

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»

Осадчий Володимир Володимирович

УДК 66.028.2:681.587.72.015 (043.3)

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ
БАГАТОКОМПОНЕНТНИМ ВАГОВИМ ДОЗУВАННЯМ
НА ОСНОВІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОЖИВИЛЬНИКА

05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі електропривода та автоматизації промислових установок Запорізького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Бондаренко Валерій Іванович,
завідувач кафедри електропривода та
автоматизації промислових установок
Запорізького національного технічного
університету Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Мещеряков Леонід Іванович
професор кафедри програмного забезпечення
комп'ютерних систем Державного ВНЗ
„Національний гірничий університет”
Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України.

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Стяжкін Віталій Павлович
старший науковий співробітник
відділу систем стабілізованого струму
Інституту електродинаміки
НАН України (м.Київ).

Захист відбудеться “___” _____ 2011 р об ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19, Державний ВНЗ «НГУ».

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19, Державний ВНЗ «НГУ».

Автореферат розісланий “___” _____ 2011 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої
ради, к.т.н., доц.

О.О. Азюковський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У сучасному вогнетривному виробництві для покращення експлуатаційних якостей продукції, що випускається, існує тенденція до збільшення кількості компонентів у кінцевому виробі. Необхідне співвідношення вихідних складових забезпечується багатокомпонентними ваговими дозаторами. При цьому послідовний набір доз призводить до збільшення загального часу дозування в зв'язку з необхідністю зменшення швидкості набору в завершальній стадії дозування кожного компонента для досягнення заданої точності. Натомість, зниження продуктивності технологічної лінії неприпустимо з економічних міркувань.

Використання високоточних ваговимірювальних систем, високопродуктивних і надійних віброживильників не є достатньою умовою забезпечення потрібної точності при зменшенні тривалості дозування. Причиною тому є обумовлена падінням матеріалу, що дозується, динамічна похибка зважування, а також нелінійність і нестабільність статичних характеристик віброживильників, зумовлених властивостями сипких матеріалів.

Отже, підвищення швидкодії систем дозування при збереженні заданої точності є актуальною науково-прикладною задачею.

Зв'язок з науковими програмами і планами. Дослідження дисертаційної роботи виконані у відповідності до комплексної державної програми енергозбереження України (постанова Кабінету Міністрів України від 05.02.97 № 148) і планів науково-дослідних робіт Запорізького національного технічного університету «Дослідження та розробка електромеханічних систем та засобів автоматизації технологічних процесів» (№ державної реєстрації 0105U005049).

Мета і задача дослідження. Метою дослідження є розв'язання наукової задачі підвищення швидкодії системи багатокомпонентного дискретного вагового дозування сипкого матеріалу шляхом використання початкової стадії дозування для ідентифікації статичної характеристики електромагнітного вібраційного живильника і висоти падіння матеріалу, що дозується, й формування на основі одержаних даних сигналу керування, що дозволяє скоротити тривалість завершальної стадії дозування без втрати точності.

Для досягнення поставленої мети розв'язані такі завдання:

- аналіз існуючих методів підвищення швидкодії електромеханічних систем дискретного вагового дозування і визначення основних дестабілізуючих факторів, що впливають на швидкість і точність дозування;
- розробка фізичної та математичної моделей, які зберігають в сигналі зворотнього зв'язку за вагою матеріалу, що дозується, співвідношення корисної складової и динамічної похибки, яка зумовлена падінням матеріалу;
- визначення залежності динамічної похибки зважування від висоти падіння і продуктивності віброживильника з урахуванням транспортного запізнення;

- розробка системи керування з ідентифікацією статичної характеристики електромагнітного вібраційного живильника і блоком корекції динамічної похибки сигналу зворотнього зв'язку за вагою набраного компоненту;

- встановлення залежності параметрів регулятора системи багатокомпонентного вагового дозування від висоти падіння матеріалу, які забезпечують максимальну швидкодію системи без погіршення точності дозування;

- експериментальна перевірка одержаних теоретичних результатів;

- впровадження результатів дослідження на виробничих лініях багатокомпонентного дозування сипких матеріалів у вогнетривному виробництві.

Об'єктом дослідження є процес вібраційного багатокомпонентного дискретного вагового дозування.

Предметом дослідження є система автоматичного керування процесом багатокомпонентного вібраційного дискретного вагового дозування.

Основні наукові положення і результати, їх новизна.

Наукові положення.

1. За умов нульової початкової швидкості і абсолютно непружного удару сила дії матеріалу, що падає, при постійній продуктивності віброживильника дорівнює силі тяжіння, що діє на матеріал, який знаходиться у вільному падінні, в той час коли при змінній продуктивності живильника вказана рівнозначність у загальному випадку не виконується, що зумовлює зниження точності динамічного зважування систем дискретного вагового дозування в перехідних режимах.

2. Урахування в законі керування процесом дискретного вагового дозування кінетичної енергії сипкого матеріалу, що знаходиться у вільному падінні, дозволяє збільшити швидкодію систем дозування без погіршення точності завдяки зниженню динамічної похибки зважування у завершальній стадії дозування.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше одержана залежність динамічної похибки зважування від висоти падіння і продуктивності електромагнітного вібраційного живильника з урахуванням транспортного запізнення, яка дозволяє підвищити якість керування за рахунок практичної реалізації зворотнього зв'язку за кількістю матеріалу, що вийшов з живильника;

- встановлено, що використання зміщеного синусоїдального сигналу для ідентифікації статичної характеристики віброживильника дозволяє визначити зазначену характеристику у початковій стадії дозування;

- доведено, що мінімізація розкиду точок статичної характеристики шляхом варіювання передбачуваного часу падіння дозволяє визначити статичну характеристику віброживильника при невизначеній висоті падіння матеріалу, що дозується.

Практична цінність роботи:

- запропоновано структуру системи керування багатокомпонентним дискретним ваговим дозуванням, яка відрізняється від відомих наявністю модуля визначення статичної характеристики віброживильника на основі замкненого контуру миттєвої продуктивності й висоти падіння матеріалу і дозволяє підвищити швидкодію та одержати потрібну точність у першому ж циклі дозування;

- створені фізична і математична моделі можуть бути використані для проведення досліджень у напрямку підвищення ефективності дозаторів, розробки нових систем керування на базі сучасних мікроконтролерів, а також початкового тестування керуючих програм систем автоматизації процесу багатокомпонентного вагового дозування;

- результати роботи впроваджені на лініях приготування суміші для виготовлення вогнетривких виробів ВАТ «Запоріжвогнетрив», що дозволило скоротити час набору доз на 10...15%;

- матеріали роботи використовуються у навчальному процесі кафедри електропривода та автоматизації промислових установок Запорізького національного технічного університету при підготовці студентів спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод».

Достовірність отриманих результатів підтверджується:

- експериментальними дослідженнями на фізичній моделі вібраційного дискретного вагового дозування;
- збігом результатів математичного моделювання та експериментальних досліджень з похибкою, що не перевищує 6...10%;
- впровадженням розроблених принципів автоматизації процесів керування в промислових комплексах багатокомпонентного дискретного вагового дозування.

Апробація роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися на XII, XIV, XV, XVI, XVII міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика» (Крим, 2005, 2007-2010 р.р.) і на IX, X міжнародних науково-технічних конференціях «Електромеханічні системи, методи моделювання і оптимізації» (м. Кременчук, 2007, 2008 р.р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 8 статей, 6 з яких надруковані у виданнях, що входять до переліку фахових наукових видань України.

Структура и обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Загальний обсяг роботи складає 143 сторінки, у тому числі 122 сторінки основного тексту, 80 рисунків, 15 таблиць, перелік використаних джерел (106 найменувань) на 10 сторінках і 2 додатка на 2 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, сформульовані мета й основні задачі дослідження, наведена загальна характеристика роботи й основні положення, що виносяться на захист.

У **першому розділі** здійснений аналіз існуючого стану і методів підвищення швидкодії дискретних вагових дозаторів. Показані основні відмінності багатокомпонентного дозування з одним ваговимірвальним бункером від однокомпонентного дозування, а саме, невизначеність висоти падіння матеріалу і статичної характеристики віброживильника на момент початку дозування компонента. Враховуючи те, що багатокомпонентне дозування складається з послідовних циклів набору вихідних складових, задача підвищення швидкодії багатокомпонентного дозування зведена до задачі підвищення швидкодії однокомпонентного дозування за невизначених початкових умов.

На основі проведеного аналізу сформульовані мета та задачі дослідження дисертаційної роботи.

У **другому розділі** проведено теоретичне і експериментальне дослідження процесу вібраційного дискретного вагового дозування. Отримані аналітичні вирази для статичних і динамічних характеристик віброживильника і ваговимірвальної системи. Створена математична модель об'єкта керування, яка враховує динамічну похибку сигналу зворотнього зв'язку за вагою матеріалу, що дозується, й нелінійність статичної характеристики віброживильника. При розробці математичного опису процесу дозування прийняті такі основні припущення: ваговимірвальний бункер дозатора нерухомий; удар матеріалу, що падає, з нерухомим матеріалом, який знаходиться в бункері, абсолютно непружний; вертикальна складова початкової швидкості матеріалу, що падає, дорівнює нулю; будь-який опір падінню матеріалу відсутній.

Функціональна схема системи керування наведена на рис.1, де позначено:
 1 - бункер,
 2 - вібралоток,
 3 – вібропривод,
 4 - ваговий бункер,
 5 – тензометричний давач, БК - блок керування, П – підсилювач сигналу керування, ТП - тензопідсилювач.

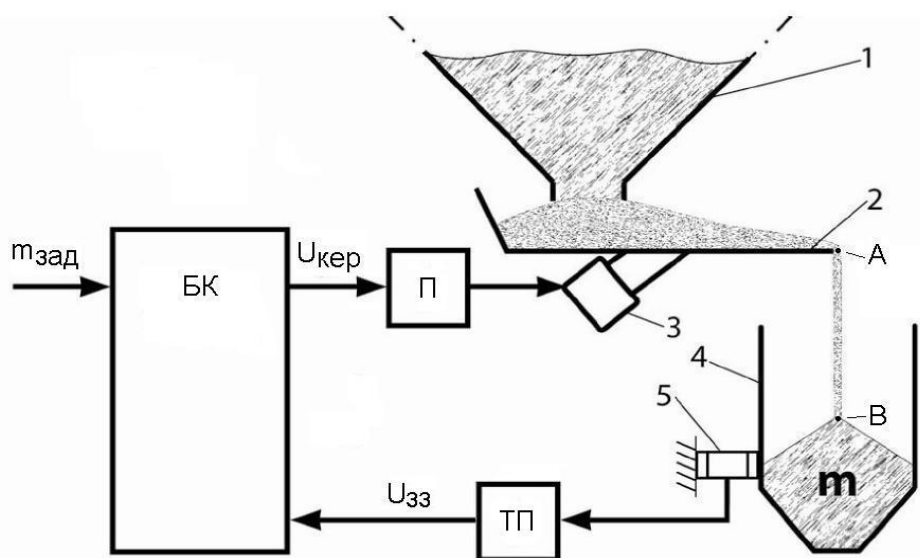


Рис. 1 Функціональна схема системи керування процесом дискретного вагового дозування

Експериментальні дослідження з метою визначення параметрів об'єкта керування проводилися на спеціально розробленій фізичній моделі, особливістю якої є збереження динаміки падіння матеріалу і можливість змінювання висоти падіння (відстань між точками А і В). Статична характеристика віброживильника (залежність продуктивності від сигналу керування) отримана шляхом подавання протягом 15-ти секунд фіксованих значень сигналу керування і обчислення середньої продуктивності, що відповідає цим значенням.

Динамічні властивості об'єкта керування визначалися за допомогою сигналу керування змінної частоти. На основі теоретичних та експериментальних досліджень отримана математична модель об'єкта керування (1)

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{\text{дин}} = U_{\text{кер}} + T_2 \cdot \frac{dU_{\text{кер}}}{dt} - T_3 \cdot \frac{dU_{\text{дин}}}{dt}; \\ Q = \begin{cases} 0; \text{ при } U_{\text{дин}} \leq U_0; \\ a \cdot (U_{\text{дин}} - U_0)^2; \text{ при } U_{\text{дин}} > U_0; \end{cases} \\ Q_A(t) = Q(t - \tau_a); \\ \tau = \sqrt{\frac{2h}{g}}; \\ Q_B(t) = Q_A(t - \tau); \\ F_{\Sigma} = g \int Q_B(t) dt + \tau \cdot g \cdot Q_B(t); \\ U_{33} = K_{\text{ДП}} \cdot F_{\Sigma} - T_1 \cdot \frac{dU_{33}}{dt}, \end{array} \right. \quad (1)$$

де $U_{\text{кер}}$ - сигнал керування; $U_{\text{дин}}$ - зведений сигнал керування, що враховує динамічні властивості віброживильника; T_2 і T_3 - постійні часу відповідно пропорційно-деференціюючої і аперіодичної ланки; Q - продуктивність віброживильника без урахування запізнення, обумовленого процесом вібротранспортування; a і U_0 - емпіричні коефіцієнти статичної характеристики віброживильника; Q_A - продуктивність на виході віброживильника; τ_a - транспортне запізнення віброживильника; τ - час падіння матеріалу; Q_B - продуктивність у точці дотику матеріалу, що падає, з поверхнею нерухомого матеріалу, що знаходиться в бункері дозатора; h - висота падіння матеріалу; g - прискорення вільного падіння; F_{Σ} - сила, що діє на тензометричний давач ваги; $K_{\text{ДП}}$ - коефіцієнт, що враховує параметри давача і тензопідсилювача; T_1 - постійна часу фільтра ваговимірювальної частини системи; U_{33} - сигнал зворотного зв'язку.

На основі системи рівнянь (1) структура об'єкта керування матиме вигляд, наведений на рис.2.

Експериментально встановлені такі значення параметрів моделі: $T_1 = 0,11$ с, $T_2 = 0,44$ с, $T_3 = 0,65$ с, $\tau_a = 0,05$ с, $a = 7,648$ г / (с \times В²), $U_0 = 0,755$ В.

Факторами, що об'єктивно обмежують продуктивність системи дозування, є кінцева потужність і міцність віброживильника, а також необхідність зниження швидкості набору компонента в завершальній стадії дозування з метою отримання необхідної точності. Реалізація класичної системи керування, що забезпечує відсутність перерегулювання, ускладнюється наявністю транспортного запізнення, нелінійністю і несталістю статичної характеристики віброживильника. Крім цього, відсутність на момент початку дозування точних даних про статичну характеристику віброживильника і висоту падіння не дозволяє максимально повно використовувати можливості замкненої системи керування щодо підвищення швидкодії дозування.

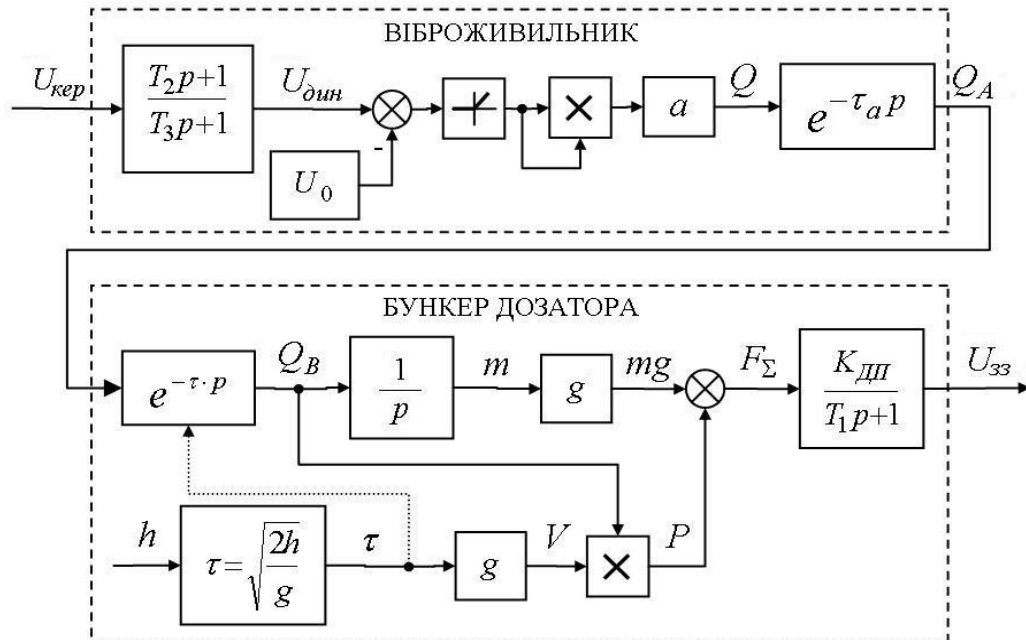


Рис. 2 Структурна схема об'єкта керування

Враховуючи сказане вище, запропонована система керування, основними елементами якої є: блок модуляції, що формує тестовий сигнал, і блок ідентифікації, який на основі керуючого сигналу і реакції об'єкта визначає його невідомі параметри.

Результати ідентифікації використовуються для лінеаризації статичної характеристики віброживильника і формування сигналу, що зменшує динамічну похибку зважування.

Зазначені дії спрямовані на приведення системи керування процесом дозування в завершальній стадії до лінійної системи зі зворотнім зв'язком за масою матеріалу, що вийшов з віброживильника

$$m_A = \int Q_A(t) dt.$$

У третьому розділі розроблена, протестована шляхом математичного моделювання і підтверджена експериментом методика ідентифікації статичної характеристики віброживильника.

Запропонований метод ідентифікації ґрунтується на відомому факті відсутності зміни форми синусоїдального сигналу при проходженні через лінійні динамічні ланки и на припущенні, що основні інерційні ланки системи розміщені перед єдиною нелінійною ланкою, що описує статичну характеристику віброживильника.

Як тестовий сигнал запропоновано використовувати такий, що $X(t)=A\sin(\omega t)+B$. При цьому вихідний сигнал має вигляд $Y(t)=f(A\sin(\omega t)+B)$ де, f – статична характеристика об'єкта.

Множина точок (x,y) , для яких $x=X(t)$ та $y=Y(t)$ є частиною ідентифікованої статичної характеристики об'єкта $Y^*=f^*(X)$ на інтервалі $B-A < X < B+A$. Наочно запропонований метод ідентифікації наведений на рис. 3.

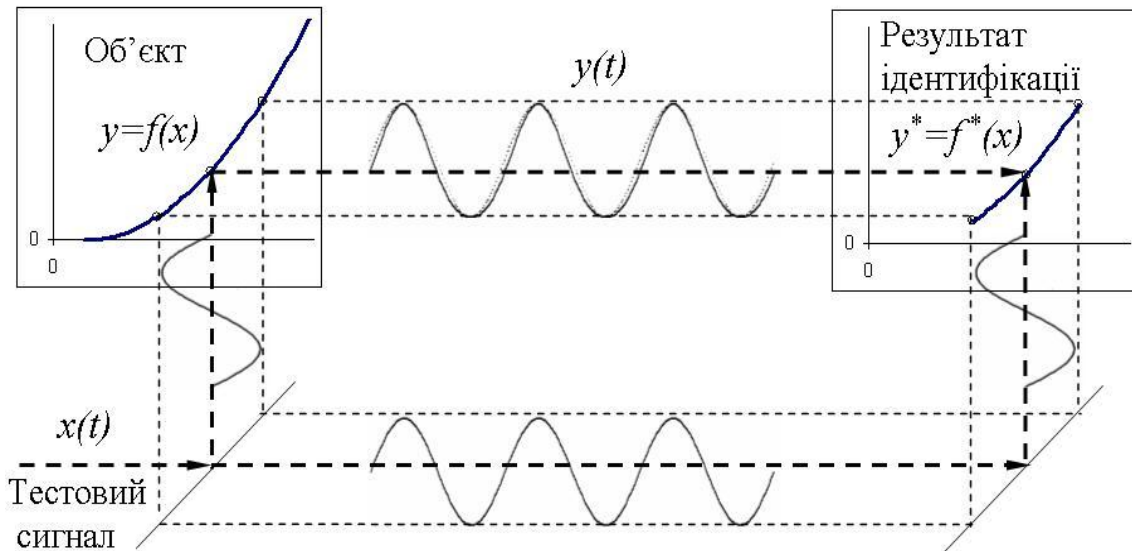


Рис. 3 Суть ідентифікації характеристики віброживильника

За наявності запізнення τ вихідного сигналу $Y(t)=f(A\sin(\omega(t-\tau))+B)$ вказана раніше множина в загальному випадку буде належати еліпсу. Досягти розташування точок на лінії, що є частиною статичної характеристики, можливо, використовуючи зміщений у часі сигнал керування $X^*(t)=X(t-\tau^*)$, де τ^* - передбачуване запізнення.

Знайшовши τ^* , що мінімізує розкид точок, можна визначити запізнення вихідного сигналу $\tau=\tau^*\pm T$, де $T=1/\omega$ - період тестового сигналу. Використовуючи апріорні знання про об'єкт $0 < \tau \leq \tau_{\max}$, де τ_{\max} – максимально можливе запізнення в системі (у випадку системи, що досліджується, максимальний час падіння, який визначається відстанню від вихідного патрубку віброживильника до дна вагового бункера), вибираємо $T > \tau_{\max}$.

Визначене шляхом пошуку мінімуму розкиду точок на інтервалі $[0;T]$ значення передбачуваного запізнення τ^* буде відповідати реальному запізненню вихідного сигналу, тобто $\tau = \tau^*$.

Отже, використання синусоїдального тестового сигналу дозволяє ідентифікувати статичну характеристику віброживильника при невідомому запізненні, крім того вибір періоду тестового сигналу на основі апіорних знань про об'єкт дозволяє однозначно визначити вказане запізнення.

Для реалізації запропонованого методу ідентифікації необхідно знати миттєву продуктивність віброживильника, безпосереднє вимірювання якої в штатній комплектації системи дозування пов'язано зі значними конструктивними змінами і матеріальними витратами. Тому запропоновано визначати миттєву продуктивність на основі штатного тензометричного ваговимірювального давача.

Задача ускладнюється тим, що сумарна сила, що діє на тензометричний давач, має дві складові: силу тяжіння і силу, зумовлену падінням матеріалу, яка залежить від миттєвої продуктивності віброживильника і висоти падіння. Вказані обставини виключають можливість визначення миттєвої продуктивності віброживильника шляхом диференціювання сигналу з давача, зважаючи на наявність динамічної похибки зважування.

Розроблений в процесі дослідження обчислювач миттєвої продуктивності (рис.4) враховує складову, зумовлену дією матеріалу, що падає, і дозволяє визначити миттєву продуктивність, якщо відомий час падіння.

Втім, як зазначалось раніше, при багатоконцентному дозуванні початкова висота падіння, а отже і час падіння є невідомі. Розв'язання вказаної вище суперечності можливе шляхом одночасного використання передбачуваного часу падіння як параметру для обчислювача миттєвої продуктивності і блока регульованого запізнення тестового сигналу (рис. 5).

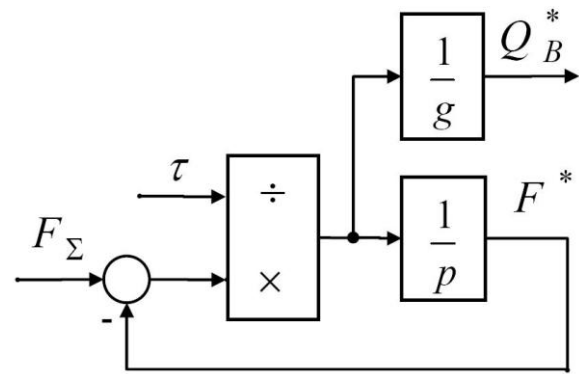


Рис.4 Обчислювач миттєвої продуктивності

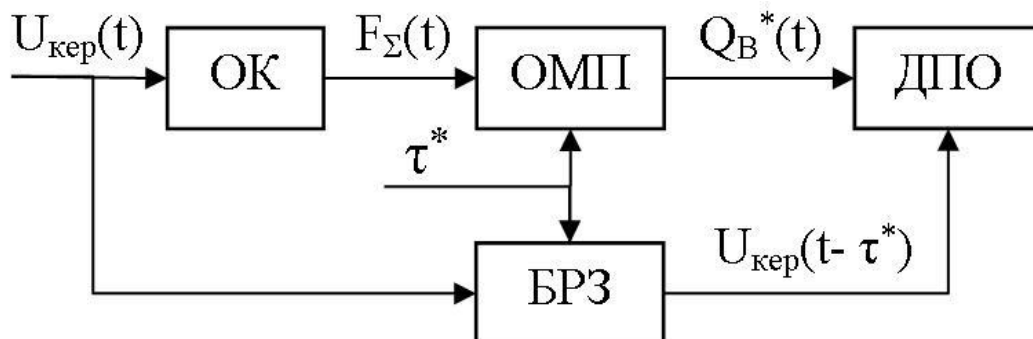


Рис. 5 Функціональна схема математичного експерименту:

ОК – об'єкт керування;

ОМП – обчислювач миттєвої продуктивності;

ДПО – двопроменевий осцилограф

БРЗ – блок регульованого запізнення

Шляхом математичного моделювання встановлено, що ідентифіковані статичні характеристики мають мінімальний розкид точок за умови рівності передбачуваного і реального часу падіння матеріалу (рис. 6).

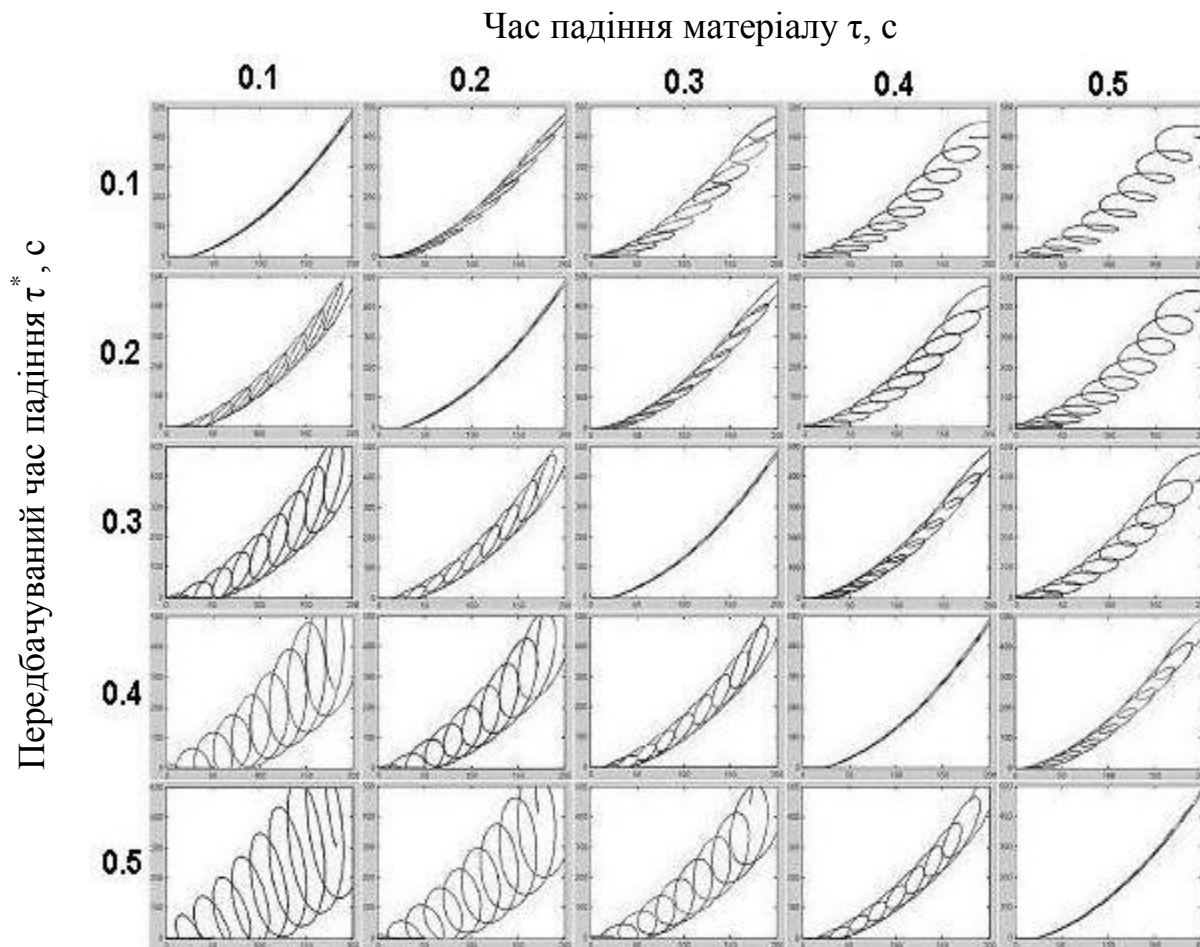


Рис. 6 Результати математичного моделювання

Тобто пошук передбачуваного часу падіння, що відповідає мінімуму розкиду точок, призводить до одночасного визначення статичної характеристики віброживильника і реального часу падіння матеріалу. Подальше вдосконалення процесу ідентифікації мало за мету, по-перше – підвищення точності ідентифікації шляхом урахування впливу інерційностей віброживильника і фільтра ваговимірювальної системи, по-друге - зменшення обчислювального навантаження.

Зважаючи на те, що запізнення, обумовлене падінням матеріалу, є фазовим зсувом вихідного сигналу відносно сигналу керування, запропоновано використовувати зазначений зсув як параметр обчислювача миттєвої продуктивності віброживильника (рис.7). Внаслідок цього утворюється замкнений контур, усталеному стану якого відповідає визначена висота падіння h і обчислена з високою точністю миттєва продуктивність віброживильника Q_B^* .

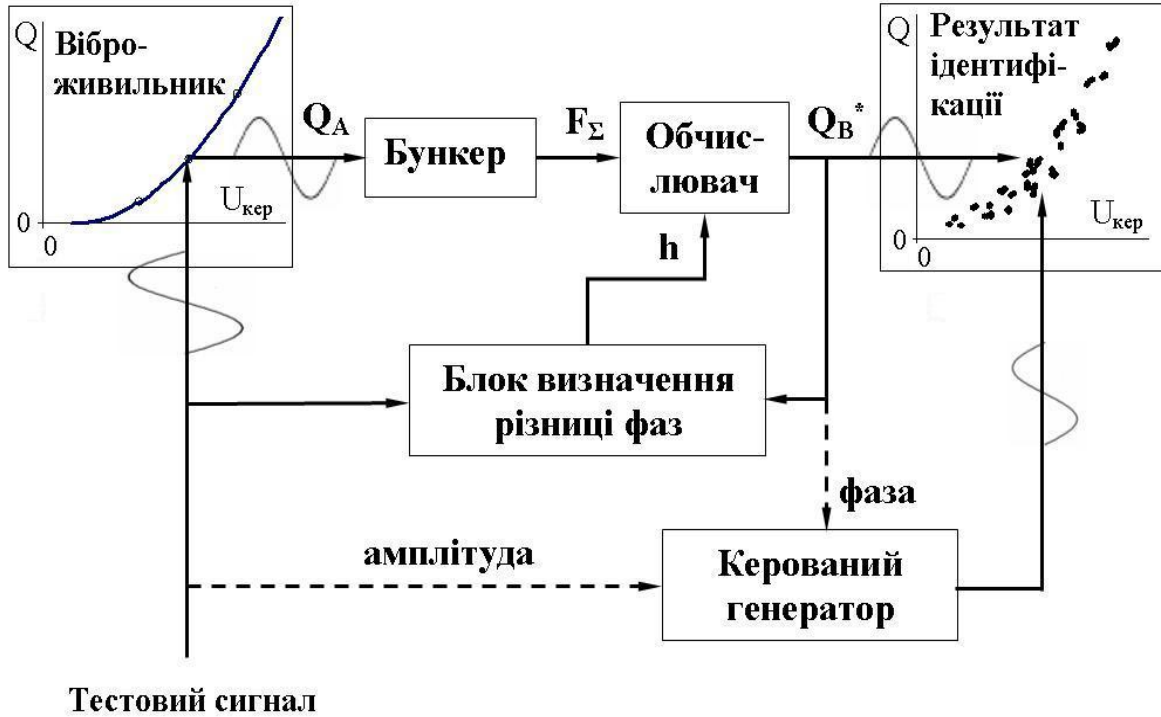


Рис. 7 Функціональна схема ідентифікатора статичної характеристики віброживильника і висоти падіння матеріалу

Функціональна схема ідентифікатора об'єкта керування, що ґрунтується на вказаних залежностях і враховує вплив динамічних властивостей об'єкта керування, наведена на рис. 8.

Тестовий сигнал $U_{\text{кер}}(t) = A \sin(\omega \cdot t) + B$ формується безпосередньо системою керування, тому його фазовий зсув приймається такий, що дорівнює нулю, це спрощує реалізацію визначення різниці фаз між сигналом керування і миттєвою продуктивністю віброживильника.

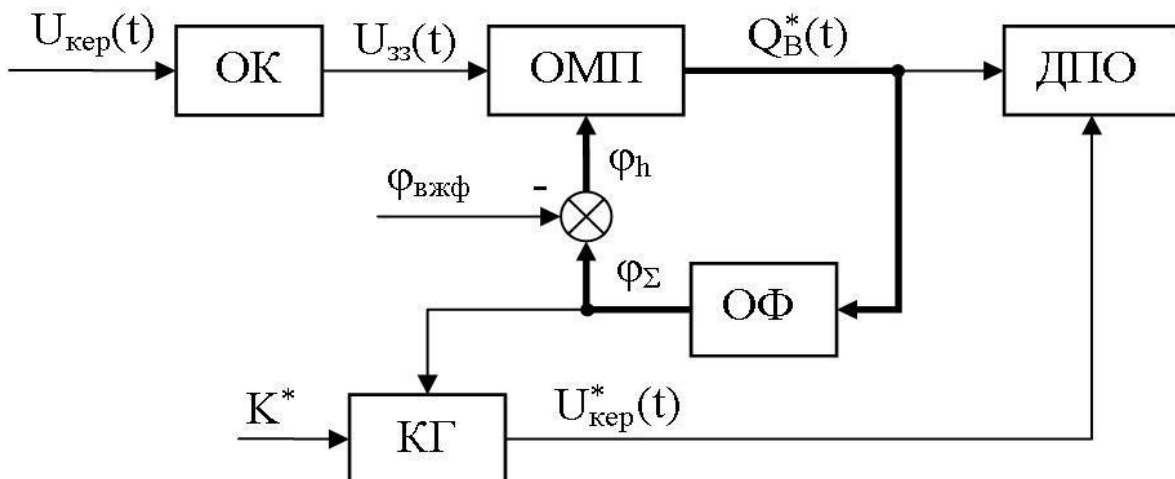


Рис. 8 Функціональна схема ідентифікатора з урахуванням динамічних властивостей об'єкта керування:

ОФ – обчислювач фази;

КГ – керований генератор.

З урахуванням того, що сумарний фазовий зсув φ_{Σ} обчисленої продуктивності $Q_B^*(t)$ відносно сигналу керування $U_{кер}(t)$ складається із зсуву, обумовленого динамічними властивостями віброживильника й фільтра ваговиміральної системи $\varphi_{вжф}$, і зсуву, зумовленого падінням матеріалу φ_h , на вхід обчислювача миттєвої продуктивності подається різниця φ_{Σ} і $\varphi_{вжф}$.

Тестовий сигнал, зведений до виходу об'єкта керування, $U_{кер}^*(t) = K^* A \sin(\omega \cdot t + \varphi_{\Sigma}) + B$ формується за допомогою керованого генератора.

Як параметри ідентифікатора використовуються розрахункові значення $\varphi_{вжф}$ і K^* , визначені на основі знань про об'єкт і сигнал керування.

Фазовий зсув сигналу керування, що пройшов через віброживильник і фільтр, розраховується за формулою

$$\varphi_{вжф} = \frac{180}{\pi} \arg \left[\frac{T_2 j 2\pi f + 1}{(T_1 j 2\pi f + 1)(T_3 j 2\pi f + 1)} \right] - 360 f \tau_a$$

й для частоти $f = 1$ Гц складає $-58,8$ град. Коефіцієнт підсилення за амплітудою визначається формулою

$$K^* = \frac{\sqrt{1 + T_2^2 (2\pi f)^2}}{\sqrt{1 + T_1^2 (2\pi f)^2} \sqrt{1 + T_3^2 (2\pi f)^2}}$$

і для $f = 1$ Гц становить $0,575$.

Шляхом математичного моделювання встановлено, що ідентифікатор стійкий у діапазоні висот $0,2 \dots 1$ м, а процес ідентифікації триває $3 \dots 4$ с, що дозволяє використовувати його у початковій стадії процесу дозування компоненту.

Експериментально підтверджено, що реалізація ідентифікатора об'єкта керування на основі встановлених залежностей дозволяє визначити статичну характеристику віброживильника при невідомій висоті падіння матеріалу. Тестування проводилося на фізичній моделі для трьох різних висот падіння ($0,2$ м; $0,5$ м; $0,8$ м). Результати ідентифікації статичної характеристики віброживильника для висоти падіння $h = 0,8$ м наведені на рис. 9.

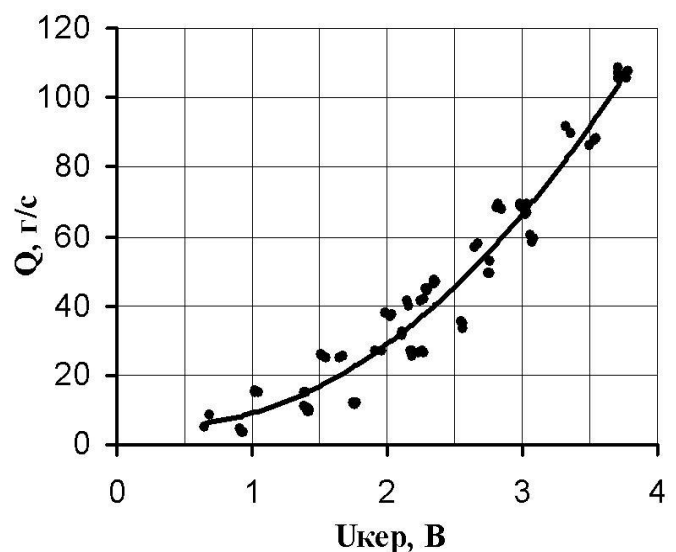


Рис. 9 Результати ідентифікації статичної характеристики віброживильника

Збіг результатів експериментальних досліджень і математичного моделювання є підставою для використання отриманих знань на етапі розробки швидкодіючої системи керування процесом дискретного вагового дозування.

У четвертому розділі розроблена система керування процесом дискретного вагового дозування й встановлені залежності параметрів регулятора набору компонента від отриманої в результаті ідентифікації висоти падіння матеріалу, які забезпечують максимальну швидкодію системи без погіршення точності дозування.

У завершальній стадії дозування система керування має вигляд наведений на рис. 10. де прийняті такі позначення: $m_{\text{зад}}$ – задана маса компонента; Δ_m – помилка; $m_{\text{пот}}$ – поточна маса компонента, виміряна шляхом зважування; K_m – коефіцієнт розрахунку маси компонента; $K_{\text{рег}}$ – коефіцієнт підсилення регулятора; T_4 і T_5 – постійні часу коректора динамічної похибки зважування; $Q_{\text{зад}}$ – задана продуктивність віброживильника; a^* і U_0^* – параметри статичної характеристики віброживильника, отримані в результаті ідентифікації.

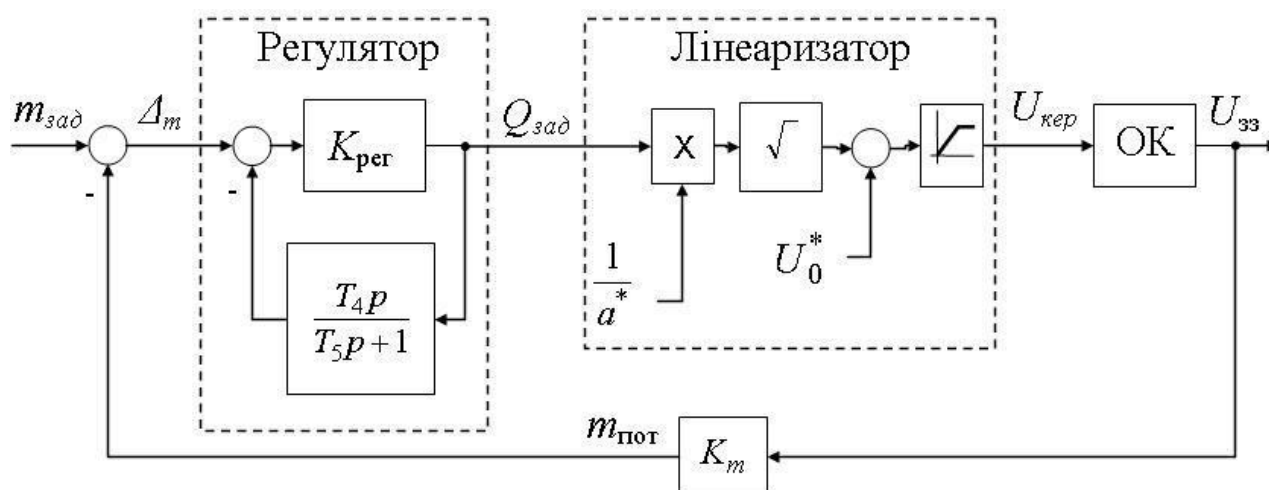


Рис. 10 Структурна схема системи керування процесом дискретного вагового дозування

Залежність сталих часу коректора динамічної похибки зважування, від запізнення, зумовленого падінням матеріалу, визначається виразами

$$T_1 = \frac{\tau^2}{2}; \quad T_2 = \frac{\tau}{2}. \quad (2)$$

Для фіксованих висот падіння проведений пошук значень коефіцієнта підсилення регулятора набору, які забезпечують максимальну швидкодію без втрати точності дозування за умови незмінності знаку другої похідної сигналу зворотнього зв'язку, тобто монотонної зміни продуктивності віброживильника. У результаті шляхом регресії отриманий аналітичний вираз залежності коефіцієнта підсилення регулятора від висоти падіння матеріалу

$$K_{\text{рег}} = 1,18 - 0,19h. \quad (3)$$

На рис.11 представлені графіки набору для існуючої системи «грубо/точно» (крива 1) і системи з ідентифікацією (крива 2) при висоті падіння 0,8 м, отримані шляхом математичного моделювання. Крива 1 має три ділянки: максимальна продуктивність живильника (а), перехід з максимальної на мінімальну продуктивність (b) і ділянка мінімальної продуктивності (с). Крива 2 – ідентифікація параметрів (d), максимальна продуктивність живильника (e), плавне зниження продуктивності живильника (f).

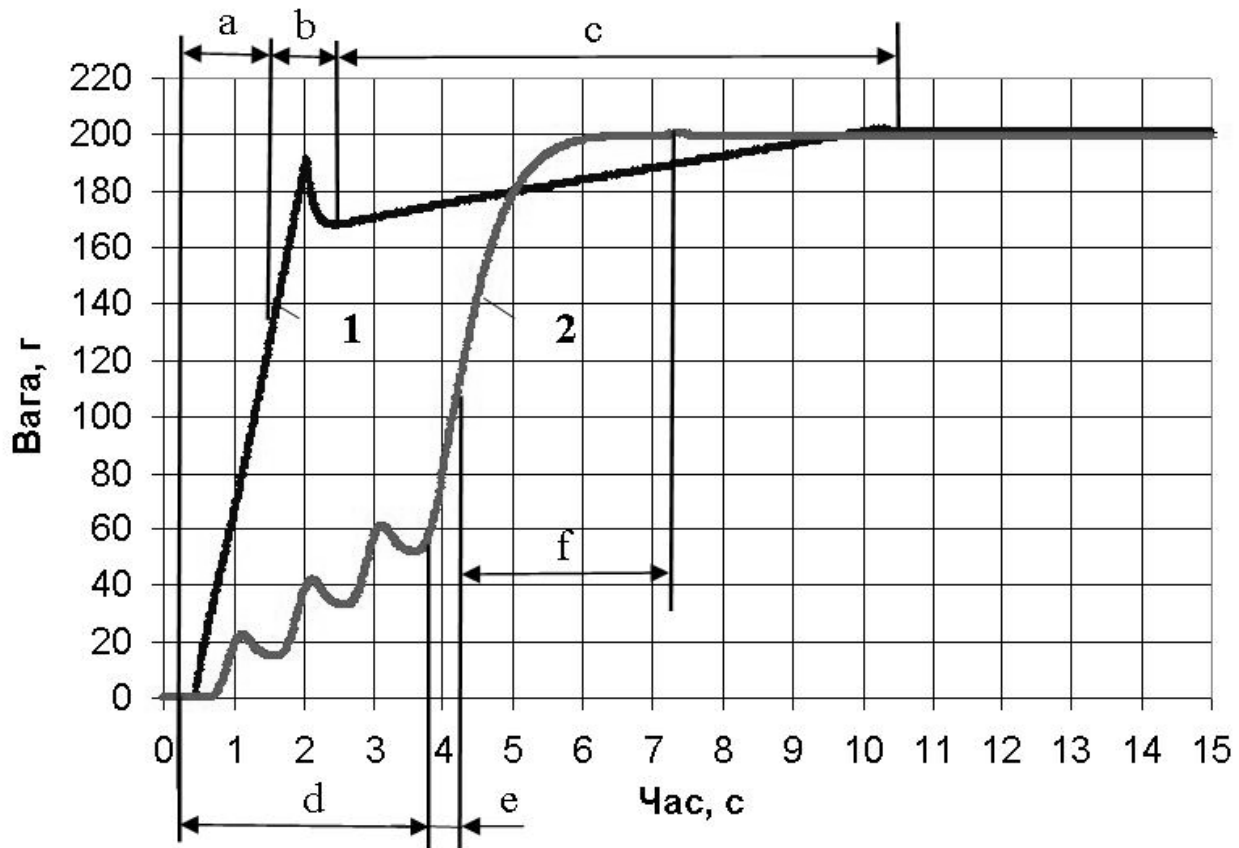


Рис. 11 Результати математичного моделювання

Скорочення тривалості циклу дозування системи з ідентифікатором досягається за рахунок суттєвого скорочення завершальної стадії. При цьому сумарна тривалість ідентифікації (d) і ділянки плавного зниження продуктивності (f) менша за тривалість «точного» набору (с).

Встановлено, що для системи «грубо/точно» динамічна похибка зважування у перехідному режимі (ділянка b) у поєднанні з нестабільністю продуктивності віброживильника об'єктивно перешкоджають скороченню тривалості набору.

Шляхом математичного моделювання проведено порівняння швидкодії систем керування з ідентифікатором і без нього для висоти падіння від 0,2 до 3 м і заданій дозі 200 г. При цьому для системи «грубо/точно» підбиралося максимальне значення параметра переходу на точне дозування, за якого пік сигналу зворотнього зв'язку (ділянка b) не досягав заданого значення ваги

матеріалу, що дозується. Для системи з ідентифікатором параметри регулятора розраховувалися згідно виразам (2), (3).

Встановлено, що для висоти падіння більше 0,6 м система з ідентифікатором має більш високу швидкодію ніж система «грубо/точно».

Тестування системи керування процесом багатокомпонентного дискретного вагового дозування на основі ідентифікації параметрів віброживильника проводилося на фізичній моделі. Задана доза складала 200 г, висота падіння – 0,8 м. Ефективність системи керування з ідентифікатором оцінювалася відносно системи «грубо/точно». Перехід на режим точного набору виконувався при досягненні ваги 120 г. Для кожної системи проведено по три досліди. Результати експерименту наведені на рис. 12. Сімейство 1 відповідає системі «грубо/точно», сімейство 2 – системі з ідентифікатором.

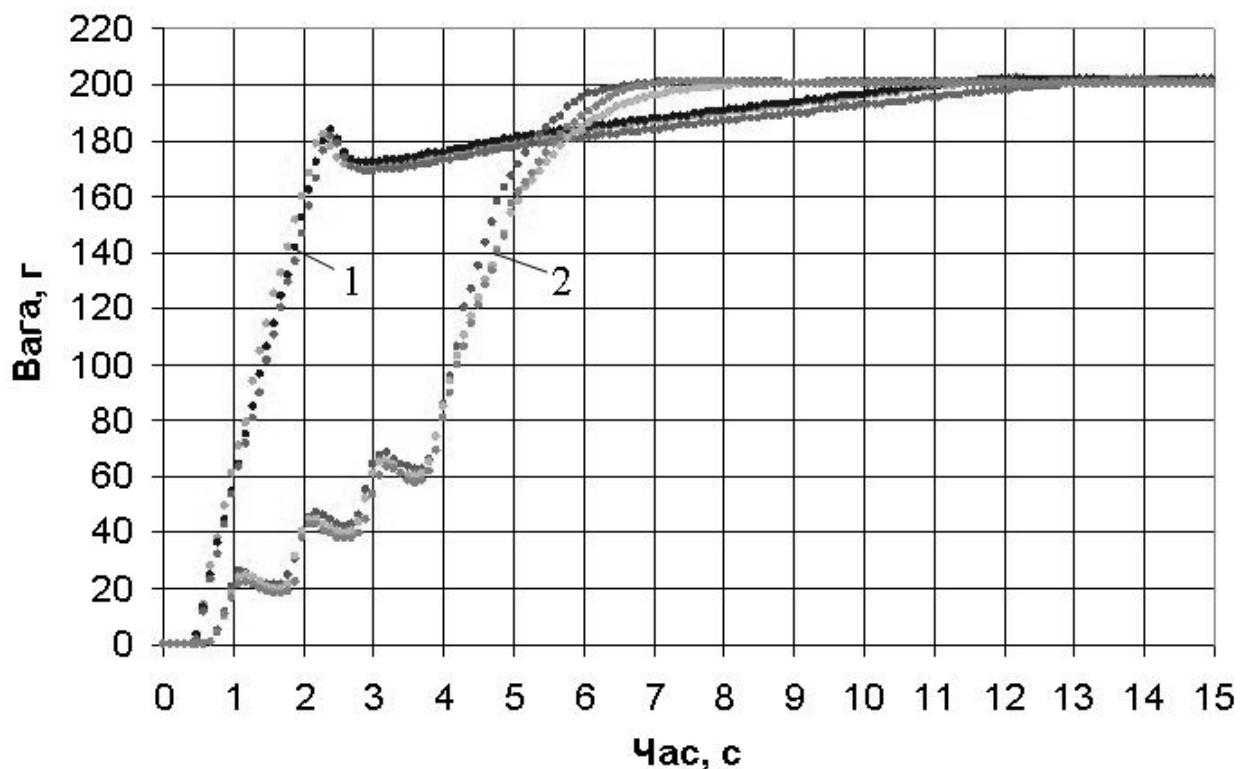


Рис. 12. Результати фізичного експерименту

Значне перевищення експериментально одержаної тривалості дозування для системи «грубо/точно» пояснюються відмінністю реальної статичної характеристики віброживильника від характеристики, що використовується при моделюванні. Незначні абсолютні відмінності в зоні малих продуктивностей призводять до суттєвих змін тривалості режиму точного набору.

Впровадження на технологічних лініях №1 і №7 приготування суміші цеху магнезійних виробів ВАТ „Запоріжвогнетрив” запропонованої структури системи керування з ідентифікацією статичної характеристики віброживильника і висоти падіння, дозволило скоротити тривалість циклу дозування не менш ніж на 10%.

ВИСНОВКИ

У дисертації, яка є завершеною науково-дослідною роботою, розв'язана важлива науково-технічна задача підвищення швидкодії системи керування процесом багатокомпонентного дискретного вагового дозування шляхом використання початкової стадії дозування для ідентифікації статичної характеристики електромагнітного вібраційного живильника і висоти падіння матеріалу, що дозується, й формуванні на основі одержаних даних сигналу керування, що дозволило скоротити загальну тривалість циклу багатокомпонентного дозування не менш ніж на 10% без втрати точності.

1. Одержана залежність динамічної похибки зважування від висоти падіння і продуктивності віброживильника з урахуванням транспортного запізнення дозволяє підвищити якість керування за рахунок практичної реалізації зворотнього зв'язку за кількістю матеріалу, що вийшов з живильника.

2. Використання для визначення статичної характеристики віброживильника зміщеного синусоїдального сигналу дозволяє виконувати ідентифікацію на початковій стадії дозування.

3. Мінімізація розкиду точок статичної характеристики шляхом варіювання передбачуваного часу падіння, дозволяє ідентифікувати статичну характеристику віброживильника при невизначеній висоті падіння.

4. Подальший розвиток методу дослідження систем дискретного вагового дозування як замкнених безперервних систем керування, дає можливість використання математичного апарату теорії автоматичного керування для синтезу і аналізу зазначених систем.

5. Використання запропонованої структури системи керування процесом багатокомпонентного дискретного вагового дозування, яка відрізняється від відомих наявністю ідентифікатора статичної характеристики віброживильника на основі замкненого контуру миттєвої продуктивності й висоти падіння матеріалу, дозволяє підвищити не менш ніж на 10% швидкодію системи і одержати потрібну точність у першому ж циклі дозування.

ПУБЛІКАЦІ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бондаренко В.И. Структура электромеханической системы вибрационного типа линии массоприготовления огнеупорного производства / Бондаренко В.И., Осадчий В.В., Пирожок А.В. // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. – Вип.45. – С. 276-277.

2. Бондаренко В.И. Синтез системы управления электромеханического устройства дозирования вибрационного типа. / Бондаренко В.И., Пирожок А.В., Осадчий В.В. // Сборник научных трудов Днепропетровского государственного технического университета. – Днепропетровск: ДТУ. - 2007. – С. 74-75.

3. Осадчий В.В. Определение мгновенной производительности вибропитателя на основании сигнала с датчика веса в системе дискретного дозирования / Осадчий В.В. // Вісник КДПУ - Кременчук: КДПУ, - 2008. – Вип.4 (51) Част 2. – С.91-93.

4. Бондаренко В.И. Определение передаточной характеристики вибропитателя в системе дискретного весового дозирования / Бондаренко В.И., Осадчий В.В., Пирожок А.В. // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2008. – Вип.30. – С. 379-380.

5. Осадчий В.В. Повышение быстродействия электромеханической системы многокомпонентного весового дозирования / Осадчий В.В. // Науково-прикладний журнал «Технічна електродинаміка» – Київ: Інститут електродинаміки НАН України. – 2010 – Вип.4. – С. 48-53.

6. Осадчий В.В. Определение параметров регулятора электромеханической системы дискретного весового дозирования / Осадчий В.В., Бондаренко В.И. // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2010.- Вип.28. – С. 478-479.

7. Осадчий В.В. Уточнение взаимосвязей и параметров электромеханической системы дозирования вибрационного типа / Осадчий В.В. // матеріали ІХ міжнародної науково-технічної конференції «Електромеханічні системи, методи моделювання і оптимізації» Кременчуцького державного політехнічного університету. 15-17 травня 2007 р. – Вип.4 Част. 2. – С.19-21.

8. Осадчий В.В. Идентификация передаточной характеристики вибропитателя в процессе дискретного весового дозирования / Осадчий В.В., Садовой А.В. // матеріали XVI міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика» 14-18 вересня 2009 р., Крим, – С. 329-330.

Особистий внесок автора. У роботах, написаних у співавторстві, дисертанту належить: у роботі [1] формулювання вимог до системи керування й визначення основних обмежень траєкторії набору компонента; у роботі [2] розробка експериментальної установки з можливістю змінювання в широких межах висоти падіння матеріалу, запропонована структура системи керування, що забезпечує ідентифікацію об'єкта керування і корекцію динамічної похибки сигналу зворотнього зв'язку; у роботі [4] запропонована та експериментально підтверджена методика визначення статичної характеристики віброживильника за допомогою введення в керуючий сигнал синусоїдної складової; у роботі [6] встановлена залежність коефіцієнту підсилення регулятора, що забезпечує максимальну швидкодію без перерегулювання, від висоти падіння матеріалу; у роботі [8] запропонована та підтверджена математичним експериментом методика визначення статичної характеристики шляхом організації замкнутого контуру миттєвої продуктивності і висоти падіння матеріалу.

АНОТАЦІЯ

Осадчий В.В. Автоматизация процесса керування багатоконпонентним ваговим дозуванням на основі ідентифікації параметрів віброживильника – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизация процесів керування. – Національний гірничий університет. Дніпропетровськ, 2011.

Дисертація присвячена розробці системи керування процесом дозування з метою підвищення його швидкодії.

Для виконання досліджень процесу дозування розроблені орієнтовані на це математичний опис і імітаційна модель, якими враховуються кінетична енергія матеріалу, що падає в бункер, й нелінійність статичної характеристики віброживильника; розроблена і виготовлена фізична модель.

Методами фізичного експерименту, регресійного аналізу, імітаційного моделювання визначені параметри об'єкта керування, отримані аналітичні залежності для статичної характеристики віброживильника і динамічної похибки сигналу зворотнього зв'язку, обумовленої падінням матеріалу.

На підставі отриманих залежностей розроблена методика ідентифікації, що дозволяє визначити статичну характеристику віброживильника у початковій стадії дозування при невідомій висоті падіння матеріалу.

На основі проведених досліджень, отримані аналітичні залежності для розрахунку за результатами ідентифікації дозатора параметрів регулятора, що забезпечують максимальну швидкодію процесу без втрати точності дозування.

Ключові слова: дискретне дозування, віброживильник, ідентифікація статичної характеристики, автоматичне керування.

АННОТАЦИЯ

Осадчий В.В. Автоматизация процесса управления многокомпонентным весовым дозированием на основе идентификации параметров вибропитателя – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Национальный горный университет. Днепропетровск, 2011.

Диссертация посвящена разработке системы управления процессом многокомпонентного дискретного весового дозирования. Целью исследования является повышение быстродействия процесса дозирования путем использования его начальной стадии для идентификации статической характеристики вибропитателя, высоты падения материала и формирования на

основе полученных данных сигнала управления, позволяющего сократить продолжительность заключительной стадии дозирования без потери точности.

Для выполнения исследований процесса дозирования разработаны ориентированные на это математическое описание и имитационная модель, которые учитывают кинетическую энергию падающего потока и нелинейность статической характеристики вибропитателя, разработана физическая модель, которая сохраняет в сигнале обратной связи по весу дозируемого материала соотношение полезной составляющей и динамической погрешности, обусловленной падающим потоком.

Методами физического эксперимента, регрессионного анализа и математического моделирования определены параметры объекта управления, получены аналитические зависимости для статической характеристики вибропитателя и динамической ошибки сигнала обратной связи.

На основании полученных зависимостей разработана методика идентификации, использующая в качестве тестового смещенный синусоидальный сигнал. Указанная методика основана на минимизации разброса точек статической характеристики вибропитателя путем варьирования предполагаемого времени падения материала.

Разработан идентификатор, использующий фазовый сдвиг между мгновенной производительностью в точке касания падающего материала и тестовым сигналом для определения высоты падения материала, являющейся параметром вычислителя мгновенной производительности. Указанный идентификатор позволяет определить статическую характеристику вибропитателя в начальной стадии дозирования при неизвестной высоте падения материала.

Разработана система управления, основными элементами которой являются блок модуляции, формирующий тестовый сигнал и блок идентификации, который на основе управляющего сигнала и реакции объекта управления определяет его неизвестные параметры.

Разработана структура регулятора, учитывающего динамическую погрешность сигнала обратной связи, обусловленную падающим потоком сыпучего материала.

Получены аналитические зависимости для расчета на основании результатов идентификации дозатора параметров регулятора, обеспечивающих максимальное быстродействие без потери точности дозирования.

Ключевые слова: дискретное дозирование, вибропитатель, идентификация статической характеристики, автоматическое управление.

ANNOTATION

Osadchij V. Automation of the control process of multicomponent weight dosing based on the identification of the parameters of vibrating feeder – the Manuscript.

Candidate of Technical Sciences thesis in specialty 05.13.07 –“Automation of control processes”.– National Mountain University. Dnipropetrovs’k, 2011.

The thesis is devoted to a synthesis of a control system of the dosing process in order to increase its operating speed.

For the dosing process investigation, mathematical description and imitating model oriented on this are developed, which consider kinetic energy of the material, falling into the silo, and nonlinearity of the static characteristic of the vibrating feeder, laboratory device is developed and produced.

With the methods of physical experiment, regression analysis, simulation modelling parameters of the control object are defined, analytical dependencies obtained for the static characteristic of the vibrating feeder and a dynamic error of a feedback signal, caused by the falling stream.

Basing on the found dependencies, the identification technique is developed, allowing to define the static characteristic of the vibrating feeder on the initial stage of dosing with the unknown height of falling of the material.

On the basis of the carried researches, analytical dependencies obtained for calculation, basing on the results of the doser identification, of the regulator parameters providing the maximum operating speed without loss of dosing accuracy.

Keywords: discrete dosing, vibrating feeder, static characteristic identification, automatic control.