним та чисто гідравлічним дозволяє використати устаткування меншої потужності за однакових показників якості заготовки і може монтуватись на різних гідравлічних пресах.

Для збудження вібрацій у вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом використовуються «клапани-пульсатори» також відомі як генератори імпульсів тиску (ГІТ). Одним із недоліків ГІТ є їхня складна конструкція та одиничне виробництво, складність переналагодження, яке здійснюється шляхом регулювання сили натягу пружних елементів, що у разі виходу з ладу спричиняє зупинку вібропресового обладнання та технологічного процесу, а відсутність комп'ютерного забезпечення ускладнює впровадження такого обладнання в сучасне виробництво.

Зважаючи на вищесказане виникає необхідність створення інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода з використанням стандартної електрогідравлічної апаратури зі спеціально розробленим програмним забезпеченням, що дозволить здійснювати дистанційно постійний контроль за технологічним процесом формоутворення, регулювати робочі параметри навантаження та провести його автоматизацію.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до науково-дослідної тематики

кафедри «Металорізальні верстати та обладнання автоматизованих виробництв» (МРВОАВ) № 19К2 «Теорія розрахунку і розробки вібраційних процесів та обладнання» Вінницького національного технічного університету (ВНТУ) і згідно з держбюджетною темою № 19-Д-304 «Теоретичні основи процесів фазового розділення вологих дисперсних матеріалів в полі віброударних інерційних навантажень» (№ державної реєстрації 0111U901108).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є створення інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода для забезпечення програмного керування процесом формоутворення заготовок з порошкових матеріалів.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- обґрунтувати технічні та технологічні вимоги до побудови інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода;

- розробити нову принципову електрогідравлічну систему керування гідроімпульсного привода інерційного вібропрес-молота для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів;

- розробити динамічну та математичну моделі інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода та виконати імітаційне моделювання режимів його роботи;

- експериментально дослідити режими роботи інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода за різних способів керування;

- дослідити можливість використання стандартного електрогідравлічного розподільвача як віброзбудувача гідроімпульсного привода;

- на основі аналізу результатів експериментальних досліджень перевірити коректність розроблених динамічних та математичних моделей;

- розробити керівні рекомендації та матеріали для проектувальників інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода;

– розрахувати собівартість виготовлення електрогідравлічної системи керування гідроімпульсного привода інерційного вібропрес-молота та порівняти її з собівартістю виготовлення ГПТ.

Об'єкт дослідження – процеси в інерційному вібропрес-молоті під час формоутворення заготовок з порошкових матеріалів.

Предмет дослідження – інерційний вібропрес-молот з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів.

Методи дослідження – теоретичні дослідження динамічних процесів у гідроімпульсному приводі вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням, виконані методами математичного моделювання з можливістю подальшого дослідження комп'ютерним моделюванням на основі пакета MATLAB Simulink. Експериментальні дослідження здійснені методами віброметрії з реєстрацією результатів вимірювання на твердому магнітному диску персонального комп'ютера та оцінюванням їхньої похибки методами математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів:

– вперше розроблена тримасова математична модель інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода (ГПТ) інерційного вібропрес-молота для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів, яка враховує робочі параметри гідроімпульсного привода та електрогідравлічного розподільвача як віброзбуджувача і дозволяє отримати імітаційні графіки наближенні до реальних графіків переміщення вібростола та зміни тиску у напірній гідролінії;

– вперше отримано залежність між способом керування електрогідравлічним розподільвачем, як віброзбуджувачем гідроімпульсного привода інерційного вібропрес-молота, за допомогою електрогідравлічної системи керування «за частотою» і «за тиском» та можливістю отримання «імпульсного» типу навантаження;

– запропоновано підхід до вибору скважності вхідного сигналу на віброзбуджувач гідроімпульсного привода інерційного вібропрес-молота, який дозволяє реалізувати спосіб керування «за частотою» з урахуванням бажаних енергетичних параметрів навантаження;

– отримані аналітичні залежності для визначення параметрів електрогідравлічного розподілювача як віброзбуджувача гідроімпульсного привода інерційного вібропрес-молота.

Практичне значення одержаних результатів. Обґрунтовано технічні та технологічні вимоги до інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода.

Розроблено стенд для експериментального дослідження роботи інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів, розроблено методику проведення цих досліджень, вибрано найбільш раціональні схеми давачів і реєструвальної апаратури для реалізації експериментальних досліджень.

Розроблена електрогідравлічна система керування з відповідним програмним забезпеченням, що враховує зв'язок між робочими параметрами ГПП (тиск живлення і витрата рідини) та виконавчою ланкою (амплітуда та частота коливань вібростолу) і дозволяє здійснювати процес керування «за тиском» і «за частотою».

Використання стандартних електрогідравлічних розподілювачів забезпечило простоту вибору гідравлічної апаратури з необхідними технологічними параметрами під заданий режим роботи.

В результаті виконання договору про співдружність на підприємстві ТОВ «АСК – МЕТ» (м. Вінниця) впроваджена технічна документація на розроблений інерційний вібропрес-молот з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода для використання в проектуванні технологічного обладнання на виготовлення будівельних матеріалів (Додаток А).

Особистий внесок здобувача. Основні результати досліджень одержані автором самостійно. В працях, що опубліковані у співавторстві, автору належать: аналіз основних тенденцій використання вібропресового обладнання для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів [45]; пошук та аналіз електрогідравлічного обладнання [42]; розробка електрогідравлічної схеми експериментального вібропрес-молота [51]; розробка системи керування гідроімпульсного привода інерційного вібропрес-молота [56]; розробка комбінованого електрогідравлічного привода [66]; розробка блоку керування та його програмного забезпечення [46]; теоретичне дослідження роботи вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода та аналіз діаграм зміни тиску у гідросистемі та переміщення золотника електрогідравлічного розподільвача і поршня виконавчого гідроциліндра [45]; розробка динамічної та математичних моделей [49, 52]; розробка методики експериментальних досліджень вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода [43]; проведення експериментальних досліджень та аналіз їхніх результатів [55, 67].

Апробація результатів дисертації. Основні результати доповідались, обговорювались та були схвалені на: II Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві» (м. Суми, 2012 р.); XLI Науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ (м. Вінниця, 2012 р.); XLII Науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ (м. Вінниця, 2013 р.); Международной научно-технической конференции «Наукоемкие комбинированные и виброволновые технологии обработки материалов» (м. Ростов-на-Дону, 2013 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Теоретичні і експериментальні дослідження в технологіях сучасного матеріалознавства та машинобудування» (м. Луцьк, 2013 р.); XLIII Науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ (м. Вінниця, 2014 р.); Международном научном симпозиуме технологгов-машиностроителей и

механиков «Волновые, виброволновые технологии в машиностроении, металлообработке и других отраслях», (м. Ростов-на-Дону, 2014 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (м. Чернігів, 2014 р.); II Міжнародній науково-технічній конференції «Високі технології в машинобудуванні» (м. Полтава, 2014 р.); III Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві» (м. Суми, 2014 р.); наукових семінарах кафедри МРВОАВ ВНТУ в 2011–2014 р.р.

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковані у 12 наукових працях, з них: 5 статей у фахових наукових виданнях; 2 статті у зарубіжних виданнях; 3 тези доповідей на міжнародних конференціях; 2 патенти на корисні моделі України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації 141 сторінка. Основний зміст викладено на 123 сторінках машинописного тексту, ілюструється 47 рисунками та 6 таблицями. Додатки містять 5 сторінок. Список використаних джерел має 131 найменування.

В першому розділі: виконано аналіз вібропресового обладнання для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів, визначено їх основні конструктивні і технологічні особливості; проаналізовано способи формоутворення заготовок з порошкових матеріалів, їхні переваги застосування та недоліки; розглянуто технічні і конструктивні особливості застосування різних типів приводів у вібропресовому обладнанні; встановлено, що найбільш ефективним способом формоутворення є вібраційне пресування, обладнання якого потребує автоматизації та комп'ютеризації, шляхом заміни відомих віброзбудувачів стандартними електрогідравлічними розподільвачами; сформульовано мету та задачі дослідження.

Другий розділ містить: обґрунтування технічних та технологічних вимог

до інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода, наведено його принципову та конструктивну схему; опис блока-керування, що використовується у електрогідравлічній системі керування гідроімпульсного привода; способи керування електрогідравлічним розподільвачем як вібробудувачем гідроімпульсного привода за допомогою електрогідравлічної системи керування на інерційному вібропрес-молоті.

В третьому розділі: проведено аналіз характеру зміни основних робочих параметрів елементів привода та розділено їх на умовні фази, які були зведені до прямого і зворотного ходу; розроблено і теоретично досліджено динамічну та математичну моделі гідроімпульсного привода інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування; виконано дослідження розроблених математичних моделей на ПК і шляхом варіювання початкових даних, отримано у вигляді графіків теоретичних залежностей зміни в часі переміщення виконавчої ланки та тиску у напірній гідролінії;

В четвертому розділі: викладено мету та методику експериментальних досліджень роботи інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода за різних способів керування; описано експериментальний стенд та вимірювально-реєструвальну апаратуру і прилади; установлені реальні закономірності зміни режимів роботи гідроімпульсного привода інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування при різних способах керування, шляхом регулювання параметрів вихідного сигналу з блока керування; наведено перспективні напрямки розвитку дослідження електрогідравлічної системи керування гідроімпульсного привода.

Висновки містять стислу інформацію про результати досліджень інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода.

Додатки містять акт впровадження результатів дисертаційної роботи та блок-схеми розв'язання системи рівнянь за допомогою прикладної програми MATLAB Simulink, що описують зміну тиску у гідролінії і переміщення

поршня виконавчого гідроциліндра інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода.

Автор висловлює щирю вдячність науковому керівнику д.т.н., проф. *Ісковичу-Лотоцькому Ростиславу Дмитровичу* і співробітникам кафедри МРВОАВ за допомогу та цінні поради під час проведення теоретичних і експериментальних досліджень, обговорень результатів в процесі підготовки дисертації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А. с. 156833 СССР, Класс 49g, KW. Гидравлический инерционный вибропресс двухстороннего действия / В. М. Ям (СССР). – № 7552272/25-8 ; заявлено 11.12.61; опубл. 11.08.63, Бюл. № 16. – 2 с.
2. А. с. 204294 СССР, МПКВ21 d: ВЗОв. Гидравлический пресс двойного действия / Б. П. Васильев, Р. Г. Давыдова, В. Н. Платонов, И. Е. Масленников (СССР). – № 1035129/25-27 ; заявлено 29.10.65, Опубл. 27.09.67, Бюл. № 22. – 4 с.
3. А. с. 429877 СССР, М.Кл. В21j 9/06. Гидравлический инерционный вибропресс / И. Б.Матвеев, Р. Д. Искович-Лотоцкий, В. А. Пишенин (СССР). – № 1793622/25-27 ; заявлено 31.05.72; опубл. 30.05.74, Бюл. № 20 . – 2 с.
4. Абрамов Е. И. Элементы гидропривода : Справочник / Е. И. Абрамов, К. А. Колесниченко, В. Т. Маслов. – К. : Техніка, 1977. – 320 с.
5. Алиев Т. М. Измерительная техника : учеб. пособие для техн. вузов / Т. М. Алиев, А. А. Хачатуров. – М. : Высш. шк., 1991. – 384 с.
6. Андронов А. М. Теория вероятностей и математическая статистика : учебник для вузов / А. М. Андронов, Е. А. Копытов, Л. Я. Гринглаз. – СПб. : Питер, 2004. – 461 с.
7. Бабаков И. М. Теория колебаний / И. М. Бабаков. – М. : Наука, 1968. – 559 с.
8. Бабичев А. П. Вибрационные станки для обработки деталей / А. П. Бабичев, В. Б. Трунин, Ю. Самодумский. – М. : Машиностроение, 1984. – 168 с.
9. Бальшин М. Ю. Основы порошковой металлургии / М. Ю. Бальшин, С. С. Кипарисов. – М. : Металлургия, 1978. – 184 с.
10. Баранов В. Н. Электрогидравлические и гидравлические вибрационные механизмы / В. Н. Баранов, Ю. Е. Захаров ; Издание 2-е, перераб. И доп. – «Машиностроение», 1977. – 326 с.

11. Бауман В. А. Вибрационные машины и процессы в строительстве / В. А. Бауман, Н. Н. Быховский. – М. : Высшая школа, 1977. – 255 с.
12. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика / Т. М. Башта – М. : Машиностроение, 1971. – 672 с.
13. Беленков Ю. А. Надежность объемных гидроприводов и их элементов / Ю. А. Беленков, В. Г. Нейман, М. П. Селиванов. – М.: Машиностроение, 1977. – 167 с.
14. Богоявленский К. Н. Принципы классификации процессов формирования порошковых материалов / К. Н. Богоявленский, В. А. Кузнецов, К. К. Мартенс и др. // Порошковая металлургия. – 1985. – № 6. – С. 89–94.
15. Бочаров Ю. А. Гидропривод кузнечно-прессовых машин / Ю. А. Бочаров, В. Н. Прокофьев. – М. : «Высшая школа», 1969. – 248 с.
16. Бочаров Ю. А. Основы общей теории гидравлических кузнечно-штамповочных машин / Ю. А. Бочаров // Машины и технология обработки металлов давлением. – М. : 1980. – С.12-40. – (Тр. МВТУ № 335)
17. Быховский И. И. Основы теории вибрационной техники / И. И. Быховский – М. : Машиностроение, 1969. – 364 с.
18. Вибрации в технике : справочник в 6-ти т. / Т. 2. Колебания нелинейных механических систем – М. : Машиностроение, 1979. – 351 с.
19. Вибрации в технике : справочник в 6-ти т. / Т. 4. Вибрационные процессы и машины – М. : Машиностроение, 1981. – 509 с.
20. Волошин-Челпан Э. К. Исследование процесса вибрационного прессования порошковых материалов : дис... канд. техн. Наук : 0.171. / Волошин-Челпан Э. К. – М., 1966. – 214 с.
21. Гавриленко В. А. Гидравлический привод / В. А. Гавриленко – М. : Машиностроение, 1968. – 234 с.
22. Гарманов А. В. Подключение измерительных приборов. Решение вопросов электросовместимости и помехозащиты на примере продукции Л-КАРД. / М., L-Card, 2003 г. [Электронный ресурс] / А. В. Гарманов – Режим доступа: <http://www.lcard.ru/publ-11.php3>. – Назва з екрана.

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

24. Гейер В. Г. Гидравлика и гидропривод : учебник для вузов / В. Г. Гейер, В. С. Дулин, А. Г. Боруменский, А. Н. Заря. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1981, – 295с.

25. Георгиевский Д. В. Устойчивость процессов деформирования вязкопластических тел. / Д. В. Георгиевский – М. : «УРСС», 1998. – 176 с.

26. Глушак Б. Л. Исследование прочности материалов при динамических нагрузках / Б. Л. Глушак, В. Ф. Куропатенко, С. А. Новиков. – Новосибирск : Наука, 1992. – 294 с.

27. Глушко В. В. Системный подход к проектированию станков и роботов / В. В. Глушко – К.: Техшка, 1981. – 136 с.

28. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – [9-е изд., стер.] – М. : Высш. шк., 2003. – 479 с.

29. Голубев Т. М. Изготовление изделий вибрационным уплотнением / Т. М. Голубев, В. В. Иващенко. – Порошковая металлургия. – 1967. – №3. – С. 17–20.

30. Голубева О. В. Курс механики сплошных сред : учеб. пособие для педвузов / О. В. Голубева – М. : «Высшая школа», 1972. – 368 с.

31. Гордон А. В. Электромагниты постоянного тока / А. В. Гордон, А. Г. Сливинская. – М. : Госэнергоиздат, 1960. – 447 с.

32. Горячева И. Г. Механика фрикционного взаимодействия / И. Г. Горячева – М. : Наука, 2001. – 478 с.

33. Гулый Г. А. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта / Г. А. Гулый, П. П. Малюшевский, Е. В. Кривицкий и др. ; под ред. Г.А. Гулого. – М. : Машиностроение, 1977. – 320 с.

34. Датчики давления, разрежения и разности давлений ADZ-SML(SMX). Руководство по эксплуатации ADZ-SML(SMX) РЭ, Москва. – 2006 г.
35. Денисенко В. Защита от помех датчиков и соединительных проводов систем промышленной автоматизации / В. Денисенко, А. Халявко // Журнал СТА. – 2001. – № 1. – С. 68-75.
36. Дрючин О. О. Електротехнічні пристрої. Частина 1. Електричні машини та апарати : навчальний посібник / О. О. Дрючин, А. В. Рудик, О. М. Возняк. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 150 с.
37. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя. / В. П. Дьяконов. – М. : СПб., Салон-Пресс, – 2002. – 640 с.
38. 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.
39. Зимин Е. Н. Электрооборудование промышленных предприятий и установок : учеб. для техникумов / Е. Н. Зимин, В. И. Преображенский, И. И. Чувашов. – М. : Энергоиздат, 1981. – 553 с.
40. Іскович-Лотоцький Р. Д. Використання елементів паралельної кінематики в установках для віброабразивної 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.
41. 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. – ISBN 978-966-64-466-6.
42. Іскович-Лотоцький Р. Д. Використання УЭГ.С-200 в якості віброзбуджувача гідроімпульсного привода / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Міськов // Наукові нотатки, Міжвузівський збірник. – м. Луцьк – 2013.– № 41 (1). – С. 113–116.

43. Іскович-Лотоцький Р. Д. Вимірювальний комплекс вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, В. П. Міськов, А. В. Слабкий // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки» науковий збірник Черніг. Нац. технол. ун-т. – Чернігів. – 2014. – № 1(71). – С. 9–14.

44. Іскович-Лотоцький Р. Д. Вимірювальний комплекс вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Міськов, А. В. Слабкий // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів, 2014. – С. 80.

45. Іскович-Лотоцький Р. Д. Вібраційне пресування порошків вібропрес-молотом з електрогідравлічним керуванням / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Міськов // Збірник наукових праць, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. – Вип. 2(41). – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – 393 с. – С. 66–72.

46. Іскович-Лотоцький Р. Д. Вібропрес-молот з електрогідравлічним керуванням / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Міськов, Є. І. Івашко // Матеріали 3-ї Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві». – Суми, 2014. – С. 60–61.

47. 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. – ISBN 978-966-641-252-5.

48. 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.

49. Іскович-Лотоцький Р. Д. Динамічна та математична моделі вібропрес молота з електрогідравлічним керуванням / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Міськов, А. В. Слабкий // Автоматизація виробничих процесів у

машинобудуванні та приладобудуванні. Український Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів : Львівська політехніка, 2014. – № 48. – С. 3–10.

50. 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.

51. Іскович-Лотоцький Р. Д. Експериментальний вібропрес-молот з електрогідравлічним керуванням для формоутворення заготовок порошкових матеріалів / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Міськов // Вібрації в техніці та технологіях. – 2015. – № 2(78). – С. 80–86. ISSN 2306-8744

52. Іскович-Лотоцький Р. Д. Математичне моделювання динамічних процесів вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням для формоутворення порошкових матеріалів / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Міськов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 2. – С. 17–20. – ISSN 2307-5732

53. 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.

54. Іскович-Лотоцький Р. Д. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій : монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, І. В. Севастьянов. – Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2006. – 291 с.

55. Іскович-Лотоцький Р. Д. Результати експериментального дослідження вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням для формоутворення заготовок порошкових матеріалів / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, В. П. Міськов, А. В. Слабкий // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Технічні науки. – Вінниця, 2015. – Випуск 1(89) Том 1. – 170 с. – С. 17–21.

56. Іскович-Лотоцький Р. Д. Системи керування віброзбудувачем гідроімпульсного приводу / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Міськов // Сучасні

технології в промисловому виробництві : матеріали міжвузівської науково-технічної конференції. – Суми, 2012, частина 3. – С. 58–59.

57. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик – М. : Машиностроение, 1975. – 559 с.

58. Индуктивные датчики TURK. Базовая программа [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://pdb.turck.de/ru/DE/group/000000010002461b00030023> . – Назва з екрана.

59. Иващенко В. В. Исследование вибрационного уплотнения сферических порошков / В. В. Иващенко, И. П. Тартаковский, Т. М. Голубев // Порошковая металлургия. – 1965. – № 8. – С. 35–39.

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

61. 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.

62. Искович-Лотоцкий Р. Д. Машины вибрационного и виброударного действия / Р. Д. Искович-Лотоцкий, И. Б. Матвеев, В. А. Крат. – К. : Техніка, 1982. – 208 с.

63. Искович-Лотоцкий Р. Д. Моделирование процессов вибропрессования порошковых заготовок // Обработка давлением. ЭИ. – М. : НИИМаш, 1982. – № 6. – С. 14–19.

64. Искович-Лотоцкий Ростислав Дмитриевич Основы теории расчета и разработка процессов и оборудования для виброударного прессования заготовок изделий из порошковых материалов: дис. ... доктора. техн. Наук : 05.03.05. / Искович-Лотоцкий Ростислав Дмитриевич. – М., 1987. – 424 с.

65. Искович-Лотоцкий Р. Д. Особенности расчета электромеханических параметров привода импульсных вибропрессов-молотов / Р. Д. Искович-Лотоцкий, Р. Р. Обертюх, А. И. Мохнатюк // Вестник машиностроения. – 1991. – № 8. – С. 24–27.

66. Искович-Лотоцкий Р. Д. Разработка комбинированного электрогидравлического привода вибрационных технологических машин / Р. Д. Искович-Лотоцкий, В. П. Миськов // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Наукоемкие комбинированные и виброволновые технологий обработки материалов». – Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2013. – С. 236–241. – ISBN 978-5-7890-0962-8.

67. Искович-Лотоцкий Р. Д. Исследование многокомпонентного нагружения на экспериментальном вибропрессе / Р. Д. Искович-Лотоцкий, В. П. Миськов // Сборник трудов Международного научного симпозиума технологов-машиностроителей и механиков «Волновые, виброволновые технологии в машиностроении, металлообработке и других отраслях». – Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2014. – С. 236–241. – ISBN 978-5-7890-0962-8.

68. Кацман М. М. Электрические машины : учебник / М. М. Кацман – М. : Высш. шк., 1983. – 432 с.

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

70. Коваленко И. Н. Теория вероятностей и математическая статистика : учебн. пособие / И. Н. Коваленко, А. А. Филиппова . – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Высш. школа, 1982. – 256 с.

71. Кононов И. В. Прессы с пульсирующей нагрузкой / И. В. Кононов, И. Е. Масленников, В. Н. Платонов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1974, – № 2. – С. 35–36.

72. Кононов И. В. Новые гидравлические кузнечно-прессовые машины и гидроприводы // Кузнечно-штамповочное производство. – 1970. – № 7. – С. 26–28.

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

74. Кунин Н. Ф. Закономерности прессования порошков разных материалов / Н. Ф. Кунин, Б. Д. Юрченко // Порошковая металлургия. – 1964. – № 2. – С. 39–41.

75. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB / Ю. Лазарев. – СПб. : Питер; Киев : Издательская группа BHV, 2005. – 512 с.

76. Левшина Е. С. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи) : учебн. пособие для вузов / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Ленинград. : Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1983. – 320 с.

77. Лещенко В. Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением / В. Лещенко. – М.: Машиностроение, 1976. – 288 с.

78. Любчик М. А. Силовые электромагниты аппаратов и устройств автоматики постоянного тока. (Расчет и элементы проектирования) / М. А. Любчик. – М.: Энергия, 1968. – 152 с.

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

80. Матвеев И. Б. Выбор принципиальной схемы вибрационного пресса // Кузнечно-штамповочное производство. – 1973. – № 8. – С. 35–39.

81. Матвеев И. Б. Гидроинерционный вибропресс-молот двухстороннего действия / И. Б. Матвеев, Р. Д. Искович-Лотоцкий // Гидропривод и гидропневмоавтоматика : респ. межвед. сб. МВ и ССО УССР. – Вып. 10. – К. : Техника, 1974. – С. 61–64.

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

83. Милозоров В. П. Электромагнитные устройства автоматики. Учебник для студентов специальности «Автоматика и телемеханика» вузов / В. П. Милозоров. – М. : Высш. школа, 1974. – 416 с.

84. Модернизация ИВПМ и механизация технологического процесса виброформования изделий из тугоплавких порошковых материалов: Отчет о НИР / Винницкий политехнический институт : Руководитель Матвеев И. Б.. – МР76050302; Инв. № 858124. – Винница, 1978. – 68 с. – Отв. исполн. Р. Р. Обертюх.

85. Модули E14-140, E14-140-M. Руководство пользователя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.lcard.ru/products/external/e-140m>. – Назва з екрана.

86. Модули E14-140, E14-140-M. Типичные примеры подключения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.lcard.ru/download/e14-140_conn_examples.pdf. – Назва з екрана.

87. Муха И. М. Упрочнение твердых сплавов ультразвуковыми колебаниями / И. М. Муха, В. Н. Винниченко // Порошковая металлургия. – 1982. – № 10. – С. 88–91.

88. Обертюх Р. Р. Генератори імпульсів тиску для гідроімпульсного привода / Р. Р. Обертюх, Р. Д. Іскович-Лотоцький // Вісник ВПІ.– 1995. – Вип. 1(6). – С. 42–47.

89. Обертюх Р. Р. 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.

90. Обертюх Р. Р. Основні тенденції створення та розвитку способів і пристроїв для подрібнення стружки / Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий, В. П. Місь-ков // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. – Житомир, 2011. – № 10. – С. 251–267.

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

92. Ольховский И. А. Исследования по виброуплотнению многошамотных и легковесных огнеупорных масс / И. А. Ольховский, С. А. Торопов // Тр. Всесоюз. ин-та огнеупоров. – Л., 1969. – Вып. 41. – С. 291–309.

93. Опирский Б. Я. Новые вибрационные станки: Конструирование и расчет / Б. Я. Опирский, П. Д. Денисов. – Львов : Свит, 1991. – 160 с.

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

95. Пат. № 81612 Україна, МПК (2013.01) F01L1/00. Гідравлічний клапан пульсатор з електромагнітним керуванням / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Міськов, М. В. Насонов; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № у 2012 14111 ; заявл. 11.12.2012 ; опуб. 10.07.2013, Бюл. № 13.

96. Пат. № 90249 Україна, МПК (2014.01) F01L1/00. Клапан-пульсатор / Іскович-Лотоцький Р. Д., Міськов В. П. ; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № у 2013 03887 ; заявл. 29.03.2013 ; опуб. 26.05.2014, Бюл. № 10.

97. Потураев В. Н. Расчет и исследование гидравлического вибратора для вибропрессования материалов / В. Н. Потураев, А. Ф. Миронюк // Горная механика и машиностроение : сб. науч. тр. – М. : Недра, 1967. – С. 33–36.

98. Практика оптимизации соотношения сигнал/помеха при подключении АЦП в реальных условиях / Гарманов А. В. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.lcard.ru/download/articles/optimisation_snr_adc.pdf. – Назва з екрана.

99. Разработка и исследование вибрационного импульсного пресса для формообразования заготовок порошковой металлургии : Отчет НИР/ Винницкий политехнический институт. Руководитель Матвеев И. Б. – № ГР76026910 ; Инв №Б491804. – Винница, 1976. – 122 с.

100. Раковский В. С. Порошковая металлургия жаропрочных сплавов и тугоплавких материалов / В. С. Раковский, А. Д. Силаев, В. И. Ходкин и др. – М. : Металлургия, 1984. – 184 с.

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

102. Рудь В. Д. Структурные характеристики заготовок при заполнении пресс-форм частицами нерегулярной формы / В. Д. Рудь, Н. М. Самчук, Н. М. Гулиева, В. В. Шыберко // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции World Science «Наука и образование – наше будущее» (24–26 ноября 2014), Dubai. – 2014. – С. 123–127.

103. Рудь В. Д. Імітаційне моделювання технології виготовлення заготовок із порошків / В. Д. Рудь, В. В. Шиберко, В. В. Сергеев // Збірник наукових праць «Галузеве машинобудування, будівництво». – Полтава, 2014. – № 2. – С. 44–47.

104. Руководство пользователя программы LGraph 2. : Москва. – 2012 г, – 98 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.lcard.ru/lgraph2_help.pdf. – Назва з екрана.

105. Свешников В. К. Гидрооборудование: Международный справочник. Книга 2. Гидроаппаратура: Номенклатура, параметры, размеры, взаимозаменяемость. – М. : ООО «Издательский центр «Техинформ»МАИ», 2002. – 508 с.

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

107. Серенсен С. В. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. Руководство и справочное пособие / С. В. Серенсен, В. П. Когаев, Р. М. Шнейдерович ; [Изд. 3-е, перераб. и доп.]. – М. : «Машиностроение», 1975. – 488 с.

108. Синфазный помехоподавляющий фильтр LTR-СМФ. Руководство пользователя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.lcard.ru/products/accesories. – Назва з екрана.

109. Справочник по гидроприводам горных машин / В. Ф. Ковалевский, Н.Т. Железняков, Ю.Е. Бейлин и др. – М. : Недра, 1973. – 501 с.

110. Справочник по электрическим машинам : в 2 Т. / [под общ. ред. И. П. Крылова и Б. К. Клокова]. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – Т. 1. – 456 с.

111. Упругопластическое деформирование и разрушение материалов при нестационарных силовых и тепловых воздействиях. – К. : Вища школа, 1985. – 139 с.
112. Форсайт Дж. Машинные методы математических вычислений / Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. : пер. с англ. – М. : Мир, – 1980. – 272 с.
113. Чупраков Ю. И. Гидропривод и средства гидроавтоматики / Ю. И. Чупраков. – М. : Машиностроение, 1979. – 232 с.
114. Шаталова И. Г. Физико-механические основы вибрационного уплотнения порошковых материалов / И. Г. Шаталова, Н. С. Горбунов, В. И. Лихтман. – М. : Наука, 1965. – 164 с.
115. Шкаликов В. С. Измерение параметров вибрации и удара / В. С. Шкаликов, В. С. Пеллинец, Е. Г. Исакович, Н. Я. Цыган. – М. : Издстандартов, 1980. – 280 с.
116. Ям В. М. Исследования схем виброустановок для формования фасонных и крупногабаритных огнеупоров / В. М. Ям, В. В. Мирошниченко, Т. Е. Житомирская. – Л., 1974. – Вып. 46. – С. 170–180.
117. Ям В. М. О виброударном методе уплотнения некоторых сыпучих материалов / В. М. Ям, О. А. Савинов, Ф. Г. Брауде – Л., 1967. – Вып. 38. – С. 112–135.
118. Ям В. М. Плотность изделий из полусухих карбид-кремниевых масс при виброударном уплотнении / В. М. Ям, В. Ф. Степанов, Н. К. Евсеенко // Огнеупоры. – 1969. – № 11. – С. 17–19.
119. Яссе Э. Электромагниты // ОНТИ. – Москва : Энергоиздат, 1934. – 192 с.
120. Ayer G. E., Soppet F. E. Vibratory Compaction: Part I. Compaction Spherical Shapes, Argonne National Laboratory, 111. *III*. Am. Ceram. Soc. – 1965. – Vol. 48, № 4. – P. 180–185.
121. Ayer G. E; Soppet F.E. Vibratory Compaction: Part II. Compaction Angular Shapes. Argonne National Laboratory, 111. *III*. Am. Ceram. Soc. – 1966. – Vol. 49, № 4. – P. 207–210.

122. Catalogue HY11-3292/UK November 2003
123. Carman P. C. // Trans. Inst. Chem. Engin. – 1937. – Vol. 15. – P. 150.
124. Claxton R. A. Saunders G. G. Vibratory stress relief / The Metallurgist and Materials Technologist. – 1976. – V. 8. – 12., p. 651–656.
125. Evans P. E. and Millman R. S. Vibratory Packing Powder. / Powder Metallurgy. – 1964. – Vol. 7, – № 13. – P. 50–60.
126. Golshan K. Physical design essentials: an ASIC design implementation perspective. New York: Springer, 2007. – [ISBN 0-387-36642-3](#).
127. Iskovich-Lototkiy R. D. Dynamics of vibration mashines by hydroimpulsive drive / R. D. Iskovich-Lototkiy – Poznan : Vibration in physical systems, 1996. – P. 1170–1173.
128. Iskovich-Lototkiy R. D. New hydraulic and pneumatic vibration exiters of technology mashines / R. D. Iskovich-Lototkiy – Poznan : Vibration in physical systems, 1998. – P. 810–812.
129. Iskovich-Lototkiy R. Dynamics of transient processes in hydroimpulsive drives / R. Iskovich-Lototkiy, R. Obertuh, Y. Bulyha, M. Arkhipchuck // Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Tomul XLVI (L) Fasc. 3-4. 2000. Stiinta si Ingineria Materialelor.– P. 15–20.
130. Iskovich-Lototkiy R. Structure and organization of the automated systems of designing works «hydraulic impulse drive»/ R. Iskovich-Lototkiy, R. Obertuh, Y. Bulyha, M. Arkhipchuck // Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Tomul XLVIII (LII) Fasc. 3–4. 2002. Stiinta si Ingineria MAterialelor/ – P. 187–191.
131. Kroll W. Uber das Verhalten von Schuttgut in lotrechtsch wingenden Gefassen. / Forschung auf dem Gebiet der Inge nieurwissen. – 1954. – №1.