

МЕТОДИ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.311:681.5

АДАПТИВНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА

Ковриго Ю.М., Фоменко Б.В., Поліщук І.А.

Першочерговою задачею в сучасному виробництві є економне використання енергоресурсів, підвищення екологічності технологічних процесів. Таким чином, до систем регулювання процесом згоряння палива в енергетичних установках висувають підвищені вимоги. З одного боку, необхідно мінімізувати викиди шкідливих речовин, а з іншого – підвищити ефективність та якість спалювання органічного вида палива. Зменшення витрат енергоносіїв можна досягти тільки регулюванням без подорожчання технологічного обладнання й ускладнення конструкції пальникових пристроїв. Для розробки високоякісної системи автоматичного регулювання теплового навантаження необхідне комплексне вивчення факторів впливу на процес горіння, існуючих методів зменшення шкідливих викидів, структурних та технічних рішень з автоматизації.

При маловитратній модернізації схеми теплового навантаження котла ТПП-210А при роботі на вугільному пилу за структуру була обрана каскадна система автоматичного керування, де коригувальним регулятором є загальний регулятор палива, а стабілізуючим - індивідуальний регулятор подачі палива [1]. На індивідуальний регулятор подачі палива надходять наступні сигнали: температура аеросуміші перед пальником, що характеризує пилопродуктивність аероживильників пилу АЖП; зворотний зв'язок по положенню регулювального клапана АЖП; завдання від загального регулятора палива. У регуляторі теплового навантаження, що працює в цей час за триконтурною схемою, як основний сигнал використовується сумарна температура пари за стельовим екраном і швидкісні сигнали - температура за нижньою радіаційною частиною НРЧ, верхньою радіаційною частиною ВРЧ, сумарна витрата води по нитках.

У порівнянні із традиційною двоконтурною схемою впровадження триконтурної схеми теплового навантаження дозволило зменшити час перехідного процесу на 25-30%. За рахунок можливості точної підтримки заданої температури за стельовим екраном можна підвищити економічність котла - динамічне відхилення по основному регульованому параметру не перевищує 5°C.

При побудові системи автоматичного регулювання САР теплового навантаження слід зауважити, що на процес згоряння палива впливають наступні фактори: вид палива (агрегатний стан палива, вологість, зольність, спікливість, вихід летких); спосіб спалювання; аеродинамічні особливості процесу; характер підведення кисню до палива; вид топки; концентрація кисню в повітрі; тиск при якому відбувається горіння і т.п. Для ефективного і якісного спалювання палива в котлових агрегатах повинно бути точно збалансоване співвідношення "паливо - повітря". Недостача повітря при горінні викликає неповне згоряння й, як наслідок, перевитрату палива. Надлишок повітря також приводить до перевитрати палива на нагрівання зайвого повітря в складі газів, що відходять. В обох випадках спалювання палива супроводжується підвищеним викидом в атмосферу високотоксичних газів (рис. 1) [2]. У процесі тривалої експлуатації можуть змінюватися характеристики твердого палива і, відповідно, режим роботи котла. При підвищеній зольності палива знижується його теплота згоряння, обсяги продуктів згоряння і повітря, що витрачається на горіння палива. При одночасній зміні ряду умов роботи проти номінальних режим котла піддається різним впливам, впливи яких можуть складатися або взаємно компенсуватися.

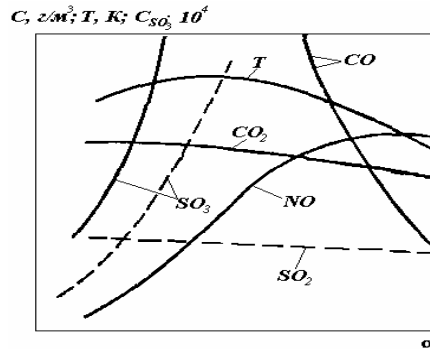


Рис. 1 Залежність рівноважних концентрацій різних компонентів газів, що відходять, і рівноважної температури горіння T від коефіцієнта надлишку окислювача

Відомо, що система пиліподачі котла в умовах експлуатації підлягає дії багатьох керуючих і збурюючих впливів, до яких можна віднести зміни подачі палива і первинного повітря, якість палива, режим роботи системи пиліприготування, характер витікання пилу з бункера та ін. Ці збурення, що мають випадковий характер, впливають на рівномірність розподілу палива по пальниках і стабілізацію пиліподачі в часі, що приводить до зміни експлуатаційних показників котла, що визначають надійність і економічність його роботи. Сигнал по температурі аеросуміші пилу з первинним повітрям може бути використаний в САР стабілізації подачі палива на пальники котла як регульовану величину, що побічно характеризує витрату палива в пиліпроводі. Дослідження динамічних властивостей сигналу по температурі аеросуміші в представницькій точці виміру термопарою з захисним чохлам, проведені при різних по величині і знакові збуреннях витратою палива, показали, що запізнювання сигналу по температурі $\tau_{зАП}=2$ с., а $T_{ОБ}=22$ с. Оскільки переміщення регулюючого органа не є стрибкоподібним і займає близько 10 с., то запізнювання сигналу, що з'являється, впливає на динамічні властивості об'єкта керування і якість автоматичного регулювання подачі палива.

При нанесенні збурення витратою палива були отримані динамічні характеристики аеросуміші експериментальним шляхом. Перехідні характеристики при різних навантаженнях приведені на рис. 2.

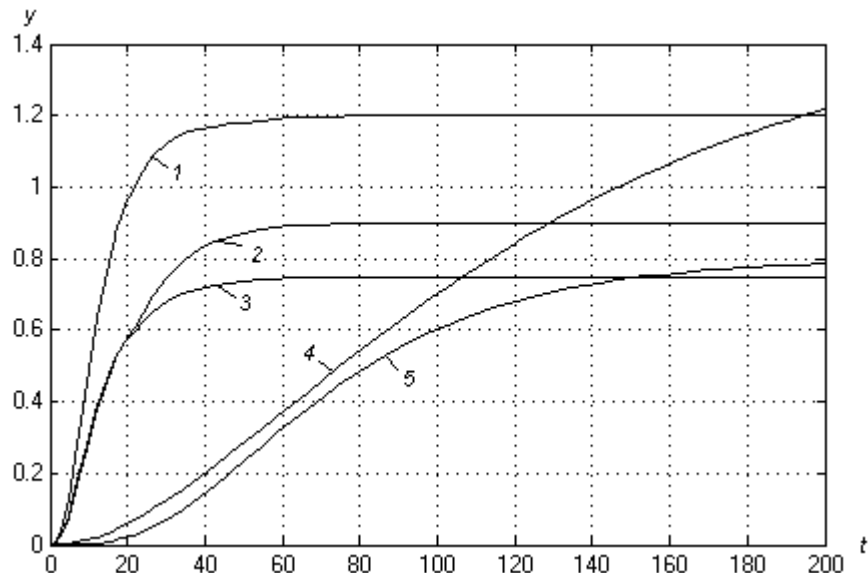


Рис. 2 Перехідні характеристики температури аеросуміші при збуреннях витратою палива при різних навантаженнях

1 – 50→40% ВП, 2 – 80→60% ВП, 3 – 50→40% ВП,
4 – 30→5% ВП, 5 – 45→55% ВП

З отриманих перехідних характеристик можна прослідкувати наявність залежності параметрів об'єкта від навантаження на енергоблок. Коефіцієнт передачі $K_{ОБ}$ змінюється в

діапазоні 0,75-1,5 °C/(т/т); постійна часу $T_{об}=17\div 118$ с; час запізнення сигналу по температурі $\tau_{зап}=2\div 26$ с. Але навіть добре спроектована автоматична система може бути непрацездатною або мати низькі показники якості у зв'язку зі зміною динамічних властивостей об'єкта управління (ОУ), неповнотою апріорної інформації про умови роботи системи. З цієї точки зору вважається досить ефективним шлях побудови управляючих систем, що не вимагають повної апріорної інформації про об'єкт й умови його функціонування. У зв'язку з цим також виникає необхідність застосування систем управління, що володіють здатністю самостійно або, принаймні, при обмеженій участі обслуговуючого персоналу, оптимізувати свою роботу.

Зроблені припущення обґрунтуємо математичним моделюванням САР витрати палива. Для цього в середовищі Simulink пакету MatLab були змодельована САР для стабілізуючого контуру схеми теплового навантаження та проведені дослідження роботи ПІ-регулятора при зміні параметрів об'єкта при різних збуреннях. Для розрахунку оптимальних налаштувань для ПІ-регулятора для САР витрати палива за основу було обрано передатну функцію I порядку, отриману шляхом апроксимації перехідної характеристики *1* (рис. 2). В середовищі Simulink отримали криву перехідного процесу *1* замкненої САР (рис.4) з регулятором, розрахованим на 20-% перерегулювання. Отримані показники якості задовольняють вимогам, висунутим до САР. Далі була досліджена працездатність розробленої системи автоматичного регулювання з тими ж налаштуваннями регулятора для різних навантажень (рис. 2, криві 2, 3, 4, 5). Отримані результати моделювання САР витрати палива (рис. 4) показали, що перехідний процес 2 є аперіодичним; показники якості процесу 3 не задовольняють поставленим вимогам до САР; перехідні процеси 4, 5 є розбіжними.

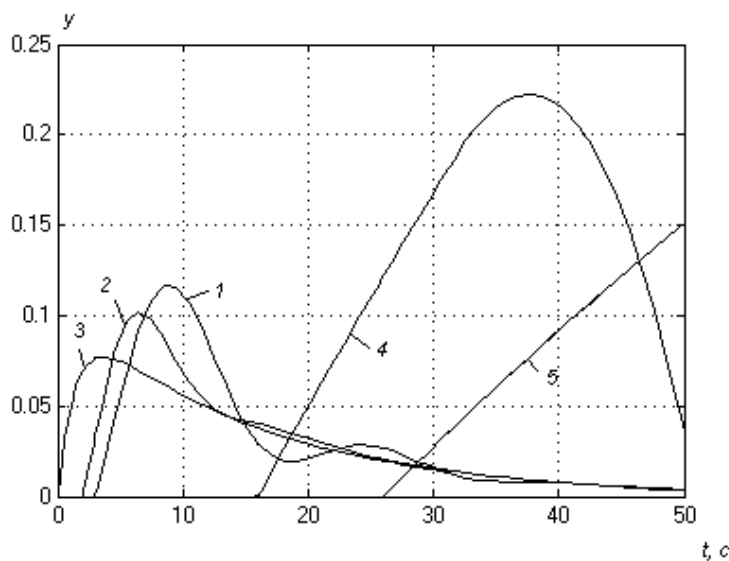


Рис. 3 Перехідні процеси САР витрати палива
 1 – 50→40% ВП, 2 – 80→60% ВП, 3 – 50→40% ВП,
 4 – 30→5% ВП, 5– 45→55% ВП

Таким чином, можна зробити висновки, що статичні й динамічні властивості об'єкта і процесу можуть змінюватися, а апріорні відомості про ці зміни й про самі фізичні, математичні й розрахункові моделі "об'єкт - зовнішнє середовище" лише деякою мірою відповідають дійсності. У цих випадках практичний результат управління не відповідає розрахунковому або ж є зовсім непридатним. Вирішення цієї проблеми можливо з використанням відповідних технічних засобів, що буде гарантувати бажану якість процесу управління й інваріантність регульованих змінних, критеріїв якості або інших характеристик системи керування до об'єктивно існуючих неконтрольованих змін статичних і динамічних властивостей об'єкта. При розробці адаптивних систем висуваються наступні вимоги: забезпечення необхідних показників якості регулювання об'єктів при зміні динамічних параметрів у широких межах у процесі нормальної експлуатації; прискорення й забезпечен-

ня необхідної точності настроювання систем регулювання при введенні об'єкта в дію; забезпечення можливості виконання багатоваріантного аналізу різних структур систем автоматичного регулювання проєктованих технічних об'єктів у прийнятний термін з метою вибору найбільш перспективних для розроблюваного проєкту автоматизації.

Спираючись на результати досліджень, до розробленої САР був доданий контур адаптації. В якості алгоритму адаптації було обрано безошуккову самонастроювальну систему СНС. У регуляторах з еталонною моделлю ЕМ (рис. 4) ставиться завдання одержання такої реакції замкнутого контуру управління $y(t)$ на певний вхідний сигнал $y_{зад}$, що була б максимально близька до реакції на цей же сигнал заданої еталонної моделі $y_M(t)$.

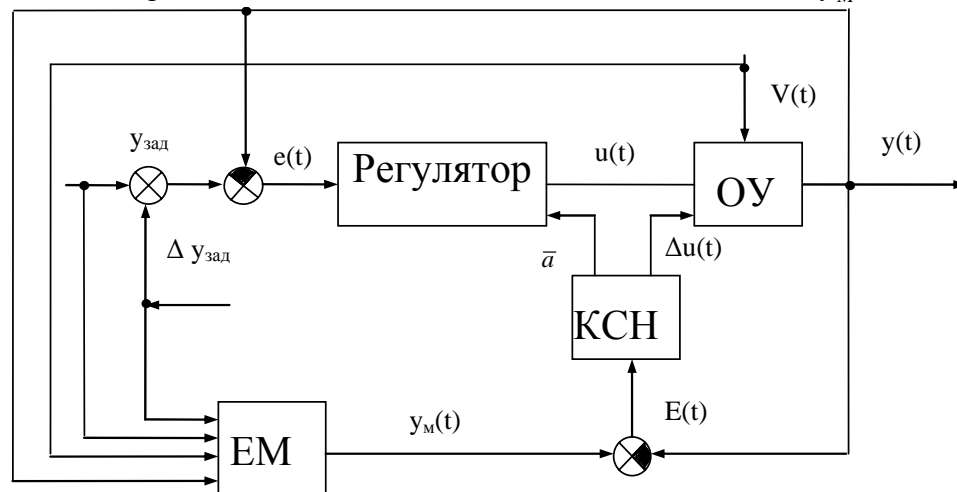


Рис. 4 Адаптивна САР з явною еталонною моделлю
КСН – контур самонастроювання

У безошуккових системах управління на основі апріорної або поточної інформації обчислюється критерій оптимальності, зрівнюється із заданим значенням і по неузгодженості $E(t)$ формується управління. На підставі апріорної й поточної інформації про вхідні впливи й стан системи обчислюється деяке необхідне значення міри якості $I = I_{зад}$, зрівнюється з поточним значенням I і підраховується неузгодженість ΔI . По величині ΔI вектори управління \bar{u} або параметрів регулятора \bar{a} змінюються так, щоб ΔI звести до нуля або мінімально можливої величини.

При такій постановці вирішуються два завдання: вибір $I_{зад}$ досить близького до I_{MIN} ; синтез алгоритмів перебудови управління або вектора параметрів регулятора \bar{a} . Процес визначення $I_{зад}$ можна розглядати як процес відшукування деякої моделі-еталона, по якій здійснюється настроювання характеристик реальної системи. Даний принцип адаптації припускає наявність деякого вимірюваного зовнішнього сигналу (наприклад, що задає вплив у системі, що стежить), причому адаптація виконується лише в ті періоди, коли цей сигнал починає змінюватися [3].

В середовищі Simulink пакету MatLab була досліджена робота системи автоматичного регулювання витратою палива з алгоритмом адаптації. Результати моделювання для САР без контура адаптації і з адаптацією приведені на рис. 5.

Таким чином, при зміні параметрів об'єкту управління у широких межах звичайний ПІ-регулятор стає непрацездатним. Як видно з рис. 5, при зміні навантаження при збуренні 30-5% ВП перехідний процес 2 замкненої САР стає розбіжним. Введення контуру адаптації (крива 1) значно покращує регулювання та забезпечує необхідні показники якості. Перевагою даного алгоритму є те, що відсутність безпосереднього пошуку дозволяє одержати темп процесів адаптації, порівняний з темпом перехідних процесів у системі по регульованій величині й забезпечити більшу швидкодію процесів адаптації в безошуккових СНС у порівнянні з пошукowymi. Розробка адаптивної системи тепловим навантаженням

проводилась без врахування обмежень на керуючий вплив та вихідну величину. Це питання потребує більш детального вивчення проблеми і є предметом іншого аналізу.

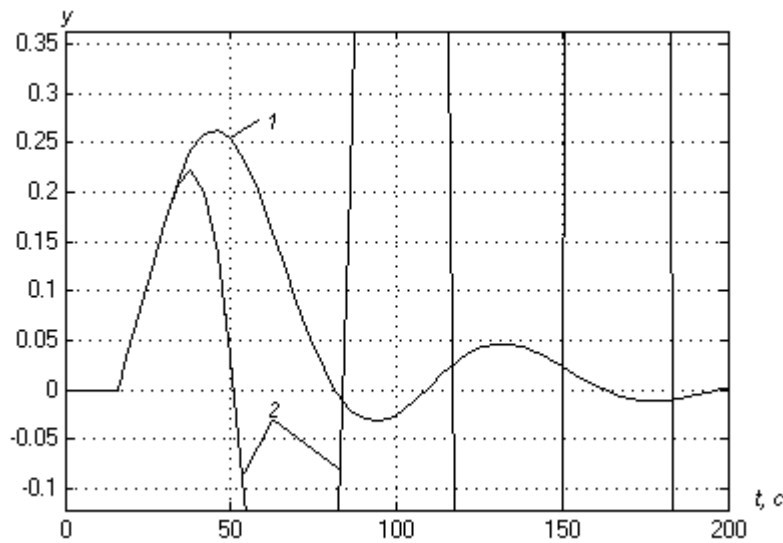


Рис. 5 Перехідні процеси САР витрати палива

1 - з контуром адаптації; 2 - без контуру адаптації (перехідний процес 4 рис. 3)

Але при істотній зміні параметрів об'єкта управління еталонна модель із незмінними параметрами задає перехідний процес, що не може бути досягнутим. Таким чином, якщо в системі використовується еталонна модель із фіксованими параметрами, то згодом реакція системи наближається до реакції цієї моделі, що не обов'язково повинна бути «оптимальною». Внаслідок цього для підвищення якості функціонування самонастроювальної системи з еталонною моделлю використовують модель-еталон, яка настроюється. Іншим рішенням є застосування систем автоматичного регулювання з ідентифікацією. Для побудови СНС автоматичного регулювання використовуються результати початкової ділянки перехідної характеристики розімкненої САР, яка отримується шляхом подачі ступінчастого керуючого впливу. При зміні параметрів об'єкта система ідентифікації підлаштовує настройки регулятора, таким чином, забезпечує необхідні показники якості. Можливість застосування двох алгоритмів ідентифікації: більш швидкого – з підлаштуванням K_p , та більш точного – з одночасним підлаштуванням K_p та T_i , дозволяють одержати темп ідентифікації порівняний з темпами процесу та необхідними показниками якості [4].

Таким чином, використання високоякісних систем регулювання дозволяє запобігти витратам та втратам, що пов'язані з низькою якістю регулювання та відключеннями внаслідок зміни параметрів.

The main factors of combustion procedure are considered in this article. The model reference adaptive control is designed to get the good quality metrics in case of the characteristic of control object changes in wide range.

1. Свириденко В.П., Попутников А.Б. Опыт модернизации схемы регулятора тепловой нагрузки котла ТПП-210А при работе на угольной пыли – «Энергетика и Электрификация», 2001.
2. Волков Э.П. Контроль загазованности атмосферы выбросами ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.
3. Солодовников В.В., Мрамко Л.С. Расчет и проектирование аналитических самонастраивающихся систем с эталонными моделями. - М.: «Машиностроение», 1972.- 270 с.
4. Ковриго Ю.М, Мовчан А.П., Поліщук І.А. Метод построения самонастраивающихся регуляторов для промышленного применения// Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. – 2005. - №1. – С. 152-157.