

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

ЗЕЛІНСЬКА ОКСАНА ВЛАДИСЛАВІВНА

УДК 621.777.01

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ  
ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВОК З ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА  
ВІБРОПРЕСОВОМУ ОБЛАДНАННІ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ  
ПРИВОДОМ**

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 аграрному 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  
**Алієв Іграмотдін Серажутдінович,**  
Донбаська державна машинобудівна академія,  
(м. Краматорськ), проректор з наукової  
роботи і зовнішніх зв'язків;

кандидат технічних наук, доцент  
**Сомов Дмитро Олександрович,**  
Луцький національний технічний університет,  
доцент кафедри автоматизованого  
управління виробничими процесами.

Захист відбудеться «23» листопада 2015 р. о 14<sup>00</sup> 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 ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК.

Автореферат розісланий «21» жовтня 2015 р.

Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради

О. В. Дерібо

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Розвиток сучасного машинобудування є значущим чинником технічного прогресу, оскільки корінні перетворення в будь-якій сфері виробництва можливі лише в результаті створення досконаліших машин і розробки принципово нових технологій. Широке використання знаходять вібраційні та віброударні технологічні процеси, а також обладнання для їх реалізації. Встановлено, що прикладання до об'єктів обробки корисних вібрацій або ударних імпульсів дозволяє значно інтенсифікувати протікання ряду технологічних процесів, забезпечити оптимальність параметрів навантаження і одержати виріб з високими якісними параметрами, зокрема, при пресуванні заготовок виробів з порошкових матеріалів (карбідів, боридів і ін.), які повинні мати відповідні міцність, щільність і рівнощільність по об'єму в умовах безвідходного виробництва для того, щоб дану заготовку можна було транспортувати до камери спікання без втрати форми. Тому до вібраційного обладнання для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів висуваються підвищені вимоги. Воно повинно мати порівняно просту конструкцію, високу надійність, низькі металоємність і енергоємність, забезпечувати якість формованого виробу.

Важливість техніко-технологічного обслуговування вібраційних і віброударних машин з гідроімпульсним приводом зумовлена багатьма факторами, які суттєво впливають на процес роботи вібропресового обладнання.

Тому питання, підвищення ефективності процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні є актуальними.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дослідження, що складають основу дисертації, проведено на факультеті механізації сільського господарства ВНАУ, де кафедрами факультету накопичений значний досвід проведення наукових розробок гідроімпульсних механізмів. Також автор брала участь у виконанні держбюджетної науково-дослідної роботи (НДР) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ), передбаченої планами Міністерства освіти і науки України і виконаної на кафедрі металорізальних верстатів та обладнання автоматизованих виробництв № 19К2 «Теорія розрахунку і розробки вібраційних процесів та обладнання», та згідно з договором про творчу співдружність № 19/8 (номер державної реєстрації 0111u901108) «Теоретичні основи процесів фазового розділення вологих дисперсних матеріалів в полі віброударних інерційних навантажень», як виконавець.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом на основі аналізу процесів, що виникають при взаємодії робочих органів з порошковими матеріалами, обґрунтуванні раціональних параметрів всього процесу, розробки перспективних алгоритмів математичних моделей вібропресового обладнання з гідроімпульсним приводом, експериментальних підтверджень отриманих результатів.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати сучасний стан функціонування вібраційних машин і вібротехнологій та процеси формоутворення заготовок з порошкових матеріалів;
- розглянути процес формоутворення як технологічний комплекс (процес, машина, заготовка) та визначити найбільш доцільні напрямки підвищення ефективності процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом;
- розробити модель, складання й обґрунтування множин вхідних і вихідних параметрів для оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу;
- розробити загальну методику дослідження щодо вивчення технологічних параметрів віброударного пресування;
- на основі отриманих експериментальних даних дослідити параметри систем технологічного комплексу для оцінювання процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом;
- розробити програму для автоматизації розрахунку основних параметрів інерційного навантаження заготовки та конструктивних параметрів інерційного вібропрес-молота (ІВПМ) у вигляді Web-сторінки за допомогою Java Script, яка відображає дані в глобальній мережі.

*Об'єкт дослідження:* процес формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні.

*Предмет дослідження:* закономірності зв'язків параметрів систем технологічного комплексу віброударного пресування порошкових матеріалів.

**Методи дослідження:** у теоретичних дослідженнях застосовано основні положення процесу формоутворення, математичного аналізу, теорії випадкових процесів, системного аналізу, теорії нечітких множин, а також результати і висновки авторів інших наукових досліджень. Комп'ютерну реалізацію математичних моделей проводили за допомогою програми MatLab, статистичний аналіз – Statistica 10.1. При проведенні експериментальних досліджень та для обробки результатів використано пакети стандартних програм комп'ютерної обробки експериментальних даних, регресивного та кореляційного аналізів. Для оцінки точності отриманих результатів і ступеня збіжності теоретичних і експериментальних досліджень використовувались методи математичної статистики.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Наукову новизну дисертаційної роботи становлять такі результати теоретичних та експериментальних досліджень:

- вперше запропонований системний підхід до підвищення ефективності процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом;
- вперше запропоновано проводити оцінювання ефективності роботи вібропресового обладнання з урахуванням всіх параметрів технологічного комплексу (заготовка, процес, машина) та визначені зв'язки між параметрами цих підсистем;

- запропоновано підходи оцінювання точності чисельних розрахунків надійності та ефективності роботи елементів ІВПМ;
- вперше створено модель для оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу на основі нечітких множин;
- отримали подальшого розвитку методика розрахунку параметрів інерційного навантаження заготовки та розрахунки конструктивних параметрів ІВПМ, на основі яких вперше застосували сучасні іноваційні Web-технології для розрахунку основних параметрів онлайн.

### **Практичне значення одержаних результатів**

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблена методика підвищення ефективності процесів формоутворення заготовок порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом для реальних умов роботи. Розроблена програма у вигляді Web-сторінки для розрахунку параметрів інерційного навантаження заготовки та розрахунку конструктивних параметрів ІВПМ.

Основні практичні результати роботи впроваджені на ПРАТ «Обласний завод залізобетонних виробів і конструкцій» м. Вінниця (акт впровадження від 17. 06. 2015 р.). На підставі проведених досліджень та створених моделей були виявлені шляхи удосконалення роботи вібропресового обладнання та запропоновано ряд заходів щодо поліпшення процесу формоутворення виробів, що підтверджено відповідним актом впровадження.

Отримані в роботі теоретичні положення та методики розрахунку використовуються на кафедрах «Металорізальні верстати та обладнання автоматизованих виробництв» ВНТУ та «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» ВНАУ.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати, які відображають суть дисертації, одержані автором самостійно. Постановку задач, аналіз і трактування результатів виконано спільно з науковим керівником та частково, зі співавторами публікацій.

В працях, що опубліковані у співавторстві, автору належить: [1] – обґрунтування математичних моделей для оптимізації технологічних систем; [2] – автоматизація контролю якості виробів машинобудування; [3] – дослідження технологічних процесів та системи; [4] – досліджено методи управління ефективністю та надійністю технологічних процесів в гнучких інтегрованих виробничих системах; [5] – розроблені методи діагностування вібраційних машин; [6] – запропоновані принципи підвищення ефективності обладнання з ГП; [7] – оцінено ефективність і надійність функціонування гідроімпульсного приводу; [8] – розроблені методи підвищення ефективності функціонування вібропресових машин; [9] – досліджено автоматизацію процесу вібраційних машин з гідроімпульсним приводом; [10] – створено модель системи підтримки прийняття рішень; [11] – проаналізовано та розроблено задачі моделювання для оптимізації структур та параметрів технологічних систем; [12] – проаналізовані технології з використанням вібрацій; [13] – запропоновані методи діагностування ресурсу роботи ГП ВМ; [14] – створено спосіб визначення ефективності функціонування гідроімпульсного приводу тривалої дії.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на наукових конференціях, а саме: Міжнародній науково-практичній конференції «Теоретичні і експериментальні дослідження в технологіях сучасного матеріалознавства та машинобудування», 2007 р., м. Луцьк; III Міжнародній науково-практичній конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці», 2008 р., м. Кременчук; Міжнародній науково-технічній конференції «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення», 2009 р., м. Севастополь; IX Міжнародній науково-технічній конференції «Вібрації в техніці та технологіях», 2009 р., м. Вінниця; Третій всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених і студентів «Інформаційні технології», 2010 р., м. Севастополь; VII Міжнародній науково-практичній конференції «Наука в інформаційному просторі», 2011 р., м. Дніпропетровськ; XVII Міжнародній науково-практичній конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» 2012 р., м. Черкаси; III Міжнародній науково-технічній - конференції «Земля України – потенціал енергетичної та екологічної безпеки держави», 2012 р., м. Вінниця; III Міжнародній науково-практичній конференції «Інновації та трансфер технологій: від ідеї до прибутку», 2012 р., м. Дніпропетровськ; XI Міжнародній науково-технічній конференції «Вібрації в техніці та технологіях» 2012 р., м. Полтава; III Міжнародній науково-технічній конференції ТК-2014 «Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів», 2014 р., м. Луцьк; XIX Міжнародній науково-технічній конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» 2014 р., м. Кіровоград; IV Міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» 2014 р., м. Чернігів; XLIV Регіональній науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (м. Вінниця, ВНТУ, 12–13 березня 2015 р.).

**Публікації.** Матеріали дисертаційної роботи опубліковано у 14 наукових працях, з них: 1 стаття у зарубіжному виданні; 7 статей у фахових наукових виданнях; 1 стаття в електронному виданні; 1 патент України; 4 тези доповідей на Міжнародних науково-технічних конференціях.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків і додатків. Повний обсяг роботи – 186 сторінок, у тому числі 153 сторінок основного тексту, 49 рисунків та 8 таблиць, список використаних джерел з 130 найменувань на 15 сторінках і 5 додатків на 18 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано важливість і актуальність розглянутої проблеми, сформульовані мета і задачі досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами. Викладено основні положення і результати, досягнуті під час виконання дисертаційної роботи, наведено характеристику наукової новизни та практичної цінності одержаних результатів, а також їх впровадження, виділено особистий внесок автора.

У **першому розділі** проведено аналітичний огляд робіт щодо аналізу сучасного стану процесів формоутворення та обладнання технологій формоутворення заготовок з порошкових матеріалів, у тому числі вібраційних.

Значний внесок у вирішення цих питань внесли Аксенова Г. І., Алієв І. С., Баглюк Г. А., Блехман І. І., Бейлін М. І., Белова С. В., Гогаєв К. О., Жучков А. П., Земськовий В. Д., Іващенко В. В., Іскович-Лотоцький Р. Д., Лаптев О. М., Кононенко В. А., Крюков Б. І., Кряжков В. К., Матвеев І. Б., Обертюх Р. Р., Огородніков В. А., Проніков О. С., Потураєв В. М., Рудь В. Д., Рябічева Л. О., Сивак І. О., Сомов Д. О., Сиріцин Т. О., Ушаков І. О., Халфін М. А., Фролов К. В., Штерн М. Б., Ям В. М. та інші вчені.

На основі аналізу наукових робіт було розглянуто процес формоутворення заготовок з порошкових матеріалів: проаналізовано процеси вібраційної та віброударної обробки; представлено структуру вібропресових формувальних машин, типів приводів та їхню характеристики. Вібраційну машину з гідроімпульсним приводом подано у вигляді технологічної системи, як сукупність її структурних складових та взаємозв'язків між ними, що упорядковані з метою виконання певної виробничої функції в умовах робочого режиму. На основі аналітичного огляду спеціальної літератури запропоновані і визначені основні напрямки підвищення ефективності процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні.

У **другому розділі** дисертаційної роботи розглянуто технологічний комплекс для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом. Це складна система, яка характеризується структурними та функціональними зв'язками між складовими простіших систем та всередині них.

В досліджуваному технологічному комплексі для віброударного пресування виділені три основні взаємозв'язані системи: об'єкт обробки (система І), робочий процес (система ІІ) і машина (система ІІІ), які об'єднуються в загальну систему технологічного комплексу (рис. 1).

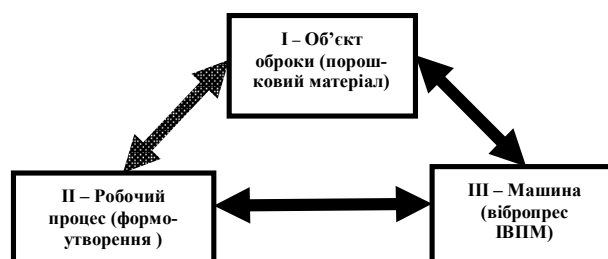


Рисунок 1 – Схема технологічного комплексу віброударного пресування

У випадку з ІВПМ об'єктом обробки є порошковий матеріал, який проявляє властивості метасистеми. Для останньої визначення проміжних станів в часі є складною і не завжди здійсненою задачею, у зв'язку з чим систему I необхідно подати у вигляді двох підсистем I.1 та I.2, що характеризують, відповідно, початковий (навішуння порошкового матеріалу) та кінцевий (заготовка виробу) стани об'єкта обробки. Система II функціонально залежить від системи I і являє собою технологічний процес пресування. Даний процес описується двома підсистемами II.1 та II.2, що встановлюють спосіб віброударного пресування (ВУП) та прийнятий основний режим його реалізації (рис. 2).

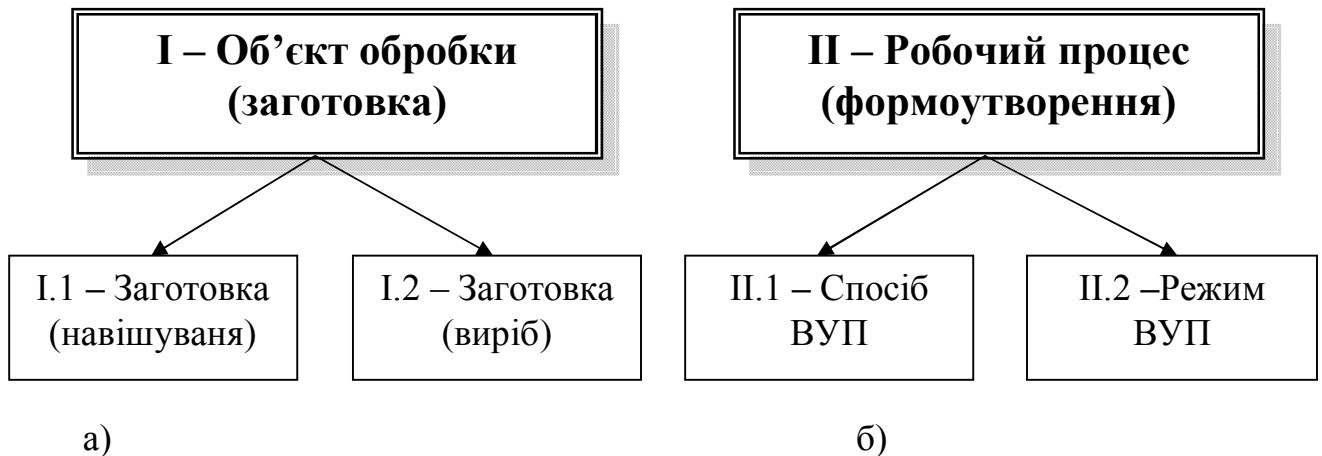


Рисунок 2 – Структурні схеми: а) система I – заготовка, б) системи II – робочий процес (формування)

Вибір системи III визначають системи I та II. У розглядуваному випадку, нею є ІВПМ, який ділиться на підсистеми гідроімпульсного приводу (III.1), рухомих ланок (III.2), вібробуджувача (III.3) і прес-форми (III.4). Згідно із системним підходом, кожна з виділених підсистем може бути поділена на ланки. Оскільки при створенні власне ІВПМ задачі проектування ГІП та його вібробуджувача розв'язуються лише у загальному вигляді, а прес-форма складається з двох основних деталей – матриці і пунсона, то на блок-схемі достатньо вказати лише підсистему III.2, яка містить станину з фундаментом (ланка III.2.1), вібростіл (основна робоча ланка III.2.2) і допоміжну робочу ланку III.2.3. При цьому кожна з вказаних ланок за необхідності поділяється на деталі (рис. 3).

При аналізі ІВПМ джерелом вхідної інформації є відомості про оброблюваний об'єкт, які містяться в підсистемі I.1 та передаються в систему II у вигляді логічної функції вибору режиму ВУП. Режим, в свою чергу, визначає робочий процес, з врахуванням параметрів якого проводиться вибір машини конкретного типу (системи III).



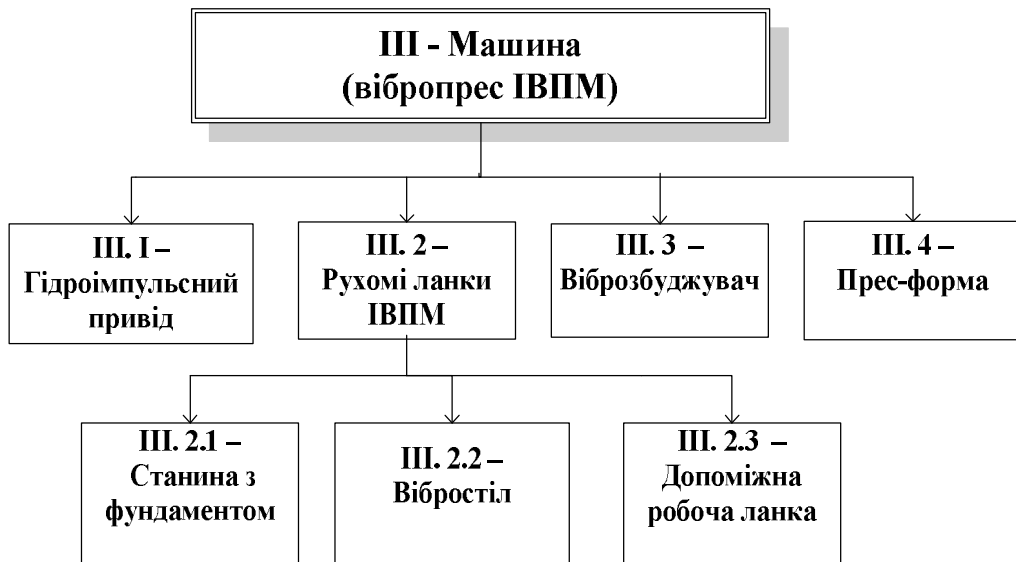


Рисунок 3 – Структурна схема системи III – машина вібропрес (ІВПМ)

З використанням системного підходу, під час подальшого аналізу вібропресового обладнання виділені і внутрісистемні функціональні зв'язки. Функціональні зв'язки складових систем I та II вібропресового обладнання в аналітичній формі розглянуті, головним чином, на рівні внутрішніх системних зв'язків між параметрами заготовки та ІВПМ. Сукупність міжсистемних функціональних зв'язків досліджуваного обладнання в аналітичній формі, з урахуванням параметрів всіх складових систем є математичною моделлю робочого процесу ВУП, на основі якої можливе розв'язання задач його оптимізації.

Досліджено фізико-механічні властивості заготовок (система I) та виділено основні параметри цієї системи.

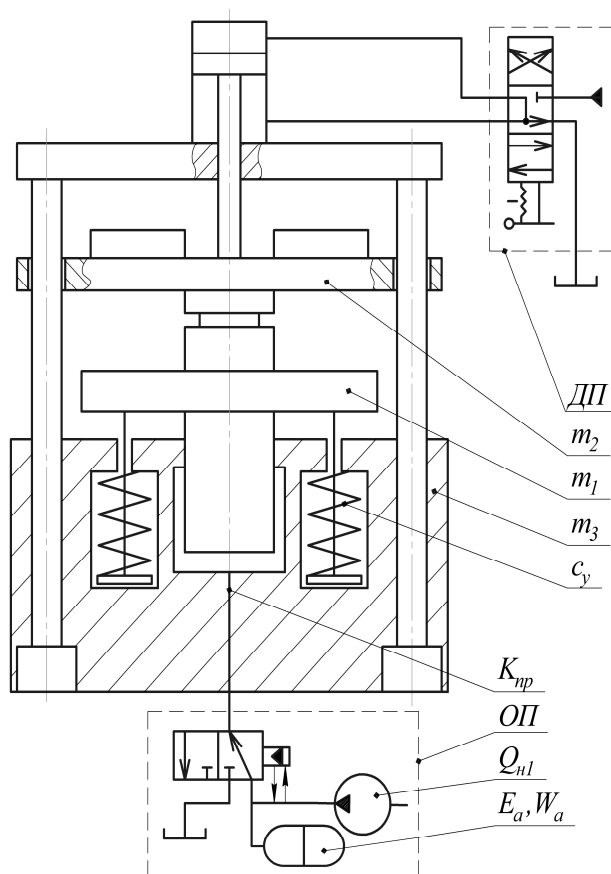
В результаті аналізу параметрів системи I та введення їх відносних і комплексних значень, сукупність параметрів системи I скоротилась до ряду  $\{\rho, a, R_0, S_{заг}\}$ , що враховує відносну щільність  $\rho$ , лінійний середньостатистичний розмір частинки матеріалу  $a$ , геометричний фактор  $R_0$ , площу відкритої поверхні з боку пуансона  $S_{заг}$ . Аналогічно виділено параметри робочого процесу і машини. Проведений аналіз робочих режимів ІВПМ з різними схемами підключення віброзбуджувача показав, що в процесі ВУП дані режими однозначно визначаються характером зміни зусилля навантаження заготовки і можуть бути подані за аналогією з режимами інерційного навантаження. Було визначено три основних режими пресування ВУП-I, ВУП-II, ВУП-III. Огляд основних робочих режимів ІВПМ зумовлено різною ефективністю формоутворення ідентичних заготовок при їхньому використанні (різними значеннями щільності, нерівнощільності і т. д.).

Режим ВУП, в нашому дослідженні, є системою II (робочий режим), що характеризує спосіб і режим силового впливу системи III на систему I. Тому виділимо основні параметри системи II: зусилля додаткового статичного навантаження заготовки  $P_{ст}$ , максимальне зусилля навантаження заготовки  $F_{з,max}$ , в процесі ВУП заготовки, загальне число ходів робочого столу ІВПМ  $n$  і частоту

$f_p$  їх здійснення. Причому параметри  $n$  та  $f_p$  можна об'єднати і описати одним параметром, що характеризує повний час робочого процесу ( $t_{\text{вyn}} = n \cdot f_p^{-1}$ , с). Отримали -  $\{F_{z, \text{max}}, P_{\text{см}}, \tau_0, t_{\text{вyn}}\}$ .

Система III – ІВПМ характеризується своїми властивостями і зв'язками. Саме від системи III залежить і робочий режим, і якість заготовки.

В результаті аналізу конструктивних схем ІВПМ та попереднього аналізу взаємодії їх рухомих ланок з врахуванням особливостей використання основного і додаткового гідроприводів представлено узагальнену структурну схему ІВПМ (рис.4). Систему III характеризують параметри гідроімпульсного



приводу (ГІП): енергія одноциклового гідроаккумулятора  $E_a$ ; об'єм гідросистеми  $W_a$ ; коефіцієнт пружності  $K_{np}$ ; подача робочої рідини від насоса  $Q_{nl}$ ; тиск спрацьовування віброзбуджувача  $p, p_2$ ; маса рухомих ланок  $m_1, m_2, m_3$ ; жорсткість пружних елементів  $c_y$ . Параметри прес-форми аналогічні геометричним параметрам заготовки і враховуються в системі I (об'єкт обробки). Відомі аналітичні залежності, що установлюють зв'язок між вказаними параметрами системи III дозволяють однозначно обрати серед них основні. До основних параметрів системи III віднесли енергію  $E_a$ , маси  $m_1, m_2$  та жорсткість пружин повернення  $c_y$ . Використовуючи відношення  $m_2/m_1 = \alpha$  ( $m_2 = \alpha m_1$ ), параметри конструкції ІВПМ при незмінній масі робочого столу доцільно записати

як  $m_1, \alpha \cdot m_1, c_y$ . ОП – основний привід, ДПІ – допоміжний привід. Для системи III сукупність основних параметрів має вигляд  $\{E_a, m_1, \alpha m_1, c_y\}$ .

Рисунок 4 – Структурна схема ІВПМ

Конструктивне виконання моделі ІВПМ та опис її параметрів дає можливість вибору різних режимів інерційного навантаження під час відпрацювання технологічних процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів способом ВУП, що дозволяє оцінити ефективність їх застосування.

**У третьому розділі** проведено оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу. Систему подано як систему тривалої дії та систему короткочасної дії. Система тривалої дії виконує деяке потрібне від неї завдання протягом інтервалу часу тривалістю  $t_0$ , починаючи з деякого  $t$ . Ефективність функціонування такої системи залежить від конкретної реалізації процесу зміни станів системи протягом цього періоду.

Саме система III – ІВПМ, від якої залежить система I і система II, характеризується зміною станів системи протягом робочого періоду. Можливі стани та переходи цієї системи показали у вигляді графа на рис. 5.

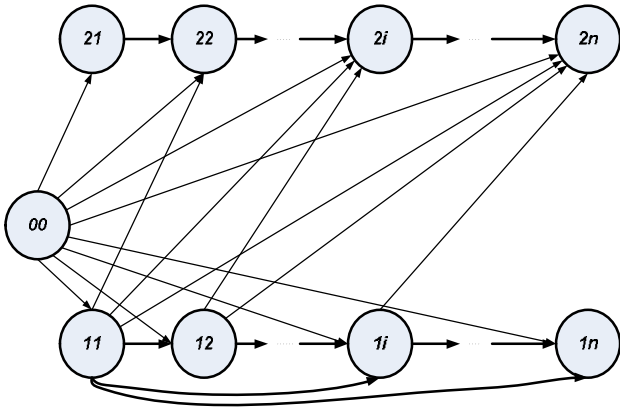


Рисунок 5 – Можливі стани та переходи системи ІВПМ

Ймовірність перебування системи ІВПМ в момент часу  $t$  в справному стані дорівнює  $P_{00}(t)$ . Ймовірність перебування системи ІВПМ в момент часу  $t$  в несправному стані небажаної відмови  $1i$  за умови, що до моменту часу  $t$  система ІВПМ ні разу не потрапляла в несправний стан хибної відмови, дорівнює  $Q_1(t) = \sum_{i=1}^n P_{1i}(t)$ . Ймовірність переходу системи ІВПМ за час  $t$  у стан хибної відмови  $2i$  зі справного стану дорівнює  $Q_2(t) = \sum_{i=1}^n P_{2i}(t)$ . Виходячи з

властивості лінійності зображень Лапласа, отримаємо:  $Q_1(s) = \sum_{i=1}^n P_{1i}(s); Q_2(s) = \sum_{i=1}^n P_{2i}(s)$ .

Отримано структурно-параметричну модель системи ІВПМ формоутворення, що описується слідуючою системою диференціальних рівнянь:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dP_{00}(t)}{dt} &= -\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i\right)P_{00}(t); \\ \frac{dP_{11}(t)}{dt} &= -\left(\sum_{i=2}^n 1i\right)P_{11}(t) + R_{11}\lambda_i P_{00}(t); \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{dP_{1i}(t)}{dt} &= -\left(\sum_{j=i+1}^n \lambda_{ji}\right)P_{1i}(t) + R_{1i}\lambda_i P_{00}(t) + \sum_{j=1}^{i-1} R_{1ji}\lambda_{ji}P_{1j}(t); \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{dP_{1n}(t)}{dt} &= R_{1n}\lambda_n P_{00}(t) + \sum_{j=1}^{n-1} R_{1jn}\lambda_{jn}P_{1j}(t); \\ \frac{dP_{21}(t)}{dt} &= R_{21}\lambda_1 P_{00}(t); \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{dP_{2i}(t)}{dt} &= R_{2j}\lambda_i P_{00}(t) + \sum_{j=1}^{i-1} R_{2ji}\lambda_{ji}P_{1j}(t); \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{dP_{2n}(t)}{dt} &= R_{2n}\lambda_n P_{00}(t) + \sum_{j=1}^{n-1} R_{2jn}\lambda_{jn}P_{1j}(t). \end{aligned} \right. \quad (1)$$

де  $P_{00}(t)$  – ймовірність знаходження системи у момент часу  $t$  в справному стані (00) при умові, що до цього моменту часу системи ні разу не знаходилась в стані  $2i$ ;  $P_{2i}(t)$  – ймовірність знаходження системи у момент несправному стані  $2i$ ;  $R_{1i}$  – ймовірність відмови системи виду 1 при відмові елемента з індексом  $i$ ;  $R_{2i}$  – ймовірність відмови системи виду 2 при відмові елемента з індексом  $i$  ( $R_{1i} + R_{2i} = 1$ );  $R_{1ji}$  – ймовірність того, що при відмові елемента з індексом  $i$  відмови системи буде виду 1 та при цьому серед індексів елементів, які відмовили до моменту часу  $t$  індекс  $j$  є

максимальним;  $R_{2ji}$  – ймовірність того, що при відмові елемента з індексом  $i$  відмова системи буде виду 2 та при цьому серед індексів елементів, які відмовили до моменту часу  $t$  індекс  $j$  максимальним;  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов  $i$ -го елемента системи, якщо цей елемент відмовив першим;  $\lambda_{ji}$  – інтенсивність відмов  $i$ -го елемента при умові, що до моменту часу  $t$  уже існують несправні елементи у системі, відмовив також елемент з номером  $j$  більшим номерів інших несправних елементів, але меншим номера  $i$ .

Описавши математичну модель ІВПМ, який є підсистемою технологічного комплексу, розроблено загальну модель, яка враховує вхідні та вихідні параметри для оцінювання ефективності функціонування всього процесу.

Оцінювання ефективності функціонування вібропресового обладнання належить до категорії складних задач внаслідок того, що виникає потреба в урахуванні множини вхідних параметрів  $X$  і вихідних параметрів  $N$  та їх функції перетворення  $F: N$ . Запропоновано розв'язувати такі задачі шляхом декомпозиції складної функції на послідовність простіших так, що функції нижчих рівнів однозначно ідентифікують певні параметри у функціях вищих рівнів. Розв'язання задачі стає можливим тоді, коли розв'язки всіх задач нижчих рівнів є отриманими.

Загальна структурна модель процесу оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу показана на рис. 6.

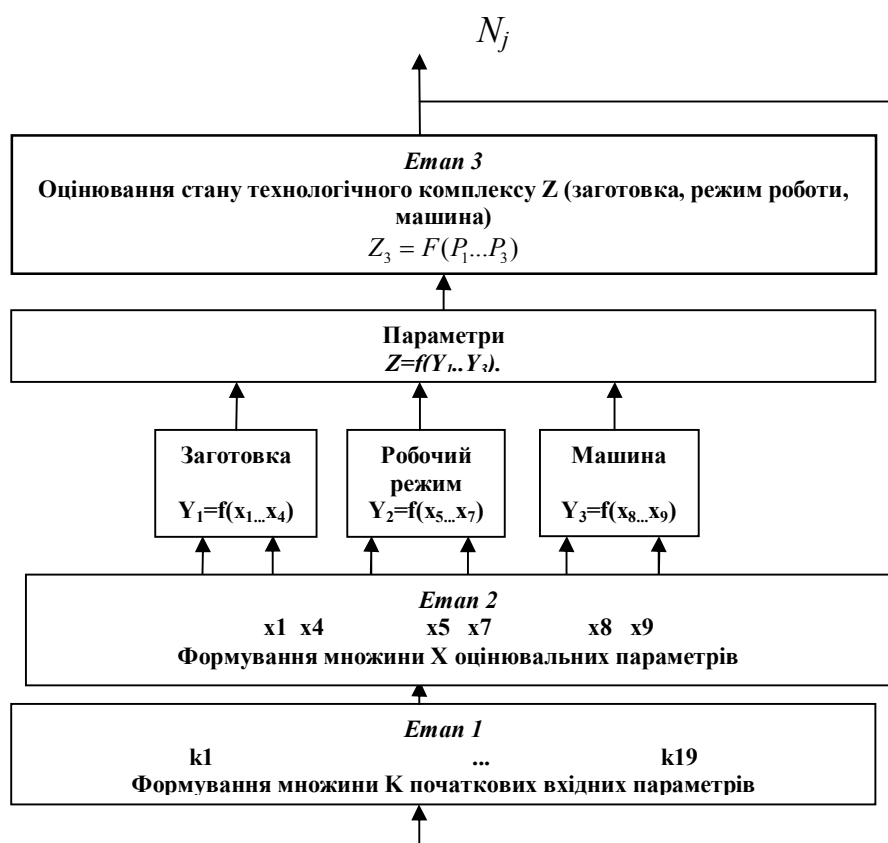


Рисунок 6 – Загальна структурна модель процесу оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу

Сформовано множини вхідних і вихідних параметрів. Ці множини охоплюють широкий спектр основних технологічних параметрів, а також задовольняють умовам повноти, дієвості та мінімальності. На основі цих вхідних параметрів сформована множина  $X$  оцінювальних параметрів технологічного комплексу (табл.1).

Таблиця 1 – Множина оцінювальних параметрів технологічного комплексу

Назва показника	Позначення показника	Вхідні параметри
$Y_1$		
Щільність заготовки (кг/м <sup>3</sup> )	$x_1$	$k_1/k_2$
Лінійний середньостатистичний розмір частинок матеріалу (м)	$x_2$	$k_3$
Геометричний фактор початкового стану заготовки	$x_3$	$k_4$
Площа відкритої поверхні (м <sup>2</sup> )	$x_4$	$k_5$
$Y_2$		
Питоме статичне зусилля (МПа)	$x_5$	$k_6*k_7/k_5$
Тривалість ударного імпульсу (с)	$x_6$	$\frac{2k_7 \cdot k_8}{k_8 \cdot \sqrt{\frac{k_{10}}{k_{12}}} - k_8 \cdot \sqrt{\frac{k_{11}}{k_{13}}}}$
Повний час робочого ходу (с)	$x_7$	$k_{14}*k_{15}$
$Y_3$		
Енергія одноциклового гідроаккумулятора (Дж)	$x_8$	$k_{16}*k_{17}/2k_{18}$
Інерційна маса (кг)	$x_9$	$k_{19}$

Отже, множина оцінювальних параметрів  $X$  забезпечує формування таких складних параметрів які оцінюють систему I (заготовка) - ( $Y_1$ ), систему II (робочий режим) - ( $Y_2$ ), систему III (машина) - ( $Y_3$ ).

$Y_1 = f(x_1 \dots x_4)$  – характеризується оцінювальними параметрами:  $x_1$  – щільність заготовки,  $x_2$  - лінійний середньостатистичний розмір частинки матеріалу,  $x_3$  - геометричний фактор для початкового стану заготовки,  $x_4$  - площа відкритої поверхні з боку пуансона.

$Y_2 = f(x_5 \dots x_7)$  – характеризується оцінювальними параметрами:  $x_5$  – питоме статичне зусилля,  $x_6$  – тривалість ударного імпульсу,  $x_7$  – повний час робочого ходу.

$Y_3 = f(x_8 \dots x_9)$  – характеризується оцінювальними параметрами:  $x_8$  – енергія одноциклового гідроаккумулятора,  $x_9$  – сумарна маса.

Щільність заготовки являє собою функцію  $x_1$ , що визначається за допомогою параметрів:  $k_1$  ( $m_{заг}$ ) – маса навішування порошкового матеріалу;  $k_2$  ( $W_a$ ) – об'єм заготовки після завершення її формоутворення; лінійний середньостатистичний розмір частинки матеріалу  $x_2=k_3$  ( $a$ ); геометричний фактор для початкового стану заготовки  $x_3=k_4$  ( $R_0$ ); площа відкритої поверхні з боку пуансона  $x_4=k_5(S_{заг})$ .

Питоме статичне зусилля являє собою функцію  $x_5$ , визначається за допомогою параметрів:  $k_6$  (m) – маса;  $k_7$  (g) – прискорення вільного падіння;  $k_5$  ( $S_a$ ). - площа відкритої поверхні; тривалість ударного імпульсу, що являє собою функцію  $x_6$ , визначається сукупністю параметрів:  $k_8$  ( $h_{30}$ ) – висота заготовки у початковий момент ВУП;  $k_9$  ( $h_{3к}$ ) – висота заготовки у кінцевий момент ВУП;  $k_{10}$  ( $H_{30}$ )

– модуль умовної пружності у початковий момент ВУП;  $k_{11} (H_{зк})$  – модуль умовної пружності у кінцевий момент ВУП;  $k_{12} (\rho_{30})$  – середня щільність заготовки у початковий момент ВУП;  $k_{13} (\rho_{зк})$  – середня щільність заготовки у кінцевий момент ВУП; повний час робочого процесу  $x_7$ , визначається за допомогою параметрів  $k_{14} (n)$  – загального числа ходів робочого столу та  $k_{15} (f)$  – частоти робочих ходів.

Енергія, що являє собою функцію  $x_8$ , визначається за допомогою параметрів:  $k_{16} (p)$  – тиск;  $k_{17} (W_0)$  – об'єм гідросистеми;  $k_{18} (K_{np})$  – коефіцієнт пружності; інерційна маса являє собою функцію  $x_9 = k_{19} (m)$ .

Оцінювальні параметри обчислюються на основі початкових вхідних параметрів. Таким чином визначено множину оцінювальних параметрів  $x_i$   $i = \overline{1,9}$ , а саме  $(x_1...x_9)$ , значення яких обчислюються на базі вхідних початкових параметрів  $(k_1...k_{19})$ .

В результаті регресійного аналізу і дослідження теоретичних даних при різних режимах віброударного пресування було отримано серію графічних залежностей для кількісних характеристик досліджуваного процесу (рис. 7), які виконувались засобами програми MatLab.

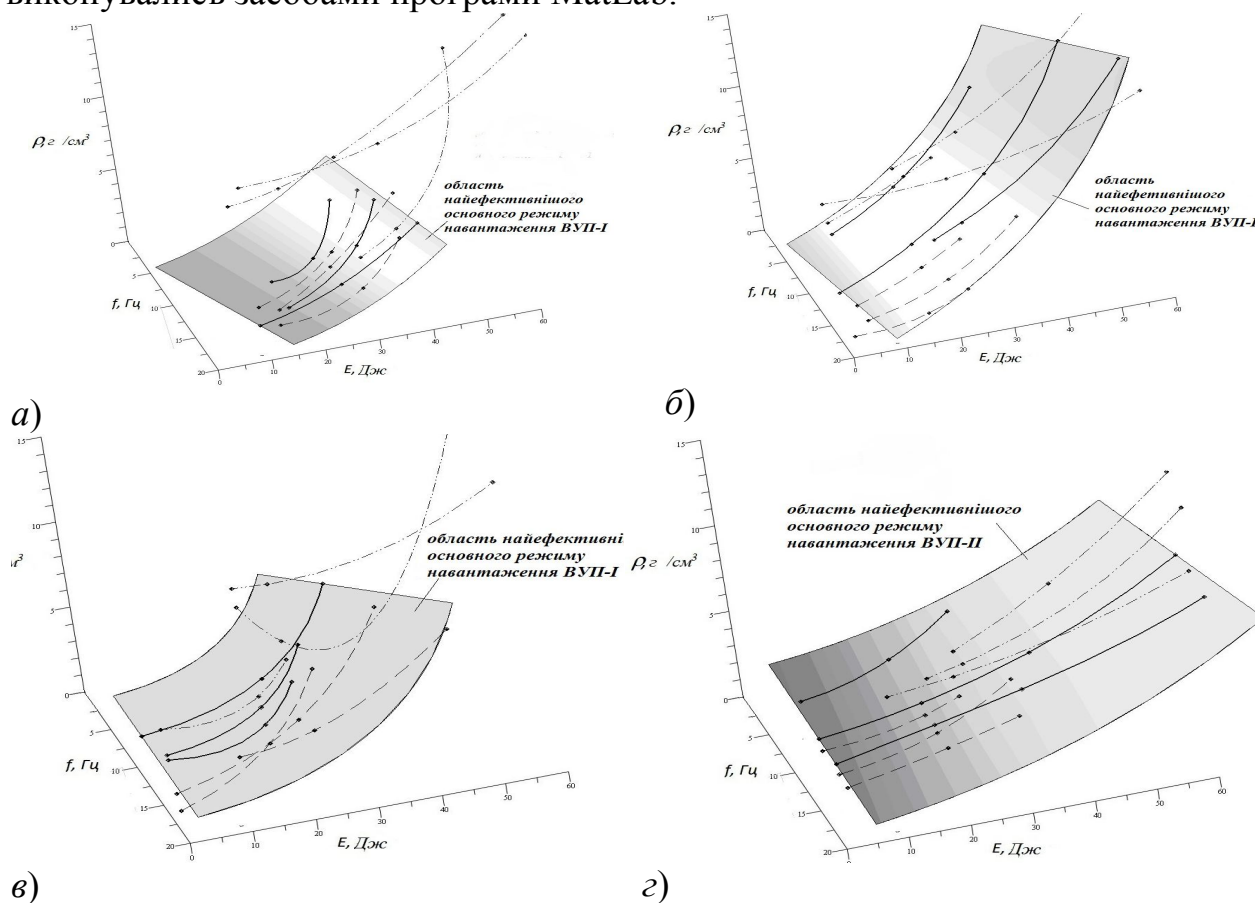


Рисунок 7 – Результати дослідження процесу пресування порошкового матеріалу при врахуванні вхідних параметрів: а) М1 – мінеральний порошок НЕФ (вологість 13%, зв'язка жирова 3,2%), б) М2 – мінеральний порошок НЕФ (вологість 2%, зв'язка відсутня), в) М3 – карбід кремнію зел. №4, 10, 12 М28-80%, бакеліт рідкий -10%, кокс нафтовий 10%, г) М4 – вогнетривкий шамот (вологість 13,8, зв'язка глиняна 31,2%).

Правильний вибір оцінювальних параметрів та вибір режиму ВУП забезпечує високу надійність ІВПМ, низьку металоємність і енергоємність та якість формованого виробу.

**В четвертому розділі** для розробки рекомендацій із застосування основних режимів ВУП та врахування основних параметрів всього технологічного комплексу на основі проведених технологічних експериментів на вібропресі ІВПМ-5Л, встановлено деякі закономірності впливу параметрів режимів на досягнення розрахункових значень середньої щільності  $\rho_{cp}$  та відносної нерівнощільності  $\varepsilon_p$  заготовок після завершення процесу їх формоутворення. Тобто виділено параметри щільності та нерівнощільності (системи I) як основні, які характеризує якість заготовки. Визначено найкращий режим вібропресування для кожного матеріалу.

Попередні експерименти показали, що в межах кожного з основних режимів ВУП параметри заготовки  $\rho_{cp}$  та  $\varepsilon_p$  істотно залежать від величини енергії  $E_a$  (система III), накопиченої в одноцикловому гідроаккумуляторі для здійснення робочого ходу ІВПМ. На вказаних режимах проведені експерименти з формоутворення заготовок виробів («еталонних» зразків) з порошкових матеріалів М1, М2, М3 і М4, однакові навішування яких ( $m_{заг} = 110$  г) засипались в циліндричний ( $\varnothing 55$  мм) контейнер прес-форми закритого типу. Тривалість процесу ВУП встановлювалася 3 с, 4 с, 5 с і 7 с. Ефективність кожного з режимів в залежності від тривалості навантаження оцінювалася за результатами вимірювань середньої щільності та відносної нерівнощільності трьох «еталонних» зразків з даного порошкового матеріалу, а також знаходження їх середньоарифметичних значень.

Аналіз результатів ВУП «еталонних» зразків показує, що найістотніше на величини їх середньої щільності та відносної нерівнощільності впливають значення енергії  $E_a$ , накопиченої в порожнині одноциклового гідроаккумулятора для здійснення одного робочого ходу ІВПМ, та енергії  $E_{повн}$ , витраченої на весь процес формоутворення. В межах конкретного режиму ВУП шляхом регулювання величини енергії  $E_a$  можна забезпечити зменшення або збільшення середньої щільності «еталонного» зразка з будь-якого вказаного вище порошкового матеріалу, до його недопресовування (Н) або перепресовування (П). Для постійної величини енергії  $E_a$  збільшення тривалості процесу ВУП дозволяє збільшувати середню щільність «еталонного» зразка до певної межі.

На основі проведених експериментальних досліджень пресування чотирьох заготовок з різних матеріалів «еталонних» зразків на ІВПМ-5Л було отримано числову базу даних якісних характеристик досліджуваного процесу.

Графічна інтерпретація отриманих значень методом тернарних графіків (рис. 8) в статистичному середовищі Statistica 10.1 показала, що для кожного типу порошкового матеріалу найефективнішими режимами віброударного пресування є: для мінеральних порошоків М1, М2 – ВУП – I; карбїду кремнію М3 – ВУП – III; вогнетривкого шамоту М4 – ВУП – II.

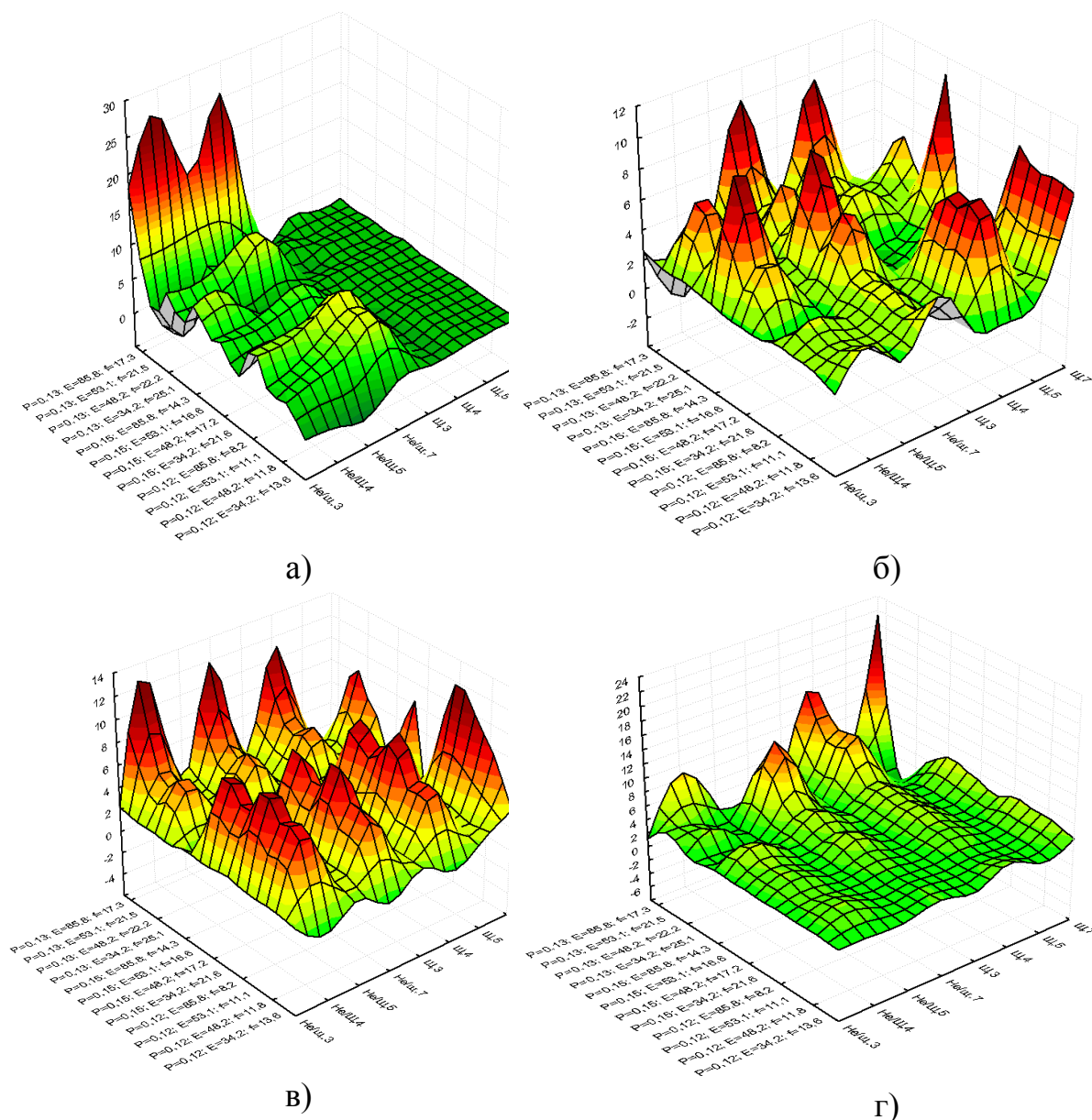


Рисунок 8 – Результати комплексного аналізу щільності та нерівнощільності отриманої заготовки з оброблених матеріалів в залежності від зміни параметрів тиску, частоти та енергії: а) матеріал М1; б) матеріал М2; в) матеріал М3; г) матеріал М4.

Статистичний аналіз експериментальних даних за методом комплексного ранжування вхідних параметрів, оцінки моди, квантеля розмаху та нормального розподілу залишків відносно прогнозованих даних засвідчив, що оптимальними технологічними параметрами обробки матеріалу М1, М2 є тиск 0,12 МПа, М3 – тиск 0,13 МПа, М4 – тиск 0,15 МПа, проте слід зазначити зростання досліджуваних показників щільності та нерівнощільності обробленого матеріалу зі збільшенням енергетичних характеристик обробки та зменшенням частоти технологічного впливу.

Проведений порівняльний аналіз відхилення теоретичних та експериментальних досліджень за енергетичними та технологічними параметрами досліджуваного обладнання показав, що розбіжність отриманих значень становить



5,8...9,7%, що підтверджує адекватність математичної моделі та її подальше використання у розрахунках.

**У п'ятому розділі** вперше створена програма функціональна частина якої запрограмована мовою Java Script та вбудована у Web-сторінку для оптимізації програмного комплексу на основі блок-схем, що є графічним зображенням розрахунку основних параметрів ІВПМ та параметрів заготовки. Програма призначена для автоматизації розрахунку параметрів інерційного навантаження заготовки та конструктивних параметрів ІВПМ. Переваги даної програми в тому, що вона розраховує основні значення технологічного комплексу, за якими можна аналізувати ефективність всього процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів. Застосовано сучасні інноваційні Web-технології для розрахунку основних параметрів технологічного комплексу онлайн.

Створено спосіб визначення ефективності функціонування гідроімпульсного приводу тривалої дії, в якому за рахунок введення нових операцій та їх послідовності розширюються функціональні можливості даного способу (Патент № 88882).

Для прийняття раціонального та обґрунтованого рішення використано функціонально-вартісний аналіз (ФВА). ФВА базується на системному дослідженні структури функцій об'єкта, зіставленні їх корисності та вартості реалізації з метою забезпечення необхідної корисності системи при мінімально можливих сукупних затратах. Прийняття рішень при ФВА здійснено на основі двох критеріїв – корисності та вартості. Перевагу корисності над вартістю має операція «вибір режиму пресування». Вибір цієї технологічної операції забезпечить мінімізацію енергоємності технологічного процесу та якість заготовки з порошкового матеріалу.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішене науково-технічне завдання виявлення впливу структури та техніко-технологічних параметрів на підвищення ефективності процесів формоутворення заготовок порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом. За результатами досліджень зроблено такі висновки.

1. На основі аналізу сучасного стану функціонування вібраційних машин і вібротехнологій та процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів визначені напрямки досліджень з підвищення ефективності процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів.

2. В результаті дослідження кожної підсистеми технологічного комплексу (заготовка, робочий процес, машина) встановлено, що найдоцільнішим напрямком підвищення ефективності є системний підхід, який надав можливість оцінити параметри кожної підсистеми та визначити зв'язки між ними.

3. Розроблено модель на основі множин вхідних та вихідних параметрів для оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу. Побудовано метод оцінювання стану технологічного комплексу на базі математичного апарату нечітких множин.

4. Виконані експериментальні дослідження вібропресового обладнання з гідроімпульсним приводом для пресування порошкових матеріалів, де удосконалені підходи до оцінювання ефективності прийнятих рішень формоутворення заготовок з порошкових матеріалів.

5. Порівняльний аналіз відхилення теоретичних та експериментальних досліджень за енергетичними та технологічними параметрами досліджуваного обладнання показав, що розбіжність отриманих значень становить 5,8...9,7%. Це підтверджує адекватність математичної моделі та можливість її подальшого використання у розрахунках.

6. На основі теоретичних та експериментальних досліджень доведено, що для порошкових матеріалів М1, М2 ефективним є використання ВУП – I при  $P=0,12$  МПа; для порошкового матеріалу М3 – ВУП – III при  $P=0,13$  МПа; для порошкового матеріалу М4 – ВУП – II при  $P=0,15$  МПа. Це дозволило скоротити час обробки матеріалу, забезпечити мінімізацію енергоємності технологічного процесу і покращити якість заготовки.

7. На основі алгоритмів та побудованих блок-схем розроблена програма для автоматизації розрахунку основних параметрів інерційного навантаження заготовки та конструктивних параметрів ІВПМ у вигляді Web-сторінки за допомогою Java Script, яка відображає дані в глобальній мережі Internet.

8. Створено спосіб визначення ефективності функціонування гідроімпульсного приводу тривалої дії. В основу корисної моделі поставлено задачу створення такого способу, в якому за рахунок введення нових операцій та їх послідовності розширюються функціональні можливості способу. На запропоновану корисну модель отримано патент України.

9. Для прийняття раціонального та обґрунтованого рішення використано функціонально вартісний аналіз, що надало перевагу саме операції режиму пресування. Вибір цієї технологічної операції забезпечить мінімізацію енергоємності технологічного процесу та якість заготовки з порошкового матеріалу.

10. На підставі проведених досліджень та створених моделей, були виявлені шляхи удосконалення роботи вібропресового обладнання та запропоновано ряд заходів щодо поліпшення процесу формоутворення виробів на ПРАТ «Обласний завод залізобетонних виробів і конструкцій» (м. Вінниця), а також результати цих досліджень використовуються у навчальному процесі на кафедрах «Металорізальні верстати та обладнання автоматизованих виробництв» ВНТУ та «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» ВНАУ.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Веселовська Н. Р. Задачі математичного моделювання для оптимізації технологічних систем / Н. Р. Веселовська, В. М. Лисогор, О. В. Зелінська // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2006. – № 1. – Том 11.– С. 143-151.

2. Іскович-Лотоцький Р. Д. Автоматизований контроль якості виробів машинобудування / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – 2008. – Випуск 4/2008(51), частина 2. – С. 155—158.
3. Іскович-Лотоцький Р. Д. Спеціальні методи і технології контролю багатокординатного механообробного обладнання / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. Б. Струтинський, Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідравліка і пневматика». – 2009 – №2(24). – С. 83–88.
4. Іскович-Лотоцький Р. Д. Управління ефективністю та надійністю технологічних процесів в гнучких інтегрованих виробничих системах / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Вісник НТУУ «Київський технічний інститут машинобудування». – 2009 – С. 266–270.
5. Зелінська О. В. Методи діагностування вібраційних машин. / О. В. Зелінська // Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки. – 2010. – Випуск № 5. – С. 23–27.
6. Веселовська Н. Р. Загальні принципи підвищення надійності та ефективності діагностування обладнання з гідроімпульсним приводом / Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідравліка і пневматика» – 2012. – №1(35). – С. 103–108.
7. Зелинская О. В. Оценка эффективности и надежности функционирования гидроимпульсных приводов. / О. В. Зелинская // Журнал актуальной научной информации. «Аспирант и соискатель». – Москва, 2013. – № 6. – С. 150–155.
8. Іскович-Лотоцький Р. Д. Підвищення ефективності функціонування вібропреса з гідроімпульсним приводом / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Всеукраїнський НТЖ «Вібрації в техніці та технологіях». – 2015. – № 2(78). – С. 75–79.
9. Іскович-Лотоцький Р. Д. Автоматизація процесу діагностування вібраційних машин з гідроімпульсним приводом / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Міжнародна наук. технічна конф. «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення». – Севастополь : Видавництво СевНТУ, 2009. – С. 203–205.
10. Веселовська Н. Р. Створення адекватної моделі системи підтримки прийняття рішень / Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Інновації та трансфер технологій: від ідеї до прибутку» – Дніпропетровськ, 2012. – С. 189—190.
11. Зелінська О. В. Математичні задачі моделювання для оптимізації структур та параметрів технологічних і інформаційних систем / О. В. Зелінська // Матеріали II міжнародної науково-методичної конференції «Інноваційний розвиток: економіка, управління, інформаційні технології, право, освіта». – Вінниця, 2014. – С. 95–99.
12. Іскович-Лотоцький Р. Д. Сучасний стан впровадження безвідходних та маловідходних технологій з використанням вібрацій / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Збірник наукових праць III Мі-

жнародної науково-технічної конференції ТК-2014 «Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів» – ЛНТУ, 2014. – С. 28–30.

13. Зелінська О. В. Методи діагностування ресурсу роботи гідроімпульсного приводу вібропресової машини / О. В. Зелінська // Сучасні вібраційні технології, машини, обладнання та динамічні процеси в них. – 2013. – <http://www.vibrokonf.vntu.edu.ua>

14. Патент № 88882 Україна МПК (2014.01) G01M 13/00. Спосіб визначення ефективності функціонування гідроімпульсного приводу тривалої дії / Веселовська Н. Р., Зелінська О. В., Рубаненко О. О.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № U2013 09935 : заявл. 09.08.2013 ; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7.

## АНОТАЦІЯ

Зелінська О. В. Підвищення ефективності процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом. – 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, Вінниця, 2015.

Дисертаційна робота спрямована на підвищення ефективності процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом. Науковою основою вивчення зазначеної проблеми є системний підхід до технологічного комплексу (система I – заготовка; система II – робочий процес; система III – машина), сутність якого полягає в оціненні параметрів кожної системи та визначенні зв'язків між ними.

На основі запропонованого підходу сформульовані основні положення щодо підвищення ефективності процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом. Експериментальними дослідженнями доведено, що одержані наукові положення і результати роботи в цілому дають ефективні практичні результати та впроваджені на підприємстві.

Ключові слова: імовірність безвідмовної роботи, частота, процес вібраційної обробки, продуктивність, ефективність формоутворення заготовок, математична модель, нечіткі множини, моделювання процесів.

## АННОТАЦИЯ

Зелинская О. В. Повышение эффективности процессов формообразования заготовок из порошковых материалов на вибропрессовом оборудовании с гидроимпульсным приводом. – 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, Винница, 2015.

Диссертационная работа направлена на повышение эффективности процессов формообразования заготовок из порошковых материалов на вибропрессовом оборудовании с гидроимпульсным приводом.

Научной основой изучения данной проблемы является системный подход к технологическому комплексу (система I – заготовка, система II – рабочий процесс, система III – машина), сущность которого заключается в оценке параметров каждой системы и определении связей между ними. На основе предложенного подхода сформулированы основные положения по повышению эффективности процесса формообразования заготовок из порошковых материалов на вибропрессовом оборудовании с гидроимпульсным приводом.

Разработана модель на основе множеств входных и выходных параметров для оценки эффективности функционирования технологического комплекса. Построен метод оценки состояния технологического комплекса на базе математического аппарата нечетких множеств. Выполнены экспериментальные исследования вибропрессового оборудования с гидроимпульсным приводом для прессования порошковых материалов, где усовершенствованные подходы к оценке эффективности принятых решений формообразования заготовок из порошковых материалов. Сравнительный анализ отклонения теоретических и экспериментальных данных по энергетическим и технологическим параметрам исследуемого оборудования показал, что расхождение полученных значений составляет 5,8 ... 9,7%. Это подтверждает адекватность математической модели и возможность ее дальнейшего использования в расчетах.

На основе теоретических и экспериментальных исследований доказано, что для порошковых материалов M1, M2 эффективно использование ВУП – I при  $P = 0,12$  МПа; для порошкового материала M3 – ВУП – III при  $P = 0,13$  МПа; для порошкового материала M4 – ВУП – II при  $P = 0,15$  МПа. Это позволило сократить время обработки материала, обеспечить минимизацию энергоемкости технологического процесса и улучшить качество заготовки.

На основе алгоритмов и построенных блок-схем разработана программа для автоматизации расчета основных параметров инерционной нагрузки заготовки и конструктивных параметров ИВПМ в виде Web-страницы с помощью Java Script, которая отображает данные в глобальной сети Internet.

Для принятия рационального и обоснованного решения использовали функционально-стоимостной анализ (ФСА). ФСА базируется на системном исследовании структуры функций объекта, сопоставлении их полезности и стоимости реализации с целью обеспечения необходимой полезности системы при минимально возможных совокупных затратах. Принятие решений при ФСА осуществляли на основе двух критериев - полезности и стоимости. Предпочтение полезности над стоимостью имеет операция «выбор режима прессования». Выбор этой технологической операции обеспечит минимизацию энергоемкости технологического процесса и качество заготовки из порошкового материала.

Создан способ определения эффективности функционирования гидроимпульсного привода длительного действия. В основу изобретения поставлена задача создания такого способа, в котором за счет введения новых операций и их

последовательности расширяются функциональные возможности системы. На предложенную полезную модель получен патент Украины.

На основании проведенных исследований и созданных моделей были выявлены пути совершенствования работы вибропрессового оборудования и предложен ряд подходов по улучшению процесса формообразования изделий на ПРАТ «Областной завод железобетонных изделий и конструкций» (г. Винница).

Результаты экспериментальных и теоретических исследований в виде методов повышения эффективности процесса формообразования заготовок из порошковых материалов используются в учебном процессе на кафедрах «Металлорежущие станки и оборудование автоматизированных производств» ВНТУ и «Машины и оборудования сельскохозяйственного производства» ВНАУ. Экспериментальными исследованиями доказано, что полученные научные положения и результаты работы в целом дают эффективные практические результаты.

Ключевые слова: вероятность безотказной работы, частота, процесс вибрационной обработки, производительность, эффективность формообразования заготовок, математическая модель, нечеткие множества, моделирование процессов.

## ANNOTATION

Zelinska O. V. Increasing the efficiency of processes of powder materials work pieces' formation at vibro pressing equipment with hydro impulsive gear. – Manuscript.

The thesis for getting the scientific degree of Candidate of Technical Sciences on speciality 05.03.05 – pressure processing technologies and machinery. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2015.

The thesis is aimed at increasing the efficiency of processes of powder materials work pieces' formation at vibro pressing equipment with hydro impulsive gear.

The scientific basis for studying the defined problem is a systematic approach to technological complex (system I – work piece; system II – working process; system III – machine), the essence of which is in evaluation of each system parameter and determining their interconnection. On the basis of the suggested approach the main principles of increasing the efficiency of processes of powder materials work pieces' formation at vibro pressing equipment with hydro impulsive gear are formed. The experimental research proved that the received scientific principles and results of work in general give the efficient practical results implemented at the enterprise.

Key words: probability of infallible work, frequency, process of vibro processing, productivity, efficiency of work pieces' formation, modeling of processes.

Підписано до друку 08.10.2015 р. Формат 29,7×42 ¼.

Наклад 100 пр. Зам. № 2015-109.

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.