

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ШИХТУВАННЯ РЯДОВОГО ВУГІЛЛЯ НА ВЗФ

Гавриш О.І.

Донбаський державний технічний університет

Ульшин В.О.

Східноукраїнський національний університет імені В.І. Даля

Викладено принципи побудови системи керування процесом підготовки шихти. Запропоновано функціональну схему дворівневої системи автоматизованого керування процесом шихтування з визначенням функцій окремих підсистем. Синтезовано структуру і визначено параметри налаштування регулятора продуктивності вуглепідготовчого відділення. **Ключові слова:** шихтування, частковий вміст, автодозатор, система керування, регулятор продуктивності.

Постановка проблеми. Значна питома частка кам'яного вугілля у загальному балансі споживання енергоресурсів України потребує підвищення ефективності його використання. Вуглезабагачувальні фабрики (ВЗФ) відіграють ключову роль у підготовці рядового вугілля до подальшого використання, зменшуючи концентрацію негорючих речовин у гірничій масі, що надходить на збагачення.

Важливе місце в технологічному процесі збагачення посідають операції підготовчого етапу, переважна більшість яких характеризується значною трудомісткістю, що істотно знижує ефективність функціонування вуглепідготовчого відділення (ВПВ) і негативно відбивається на виробничій діяльності ВЗФ в цілому. Найперше це стосується процесу підготовки шихти рядового вугілля до подальшого збагачення. Зміни фізико-механічних властивостей вихідного вугілля призводять до відхилення складу готової шихти від розрахункового, порушення технологічних режимів збагачувальних апаратів і відповідних змін якості продуктів збагачення. При зміні зольності шихти на 1% вихід концентрату змінюється на 1,92% [1]. Таким чином отримання товарних продуктів збагачення встановленої якості потребує підтримання сталості основних показників підготовленої шихти.

Найефективнішим шляхом вирішення цієї проблеми є розробка і впровадження систем автоматизованого керування процесом шихтування (САКШ), які забезпечать формування шихти з показниками якості, що відповідають висунутим технологічним вимогам, дозволять зменшити втрати горючої маси з відходами збагачення і ступінь забруднення довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На більшості діючих вітчизняних ВЗФ операція видавання вугілля з бункерів практично не автоматизована [2, 3]. Зазвичай об'ємні витрати компонентів задаються зміною положення регулювальних шибберів, тобто перетину потоку вугілля, що виходить із бункера. Таке дозування призводить до істотних похибок, обумовлених нестабільністю об'ємних видаткових характеристик шибберів і коливаннями густини, гранулометричного складу і вологості компонентів шихти. Нестабільність вносить також зміна тиску стовпа вугілля на живильник у міру спорожнювання бункера.

На деяких ВЗФ для розвантаження бункерів застосовуються автодозатори з можливістю дозування за масою. При змішуванні декількох марок вихідного вугілля оператор задає продуктивність автоматичним дозаторам з метою забезпечення певного співвідношення марок у шихті [1]. Однак нестабільність параметрів процесу дозування, зумовлена зміною гра-нулометричного і фракційного

складів компонентів шихти, не дозволяє підтримувати сталість часткового вмісту окремих марок вугілля, що призводить до хаотичних коливань складу готової шихти. Також і досі залишається невирішеним завдання автоматичної стабілізації навантаження на збагачувальну секцію фабрики, що зумовлює відхилення режимів збагачувальних апаратів від оптимальних значень.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є вирішення актуального завдання підвищення ефективності процесу шихтування і покращення якості продуктів збагачення за рахунок автоматизації процесу шихтування рядового вугілля шляхом побудови автоматизованої системи керування.

Для керування процесом шихтування запропоновано дворівневу систему керування з певним розподіленням функцій між окремими рівнями. Оперативне коригування часткового вмісту окремих компонентів доцільно здійснювати з урахуванням величини відхилення показника зольності сформованої шихти (за результатами експрес-аналізу) від розрахункового значення. При цьому підтримуються потрібні співвідношення окремих шахтогруп у шихті, що подається на збагачення, і досягається стабілізація загального навантаження на збагачувальне відділення ВЗФ.

Підсистема нижнього рівня реалізує алгоритми керування окремими механізмами розвантаження акумулювальних бункерів (автодозаторами), забезпечуючи стабілізацію їхньої продуктивності з наданням відповідної інформації операторові.

Підсистема верхнього рівня реалізує функції оптимального завантаження вугілля по бункерах із забезпеченням їх опосередкування; контролю кількості рядового вугілля в акумулювальних бункерах з автоматичним перемиканням подачі вугілля з іншого бункера при досягненні мінімально допустимого рівня в поточному; розрахунку коефіцієнтів часткового вмісту окремих компонентів у шихті відповідно до технологічних вимог за визначальним показником якості; контролю якості сформованої шихти для коригування часткового вмісту окремих шахтогруп у разі відхилення параметрів готової шихти від заданих значень або зміни виробничої ситуації; стабілізації загального навантаження на збагачувальне відділення ВЗФ шляхом автоматичної зміни уставок дозаторів.

У ролі пристроїв дозування рядового вугілля на ВЗФ України найбільш широко використовуються дозатори безперервної дії із пристроями зважування. Контроль продуктивності дозатора здійснюється шляхом зважування матеріалу, що дозується, за допомогою ваговимірювального конвеєра і наступним інтегруванням для одержання значення кількості вивантаженого матеріалу. Для зважування

застосовується тензOMETричний давач, розташований під стрічкою, який вимірює зусилля, створюване масою матеріалу, що перебуває на ваговимірювальній ділянці [1].

Величини продуктивності кожного з дозаторів задаються підсистемою верхнього рівня (рис. 1) у відповідності до заданого загального навантаження на збагачувальне відділення ВЗФ і розрахованих значень часткового вмісту вугілля кожної з шахтогруп в готовій шихті

$$\frac{q_1}{q_{\text{заг}}} = k_1; \frac{q_2}{q_{\text{заг}}} = k_2; \frac{q_3}{q_{\text{заг}}} = k_3; \dots; \frac{q_n}{q_{\text{заг}}} = k_n, \quad (1)$$

де q_1, q_2, \dots, q_n – вагові витрати компонентів шихти в одиницю часу;

$q_{\text{заг}}$ – загальне навантаження на збагачувальний цех;

k_1, k_2, \dots, k_n – коефіцієнти участі i -го бункера в шихті ($k_1 + k_2 + \dots + k_n = 1$) [1].

Всі дозатори працюють як єдина система, формуючи шихту рядового вугілля відповідно до заданого часткового вмісту кожної шахтогрупи q_i , у які групється рядове вугілля з близькими показниками якості. З метою зменшення коливань речовинного складу шихти і навантаження на збагачувальний цех дозувальні пристрої мають працювати з похибкою не більшою за 2,5%.

САКПШ (рис. 1) містить регулятор продуктивності вуглепідготовчого відділення РПВПВ на верхньому рівні й системи автоматичного регулювання продуктивності дозаторів (САРПД) на нижньому. Кожна з підсистем нижнього рівня складається з автоматичного вагового дозатора, оснащеного відповідним регулятором продуктивності.

РПВПВ формує завдання на продуктивність $q_{\text{зп}}$ для кожної з підсистем САРПД у відповідності до заданого загального навантаження на збагачувальну секцію ВЗФ. При цьому керування окремими САРПД здійснюється на основі розрахованих коефіцієнтів часткового вмісту $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ вугілля кожної з шахтогруп в готовій шихті.

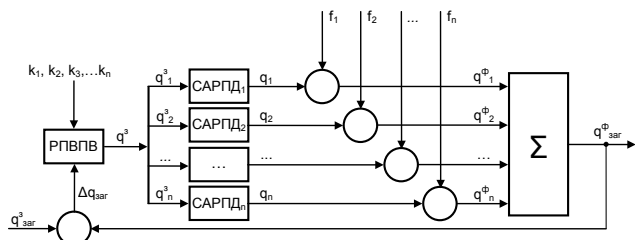


Рис. 1. Функціональна схема САКПШ

Джерело: розробка авторів

В процесі роботи система стабілізує загальну продуктивність ВПВ шляхом порівняння заданого значення продуктивності $q^z_{\text{заг}}$ з результатами вимірювання фактичної продуктивності $q^{\phi}_{\text{заг}}$, яка складається з часткового вмісту компонентів шихти, що її видають дозатори окремих підсистем нижнього рівня q^{ϕ}_n . Сигнал про помилку за продуктивністю $\Delta q_{\text{заг}}$, зумовлену впливом на процес зовнішніх збурень f , надходить на РПВПВ і є коригувальним. З урахуванням абсолютної величини і знаку цієї помилки РПВПВ здійснює покороку зміну завдань продуктивності кожної з САРПД для досягнення відповідності фактичної продуктивності заданому значенню. Завдяки цьому забезпечується стабілізація навантаження на збагачувальну секцію ВЗФ при збереженні заданого часткового вмісту шахтогруп в шихті для підтримання визначального показника якості готової шихти (зольності).

Керування процесом здійснюється за критерієм мінімізації середньоквадратичного відхилення продуктивністю ВПВ в кінцевий момент часу за умови обмеження фазових координат керування з метою уникнення перевантажень ваговимірювальних конвеєрів протягом технологічного циклу шихтування

$$J = \left\{ \Delta q^T(T) P \Delta q(T) + \int_0^T (\Delta q^T Q \Delta q) dt \right\} \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$\Delta q = q_n^z - q_n^{\phi} = \sum_{n=1}^N \Delta q_n^T S \Delta q_n = q_n^z - 3.6 p_n / v_n, \quad (3)$$

де Δq_n – відхилення продуктивності n -го дозатора від заданого значення за період технологічного циклу T ;

q_n^z, q_n^{ϕ} – задане і фактичне значення продуктивності n -го дозатора, $т/год$;

v_n – швидкість руху стрічки ваговимірювального конвеєра, $м/с$;

p_n – навантаження, що створює вугілля на одиницю довжини ваговимірювальної ділянки конвеєра, $кН$.

Відомі системи керування ваговими дозаторами будуються за принципом безперервного регулювання і містять у своєму складі ПІД-регулятор [1]. Головним недоліком таких систем є низька (з похибкою більшою за 5%) точність дозування компонентів шихти, обумовлена дією на процес дозування зовнішніх збурень. Вони мають стохастичний нестационарний характер зі змінним часом кореляції і широкий діапазон змін параметрів (інтенсивності, спектру), що призводить до неминучих відхилень продуктивності дозувальних пристроїв від встановлених значень. Тому у більшості випадків застосування безперервного способу регулювання не дозволяє досягти необхідної точності керування.

Подальше вдосконалення систем керування продуктивністю автодозаторів є можливим за рахунок використання систем цифрового керування, що мають у своєму складі дискретний фільтр Калмана-Б'юсі. Структуру і методику синтезу такої системи запропоновано в роботах [4, 5]. На підставі результатів її досліджень з'ясовано, що підтримання заданої продуктивності автодозатора в умовах дії зовнішніх збурень забезпечується із середньоквадратичним відхиленням, яке не перевищує 1,9% за максимального перерегулювання 6,4%, що відповідає технологічним вимогам, які висуваються до якості керування дозуванням. Так вирішується завдання автоматизованого керування підсистемами нижнього рівня, які контролюють розвантаження акумулювальних бункерів й інформують підсистему верхнього рівня про кількість вивантаженого вугілля.

Синтез регулятора для системи керування продуктивністю ВПВ передбачає вибір необхідної структури і визначення параметрів налаштування регулятора, що забезпечать перехідний процес за продуктивністю в системі відповідно до визначеного критерію (2) за наявності зовнішніх збурень. Для підсистеми верхнього рівня ними є квазістационарні низькочастотні зміни продуктивності окремих підсистем нижнього рівня, обумовлені зміною параметрів процесу дозування, які не можуть бути компенсовані за допомогою відповідних регуляторів. Ці збурення можуть мати глибину до 10 – 15% поточної продуктивності ВПВ і характеризуються порівняно повільними (600 – 3000 с) змінами в часі.

Основна складність при синтезі регулятора продуктивності ВПВ пов'язана з наявністю в системі

значних транспортних запізнювань, обумовлених специфікою об'єкту керування і інерційністю контуру зворотного зв'язку, зокрема, ваговиміральною пристроєм на збірному конвеєрі [6].

Експериментально встановлено, що використання для керування процесом шихтування регулятора П-типу є неефективним. При малому коефіцієнті підсилення П-регулятора в системі існує значна статична помилка ($\varepsilon = 12,3\%$ при $K_p = 0,2$; $\varepsilon = 8,6\%$ при $K_p = 2$; $\varepsilon = 7,3\%$ при $K_p = 3$), що не дозволяє досягти необхідної точності керування, а збільшення цього коефіцієнта переводить систему в коливальний режим через наявності в ній істотного (десятки секунд) запізнювання. Найбільш доцільним є застосування регулятора ПІ-типу (рис. 2), що забезпечує усунення статичної помилки регулювання і ефективне пригнічення системою зовнішніх збурень (дисперсія продуктивності не перевищує $D = 2,03 \cdot 10^{-4}$, середньоквадратичне відхилення $S = 1,426\%$ для амплітуди зовнішнього збурення $f = 0,15q_{заг}$) і гарантує стійкість системи за наявності значного транспортного запізнювання, що дозволяє забезпечити необхідну точність керування продуктивністю ВПВ.

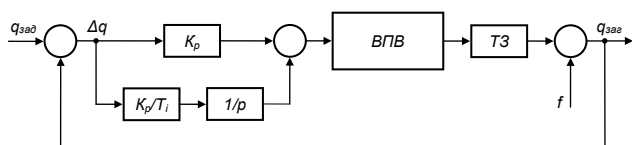


Рис. 2. Структурна схема САКПІІ

$q_{зад}$ – сигнал завдання за продуктивністю ВПВ; $q_{заг}$ – загальна продуктивність ВПВ; Δq – помилка за продуктивністю; ТЗ – транспортне запізнювання в каналі вимірювання продуктивності; f – збурювальна дія на систему

Джерело: розробка авторів

Визначення оптимальних параметрів налаштування регулятора продуктивності ВПВ, що забезпечують необхідний вид перехідного процесу в замкнутій системі за дії зовнішніх збурень, здійснювалося із застосуванням математичної моделі САКПІІ (4).

Моделювання включає математичний опис в просторі станів сукупності підсистем нижнього рівня [4, 5] і ПІ-регулятора продуктивності ВПВ на верхньому

$$\begin{cases} \dot{x}_1(k+1) = Fx_1(k) + G_1[u(k) + w(k)]; \\ y_1(k) = Cx_1(k - \frac{\tau_{m1}}{h}) + v(k); \\ \dots \\ \dot{x}_n(k+1) = Fx_n(k) + G_n \left[u \left(k - \frac{\tau_{mn}}{h} \right) + w(k) \right]; \\ y_n(k) = Cx_n(k - \frac{\tau_{mn}}{h}) + v(k); \\ y_{заг}(k) = y_1(k) + y_2(k) + \dots + y_n(k) + f(k); \end{cases} \begin{cases} \varepsilon = y_i - y_{заг}(k); \\ \dot{u}_i = \frac{1}{T_i} \cdot \varepsilon; \\ u = u_i + K_p \cdot \varepsilon; \end{cases} \quad (4)$$

де $\tau_{m1}, \dots, \tau_{mn}$ – транспортні запізнювання сигналів продуктивності підсистем нижнього рівня;

$\tau_{k2}, \dots, \tau_{kn}$ – компенсуючі запізнювання сигналів керування підсистемами нижнього рівня;

ε – поточне значення помилки за продуктивністю ВПВ $y_{заг}$;

T_i, K_p – шукані значення параметрів налаштування регулятора продуктивності;

f – зовнішня збурювальна дія на систему.

Отримані значення параметрів налаштування ($K_p = 1,8529$; $T_i = 31,1337$; $Y_0 = 3,7139$) дозволяють системі ефективно пригнічувати зовнішні збурення навіть при найбільш несприятливому характері останніх (дія з прямокутним спектром). Мінімізація відхилення продуктивності УПО до величини $\pm 1\%$ від сталого значення при покроковому регулюванні здійснюється за дві ітерації, що відповідає вимогам, які висуваються до швидкодії системи [6].

Висновки. У статті викладено ключові аспекти побудови дворівневої САКПІІ, застосування якої дозволяє підвищити ефективність керування і покращити якість продуктів збагачення. Система забезпечує такі основні функції:

1) керування в автоматизованому режимі процесом підготовки шихти рядового вугілля на підставі технологічного розрахунку її параметрів;

2) автоматичну стабілізацію часткового вмісту вугілля окремих шахтогруп у готовій шихті з метою подачі на збагачення шихти із заздалегідь заданими параметрами;

3) стабілізацію навантаження на збагачувальну секцію ВЗФ шляхом автоматичного коригування завдань підсистемам дозування вугілля;

4) оперативне коригування часткового вмісту окремих шахтогруп у вихідному потоці шихти за визначальним показником якості (зольністю).

Список літератури:

1. Автоматизация производства на углеобогатительных фабриках / [Л.Г. Мелькумов, В.А. Ульшин, М.А. Бастунский] – М.: Недра, 1983. – 295 с.
2. Бриллиантов В.В. Автоматизация углеобогатительных фабрик и кон-трольно-измерительные приборы: [учебник] / В.В. Бриллиантов – М.: Недра, 1977. – 272 с.
3. Ульшин В.А. Комплексная аппаратура автоматизации технологических процессов на обогатительных фабриках / В.А. Ульшин, Н.С. Сердюк, Д.Н. Копаница // Уголь Украины. – 1983. – №4. – С. 31-33.
4. Ульшин В.А., Гавриш А.И., Кобец Д.В. Оптимальное управление производительностью автодозаторов на УОФ / В.А. Ульшин, А.И. Гавриш, Д.В. Кобец // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2007. – №12 (118). – С. 232-236.
5. Ульшин В.А., Гавриш А.И., Кобец Д.В. Синтез фильтра Калмана-Бьюси для системы управления производительностью автодозаторов на УОФ / В.А. Ульшин, А.И. Гавриш, Д.В. Кобец // Пр. Луганського відділення Міжнар. акад. інформатизації. – 2009. – №1 (18). – С. 87-92.
6. Гавриш А.И. Синтез системы управления процессом шихтования рядовых углей на углеобогатительных фабриках / А.И. Гавриш // Зб. наук. пр. Нац. гірн. ун-ту. – 2008. – №31. – С. 99-106.

Гавриш А.И.

Донбасский государственный технический университет

Ульшин В.А.

Восточноукраинский национальный университет имени В.И. Даля

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ШИХТОВАНИЯ РЯДОВЫХ УГЛЕЙ НА УОФ**Аннотация**

Изложены принцип построения системы управления процессом подготовки шихты. Предложена функциональная схема двухуровневой системы автоматизированного управления процессом шихтования с выделением функций отдельных подсистем. Синтезирована структура и определены параметры настройки регулятора производительности углеподготовительного отделения.

Ключевые слова: шихтование, долевое участие, автодозатор, система управления, регулятор производительности.

Gavrish A.I.

Donbass State Technical University

Ulshin V.A.

Volodymyr Dal East Ukrainian National University

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM TO PROCESS OF PREPARATION COAL ORDINARY ON COAL CONCENTRATING FACTORIES**Summary**

Principles of the control system construction by process blend preparation. Proposed a two-tier system functional diagram of the autocontrol two-level system building with allocation functions of the individual subsystems. Structure was synthesized and identified parameters tuning of the performance of coal preparation.

Keywords: blend preparation, share participation separate, autopropotioner, control system, regulator of the productivity.

УДК 517.977.1

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЧЕТЫРЕХВИНТОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**Новацкий А.А., Сапсай П.А., Коломийцев П.Е.**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Управление движением беспилотного четырехвинтового летательного аппарата. Построение и использованием физико-математической модели квадрокоптера. Применение метода Hardware-in-the-Loop.

Ключевые слова: беспилотный четырехвинтовый летательный аппарат, квадрокоптер, управление, физико-математическая модель, управление, Hardware-in-the-Loop.

С развитием науки и техники происходит усложнение объектов управления. Проведение анализа их работоспособности, надежности, качества и прочих характеристик каждого составляющего звена на экспериментальных образцах становится экономически невыгодной задачей, или такой, которая несет опасность для самого объекта или окружающей среды. По этой причине в помощь инженерам приходит модель, которая с высокой степенью точности соответствует реальному объекту. На модели проводятся все актуальные для управления эксперименты.

Классическим вариантом решения задачи построения модели объекта является построение его физико-математической модели. Объектом является беспилотный четырехвинтовый летательный аппарат – квадрокоптер, который схематически изображен на рис. 1.

Принимая во внимание физический характер объекта, его формализованное описание будет базироваться на методах и уравнениях механики,

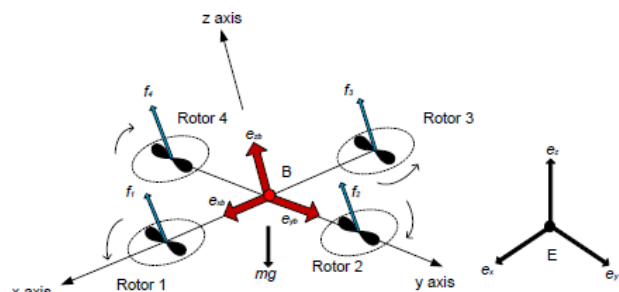


Рис. 1. Схематическая структура квадрокоптера и выбор системы координат

описывающих статическое и динамическое взаимодействие составляющих частей.

В данной работе предлагается метод управления объектом, который имеет высокую гибкость и перенастраиваемость, обеспечивающий одновременное управление как самим объектом, так и симулятором, на основе метода Hardware-in-the-Loop [1].