

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ В'ЯЗКІСТЮ У ВИРОБНИЦТВІ ВОДОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА

І. С. Кушнір, асп., А. І. Андрєєв, д.т.н., проф.

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

О.М. Харабет, к.т.н., доц.

Одеський національний політехнічний університет

вул. Кузнечна, 1, 65029, м. Одеса, Україна

E-mail: rottgarson@mail.ru

Запропоновано створення системи автоматичного управління (САУ) в'язкістю водовугільного палива (ВВП), до складу якої входять підсистема мокрої помелу та класифікації технологічної установки з виробництва ВВП за каналом контролю вмісту твердої складової в суміші та підсистема додавання реагента-пластифікатора й остаточного змішування ВВП за каналом контролю в'язкості кінцевого продукту. Виконане математичне моделювання створеної САУ.

Ключові слова: система автоматичного управління, водовугільне паливо, в'язкість, структурна декомпозиція, вміст твердої складової, перехідний процес.

Вступ. Паливно-енергетичний комплекс України значною мірою орієнтований на використання імпортованих енергоносіїв, а саме природного газу та нафтопродуктів. Щодо впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, то воно ще не досягло бажаного розмаху, а в деяких областях країни є не вигідним. Така ситуація не дає можливості розвитку вітчизняного ринку паливних ресурсів, серед яких безумовним лідером є вугілля.

Станом на теперішній час, відповідно до Енергетичної стратегії розвитку України [1], варто зосередити увагу на мінімізації використання паливних ресурсів, якими держава не може себе забезпечити у повному обсязі, а змушена закуповувати за кордоном, спрямовуючи кошти на розвиток економіки інших країн. Ефективним рішенням у такому випадку буде, як і зазначено в Енергетичній стратегії, збільшення долі вугілля, як основного теплоносія та джерела енергії. Але використання вугілля у його звичайному вигляді не забезпечує бажаного коефіцієнту корисної дії та дає занадто високий рівень шкідливих викидів в атмосферу порівняно з іншими паливними ресурсами, що зумовлює необхідність пошуку нових способів його використання.

Аналіз попередніх досліджень. Створення з вугілля як твердого теплоносія, рідкого водовугільного палива (ВВП) дає змогу разом з більш ефективним спаленням знизити шкідливі викиди у атмосферу, а також є пожежо- та вибухобезпечним видом палива [2, 3].

Технологія виробництва ВВП була реалізована ще в 80-х роках на промислово-дослідницькому комплексі «Белово-Новосибирская ТЭЦ-5». В наш час практичне застосування та експериментальні дослідження ведуться науково-дослідницькими інститутами Росії, США, Китаю [3-7]. В Україні у 2008 р. на базі шахти «Довжанская-Капитальная» було випробувано пілотний проект по приготуванню ВВП, за оцінками якого впровадження нової технології допоможе підприємству щорічно заощадити значні кошти [2], також виробництво ВВП налагоджене на ВАТ «Угольная компания «Шахта «Красноармейская-Западная №1».

Присвячені ВВП публікації розкривають лише різноманіття способів виробництва та їх особливості, але не містять інформації про будь-яку систему автоматичного керування таким процесом [1-7]. Слід зауважити, що в ряді робіт [8, 9] визначено, що в процесі виробництва ВВП варто приділяти увагу таким його параметрам, як вміст твердої складової, гранулометричний склад, в'язкість та статична стабільність [9]. Тобто система автоматичного управління в першу чергу повинна забезпечувати контроль та підтримання на заданому рівні наведених вище параметрів ВВП.

Мета роботи. Розробка математичної моделі системи автоматичного управління (САУ) в'язкістю ВВП, що дозволить виконувати контроль одного з основних параметрів ВВП впродовж усього технологічного процесу виробництва та забезпечити бажане значення в'язкості кінцевого продукту.

Матеріал і результати дослідження. Перед початком досліджень слід зауважити, що в'язкість ВВП безпосередньо залежить від кількості твердої складової та кількості реагента-пластифікатора в кінцевій суміші [9], а отже саме на управлінні цими величинами варто зосередитись при побудові САУ в'язкістю ВВП. Також в'язкість залежить від величини гранул вугілля.

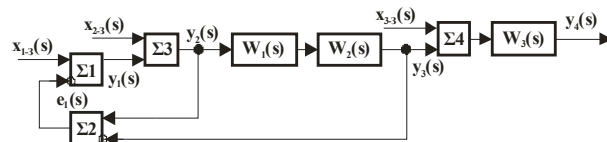


Рисунок 1 – Математична модель технологічної установки з виробництва водовугільного палива за каналом оцінки в'язкості

Розглянемо модель технологічної установки з виробництва ВВП за каналом оцінки в'язкості, що представлена на рис. 1. Де $x_{1-3}(s) = y_1(s)$ – зображення витрати вугілля; $x_{2-3}(s)$ – зображення витрати води; $x_{3-3}(s)$ – зображення витрати реагента-пластифікатора; $W_1(s)$, $W_2(s)$, $W_3(s)$ – передавальні функції ділянок мокрої помелу, класифікації та остаточного змішування суспензії відповідно;

$y_2(s)=x_{1-3}(s)+x_{2-3}(s)$ – зображення кількості суміші вугілля-вода на вході ділянки мокрого помелу; $y_3(s)$ – зображення кількості твердої складової після ділянки класифікації; $y_4(s)$ – зображення в'язкості ВВП на виході; $e_1(s)=y_2(s)-y_3(s)$ – зображення похибки (різниці між остаточною кількістю суміші після класифікації та поданої на мокрий помел):

$$W_1(s) = \frac{k_1}{T_{12}^2 s^2 + T_{11} s + 1}, \quad (1)$$

де k_1 – коефіцієнт передавання ділянки мокрого помелу, що залежить від розміру гранул вугілля після мокрого помелу; T_{12} та T_{11} – сталі часу ділянки мокрого помелу, що залежать від показників якості та початкового розміру гранул вугілля.

Ділянку технологічного процесу описують ланкою чистого запізнення τ_2 з певним коефіцієнтом передачі k_2 за каналом оцінки в'язкості, що залежать від об'єму суспензії перед класифікацією, співвідношення вода-тверда складова та гранулометричного складу суспензії:

$$W_2(s) = k_2 e^{-\tau_2 s}; \quad (2)$$

$$W_3(s) = \frac{k_3}{T_{32}^2 s^2 + T_{31} s + 1} e^{-\tau_3 s}, \quad (3)$$

де k_3 – коефіцієнт передавання, T_{32} , T_{31} – сталі часу та τ_3 – чисте запізнення ділянки змішування-диспергування, що залежать від співвідношення вода-тверда складова на кінцевому етапі та гранулометричного складу суспензії.

З розглянутої моделі видно, що над нею можна виконати структурну декомпозицію [13]. Це дозволить розділити існуючу систему на дві підсистеми та дасть можливість контролювати одразу дві величини, а саме вміст твердої складової в остаточної суміші та витрату реагента-пластифікатора.

Перша підсистема включає в себе ділянку мокрого помелу та класифікації які зображені на рис. 2.

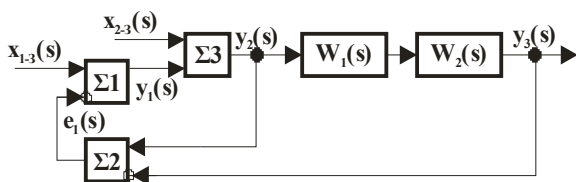


Рисунок 2 – Математична модель підсистеми мокрого помелу та класифікації технологічної установки з виробництва водовугільного палива за каналом контролю вмісту твердої складової в суміші

Модельовання динаміки роботи підсистеми, зображеної на рис. 2, при різних видах закону коливань кількості твердої складової в суміші було виконано в програмному середовищі Simulink Matlab 7 і його результати наведено на рис. 3, де крива 1 відповідає ступінчастій зміні витрати вугілля, крива 2 – коливанням зміні витрати вугілля, 3 – випадковій зміні витрати вугілля.

У даному випадку й надалі відповідні коефіцієнти в передаточних функціях підсистем обирались з урахуванням експериментальних даних, наведених у відповідних джерелах [8, 10, 11].

Помітно, що процеси є стабільними, але основною задачею управління в такому випадку буде підвищення швидкості реакції системи на зміну задання та мінімізація відхилень керованої величини від заданого значення. Для вирішення такої задачі пропонується використати ПІ-регулятор витрати вугілля та коректуючий зв'язок між каналом подачі вугілля та каналом подачі води, що знизить збиткову подачу води при зменшенні кількості твердої складової у вихідній суміші.

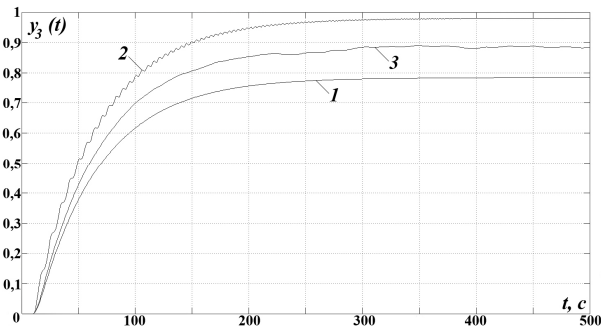


Рисунок 3 – Сімейство перехідних процесів підсистеми мокрого помелу та класифікації технологічної установки з виробництва водовугільного палива за каналом контролю вмісту твердої складової в суміші

Модель запропонованої системи автоматичного управління (САУ) зображена на рис. 4. Тут $W_p(s)$ та $W_k(s)$ – передавальні функції ПІ-регулятора витрати вугілля та коректуючого ПІ-регулятора витрати води відповідно; $e_2(s)$ – зображення похибки витрати води; $e_3(s)$ – зображення похибки витрати вугілля.

$$W_p(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right), \quad (4)$$

де k_p – коефіцієнт регулювання, T_I – стала часу інтегруючої складової регулятора. Для моделювання перехідних процесів k_p та T_I розраховувались за інженерною методикою вибору налаштувань промислових ПІ- та ПІ-регуляторів Л. І. Кона [12].

$$W_k(s) = k_K, \quad (5)$$

де k_K – значення бажаного співвідношення вода-вугілля в кінцевій суміші.

Для корекції витрати води достатнім є використання ПІ-закону регулювання, тому що витрата води лінійно залежить від витрати вугілля.

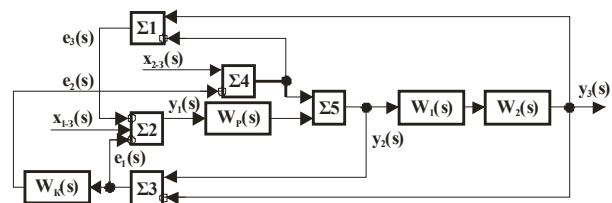


Рисунок 4 – Математична модель САУ підсистеми мокрого помелу та класифікації технологічної установки з виробництва водовугільного палива за каналом контролю вмісту твердої складової в суміші

На рис. 5 наведено перехідні процеси, що є результатом моделювання динаміки роботи такої САУ при різних видах закону коливань кількості твердої

складової в суміші в програмному середовищі Simulink Matlab 7, де, як і на рис. 3, крива 1 відповідає ступінчастій зміні витрати вугілля, крива 2 – коливанням зміни витрати вугілля, 3 – випадковій зміні витрати вугілля.

При порівнянні отриманих перехідних процесів в даній підсистемі з САУ та без неї помітно, що введення регулювання витрати вугілля та корекції витрати води відповідно до зміни витрати вугілля дає більш високий вихід кінцевої суміші та зменшує час виходу суміші до максимального рівня.

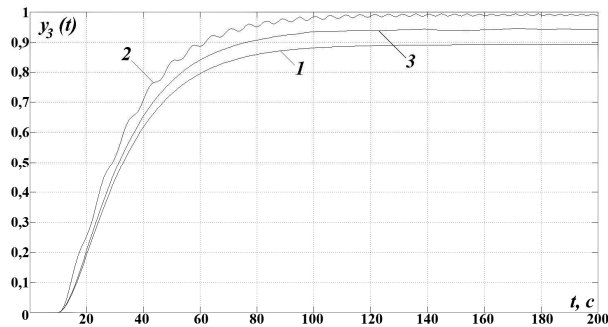


Рисунок 5 – Сімейство перехідних процесів САУ підсистеми мокрого помелу та класифікації технологічної установки з виробництва водовугільного палива за каналом контролю вмісту твердої складової в суміші

Розглянемо другу підсистему, що представляє собою ділянку додавання реагента-пластифікатора та остаточного змішування ВВП (рис. 6), саме в наведеній підсистемі відбуватиметься контроль безпосередньо значення в'язкості кінцевого продукту.

На рис. 6: $W_{II}(s)$ – передавальна функція перетворювача, що виконує роль коректуючого регулятора витрати реагента-пластифікатора; $e_4(s)$ – зображення похибки в'язкості (відхилення реального значення в'язкості від заданого):

$$W_{II}(s) = k_{II}, \quad (5)$$

де k_{II} – коефіцієнт, що характеризує співвідношення суміш-реагент в кінцевому ВВП.

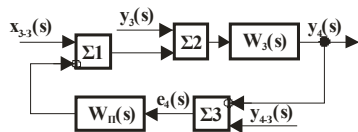


Рисунок 6 – Математична модель підсистеми додавання реагента-пластифікатора та остаточного змішування ВВП за каналом контролю в'язкості кінцевого продукту

Перетворювач реалізує залежність зміни значення в'язкості від кількості реагента-пластифікатора, що додається на кінцевому етапі виробництва ВВП.

Моделювання динаміки роботи підсистеми, зображеної на рис. 6, при різних видах закону зміни кінцевої в'язкості суміші було виконано в програмному середовищі Simulink Matlab 7 і його результати наведено на рис. 7, де крива 1 відповідає ступінчастій зміні витрати реагенту, крива 2 – коливанням зміни витрати реагенту, 3 – випадковій зміні витрати реагенту.

Отримані графіки перехідних процесів показують, що при будь-якому законі коливань збурення система знаходиться у стані рівноваги та забезпечує максимально наближене до заданого значення в'язкості кінцевого продукту.

Відомо, що в'язкість ВВП прямопропорційно залежить від об'ємної частки твердої речовини в суміші та обернено пропорційна в'язкості рідкої складової [8], саме управління відповідно до такої залежності необхідно реалізувати в САУ. Також слід зауважити, що витрата реагента-пластифікатора не повинна перевищувати значення в 1 % від загальної кількості суміші.

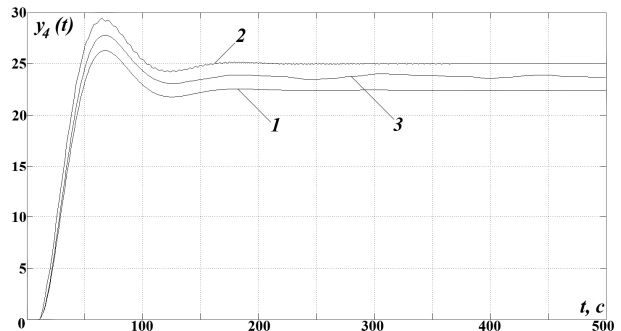


Рисунок 7 – Сімейство перехідних процесів підсистеми додавання реагента-пластифікатора та остаточного змішування ВВП за каналом контролю в'язкості кінцевого продукту

Таким чином дослідження моделей двох підсистем показує, що доцільним є створення САУ, що забезпечить підтримання значення в'язкості ВВП впродовж усього процесу виробництва з регулюванням вмісту твердої складової та масової частки твердої складової в суміші вугілля-вода.

Висновки. Для більш ефективного використання ресурсів, підвищення точності співвідношень вугілля-вода і суміш-реагент та підтримання на заданому рівні в'язкості ВВП, як одного з основних технологічних параметрів паливної суміші, доцільно використовувати САУ з ПІ-регулятором витрати вугілля та коректуючим регулятором витрати води, а також регулюванням витрати реагента-пластифікатора відповідно до миттєвого значення в'язкості кінцевого продукту.

Структурна декомпозиція моделі технологічної установи з виробництва водовугільного палива за каналом оцінки в'язкості дозволила розробити ефективні САУ як підсистеми мокрого помелу та класифікації за каналом контролю вмісту твердої складової в суміші, так і підсистеми додавання реагента-пластифікатора та остаточного змішування ВВП за каналом контролю в'язкості кінцевого продукту.

Використання ПІ-закону регулювання для управління витратою вугілля дозволяє прискорити процес пуску технологічної установи з виробництва ВВП, а коректуючий регулятор співвідношення вода-вугілля помітно зменшує вміст надлишкової води в суміші, що може бути отриманий в результаті зменшення вмісту твердої складової після процедури класифікації.

Введення як засобу управління у підсистему додавання реагента-пластифікатора та остаточного змішування ВВП за каналом контролю в'язкості кінцевого продукту перетворювача, як коректуючого регулятора, суттєво зменшує відхилення в'язкості ВВП від заданого значення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кулик М.М. Загальні проблеми та довгострокові перспективи розвитку енергетики України / М.М. Кулик, Б.С. Стогній // Технічна електродинаміка. Тем. вип. «Проблеми сучасної електротехніки», 2006. – Ч. 1. – С. 8 – 15.
2. Зайденварг В. Е. Производство и использование водоугольного топлива / В.Е. Зайденварг, К.Н. Трубецкой, В.И. Мурко, И.Х. Нехороший – М.: Изд-во Академии горных наук. 2001. – 173 с.
3. Фомина О. Жидкий уголь (Перспективы применения водоугольного топлива в Украине и мире) [Электронный ресурс] // Журнал «Топливо-энергетический комплекс» – 2008. – № 3. Режим доступа: [http://www.tek.ua/article0\\$!1\\$pa!542\\$a!590091.htm](http://www.tek.ua/article0$!1$pa!542$a!590091.htm).
4. Sunggyu Lee, James G. Speight, Sudarshan K. Loyalka. Handbook of alternative fuel technologies // CRC Press, New York, 2007. – 524 p.
5. Noboru Hashimoto. CWM: Its Past, Present and Future // International Journal of Coal Preparation and Utilization. London, 1999.
6. Мосин С.И. Российский опыт внедрения промышленной технологии производства водоугольного топлива / С.И. Мосин, А.Г. Морозов, Г.Н. Делягин // Новости теплоснабжения, 2008. – № 9 – С. 22 – 28.
7. История ВУТ в России. Режим доступа: http://academik.at.ua/load/cement/toplivo/vodougolnoe_toplivo/11-1-0-25.
8. Коваленко А.А. Расчет вязкости водоугольного топлива [Электронный ресурс] / А.А. Коваленко, Л.И. Рисухин, А.М. Шворникова, Е.С. Гусенцова // Режим доступа: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vsunud/2009-3E/09kaavvt.htm>.
9. Измеряемые параметры качества ВУТ. Режим доступа: <http://www.vodougol.ru/ru/technology/preparing/60-characteristics>.
10. Дзюба Д.А., Заостровский А.Н., Клейн М.С., Мурко В.И., Панина Т.А., Федяев В.И., Способ получения композиционного водоугольного топлива - Пат. 2268259 РФ: МПК С10L1/32 (2006.01) ; заявитель и патентообладатель ЗАО НПП «Сибэкотехника». - № 2004125188/04 ; заявл. 17.08.2004 ; опубл. 20.01.2006, Бюл. №02. – 10 с.
11. Морозов А.Г. Гидроударные технологии для получения водоугольного топлива / А.Г. Морозов, Н.В. Коренюгина // Новости теплоснабжения, 2010. – № 7 – С. 18 – 21.
12. Кон Л.И. Методические указания и таблицы для выбора настроек ПИ- и П-регуляторов в одноконтурных системах регулирования тепловых объектов с запаздыванием / Л.И. Кон. – Одесса: ОПИ, 1975. – 54 с.
13. Сингх М. Системы: декомпозиция, оптимизация и управление / М. Сингх, А. Титли – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.

Стаття надійшла 07.06.2011 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Чорним О.П.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЯЗКОСТЬЮ В ПРОИЗВОДСТВЕ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

*И. С. Кушнир, асп., А. И. Андреев, д.т.н., проф.
Одесская национальная академия связи им. А.С.Попова
А. Н. Харабет, к.т.н., доц.
Одесский национальный политехнический университет
ул. Ковальская, 1, 65029, г. Одесса, Украина
E-mail: rotgarson@mail.ru*

Предложено создание системы автоматического управления (САУ) вязкостью водоугольного топлива (ВУТ), в состав которой входят подсистема мокрого помола и классификации технологической установки производства ВУТ по каналу контроля содержания твердой составляющей в смеси и подсистема добавления реагента-пластификатора и конечного смешивания ВУТ по каналу контроля вязкости конечного продукта. Выполнено математическое моделирование разработанной САУ.

Ключевые слова: система автоматического управления, водоугольное топливо, вязкость, структурная декомпозиция, содержимое твердой составляющей, переходный процесс.

MODELLING OF THE CONTROL SYSTEM BY VISCOSITY IN MANUFACTURE OF WATER COAL FUEL

*I. Kushnir, post-grad., A. Andreev, D.Sc. (Eng.), Prof.
National Academy of Telecommunication n.a. O.S. Popov
A. Kharabet, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof.
Odessa National Polytechnic University
vul. Kowalski, 1, 65029, Odessa, Ukraine
E-mail: rottgarson@mail.ru*

Creation of system of automatic control (ACS) by viscosity of water coal fuel (WCF) is offered, in with-becoming which the subsystem of a wet grinding and classification of technological installation of manufacture WCF by the channel of control of the maintenance of a firm component enter into mixes and a subsystem of addition of a reagent and final mixing WCF on the channel of control of viscosity of an end-product. Mathematical and program modeling developed ACS is executed.

Key words: automatic control system, water-coal fuel, viscosity, a structural de-composition, contents of a firm component, transient.