


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

ВАЖИНСЬКИЙ АНТОН ІВАНОВИЧ



УДК 614.841.332

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ
ОБЛАДНАННЯМ КОМПЛЕКСУ ВАГОВОГО ДОЗУВАННЯ СИПКИХ
МАТЕРІАЛІВ**

Спеціальність 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Донецьк–2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України (м. Донецьк).

Наукові керівники: доктор технічних наук, професор
Жуков Станіслав Федорович,
ДВНЗ «Донецький національний
технічний університет», професор кафедри
електроприводу і автоматизації
промислових установок (м. Донецьк)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Ларін Віталій Юрійович,
Національний авіаційний університет,
професор кафедри аеронавігаційних систем (м. Київ);

кандидат технічних наук
Лімонов Леонід Григорович,
головний спеціаліст
ПрАТ «Промавтоматика» (м. Харків)

Захист відбудеться « 24 » жовтня 2013 р. о 13¹⁵ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 11.052.02 в ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, корпус 8, ауд. 514.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, корпус 2.

Автореферат розісланий « » вересня 2013 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 11.052.02,
канд. техн. наук, доцент

А.М. Ларін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розглянутий об'єкт автоматизації – електротехнічний комплекс вагового дозування. Основна технологічна задача відділення дозування видача кожного компонента в такому співвідношенні, яке забезпечувало б задану якість кінцевого продукту. Електротехнічний комплекс покликаний забезпечити високоточне дозування вихідних матеріалів. Основною проблемою при цьому є неузгодженість у часі керуючих впливів і даних каналу зворотного зв'язку. У зв'язку з цим, розробка системи автоматичного керування електротехнічним комплексом вагового дозування є актуальною. Інтеграція в систему управління електротехнічним комплексом діагностичних функцій дозволить підвищити надійність функціонування електричного обладнання комплексу і сприяє зниженню фінансових витрат на виробництвах, пов'язаних з дозуванням сипучих матеріалів.

Зв'язок роботи з програмами, планами, темами. Робота виконувалася у відповідності з науковим напрямком Донецького національного технічного університету та його програм, у виконанні яких здобувач брав безпосередню участь, а саме: науково-дослідної роботи № Н4-10 «Дослідження сучасних систем електроприводу».

Зміст роботи відповідає програмі «Основні наукові напрями та найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природних, технічних і гуманітарних наук на 2009-2013рр.» (розділ 1.2.4. Проблеми оптимального керування, підрозділ 1.2.4.2. Оптимізація керованих систем відносно різних критеріїв якості: швидкості, мінімуму затрат енергії, мінімізації відстані).

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є удосконалення методів і засобів керування електротехнічним комплексом вагового дозування шляхом усунення впливу неузгодженості керуючих впливів і підвищення надійності функціонування комплексу за рахунок інтеграції в систему автоматичного управління діагностичних функцій.

Для досягнення поставленої мети розв'язуються наступні задачі:

1. Проведення аналізу об'єкта керування – електротехнічного комплексу вагового дозування.
2. Вдосконалення методів та розробка математичної моделі процесу керування електротехнічним комплексом вагового дозування, яка враховує вплив транспортного запізнювання в об'єкті дослідження.
3. Розробка адаптивної системи керування комплексом вагового дозування.
4. Проведення ідентифікації об'єкта керування.
5. Проведення імітаційного моделювання системи керування.
6. Розробка методики та алгоритму діагностування елементів електротехнічного комплексу вагового дозування.
7. Проведення лабораторних та промислових випробувань запропонованих алгоритмів.

Об'єктом дослідження є керування електротехнічним комплексом вагового дозування.

Предметом дослідження є методи і моделі побудови системи керування і діагностування електротехнічного комплексу вагового дозування.

Методи дослідження. В основу досліджень покладені методи сучасної теорії

автоматичного керування, теорії оптимального керування, диференціального й інтегрального числення, поліноміального синтезу, обчислювальної математики, методи математичного та фізичного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше отримано математичний опис комплексу вагового дозування сипких матеріалів, що став основою комплексної методики синтезу системи керування, яка виключає вплив транспортного запізнювання і включає в себе створений вимірювальний пристрій – датчик наявності сипких матеріалів, що дозволяє визначати наявність різних шихтових матеріалів шляхом адаптивної настройки у функції зміни опору шихти.

2. Отримала розвиток модель формування керуючого впливу на основі прогнозування стану об'єкта, що враховує динаміку процесу підготовки шихтових матеріалів.

3. Вперше запропоновано метод компенсації збурень в системі керування, викликаних зміною параметрів об'єкта керування, заснований на комплексному використанні таблиць адаптації настройок регуляторів і результатів ідентифікації методом площ Сімою.

4. Вдосконалено метод оцінки технічного стану елементів електричного обладнання комплексу дозування, заснований на аналізі таблиць функцій несправностей комплексу і частотної області впливу параметрів двигуна при їх відхиленні від номінальних значень.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Синтезована система керування електричним обладнанням комплексу дозування сипучих матеріалів, у якій враховується вплив транспортного запізнювання шляхом ідентифікації об'єкта управління і застосування удосконалених алгоритмів адаптації.

2. Результатом скорочення часу регулювання в 3 – 5 разів, зменшення перерегулювання і підвищення запасу стійкості в системі керування стала економія сировини та підвищення якості готової продукції.

3. Запропоновано методику оцінки параметрів елементів електричного обладнання комплексу вагового дозування для переходу до превентивного обслуговування електричного устаткування.

4. Запропоноване схемотехнічне рішення датчика наявності сипучих матеріалів дозволило підвищити його надійність за рахунок усунення відмов релейних елементів.

Практична цінність і ефективність дисертаційної роботи підтверджується результатами промислових випробувань. Розроблені в дисертації алгоритми роботи комплексу вагового дозування використовуються в процесах підготовки матеріалів металургійного виробництва.

Основні положення роботи використовуються в навчальному процесі на кафедрі «Електропривод та автоматизація промислових установок» ДонНТУ г. Донецьк.

Програмно-апаратні комплекси для дослідження цифрових систем керування електротехнічним комплексом вагового дозування, створені при роботі над дисертацією, використовуються на виробництві.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення і результати, наве-

дені в дисертації, отримані автором самостійно. Здобувач здійснив синтез алгоритмів керування електротехнічним комплексом вагового дозування з урахуванням транспортного запізнення, розробив методику цифрової реалізації пристроїв керування, що формують закони керування для комплексів дозування, виконав структурний синтез системи діагностування електричного обладнання комплексів дозування, розробив методику ідентифікації об'єкту керування, розробив установки для досліджень та реалізації у реальному часі, виконав теоретичні та експериментальні дослідження.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались і отримали позитивну оцінку на: XI і XII міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми сучасної електротехніки», Київ 2010, 2012; IX і X міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених і фахівців, Кременчук, 2011 і 2012; V міжнародній науково-технічній конференції "Керування режимами роботи об'єктів електричних та електромеханічних систем – 2011", Святогірськ, 2011; VI міжнародної науково-практичної конференції "Донбас – 2020: перспективи розвитку очима молодих вчених".

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи освітлені у 13 друкованих працях, серед них 6 у фахових виданнях України: 3 – у збірниках наукових праць, 3 – у науково-прикладних журналах; 3 – в матеріалах конференцій; отримано 1 патент України на корисну модель.

Структура й обсяг. Повний обсяг дисертаційної роботи складає 203 сторінки, серед яких 140 сторінок друкарського тексту основної частини (вступ, п'ять розділів і висновки), 7 додатків на 31 сторінках, переліку літератури з 102 найменувань на 11 сторінках, 77 рисунків за текстом, 20 рисунків на 13 окремих сторінках і 14 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Стан проблеми та завдання дослідження системи керування електротехнічним комплексом» виконано аналітичний огляд систем керування електротехнічними комплексами підготовки матеріалів металургійних процесів, а саме: законів керування систем з запізненням., розглянуто питання побудови та структурного синтезу систем діагностики; проаналізовано методи забезпечення бажаної точності дозування сипких матеріалів. У різний час проблемою автоматизації вагового дозування і створення систем діагностики електротехнічних комплексів займалися такі вчені, як А.І. Похвиснев, А.А. Сігов, Е.Ф. Вегман, Н.В. Федоровський, М. Атанс, А. Вілські, Дж. Гертлер, П. Франк, М. Крамер, М. Бассевіль, І.О. Ушаков, Н.І. Чичикало, Л.Г. Лімонов.

Виявлено недоліки існуючих схемних і програмних рішень та обґрунтовано задачі досліджень.

У другому розділі «Розробка математичного опису електротехнічного комплексу вагового дозування» виконано аналіз математичних моделей систем управління електротехнічними комплексами вагового дозування. Об'єкт дослідження – електротехнічний комплекс вагового дозування, можна подати у вигляді виразу (1), що описує аперіодичну ланку другого порядку з запізненням:

$$W_{\text{об}}(\delta) = \frac{k_{\Sigma}}{T_i \delta_{\dot{A}} \delta^2 + (\delta_i + \delta_{\dot{A}}) \delta + 1} \hat{a}^{-\delta\tau} = \frac{k_{\Sigma}}{\delta_2 \delta^2 + \delta_1 \delta + 1} \hat{a}^{-\delta\tau}, \quad (1)$$

де k_s – коефіцієнт передачі; δ_2, δ_1 – постійні часу.

До складу комплексу входять: тарілчастий живильник, ваговимірювальне обладнання, перетворювач частоти, двигун. Для виконання якісного регулювання, в тому числі після автоматичної настройки регулятора, необхідні знання про динамічну поведінку об'єкта керування. Структурну схему експерименту з використанням моделі об'єкта наведено на рис. 1.

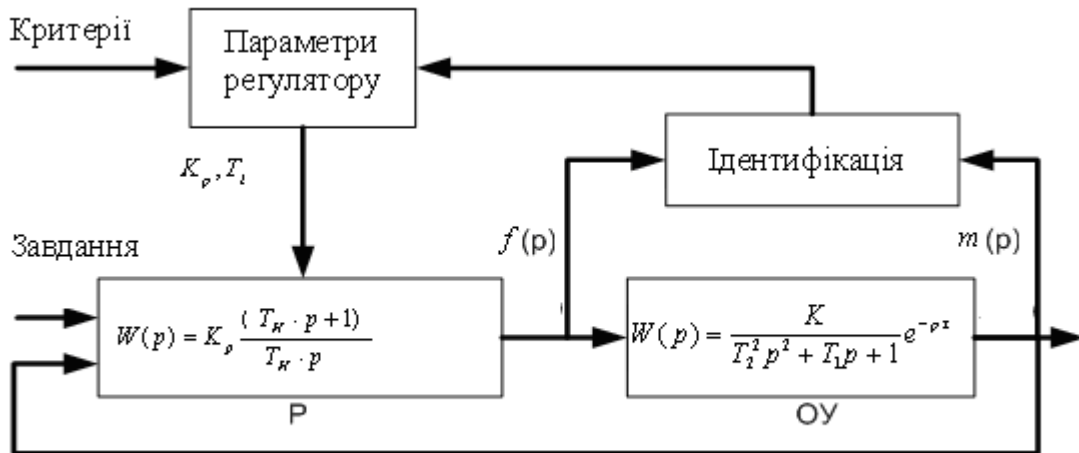


Рисунок 1 – Структурна схема експерименту

Апроксимуємо криву розгону об'єкта керування з перехідною функцією степеневою функцією, отримуємо рівняння

$$y = ax^b \quad (2)$$

Визначаємо коефіцієнти b та a за допомогою виразів (3) та (4):

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n \ln X \delta_i - n \ln a}{\sum_{i=1}^n \tau_i} \quad (3)$$

$$a = \frac{X \delta \tilde{\delta}}{\Delta Y} \quad (4)$$

Електротехнічний комплекс вагового дозування характеризується транспортним запізнюванням, отже його можна представити у вигляді комплексу, що складається з двох компонентів, з'єднаних між собою. Перший з них – це ланка затримки, через яку протягом часу запізнювання проходить кожна подана регулятором керуюча команда, перш ніж вона зробить вплив на другий компонент – частину об'єкта без запізнювання управляючих впливів. Відомо, що класична формула розрахунку типового ПІ – регулятора дає при застосуванні у виробництві незадовільні результати, коли час запізнювання регулятора значно перевищує допустиме. У цій ситуації для виключення негативного впливу часу запізнювання на якість регулювання застосуємо алгоритм, котрий відомий як «предиктор Сміта». На рис. 2 представлена схема об'єкта керування з використанням предиктивної моделі.

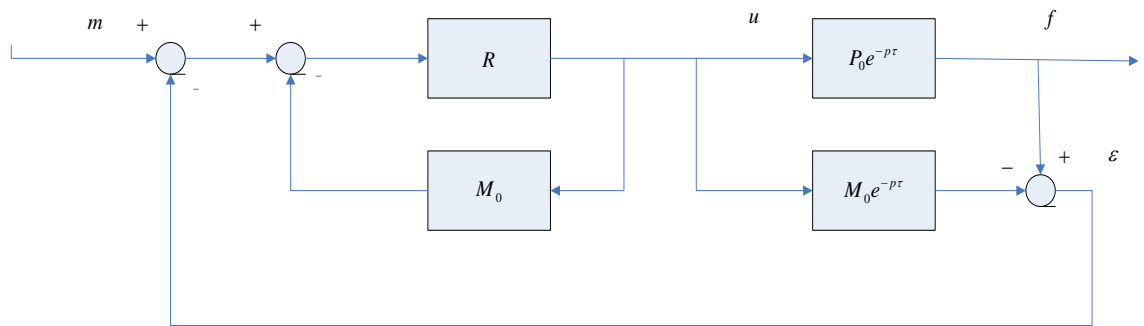


Рисунок 2 – Схема керування с предиктором Сміта

Тут R – звичайний ПІ – регулятор, $P_0 e^{-p\tau}$ – передаточна характеристика об'єкта керування. Принцип роботи системи полягає в наступному. Припустимо, що модель абсолютна точна. Тоді різниця сигналів на виходах моделі і об'єкта буде дорівнювати нулю ($\epsilon = 0$). В такому випадку безпосередньо зі схеми на рис.3 можна отримати рівняння

$$f = P_0 e^{-p\tau} \left(\frac{R}{1 + RM_0} \right) m = \left(\frac{P_0 R}{1 + P_0 R} e^{-p\tau} \right) m. \quad (5)$$

У виразі (5) член $\left(\frac{P_0 R}{1 + P_0 R} \right)$ представляє передаточну функцію системи без транспортної затримки, яка описується виразом (6):

$$\begin{aligned} f &= P_0 e^{-p\tau} R(m - \epsilon - M_0 u), \\ \epsilon &= f - M_0 e^{-p\tau} u, \\ f &= P_0 e^{-p\tau} u. \end{aligned} \quad (6)$$

звідки одержуємо рівняння

$$f = \left[\frac{P_0 R}{1 + RM_0 + R(P_0 - M_0)e^{-p\tau}} \right] e^{-p\tau}. \quad (7)$$

У системі керування використовується схема з реакцією на час запізнювання (предиктор Сміта). Якщо модель правильно ідентифікована, то за її допомогою можна передбачити вихідну змінну, вирішуючи рівняння моделі, тобто не чекаючи реакції об'єкта на керуючий вплив. На рис. 3 наведено структурну схему керування.

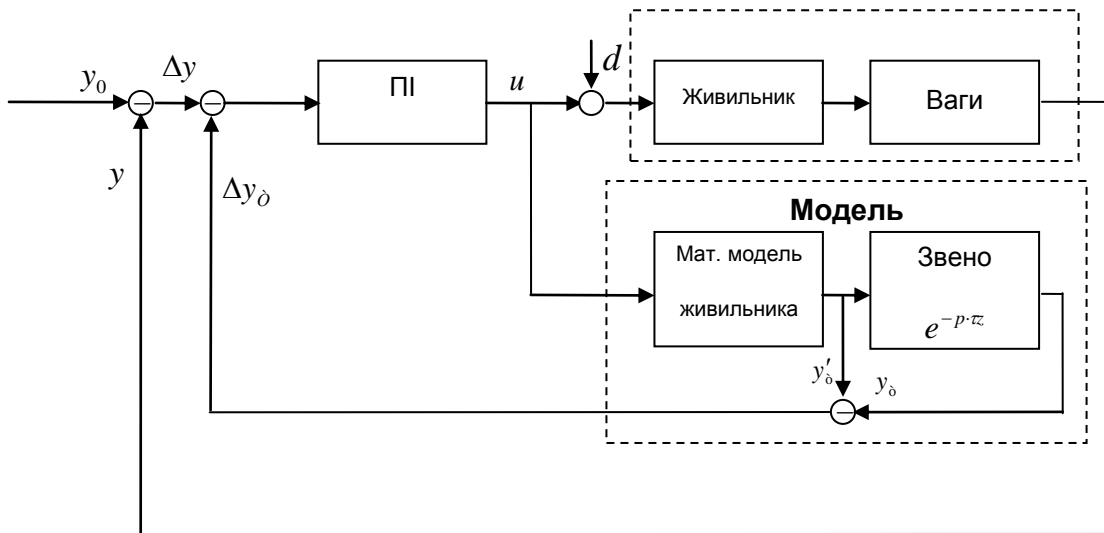


Рисунок 3 – Схема керування швидкістю живильника комплексу дозування

На схемі y_0 – поточне завдання, яке порівнюється з фактичними показаннями ваг y . В результаті отримуємо сигнал помилки: $\Delta y = y_0 - y$. Далі вона порівнюється з змодельованою помилкою Δy_m , яка дорівнює різниці між продуктивністю живильника y'_m , обчисленої за математичною моделлю і тією ж продуктивністю через період τ : $\Delta y_m = y'_m - y_m$. Результуюча помилка подається на регулятор, який видає керуючий вплив u . За цього впливу за допомогою математичної моделі і обчислюється передбачувана продуктивність живильника y'_m . Ланка запізнювання враховує тимчасову неузгодженість живильника і ваг, на виході видає обчислені показання ваг y_m .

У **третьому розділі** «Результати математичного моделювання електротехнічного комплексу вагового дозування» закладено основи для побудови системи керування електричним обладнанням комплексу. Для реалізації системи керування електротехнічним комплексом необхідна математична модель залежності продуктивності тарільчатого живильника від частоти двигуна

$$M = f(F), \quad (8)$$

де M – продуктивність (кг / м);

F – частота двигуна живильника (Гц).

На рис. 4 наведено схему моделювання комплексу в середовищі MATLAB.

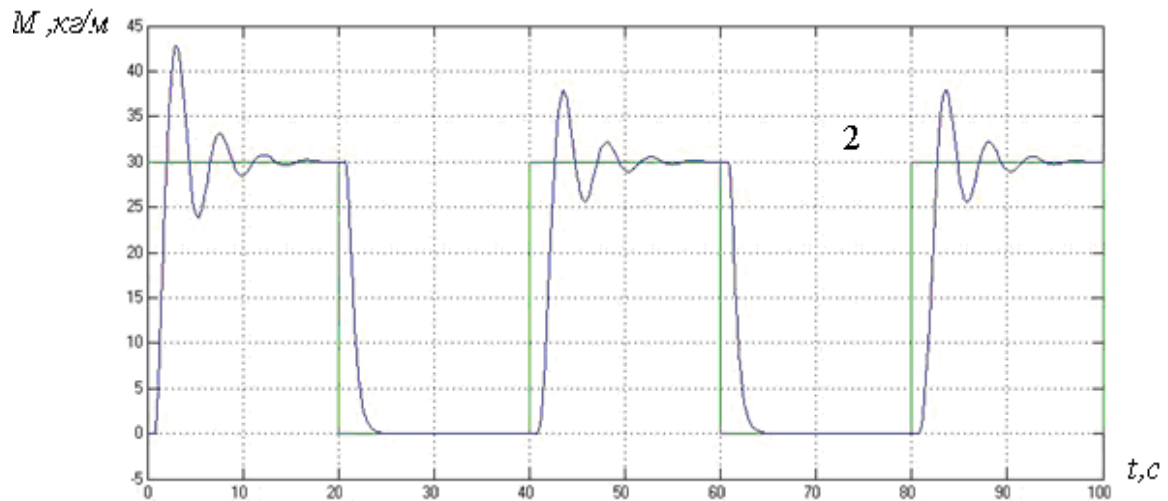
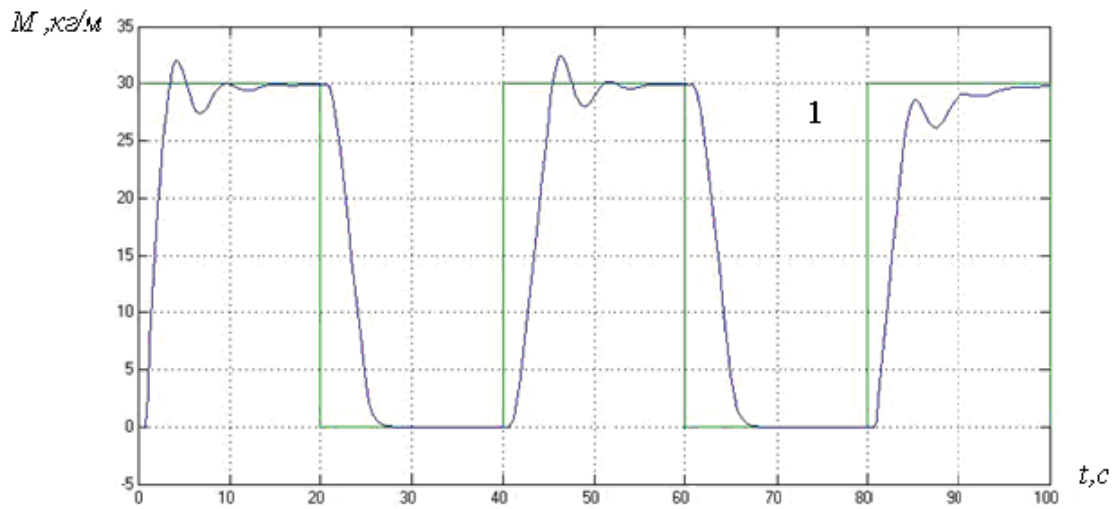
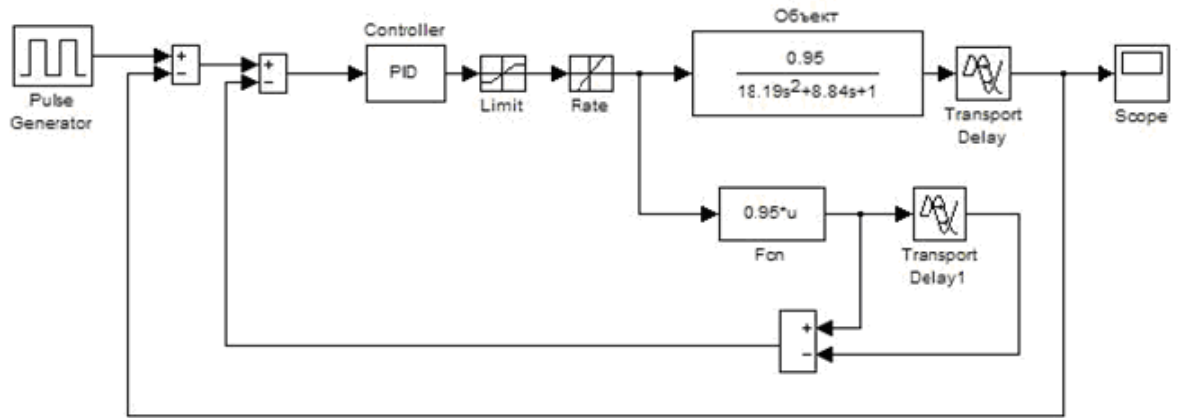


Рисунок 4 – Перехідні характеристики систем з предіктором (1) та ПІ регулятором (2)

Результати експерименту підтверджують лінійність залежності продуктивності комплексу від частоти двигуна (рис. 5 та табл.1).

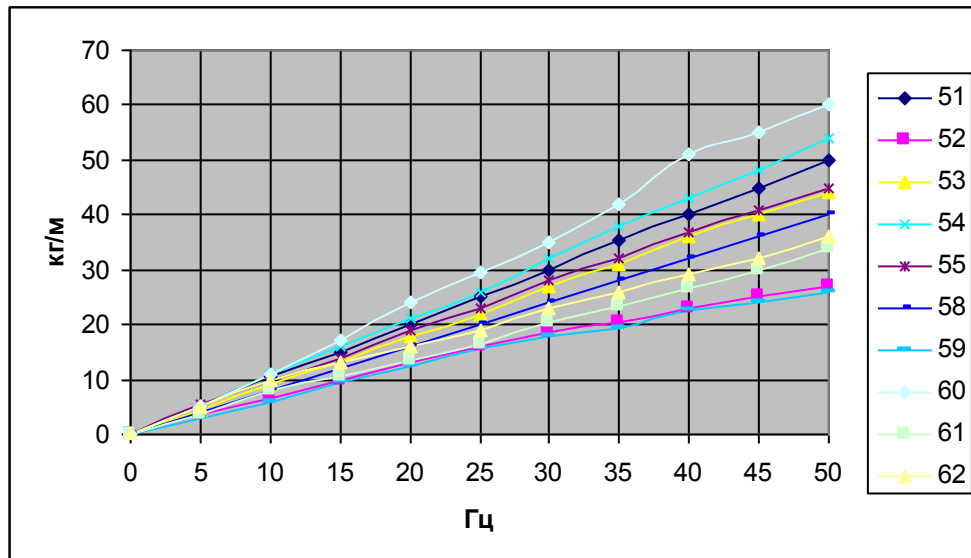


Рисунок 5 –Залежність продуктивності комплексу від частоти двигуна

Таблиця 1 – Експериментальні дані про продуктивність комплексу дозування

Частота, Гц	Продуктивність, кг/м									
	51	52	53	54	55	58	59	60	61	62
5	5,0	3,5	4,5	5,0	5,5	4,0	3,0	5,0	3,5	5,0
10	10,5	6,5	9,0	11,0	10,0	8,0	6,0	11,0	8,0	10,0
15	15,0	10,0	13,0	16,0	14,0	12,0	9,5	17,0	10,5	13,0
20	20,0	13,0	18,0	21,0	19,0	16,0	12,5	24,0	13,5	16,0
25	25,0	16,0	22,0	26,0	23,0	20,0	15,5	29,5	16,5	19,0
30	30,0	18,5	27,0	32,0	28,0	24,0	18,0	35,0	20,5	23,0

Збурювання викликає зміну величини, яка регулюється, від заданого значення, яке можна описати наступним диференціальним рівнянням

$$T_{об} x' + x = K_{об} y, \quad (9)$$

де $x = x_m - x_m^H = x_m - x_\zeta$ – відхилення завдання від поточного значення (величина, протилежна за знаком сигналу помилки);

$T_{об}$ – постійна часу;

$k_{об}$ – коефіцієнт передачі об'єкта керування.

З рівняння (9) отримуємо вираз для знаходження похідної

$$x' = \frac{K_{об} y - x}{T_{об}}. \quad (10)$$

Значення похідної величини x обчислюється за виразом

$$x' \approx \frac{\Delta x}{\Delta \tau} = \frac{x_2 - x_1}{i}, \quad (11)$$

де x_2 – значення величини x наприкінці розрахунку;

x_1 – значення величини x на початку розрахунку;

i – часовий крок розрахунку.

Прирівнюючи праві частини рівнянь (10) і (11), вирішуючи отримане рівняння відносно x_2 , отримаємо

$$x_2 = x_1 + \frac{i}{T_{ia}} [K_{ia} y - x_1]. \quad (12)$$

Початкове значення координати x на початку першого кроку розрахунку приймаємо рівним нулю. Скористаємось рівнянням (12) для розрахунку наступних значень координати

$$x_1 = x_2. \quad (13)$$

Об'єкт керування характеризується запізнюванням, тому N_1 розрахуємо за виразом

$$N_1 = \frac{\tau_{ia}}{i}. \quad (14)$$

Вираз для розрахунку кривої розгону об'єкту керування запропоновано у вигляді рівняння

$$x(N+2) = x(N+1) + \frac{i}{T_{ia}} [\hat{E}_{ia} \delta - \delta(N+1)]. \quad (15)$$

Метод площ дозволяє визначити передаточну функцію моделі об'єкта на базі аналізу кривої розгону. Динамічні властивості об'єкта апроксимуються моделлю наступного виду:

$$\bar{W}_M^{-1}(p) = \frac{1}{\bar{W}_M(p)} = \frac{1 + a_1 p + a_2 p^2}{1 + b_1 p + b_2 p^2}. \quad (16)$$

Нормована передаточна функція з коефіцієнтом посилення, який дорівнює одиниці (17) і (18):

$$\bar{W}_M^{-1}(p) = \frac{1 + a_1 p + a_2 p^2}{1 + b_1 p + b_2 p^2} = 1 + S_1 p + S_2 p^2, \quad (17)$$

$$K = \bar{W}_M(0) = 1. \quad (18)$$

Основним завданням є визначення коефіцієнтів a_i, b_i передаточної функції.

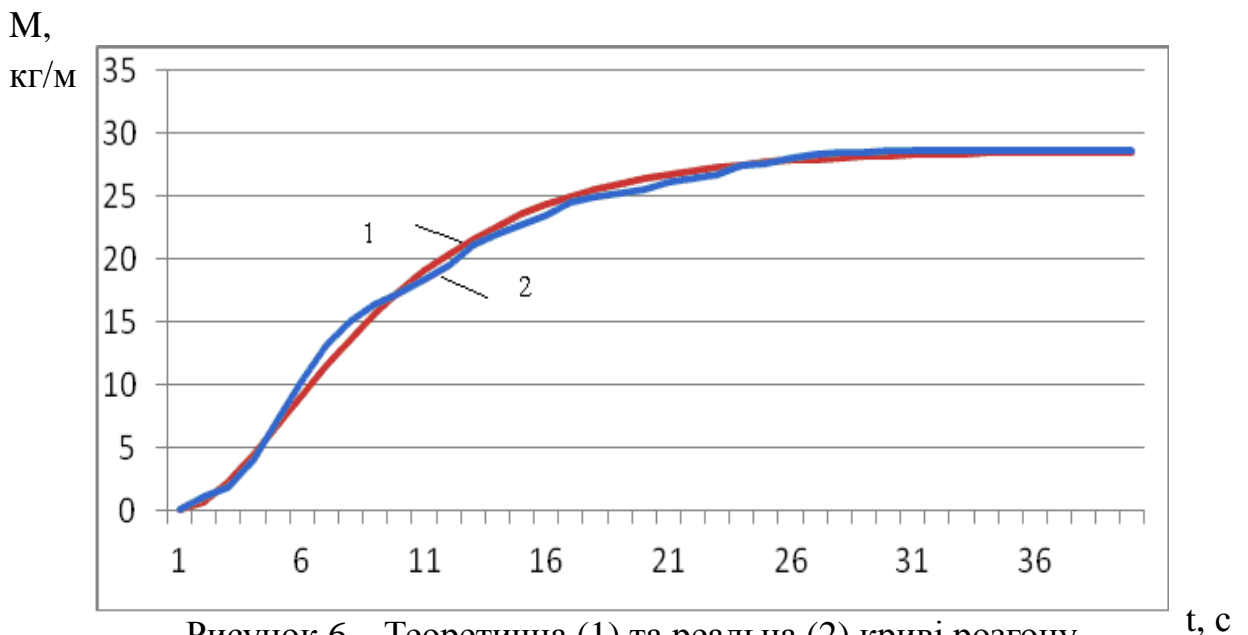
Для визначення найбільш відповідного варіанту, були проведені обчислення для моделі першого і другого порядку. Математична модель першого порядку запропонована у вигляді функції

$$\bar{W}_M(p) = \frac{1}{1 + 6,16p} \quad (19)$$

Математична модель другого порядку – у вигляді функції

$$\bar{W}_M(p) = \frac{1}{1 + 6,16p + 9,53 p^2} \quad (20)$$

Порівняння графіків теоретичної та реальної кривих розгону для моделі другого порядку наведені на рис.6.



Критерієм оцінки точності моделі служить коефіцієнт взаємної кореляції

$$R_{12} = \frac{r_{12}}{\sqrt{\sum_{n=0}^{n-1} x_1^2(n) \sum_{n=0}^{n-1} x_2^2(n)}} = 0,96, \quad (21)$$

де $r_{12} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_1(n) \cdot x_2(n)$ – кореляція;

$x_1(n), x_2(n)$ – масиви даних перехідних характеристик.

У четвертому розділі «Розробка програмно - апаратного забезпечення системи керування електротехнічним комплексом вагового дозування» здійснено синтез системи, що забезпечує відпрацювання законів керування з мінімальними статични-

ми та динамічними похибками, які компенсують транспортне запізнення.

Система керування електротехнічним комплексом дозування містить кілька підсистем: підсистема збору і аналізу вхідних величин, коефіцієнтів і вимірюваних параметрів; підсистема прогнозування керуючих сигналів, заснована на математичній моделі; підсистема безпосереднього управління і видачі управляючих сигналів перетворювачу частоти, який входить до складу комплексу дозування.

Підсистема реалізується у вигляді програмних блоків, що відповідають за аналіз даних комплексу вагового дозування і обробку блоків даних, що містять постійні та змінні параметри. Частина цих параметрів задається з робочого місця оператора відділення дозування. Умовно ця підсистема зображена на рис. 7.

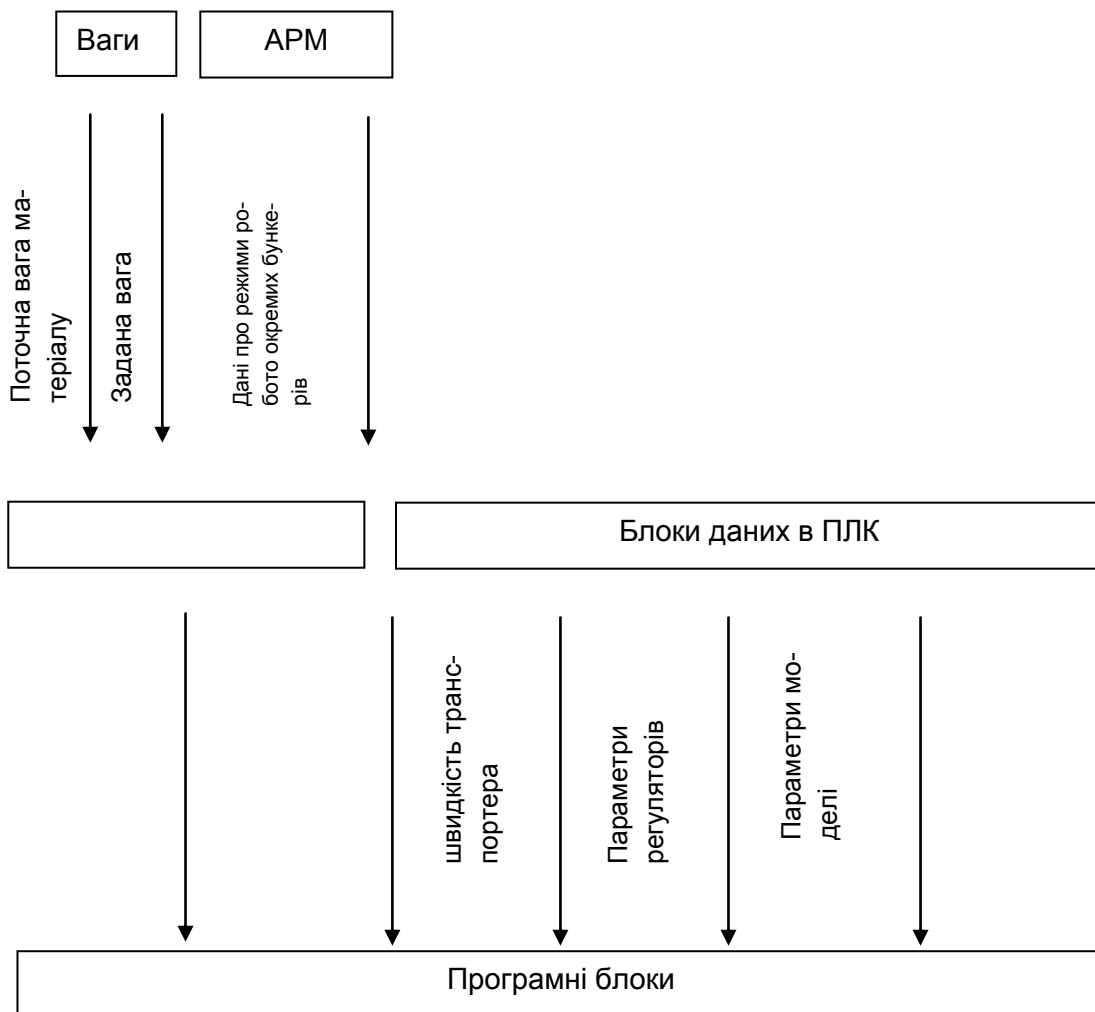


Рисунок 7 – Схема роботи підсистеми збору та аналізу вхідних величин

Для визначення якісних показників функціонування системи необхідно реалізувати розрахунок перехідних процесів в системі засобами програмованого логічного контролера. Застосування методу Ейлера при вирішенні початкової задачі Коші дозволило досягти необхідної точності. Нижче наведені алгоритми розрахунку перехідних процесів, що обумовлені стрибкоподібними збуреннями по навантаженню і за завданням.

Вхідними параметрами даної підсистеми будуть: оброблені дані по продуктивності з усіх ваг, задане значення продуктивності, поточна частота обертання дозато-

рів бункерів взятих в роботу, а також параметри математичної моделі. Виходячи з цих вхідних даних, підсистема забезпечить розрахунок продуктивності окремого бункера безпосередньо в момент видачі матеріалу. Підсистема також забезпечує обмін даними між контролером і частотним перетворювачем (рис. 8).

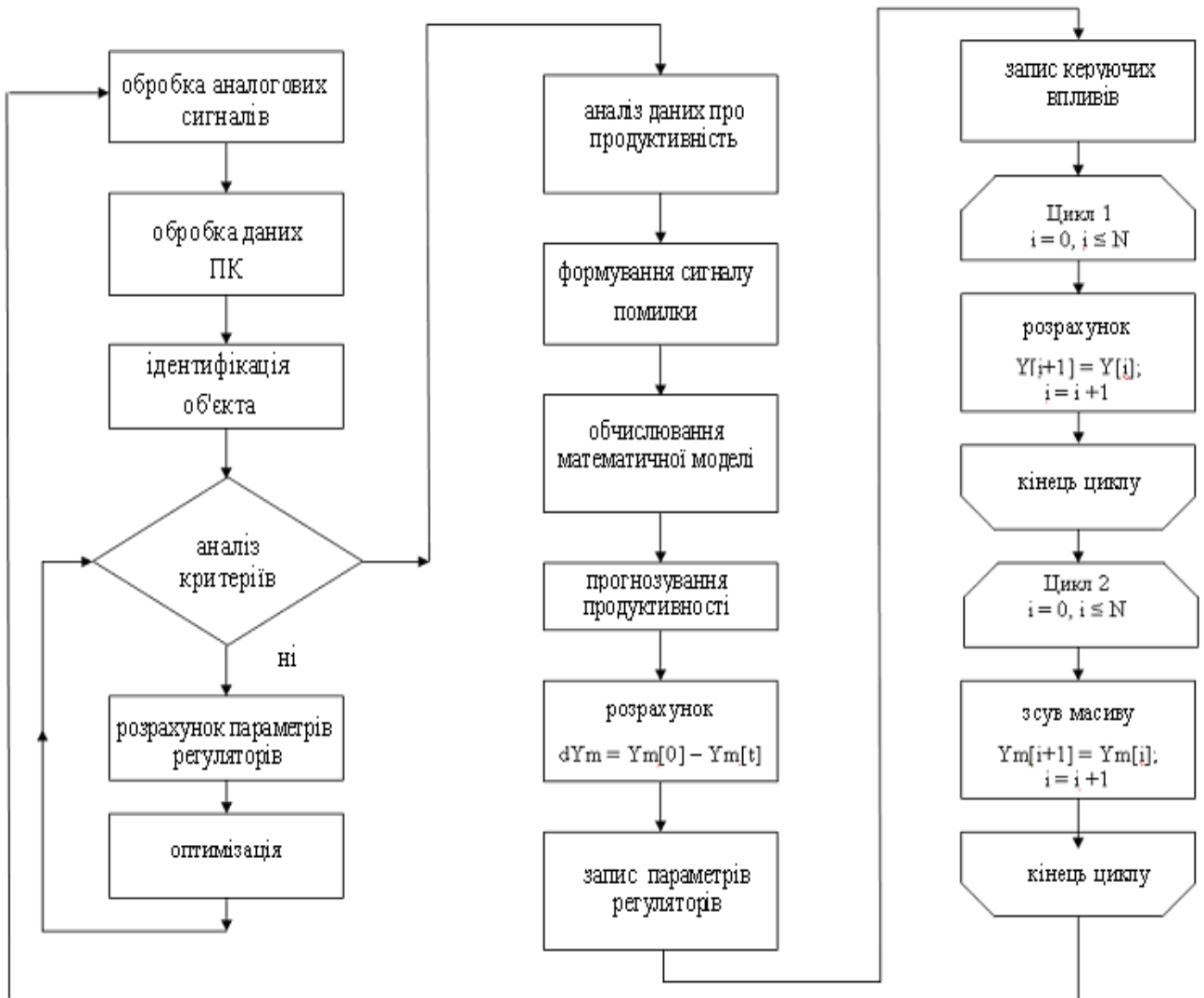


Рисунок 8 – Блок-схема функціонування системи керування

Для уточнення параметрів об'єкта застосовуємо метод площ Сімою. Спочатку знімається крива розгону об'єкта. Потім засобами системи візуалізації інформація надається оператору. Здійснюється математична обробка засобами мікропроцесорної техніки, будуються апроксимовані криві, проводиться розклад отриманих функцій моделі в ряд Тейлора, складається система рівнянь для визначення коефіцієнтів моделі.

Для реалізації систем керування дозуванням сипких матеріалів необхідно впровадження систем розподілу матеріалу по бункерах. Таким чином, розробка надійної системи розподілу шихти і пристроїв визначення наявності потоку матеріалу є актуальною. Зараз для контролю рівня та наявності матеріалів у системах вагового

дозування зазвичай використовують датчики опору СУ-2, БКС. Експлуатація датчиків наявності матеріалів вищевикладеної елементної бази виявила такі недоліки: необхідність в частій настройці порога спрацьовування, часті помилкові спрацьовування, аналогова електроніка виходить з ладу, внаслідок підгоряння контактів електромагнітних реле. Сигналізатор рівня матеріалу нового типу може контролювати відразу декілька (три бункери) рівнів незалежно один від одного за рахунок керуючої програми. Мікроконтролер, який використовується в новому сигналізаторі, дозволяє робити заміну керуючої програми і виконувати управління сигналізатором рівня матеріалу в залежності від поставлених завдань. Керуюча програма написана за допомогою безкоштовно розповсюджуваною середовища програмування.

Таким чином запропонований сигналізатор наявності сипких матеріалів структурно складається з: блоку контролю опору, у вигляді оптрону, датчика наявності матеріалів електродного типу, мікроконтролеру.

Проведене випробування показало, що запропонована структура датчика, порівняно з відомими пристроями дозволяє підвищити надійність приладу. Використання оптрону замість електромагнітного реле дозволяє уникнути виходу з ладу пристрою внаслідок підгоряння контактів реле. Також сигналізатор, за рахунок наявності керуючої програми мікроконтролера, дозволяє одночасно і незалежно керувати декількома об'єктами.

У п'ятому розділі «Забезпечення надійності функціонування системи керування електротехнічним комплексом дозування» описана нова методика оцінки стану обладнання електротехнічного комплексу вагового дозування на основі імовірнісної оцінки статистичних даних.

При вирішенні задачі мінімізації часу і кількості простоїв обладнання дозування важливо не тільки прогнозувати можливі відмови, але і своєчасно проводити профілактичний ремонт обладнання для скорочення числа відмов. При цьому необхідно враховувати параметри надійності обладнання, в тому числі ймовірність безвідмовної роботи і напрацювання на відмову. Показник нароби на відмову характеризує не тільки технічний рівень оснащення, але і економічну ефективність експлуатації технологічного устаткування. Значення ймовірності виникнення початкової події відмови (ППВ) P_m^{ENI} визначається в залежності від прийнятого закону розподілу випадкової величини згідно ДСТУ 3004-95 «Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними».

При розрахунку даного показника слід обґрунтувати закон розподілу випадкової величини, який залежить від статистики розглянутої початкової відмови, особливостей експлуатації об'єкту й особливостей виникнення відмови. P_m^{ENI} – це ймовірність того, що ППВ номер m станеться. Тобто в даній методиці використовується логіка успіхів. Поняття логіки успіхів має на увазі, що відмова станеться і розраховується ймовірність відмов, а не вірогідність безвідмовної роботи. Коефіцієнт впливу K_n вихідних подій відмов визначаємо експертне виходячи з практики подібних механізмів.

За результатами розрахунків умовних ймовірностей вихідних подій відмов, визначаємо ймовірність відмови механізму за період роботи Δt :

$$P(\Delta t) = \sum_{i=1}^n P_n'(\Delta t) \quad (22)$$

Інтенсивність відмов механізму за період Δt визначається за виразом

$$\lambda = -\frac{\ln(1 - P(\Delta t))}{\Delta t} \quad (23)$$

Інтенсивність відмов об'єкта як системи механізмів може бути визначена як сума значень

$$\lambda = \sum \lambda_i \quad (24)$$

Показник напрацювання на відмову характеризується відношенням суми напрацювань відмовив устаткування за звітний період до кількості відмов за звітний період і визначається за виразом

$$T_H = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{N} \quad (25)$$

За результатами розрахунків інтенсивності відмов, визначаємо ймовірність відмови системи вагового дозування за період роботи Δt :

$$P(t) = e^{-\lambda(t)} \quad (26)$$

Отримані результати зведемо в табл. 2

Таблиця 2 – Інтенсивність відмов електротехнічного комплексу

Показник надійності	T_H	$\lambda(t)$	$P(t)$
	22,03	0,05	0,96

При відсутності самоконтролю в системі діагностики і, якщо час перебування в стані прихованої несправності розподілено за експоненціальним законом, величина коефіцієнта готовності K_a в деякий момент часу приймає значення, які визначаються: при справності – коефіцієнтом готовності в стаціонарному режимі; при несправності – величиною безвідмовної роботи з моменту прояву несправності.

Коефіцієнт готовності в момент часу $t - \tau$ описується виразом

$$K_a P(t - \tau) = \frac{T^*}{T^* + \Theta} e^{-\lambda(t - \tau)} \quad (27)$$

Сумарне значення коефіцієнта готовності дорівнюватиме:

$$K_z^* = K_z e^{-\lambda_k t} + \int K_z e^{-\lambda^*(t-\tau)} d(1 - e^{-\lambda_k \tau}) \quad (28)$$

Поліпшити ймовірність безвідмовної роботи можна при застосуванні методу заміни вихідного пристрою n ідентичними елементами і методу резервування з самоконтролем блоків. Тоді ймовірність безвідмовної роботи об'єктів діагностики визначиться рівнянням (29):

$$P = \left\{ \left[\sum_{i=\frac{n+1}{2}}^n C_n^i p^i (1-p)^{n-i} \right] p_{eo} \right\}^n, \quad (29)$$

де p_{eo} – ймовірність безвідмовної роботи відновлюючого об'єкта.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-прикладна задача побудови системи автоматичного управління і діагностування електротехнічного комплексу вагового дозування в умовах неузгодженості у часі керуючих впливів і інформації каналів зворотного зв'язку.

1. В результаті застосування комплексного підходу до ідентифікації параметрів об'єкта керування методом площ Сімою отримано уточнений опис системи керування електротехнічним комплексом вагового дозування.

2. Нові аналітичні залежності, отримані при математичному моделюванні системи вагового дозування, підтверджені при експериментальних дослідженнях і послужили основою для побудови моделі вагового дозування.

3. Включення в предиктивну модель управління електричним обладнанням дозування аналітичного опису системи дозволило врахувати вплив тимчасового запізнення керуючих впливів і підвищити якісні показники дозування шихтових.

4. Дослідження перехідних процесів в системі показало зменшення часу регулювання і підвищення запасу стійкості, підтвердивши ефективність застосування вдосконаленої моделі предиктора Сміта.

5. Результатом застосування комплексного підходу до синтезу адаптивної системи управління стало підвищення точності дозування шихтових матеріалів.

6. Дослідження частотних характеристик з використанням критеріїв Найквіста і Стодоля дозволяє зробити висновок, що система стійка по фазі та модулю.

7. В результаті застосування розробленого датчика наявності сипучих матеріалів стало можливим зменшення числа помилкових спрацьовувань і забезпечення кращого контролю над процесом дозування матеріалу.

8. Аналіз таблиць функцій несправностей із застосуванням умови мінімізації булевих функцій дозволив розробити програмне забезпечення модуля діагностики електричного обладнання вагового дозування.

9. Аналіз ЛАЧХ чутливостей передавальних функцій розімкнутої системи в процесі моделювання при зміні параметрів АД, дозволив оцінити вплив параметрів двигуна на його працездатність і визначити поля допусків для побудови модуля оцінки працездатності і діагностики.

10. Проведені промислові випробування підтвердили правильність підходів, використаних при синтезі системи керування і застосовність таких систем для об'єктів управління з тимчасовим неузгодженістю керуючих впливів.

Основні теоретичні положення підтверджені результатами математичного моделювання та експериментальних досліджень. Досвід експлуатації системи керування електротехнічним комплексом на ПАТ МК «АЗОВСТАЛЬ» показав, що застосування перелічених вище рішень дозволяє підвищити точність дозування, знизити непродуктивні втрати матеріалів і створити передумови для автоматизації процесу підготовки матеріалів металургійного процесу.

Отримані результати можна використовувати в системах керування електротехнічними комплексами вагового дозування, для яких є актуальною задачею забезпечення високої точності та мінімізації коливань швидкості обертів робочого органу дозатора шляхом ідентифікації об'єкту.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Жуков С.Ф. Разработка комплекса аппаратных и программных средств автоматического управления агломерационным производством / С.Ф. Жуков, А.И. Важинский // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Електротехніка і енергетика». – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – №9(158). – С. 95 – 100.

2. Жуков С.Ф. Система управления электротехническим комплексом весового дозирования / С.Ф. Жуков, А.И. Важинский // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Електротехніка і енергетика». – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – №11(186). – С. 137 – 140.

3. Жуков С.Ф. Классификация методов и средств технической диагностики электротехнического комплекса металлургического производства / С.Ф. Жуков, А.И. Важинский // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Електротехніка і енергетика». – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – №9(158). – С. 101 – 106.

4. Жуков С.Ф. Автоматизация процессов управления и диагностирования электротехнических комплексов металлургического производства / С.Ф. Жуков, А.И. Важинский. // Технічна електродинаміка: тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – Київ: ІЕД НАНУ, 2010. – Ч.1. – С. 181 – 184.

5. Жуков С.Ф. Интеграция диагностических возможностей в электротехнический комплекс весового дозирования / С.Ф. Жуков, А.И. Важинский // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Електротехніка і енергетика». – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – №11(186). – С. 133 – 136.

6. Жуков С.Ф. Техническая диагностика, как средство повышения надежности электротехнического комплекса металлургического производства / С.Ф. Жуков, А.И. Важинский // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Електротехніка і енергетика». – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – №9(158). – С. 107 – 111.

7. Жуков С.Ф. Решения в области обеспечения непрерывного высокоточного дозирования сыпучих материалов / С.Ф. Жуков, А.И. Важинский // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КНУ, 2011. – №1 (13). – С. 55 – 58.

8. Жуков С.Ф. Алгоритм управления объектом с компенсацией транспортного запаздывания / С.Ф. Жуков, А.И. Важинский // Технічна електродинаміка. – Київ: ІЕД НАНУ, 2012. – №3. – С. 23 – 24.

9. Жуков С.Ф. Исследование алгоритма управления в системах с запаздыванием / С.Ф. Жуков, А.И. Важинский // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Електротехніка і енергетика». – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – №1(12) – 2(13). – С. 78 – 83.

10. Жуков С.Ф. Идентификация модели объекта управления комплексом весодозирования / С.Ф. Жуков, А.И. Важинский // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Електротехніка і енергетика». – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – №1(12) – 2(13). – С. 84 – 88.

11. . Важинський А.І. Сигналізатор наявності сипких матеріалів Пат. на Корисну модель 71202 Україна, МПК(2012) G01F23/00. Власник ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ «АЗОВСТАЛЬ». – № u 2011 14272; заявл. 02.12.11; опубл. 10.07.12, Бюл. № 13.

12. Жуков С.Ф. Система управления электротехническим комплексом подготовки материалов металлургического процесса / С.Ф. Жуков, А.И. Важинский, А.В. Зайцев // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених і спеціалістів. – Кременчуг: КНУ, 2011. – С. 254 – 256.

13. Жуков С.Ф. Разработка алгоритма управления с транспортным запаздыванием/ С.Ф. Жуков, А.И. Важинский // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Матеріали Х Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених і спеціалістів. – Кременчуг: КНУ, 2012. – С. 222 – 223.

14. Важинский А.И. Управление комплексом весодозирования шихтовых материалов / А.И. Важинский // Донбасс–2020: Перспективы развития глазами молодых ученых. Материалы VI Международной научно-практической конференции. – Донецк: ДонНТУ, 2012. – С. 365 – 367.

У наукових працях, опублікованих у співавторстві, автору належить: в [1, 3] – розробка функціональних схем побудови комплексів діагностики і керування електрообладнанням вагового дозування; в [2,4] – дослідження процесів вагового дозування; в [8,9,13] – розробка математичної моделі, алгоритмів реалізації систем керування; в [5,6] – побудова логічних і діагностичних моделей; в [7,12,14] – дослідження та алгоритмізація процесів керування, [11] – розробка схемотехнічних рішень, [10] – побудова математичної моделі та імітаційне моделювання комплексу вагового дозування.

АНОТАЦІЇ

Важинський А.І. Вдосконалення методів і засобів керування електричним обладнанням комплексу вагового дозування сипких матеріалів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03. – Електротехнічні комплекси та системи. – Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк, 2013.

У дисертаційній роботі представлені нові рішення в області систем управління електротехнічними комплексами вагового дозування.

При вирішенні задач оптимізації процесів вагового дозування необхідно з достатньою точністю визначати співвідношення шихтових матеріалів з урахуванням їх хімічного складу. У зв'язку з цим створення автоматизованої системи дозування є актуальною. Проблема оптимального за швидкістю керування об'єктами також є досить актуальною. Це обумовлено тим, що тривалість перехідних процесів при керуванні є одним з показників якості роботи системи керування.

В результаті проведених досліджень вдалося домогтися скорочення тривалості перехідних процесів в системах вагового дозування. Це дозволило поліпшити якість продукції, отримати економічний ефект. Але практичне застосування оптимальних по швидкості систем ускладнено внаслідок запізнювання, яке характерно для систем керування комплексами дозування. Побудова системи управління, яка забезпечила ефективну роботу за даних умов, поряд з вирішенням задачі визначення точності співвідношень шихтових матеріалів, дозволило комплексно вирішити завдання, що виникають при підготовці шихтових матеріалів в металургійному виробництві.

Результати дослідження можуть бути застосовані для побудови високоефективних, надійних систем підготовки матеріалів металургійного виробництва заданої якості і з заданою продуктивністю.

Ключові слова: економія ресурсів, ідентифікація, вагове дозування, датчик наявності матеріалів, стійкість, надійність, предиктивне керування, запізнювання.

Важинский А.И. Совершенствование методов и средств управления электротехническим комплексом весового дозирования. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03. – Электротехнические комплексы и системы. – Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, 2013.

В диссертационной работе представлены новые решения в области систем управления электротехническими комплексами весового дозирования.

При решении задач оптимизации процессов весового дозирования необходимо с достаточной точностью определять соотношения шихтовых материалов с учетом их химического состава. В связи с этим создание автоматизированной системы дозирования является актуальной. Проблема оптимального по быстродействию управления объектами также является достаточно актуальной. Это обусловлено тем, что длительность переходных процессов при управлении является одним из показателей качества работы автоматической системы.

В результате проведенных исследований удалось добиться сокращения продолжительности переходных процессов в системах весового дозирования. Это позволило улучшить качество продукции, получить экономический эффект. Но практическое применение оптимальных по быстродействию систем затруднено вследствие запаздывания, которое характерно для систем управления комплексами дозирования. Построение системы управления, которая обеспечила эффективную работу при данных условиях, наряду с решением задачи определения точности соотношения шихтовых материалов, позволило комплексно решить задачи, возникающие при под-

готовке шихтовых материалов в металлургическом производстве.

Наличие запаздывания в технологических объектах резко ухудшает динамику замкнутой системы. Обычно при отношении $\tau_{зан} / T_{об} > 0,5$ типовые законы управления не могут обеспечить высокую точность и быстродействие процесса регулирования. Главной причиной здесь является резкое снижение критического коэффициента усиления системы при увеличении запаздывания в объекте управления. В связи с этим повысить качество управления можно либо путем уменьшения запаздывания в объекте, либо за счет применения регулятора более сложной структуры.

Для процесса агломерации важно соблюдать весовое соотношение всех компонентов шихты с целью обеспечения стабильного химического состава. Руда в данном процессе является основным компонентом, поэтому ставится задача качественного управления и регулирования процессом дозирования этого компонента. При решении задач оптимизации процесса дозирования необходимо с достаточной точностью определять соотношение шихтовых материалов с учетом их химического состава, влажности, фракции, включенных примесей.

Системы весового дозирования и транспортировки материалов состоят из механических частей, преобразователей частоты и двигателей. Особым условием подготовки шихтовых материалов является обеспечение высокой точности дозирования. Этот фактор требует обеспечения безаварийной работы электромеханического комплекса, являющегося основой системы подготовки материалов металлургического производства. С целью реализации комплексного подхода к решению задачи обеспечения получения заданного химического состава и с заданной производительностью было предложено дополнить систему управления функциями диагностики электрического оборудования комплекса.

Критерий работоспособности объекта как динамической системы представляет собой совокупность функционалов входных и выходных сигналов объекта с наложенными на эти функционалы ограничениями. В качестве критериев работоспособности могут быть указаны критерии в виде ограничений на перемещение полюсов и нулей передаточных функций объекта на комплексной плоскости, требований к частотным характеристикам системы регулирования объекта, требований к дисперсии случайной составляющей сигнала погрешности всей системы и т.д. Прямой контроль показателей, входящих в критерии работоспособности, как правило, ограничен большим числом и сложностью этих показателей. Поэтому работоспособность обычно оценивают измерением некоторых параметров, косвенно характеризующих состояние объекта диагностирования.

Отделение подготовки шихтовых материалов представляет собой систему конвейеров для транспортировки сыпучих материалов, а также систему бункеров для подготовки, и дальнейшей выдачи на транспортёрную ленту сыпучего материала. Очень важно при производстве агломерата контролировать наличие материала в бункере, а также контролировать выдачу материала на транспортёрную ленту. Реализация схмотехнического решения датчика наличия материала, полученного в ходе проведения исследований системы управления электротехническим комплексом весового дозирования, позволил в режиме реального времени контролировать наличие материала и повысить эффективность управления комплексом путем обеспечения безотказной работы датчиков.

Результаты исследования могут быть применены для построения высокоэффективных, надежных систем подготовки материалов металлургического производства заданного качества и с заданной производительностью.

Ключевые слова: экономия ресурсов, идентификация, весовое дозирование, датчик наличия материалов, устойчивость, надежность, предиктивное управление, запаздывание.

Vazhinsky A.I. Improvement of methods and control facilities of electrotechnical complex of weight dosing. – As the manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.09.03. – Electrical complex and systems. – State university "Donetsk National Technical University", Donetsk, 2013.

This thesis present new solutions in the field of the weight dosing control systems.

In solving problems of optimization of weight dosing with sufficient accuracy to determine the ratio of the charge materials with regard to their chemical composition. The creation of an automated control system is relevant in this regard. The problem of optimal control of objects is also quite important. The fact is the duration of transient processes is the indicators of control system quality.

The studies managed to reduce the duration of transient weight batching systems. This result has improved the quality of products and given the economic effect. But the practical application of optimal systems is complicated by the time delay, which characteristics the dispensing control systems. Building control system, which ensure that the work under these conditions, along with the task of determining the accuracy of relation of charge materials, allowed solving complex problems arising in the preparation of charge materials in steel production.

The results can be used to build high-performance, reliable systems for preparing metallurgical materials with high quality and with the specified performance.

Keywords: resource conservation, identification, weight dosing, presence sensor materials, stability, reliability, predictive control, time delay.