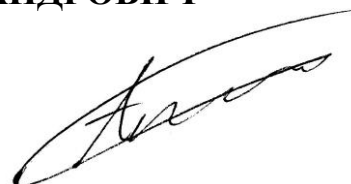


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

АНДРУСЕНКО ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ



УДК 681.58

**МОДЕЛІ І ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ
ВИРОБНИЦТВОМ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДЕТОНАТОРІВ**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі системотехніки і інформаційних технологій Шосткинського інституту Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник

кандидат технічних наук, доцент
Кулінченко Георгій Васильович,
Сумський державний університет, м. Суми,
доцент кафедри комп'ютерних наук

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Кузнецов Борис Іванович,
Науково-технічний центр магнетизму
технічних об'єктів НАН України, м. Харків,
завідуючий відділом проблем управління
магнітним полем

доктор технічних наук, професор
Канюк Геннадій Іванович,
Українська інженерно-педагогічна академія,
м. Харків, завідувач кафедри теплоенергетики і енергозбереження

Захист відбудеться 5 грудня 2013 р. о 16.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «4» листопада 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В. П. Северин

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з найбільш перспективних шляхів поліпшення технологічних показників гірничодобувних виробок є вдосконалення технічних засобів. Основним засобом ініціювання при вибухових роботах є електродетонатор (ЕД), для якого головними показниками якості є час уповільнення та безвідмовність.

Вдосконалення технологій вибухових робіт обумовлює необхідність поліпшення технічних характеристик ініціюючих виробів. Одним з головних показників якості ЕД, як основного засобу ініціювання вибухових речовин, є час уповільнення і безвідмовність. Наближення до верхньої межі допуску відхилення часу уповільнення ЕД особливо відчутно на великих інтервалах затримки (одиниці секунд), що не дозволяє у зазначених межах точно виконати синхронізацію ініціюючих моментів.

Конкуруючими напрямками вдосконалення піроуповільнювача є ЕД з електронною затримкою та ЕД з уповільнювачем на основі гелів. Проте впровадження перспективних технологій виготовлення піроуповільнювачів передбачає перебудову всього виробничого процесу виготовлення ЕД, що вимагає додаткового вкладення коштів. Незважаючи на обнадійливі перспективи уповільнювачів з електричною затримкою, як найбільш точних пристроїв ініціації вибуху, вартість цих уповільнювачів і допоміжних засобів до них в даний час на порядок перевищує вартість серійних піроуповільнювачів.

Основним етапом виробництва ЕД є етап пресування порошкових матеріалів. Існуючі апаратно – програмні комплекси дозволяють з високою достовірністю проводити автоматизацію процесів пресування в порошковій металургії, але зважаючи на кардинальні відмінності фізико – механічних властивостей і складових багатокомпонентних сумішей порошкових матеріалів (ПМ), використання програмних продуктів та алгоритмів управління для вдосконалення параметрів ініціюючих пристроїв потребує подальшого розвитку. Це в свою чергу обумовлює незаперечну значущість розробки апаратно – програмного комплексу для забезпечення автоматизації процесів управління виробництвом ініціюючих пристроїв, що і визначає актуальність теми дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі системотехніки і інформаційних технологій Шосткинського інституту Сумського державного університету за планами науково – дослідних робіт в рамках договорів з Шосткинським казенним заводом «Імпульс» за темами «Удосконалення конструкції електродетонаторів запобіжних. Етап 1» і «Удосконалення конструкції електродетонаторів запобіжних. Етап 2», в яких здобувач був виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є автоматизація процесу пресування піроуповільнювача при виробництві електродетонаторів на базі мікроконтролерної системи управління пресовим обладнанням при дотриманні оптимальних параметрів процесу за критерієм стабілізації часу спрацювання електродетонаторів.

Для досягнення зазначеної мети поставлено такі задачі:

- розробка математичної моделі процесу пресування порошкового матеріалу піроуповільнювача електродетонатора у закритій прес – матриці;
- розробка комплексної математичної моделі процесу керування пресуванням піроуповільнювача електродетонатора на гідравлічному пресі;
- синтез оптимального закону керування переміщенням пресуючого пуансона за критерієм мінімізації відхилення щільності порошкового матеріалу;
- синтез закону керування гідравлічним пресом для оптимального управління процесом виробництва піроуповільнювача електродетонатора;
- розробка схеми автоматизації управління пресовим обладнанням.

Об'єктом дослідження є процеси керування виробництвом електродетонаторів.

Предметом дослідження є моделі та методи автоматизації для поліпшення технічних показників процесу пресування піроуповільнювача.

Методи дослідження. Методи планування експерименту, статистичного аналізу, динамічної ідентифікації; теорії автоматичного керування динамічними об'єктами використані для синтезу цифрових регуляторів автоматизованої системи управління пресуванням; методи математичної статистики та експериментального моделювання – для оцінки ефективності розроблених моделей і методів автоматизації процесу виробництва електродетонаторів.

Наукова новизна одержаних результатів. Основний науковий результат роботи полягає в обґрунтованості методів підвищення якості керування процесом виробництва піроуповільнювача електродетонатора, за критерієм стабілізації часу спрацювання:

1. Вперше розроблена математична модель процесу пресування порошкового матеріалу піроуповільнювача електродетонаторів та експериментально перевірено її адекватність. Отримана модель дає змогу враховувати зміну коефіцієнта тертя ПМ о стінки прес – матриці, залежно від відстані шару ПМ до її стінок.

2. Отримала подальший розвиток комплексна математична модель керування гідравлічним пресом, де, на відміну від існуючих, здійснюється визначення параметрів гідравлічної системи для всіх стадій виробництва піроуповільнювача ЕД з урахуванням збурень викликаних процесом пресування порошкового матеріалу в закритій прес – матриці.

3. Отримали подальший розвиток методи синтезу оптимальних законів управління переміщенням пресуючого пуансона. Отримано алгоритм оптимального управління процесом пресування піроуповільнювача ЕД за критерієм мінімуму відхилення щільності порошкового матеріалу в ковпачку піроуповільнювача. Результати показали, що для мінімізації відхилення щільності пресштамп повинен переміщатися по лінійному закону (з постійною швидкістю пресування).

4. Отримав подальший розвиток метод управління установками пресування на основі адаптивних алгоритмів вибору режимів роботи системи електропривода, що дозволило реалізувати схему автоматизації виробництва електродетонаторів підвищеної точності.

5. Вперше синтезований закон керування гідравлічним пресом для опти-

мального управління виробництвом ЕД, при різних способах керування пресом: управління по положенню прес – штампа, управління по швидкості прес – штампа, управління по положенню і швидкості прес – штампа. З аналізу та синтезу отриманих алгоритмів керування можна зробити висновок про те, що всі способи управління забезпечують переміщення прес – штампа за законом близьким до оптимального.

6. Вперше адаптований програмно – мережевий підхід організації комплексу управління установками пресування, на відміну від існуючих аналогів дозволяє враховувати специфіку пресування і підбір рецептур порошкових матеріалів з дотриманням необхідних заходів безпеки роботи з вибуховими речовинами.

Практичне значення одержаних результатів при виробництві електродетонаторів полягає у створенні методики оцінки розподілу щільності по висоті заготовки безпосередньо при автоматизації процесу пресування. Впроваджені в експлуатацію установка пресування і випробувальна камера, що дозволяє коректувати рецептуру і проводити вхідний контроль параметрів продуктів. Розроблена інженерна методика генерації алгоритмів оптимального керування процесами пресування заготовок циліндричної форми при довільному співвідношенні діаметра до висоти зразка, яка реалізована у вигляді програмного забезпечення для управління процесами пресування ПМ.

Технічну новизну розроблених технічних засобів підтверджено актами впровадження на Шосткинському казенному заводі «Імпульс». Результати дисертаційної роботи використано в навчальному процесі кафедри системотехніки і інформаційних технологій Шосткинського інституту Сумського державного університету при підготовці лабораторного практикуму для студентів напрямку 6.050201 – «Системна інженерія».

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертації, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно. Серед них: дослідження функціональної схеми системи реєстрації експериментальної інформації швидкоплинних процесів для аналізу специфіки об'єкту управління; розробка інтерфейсу користувача, який дозволяє в автоматичному режимі проводити аналіз швидкоплинних сигналів; сформульована оптимізаційна задача управління процесом класифікації порошкового матеріалу в площині “заданий дисперсний склад / мінімальні енерговитрати”; синтезована комплексна модель управління процесом пресування порошкового матеріалу; синтезований алгоритм оптимального керування процесом пресування піроуповільнювача за критерієм мінімуму відхилення щільності порошкового матеріалу; досліджений інструментарій розробки автоматизованої системи управління експериментальною установкою пресування; експериментально випробувані системи управління і реєстрації параметрів швидкоплинних процесів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались та обговорювались на: VII Всеукраїнській науково – технічній конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів» (м. Кременчук, 2008 р.); VIII Всеукраїнській науково-технічній конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів» (м. Кременчук, 2009 р.); VI Міжнaro-

дній науково-технічній конференції «Актуальні питання теоретичної і прикладної біофізики фізики та хімії» (м. Севастополь, 2010 р.); Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Управління, автоматизація та навколишнє середовище» (м. Севастополь, 2010 р.); IX Всеукраїнській науково-технічній конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів» (м. Кременчук, 2010р.); Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Теоретичні та прикладні аспекти кібернетики» (м. Київ, 2011р.); XXIV Міжнародній науковій конференції «Математичні методи в техніці та технологіях» (Росія, м. Саратов, 2011 р.); Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених аспірантів і студентів, «Управління автоматизація та навколишнє середовище» (м. Севастополь, 2011 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції науковців, викладачів, інженерно-технічних працівників, аспірантів і студентів «Інтелектуальні системи в промисловості та освіті» (м. Суми, 2011 р.); I Всеукраїнській науково-технічній конференції «Хімічна технологія: наука та виробництво» (м. Шостка, 2011 р.).

Публікації. Результати дисертації опубліковані у 24 наукових працях, серед яких 6 – у фахових наукових виданнях України, 18 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 154 сторінки, включаючи 70 рисунків по тексту, 1 таблицю по тексту, 116 найменувань використаних джерел на 12 сторінках, 3 додатки на 5 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність дослідження, сформульована мета і визначені основні задачі роботи, дана характеристика наукової новизни і практичної значущості отриманих результатів, приведені відомості з практичного значення та апробації основних результатів роботи.

В **першому розділі** проведено аналіз науково – технічної інформації щодо характеристик різних конструкцій обладнання для пресування піроуповільнювачів ЕД, обґрунтовані напрямки досліджень. Систематизовані недоліки у різних конструкціях пресового обладнання та обґрунтована необхідність використання гідравлічних пресів. Проведено оцінку різних підходів до побудови систем автоматизації гідравлічних пресів і оцінений потенціал існуючих систем управління в реалізації ефективних алгоритмів керування процесом пресування, як основного при виробництві ЕД.

Другий розділ присвячений розробці та дослідженню математичних моделей процесу пресування піроуповільнювача ЕД та математичної моделі робочого циклу гідравлічного преса об'ємного управління.

На рис. 1 показана схема процесу пресування піроуповільнювачів ЕД.

ПМ в прес – матриці можна представити в якості в'язкопружного середовища, фізичний стан якого описується рівнянням у частинних похідних

$$\rho = E \frac{\partial \psi}{\partial z} + \eta \frac{\partial^2 \psi}{\partial t \partial z}, \quad (1)$$

де $\rho = \rho(r, \varphi, z, t)$ – функція тиску в циліндричних координатах r , φ , z в момент часу t ; $\psi = \psi(r, \varphi, z, t)$ – функція зміни щільності суміші; η – коефіцієнт динамічної в'язкості суміші; E – модуль пружності ПМ.

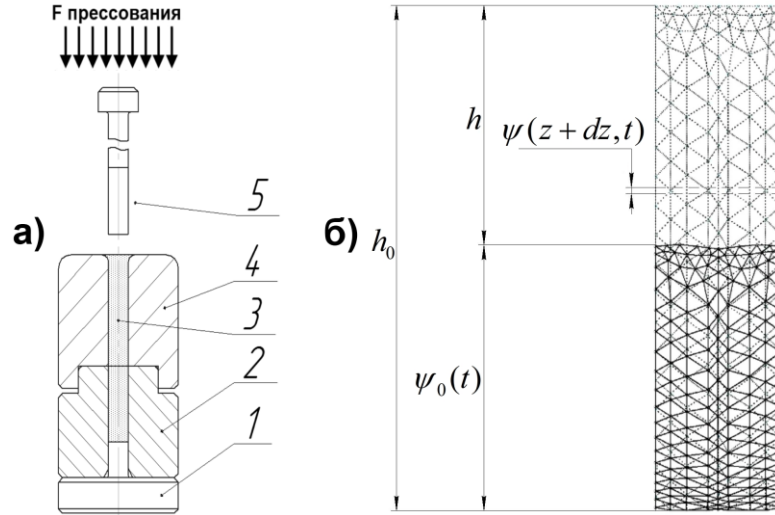


Рис. 1. Схема процесу пресування піроуповільнювачів ЕД:

а) – інструмент для пресування піроуповільнювача ЕД:

1 – піддон; 2 – матриця; 3 – багатокомпонентна суміш ПМ;

4 – направляюча; 5 – пуансон;

б) – зразок піроуповільнювача після завершення циклу пресування:

h_0 – висота засипки ПМ; h – висота запресовування ПМ; $\psi(z + dz, t)$ – функція

прирошення стиснення суміші в момент часу t ; $\psi_0(t)$ – стиснення суміші в

момент часу t ; z – координата переміщення пуансона

З використанням системи сил, діючих на елементарний шар суміші та рівняння в'язкопружного середовища (1) математична модель процесу пресування ПМ в закритій прес – матриці має вигляд

$$E \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 \psi}{\partial z^2 \partial t} + \frac{f(r, \varphi) \zeta}{R} \left(E + \eta \frac{\partial^2 \psi}{\partial z \partial t} \right) = \rho \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \quad (2)$$

з початковою умовою $\psi(r, z, 0) = 0$ та крайовими умовами $\psi(r, 0, t) = \psi_0(t)$, $\psi(r, H_0, t) = 0$, де $\psi_0(t)$ – функція переміщення пресуючого пуансона, $f(r, \varphi)$ – функція тертя суміші ПМ по стінкам прес – матриці.

Коефіцієнт тертя суміші ПМ апроксимується функцією $\varphi(r)$, у вигляді кулевидної форми з поверхнею F . Рівняння (2) перетвориться у кінцево – різницеve рівняння відносно функції $\psi = \psi(i, k + 1, l)$:

$$\left\{ \begin{aligned}
 &\psi(i, k+1, l) = [(E \frac{f(i)\zeta}{R} h_z \tau^2 + \eta \frac{f(i)\zeta}{R} h_z \tau + 2\eta\tau + \rho h_z^2 + 2E\tau^2) \psi(i, k, l) + \\
 &+ \rho\tau^2 \psi(i, k, l-2) + (\eta\tau + \eta \frac{f(i)\zeta}{R} h_z \tau) \psi(i, k+1, l-1) + \\
 &+ (-2\rho h_z^2 - 2\eta\tau - \eta \frac{f(i)\zeta}{R} h_z \tau) \psi(i, k, l-1) + \\
 &+ (-E\tau^2 - \eta\tau) \psi(i, k-1, l) + \eta\tau \psi(i, k-1, l-1)] / \\
 &[\tau(E\tau + \eta + E \frac{f(i)\zeta}{R} h_z \tau + \eta \frac{f(i)\zeta}{R} h_z)], \\
 &f(i) \in F.
 \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Крайові умови визначаються функцією

$$\psi_0(t) = (H_0 - h_K)(1 - (1 + t/\tau_0) \exp(-t/\tau_0)).$$

Щільність ПМ визначається як

$$\rho = \rho_0(1 - \partial\psi/\partial z).$$

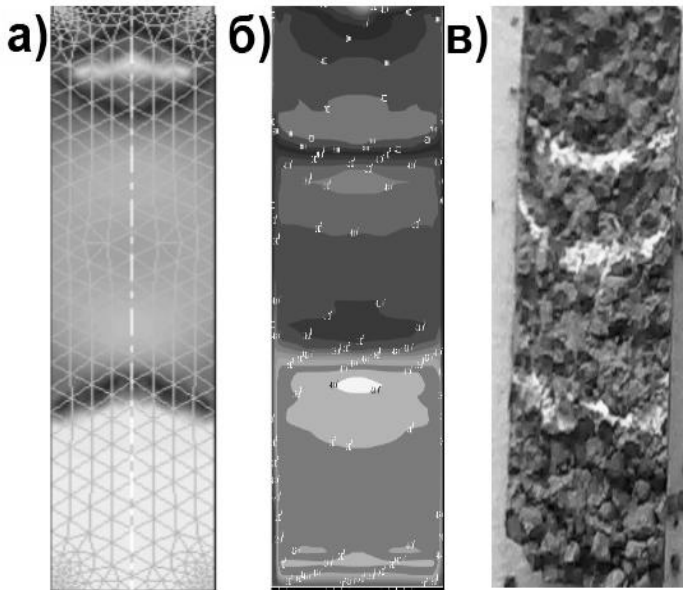


Рис. 2. Розподіл ПМ за об'ємом зразка (а); розподіл щільності ПМ по висоті зразка (б) в моделі ковпачка ЕД; розподіл ПМ в експериментальному зразку (в)

За результатами моделювання процесу пресування піроуповільнювача ЕД в закритій прес – матриці за виразом (3) отримані зображення розподілу щільності за об'ємом зразка, на підставі яких оцінюється якість процесу пресування (рис. 2).

Перевірку адекватності отриманої моделі виконано на підставі аналізу розподілу щільності за об'ємом піроуповільнювача ЕД. Ступінь адекватності моделі визначається за критерієм Фішера:

$F_B(v_1, v_2) = MS_D / MS_R$ – значення критерію Фішера при ступенях свободи v_1 і v_2 ; MS_D –

міра неадекватності моделі; MS_R – стандартна помилка оцінки.

Для визначення ступеня адекватності моделі $1 - \alpha$, де α – відсоток відхилення гіпотези про адекватність моделі, визначається значення інтеграла функції Фішера

$$1 - \alpha = \int_{F_B(v_1, v_2)}^{\infty} f(\omega) d\omega, \quad (4)$$

де $f(\omega)$ – функція Фішера при ступенях свободи v_1 і v_2 . Підстановки значень F_B та ступенів свободи v_1 і v_2 в (4), дає значення інтеграла Фішера рівне 0,851. Таким чином, отримана модель адекватна експериментальним даним з показником 0,851, що є задовільним значенням для застосування розробленої моделі при проектуванні пресового обладнання та для прогнозування падіння щільності по висоті піроуповільнювача, а також при використанні моделі для синтезу закону переміщення пресуючого пуансона.

Для моделювання процесу пресування піроуповільнювача ЕД на гідравлічному пресі об'ємного управління розроблені функціональна і структурна схеми, представлені на рис. 3 та рис. 4. На рис. 3 керуючий вплив, у вигляді електричного сигналу U_Y , подається на асинхронний двигун АД, який обертає гідравлічний насос ГН, що створює тиск P на регульований дросель ДР. Тиск ΔP з виходу ДР подається в робочу порожнину гідроциліндра ГЦ, де перетворюється в зусилля пресування $F_{\text{пр}}$, яке впливає на пресуючий інструмент ПИ. Переміщенням ПИ реалізує функцію пресування ПМ по координаті Z і змінює щільність ρ ПМ. Представлена на рис. 3 схема каналів управління установкою пресування структурно розділена на два основні блоки: *Блок 1* – модель установки пресування, *Блок 2* – модель пресування ПМ.

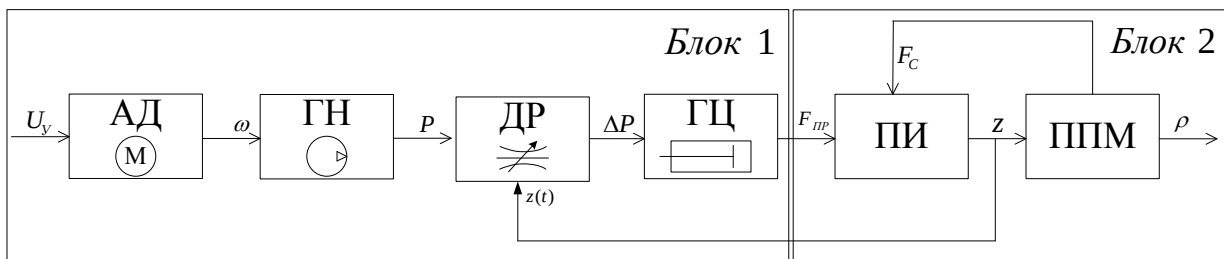


Рис. 3. Функціональна схема управління установкою пресування:

U_Y – керуючий вплив; АД – асинхронний двигун; ω – кутова швидкість обертання АД; ГН – гідравлічний насос; P – тиск, створений ГН; ДР – дросель регульований; ΔP – тиск на виході ДР; ГЦ – гідравлічний циліндр; $F_{\text{пр}}$ – зусилля пресування; ПИ – пресуючий інструмент; z – координата переміщення ПИ; ППМ – пресування ПМ; ρ – щільність ПМ

Структурна схема процесу пресування піроуповільнювача ЕД на гідравлічному пресі як об'єкті управління отримана з функціональної схеми та відповідних структурних схем і елементів електрогідравлічного перетворювача які входять до її складу, гідроприводу об'ємного управління, а також рівняння пресування ПМ в закритій прес – матриці.

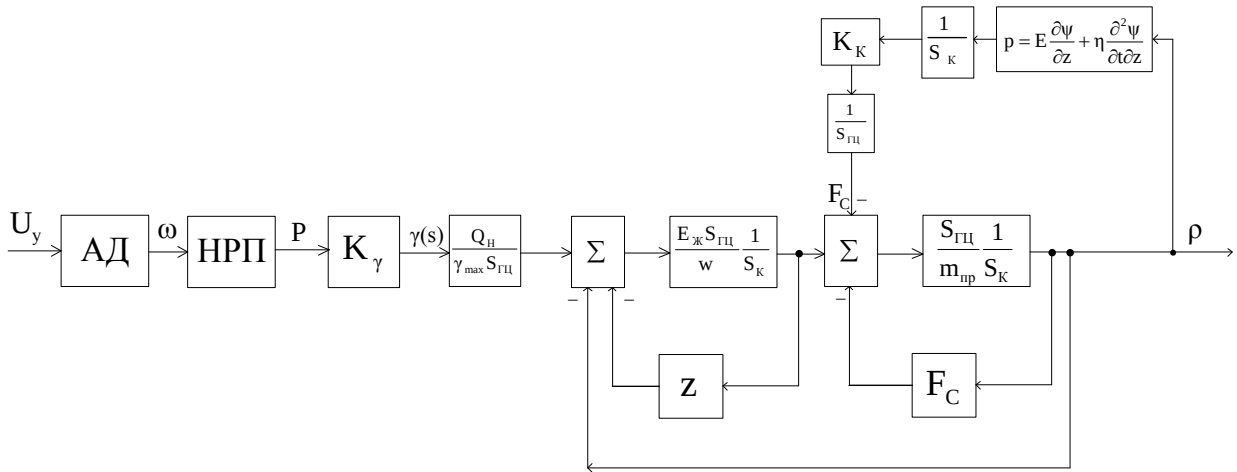


Рис. 4. Структурна схема процесу пресування піроуповільнювача ЕД на гідравлічному пресі як об'єкта управління

У **третьому розділі** наведено результати синтезу оптимального алгоритму управління процесом пресування піроуповільнювача ЕД і синтез закону керування гідравлічним пресом при пресуванні. Одним з найбільш важливих параметрів цього процесу є питомий тиск пресування, який, однак, не є універсальною характеристикою процесу і пресів. Таке становище зумовлено різноманітністю конструкцій прес – матриці і видами одержуваних виробів, які мають різні співвідношення геометричних розмірів, неоднаковий час прикладання зусиль і різні швидкості пресування. В якості найбільш прийнятної характеристики, що враховує перелічені вище особливості процесу пресування піроуповільнювача ЕД, прийнята рівномірність розподілу щільності ПМ, яка є визначальною для точності та надійності спрацювання ЕД.

Щільність на окремо взятому одиничному шарі ПМ пропорційна тиску $\rho = \rho(r, \varphi, z, t)$, що визначається за формулою (1). Тому для оптимального управління процесом пресування ПМ прийнято такий закон переміщення пуансона, який забезпечує мінімум відхилення щільності від середнього значення. Для оптимізації процесу пресування піроуповільнювача ЕД використане диференціальне рівняння (2) з розрахунком на одиничному шарі площею $dr \times d\varphi$, на якому не виявляється вплив зміни коефіцієнта тертя ПМ по стінкам прес – матриці $f(r, \varphi)$. Тоді рівняння (2) при $f(r, \varphi) = f = const$ прийме вигляд

$$E \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 \psi}{\partial z^2 \partial t} + \frac{f \zeta}{R} \left(E \frac{\partial \psi}{\partial z} + \eta \frac{\partial^2 \psi}{\partial z \partial t} \right) = \rho \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}. \quad (5)$$

Таким чином, синтезований алгоритм оптимального керування процесом пресування ПМ на підставі рівняння (5) повністю відповідає алгоритму оптимального керування, отриманому на підставі рівняння (2).

Розв'язання диференціальних рівнянь (1,5) при початкових і граничних умовах знаходиться застосуванням перетворення Лапласа. Після перетворень рівняння (1) має вигляд

$$\rho = E \frac{-2\alpha(e^{-2\alpha z + 2\alpha H_0})}{-1 + e^{2\alpha H_0}} \psi_0(t) + \eta \frac{-2\alpha(e^{-2\alpha z + 2\alpha H_0})}{-1 + e^{2\alpha H_0}} \cdot \frac{d\psi_0(t)}{dt}. \quad (6)$$

З позначеннями:

$$k_1 = E \frac{-2\alpha(e^{-2\alpha z + 2\alpha H_0})}{-1 + e^{2\alpha H_0}}, \quad k_2 = \eta \frac{-2\alpha(e^{-2\alpha z + 2\alpha H_0})}{-1 + e^{2\alpha H_0}}$$

за рівнянням в'язкопружного середовища (6) отримане рівняння

$$\Delta\rho = \int_0^{t_1} \left(k_1 \psi_0(t) + k_2 \frac{d\psi_0(t)}{dt} \right) \frac{d\psi_0(t)}{dt} dt. \quad (7)$$

Для знаходження функції $\psi_0(t)$, яка забезпечує переміщення пресуючої матриці з мінімальним відхиленням щільності ПМ запропоновано мінімізувати функціонал (7) при крайових умовах і обмеженнях:

$$\psi_0(0) = 0, \quad \psi_0(t_1) = H_0 - h_K = h > 0, \quad \frac{d\psi_0(t)}{dt} < \psi_{0\max}, \quad (8)$$

де H_0 – початкова глибина засипання суміші; h_K – висота піроуповільнювача.

Рішення варіаційної задачі (7,8) дає функцію переміщення пресуючої матриці у вигляді $\psi_0(t) = ht/t_1$. Аналіз цього розв'язку показує, що для мінімізації відхилення щільності ПМ в процесі пресування пуансон повинен переміщатися за лінійним законом з максимальною швидкістю, при якій не відбувається запресовування повітря.

Система автоматичного керування процесом пресування піроуповільнювача ЕД на гідравлічному пресі побудована за принципом управління положенням пуансона представлена на рис. 5.

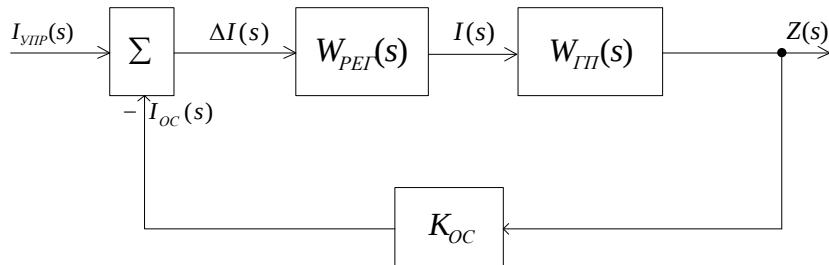


Рис. 5. Структурна схема системи автоматичного управління процесом пресування піроуповільнювача ЕД

Після підстановки відповідних передавальних функцій в цю структурну схему отримана передавальна функція системи автоматичного керування процесом пресування піроуповільнювача ЕД на гідравлічному пресі при управлінні

за положенням прес – матриці:

$$W(s) = \frac{Z(s)}{I_{YIP}(s)} = \frac{N(s)}{D(s)}, \quad (9)$$

$$N(s) = 74,25s^2 + 278,41s + 11,8,$$

$$D(s) = 6,28 \cdot 10^{-23} s^{11} + 4,53 \cdot 10^{-17} s^{10} + 1,487 \cdot 10^{-12} s^9 + 4,29 \cdot 10^{-9} s^8 + \\ + 1,944 \cdot 10^{-6} s^7 + 2,385 \cdot 10^{-4} s^6 + 1,128 \cdot 10^{-6} s^5 + 0,2256 s^4 + 3,430 s^3 + \\ + 14,541 s^2 + 24,99 s + 1.$$

З використанням отриманої математичної моделі процесу пресування піроуповільнювача ЕД (9) виконаний синтез оптимального закону керування, який являє собою зворотну задачу динаміки.

Реалізація (9) здійснюється мікропроцесорними засобами на основі розробленого програмного забезпечення.

Для рішення задачі керування необхідно, щоб система була керована і спостережувана, що і має місце в даному випадку, так як ранги матриць управління і спостереження дорівнюють порядку диференціального рівняння руху: $\text{rang } M_U = 11, \text{ rang } M_Z = 11$.

Зворотна задача динаміки розв'язана методом розкладання сигналів за базисними функціями на основі поліномів Лежандра, формулюється як задача математичного програмування:

$$\begin{cases} \int_0^T \left(r_i(t) - b_i \sum_{k=0}^l c_k^{u_i} p_k(t) \right)^2 dt \rightarrow \min_{c_k^{u_i}}, k = \overline{0, l}, i = \overline{1, n}, \\ u_{i\max} - |u_i(t)| \geq 0 \forall t \in [0, T]. \end{cases} \quad (10)$$

Розв'язком задачі (10) для системи управління за положенням прес-матриці є оптимальне управління:

$$u_{OPT}(t) = \sum_{k=0}^{11} c_k^{OPT} p_k(t), \\ u_{OPT}(t) = -0,974 \cdot 10^{-6} p_{11}(t) + 4,521 \cdot 10^{-5} p_{10}(t) - 0,0002944 p_9(t) + \\ + 0,0014729 p_8(t) - 0,0029754 p_7(t) + 0,00041995 p_6(t) + 0,0049285 p_5(t) - \\ - 0,0088423 p_4(t) + 0,015455 p_3(t) + 0,00019421 p_2(t) + \\ + 0,03549 p_1(t) + 0,043354 p_0(t).$$

Після підстановки поліномів Лежандра $P(t) = \{p_k(t) : k = \overline{0,11}\}$ визначено, що для реалізації оптимального управління процесом пресування піроуповільнювача ЕД на гідравлічному пресі при управлінні по положенню прес – матриці закон управління пресом має вигляд в реальному часі

$$u_{OPT}(t) = -1,0805 \cdot 10^{-6} t^{11} + 3,5431 \cdot 10^{-5} t^{10} - 0,00036797 t^9 + 0,0016258 t^8 + \\ + 0,002861 t^7 - 0,0011932 t^6 + 0,0088042 t^5 - 0,013471 t^4 + 0,019987 t^3 - \\ - 0,0019299 t^2 + 0,044596 t + 0,00068433 .$$

На рис. 6. представлено закон оптимального управління положенням прес – матриці та графіки еталонного і оптимального вихідних сигналів.

Аналогічно синтезовані алгоритми керування гідравлічним пресом об'ємного управління, що забезпечують реалізацію оптимального режиму пресування піроуповільнювача ЕД, при управлінні за швидкістю прес – матриці та управлінні за положенням і швидкістю прес – матриці. Результати аналізу та синтезу отриманих алгоритмів управління дозволяють зробити висновок, що всі способи управління забезпечують переміщення прес – матриці за законом, близьким до оптимального.

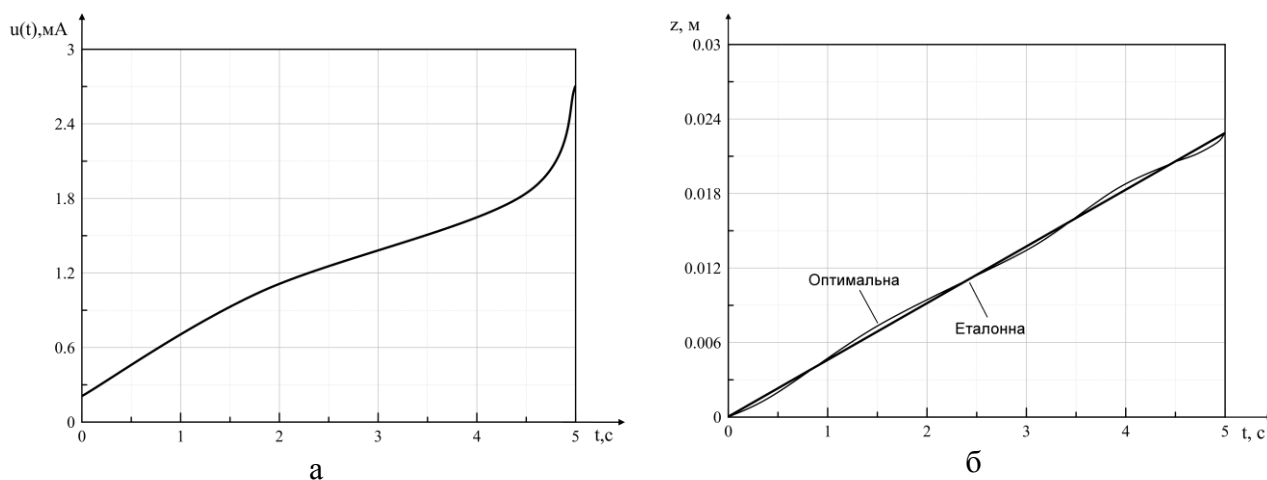


Рис. 6. Закон оптимального управління за положенням прес – матриці (а), графіки еталонного і оптимального вихідних сигналів (б)

Четвертий розділ містить результати синтезу мікроконтролерної системи автоматизації гідравлічного пресу для пресування піроуповільнювача ЕД, в основу якого покладені розроблені математичні моделі процесу пресування на гідравлічному пресі, а також основні принципи проектування мікроконтролерних систем автоматизації гідравлічних пресів.

Мікроконтролерна система автоматизації гідравлічного преса для пресування піроуповільнювача ЕД побудована як розподілена ієрархічна система, причому розподіл завдань між рівнями здійснюється на основі диференціації функцій, покладених на систему, та їх ранжируванням. У відповідності з цим всі задачі системи управління розподілено у дві групи, що віднесені до відпові-

дного рівня ієрархії дворівневої системи автоматизації.

В ході випробувань комплексу доопрацьована методика пресування ПМ з урахуванням технічних можливостей системи та фізичних властивостей пресованих матеріалів, яка полягає у витримці матеріалу в прес-матриці при заданих значеннях зусилля пресування протягом певного часу. Система здійснює контроль і реєстрацію зусилля пресування, щільності зразка на поточному етапі і загальну висоту запресовування, тиск масла в живильній системі гідроприводу.

Установка пресування ПМ включає в себе пульт оператора преса, пристрої контролю та управління, первинні перетворювачі (датчики) пресу, мережеве обладнання. Структурна схема системи управління приведена на рис. 7.

Комплекс пресування ПМ реалізує цифрове програмне управління гідравлічним пресом на операції запресовування ПМ в ковпачки – піроуповільнювачі ЕД, дозволяє проводити випробування, збір та аналіз статистики з метою корекції параметрів запресовування. Система управління установки пресування дозволяє задавати і підтримувати з необхідною точністю наступні параметри технологічного процесу:



Рис. 7. Структурна
схема
системи управління

- питоме зусилля пресування на піроуповільнювач з точністю до 1 Н;
- висоту запресовування кожного шару ПМ ($\pm 0,05$ мм);
- час утримання пуансона преса по досягненні заданих параметрів (0 – 600 с).

Мнемосхема АРМ оператора представлена на рис. 8. Мережеве обладнання забезпечує зв'язок АРМ оператора з установками пресування, які при необхідності можуть бути об'єднані в лінію пресування за допомогою мережі Ethernet.

Для оцінки результатів пресування використовувалась випробувальна станція яка відповідає вимогам ГОСТ 12.2.059-81 і розроблена випробувальна камера. Основними недоліками існуючих випробувальних станцій є відсутність засобів он-лайн моніторингу та програмного управління; каналів збору, передачі та обробки масивів даних, одержуваних з швид-

копінних процесів; формування бази даних результатів випробувань; відсутність ліній зв'язку, що забезпечують функціонування АРМ на безпечній відстані від об'єкта випробувань.

Випробувальна камера дає можливість реєструвати не тільки час горіння піроуповільнювачів, але й зміну в часі основних параметрів процесу: температури і тиску у випробувальній камері. При цьому температурне поле характеризує поширення теплової енергії після ініціації процесу горіння, а величина тиску у випробувальній камері (більш динамічний параметр) дозволяє оцінити характер і динаміку процесу горіння піроуповільнювача. Тим самим забезпечується можливість оцінки характеристик готових виробів без кількох фінальних стадій виробництва та стадії польових випробувань ЕД.

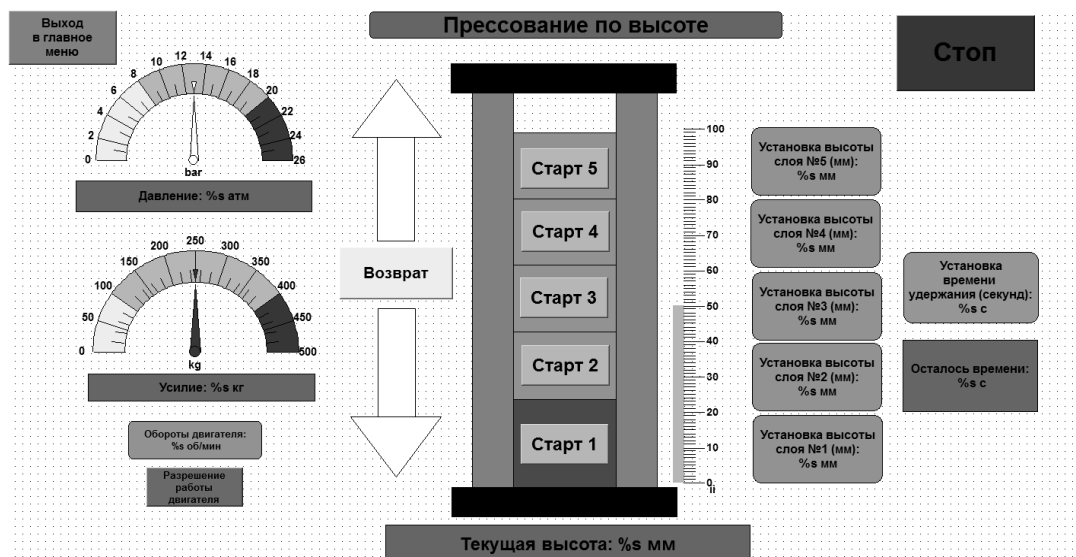


Рис. 8. Мнемосхема АРМ оператора

Розроблений АПК використовується для відпрацювання технології виробництва промислових зразків ЕД. У таблиці наведені результати випробувань промислових серійних і експериментальних зразків, отриманих на спроектованій установці.

Таблиця

Результати промислових випробувань отриманих зразків ЕД

Тип електродетонатора	Серія уповільнення	Час спрацювання, мс			
		Номінальне	Допустимий діапазон за ТУ	Діапазон промислових зразків	Діапазон експериментального розробленого АПК
ЕД-УД	7	500	50-120	110	19
ЕД-УД	10	1500	250-450	380	80
ЕД-УД	13	6000	400-600	560	198

Проведена серія промислових випробувань показала можливість значного зменшення розкиду часу спрацювання ЕД уповільненої дії до 3-х разів. Програмне керування процесом пресування дозволяє істотно знизити вплив людського та частково апаратних факторів на параметри піроуповільнювача ЕД, що підвищує відтворюваність результатів і керованість процесу в цілому.

У **додатках** наводяться матеріали щодо впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню науково – практичної задачі автоматизації процесу пресування піроуповільнювача в процесі виробництва ЕД на базі мікроконтролерної системи керування пресовим обладнанням, при дотриманні оптимальних параметрів процесу за критерієм стабілізації часу спрацювання ЕД.

Основні результати роботи полягають в наступному:

1. Розроблена адекватна математична модель процесу пресування піроуповільнювача ЕД в закритій прес – матриці, що враховує зміну коефіцієнта тертя порошкової суміші об стінки прес – матриці, в залежності від відстані ділянки суміші до її стінок.

2. Синтезований оптимальний закон керування переміщенням пресуючої матриці для пресування піроуповільнювача ЕД, що дозволяє мінімізувати відхилення щільності в готовому зразку та застосований на реальному об'єкті.

3. Синтезовані закони керування гідравлічним пресом для оптимального управління процесом пресування за критерієм мінімуму відхилення щільності порошкового матеріалу в ковпачку піроуповільнювача.

4. Синтезована структура мікроконтролерної системи автоматизації, що забезпечує автоматичне пресування і підтримку оптимальних режимів пресування піроуповільнювача ЕД на гідравлічному пресі.

5. Розроблені мікроконтролерні пристрої і необхідне програмне забезпечення для керування гідравлічним пресом, що дозволяють створювати на їх базі розподілені автоматизовані системи управління гідравлічними приводами різних областей застосування.

6. Науково обґрунтовані практичні рекомендації щодо пресуванню піроуповільнювача ЕД: незалежно від типу преса для забезпечення оптимальної характеристики переміщення пресуючої матриці необхідно прагнути до лінійного закону переміщення пресуючої матриці; при проектуванні систем керування гідравлічним пресом для пресування піроуповільнювача ЕД необхідно в якості керуючих параметрів використовувати переміщення та швидкість пресуючої матриці, що підвищує якість управління.

7. Результати роботи впроваджені та використовується на Шосткинському КЗ «Імпульс» для підбору рецептур і відпрацювання методик пресування ПМ з різними характеристиками.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Андрусенко А.А. Стенд для оценки параметров быстroteкущих процессов / Г.В. Кулинченко, В.В. Гладкий, А.А. Андрусенко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – 2008. – № 49. – Том 1. – С. 50–53.

Здобувач дослідив функціональну схему системи реєстрації експериментальної інформації швидкоплинних процесів.

2. Андрусенко А.А. Система автоматизации вакуумной установки / Г.В. Кулинченко, А.А. Андрусенко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – 2008. – № 49. – Том 1. – С. 54–57.

Здобувачем досліджена система керування параметрами вакуумної установки та укомплектовані засоби дистанційного вимірювання.

3. Андрусенко А.А. SCADA система в управленні процесом пресування / Г.В. Кулинченко, В.А. Багута, В.В. Гладкий, Г.М. Худолей, А.А. Андрусенко // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДУ. – 2010. – № 61. – Том 1. – С. 39–42.

Здобувач розробив інструментарій автоматизованої системи управління експериментальною установкою пресування.

4. Андрусенко А.А. Управление процессом классификации замедляющего состава / Г.В. Кулинченко, А.А. Андрусенко // Вестник СевНТУ. – Севастополь: СевНТУ. – 2010. – № 108. – С. 141–144.

Здобувач сформулював оптимізаційну задачу управління процесом класифікації порошкового матеріалу.

5. Андрусенко А.А. Модель управления процессом прессования порошковых материалов / Г.В. Кулинченко, А.А. Андрусенко // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут". – 2012. – № 54. – С. 89–94.

Здобувачем синтезована комплексна модель управління процесом пресування порошкового матеріалу.

6. Андрусенко А.А. Синтез оптимального управления процессом прессования порошковых материалов / Г.В. Кулинченко, А.А. Андрусенко // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут" – 2012. – № 55. – С. 69–75.

Здобувач синтезував алгоритм оптимального керування процесом пресування за критерієм мінімуму відхилення щільності порошкового матеріалу.

7. Андрусенко О.О. Обработка сигнала швидкоплинного процесса / Г.В. Кулинченко, О.О. Андрусенко // Збірка тез доп. науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів Конотопського Інституту. – Конотоп: СумДУ. – 2008. – С. 113–116.

Здобувачем досліджена система керування параметрами вакуумної установки та скомпоновані засоби дистанційного вимірювання параметрів.

8. Андрусенко А.А. Многоканальный регистратор быстroteкущих процессов / Г.В. Кулинченко, В.А. Багута, А.А. Андрусенко // Збірка тез доп. VII Всеукраїнської науково-технічної конференції "Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів". – Кременчук: КДПУ. – 2008. – С. 10.

Здобувач дослідив дані характеру протікання процесу випробувань ЕД.

9. Андрусенко А.А. Способ измерения температуры быстroteкущих процессов / Г.В. Кулинченко, В.І. Мараховський, А.А. Андрусенко // Збірка тез доп. VII Всеукраїнської науково-технічної конференції "Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів". – Кременчук: КДПУ. – 2008. – С. 17.

Здобувачем досліджено розподіл температурного поля всередині випробувальної камери та сформульовані вимоги до вимірювального обладнання.

10. Андрусенко А.А. Моделирование процесса прессования порошковых материалов / Г.В. Кулинченко, Г.М. Худолей, А.А. Андрусенко // Збірка тез доп. VII Всеукраїнської науково-технічної конференції "Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів". – Кременчук: КДПУ. – 2008. – С. 58.

Здобувач визначив ключові параметри моделі процесу пресування ПМ.

11. Андрусенко О.О. Моделирование работы микроконтролерів (PROTEUS VSM) / Г.В. Кулинченко, В.А. Багута, О.О. Андрусенко // Тези доп. міжкафед-

рального науково-методичного семінару “Досягнення сучасної електроніки і видання її у вищій школі”. – Конотоп: СумДУ. – 2009. – С. 26–28.

Здобувачем досліджено інструментарій розробки мікроконтролерних засобів автоматизації.

12. Андрусенко О.О. AVR STUDIO-середовище розробки програмного забезпечення мікроконтролерів / Г.В. Кулинченко, В.А. Багута, О.О. Андрусенко // Тези доп. міжкафедрального науково-методичного семінару “Досягнення сучасної електроніки і видання її у вищій школі”. – Конотоп: СумДУ. – 2009. – С. 29–32.

Здобувачем досліджено інструментарій розробки програмного забезпечення для мікроконтролерних засобів автоматизації.

13. Андрусенко А.А. Управление параметрами прессования порошковых материалов / Г.В. Кулинченко, В.А. Багута, А.А. Андрусенко // Збірка тез доп. VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції “Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів”. – Кременчук: КДПУ. – 2009. – С. 95–96.

Здобувачем досліджені режими пресування порошкових матеріалів, сформульовані концепції реалізації контурів управління.

14. Андрусенко А.А. Моделирование установки прессования / Г.В. Кулинченко, В.А. Багута, А.А. Андрусенко // Збірка тез доп. VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції “Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів”. – Кременчук: КДПУ. – 2009. – С. 196–197.

Здобувачем досліджена модель установки пресування за допомогою програмних засобів.

15. Андрусенко А.А. Использование программной среды TRACE MODE для управления испытаниями / Г.В. Кулинченко, М.Ю. Астраханцев, С.В. Глинчак, А.А. Андрусенко // Збірка тез доп. науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів СумДУ. – Конотоп: СумДУ. – 2010. – Том 2. – С. 16–19.

Здобувачем обґрунтована можливість використання сучасних систем автоматизованого керування для випробувань електричних детонаторів.

16. Андрусенко А.А. Идентификация параметров испытательного модуля / Г.В. Кулинченко, В.А. Багута, А.А. Андрусенко // Сборник тез. док. VI Международной научно-технической конференции “Актуальные вопросы теоретической и прикладной биофизики физики и химии”. – Севастополь: СевНТУ. – 2010. – С. 145–147.

Здобувачем досліджені технічні параметри камери для аналізу параметрів швидкоплинних процесів, сформульовані вимоги до технічних засобів.

17. Андрусенко А.А. Оптимизация параметров процесса помола / Г.В. Кулинченко, К.П. Гузь, А.А. Андрусенко // Сборник тез. док. Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов “Управление, автоматизация и окружающая среда”. – Севастополь: СевНТУ. – 2010. – С. 145–149.

Здобувачем досліджена система автоматичного управління помелом порошковых матеріалів, визначена схема системи управління.

18. Андрусенко А.А. Оценка характеристик прессуемого порошкового

матеріала / Г.В. Кулинченко, А.А. Андрусенко // Збірка тез доп. IX Всеукраїнської науково-технічної конференції “Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів”. – Кременчук: КДУ. – 2010. – С. 4–5.

Здобувачем визначені коефіцієнти Пуассона, модуль Юнга і коефіцієнт тертя для багатокомпонентної суміші порошкових матеріалів.

19. Андрусенко А.А. Анализ распределения плотности в колпачке электродетонатора / Г.В. Кулинченко, А.А. Андрусенко // Збірка тез доп. Міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Теоретичні та прикладні аспекти кібернетики”. – Київ: Вukrek. – 2011. – С. 258–260.

Здобувач синтезував математичну модель розподілу щільності порошкового матеріалу в корпусі електродетонатори методом кінцевих елементів.

20. Андрусенко А.А. Влияние сил трения на параметры модели прессования порошковых материалов / Г.В. Кулинченко, Г.М. Худолей, А.А. Андрусенко // Сборник тез. док. XXIV Международной научной конференции "Математические методы в технике и технологиях". – Саратов: ИППОЛит –XXI век. – 2011. – Том 7. – С. 129–131.

Здобувачем проведено уточнення параметрів моделі шляхом коригування граничних умов розподілу тертя порошкових матеріалів.

21. Андрусенко А.А. Разработка алгоритма управления прессования на базе модели / Г.В. Кулинченко, А.А. Андрусенко // Сборник тез. док. Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов “Управление, автоматизация и окружающая среда”. – Севастополь: СевНТУ. – 2011. – С. 170–173.

Здобувач дослідив алгоритмічне забезпечення управління установками пресування з урахуванням властивостей порошкового матеріалу.

22. Андрусенко А.А. Система дистанционного мониторинга испытаний / Г.В. Кулинченко, А.А. Андрусенко // Збірка тез доп. X Всеукраїнської науково-технічної конференції “Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів”. – Кременчук: КДУ. – 2011. – С. 112–114.

Здобувачем досліджений інструментарій розробки автоматизованих систем управління експериментальними установками пресування.

23. Андрусенко А.А. Использование инструментария CodeSys в разработке программного обеспечения установки прессования / Г.В. Кулинченко, А.А. Андрусенко // Збірка тез доп. III Міжнародної науково-практичної конференції науковців, викладачів, інженерно-технічних працівників, аспірантів і студентів “Інтелектуальні системи в промисловості та освіті – 2011”. – Суми: СумДУ. – 2011. – С. 66–69.

Здобувач розробив програмне забезпечення для системи управління експериментальними установками пресування порошкових матеріалів.

24. Андрусенко А.А. Микропроцессорная система управления установкой прессования / Г.В. Кулинченко, А.А. Андрусенко // Збірка тез доп. I Всеукраїнської науково-практичної конференції “Хімічна технологія: наука та виробництво”. – Шостка: СумДУ. – 2011. – С. 84.

Здобувачем досліджена мікропроцесорна система, яка дозволяє в інтерактивному режимі проводити управління параметрами виробництва ЕД.

АНОТАЦІЇ

Андрусенко О.О. Моделі та засоби автоматизації процесів керування виробництвом електричних детонаторів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Шосткинський інститут Сумського державного університету, Шостка, 2013 р.

Дисертація присвячена розробці наукових підходів до підвищення ефективності керування процесом пресування піроуповільнювача електродетонатора (ЕД) для стабілізації часу спрацьовування ЕД. Проаналізовано задачі автоматизованого управління установками пресування порошкових матеріалів (ПМ), проведено аналіз систем управління та технічних засобів автоматизації. З використанням методу кінцевих елементів розроблена математична модель процесу пресування піроуповільнювача ЕД в закритій прес – матриці, що враховує зміну коефіцієнта тертя ПМ об стінки прес – матриці, в залежності від відстані ділянки ПМ до стінок прес – матриці. Для синтезу автоматизованої системи управління процесом пресування піроуповільнювача ЕД в закритій прес – матриці розроблена математична модель гідравлічного пресу як об'єкта управління, а також складена структурна схема математичної моделі процесу пресування піроуповільнювача ЕД на гідравлічному пресі об'ємного управління. Синтезований алгоритм оптимального управління процесом пресування піроуповільнювача ЕД за критерієм мінімуму відхилення щільності порошкового матеріалу в ковпачку піроуповільнювача ЕД. Для мінімізації відхилення щільності прес – матриця повинна рухатися за лінійним законом з постійною швидкістю пресування.

Ключові слова: система керування, засоби автоматизації, моделювання об'єктів, програмне забезпечення, порошковий матеріал, піроуповільнювач, мікропроцесорні пристрої.

Андрусенко А.А. Модели и средства автоматизации процессов управления производства электрических детонаторов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Шосткинский институт Сумского государственного университета, Шостка, 2013 г.

Диссертация посвящена разработке научных подходов к повышению эффективности управления процессом прессования пирозамедлителя электродетонатора (ЭД) для стабилизации времени срабатывания ЭД.

Проанализированы задачи автоматизированного управления установками прессования порошковых материалов (ПМ), проведен анализ систем управления и технических средств автоматизации. Опубликованные до настоящего времени результаты исследований, посвящены решению локальных задач управления процессов прессования на отдельных его стадиях и не позволяют сформулировать обобщенный технический критерий управления.

Анализ систем управления установками прессования ПМ позволил сформулировать основные задачи по модернизации существующего оборудования, позволяющие оптимизировать процессы прессования, тем самым улучшить технические характеристики электрических детонаторов ЭД. Поставленные задачи тесно связаны с возможностями и характеристиками аппаратуры оценки параметров быстротекущих процессов.

Существующая на данный момент на производстве система контроля качества выпускаемой продукции основана на статистическом методе испытаний и обладает целым рядом существенных недостатков. Необходимость создания испытательного стенда обусловлена отсутствием на текущий момент в промышленности метрологически – аттестованного инструментария контроля и системы сбора данных быстротекущих процессов, позволяющего в полном объеме, с высоким коэффициентом повторяемости и точностью собрать массив статистических данных.

На основе проведенных исследований разработан испытательный комплекс. Полученные результаты позволяют вести обработку данных зарегистрированного быстротекущего процесса, что дает возможность оценивать параметры испытываемого продукта и равномерности его горения. В практическом плане, на основании обработки результатов испытаний, появляется возможность корректировки режимов процесса прессования пирозамедлителя ЭД и рецептуры изделия, поскольку скорость горения зависит от плотности используемого порошкового материала.

Получена математическая модель процесса прессования ПМ на основе известных зависимостей для поля деформации от усилия прессования. Определен характер изменения плотности ПМ по высоте пирозамедлителя. Параметры прессуемого продукта – модуль Юнга, коэффициент Пуассона и сила трения порошка о стенки пресс – матрицы определялись на основе экспериментальных оценок. Так как в зависимости от составов смеси и параметров исходных продуктов они изменяются от партии к партии.

Выявлен нелинейный характер зависимости деформации от усилия прессования. Для описания поля деформации использован один из известных методов решения нелинейных уравнений – метод конечных элементов. Для описания процесса прессования порошкового материала во времени использована дискретная модель в цилиндрической системе координат.

С использованием передаточной функции системы одностороннего прессования пирозамедлителя выполнен синтез алгоритма оптимального управления при прессовании пирозамедлителя ЭД. В качестве критерия оптимальности выбрана минимизация отклонения плотности ПМ в колпачке пирозамедлителя.

Для реализации программного комплекса использована идеология SCADA систем. Удаленное устройство связи с объектом реализовано на базе ПЛК-150 (Овен, Россия), который позволяет через сеть Ethernet настраивать конфигурацию и осуществлять контроль ввода – вывода используя стандартный протокол Modbus.

Разработанный аппаратно – программный комплекс управления установкой прессования прошел испытания на промышленной установке прессования,

что подтверждается соответствующим актом внедрения.

Описаны результаты испытания установок прессования и регистрации параметров быстротекущих процессов в производственных условиях. Апробированы разработанные методики оценки параметров ПМ.

Комплекс прессования ПМ реализует цифровое программное управление гидравлическим прессом на операции запрессовки составов в колпачки-пирозамедлители ЭД. Комплекс позволяет производить испытания, сбор и анализ статистики с целью коррекции параметров запрессовки. В ходе испытаний комплекса была доработана методика прессования ПМ с учетом технических возможностей системы и физических свойств прессуемых материалов.

По результатам выполнения диссертационной работы решена научно-прикладная задача повышения эффективности системы автоматизированного управления процессами производства ЭД, что обеспечило повышение качества, надежности и, как следствие, экономической эффективности производства выпускаемой продукции.

Все вышеперечисленные технические решения внедрены и используются на ШКЗ «Импульс».

Ключевые слова: система управления, средства автоматизации, моделирование объектов, программное обеспечение, порошковый материал, пирозамедлитель, микропроцессорные устройства.

Andrusenko A.A. Models and automation control processes manufacture electric detonators. – As Manuscript.

Thesis for granting the Degree of Candidate Technical sciences in specialty 05.13.07 – Automation Control Processes. – Shostka Institute of Sumy State University, Shostka, 2013.

The thesis is devoted to the development of scientific approaches to improve process control pressed pyrotechnic moderator electric detonators (ED) to stabilize the response time of ED. This paper analyzes the problem of automatic control units compaction of powder materials (PM), the analysis of control systems and automation hardware. Published to date results of research devoted to solving local problems pressing management processes at individual stages and do not allow to formulate a generalized criterion of technical management. Using the finite element method developed mathematical model of the process pressing pyrotechnic moderator ED closed mold, which takes into account changes in the coefficient of friction of the PM mold wall. For the synthesis of automated process control system pressing pyrotechnic moderator ED closed mold mathematical model was developed hydraulic press as a management object. Based on this transfer function for unilateral application of force pressing, was synthesized algorithm for optimal process control pressing pyrotechnic moderator ED by low density deviation of the powder material in the cap pyrotechnic moderator ED. The results showed that in order to minimize the deviation density matrix of the press must be moved in a linear fashion (with constant speed compression).

Keywords: control system, automation, objects model, software, powder material, pyrotechnic moderator, microprocessor devices.

