

Стародуб А.О.

Одеський національний політехнічний університет

Ложечнікова Н.В.

Одеський національний політехнічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВДОСКОНАЛЕНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ У ТОПОЧНІЙ КАМЕРІ ПАРОВОГО КОТЛА ГМ-50

За останнє десятиріччя істотно змінилися склад і структура технологічних засобів, що застосовуються в автоматизованих системах управління технологічними процесами. Подальше вдосконалення виробництва, ускладнення реалізованих технологій призводять до такої ситуації, за якої управління технологічним процесом, виконання необхідного режиму експлуатації та технологічного регламенту можливі лише при посередництві автоматизованих систем управління, що відповідає найсучаснішим вимогам. Паровий котел – основний агрегат теплової електростанції (ТЕС). Робочим тілом у ньому для отримання пари є вода, а теплоносієм слугують продукти горіння різних органічних палив. Необхідна теплова потужність парового котла визначається його паропродуктивністю при забезпеченні встановлених температури і робочого тиску перегрітої пари. При цьому у топці котла спалюється розрахована кількість палива. Значне зростання цін на енергоносії та загострення екологічних проблем ставить все більш суворі вимоги до систем автоматичної оптимізації економічності процесу спалювання органічного палива.

Ключові слова: автоматизована система регулювання, паровий котел, автоматизація, математична модель, процес горіння.

Постановка проблеми. Оптимізація процесу горіння, що зводиться до підтримання режиму на межі хімічного недопалу, не допускаючи при цьому значних перевитрат палива, ґрунтується на вимірюванні мікроконцентрацій складових хімічного недопалу q_3 у димових газах – оксиду вуглецю CO і/або водню H_2 , при цьому ці параметри мають високу чутливість до зміни характеристик процесу спалювання і майже нечутливі до підсів повітря по газовому тракту котла.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автор А.С. Горбачев написав дисертацію на тему – «Оптимізація процесу горіння в топках барабанних котлів з використанням екстремальних систем та комплексних критеріїв», де автор досліджує та впроваджує моделі та системи для оптимізації процесу горіння та приходиться до висновків: застосування даного методу оптимізації процесу горіння досі стримувалося лише відсутністю надійних, простих і швидких пристроїв для вимірювання мікроконцентрацій складових хімічного недопалу.

Останнім часом були розроблені перспективні аналізатори компонентів хімічного недопалу з використанням високочутливих твердотільних датчиків, що здатні швидко і відтворювано вимірювати малі концентрації CO у димових газах [5, с. 38].

Проте на даний час залишається не вирішеним питання експериментів таких систем та теорій на реальних об'єктах. Відсутні адекватні методи визначення максимальної ефективності методик та їх оцінки.

Постановка завдання. Склад продуктів спалювання палива визначається температурою, загальним тиском, під яким знаходиться газова суміш, а також масовими частками хімічних елементів, що входять до сполук, які складають продукти спалювання.

Ступінь дисоціації газу швидко зростає зі збільшенням температури і залежить від тиску. Зі зниженням загального тиску у продуктах спалювання вуглеводних палив збільшується відносний вміст продуктів неповного спалювання і взагалі всіх продуктів, утворення яких супроводжується витратою тепла і збільшенням хімічної енергії, тобто ступінь дисоціації продуктів спалювання збільшується.

Розрахунок складу продуктів спалювання з урахуванням дисоціації починається зі складання наступних рівнянь:

1. Рівнянь констант рівноваги тих реакцій дисоціації, що враховуються у розрахунку;
2. Рівнянь балансу елементів, що входять до паливної суміші;

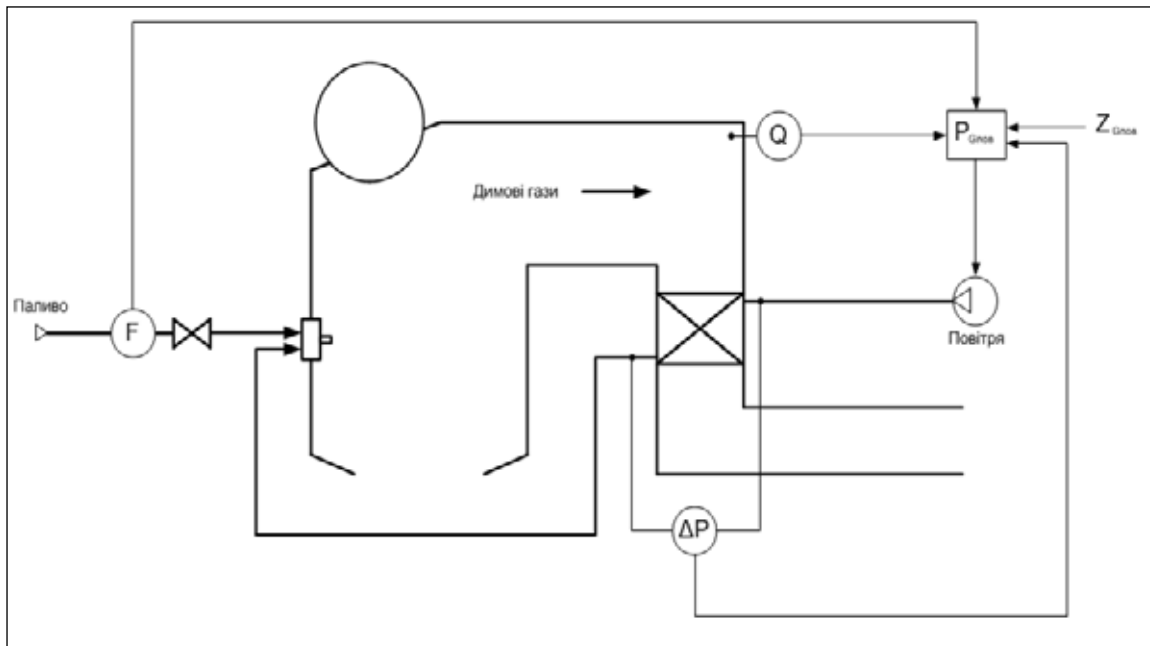


Рис. 1. Принципова схема регулювання

3. Рівняння повного тиску продуктів спалювання.

При горінні вуглеводнів у повітрі утворюються продукти спалювання палива, що містять тільки чотири елементи: вуглець, водень, кисень і азот.

Виклад основного матеріалу дослідження. Подальше вдосконалення виробництва, ускладнення реалізованих технологій призводять до такої ситуації, за якої управління технологічним процесом, виконання необхідного режиму експлуатації та технологічного регламенту можливі лише при посередництві автоматизованих систем управління, що відповідає найсучаснішим вимогам. Для більш точного регулювання необхідно контролювати концентрації всіх складових димових газів, за якими розраховуються критерії I_E та I_T (O_2 , H_2 , CO , NO), але схема регулювання економічності спалювання палива за сигналом концентрації CO , тобто процес горіння буде регулюватись на межі хімічного недопалу.

Принципова схема регулювання зображена на рисунку 1.

На рисунку 1 можна побачити, що на регулятор надходять три сигнали: сигнал за витратою палива перед пальником, сигнал за різницею тисків між тисками перед і після повітропідігрівача, сигнал за концентрацією CO . Регулювання здійснюється шляхом впливу на вентилятор подачі повітря (зміна частоти обертання робочого колеса).

Оптимізація процесу горіння, що зводиться до підтримання режиму на межі хімічного недопалу,

не допускаючи при цьому значних перевитрат палива, ґрунтується на вимірюванні мікроконцентрацій складових хімічного недопалу q_3 у димових газах – оксиду вуглецю CO . Зазначений параметр має високу чутливість до зміни характеристик процесу спалювання і майже нечутливий до підсівів повітря за газовим трактом котла [4, с. 21].

Втрати тепла від хімічної неповноти спалювання газу виникають при нестачі кисню, поганому змішуванні палива з повітрям, різкому зниженню температурного рівня у зоні горіння й інших причин. У результаті дії цих факторів горіння газу протікає неповно, і разом з продуктами горіння викидаються горючі компоненти (водень, окис вуглецю, метан). Це приводить до неповного використання хімічної енергії палива і зниженню економічності роботи установок, які використовують газ [2, с. 84].

Найменша зміна витрати повітря на межі хімічного недопалу, що можлива для регулятора, призводить до різкого збільшення концентрації CO у димових газах. Значні коливання концентрації CO на межі хімічного недопалу пов'язані як з динамічними властивостями процесу горіння, так і зі складностями тонкого регулювання витрати повітря та нестабільністю його потоку. Використання пристроїв частотного регулювання обертів дутьового вентилятора може більш точно підтримувати процес горіння на межі хімічного недопалу шляхом періодичного зменшення витрати повітря до появи сплеску концентрації CO

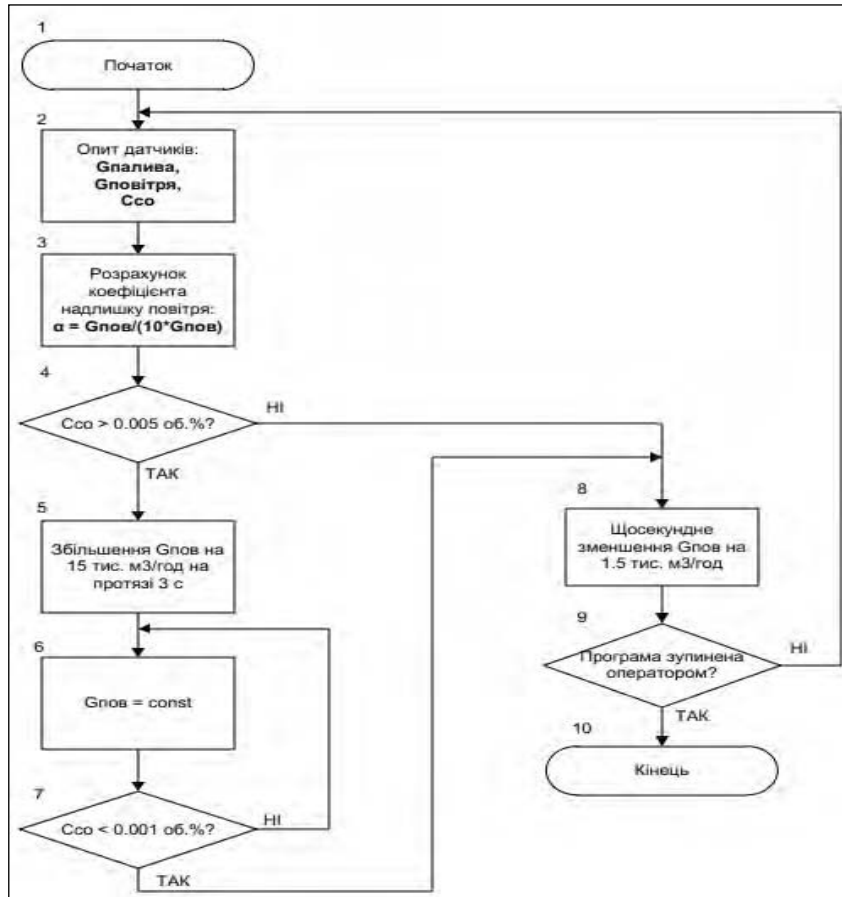


Рис. 2. Алгоритм оптимізації процесу горіння «зниження-відскок-підтримання»

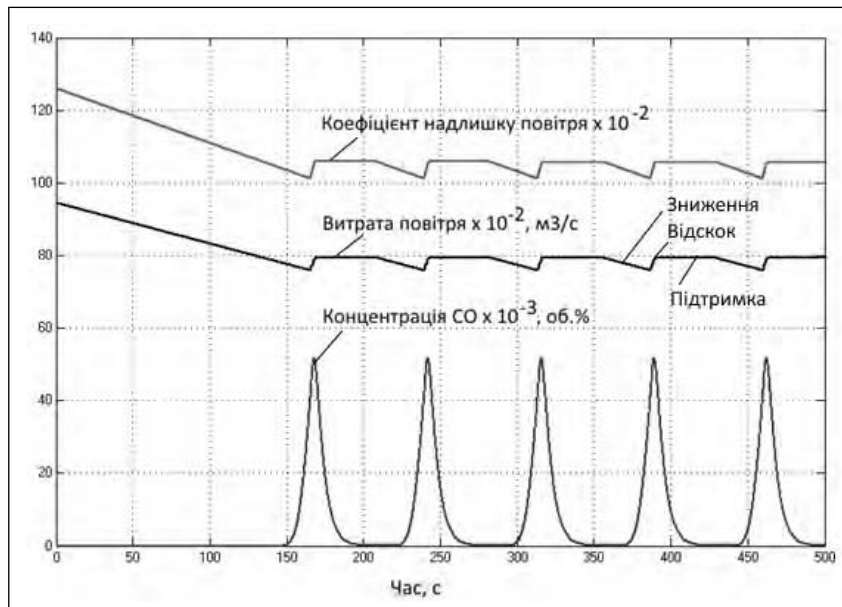


Рис. 3. Результати роботи алгоритму «зниження-відскок-підтримка»

(«зниження») з подальшим збільшенням витрати повітря до зникнення хімічного недопалу («відскок») і підтримання постійної витрати повітря на протязі деякого часу («підтримання») (рис. 2).

Залежно від типу агрегату для спалювання палива цикл «зниження-відскок-підтримка» триває 2-5 хвилин і дозволяє підтримувати оптимальний процес горіння для всіх режимів, при

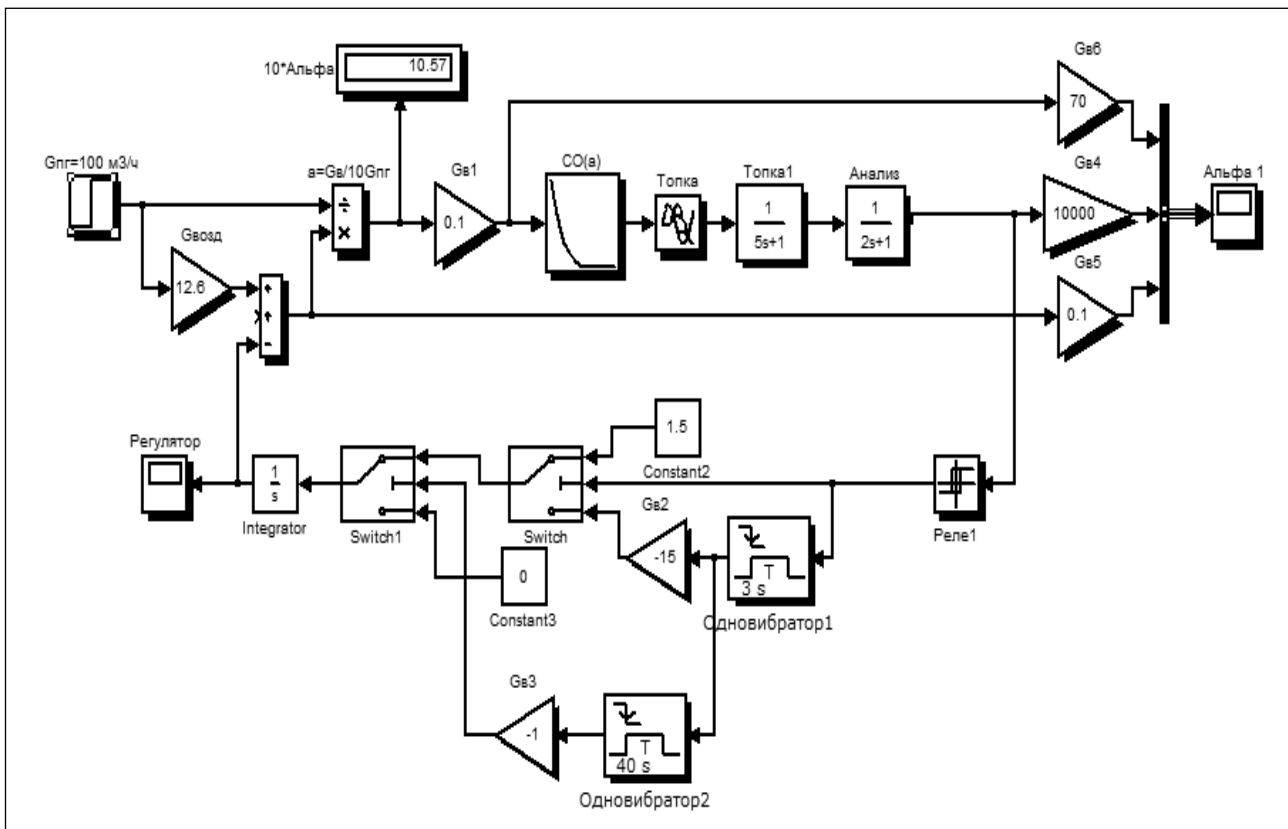


Рис. 4. Схема моделювання АСР економічності спалювання палива

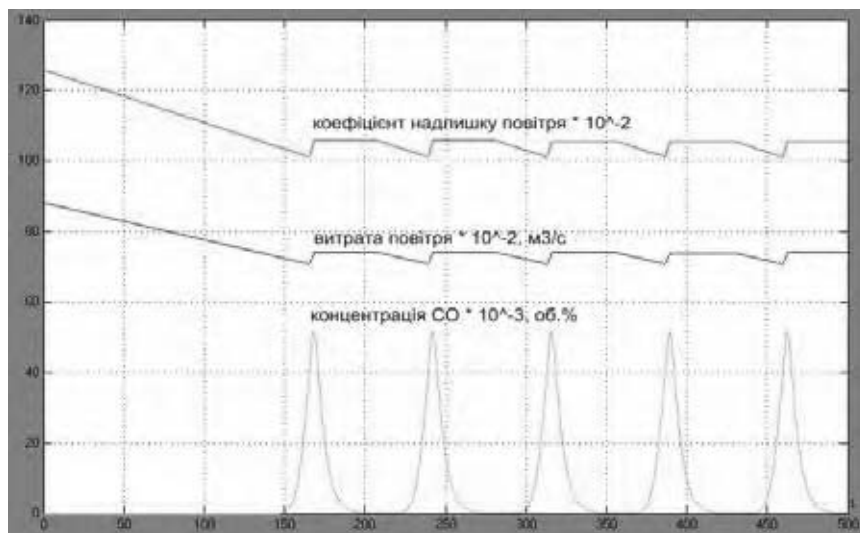


Рис.5. Результати моделювання при $G_{\text{палива}} = 100 \text{ м}^3/\text{год}$ і $G_{\text{пов}} = 12,6 * G_{\text{палива}}$

практично будь-яких змінах умов експлуатації і з будь-якими регуляторами і виконавчими механізмами. Цей алгоритм регулювання у процесі роботи фактично самостійно корегує режимну карту і особливо ефективний при використанні котлів у режимах малих потужностей. Результати роботи алгоритму зображені на рисунку 3.

Для моделювання АСР економічності спалювання палива і реалізації алгоритму «зниження-відскок-підтримка» була розроблена експериментальна схема у програмному середовищі Simulink (рис. 4). У даній схемі час «відскоку» і «підтримки» визначається тривалістю імпульсів відповідних одновібраторів.

Математична модель процесу горіння у схемі експерименту задається табличною функцією залежності концентрації CO від коефіцієнту надлишку повітря. Реалізація табличної функції здійснюється за допомогою елементу «Lookip». Інерційність топки реалізується передатною функцією I-го порядку і ланкою запізнення, інерційність датчика концентрації CO описується аналогічною передатною функцією I-го порядку. Витрата палива задається елементом «Step», а витрата повітря моделюється шляхом домноження витрати палива на 12,6. На суматор надходять сигнали за витратою повітря і сигнал від регулятора з від'ємним знаком. Після чого вираховується поточний коефіцієнт надлишку повітря (елемент «Product»). Поточне значення коефіцієнта надлишку повітря застосовується для визначення поточного значення концентрації CO. На вході регулятора знаходиться реле, яке реагує на зміни концентрації CO. При досягненні границі його вимкнення на інтегратор передається константа, значення на виході регулятора постійно зростає, загальна витрата повітря зменшується. При підвищенні концентрації CO і досягненні границі увімкнення реле передається сигнал на спрацювання

одновібраторів із різними часовими константами, що на виході моделюють «відскок» витрати (одновібратор з меншою константою часу) і «підтримання» (одновібратор з більшою константою часу).

У ході експерименту було проведено моделювання систему при різних величинах збурень витратою палива і витратою повітря (рисунки 5 – 10).

Висновки. Більшість автоматичних систем регулювання співвідношення «паливо-повітря» досі використовують коригувальний сигнал за величиною вмісту кисню O_2 у димових газах і побудовані з використанням стаціонарних кисне-

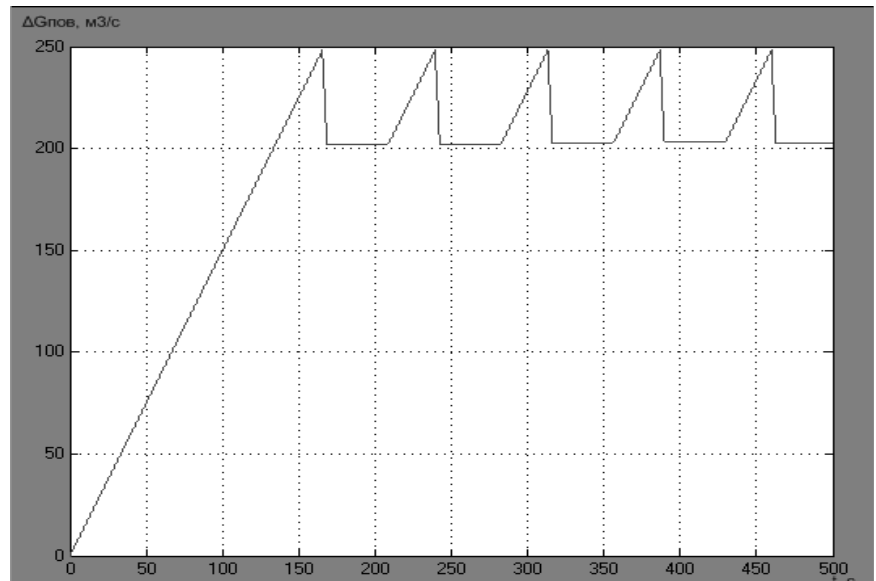


Рис. 6. Сигнал на виході регулятора при $G_{\text{палива}} = 100 \text{ м}^3/\text{год}$ і $G_{\text{пов}} = 12,6 \cdot G_{\text{палива}}$

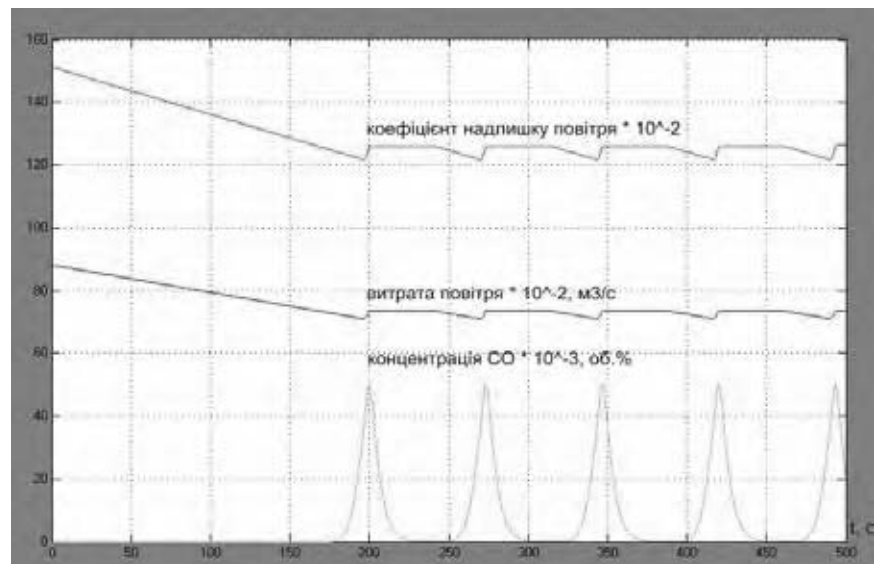


Рис. 7. Результати моделювання при $G_{\text{палива}} = 120 \text{ м}^3/\text{год}$ і $G_{\text{пов}} = 12,6 \cdot G_{\text{палива}}$

мірів. Подібні системи здебільшого не придатні для роботи у режимі автоматичного регулювання внаслідок спотворення концентрації кисню у димових газах неконтрольованими присосами повітря у газовому тракту, неідентичності характеристик пальників у багатопальникових котлах, коливань вологості повітря, змін теплотворної здатності і виду палива тощо.

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити висновки, що збурення не створюють суттєвого впливу на роботу регулятора. Це є значною перевагою у порівнянні з АСР, із сигналом за концентрацією кисню O_2 .

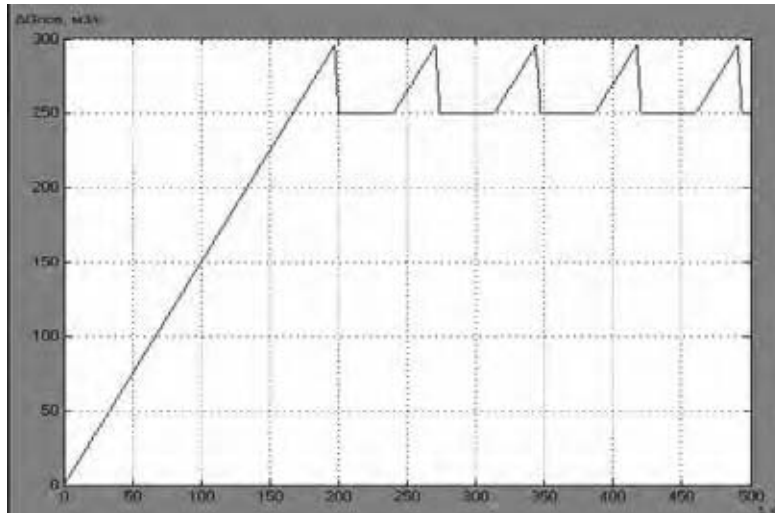


Рис. 8. Сигнал на виході регулятора при $G_{\text{палива}} = 120 \text{ м}^3/\text{год}$ і $G_{\text{пов}} = 12,6 * G_{\text{палива}}$

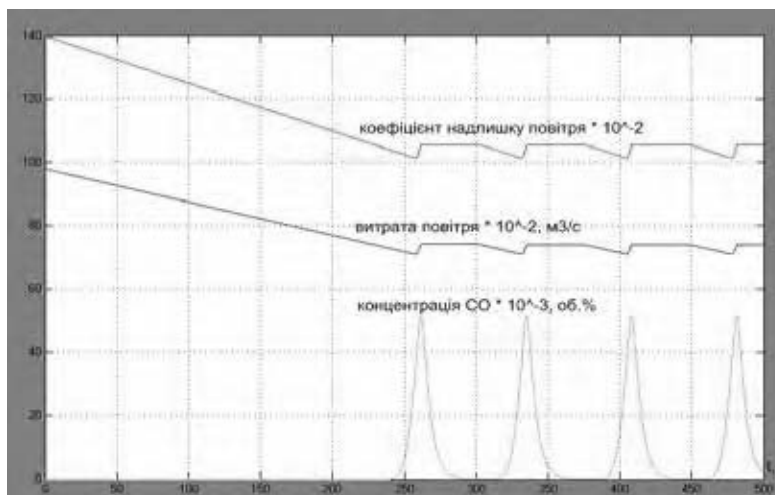


Рис. 9. Результати моделювання при $G_{\text{палива}} = 100 \text{ м}^3/\text{год}$ і $G_{\text{пов}} = 14 * G_{\text{палива}}$

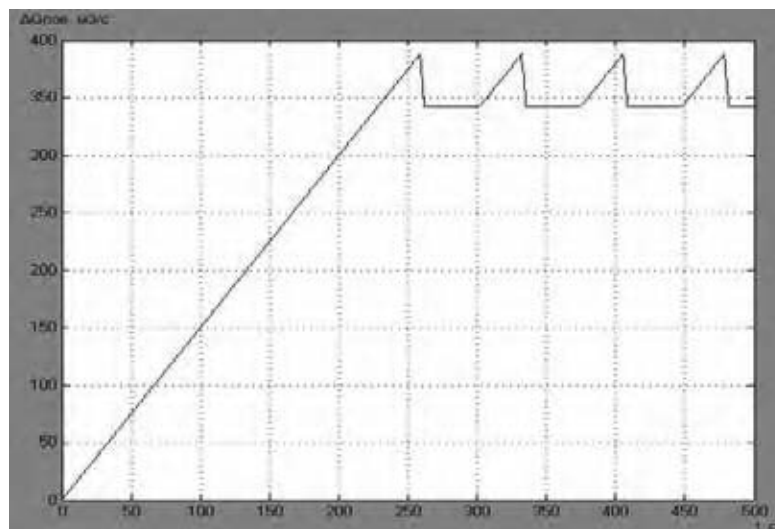


Рис. 10. Сигнал на виході регулятора при $G_{\text{палива}} = 100 \text{ м}^3/\text{год}$ і $G_{\text{пов}} = 14 * G_{\text{палива}}$

Список літератури:

Рюль К. Прогноз развития мировой энергетики до 2030 года. *Вопросы экономики*. № 5. 2013. С.109–128.
Брунеткин А.И., Максимов М. В. Метод определения состава горючих газов при их сжигании. *Научно-вещник Національного гірничого університету*. № 5. 2015. С. 83–90.

Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике. Москва, 2007. 352 с.

Максимов М.В., Бондаренко А.В., Брунеткин А.И. Модель и метод определения условной формулы углеводородного топлива при сжигании. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. № 6(8). 2013. С. 20–27.

Горбачев А.С. Оптимизация процесса горения в топках барабанных котлов с применением экстремальных систем и комплексных критериев: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07. Москва, 2000. 39 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ В ТОПОЧНОЙ КАМЕРЕ ПАРОВОГО КОТЛА ГМ-50

За последнее десятилетие существенно изменились состав и структура технологических средств, применяемых в автоматизированных системах управления технологическими процессами. Дальнейшее совершенствование производства, усложнение реализованных технологий приводят к ситуации, при которой управление технологическим процессом, выполнение необходимого режима эксплуатации и технологического регламента возможны только при посредстве автоматизированных систем управления, отвечающей самым современным требованиям. Паровой котел – основной агрегат тепловой электростанции (ТЭС). Рабочим телом в нем для получения пара является вода, а теплоносителем служат продукты горения различных органических топлив. Необходима тепловая мощность парового котла определяется его паропроизводительностью при обеспечении установленных температуры и рабочего давления перегретого пара. При этом в топке котла сжигается расчетное количество топлива. Значительный рост цен на энергоносители и обострение экологических проблем ставит все более жесткие требования к системам автоматической оптимизации экономичности процесса сжигания органического топлива.

Ключевые слова: автоматическая система регулирования, паровой котёл, автоматизация, математическая модель, процесс горения.

STUDY OF THE IMPROVED AUTOMATIC SYSTEM OF REGULATION OF THE ECONOMY OF THE COMBUSTION PROCESS IN THE FLOWING CHAMBER OF THE STEAM BOILER GM-50

Over the past decade, the composition and structure of technological tools used in automated process control systems have changed significantly. Further improvement of production, the complexity of the implemented technologies lead to such a situation in which the control of the technological process, the implementation of the necessary mode of operation and process regulations are possible only through automated control systems that meet the latest requirements. Steam boiler main unit of thermal power plant (TPP). The working body in it to produce steam is water, and the heat carrier is the combustion products of various organic fuels. The required thermal capacity of a steam boiler is determined by its steam capacity, while ensuring the established temperature and operating pressure of the superheated steam. In this case, the calculated amount of fuel is burned in the boiler's furnace. The significant increase in energy prices and the exacerbation of environmental problems place increasingly stringent requirements on systems for automatically optimizing the efficiency of the process of burning fossil fuels.

Key words: automation control system, steam boiler, automation, mathematical model, combustion process.