

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

СТЕПАНЕЦЬ ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ



УДК 621.181.1:681.5

**АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ
ПЕРВИННОЇ ПАРИ ПРЯМОТОЧНОГО КОТЛОАГРЕГАТА ЗІ
ЗМІННИМИ РЕЖИМАМИ РОБОТИ**

05.13.07 — автоматизація процесів керування

Автореферат
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ — 2013

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» на кафедрі Автоматизації теплоенергетичних процесів

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Мовчан Анатолій Павлович,
доцент кафедри автоматизації тепло-
енергетичних процесів Національного
технічного університету України «Київський
політехнічний інститут», м. Київ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Казак Василь Миколайович,
професор кафедри автоматизації та
енергоменеджменту Національного авіаційного
університету, м. Київ

кандидат технічних наук
Сідлецький Віктор Михайлович,
доцент кафедри інтегрованих автоматизованих
систем управління Національного університету
харчових технологій, м. Київ

Захист відбудеться 21 березня 2013р. о 14³⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.04 Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» за адресою 03056, м.Київ-56, проспект Перемоги, 37, корп. 18, ауд. 438.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» за адресою: 03056, м.Київ-56, проспект Перемоги, 37.

Автореферат розісланий 14 лютого 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, професор



Л. С. Ямпольський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Підвищення ефективності виробництва на сьогодні вимагає насамперед розробки та впровадження новітніх автоматичних систем управління як невід'ємної складової технологічних процесів. В галузі енергетики підвищуються вимоги до надійності, економічності, зручності експлуатації, що потребує використання високоефективних енергозберігаючих технологій. Для України теплоенергетика є стратегічним та пріоритетним напрямком.

Прямоточний котлоагрегат належить до класу основного теплоенергетичного устаткування. Для нього характерна робота при різних навантаженнях, різноманітних збуреннях, з енергоносіями різних характеристик, із значними запізненнями в інформаційних каналах. Досвід експлуатації показує, що штатні системи регулювання недостатньо добре функціонують при великих збурювальних впливах, у тому числі при глибоких змінах навантаження. За таких умов регульовані параметри виходять за припустимі регламентом значення, що зумовлено структурною та алгоритмічною недосконалістю існуючих систем. Невідповідність параметрів регуляторів поточному режиму роботи є причиною погіршення контролю над технологічними змінними, зокрема характеристиками перегрітої пари перед турбіною, що призводить до зниження надійності устаткування, а в деяких випадках до спрацьовування аварійних захистів парогенератора і зупинки енергоблоку. Дотримання норм технологічного регламенту можливе лише шляхом використання сучасних комплексів автоматичного керування, які охоплюють всі рівні керування від задачі локального регулювання технологічної змінної до оптимізації функціонування системи.

Крім цього, консервативність та інерційність впровадження в галузі енергетики нових рішень з автоматизації, обумовлені високою кінцевою вартістю обладнання та тривалою процедурою прийняття в експлуатацію, вимагають створення новітніх високоефективних систем на засадах класичної теорії автоматичного керування в поєднанні з досягненнями сучасної контролерної техніки. Це дозволяє скоротити період впровадження системи, поглибити розуміння персоналом принципів її роботи, а також забезпечити керованість об'єкта у всіх передбачених режимах.

Отже, актуальною науковою задачею є розробка сучасних систем керування, які відповідають жорстким вимогам щодо якості роботи та зручності експлуатації, здатних коректувати свої параметри відповідно до поточного стану котлоагрегату, та забезпечують швидку реалізацію розробленої системи на всіх промислових контролерах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась на кафедрі автоматизації теплоенергетичних процесів НТУУ «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України за Державним замовленням на науково-технічну продукцію: «Теорія і методи побудови високоякісних систем регулювання теплоенергетичних об'єктів з використанням стратегії структурно-параметричної оптимізації», державний реєстраційний номер 0108U000930, та «Автоматичне керування

теплоенергетичними об'єктами у змінних режимах роботи» за номером 0110U002291 згідно державної реєстрації.

У зазначених науково-дослідних роботах автор приймав участь як виконавець.

Мета роботи і задачі досліджень. Метою роботи є підвищення ефективності функціонування систем автоматичного керування (САК) теплоенергетичними об'єктами в умовах змінних режимів роботи устаткування шляхом врахування динамічних властивостей об'єктів в САК. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- аналіз впливу режимів роботи енергоблока на динамічні властивості пароперегрівача з метою розробки моделей для всережимної системи керування;

- розробка методики автоматизованої оцінки параметрів моделі об'єкта керування на основі аналізу початкової ділянки перехідного процесу для актуалізації вхідних даних системи керування;

- розробка та дослідження структурних та алгоритмічних рішень щодо забезпечення ефективної роботи систем автоматичного керування в умовах змінних режимів функціонування об'єкта;

- вдосконалення багатоконтурної адаптивної системи автоматичного керування з використанням регуляторів з внутрішніми моделями об'єкта керування для подальшого використання в задачі стабілізації температури первинної пари;

- розробка алгоритму врахування поточного режиму роботи енергоблока при формуванні системою регулювання керуючих дій;

- розробка методики автоматизованого налаштування системи автоматичного керування температурою первинної пари для енергоблоків, що працюють у змінних режимах;

- технічна реалізація на промисловій техніці та впровадження комплексу автоматичного керування температурою первинної пари, що вирішує задачі стабілізації технологічної змінної та оптимізації параметрів системи, для всережимної роботи на теплоенергетичному обладнанні.

Об'єкт дослідження — система автоматичного керування теплоенергетичними об'єктами.

Предмет дослідження — всережимна система автоматичного керування температурою первинної пари прямогокотлоагрегата, який працює у змінних режимах роботи.

Методи дослідження. У роботі використовувалися методи теорії автоматичного керування, апарат передавальних функцій у неперервній та дискретній формах, імітаційне комп'ютерне моделювання, метод оптимального параметричного синтезу, метод послідовних наближень, чисельні методи рішення диференціальних рівнянь.

Наукова новизна отриманих результатів. В ході вирішення поставлених задач отримані нові наукові результати:

- вперше доведено можливість застосування регуляторів із внутрішньою моделлю для синтезу систем регулювання технологічних змінних прямогокотлоагрегату та показані переваги вказаних регуляторів, що представлені у

покращенні кількісних показників якості роботи та спрощенні процедури налаштування, над типовими ПД-алгоритмами;

- розроблено метод автоматизованої ідентифікації параметрів об'єкта керування на основі аналізу початкової ділянки перехідного процесу, який апроксимує експериментальні дані моделлю у вигляді передавальної функції, параметри якої є функціями від точки часу досягнення максимуму першою похідною технологічної змінної та її значення, та забезпечує швидше завершення процедури оцінки параметрів моделі, ніж апостеріорні методи ідентифікації;

- розроблено нову двоконтурну систему автоматичного регулювання із застосуванням відомої схеми регулятора з внутрішньою моделлю, що відрізняється способом врахування параметрів моделі в регуляторі, використанням регулятора з двома степенями свободи для ефективного вирішення задачі стабілізації технологічних змінних, та враховує динаміку внутрішнього контуру при формуванні керуючого впливу головного регулятора;

- розроблений метод підвищення ефективності функціонування систем керування, який включає в себе врахування параметрів моделі об'єкта керування в регуляторі, автоматизовану оцінку параметрів моделі, оптимізацію при вирішенні задачі стабілізації технологічної змінної, автокорекцію параметрів налаштувань відповідно до поточного режиму роботи устаткування. Метод поширений на багатоконтурні системи керування з врахуванням вимог до задач стабілізації.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблені рішення та рекомендації щодо застосування у складі алгоритмів керування температурою перегрітої пари прямооточного котлоагрегата параметрів моделі об'єкта у явному вигляді;

- розроблені алгоритми регулювання з використанням регуляторів із внутрішньою моделлю у складі локальних систем автоматичного керування, що значно підвищують ефективність роботи САК за рахунок відповідності керуючого впливу регуляторів динаміці об'єкта керування та спрощують процедуру налаштування;

- розроблено алгоритм автоматизованого визначення параметрів моделі об'єкта керування за ключовими точками початкової ділянки перехідного процесу під час проведення активного експерименту; залежності параметрів моделі від ключових точок узагальнені у вигляді формул, які використовуються для автоматичної оцінки параметрів моделі в автоматизованому комплексі керування технологічним об'єктом;

- створена методика врахування навантаження енергоблока при визначенні керуючих дій системи керування, що полягає у корекції параметрів системи відповідно до поточного режиму котла;

- створена методика синтезу багатоконтурних систем автоматичного керування з регуляторами з внутрішньою моделлю, оптимізованих для задачі стабілізації технологічних змінних та таких, що адаптуються до зміни режиму роботи котлоагрегату.

Використання розроблених систем за умови проведення додаткових досліджень може екстраполюватися на інші об'єкти теплоенергетичної галузі.

Розроблені структурні рішення, алгоритми керування та їх реалізація на контролерній техніці використані при модернізації АСУТП парового котла котельні Сквирського комбінату хлібопродуктів, що підтверджено відповідним актом. Отримано свідоцтво про авторське право на програмний продукт для промислових контролерів Segnetics, який реалізує САК з регулятором з внутрішньою моделлю.

Результати роботи використані у навчальному процесі кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів НТУУ «КПІ» в дисципліні «Сучасні розділи теорії автоматичного управління» у вигляді двох лабораторних робіт та навчального посібника «Адаптивні та параметрично-оптимальні системи управління».

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи обговорювались та доповідались на наукових конференціях: X міжнародній конференції «Інвестування в енергетику, енергозбереження та екологію» (Київ, 2010); VIII міжнародній конференції аспірантів, магістрів, студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» (м. Київ, 2010); Міжнародних конференціях з автоматичного керування «Автоматика - 2010» (Харків, 2010), «Автоматика - 2011» (Львів, 2011), «Автоматика - 2012» (Київ, 2012); міжнародній наук.-прак. конференції «Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино-и приборостроении» (м. Мінськ, 2012); наукових семінарах кафедри АТЕП Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором особисто. У роботах, виконаних у співавторстві, особисто дисертанту належать такі положення: аналіз існуючих рішень у напрямку керування квазістаціонарними об'єктами [1, 6, 10, 12]; постановка та вирішення задач, пов'язаних з автоматичним керуванням квазістаціонарних об'єктів, зокрема, з елементами прямого котлоагрегату [2, 4, 6, 10]; застосування структур системи управління з використанням оцінки характеристик об'єкта керування для досягнення необхідних показників якості роботи [1, 6, 8]; синтез багатоконтурної системи з регуляторами із внутрішньою моделлю для керування контурами теплоенергетичних об'єктів [4, 5, 6]; розробка методу оцінки параметрів моделі об'єкта керування на основі аналізу початкової ділянки перехідного процесу [1, 5, 8]; обробка, розрахунок та аналіз отриманих результатів [2, 3, 5, 11]; реалізація розроблених та запропонованих рішень на промисловому обладнанні [5, 14].

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано в 14 наукових працях, серед них 6 статей у фахових наукових журналах, тези доповідей на наукових конференціях, авторське свідоцтво.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 129 найменувань, 7 додатків. Повний обсяг дисертації 188 стор. Основний зміст роботи викладений на 147 сторінках, враховуючи 56 рисунків та 4 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладено суть, обґрунтовано актуальність роботи та сформульовано основну мету та задачі досліджень, показано новизну та практичне значення роботи. Окреслено також спосіб досягнення мети роботи: підвищення ефективності функціонування теплоенергетичного устаткування шляхом розробки нових систем керування.

У першому розділі розглянуто проблеми функціонування енергоблоків ТЕС, які потребують удосконалення систем автоматизованого керування, визначені складності регулювання температури первинної пари як основної технологічної змінної котлоагрегата, проведено аналіз існуючих та перспективних методів керування, що використовуються при модернізації та розробці систем, сформульовано задачі досліджень.

Прямоточний котел з позиції керування є сукупністю складних взаємопов'язаних процесів, з великою кількістю контрольованих та неконтрольованих збурень та підвищеними вимогами до якості регулювання. Завдання автоматизації котлоагрегата як об'єкта регулювання є складною в тому відношенні, що контури регулювання мають взаємний вплив один на одного всередині об'єкта. У прямоточному котлі немає фіксованих конструктивних меж між економайзерами, випарними й пароперегрівними поверхнями нагрівання. Невелике відхилення в перехідний період теплового навантаження або витрат води призводять до значної зміни температури перегріву пари.

Регулювання температури перегріву пари є складною та важливою задачею, так як, згідно умов температурного режиму, її треба стабілізувати по всій довжині тракту. Найважливішою ділянкою є пароперегрівач, розташований в кінці первинного тракту, пов'язаний з турбіною. Практично будь-яке збурення на прямоточному котлоагрегаті впливає на температуру пари по тракту. До САК температурою пари висувуються вимоги щодо мінімізації відхилень параметру від заданого значення (+5 ... -10 °C), мінімізації коливань. Зниження температури перегрітої пари нижче допустимих меж може призвести до важких механічних пошкоджень ротора турбіни і лопаток. Різкий підйом температури перегрітої пари вище допустимих значень призводить до нерівномірності прогріву окремих частин турбіни, до зменшення зазору між лопатками та корпусом менше критичного, і, як наслідок, до тяжких механічних ушкоджень.

Вплив експлуатаційних факторів, таких як: навантаження, параметричні збурення, термін безремонтної роботи, модернізація окремих вузлів, - призводить до значних змін динамічних параметрів котельного агрегату. Це негативно впливає на якість роботи САК та може призвести до втрати нею працездатності через невідповідність проектних рішень реальному стану пароперегрівача.

При цьому налаштовані регулятори, зазвичай, ефективно працюють лише в режимі, при якому відбувалось налаштування. Існуючі на цей час системи працюють або зі слабкими всережимними налаштуваннями регуляторів, або мають таблиці відповідності параметрів налаштувань режимам роботи, які не враховують зміну характеристик об'єкта керування з часом. Спроби підвищити ефективність роботи систем керування здебільшого обмежуються коректорами певних параметрів

регуляторів в невеликих межах чи значним ускладненням структури САК. Розглянуто структурні рішення, що базуються як на традиційних ПІД-регуляторах, так і на новітніх методах автоматичного регулювання. САК котлоагрегату повинні реагувати на параметричні збурення, забезпечуючи необхідну якість керування у всіх передбачених технологічних умовах. Для вирішення цієї проблеми існує особливий клас систем автоматичного керування, що мають адаптивні властивості, тобто встановлюють свої параметри чи навіть змінюють свою структуру, підлаштовуючись під важливі для них характеристики об'єкта, визначають параметри налаштувань регуляторів при вводі об'єкта в експлуатацію, після його модифікації чи значної зміни характеристик.

Адаптивні системи автоматичного керування можна поділити на класи за підходами до формування механізму адаптації. Згідно такого поділу виділяють адаптивні системи, засновані на евристичному підході, з самоналаштовувальними регуляторами та системи з еталонною моделлю. На основі проведеного аналізу окреслені переваги та недоліки кожного класу з огляду на вимоги до функціонування котлоагрегата та можливості реалізації на контролерній техніці. Перспективним підходом визнано взаємодію локальних систем регулювання з контурами адаптації, що працюють з урахуванням особливостей роботи об'єкта керування та забезпечують близькі до оптимальних параметри регуляторів.

У кінці розділу наведено обґрунтування мети дисертаційної роботи і сформульовані основні задачі дослідження.

Другий розділ присвячений дослідженню динамічних властивостей пароперегрівача первинної пари та методиці розробки математичної моделі об'єкта керування пароперегрівача. Наведені результати моделювання та проведена перевірка на адекватність отриманих моделей.

Для пароперегрівача первинної пари основними видами збурень є: навантаження котлоагрегата, зміна параметрів пари на вході в пароперегрівач, зміна топкового режиму. Показано, що пароперегрівач як об'єкт керування є квазістаціонарним у рамках поточного режиму роботи, який визначається навантаженням котлоагрегата. Зміна навантаження прямо впливає на динамічні характеристики теплообмінника, тому врахування цієї особливості об'єкта є необхідною умовою розробки ефективної системи автоматичного керування. Особливістю динамічних характеристик пароперегрівача є наявність запізнювання зміни температури на нанесене збурення. Аналітичний опис об'єкта керування у вигляді інерційної ланки другого порядку з транспортним запізненням збігається з обробленими експериментальними даними, отриманими при збуренні витратою води на другий регульований вприск при максимальному, проміжному та мінімальному навантаженнях.

Доведено, що модель пароперегрівача як об'єкта керування може бути представлена у вигляді послідовного з'єднання інерційної ланки першого порядку та ланки транспортного запізнення для використання при синтезі регулятора з внутрішньою моделлю. Для визначення параметрів моделі розроблено метод ідентифікації за результатами аналізу початкової ділянки перехідної характеристики після подачі ступінчатого збурення. Метод базується на обробці даних перехідного процесу у розімкненій системі для визначення сталої часу та коефіцієнта передачі

об'єкта керування. Момент часу t_1 , коли оцінка першої похідної досягає максимуму, залежить тільки від динамічних характеристик процесу, а добуток $\dot{\varepsilon}(t_1) \cdot t_1$ — від загального коефіцієнта підсилення об'єкта K_{OB} . Тут $\dot{\varepsilon}(t_1)$ — оцінка першої похідної контрольованої величини. Обробка даних в режимі on-line дозволяє виявити ключові точки перехідного процесу та проаналізувати їх, порівнюючи із залежностями коефіцієнта передачі та постійної часу об'єкта від часу досягнення максимуму похідної його вихідної величини в розімкненому контурі регулювання (1):

$$K_{OB} = \dot{\varepsilon}(t_1) \cdot \sum_{i=0}^4 a_i t_1^i, T_{OB} = \sum_{i=0}^4 b_i t_1^i, \quad (1)$$

де $K_{об}$ — коефіцієнт передачі моделі об'єкта керування, $T_{об}$ — стала часу моделі об'єкта керування, t_1 — час досягнення максимуму першою похідною контрольованої величини, $\dot{\varepsilon}(t_1)$ — значення першої похідної контрольованої величини у момент часу t_1 ; a_i, b_i — коефіцієнти ідентифікаційних поліномів, $a_i = f(T_\phi), b_i = f(T_\phi), T_\phi$ — стала фільтру алгоритму ідентифікації.

Фільтр вводиться послідовно з виходом об'єкта, щоб гарантовано отримати порядок моделі ≥ 2 та забезпечити захист від завад. Значення сталої фільтру обирається як компроміс між протидією завадам та швидкістю оцінки параметрів моделі зважаючи на динамічні властивості об'єкта керування. Залежно від значення фільтру визначені коефіцієнти ідентифікаційних поліномів (таблиця 1) для оцінки параметрів моделі об'єкта.

Перевірка адекватності отриманої розробленим методом моделі об'єкта керування (рис. 1) в залежності від параметрів методу ідентифікації та поточного режиму роботи котлоагрегата показала правомірність опису динаміки роботи пароперегрівача у вигляді послідовного сполучення інерційної ланки і транспортного запізнення, де коефіцієнти моделі оцінені розробленим методом. Похибка, за умов вибору значень параметрів методу ідентифікації, які відповідають апріорним відомостям про сталі часу об'єкта, не перевищує 3%. При цьому тривалість процедури ідентифікації скорочується до 60% у порівнянні з методами, які потребують завершення перехідного процесу.

Таблиця 1. Коефіцієнти ідентифікаційних поліномів

Тф,с	Коефіцієнти залежності $T_{OB} = f(t_1, T_\phi)$					Коефіцієнти залежності $K_{OB} = f(t_1, T_\phi)$				
	b4	b3	b2	b1	b0	a4	a3	a2	a1	a0
50	2,15E-06	-0,00031	0,039005	-0,56065	6,057794	2,14E-06	-0,00031	0,038572	0,163644	55,88428
100	1,69E-07	-2,09E-05	0,009007	0,125925	0,640069	1,67E-07	-1,83E-05	0,008593	0,858039	100,8582
150	4,24E-08	-4,41E-06	0,005064	0,19056	-0,0456	4,18E-08	-3,25E-06	0,004755	0,925966	150,3677
200	2,46E-08	-7,35E-06	0,004852	0,118468	1,087766	1,28E-08	1,46E-06	0,002842	0,984211	199,5396
250	7,27E-09	-1,80E-08	0,002618	0,230697	-0,8105	6,37E-09	1,09E-06	0,002244	0,9837	249,6876
300	3,95E-09	2,13E-07	0,002134	0,234621	-1,00416	3,73E-09	7,04E-07	0,00189	0,985071	299,5858
350	2,80E-09	-1,90E-07	0,001951	0,222426	-0,77674	2,28E-09	5,91E-07	0,001611	0,984991	349,9019
400	2,17E-09	-4,60E-07	0,001793	0,21385	-0,7821	2,08E-09	-1,41E-07	0,001573	0,970439	399,9189

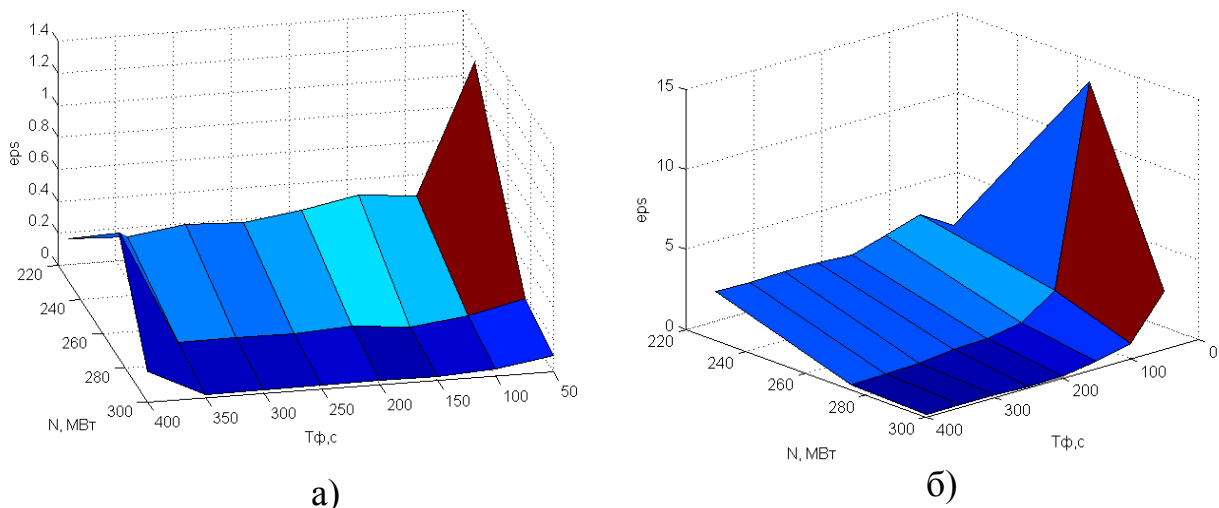


Рис. 1 Похибки ідентифікації залежно від параметрів методу та поточного навантаження котлоагрегата
 а) модель випереджаючої частини об'єкта; б) модель пароперегрівача.

У третьому розділі розроблені структури локальних систем керування температурою первинної пари прямооточного котлоагрегата з використанням параметрів моделей у складі регуляторів. Доведено покращення якості регулювання та виконання ними технічних вимог щодо якості перехідних процесів при роботі котлоагрегата в змінних режимах.

Переважає більшість промислових систем керування у тій чи іншій мірі використовує інформацію про динаміку об'єкта керування, щоб потім за допомогою правил, формул чи емпіричних залежностей визначити параметри налаштування регулятора. Тобто у будь-якому разі оцінка об'єкта є обов'язковим етапом на шляху синтезу системи автоматичного керування.

Отримані моделі пароперегрівача у різних режимах роботи використані для безпосередньої побудови регулятора системи у класі регуляторів з внутрішньою моделлю (ІМС-регулятор, Internal model control). Для ІМС-регулятора, згідно з принципом структурно-параметричної оптимізації, характерне включення обраної структури моделі в склад регулятора, що дозволяє автоматично отримати параметри регулятора з високими показниками якості керування.

Структурно регулятор $W_p(s)$ має вигляд:

$$W_p(s) = W_\phi(s)W_{OBM+}(s)^{-1}, \quad (2)$$

де $W_\phi(s)$ — передавальна функція фільтру, призначеного для налаштування грубості замкненої системи, $W_{OBM+}(s)$ — передавальна функція частини моделі об'єкта, що може бути обернена.

При адекватності моделі $W_{OBM}(s)$ об'єкту $W_{OB}(s)$ система забезпечує високі показники якості роботи за каналами «завдання - вихід» та «збурення – вихід» з відсутністю похибки регулювання в статичному режимі. Математичне моделювання показало залежність грубості системи від величини фільтру регулятора. Простежується закономірність, що чим більше значення сталої фільтру λ , тим

грубішою є система по відношенню до зміни параметрів об'єкта. Однак налаштування регуляторів на максимально можливі значення фільтрів є недоцільним, так як система при цьому втрачає швидкість контролю над керованими змінними і збільшує час перехідних процесів. Це неприпустимо у випадках, коли сповільнена реакція може призвести до розвитку аварійних ситуацій через неможливість вчасно подолати збурення. Рекомендовані межі вибору сталих фільтра, при яких перехідний процес близький до аперіодичного та має мінімальний час регулювання, лежать в діапазоні $\lambda = [0,8...2,5]\tau$, де τ — транспортне запізнення моделі. Проведені порівняльні дослідження ПД-регулятора та регулятора із внутрішньою моделлю показали ефективність використання ІМС-систем, так як інтегральні показники якості, зокрема квадратичний, покращились на 30%.

Технологічні змінні котлоагрегату, значення яких повинні підтримувати САК, мають значне транспортне запізнення (до десятків секунд та більше) та інерційність, тому для покращення динаміки в систему вводяться додаткові інформаційні канали, створюючи тим самим багатоконтурні системи автоматичного керування. У зв'язку з цим розроблена каскадна структура з регуляторами з внутрішньою моделлю.

Вважаючи, що модель об'єкта $W_{OBM}(s)$ повністю відповідає або достатньо близька до об'єкта $W_{OB}(s)$, тобто

$$W_{OBM}(s) \approx W_{OB}(s). \quad (3)$$

Згідно схеми з регулятором з внутрішньою моделлю, вихідна величина $Y(s)$ (зображення у просторі Лапласа вихідної змінної $y(t)$) визначатиметься наступним відношенням

$$Y(s) = W_P(s)W_{OB}(s)Y_{3AD}(s). \quad (4)$$

Отже,

$$Y(s) = W_\Phi(s)W_{OBM+}(s)^{-1}W_{OB}(s)Y_{3AD}(s) \quad (5)$$

Описавши об'єкт певною передавальною функцією зі складовими частинами, що можуть бути інвертовані ($W_{OB+}(s)$) та не можуть ($W_{OB-}(s)$, наприклад, транспортне запізнення), вираз (5) можна переписати як

$$Y(s) = W_\Phi(s)W_{M+}(s)^{-1}W_{OB+}(s)W_{OB-}(s)Y_{3AD}(s) \quad (6)$$

або

$$Y(s) = W_\Phi(s)W_{OB-}(s)Y_{3AD}(s). \quad (7)$$

Отже, вихідна величина (7) за каналом «завдання — вихідна величина» відтворює динаміку зміни завдання з поправкою на динаміку $W_\Phi(s)$ та $W_{OB-}(s)$.

Вихід коригувального регулятора транслюється в інерційну частину об'єкта керування з поправкою на динаміку внутрішнього контуру. Таким чином, об'єктом для головного регулятора наближено можна вважати наступну структуру:

$$W_{OB}(s) \approx W_{IH}(s)W_{\Phi P1}(s)W_{BIII-}(s) \quad (8)$$

де $W_{IH}(s)$ — інерційна частина об'єкта, $W_{BIII-}(s)$ — частина об'єкта випереджаючого контуру, що не може бути обернена (транспортне запізнення), $W_{\Phi P1}(s)$ — фільтр регулятора внутрішнього контуру.

Вихідні величини внутрішнього контуру та каскаду в цілому змінюватимуться згідно законів:

$$Y_1(s) = \frac{W_{P1}(s)W_{ВНП}(s)U(s) + W_{ВНП}(s)[1 - W_{P1}(s)W_{ВНПМ}(s)]V(s)}{1 + W_{P1}(s)[W_{ВНП}(s) - W_{ВНПМ}(s)]} \quad (9)$$

$$Y(s) = \frac{W_P(s)W_{ОБ}(s)Y_{ЗД}(s) + W_{ВН}(s)W_{ИН}(s)[1 - W_P(s)W'_{ИМ}(s)]V(s)}{1 + W_P(s)[W_{ВН}(s)W_{ИН}(s) - W'_{ИМ}(s)]}, \quad (10)$$

де

$$W'_{ИМ}(s) = W_{ВНПФ}(s)W_{ИМ}(s)W_{ВНПМ-}(s), \quad (11)$$

$W_{ВН}(s)$ — передавальна функція внутрішнього контуру.

Тому, при достатній відповідності моделі об'єкта самому фізичному пристрою система буде відпрацьовувати завдання зі швидкістю, що визначається сталими фільтрів регуляторів, а подолання збурень покладено як на внутрішній швидкий контур, так і на зовнішній коригувальний.

Результуюча структурна схема синтезованої каскадної системи зображена на рис. 2, індекс «м» означає модель відповідної частини об'єкта керування.

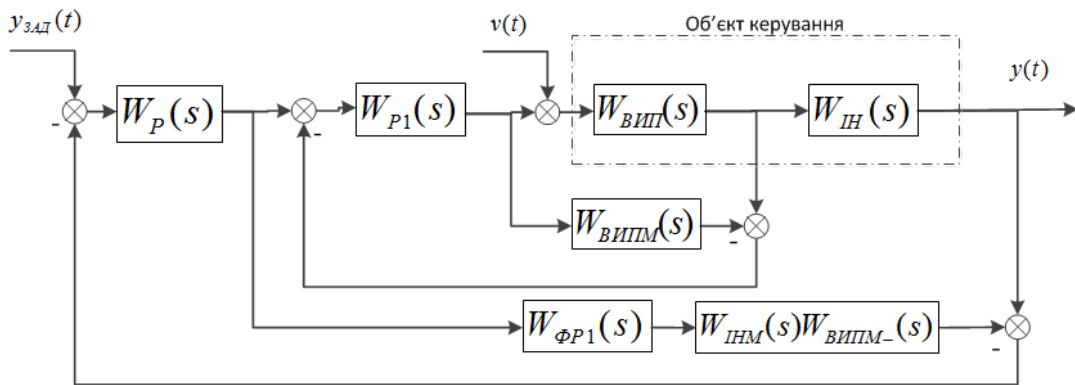


Рис. 2 Каскадна система регулювання з двома регуляторами з внутрішньою моделлю

Подолання збурень та стабілізація керованих змінних є найпоширенішими задачами автоматизації теплоенергетичних процесів. Система повинна утримувати контрольовані змінні у межах технологічного регламенту. Це актуально й для системи автоматичного регулювання (САР) температури первинної пари. Тому досліджено можливості підвищення ефективності подолання збурень за допомогою алгоритмічних рішень, введених в структуру САР. Використання у внутрішньому контурі регулятора з двома степенями свободи (рис. 3) дозволило значно покращити показники якості.

Компенсатор збурень описується у вигляді передавальної функції, що містить в собі відомості про регулятор та пов'язана з динамікою збурень

$$W_{PK}(s) = W_{P1}(s) \cdot W_{PЗБ}(s). \quad (12)$$

Передавальна функція компенсатора шукається у вигляді

$$W_{PЗБ}(s) = \frac{\sum_{i=0}^n \alpha_i s^i}{(\varepsilon s + 1)^n}; \quad \alpha_0 \equiv 1, \quad (13)$$

де n — кількість полюсів у моделі збурення у вигляді передавальної функції $W_{зБ}(s)$.

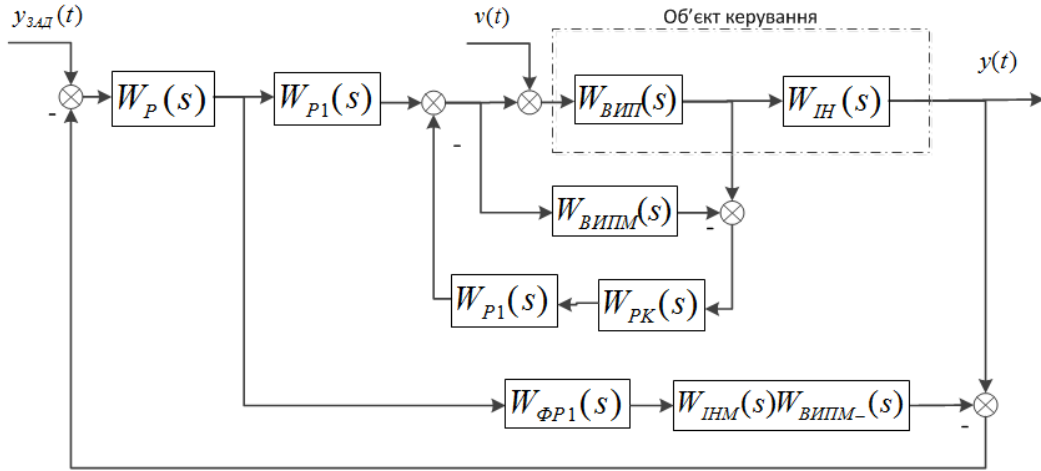


Рис. 3 Каскадна система регулювання з двома регуляторами з внутрішньою моделлю та компенсацією збурень

Для розробленої системи параметр α_1 для збурення, апроксимованого моделлю першого порядку, шукається як рішення виразу

$$\alpha_1 = \left. \frac{e^{\tau_{зБ}s} \cdot K_{ОБМ} (\lambda s + 1)(\varepsilon s + 1) - 1}{s} \right|_{s = -\frac{1}{T_{зБ}}} \quad (14)$$

Параметр ε обирається з вимоги бажаного рівня подолання збурень і визначається ітераційним шляхом.

Для можливості реалізації системи на сучасній контролерній техніці розроблено дискретну форму результуючого закону регулювання температури первинної пари, елементи якого описуються дискретними передавальними функціями

$$W_{P1}(z) = \frac{U_{ВИП}(z)}{U(z)} = \frac{(q_{ОБМ0} + 1) + (1 - q_{ОБМ0})z^{-1}}{K_{ВИПМ} (q_{ВИП1} + 1) + K_{ВИПМ} (1 - q_{ВИП1})z^{-1}}, \quad (15)$$

$$W_P(z) = \frac{K_{ВИПМ} [(1 + q_{P0}) + 2z^{-1} + (1 - q_{P0})z^{-2}]}{K_{ОБМ} [(q_{P2} + q_{P1} + 1) + (2 - 2q_{P2})z^{-1} + (q_{P2} - q_{P1} + 1)z^{-2}]}, \quad (16)$$

$$W_{ОБМ}(z) = \frac{K_{ОБМ} \cdot [(1 + q_{ОБМ0}) + 2z^{-1} + (1 - q_{ОБМ0})z^{-2}] \cdot z^{\frac{\tau_{ОБМ}}{T_0}}}{K_{ВИПМ} \cdot [(q_{ОБМ2} + q_{ОБМ1} + 1) + (2 - 2q_{ОБМ1})z^{-1} + (q_{ОБМ2} - q_{ОБМ1} + 1)z^{-2}]}, \quad (17)$$

$$W_{ОБМ}(z) = \frac{K_{ОБМ} \cdot [(1 + q_{ОБМ0}) + 2z^{-1} + (1 - q_{ОБМ0})z^{-2}] \cdot z^{\frac{\tau_{ОБМ}}{T_0}}}{K_{ВИПМ} \cdot [(q_{ОБМ2} + q_{ОБМ1} + 1) + (2 - 2q_{ОБМ1})z^{-1} + (q_{ОБМ2} - q_{ОБМ1} + 1)z^{-2}]}, \quad (18)$$

$$W_{ВИПМ}(z) = \frac{K_{ВИПМ} \cdot [1 + z^{-1}]}{(q_{ОБМ0} + 1) + (1 - q_{ОБМ0})z^{-1}} z^{\frac{\tau_{ВИПМ}}{T_0}}, \quad (19)$$

$$W_{PK}(z) = \frac{\left(\frac{2\alpha_1}{T_0} + 1\right) + \left(1 - \frac{2\alpha_1}{T_0}\right)z^{-1}}{\left(\frac{2\varepsilon}{T_0} + 1\right) + \left(1 - \frac{2\varepsilon}{T_0}\right)z^{-1}}. \quad (20)$$

Тут прийняті наступні позначення:

$$q_{OБM2} = \frac{4T_{OБM} \cdot \lambda_{ВИП}}{T_0^2}, \quad q_{OБM1} = \frac{2(T_{OБM} + \lambda_{ВИП})}{T_0}, \quad q_{OБM0} = \frac{2T_{ВИПМ}}{T_0},$$

$$q_{P2} = \frac{4T_{ВИПМ} \cdot \lambda_{OБ}}{T_0^2}, \quad q_{P1} = \frac{2(T_{ВИПМ} + \lambda_{OБ})}{T_0}, \quad q_{P0} = \frac{2T_{OБМ}}{T_0}, \quad q_{ВИП1} = \frac{2\lambda_{ВИП}}{T_0}.$$

Результати моделювання показують переваги розробленої системи перед іншими у вирішенні задачі стабілізації температури первинної пари (рис. 4). Налаштування розробленої системи виконувалось запропонованим методом, а параметри ПД-регуляторів знайдені методом оптимального параметричного синтезу за інтегральним квадратичним показником якості.

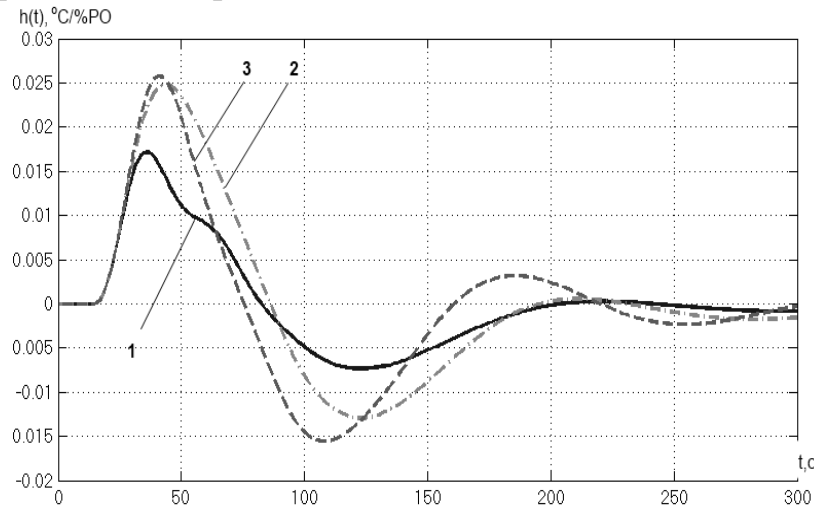


Рис. 4 Графіки переходних процесів в системі регулювання температури первинної пари

1 – каскадна система з ІМС-регуляторами та компенсацією збурень; 2 – каскадна система з ІМС-регуляторами; 3 – типова каскадна система с двома регуляторами.

Використання каскадної системи з корекцією збурень дозволяє зменшити час регулювання та динамічний викид на 21% та 54% відповідно у порівнянні з типовою структурою, при цьому зменшивши інтегральний квадратичний показник якості у 1,8 разів.

У четвертому розділі подано опис реалізації програмно-апаратної системи керування температурою первинної пари з використанням відомостей про характеристики об'єкта керування на базі програмованого логічного контролера. Наведено методики налаштування запропонованої системи. Структура системи (рис. 5) включає в себе САР безпосереднього регулювання температури первинної пари, модуля ідентифікації та модуля адаптації, призначених для оцінки параметрів моделі та визначення налаштувань регуляторів, що задовольняють висуненим

вимогам до якості роботи. Структурою передбачено неперервний контроль за знаходженням технологічної змінної в допустимому діапазоні.

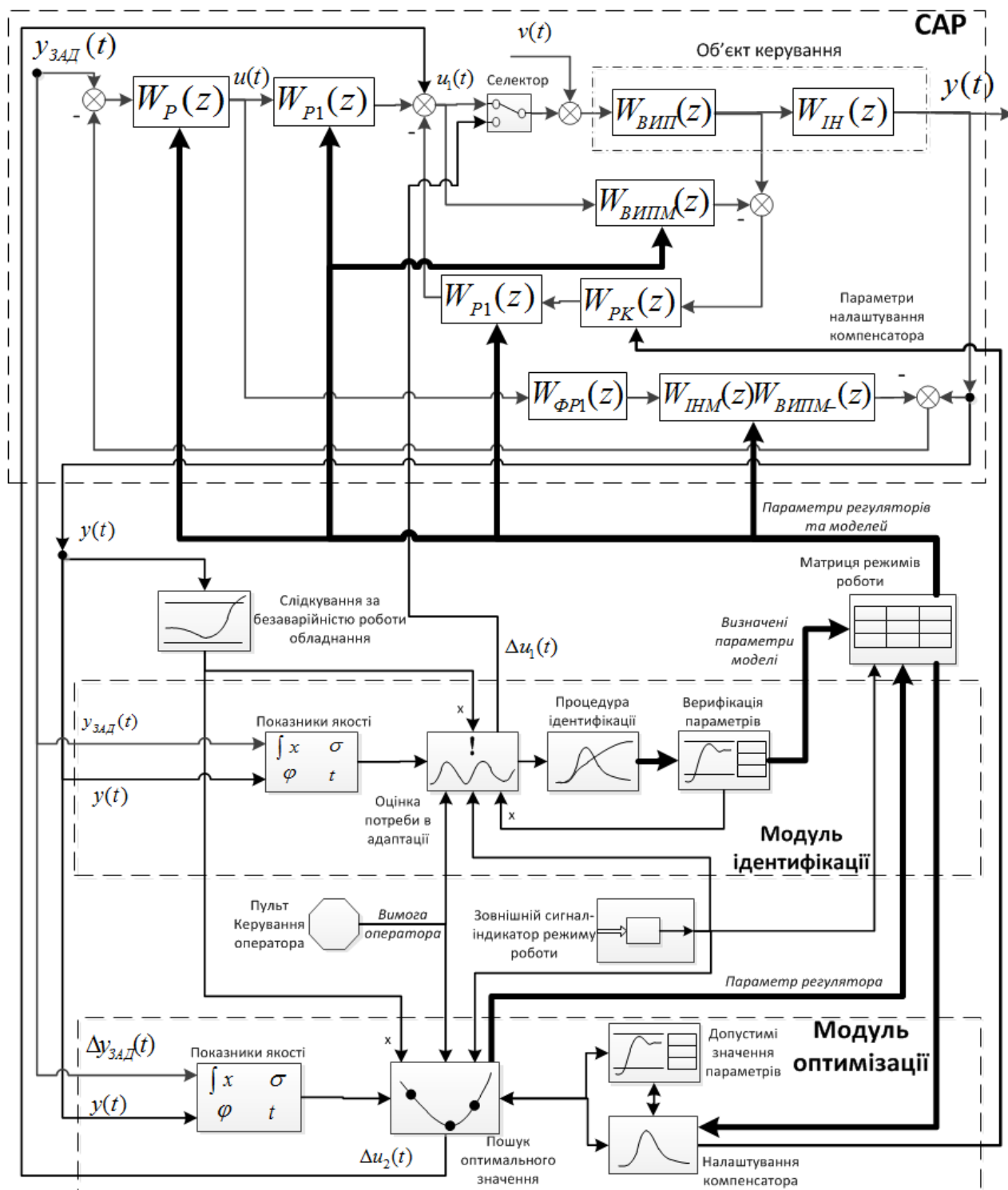


Рис. 5 Функціональна схема системи керування

Для роботи розглянутої системи керування у змінних режимах роботи теплоенергетичного обладнання необхідно, щоб виконувалась підстройка, адже зміна параметрів об'єкта керування повинна відобразитись і в параметрах його моделі. З цією метою система доповнена контуром автоматичного налаштування на

поточний режим роботи котлоагрегата. Індикатором режиму для прямоточного котлоагрегата слугує витрата живильної води.

Важливим елементом системи, що виходить за рамки класичної структури САК, є матриця режимів \bar{R} . Вона містить набір визначених за допомогою автоматизованого методу ідентифікації параметрів об'єкта \bar{p} та відповідних їм налаштувань регуляторів залежно від режиму роботи котлоагрегата. Поточний режим визначається за витратою живильної води. Тобто

$$\bar{R} = [\bar{N}, \bar{\lambda}, \bar{\lambda}_1, \bar{\alpha}_1, \bar{\varepsilon}, \bar{p}], \quad (21)$$

$$\bar{p}_i = [K_{ОБМi}, T_{ОБМi}, \tau_{ОБМi}, K_{ВИПМi}, T_{ВИПМi}, \tau_{ВИПМi}]. \quad (22)$$

Індекс i відповідає i -му режиму роботи котлоагрегата, який визначається за навантаженням (витратою води) N .

Вплив навантаження на динаміку пароперегрівача використовується для корекції параметрів моделі та регуляторів. Сформована для досліджених станів котлоагрегата матриця режимів, що містить відомості про параметри моделі, використовується для оперативного налаштування регуляторів

$$p_{ij}(N) = \sum_{i=0}^n p_{ij} \cdot \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \frac{N - N_j}{N_i - N_j}, \quad p_{ij} = p_{ij}(N_i), \quad N_i \in [N], \quad i = 1 \dots n, \quad j = 1 \dots 6, \quad (23)$$

де N відповідає поточному навантаженню, а n — кількості ідентифікованих режимів роботи.

Автоматизована процедура налаштування, що включає в себе алгоритм ідентифікації та оптимізацію параметрів налаштування, може бути запущена в дію, якщо спостерігається погіршення показників якості роботи більше за допустимі:

$$\left[\begin{array}{l} |e(t)| > e_{\max}, \quad t \geq t_{e_{\max}} \\ I = \int_{t_n}^{t_k} e^2(t) dt > I_{\max}, \quad t \geq t_{I_{\max}} \end{array} \right. \quad (24)$$

Основними показниками якості, зважаючи на особливості об'єкта керування та вимоги до його функціонування, прийнято динамічне відхилення $e(t)$, що не повинне бути більше за допустиме значення e_{\max} впродовж часу $t_{e_{\max}}$, та середньоквадратичне відхилення I , визначене шляхом підрахунку ковзного інтеграла за період часу $(t_k - t_n) = const$. При цьому повинна виконуватись умова стаціонарності режиму роботи котлоагрегата $N = const$.

Оптимальною структурою інформаційно-керуючої системи є така, де незалежні системи керування нижнього рівня синхронізуються з диспетчерським пунктом для отримання додаткової інформації, що забезпечить ефективну роботу контуру, та командних сигналів від оператора або автоматичного блоку супервізорного керування. Такий підхід підвищує надійність всієї системи загалом, забезпечує роботу контуру стабілізації в автономному режимі, а оператор може коригувати роботу системи та її налаштування з центрального пульта.

Для реалізації рівня локальної автоматики використано промисловий програмований логічний контролер, що підтримує технологічну мову програмування FBD згідно стандарту МЕК 61131-3. Верхній рівень створено у промисловій системі диспетчерського керування (SCADA-системі) на

автоматизованому робочому місці (АРМ) оператора. Такий вибір обладнання обумовлено поширеністю вказаних технологій у теплоенергетиці, що доводить можливість використання розробленої системи на великій кількості установок теплоенергетичної галузі з мінімальними витратами на впровадження. Рівень локальної автоматики (щита керування) дозволяє: стабілізувати температуру первинної пари та змінювати її значення відповідно до завдання оператора; працювати в автоматичному режимі по закладеним алгоритмам або в ручному — за командами оператора; виконувати оперативну адаптацію системи; діагностувати стан датчиків; відобразити оперативну інформацію. Верхній рівень керування збирає та обробляє інформацію з локальних систем керування; встановлює завдання контролерам; ініціалізує процедуру адаптації регуляторів та коригує роботу системи адаптивного налаштування; реалізує візуалізацію даних та керуючих сигналів у вигляді мнемосхем (рис. 6); архівує значення технологічних параметрів та їх відображення у вигляді трендів. Верхній рівень як система оптимізації роботи об'єкта в цілому має засоби впливу на локальні системи автоматики. Для цього передбачено кілька вікон, що дозволяють налаштовувати регулятори та візуально оцінювати їх роботу.

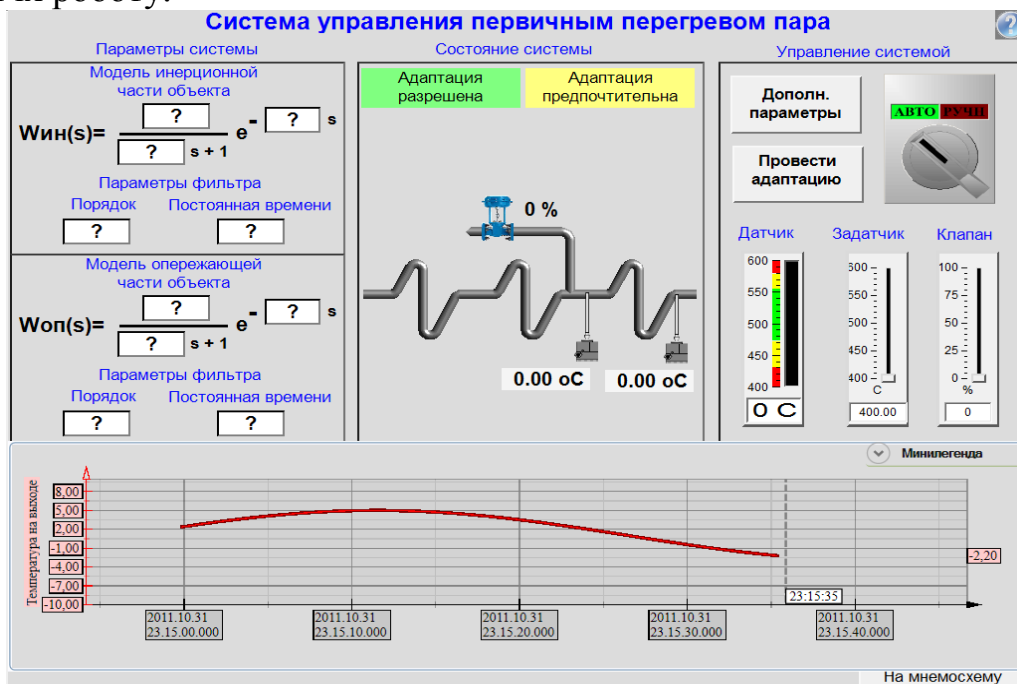


Рис. 6 Відеокадр АРМ оператора

Згідно з результатами математичних досліджень, що показують майже двократне зменшення середньоквадратичного відхилення температури первинної пари від регламентованого значення в запропонованій САК у порівнянні з типовою двоконтурною системою, попередні розрахунки показали збільшення строку служби поверхонь нагріву пароперегрівача первинної пари на 3,8%.

Розроблений комплекс керування можна використовувати як систему керування, що працює в автоматизованому режимі.

ВИСНОВКИ

У роботі вирішена наукова задача, суть якої полягає у розробці системи автоматичного регулювання температури первинної пари котлоагрегата, який працює у змінних режимах роботи, та методиці її автоматизованого налаштування, що дозволило підвищити точність підтримки регульованої змінної за допомогою нових ефективних методів налаштування та автокорекції параметрів, економічність котлоагрегата за рахунок збільшення строку служби поверхонь нагріву.

1. Проаналізовано роботу котлоагрегата як об'єкта керування на ділянці конвективного пароперегрівача первинної пари та визначено вплив технологічних змінних на динаміку температури перегрітої пари, на основі чого сформульовано задачу, що потребує вирішення: модернізація системи автоматичного керування температури первинної пари для забезпечення необхідних показників якості у змінних режимах роботи котлоагрегату.

2. Досліджені структури систем та методи автоматичного керування у класі адаптивних систем та оцінено їх можливість використання в типових схемах керування температурою первинної пари котлоагрегата. У результаті встановлено доцільність застосування структур з використанням моделей об'єкта у складі законів керування та їх доповнення евристичними методами розрахунку параметрів налаштувань, що забезпечують найкращу якість керування для систем, які працюють у змінних режимах, у порівнянні із стандартними законами керування. При цьому виявлено, що значення сталих фільтру регуляторів з внутрішньою моделлю, при яких перехідний процес наближається до аперіодичного та має мінімальний час регулювання, знаходяться в діапазоні $\lambda = [0,8...2,5]\tau$.

3. Розроблено каскадну систему автоматичного керування у вигляді послідовно з'єднаних регуляторів з внутрішньою моделлю, де регулятор випереджаючого контуру має дві ступені свободи, що дозволило розв'язати канали керування та стабілізації і забезпечити необхідні показники якості роботи системи як при зміні завдання, так і при відпрацюванні збурень. Використання розробленої структури дозволило забезпечити близькі до аперіодичних перехідні процеси у системі, зменшити час регулювання на 40-60%, зменшити інтегральний квадратичний показник якості до 53% у порівнянні з типовими структурами залежно від режиму роботи котлоагрегату.

4. Розроблено метод ідентифікації параметрів моделі об'єкта керування із самовирівнюванням за аналізом початкової ділянки перехідного процесу в активному експерименті, що дозволяє отримати математичну модель у вигляді передавальної функції з заданою точністю та на 20-60% швидше, ніж класичні методи. Визначені формули розрахунку коефіцієнта передачі та сталої часу об'єкта керування за характерними точками початкової ділянки перехідного процесу та додатковими параметрами методу ідентифікації, що дозволяють автоматизувати процедуру ідентифікації та застосувати її для побудови САК об'єкта, який працює у змінних режимах роботи.

5. Розроблено трирівневу адаптивну систему автоматичного керування, що містить рівень оперативної адаптації параметрів регуляторів залежно від поточного режиму роботи котлоагрегату, рівень первинного налаштування системи при

введенні об'єкта в експлуатацію та рівень періодичного уточнення параметрів налаштувань протягом періоду експлуатації. Рівні адаптивної системи надбудовуються над каскадною системою автоматичного керування з регуляторами з внутрішньою моделлю.

6. Створено програмну реалізацію розроблених алгоритмів керування у вигляді програмних продуктів на базі промислових контролерів та систем супервізорного керування, які забезпечують виконання вимог технологічного регламенту і полегшують процедуру експлуатації системи керування шляхом автоматизації операцій налаштування регуляторів та автоматизованої реакції на зміну режиму роботи котлоагрегату.

7. Модельні випробування показали, що застосування структурних та алгоритмічних рішень з використанням моделей об'єкта в структурах системи керування температурою первинної пари котлоагрегату суттєво поліпшує якість перехідних процесів, підвищує надійність та економічність обладнання і рекомендується до застосування в системах керування температурою перегрітої пари, а при додаткових дослідженнях рішення можуть бути застосовані й в інших контурах керування котлоагрегатів.

8. Застосування запропонованого комплексу дає можливість зменшити кількість аварійних зупинок енергоблока та збільшити розрахунковий термін служби поверхонь нагріву й суміжного обладнання до 3,8%, що підвищить ефективність використання енергоблока.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Степанець О.В. Адаптивна система керування з внутрішньою моделлю [Текст] / О.В. Степанець, А.П. Мовчан // Восточно-Европейский журнал передових технологий. - 2009. -№6/3(42). – С.9-14.

Проаналізовано перспективи використання регуляторів з внутрішньою моделлю для керування теплоенергетичними об'єктами, досліджено роботу вказаного регулятора у порівнянні з типовими структурами.

2. Ковриго Ю.М. Система регулювання тепловим навантаженням котла ТПП-210А з використанням регулятора з внутрішньою моделлю [Текст] / Ковриго Ю.М., Фоменко Б.В., Степанець О.В. // Восточно-Европейский журнал передових технологий. - 2010. -№3/10(45). – С.4-7.

Запропоновано використання регулятора з внутрішньою моделлю для контуру керування тепловим навантаженням, досліджено роботу системи та особливості її функціонування.

3. Фоменко Б.В. Підвищення ефективності систем автоматичного регулювання за рахунок врахування обмежень керованого сигналу [Текст] / Б.В. Фоменко, О.В. Степанець, О.С. Бунке // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2010. -№57. – С. 177-183.

Розроблено систему автоматичного керування, що поєднує регулювання з використанням моделі об'єкта керування та утримання технологічної змінної у допустимих межах шляхом врахування обмежень на діапазон її зміни.

4. Степанець О.В. Регулювання теплового навантаження котлоагрегата на основі оцінки моделі об'єкта [Текст] / О.В. Степанець, А.П. Мовчан // Восточно-

Европейский журнал передовых технологий. - 2011. -№4/8(52). – С.42-45

Розглянуто питання використання регуляторів з внутрішньою моделлю для керування контурами прямиоточного котлоагрегату, особливості їх налаштування.

5. Степанец А.В. Регулирующий адаптивный комплекс на основе каскадной системы с моделью объекта управления [Текст] / А.В. Степанец // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2012. -№2/10(56). – С.14-18

Розроблено адаптивну систему автоматичного керування на основі каскадної регулюючої структури з регуляторами з внутрішньою моделлю в обох контурах.

6. Степанець О.В. Адаптивні системи автоматичного керування для теплоенергетичних об'єктів [Текст] / О.В. Степанець, А.П. Мовчан // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2012. -№3/11 (57). – С. 56-61.

Досліджені практичні способи надання системам автоматичного керування теплоенергетичними об'єктами адаптивних властивостей, розроблено структуру адаптивної системи керування та її застосування до контуру регулювання котлоагрегата.

7. А.с. Комп'ютерна програма «Багатоканальний цифровий регулятор на основі моделі об'єкта керування для технологічних процесів» / О.В.Степанець. — №41709; заяв. 09.11.2011, опубл. 10.01.2012.

8. Мовчан А.П. Идентификация объектов управления в адаптивных системах управления / Мовчан А.П., Мысак В.Ф., Степанец А.В. // - Сучасні наукові дослідження –'2006: матеріали II міжнародної науково-практичної конференції. - Д.: Наука і освіта, 2006. – С. 60-63.

Розроблено метод ідентифікації параметрів моделі об'єкта керування для можливості автоматизованого визначення параметрів на основі аналізу динаміки перехідного процесу.

9. Степанець О.В. Адаптивна система керування з внутрішньою моделлю та ідентифікацією в замкненому контурі / О.В. Степанець, А.П. Мовчан // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : VIII міжнар. наук.-прак. конф. асп., маг. і студ., 19-23 кв. 2010р. : тези доп. — К., 2010. — С.

Запропонована адаптивна структура керування теплоенергетичними об'єктами на основі регулятора з внутрішньою моделлю та ідентифікацією параметрів моделі.

10. Степанець О.В. Система автоматичного керування теплоенергетичними об'єктами зі змінними режимами роботи / Степанець О.В., Фоменко Б.В. // Автоматика-2010 : 17-а Міжнародна конференція з автоматичного управління, 27-29 вер. 2010р. : тези доп. — Х., 2010. — С.301-303.

Окреслено питання врахування режимів роботи теплоенергетичних об'єктів в алгоритмах регулювання.

11. Степанець О.В. Інтелектуальні будівлі та автоматизація інженерних систем / Степанець О.В., Ковриго Ю.М., Мовчан А.П., Фоменко Б.В., Поліщук І.А. // Інвестування в енергетику, енергозбереження та екологію: десята міжнародна конференція, 25-29 тр. 2010р. : вибрані матеріали — К., 2010. — С. 133-139.

Наведені дослідження щодо підвищення ефективності якості роботи промислового обладнання за рахунок використання сучасних алгоритмів керування.

12. Фоменко Б.В. Синтез регулюючих структур з елементами врахування технічних обмежень контрольованих параметрів [Текст] / Степанець О.В., Фоменко Б.В. // Автоматика-2011 : 18-а Міжнародна конференція з автоматичного управління, 28-30 вер. 2011р. : тези доп. — Л., 2011. — С.188.

Представлені результати моделювання роботи системи керування з ІМС-регулятором та алгоритмами врахування технологічних обмежень.

13. Степанец А.В. Регулирующий комплекс с использованием модели объекта и автонастройкой для теплоэнергетических контуров [Текст] / А.В. Степанец // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: междунар. науч.-прак. конф., 11 кв. 2012р. : тези доп. — Мінськ, 2012. — С. 22-23.

14. Степанец О.В. Адаптивна система керування з каскадом регуляторів з внутрішньою моделлю [Текст] / О.В. Степанец // Автоматика-2012 : 19-а Міжнародна конференція з автоматичного управління, 26-28 вер. 2012р. : тези доп. — К.: НУХТ, 2012. — С. 272.

АНОТАЦІЯ

Степанець О.В. Автоматична система регулювання температури первинної пари прямооточного котлоагрегата зі змінними режимами роботи. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – Автоматизація процесів керування. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, 2013.

Дисертацію присвячено питанням створення всережимної автоматизованої системи регулювання температури первинної пари котлоагрегата.

У дисертаційній роботі висвітлені наступні проблеми: проведено аналіз впливу режимів роботи енергоблоку на динамічні властивості пароперегрівача та доведено необхідність створення всережимних систем керування; розроблено структурні та алгоритмічні рішення щодо забезпечення ефективної роботи систем автоматичного керування в умовах змінних режимів функціонування об'єкта; розроблено методику автоматизованої оцінки параметрів моделі об'єкта керування на основі аналізу початкової ділянки перехідного процесу; вдосконалено багатоконтурну систему автоматичного керування з використанням регуляторів з внутрішніми моделями об'єкта керування; розроблено алгоритм врахування системою керування поточного режиму роботи енергоблоку; розроблено методику автоматизованого налаштування системи автоматичного керування температурою первинної пари для енергоблоків, що працюють у змінних режимах.

Запропоновано будову адаптивної системи автоматичного керування температури первинної пари, що включає в себе рівень регулювання технологічних змінних у квазістаціонарних режимах роботи котлоагрегата, рівень автокорекції параметрів системи при зміні режиму роботи, та рівень повного налаштування системи при введенні в експлуатацію чи значній зміні об'єкта керування під час функціонування.

Ключові слова: котлоагрегат, квазістаціонарність, автокорекція, регулятор з внутрішньою моделлю, метод ідентифікації, адаптація, методика синтезу, формули розрахунку.

АННОТАЦИЯ

Степанец А.В. Автоматическая система регулирования температуры первичного пара прямоточного котлоагрегата с переменными режимами работы. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – Автоматизация процессов управления. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, 2013.

Диссертация посвящена повышению эффективности функционирования прямоточных котлоагрегатов с переменными режимами работы путем создания всережимной автоматизированной системы управления.

Научная новизна работы заключается в получении новых научно-обоснованных результатов для решения актуальной проблемы, которая заключается в разработке решений по созданию всережимной системы автоматического регулирования температуры первичного пара котлоагрегата: впервые исследована возможность применения регуляторов с внутренней моделью для синтеза систем регулирования контуров прямоточного котлоагрегата и показаны преимущества указанных регуляторов перед традиционными ПИД-алгоритмами для теплоэнергетических объектов; разработан метод автоматизированной идентификации параметров объекта управления на основе анализа начального участка переходного процесса, который позволяет аппроксимировать экспериментальные данные моделью в виде передаточной функции; разработан метод повышения эффективности функционирования систем управления, который отличается учетом параметров модели объекта управления в регуляторе, автоматизированной оценкой параметров модели, оптимизацией для выполнения задачи стабилизации технологических переменных, коррекцией параметров настройки согласно текущего режима работы оборудования. Метод распространен на многоконтурные системы управления с учетом требований к задаче стабилизации.

Разработана каскадная система автоматического управления в виде последовательно соединенных регуляторов с внутренней моделью, где регулятор опережающего контура имеет две степени свободы, что позволило разделить каналы управления и стабилизации и обеспечить необходимые показатели качества работы системы как при изменении задания, так и при отработке возмущений.

Разработан метод идентификации параметров модели объекта управления с самовыравниванием по анализу начального участка переходного процесса в активном эксперименте, который позволяет получить математическую модель в виде передаточной функции, автоматизировать процедуру идентификации и применить ее для построения САУ объекта, который работает в переменных режимах работы.

Разработана трехуровневая адаптивная система автоматического управления, содержащая уровень оперативной адаптации параметров регуляторов в зависимости от текущего режима работы котлоагрегата, уровень первоначальной настройки системы при введении объекта в эксплуатацию и уровень периодического уточнения параметров настройки в течение периода эксплуатации. Уровни

адаптивной системы надстраиваются над каскадной системой автоматического управления с регуляторами с внутренней моделью.

Модельные испытания показали, что применение структурных и алгоритмических решений по использованию моделей объекта управления в структурах системы управления температурой первичного пара котлоагрегата существенно улучшает качество переходных процессов, повышает надежность и экономичность оборудования и рекомендуется к применению в системах управления температурой острого пара. При дополнительных исследованиях решения могут быть применены и в других контурах управления котлоагрегатов.

Результаты работы прошли опытно-промышленные испытания и приняты для реализации в паро-силовом цехе Сквирского комбината хлебопродуктов, а также разработанные алгоритмические решения используются в программном обеспечении промышленного контроллера Segnetics SMH-2Gi.

Ключевые слова: котлоагрегат, квазистационарность, автокоррекция, регулятор с внутренней моделью, метод идентификации, адаптация, методика синтеза, формулы расчета.

SUMMARY

Stepanets Alexandr V. Automatic Primary Steam Temperature Control System of the Once-Through Boiler with Variable Modes.- Manuscript.

Dissertation for a candidate degree by specialty 05.13.07 - Automation of control processes. National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute".

In the dissertation was considered the following problems: the impact of power modes on the dynamic properties of superheater was analyzed and the necessity to create all-modes control systems was substantiated; it was developed structural and algorithmic solutions to ensure efficient operation of automatic control systems with variable operation modes of the facility; the method of automatic identification of object model parameters based on the analysis of primary areas of transition was created; it was improved multiloops automatic control system using internal model control; it was developed the automatic adjustment algorithm of primary steam temperature control system for the unit operating in variable modes.

It was proposed the structure of adaptive automatic primary steam temperature control that includes a stage of control process variables in the quasi-stationary modes boilers, autotuning stage in time of mode changing and the stage of the system configuration when commissioning or significant changes in facility.

Keywords: boiler, quasistationary, autocorrection, internal model control, identification method, adaptation, methods of synthesis, calculation formulas.