

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

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

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри металорізальних верстатів та
обладнання автоматизованих виробництв.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Рудь Віктор Дмитрович,
Луцький національний технічний університет,
завідувач кафедри комп'ютерного проектування
верстатів та технологій машинобудування;

кандидат технічних наук, доцент
Сивак Роман Іванович,
Вінницький національний аграрний університет,
доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та
охорони праці.

Захист відбудеться « 23 » листопада 2015 р. о 12:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.03 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210 ГНК.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК)

Автореферат розісланий « 21 » жовтня 2015 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради К 05.052.03

О. В. Дерібо

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 віброзбуджувача 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 розподільвача 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 ГПІ (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 розподільвачів 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 (Акт впровадження від 18.02.2015 р.).

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 [4]; пошук та аналіз електрогідравлічного обладнання [1]; розробка електрогідравлічної схеми експериментального вібропрес-молота [3]; розробка системи керування гідроімпульсного привода інерційного вібропрес-молота [10]; розробка комбінованого електрогідравлічного привода [11]; розробка блоку керування та його програмного забезпечення [7]; 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 [6]; розробка динамічної та математичних моделей [2, 8]; розробка методики експериментальних досліджень вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода [9]; проведення експериментальних досліджень та аналіз їхніх результатів [5, 7, 9].

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.); Міжнародном науковому симпозиумі технологів-машиностроїтелів і механіків «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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета і задачі, об'єкт і предмет дослідження. Наведено основні дані щодо наукової новизни та практичного значення отриманих результатів. Відзначено зв'язок роботи з науковими програмами та особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** зроблено аналітичний огляд стану проблеми, який базується на процесі формоутворення заготовок з порошкових матеріалів, шляхи його реалізації та аналізу обладнання, на якому воно проводиться.

Формоутворення заготовок з порошкових матеріалів є технологічною операцією, яка розділяється за такими методами: мундшутне; шлікерне; імпульсне; прокатка; пресування (просте, ступінчасте, ізостатичне, видавлювання, імпульсне, ударне, вібраційне і віброударне). Найбільш ефективним методом формоутворення заготовок з порошкових матеріалів є вібраційне пресування, яке, у порівнянні з іншими методами, при незначних питомих зусиллях (0,3... 0,6 МПа) дозволяє отримувати заготовки малопластичних (наприклад, карбіди, боріди металів та порошки вольфраму і титану) порошків щільністю 65...85 % і забезпечувати високі показники рівнощільності. Класифікація процесів вібраційного формоутворення за ознаками вібраційного та віброударного режимів, залежить від складової навантаження – пульсуюче чи імпульсне.

Питанням формоутворення заготовок з порошкових матеріалів присвячені роботи І. Г. Шаталової, Н. С. Горбунова, В. І. Ліхтмана, О. В. Чмиха, В. В. Іващенко, В. Д. Рудя, Т. М. Голубева, Н. Ф. Куніна, М. Ю. Бальшина, Р. Д. Ісковича-Лотоцького, Р. Р. Обертюха, Е. К. Волошина-Челпана. Значний доробок для створення і дослідження вібропресового обладнання з гідроімпульсним приводом належить І. Б. Матвееву, Р. Д. Ісковичу-Лотоцькому, Р. Р. Обертюху,

В. В. Іващенко, Б. Н. Пентюку, І. В. Севостянову та іншим. Дослідженням вібропресового обладнання також займалися А. П. Бабічев, В. Б. Трунін, Ю. А. Бочаров, В. А. Бауман, М. Ю. Бальшин, І. І. Биховський, В. Д. Рудь, Т. М. Голубєв, В. М. Ям. Значний внесок у дослідження електрогідравлічних віброзбудувачів внесли В. Н. Баранов, Ю. Е. Захаров, А. І. Белоусов, І. І. Биховський, Г. Г. Рекус, В. О. Бауман та ін.

Особлива ефективність вібраційного пресування відзначається при формоутворенні заготовок виробів складної конфігурації і великих габаритів, оскільки даний процес дозволяє руйнувати арки, що виникають при засипці порошкових матеріалів, розривати слабкі зв'язки між частинками, тим самим наближаючи ефективний коефіцієнт зовнішнього і міжчастинного тертя до нуля.

Обладнання, на якому здійснюється вібраційне формоутворення, в залежності від типу виконуваних робіт, має різну конфігурацію та конструктивне рішення, що забезпечує широку номенклатуру вібраційного обладнання і різниться, в основному, приводом, що створює вібрації.

Відоме вібраційне обладнання подано модельними рядами:

- з механічним приводом – ВП (вібраційні преси), які розвивають максимальне робоче зусилля 116 кН при частоті 50 Гц і амплітуді 4 мм;
- з електричним приводом – ВЭДС, Goodman 390A, Zing Model 227, Syntron Type V-60, що дозволяють отримати частоту коливань виконавчої ланки в діапазоні 5...3000 Гц і зусиллям в межах 1...10⁵ Н;
- з гідравлічним приводом – вібраційні преси типу ППН (прес пульсуючого навантаження), гідроінерційні преси типу ГПІ та ІВПМ (інерційний вібропрес-молот), частота спрацювання яких сягає 150 Гц, зусилля на виконавчій ланці до 350 кН та амплітуді коливань до 5 мм.

Вібраційне пресування заготовок з порошкових матеріалів в умовах виробництва здійснювалося, головним чином, на вібропресах двох типів – ВП і ІВПМ, відповідно, з механічним і гідравлічним приводами. Порівняння характеристик вібропресів даних типів показує переваги ІВПМ за можливістю регулювання параметрів навантаження і розв'язання ширших виробничих задач. Інші загальновідомі переваги гідравлічного приводу дозволяють вважати ІВПМ перспективнішим обладнанням, особливо за необхідності збільшення потужності і створюваних робочих зусиль, зниження металоємності, розв'язання задач підвищення ступеня механізації та автоматизації технологічного процесу, підвищення надійності елементів приводу преса.

Для збудження вібрацій у ІВПМ використовують гідроімпульсний привод (ГПІ). Основним елементом ГПІ є генератор імпульсів тиску (ГІТ), який у технічній літературі також відомий під назвами «клапан-пульсатор» та «віброзбудувач гідроімпульсного привода». Основними перевагами такого приводу є регульовані параметри вібрацій (частота, амплітуда) та зусилля від 5 кН, за незначних габаритів, малий робочий тиск у гідравлічній системі (до 10 МПа) та використання малопотужних електродвигунів (до 5 кВт), а також створення навантаження імпульсного типу, що підвищує ефективність вібраційного формоутворення. Переваги використання ГІТ у гідроімпульсному приводі підтверджувались експериментальними даними під час його встановлення на ІВПМ.

Розглядаючи ГІТ слід відзначити складність конструкції та регулювання, яке залежить від налагодження пружних елементів, що ускладнює їх перенала-

годження в процесі експлуатації. В зв'язку з цим необхідність створення інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода, яка забезпечить легку зміну параметрів, дозволить провести автоматизацію наявного вібраційного обладнання та використати стандартні електрогідравлічні агрегати.

Для вирішення даної задачі запропоновано використати стандартний електрогідравлічний розподільувач, який керується зі спеціально розробленого блока керування, що дозволить з необхідною точністю відтворювати задані технологічні параметри, спростити процес переналагодження та провести автоматизацію обладнання.

У **другому розділі** обґрунтовано технічні та технологічні вимоги до інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода, принципова гідрокінематична схема якого показана на рисунку 1.

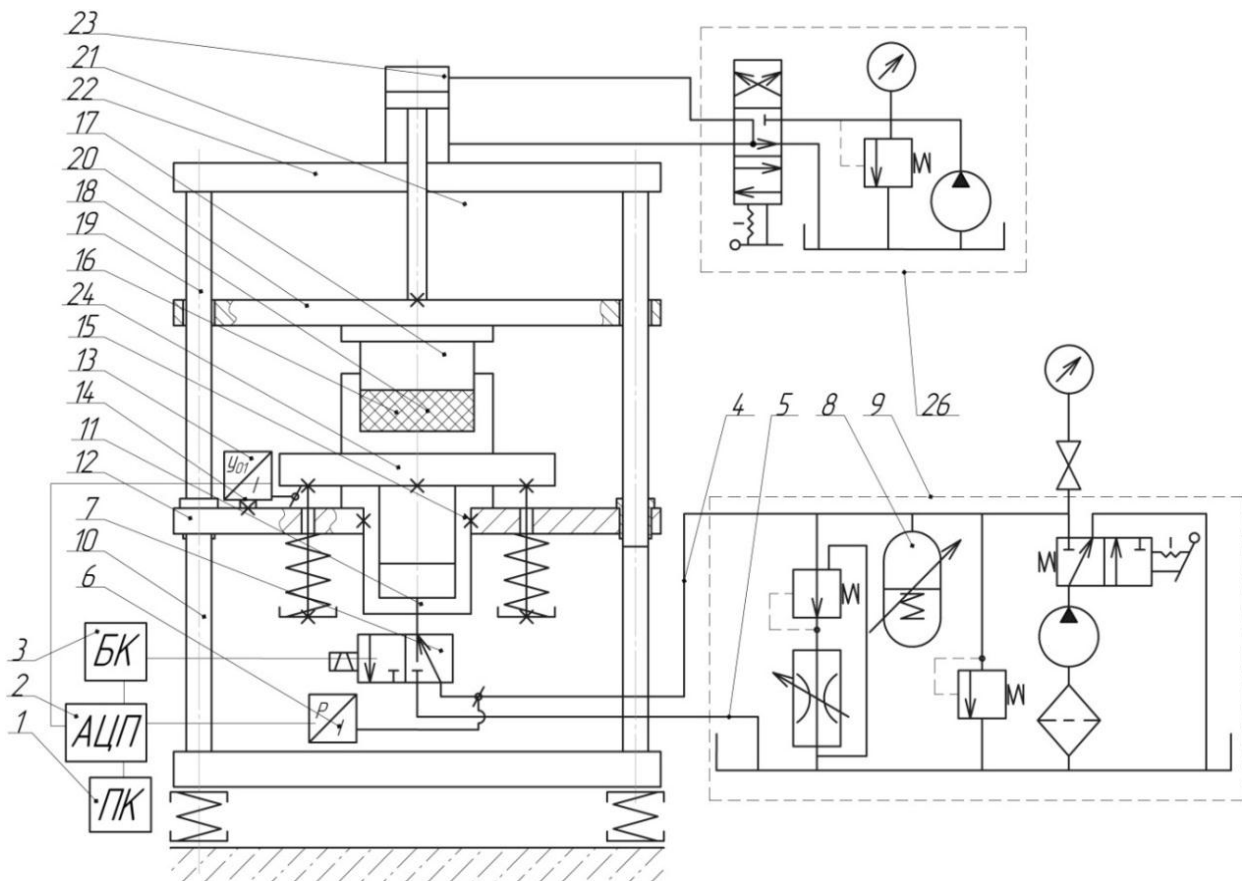


Рисунок 1 — Принципова гідрокінематична схема інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів

Розробка експериментального стенда проводилась на основі ІВПМ–16, що знаходиться в лабораторії кафедри МРВОАВ Вінницького національного технічного університету. Конструкція ІВПМ–16 дозволяє монтувати електрогідравлічний розподільувач (ЕГР), з використанням перехідної плити, за схемою «на вході» (рис. 2,а), коли віброзбуджувач монтується у напірну гідролінію, «на виході» (рис. 2,б), коли віброзбуджувач монтується між порожниною гідроциліндра, яка з'єднана з напірною гідролінією і зливом, та за «комбінованою» схе-

мою (рис. 2,в), коли вібробуджувачі монтуються у напірну і зливну гідролінії. Важливою перевагою способу підключення «на вході» є можливість зміни величини енергії, що передається у порожнину виконавчого гідроциліндра, за незмінної тривалості генеруючого імпульсу тиску, що дозволяє реалізувати різні режими навантаження та отримати навантаження «імпульсного» типу.

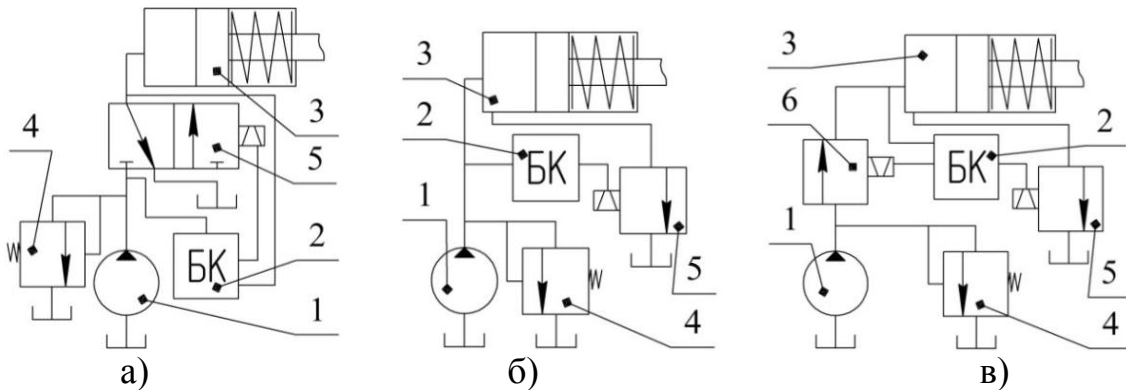


Рисунок 2 – Схеми підключення електрогідравлічних вібробуджувачів:
а) – «на вході», б) – «на виході», в) – «комбінована»

На рис. 2 прийняті такі позначення: 1 – гідронасос; 2 – блок керування; 3 – виконавчий гідроциліндр; 4 – запобіжний клапан; 5, 6 – електрогідравлічні розподілювачі (вібробуджувачі); БК – блок керування.

Запропонована електрогідравлічна система керування гідроімпульсного привода містить блок керування (БК), електрогідравлічний розподілювач, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), давачі тиску і переміщення. Дана система керування дозволяє здійснювати керування «за тиском» та «за частотою».

Під час керування "за тиском" значення тиску у напірній гідролінії 4 (див. рис. 1) реєструється давачем тиску 6 і передається через аналого-цифровий перетворювач 2 на БК 3. При досягненні заданого тиску p_1 у напірній гідролінії 4 з БК на електромагніт елетрогідравлічного розподілювач 7 подається сигнал, який через штовхач переміщує золотник у «відкрите» положення. За рахунок цього відбувається перетікання рідини з напірної гідролінії 4 у виконавчу порожнину гідроциліндра 11 і відповідне переміщення вібростола 24.

Імпульсний тип навантаження створюється за рахунок передачі імпульсу енергії рідини, що акумулювався у рідині шляхом її стискання при заданому тиску p_1 у напірній гідролінії 4. Після того як відбулось перетікання рідини у виконавчу порожнину гідроциліндра 11, тиск рідини у напірній порожнині 4 знизився до значення p_0 , з БК 3 на електромагніт елетрогідравлічного розподілювача 7 подається сигнал, який через штовхач переміщає золотник у «закрите» положення, і тиск у напірній гідролінії 4 знову починає зростати. У свою чергу рідина з робочої порожнини гідроциліндра 11 через гідролінію 5 витікає у бак гідросистеми 9, що супроводжується переміщенням вібростола 24 і поршня 15 гідроциліндра 11 у початкове положення за рахунок зворотних пружин та зусилля, що діє з боку заготовки 18.

Під час керування «за частотою» перетікання рідини з напірної гідролінії 4 в робочу порожнину виконавчого гідроциліндра 11 та витікання через гідролінію 5 в бак гідростанції 25 відбувається за заданим законом, який залежить від частоти та скважності сигналів, що подаються з БК 3 на електромагнітний пе-

ретворювач (ЕМП) електрогідравлічного розподільвача 7, що забезпечує переміщення золотника у «відкрите» чи «закрите» положення. Під час такого керування необхідно враховувати час, за який тиск в напірній гідролінії досягає значення p_1 , що дозволить забезпечити імпульсний тип навантаження на вібростолі 24. Для того, щоб збільшити максимально можливу частоту, під час керуванні «за частотою», на вихідному сигналі, з БК 3 на ЕМП електрогідравлічного розподільвача 7, змінюється скважність сигналу, що регулює час перебування золотника електрогідравлічного розподільвача 7 у «відкритому» чи «закритому» положенні, на відміну від симетричного при скважності 50%. Регулювання скважності вихідного сигналу з БК 3, також дозволяє регулювати амплітуду вібрацій вібростола 24.

Скважність – відношення тривалості сигналу, що подається на ЕМП електрогідравлічного розподільвача з блока керування на «закриття» t_3 до тривалості часу одного циклу $t_u = t_6 + t_3$, де t_6 – час на «відкриття», що визначається $\alpha = (t_3 / t_u) \cdot 100\%$. Регулювання скважності дозволяє без зміни вхідних параметрів у гідросистемі змінювати силові параметри (амплітуду і зусилля) на виконавчій ланці при тій же частоті спрацювання.

Для перевірки ефективності використання стандартного електрогідравлічного розподільвача за віброзбуджувач гідроімпульсного приводу, робочі параметри задавались згідно з робочими параметрами ГПТ: частота спрацювання в межах 50 Гц; витрата масла через розподільвач – 100...150 л/хв; номінальний тиск живлення – 5...10 МПа.

Широка номенклатура електрогідравлічних розподільвачів, які відповідають вищевказаним умовам, подана модельним рядом: УЭГ.С-200(500, 100) (Теплоавтомат), SE2N (Parker), SE60 (Parker), BD30 (Parker), 72D (Moog), SM4-40 (Vickers), 4WSE3E32-2X (Rexxon) та ін. Через наявність і можливості придбання за експериментальний віброзбуджувач було вибрано електрогідравлічний підсилювач УЭГ.С-200 вітчизняного виробництва, який використовувався як розподільвач потоку рідини.

Керування віброзбуджувачем здійснюється з блока керування, розробка і проектування якого проводились для різних режимів роботи, з можливістю зміни форми вихідного сигналу, що дозволяє відтворювати різні типи переміщень виконавчого органу ЕР в залежності від технологічних вимог. Блок керування під'єднаний до ПК для візуалізації та корекції зміни технологічних параметрів. Схема блока керування розроблена в середовищі ISIS, яке дозволяє проводити симуляцію форми вихідного сигналу з блока керування на електромагнітний перетворювач (ЕМП). Блок керування містить такі структурні блоки – обробки даних (мікропроцесор), виведення інформації (дисплей) та корегування вхідних даних. Програми керування за різних режимів попередньо розробляються за допомогою комп'ютерних програми і через USB-порт записуються в БК, що дозволяє змінювати як параметри вихідного сигналу, так і різні режими роботи ЕГР.

Така система керування дозволяє здійснювати керування одночасно декількома електромагнітами, в залежності від технологічного процесу. Блок керування, враховуючи широку номенклатуру та можливості сучасних контролерів, дозволяє забезпечувати вихідні сигнали з необхідною потужністю, частотою та формою.

У третьому розділі проводилось математичне моделювання інерційного вібропрес-молота з електрогідрравлічною системою керування гідроімпульсного привода на основі структурно-розрахункової схеми (рис. 3), яка під час керування «за тиском» відповідає багатомасовій динамічній моделі ІВПМ–16 з ГІТ і відрізняється лише віброзбуджувачем, дослідження якої виконані у роботі Р. Д. Ісковича-Лотоцького.

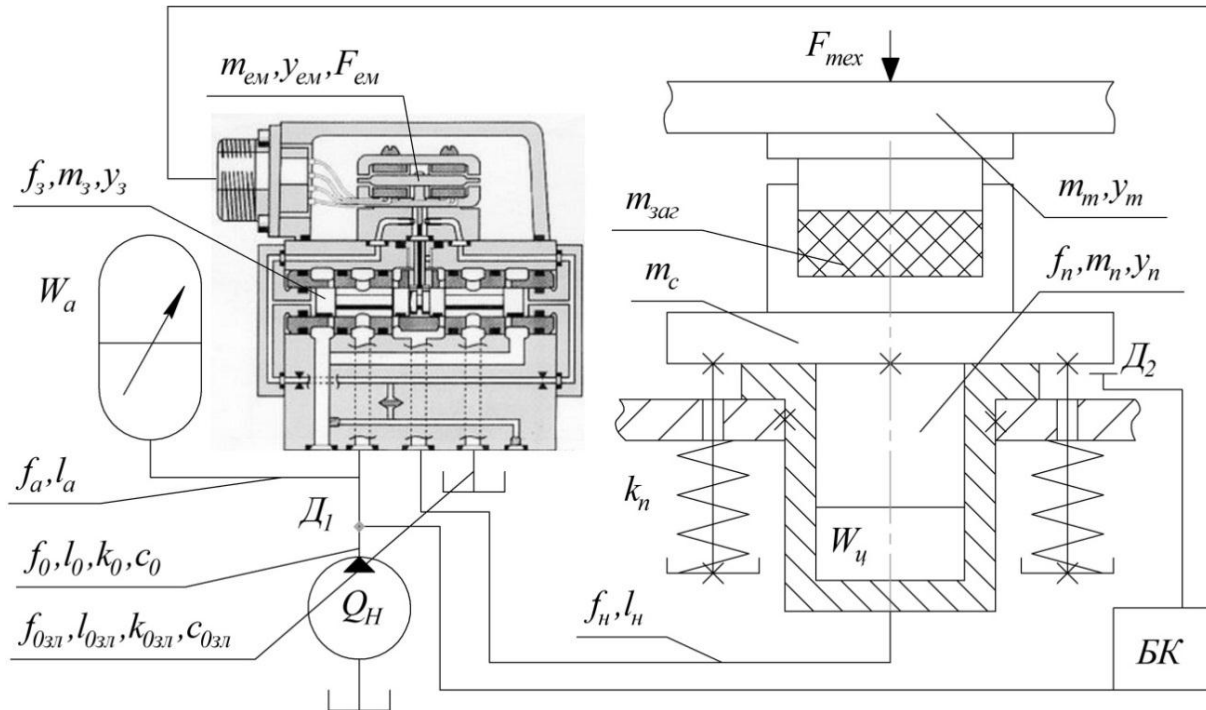


Рисунок 3 – Структурно-розрахункова схема інерційного вібропрес-молота з електрогідрравлічною системою керування

На рис. 3 прийняті такі позначення: Q_H – подача гідронасоса; F_{mex} – технологічне зусилля; $F_{ем}$ – зусилля, що його розвиває електромагніт; f_n, m_n, y_n – відповідно, площа поперечного перерізу, маса та переміщення поршня виконавчого гідроциліндра; f_3, m_3, y_3 – відповідно, площа поперечного перерізу, маса та переміщення золотника; $m_{ем}, y_{ем}$ – маса та переміщення якоря електромагніта; W_a – об'єм гідроаккумулятора; W_a – об'єм виконавчого гідроциліндра; $l_1, l_2, l_3, f_1, f_2, f_3$ – відповідні довжини та площі поперечних перерізів гідроліній; k_n – жорсткість пружин; m_c – маса стола, на якому знаходиться заготовка; m_m, y_m – маса та переміщення траверси; $m_{заг}$ – маса заготовки; D_1 – давач переміщення; D_2 – давач тиску; BK – блок керування.

Однак для розв'язання конкретних задач багатомасову динамічну модель ІВПМ можна спростити (з урахуванням особливостей його роботи) до тримасової динамічної моделі взаємодії виконавчих ланок ІВПМ (рис. 4), розв'язком якої є система трьох диференціальних рівнянь другого порядку (1).

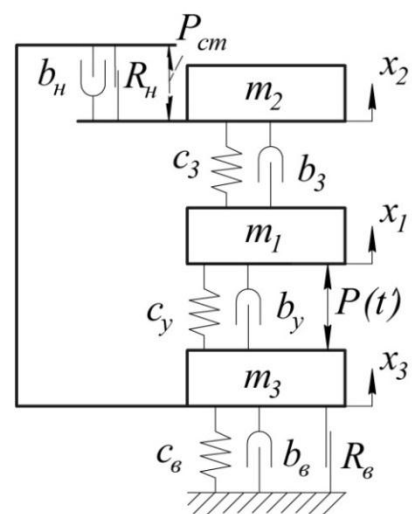


Рисунок 4 – Тримасова динамічна модель взаємодії виконавчих ланок ІВПМ

На рис. 4 прийняті такі позначення: m_1 – маса робочої ланки ІВПМ, що враховує маси поршня, стола, контейнера прес-форми і заготовки; m_2 – маса рухомої поперечини, що враховує маси змінних інерційних вантажів і пуансона; m_3 – маса верхньої і нижньої поперечин ІВПМ, що складають масу станини; P_{cm} – додаткове статичне притискання рухомої траверси; c_y – жорсткість пружин повернення; c_3 – умовна жорсткість заготовки; c_6, b_6, R_6 – відповідно, еквівалентні жорсткість, коефіцієнт в'язкого демпфування і сила сухого тертя в обоймах віброізолятора; b_n – коефіцієнт в'язкого демпфування в ущільненнях штока; b_y – коефіцієнт в'язкого демпфування в ущільненнях плунжера головного приводу; b_3 – коефіцієнт в'язкого демпфування заготовки під час тертя об стінки контейнера прес-форми; $P(t')$ – зовнішня продукувальна сила; x_3, x_2, x_1 – відповідні переміщення мас m_1, m_2, m_3 ; R_n – сила сухого тертя в напрямних рухомої поперечини.

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + b_3(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + b_y(\dot{x}_1 - \dot{x}_3) + c_3(x_1 - x_2) + \\ + c_y(x_1 - x_2) = P(t'); \\ m_2 \ddot{x}_2 + b_3(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + b_n(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + c_3(x_2 - x_1) + P_{cm} = 0; \\ m_3 \ddot{x}_3 + b_6 \dot{x}_3 + b_n(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) + b_y(\dot{x}_3 - \dot{x}_1) + c_6 x_3 + \\ + c_y(x_3 - x_1) - P_{cm} = -P(t'). \end{cases} \quad (1)$$

На основі структурно-розрахункової схеми (див. рис. 3), тримасової динамічної моделі взаємодії виконавчих ланок ІВПМ (див. рис. 4) та низки припущень побудована тримасова динамічна модель – золотник–плунжер (маса якого подана сумою мас плунжера, заготовки, стола та нижньої частини прес-форми)–траверса (рис. 5,а), в якій гідравлічна ланка подана у вигляді в'язко-пружної моделі енергоносія, складеної з паралельно з'єднаних безінерційних пружного k_0 та дисипативного c_0 елементів (тіло Кельвіна-Фохта).

Такий підхід до моделювання гідравлічних приводів вперше запропонований Ю. О. Бочаровим і в подальшому розвинутий в працях Р. Д. Ісковича-Лотоцького та Р. Р. Обертюха. Експериментальні та виробничі випробування підтвердили адекватність розроблених математичних моделей та показали перспективність такого підходу.

В процесі роботи гідроімпульсного приводу за вищевказаним методом гідравлічна ланка деформується з певною швидкістю та взаємодіє з іншими ланками (масами) приводу через передаточні відношення $i_{oj} = f_j^2 \cdot f_0^{-2}$ (тут $j = 1, 2, 3, \dots, n$ – порядковий номер ланки приводу). Жорсткість k_{0r} безінерційного пружного елемента можна визначити відносно усереднених площ поперечного перерізу напірної f_0 та зливної f_{0zl} гідроліній. В процесі роботи гідроімпульсного приводу жорсткості k_{0r} та k_{0zl} змінюються, оскільки сумарні об'єми напірної W_Σ та зливної $W_{\Sigma zl}$ порожнин є змінними, але змінні частини цих об'ємів малі, порівняно з постійними, тому, з метою спрощення математичних перетворень під час розробки математичних моделей приводу, змінними частинами об'ємів W_Σ та $W_{\Sigma zl}$ знехтувано. Це припущення дозволяє вважати жорсткості $k_{0r} = k_0 = const$ та $k_{0zl} = const$. Крім того, для жорстких гідросистем гідроім-

пульсного приводу зазвичай $W_0 \ll W_{03л}$ (тут W_0 і $W_{03л}$ – відповідно початкові об'єми напірної та зливної порожнини). Оскільки за відомою залежністю жорсткість безінерційного пружного елемента

$$k_0 = f_0^2 \kappa W_0^{-1} \quad (2)$$

(k – зведений модуль пружності гідросистеми приводу за припущенням $\kappa = const$) визначається відносно W_0 , то, враховуючи сказане, $k_0 \gg k_{03л}$, що дозволяє не розглядати вплив на динаміку приводу гідроланки зливної порожнини та зливних гідроліній. Таке припущення ідентичне традиційним підходам до моделювання гідравлічних систем, де впливом тиску енергоносія в зливних гідролініях нехтують, вважаючи його рівним нулю. За припущення $W_0 = const$ і $k_0 = const$, жорсткість гідравлічної ланки приводу можна приводити до будь-якої площі поперечного перерізу елементів ГП, гідродвигуна тощо за формулою

$$k_{oj} = i_{oj} \cdot k_0. \quad (3)$$

Розглядаючи тримасову динамічну модель (рис. 5,а), слід зауважити, що переміщення золотника ЕГР залежить від сигналу з БК, який є функцією від тиску $F(p)$ під час керування «за тиском» та функцією часу $F(t)$ під час керування «за частотою», і в заданому діапазоні його технологічних параметрів спрацьовує автоматично, а його маса не впливає на режим роботи вібраційного обладнання, тому масою золотника можна знехтувати, що дозволяє тримасову динамічну модель інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного приводу подати двомасовою, яка зображена на рисунку 5,б.

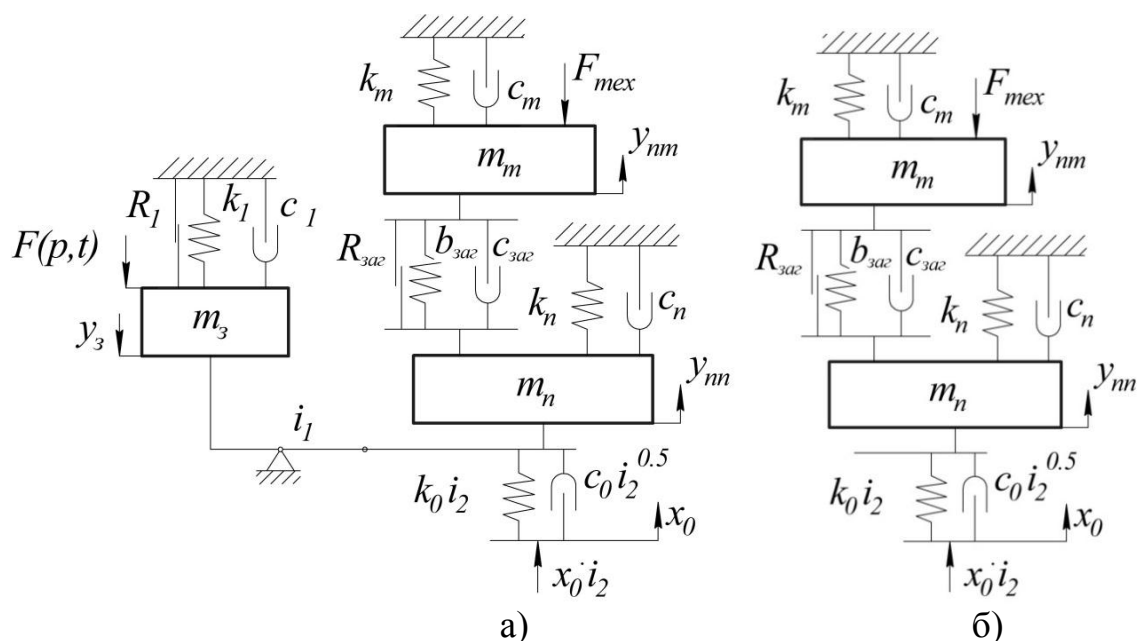


Рисунок 5 – Спрощені тримасова а) та двомасова б) динамічні моделі інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного приводу

На рис. 5 прийняті такі позначення: $R_{заг}$ – коефіцієнт, який враховує сухе тертя; $b_{заг}$ – коефіцієнт бокового в'язкого тертя; $c_{заг}$ – коефіцієнт, який характеризує навантаження заготовки; $R_{заг}$ – постійна складова сухого тертя в заготовці;

c_n – коефіцієнт в'язкого опору у виконавчому гідроциліндрі; k_m, c_m – жорсткість та в'язкість допоміжної гідравлічної системи; i_1, i_2 – передаточне відношення, що залежать від площ поперечних перерізів каналів гідросистеми.

Під час розробки динамічної та математичної моделей інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода прийнято низку припущень, які у зв'язку з обмеженим обсягом автореферату не наводяться. На підставі викладених міркувань і прийнятої системи припущень динамічні моделі прямого та зворотного ходів ланок інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода, шляхом зведення гідравлічної ланки привода до його рухомих ланок, подані у вигляді моделей прямого та зворотного ходів (3, 4).

Для прямого ходу:

$$\begin{cases} m_n \ddot{y}_{nn} = k_0 i_2 (x_0 - y_{nn}) - k_n y_{nn} - c_0 i_2^{0.5} (\dot{x}_0 - \dot{y}_{nn}) - c_n \dot{y}_{nn} - b_{3a2} (y_{nn} - y_{nm}) - c_{3a2} (\dot{y}_{nn} - \dot{y}_{nm}) - \\ - R_{3a2} \text{sing}(\dot{y}_{nn} - \dot{y}_{nm}); \\ m_m \ddot{y}_{nm} - k_m y_{nm} - c_m \dot{y}_{nm} - b_{3a2} (y_{nn} - y_{nm}) - c_{3a2} (\dot{y}_{nn} - \dot{y}_{nm}) - R_{3a2} \text{sing}(\dot{y}_{nn} - \dot{y}_{nm}) - F_{mex} = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Для зворотного ходу:

$$\begin{cases} m_n \ddot{y}_{nn} = k_n y_{3n} - k_0 i_2 (x_0 - y_{3n}) - c_0 i_2^{0.5} (\dot{x}_0 - \dot{y}_{3n}) - c_n \dot{y}_{3n} - b_{3a2} (y_{3n} - y_{3m}) - c_{3a2} (\dot{y}_{3n} - \dot{y}_{3m}) - \\ - R_{3a2} \text{sing}(\dot{y}_{3n} - \dot{y}_{3m}); \\ m_m \ddot{y}_{3m} = k_m y_{3m} + F_{mex} - c_m \dot{y}_{3m} - b_{3a2} (y_{3n} - y_{3m}) - c_{3a2} (\dot{y}_{3n} - \dot{y}_{3m}) - R_{3a2} \text{sing}(\dot{y}_{3n} - \dot{y}_{3m}). \end{cases} \quad (5)$$

Вихідні математичні моделі (4, 5), складені на основі структурно-розрахункової схеми інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода (див. рис. 3), його двомасової динамічної моделі (див. рис. 5,б) та принципу Д'Аламбера за методикою, розробленою Р. Д. Ісковичем-Лотоцьким, Р. Р. Обертюхом та ін.

Також на основі загальноприйнятих залежностей (законів), що враховують динаміку руху, розроблено математичні моделі, які можуть бути використанні під час проектного розрахунку відповідного вібраційного обладнання, що зведено до систем рівнянь, які описують фазу підняття (6) і опускання (7) поршня виконавчого гідроциліндра з урахуванням зміни тиску у напірній гідролінії.

Фаза підняття поршня виконавчого гідроциліндра описується системою

$$\begin{cases} m \frac{d^2 y}{dt^2} = p_u f_u - F_{mex} - k_n y_n - \beta \frac{dy}{dt}; \\ \beta W_n \frac{dp_n}{dt} = Q_n - k \pi f_s \frac{t^4 k_2 U^2 l_{uu} \delta}{6 \omega m l_r} \sqrt{\frac{2 p_n - p_u}{\rho}}; \\ \beta W_\Sigma \frac{dp_u}{dt} = k \pi f_s \frac{t^4 k_2 U^2 l_{uu} \delta}{6 \omega m l_r} \sqrt{\frac{2 p_n - p_u}{\rho}} - F \frac{dy}{dt}, \end{cases} \quad (6)$$

де p_u – тиск у порожнині виконавчого гідроциліндра, β – податливість системи, яка залежить від значення тиску p ; k – коефіцієнт витрат рідини через розподільвач; p_u і p_n – відповідно, тиск у напірній гідролінії і у порожнині виконавчого гідроциліндра; ρ – густина мастила; δ – зазор між магнітами; l_r – довжина якоря; l_{uu} – довжина штовхача; k_2 – постійний коефіцієнт, що враховує змі-

ну напруги; m – маса якоря; ω – число витків обмотки; U – сигнал на вході в ЕМП; t – час, W_n – об'єм напірної гідролінії, W_Σ – об'єм гідросистеми.

Фаза опускання поршня виконавчого гідроциліндра описується системою

$$\begin{cases} m \frac{d^2 y}{dt^2} = F_{mex} + k_n y_n - \alpha \frac{dy}{dt} - p_u f_u ; \\ \beta W_u \frac{dp_u}{dt} = f \frac{dy}{dt} - k \pi f_s \frac{t^4 k_2 U^2 l_{uu} \delta}{6 \omega m l_n} \sqrt{\frac{2 p_u}{\rho}} . \end{cases} \quad (7)$$

Дослідження систем рівнянь 6, 7 виконано на ПК за допомогою прикладної програми MATLAB Simulink. За результатами дослідження розроблених математичних моделей шляхом варіювання початкових даних отримано графіки залежностей зміни в часі переміщень виконавчого гідроциліндра $y_u(t)$ та зміни тиску $p_n(t)$ у напірній гідролінії (рис. 6).

В четвертому розділі викладено методика та результати експериментальних досліджень. Описано вимірювальну-реєструвальну апаратуру та способи її під'єднання. Показано фотографії інерційного вібропрес-молота з електрогідролінійною системою керування гідроімпульсного привода (рис. 7).

На рис. 7,а показаний БК, який знаходиться на відстані від ІВПМ-16 і не піддається впливу вібрацій, що виникають під час роботи. Зв'язок блока керування з віброзбуджувачем та давачами проводиться дистанційно за допомогою електричних проводів.

Для перевірки працездатності даної системи були проведені експериментальні дослідження, під час яких варіювались такі параметри:

– подача гідронасоса ($\text{м}^3/\text{с}$): $0,01 \dots 1,1 \cdot 10^{-3}$;

– зміна частоти вхідного сигналу на електрогідролінійний розподільувач, що відповідав режиму його роботи (Гц): $0 \dots 50$, з кроком у $2,5 \text{ Гц}$;

Під час керування «за тиском» процес налагодження проводився шляхом зміни значень тиску p_1, p_0 і регулювання потоку рідини. Під час експериментального дослідження встановлено, що такий процес керування можливий, однак він не дозволяє отримати необхідної частоти коливань вібростолу і необхідного характеру зміни тиску для отримання імпульсного типу навантаження. При такому типі керування максимально можливим отриманим результатом було отримання частоти коливання вібростолу 5 Гц за мінімальної подачі рідини.

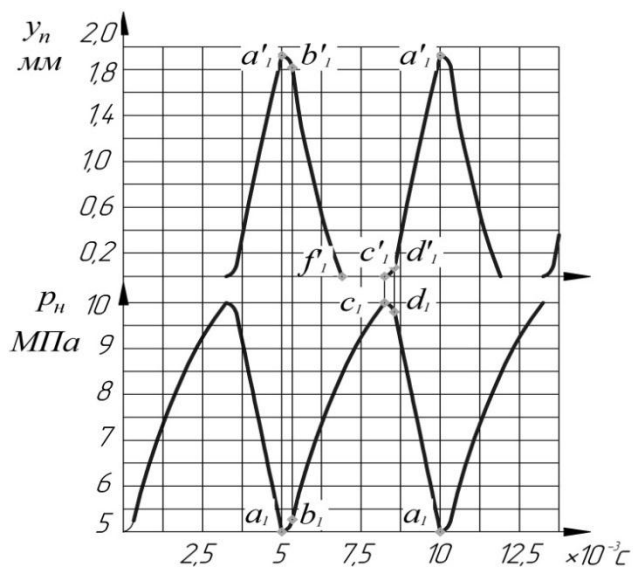
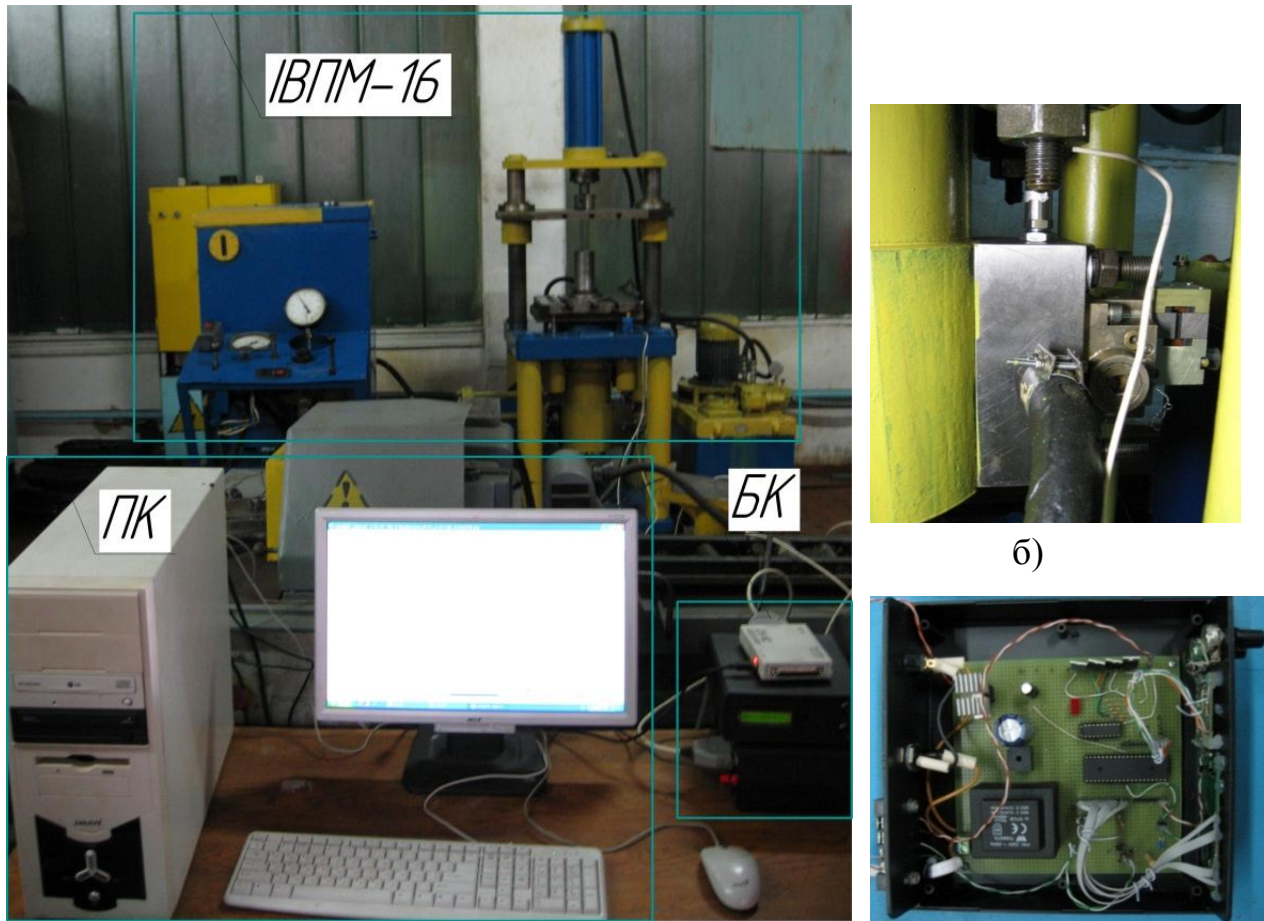


Рисунок 6 – Графіки зміни тиску у напірній гідролінії $p_n(t)$ та переміщення поршня виконавчого гідроциліндра $y_u(t)$, з частотою $\nu = 20 \text{ Гц}$, скважністю 65%, $p_e = 10 \text{ МПа}$, $p_3 = 5 \text{ МПа}$, $Q_H = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$



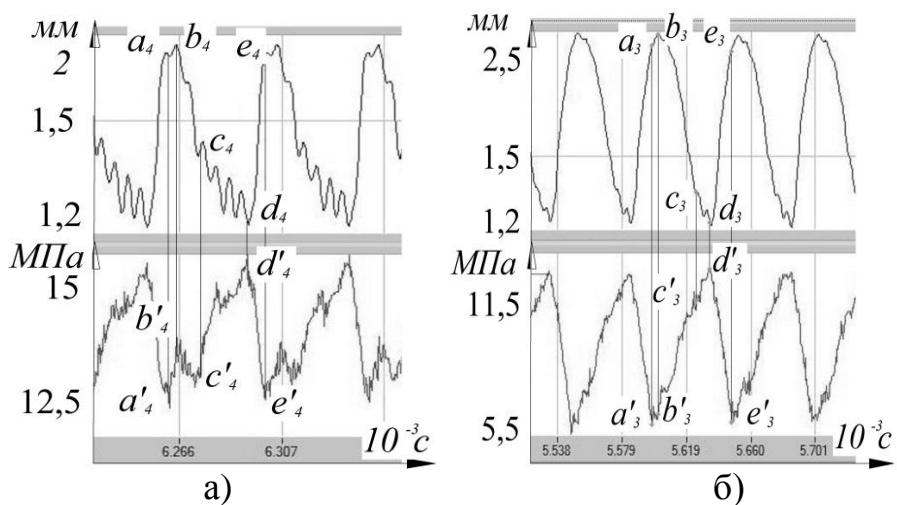
а)

в)

Рисунок 7 — Фотографії інерційного вібропрес-молота з електрогидравлічною системою керування: а) загальний вигляд; б) кріплення УЭГ.С-200 до виконавчого гідроциліндра; в) – блок керування

Під час керування «за частотою» дослідження проводилось за максимальної подачі рідини для частот від 1 до 50 Гц з кроком у 2,5 Гц. Додатково на кожній частоті проводились дослідження щодо зміни скважності вхідного сигналу з блоку керування з дискретністю у 5%. Одержані результати показано на рис. 8.

На обох осцилограмах рисунка 8, на ділянці ab , помітне незначне переміщення вібростола в той час, коли тиск у системі починає зростати (ділянки $a'b'$). Величина ділянки ab в часі на



а)

б)

Рисунок 8 – Осцилограми переміщення вібростола та зміни тиску у гідросистемі при різних режимах роботи: а) частота – 25 Гц, скважність – 60%; б) частота – 20 Гц, скважність – 65%

всіх графіках однакова, однак її відношення до загального часу одного циклу зростає зі збільшенням частоти імпульсів, що пояснюється інерційністю системи і в подальшому може бути використане як період верхнього вистоя, що за високих частотах спрацювання позитивно впливає на процес вібраційного формоутворення.

Наступна ділянка cd , що відповідає 0,2 мм на графіках переміщення, крайнє нижнє значення якого відповідає початковому положенні вібростола. В цей час золотник електрогідравлічного розподільвача знаходиться у «закритому» положенні і рідина з виконавчого гідроциліндра витікає у бак. Після детального аналізу таких коливань було виявлено, що їх власна частота однакова на всіх графіках і наближена до власної частоти системи (пружин, що притискають вібростіл і стовпа рідини). З чого можна зробити раціональний висновок, що дані коливання є похідними від сумарної власної частоти коливань пружин і стовпа рідини гідросистеми.

Ще одними важливими ділянками є $b'c'$ і $f'n'$, які добре проявляються на частоті 25 Гц і меншою мірою на частоті 20 Гц. Це пов'язано з неповним перекриттям золотника напірної гідролінії і можливим частковим переливанням рідини через гідронасос в зв'язку великим тиском у гідросистемі, що сягав 16 МПа. Цей висновок зроблений на основі подальших одержаних результатів, при одержанні яких не відбувалось перекриття напірної гідролінії, що супроводжує «задирання» вібростола.

Також «задирання» вібростола відбувається за неправильно підбраної скважності (рис. 9,а). Це пояснюється тим, що рідина з порожнини виконавчого гідроциліндра не встигає витікати за час, коли золотник знаходиться у «закритому» положенні і під час наступного «відкритого» положення золотника відбувається нова подача рідини, яка додається до тієї, що не витекла.

Ще одним результатом невдало підбраної скважності є коливальний рух близький до гармонічного (рис. 9,б). Такий режим роботи не дозволяє ефективно здійснювати процес вібраційного формоутворення порошкових матеріалів, однак він може бути використаний у інших технологічних процесах.

Проаналізувавши результати експериментального дослідження інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода стає очевидним, що неправильний підбір входного сигналу (скважності і частоти) не дає очікуваного результату у вигляді імпульсного типу навантаження.

Після детального дослідження та порівняння експериментальних і розрахункових даних було встановлено, що різнобіжність між показ-

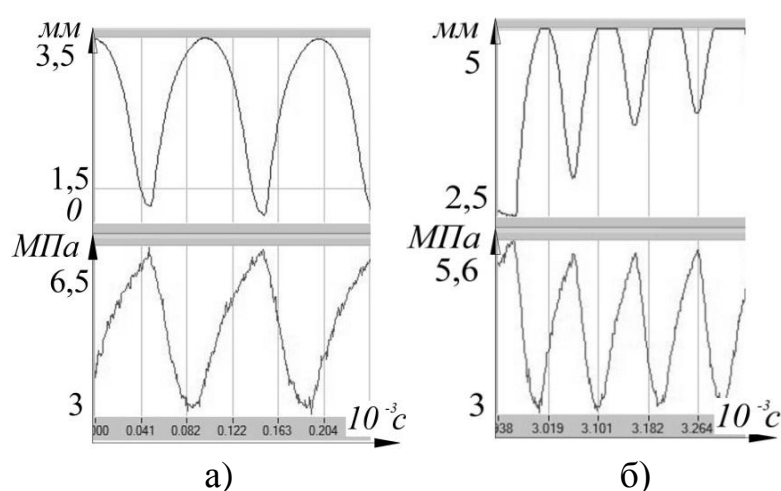


Рисунок 9 – Осцилограми переміщення вібростола та зміна тиску у гідросистемі:

- а) частота 10 Гц, скважність 65%;
- б) частота 10 Гц, скважність 45%

никами теоретичних і експериментальних досліджень, які розраховувались за формулами $(\delta_y/y_u) \cdot 100\%$, $(\delta_p/p_u) \cdot 100\%$, не перевищують 10% (рис. 10), що підтверджує адекватність розроблених математичних моделей і дозволяє використати отримані математичні моделі для проектного розрахунку інерційних вібропрес-молотів з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода.

У четвертому розділі також наведено перспективні напрямки щодо використання інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода для багатокомпонентного навантаження і можливості керування вібропресовим обладнанням з електрогідравлічною системою керування «за переміщенням».

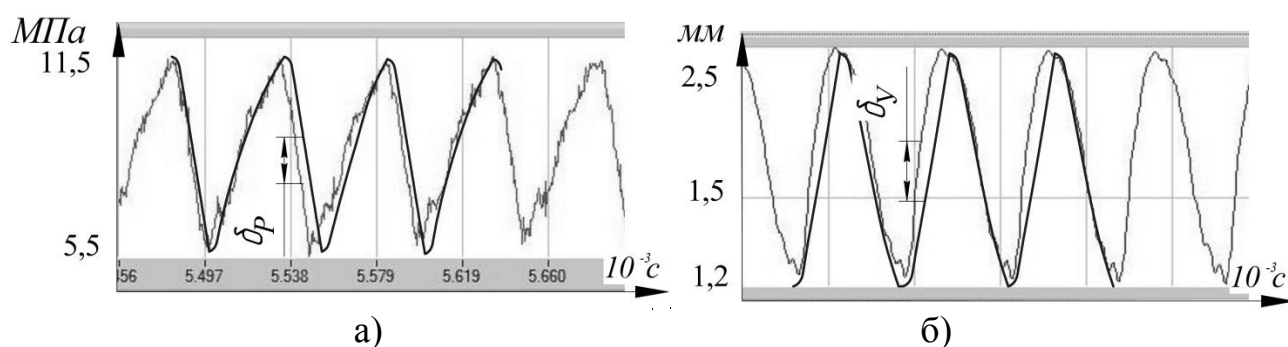


Рисунок 10 – Графік порівняння експериментальних і теоретичних даних на частоті 20 Гц, скважності 65%, для: а) тиску; б) переміщення, де δ_p і δ_y – відповідно, різниця між теоретичними і експериментальними даними тиску і частоти

Під час розрахунку собівартості виготовлення електрогідравлічної системи керування, яка становить 11850 грн, та ГПТ – 8900 грн, встановлено, що собівартість виготовлення ГПТ дешевше. Однак за технологічністю виготовлення ГПТ складніший, що робить електрогідравлічну систему керування конкурентоспроможною.

За результати експериментальних досліджень на підприємстві ТОВ «АСК – МЕТ» впроваджена технічна документація на розроблений інерційний вібропрес-молот з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода для використання в проектуванні технологічного обладнання на виготовлення будівельних матеріалів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-технічна задача щодо створення інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода для забезпечення програмного керування процесом формоутворення заготовок з порошкових матеріалів.

Основні наукові результати і висновки дисертації:

1. Виконано аналіз вібропресового обладнання для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів, визначено їх основні конструктивні і технологічні особливості; проаналізовано способи формоутворення заготовок з порошкових матеріалів, визначено основні переваги та недоліки їх застосування; розглянуто

технічні і конструктивні особливості застосування різних приводів у вібропресовому обладнанні; встановлено, що найбільш ефективним способом формування є вібраційне пресування, обладнання якого потребує автоматизації та комп'ютеризації, на основі чого обґрунтовано технічні та технологічні вимоги щодо побудови інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода;

2. На основі теоретичних досліджень розроблено інерційний вібропрес-молот з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода зі спеціальним програмним забезпеченням, яка побудована на основі стандартної електрогідравлічної апаратури, що дозволяє здійснювати керування віброзбуджувачем «за тиском» і «за частотою».

3. Розроблено математичні і динамічні моделі інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода. Проведено дослідження математичної моделі в середовищі MATLAB Simulink, а їх результати подані у вигляді залежностей зміни тиску у напірній гідролінії та переміщення поршня виконавчого гідроциліндра, з детальним описом.

4. Експериментальними дослідженнями інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода для формування заготовок з порошкових матеріалів встановлено:

- електрогідравлічна система керування під час керування «за тиском» може забезпечити лише «пульсуючий» тип навантаження з частотою до 10 Гц і амплітудою коливань вібростолу до 3 мм;

- під час керування «за частотою» з визначеним підбором скважності вхідного сигналу на електрогідравлічний віброзбуджувач електрогідравлічна система керування гідроімпульсного привода дозволяє забезпечити «імпульсний» тип навантаження з частотою до 35 Гц і амплітудою до 3 мм, що відповідає поставленим технологічним вимогам;

- у разі неправильного підбору скважності під час керування «за частотою» відбувається «пульсуюче» навантаження, наближене до гармонічних коливань або «задирання» стола;

- використання блока керування дозволяє легко і безпосередньо під час роботи, змінювати робочі параметри навантаження (амплітуду і частоту) інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування.

5. Використання стандартного електрогідравлічного розподільвача зі спеціально розробленим блоком керування, забезпечує «імпульсний» тип навантаження у інерційному вібропрес-молоті, що відповідає режиму роботи ГІТ (тиск живлення 5...10 МПа, подача рідини 0,1...1,1 м³/с) і може бути використаний як віброзбуджувач гідроімпульсного привода;

6. На основі отриманих результатів теоретичного та експериментального досліджень інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода пропонується його подальше дослідження з декількома одночасно працюючими віброзбуджувачами та можливістю додаткового керування «за переміщенням».

7. Результати математичного та динамічного моделювання можна використати для подальшого проектного розрахунку інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування та для визначення його основних параметрів.

8. Розрахунок собівартості виготовлення електрогідравлічної системи керування інерційного вібропрес-молота та генератора імпульсів тиску показав, що собівартість їх виготовлення майже однакова, але технологічні вимоги, які ставляться до виготовлення ГП значно вищі, що робить електрогідравлічну систему керування конкурентоспроможною і адаптивною для умов сучасного виробництва.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Іскович-Лотоцький Р. Д. Вібраційне пресування порошків вібропрес-молотом з електрогідравлічним керуванням / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Міськов // Збірник наукових праць, серія : Галузеве машинобудування, будівництво. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. – Вип. 2(41). – Полтава : ПолтНТУ, 2014. – С. 66–72. ISSN 2409-9074

2. 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. – Львів : Львівська політехніка, 2014. – № 48. – С. 3–10. ISSN 0320-6947

3. 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. – Вінниця, 2015. – № 2(78). – С. 80–86. ISSN 2306-8744

4. 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. – Хмельницький, 2015. – № 2. – С. 17–20. ISSN 2307-5732

5. 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. – С. 17–21. ISSN 2306-756X

6. 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», м. Чернівці. – 2014. – С. 80.

7. 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», м. Суми, 2014. – С. 60–61.

8. Іскович-Лотоцький Р. Д. Системи керування віброзбуджувачем гідроімпульсного приводу / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Міськов // Сучасні технології в промисловому виробництві : матеріали міжвузівської науково-технічної

конференції, м. Суми : Сумський державний університет, 2012. – Частина III. – С. 58–59.

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

10. 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. 140–144. ISBN 978-5-7890-0962-8

11. Пат. № 81612 Україна, МПК (2013.01) F01L1/00. Гідравлічний клапан пульсатор з електромагнітним керуванням / Іскович-Лотоцький Р. Д., Миськов В. П., Насонов М. В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u 2012 14111 ; заявл. 11.12.2012 ; опуб. 10.07.2013, Бюл. № 13. – 4 с.

12. Пат. № 90249 Україна, МПК (2014.01) F01L1/00. Клапан-пульсатор / Іскович-Лотоцький Р. Д., Миськов В. П.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u 2013 03887 ; заявл. 29.03.2013 ; опуб. 26.05.2014, Бюл. №10. – 4 с.

АНОТАЦІЯ

Миськов В. П. Інерційний вібропрес-молот з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском. – Вінницький національний технічний університет МОН України, Вінниця, 2015.

Дисертаційна робота спрямована на дослідження можливості використання у інерційному вібропрес-молоті з електрогідравлічною системою керування стандартних електрогідравлічних розподільовачів як вібробуджувачів гідроімпульсного привода, керування якими здійснюється дистанційно за допомогою спеціально розробленої системи керування, що дозволить провести автоматизацію та комп'ютеризацію відомого вібраційного обладнання, а також дозволить використати стандартну електрогідравлічну апаратуру.

Розроблено і теоретично досліджено динамічну та математичну моделі інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода, а результати подані у вигляді залежностей зміни тиску у напірній гідролінії та переміщення поршня виконавчого гідроциліндра, з їх детальним описом.

Розроблена електрогідравлічна система керування, яка містить блок керування, давачі тиску і переміщення, аналогово-цифровий перетворювач, ПК і електрогідравлічний розподільовач, яка дозволяє здійснювати керування «за ти-

ском» і «за частотою». Експериментальні дослідження проводились на базовій моделі ІВМП–16, в результаті яких встановлено, що елетрогідравлічна система керування під час керування «за тиском» може забезпечувати лише «пульсуючий» тип навантаження з частотою коливань вібростола до 10 Гц і амплітудою до 3 мм, а під час керування «за частотою» забезпечує «імпульсний» тип навантаження з частотою до 35 Гц і амплітудою до 3 мм.

Ключові слова: вібрація, формоутворення, елетрогідравлічний розподілювач, гідроімпульсний привод, система керування, порошковий матеріал.

АННОТАЦІЯ

Миськов В. П. Инерционный вибропресс-молот с электрогидравлической системой управления гидроимпульсного привода для формообразования заготовок из порошковых материалов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – процессы и машины обработки давлением. - Винницкий национальный технический университет МОН Украины, Винница, 2015.

Диссертационная работа направлена на исследование возможности использования в инерционном вибропресс-молоте с электрогидравлической системой управления стандартных электрогидравлических распределителей в качестве вибровозбудителя гидроимпульсного привода для формообразования заготовок из порошковых материалов, управление которыми осуществляется дистанционно с помощью специально разработанной системы управления, что позволит провести автоматизацию и компьютеризацию известного вибрационного оборудования, а также позволит использовать стандартную электрогидравлическую аппаратуру.

Разработаны и теоретически исследованы динамическая и математическая модели инерционного вибропресс-молота с электрогидравлической системой управления гидроимпульсного привода, которые представлены в виде систем уравнений, в результате компьютерной обработки которых получено зависимости изменения давления в напорной гидролинии и перемещения поршня исполнительного гидроцилиндра, с их подробным описанием.

Разработанная электрогидравлическая система управления, которая включает в себя блок управления, датчики давления и перемещения, аналого-цифровой преобразователь, ПК и электрогидравлический распределитель, позволяет осуществлять управление «по давлению» и «по частоте». Нормальное функционирование такой системы управления обеспечивается блоком управления, который был специально разработан, с возможностью генерирования выходных сигналов с различной формой и силой, что обеспечивается заблаговременно прописанным в процессоре БК программам управления.

Для подтверждения адекватности теоретических и математических исследований возможности работы инерционного вибропресс-молота с электрогидравлическим управлением гидроимпульсного привода при различных режимах работы проводились экспериментальные исследования на базовой модели ИВМП-16 с УГЭ.С–200 в качестве вибровозбудителя. Во время экспериментальных исследований рабочие параметры гидроимпульсного привода подбирались в соответствии с рабочими параметрами генератора импульса давления ГИТ.

В результате экспериментальных исследований установлено, что во время управления «по давлению», электрогидравлическая система управления может обеспечить только «пульсирующий» тип нагрузки с частотой до 10 Гц и амплитудой колебаний вибростола до 3 мм. Во время управления «по частоте» с правильным подбором скважности входного сигнала на электрогидравлический распределитель электрогидравлическая система управления гидроимпульсного привода позволяет обеспечить «импульсный» тип нагрузки с частотой до 35 Гц и амплитудой до 3 мм, что соответствует поставленным технологическим требованиям.

Как дальнейшие перспективные направления исследования электрогидравлической системы управления гидроимпульсного привода предложено ее использования для многокомпонентной нагрузки и управления «по перемещению».

Ключевые слова: вибрация, формообразования, электрогидравлический распределитель, гидроимпульсный привод, система управления, порошковый материал.

АБСТРАКТ

Miskov V. P. Inertial vibropress–hammer with electrohydraulic control system of hydropulse drive for forming preforms from powder materials. – On the manuscript.

Dissertation on completion of graduate degree of candidate of engineering science in speciality 05.03.05 - processes and machines of processing by pressure. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2015.

The dissertation work aims to study the possibility of using in inertial vibropress-hammer with electrohydraulic control system the standard electrohydraulic valves as vibration exciters of the hydroimpulsive drive, which are operated remotely using a specially developed control systems, that allow the automatization and computerization of the popular vibrating equipment and allow to use standard electrohydraulic equipment.

There were developed and theoretically researched the dynamic and mathematic models of inertial vibropress-hammer with electrohydraulic control system of the hydroimpulsive drive. The results were presented as a dependence between pressure changes in the pressure line and movement of the piston of the executive hydrocylinder with their detailed description.

The developed electrohydraulic control system, which includes a control unit, pressure and movement sensors, analog-to-digital converter, PC and electrohydraulic valve allows you to control «by pressure» and «by frequency». Experimental researches were undertaken on the base model IVMP-16.

In the result of the researches there was noted, that eletrohydraulic control system can provide only a «pulsing» type of load with the oscillation frequency of the vibrating-table near 10 Hz and amplitude near 3 mm while it is driven by «pressure», and while it is driven by «frequency» it provides an «impulse» type of load with frequency near 35 Hz and amplitude near 3 mm.

Keywords: vibration, forming, electrohydraulic valve, hydroimpulsive drive, control system, powder material.

Підписано до друку 07.10.2015 р. Формат 29,7×42 ¼.
Наклад 100 пр. Зам. № 2015-108.
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету.
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел. 59-81-59.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.