

Петросян А.А.

Одеський національний політехнічний університет

Давидов В.О.

Одеський національний політехнічний університет

АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ ПАРОВОГО КОТЛА ГМ-50

Сьогодні системи автоматизованого управління стали невід'ємною частиною практично всіх сфер матеріального виробництва. Застосування автоматизованих систем регулювання значно сприяє підвищенню надійності й економічності роботи обладнання виробничих процесів і, зокрема, теплоенергетичних виробництв, а також розв'язанню екологічних проблем. Автоматизація впевнено та рішуче ввійшла у повсякденне життя не лише виробників, а й пересічного жителя, усе більшим чином витісняючи досягнення механізації.

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 за посередництва автоматизованих систем управління, що відповідає найсучаснішим вимогам.

Ключові слова: паровий котел, автоматизована система управління, оптимізація процесу горіння, паливо, частотний перетворювач.

Постановка проблеми. Значне зростання цін на енергоносії та загострення екологічних проблем ставить все більш суворі вимоги до систем автоматичної оптимізації процесу спалювання органічного палива.

Більшість автоматичних систем регулювання співвідношення «паливо – повітря» досі застосовують коригувальний сигнал за величиною вмісту кисню O_2 в димових газах і побудовані з використанням стаціонарних киснемірів. Такі системи здебільшого не придатні для роботи в режимі автоматичного регулювання внаслідок спотворення концентрації кисню в димових газах неконтрольованими присосами повітря у газовому тракті, неідентичності характеристик паливників у багатопальникових котлах, коливань вологості повітря, змін теплотворної здатності і виду палива тощо [1, с. 50].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження парових котлів проводяться досить давно. Уже створено та експлуатуються багато котельних установок. 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 для забезпечення встановлених темпера-

тури і робочого тиску перегрітої пари. При цьому в топці котла спалюється розрахована кількість палива [4, с. 151–170].

Оптимізація процесу горіння, що зводиться до підтримання режиму на межі хімічного недопалу, не допускаючи при цьому значних перевитрат палива, ґрунтується на вимірюванні мікроконцентрацій складників хімічного недопалу q_3 в димових газах – оксиду вуглецю CO і/або водню H_2 , причому ці параметри мають високу чутливість до зміни характеристик процесу спалювання і майже нечутливі до підсосів повітря у газовому тракті котла [2, с. 26–28].

Постановка завдання. Метою статті є дослідити автоматичну систему регулювання економічності парового котла ГМ-50, розробити її математичну модель.

Виклад основного матеріалу дослідження. Склад продуктів спалювання палива визначається температурою, загальним тиском, під яким перебуває газова суміш, а також масовими частками хімічних елементів, що входять до сполук, які утворюють продукти спалювання [3, с. 56–59]. Розрахунок складу продуктів спалювання з урахуванням дисоціації починається зі складання таких рівнянь:

– рівнянь констант рівноваги тих реакцій дисоціації, що мають значення в розрахунку;

– рівнянь балансу елементів, що входять до паливної суміші;

– рівняння повного тиску продуктів спалювання.

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

Рівняння реакцій дисоціації записуються в такому вигляді:

$$\begin{cases} \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{CO} + \frac{1}{2} \cdot \text{O}_2 \\ K_1 = \frac{p_{\text{CO}} p_{\text{O}_2}^{0.5}}{p_{\text{CO}_2}} = f_1(T) \end{cases}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \cdot \text{O}_2 \\ K_2 = \frac{p_{\text{H}_2} p_{\text{O}_2}^{0.5}}{p_{\text{H}_2\text{O}}} = f_2(T) \end{cases}, \quad (2)$$

$$\begin{cases} \text{CO}_2 + \text{H}_2 \leftrightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O} \\ K_3 = \frac{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{CO}_2} p_{\text{H}_2}} = f_3(T) \end{cases}, \quad (3)$$

$$\begin{cases} \text{N}_2 + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{NO} \\ K_4 = \frac{p_{\text{NO}}^2}{p_{\text{N}_2} p_{\text{O}_2}} = f_4(T) \end{cases}, \quad (4)$$

$$\begin{cases} \text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{H} \\ K_5 = \frac{p_{\text{H}}^2}{p_{\text{H}_2}} = f_5(T) \end{cases}, \quad (5)$$

$$\begin{cases} \text{N}_2 \cdot 2\text{N} \\ K_7 = \frac{p_{\text{N}}^2}{p_{\text{N}_2}} = f_7(T) \end{cases}, \quad (7)$$

де K_i – константи рівноваги, які залежать тільки від температури і типу хімічної реакції. За допомогою цих величин розраховується склад продуктів спалювання.

У рівняннях реакцій дисоціації (1)–(7) містяться 10 невідомих парціальних тисків газів, що формують повний тиск продуктів спалювання. Рівняння балансу елементів, що входять до паливної суміші, складаються шляхом прирівнювання кількості елемента, який входив до паливної суміші, до кількості цього самого елемента, який входить до продукту спалювання.

Для обраної системи елементів рівняння балансу записуються в такій формі:

$$C_{r.c} = \frac{C_T + LC_0}{1 + L} = \frac{12^{1/4}}{p_\varepsilon} (p_{\text{CO}_2} + p_{\text{CO}}), \quad (8)$$

$$H_{r.c} = \frac{H_T + LH_0}{1 + L} = \frac{1^{1/4}}{p_\varepsilon} (p_{\text{H}_2\text{O}} + p_{\text{H}_2} + p_{\text{H}}), \quad (9)$$

$$N_{r.c} = \frac{N_T + LN_0}{1 + L} = \frac{14^{1/4}}{p_\varepsilon} (p_{\text{N}_2} + p_{\text{N}} + p_{\text{NO}}), \quad (10)$$

$$O_{r.c} = \frac{O_T - LO_0}{1 + L} = \frac{16^{1/4}}{p_\varepsilon} (2p_{\text{O}_2} + p_{\text{CO}_2} + p_{\text{H}_2\text{O}} + p_{\text{CO}} + p_{\text{O}}), \quad (11)$$

де L_0 – стехіометричний коефіцієнт, що визначається за формулою:

$$L_0 = -\frac{\frac{8}{3}C_T + 8H_T - O_T}{\frac{8}{3}C_0 + 8H_0 - O_0}. \quad (12)$$

Паливна суміш, у якій є необхідна кількість повітря для повного спалювання палива, є стехіометричною; за надлишку палива суміш називається багатою, а за надлишку повітря – бідною. Надлишок окислювача стосовно стехіометричної його кількості оцінюється коефіцієнтом надлишку окислювача і виражається співвідношенням:

$$\alpha = \frac{V}{V^0}, \quad (13)$$

де V – об'єм повітря, що подається для горіння.

У рівняннях балансу кількість елементів, що входять до паливної суміші, виражається в кілограмах на 1 кг пальної суміші або на 1 кг продуктів спалювання.

Рівняння балансу побудовано за таким принципом. Загальним коефіцієнтом перед дужками, у яких записана сума парціальних тисків, є відношення $\frac{\mu_\Sigma}{p_\Sigma}$ (μ_Σ – число кілограм-молів продуктів спалювання, що відповідають 1 кг паливної суміші; p_Σ – загальний тиск газів), помножене на атомну вагу елемента, для якого записується рівняння балансу. Парціальні тиски, що входять до рівняння балансу, приймаються з коефіцієнтом, рівним числу атомів елементів, що містяться в молекулі цього газу.

У рівняннях балансу з'явилися два додаткові невідомі: μ_Σ і p_Σ . Для їх визначення використовуються рівняння закону Дальтона:

$$p_\Sigma = p_{\text{CO}_2} + p_{\text{H}_2\text{O}} + p_{\text{CO}} + p_{\text{N}_2} + p_{\text{O}_2} + p_{\text{H}_2} + p_{\text{NO}} + p_{\text{H}} + p_{\text{O}} + p_{\text{N}} = 1, \quad (14)$$

$$\mu_\Sigma = \frac{p_\Sigma}{\sum_i M_i p_i} = \frac{1}{M_\Sigma}. \quad (15)$$

Наведених 13 рівнянь досить для визначення 10 парціальних тисків газів, що містяться в суміші, M_Σ , p_Σ .

На рисунках 1, 2, 3 показано залежність вмісту компонентів продуктів спалювання, що характеризують економічність процесу горіння, від коефіцієнта надлишку окислювача. Величини компонентів розраховані для газу в об'ємних відсотках: $\text{CH}_4 = 98\%$, $\text{C}_2\text{H}_6 = 1\%$, $\text{N}_2 = 1\%$; склад повітря: $\text{N}_2 = 79\%$, $\text{O}_2 = 21\%$. Також наведено графіки розрахованих наближень методом Дубовкіна.

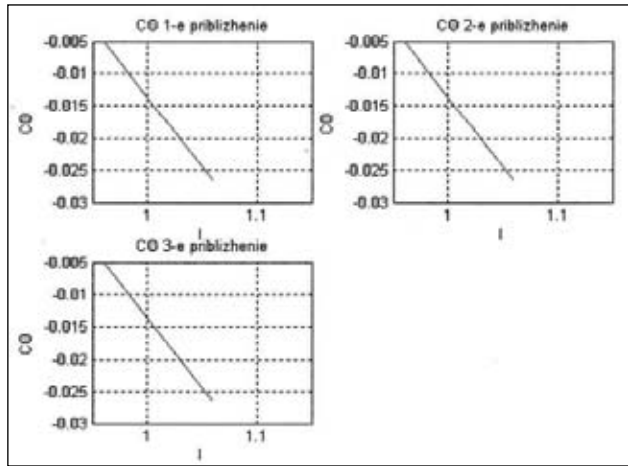


Рис. 1. Залежність вмісту компонентів продуктів спалювання від коефіцієнта надлишку окислювача

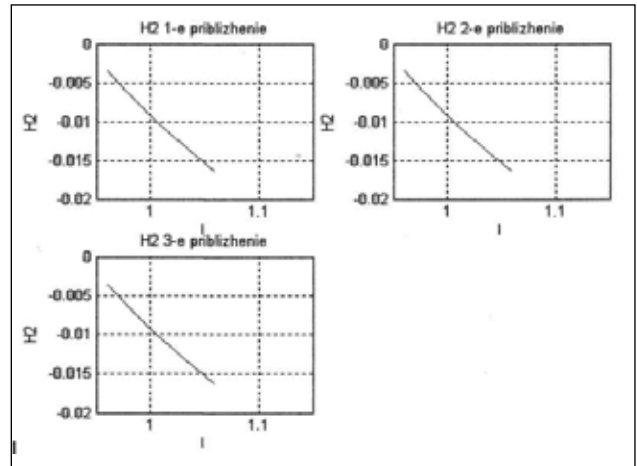


Рис. 2. Залежність вмісту H₂ від коефіцієнта надлишку окислювача

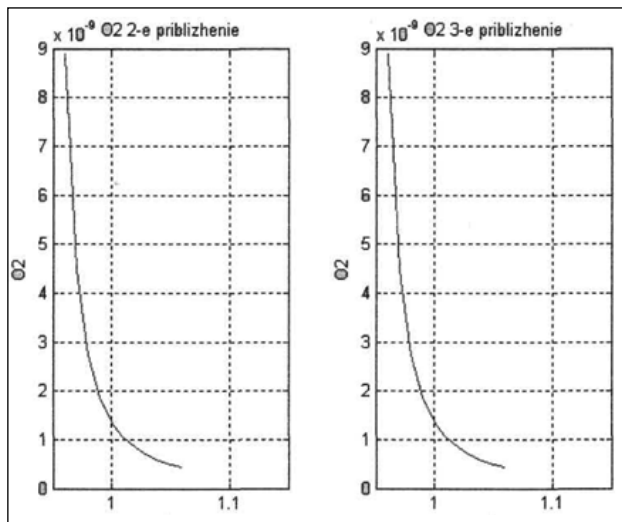


Рис. 3. Залежність вмісту O₂ від коефіцієнта надлишку окислювача

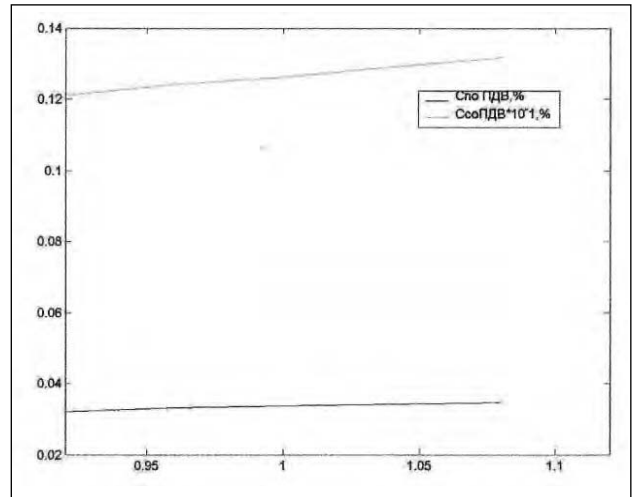


Рис. 4. Залежність гранично припустимих викидів токсичних компонентів продуктів згоряння від коефіцієнта надлишку окислювача

Для визначення токсичного складника I^T векторного критерію I необхідно знайти значення гранично припустимих викидів (далі – ГПВ) токсичних компонентів [5, с. 37].

Величина ГПВ може бути визначена з виразу, виведеного з формули для розрахунку висоти димової труби:

$$H = \left(\frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{ГПК_q} \cdot \sqrt[3]{\frac{z}{V_1 \cdot \Delta T}} \right)^{0.5} \quad (19)$$

Прийнявши сумарну кількість шкідливої речовини, що викидається в атмосферу M , рівну ГПВ, можемо на підставі формули (19) розв'язати зворотну задачу: якими повинні бути викиди за відомої висоти димової труби, щоб концентрація токсичної речовини в зоні викидів не перевищила гранично припустимих концентрацій (далі – ГПК). При цьому отримаємо вираз:

$$C_q^{ГПК} = \frac{ГПК_q \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n} \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{z}}, \quad (20)$$

де H – висота димової труби, м;

$ГПК_q$ – гранично допустимі концентрації q -го компонента, що лімітує чистоту повітряного басейну;

A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери для несприятливих метеорологічних умов і визначає умови вертикального і горизонтального розсіювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі;

F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив швидкості осадку домішок (для газоподібних шкідливих речовин $F = 1$);

m, n – безрозмірні коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду;

V_1 – об’ємна витрата газів, що викидаються, м³/с;
 z – число димових труб однакової висоти, встановлених на електростанції.

Коефіцієнт m визначається залежно від параметра f :

$$m = (0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f})^{-1}, \quad (21)$$

який визначається за формулою:

$$f = \frac{10^3 \cdot \omega_0^2 \cdot D_0}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (22)$$

де ΔT – різниця між температурою газів, що викидаються, і середньою температурою повітря $T_{п}$, під якою розуміють середню температуру найбільш жаркого місяця опівдні, °С;

D_0 – діаметр устя димової труби, м;

ω_0^2 – швидкість виходу газів з устя димової труби, м/с.

Безрозмірний коефіцієнт n визначається залежно від параметра V_M :

$$V_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}, \quad (23)$$

при $V_M = 0,3, n = 3$,

при $0,3 < V_M \leq 2, n = 3 - \sqrt{(V_M - 0,3) \cdot (4,36 - V_M)}$,

при $V_M > 2, n = 1$.

Висновки. У роботі розглянуто вплив теплотворної спроможності палива на статичні та динамічні властивості водогрійного котла.

Виявлено, що аналіз залежностей (20)–(23) показує, що основними факторами, які впливають на величину ГПВ токсичних компонентів, є навантаження котла, коефіцієнт надлишку повітря α і кількість котлів, що викидають продукти згоряння в одну димову трубу.

Приклад залежності ГПВ від коефіцієнта надлишку повітря, які розраховані для умов роботи двох парогазових блоків потужністю по 250 МВт на одну димову трубу за повного навантаження, наведено на Рис. 4.

На графіках можливо побачити, що ГПВ токсичних компонентів димових газів лінійно залежать від коефіцієнта надлишку повітря α . Крім того, вплив α на зміну ГПВ незначний, що дозволяє прийняти значення ГПВ постійними для всієї області змін α . У зв’язку з тим, що оптимальне значення α лежить в області, близькій до $\alpha = 1$, значення ГПВ варто вибирати так само відповідно до цієї області.

Список літератури:

1. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. Одесса: Астропринт, 2001.
2. Візок Г.М., Хойна Є.В., Ягов Г.В. Новий підхід до оптимізації режимів горіння палива. Енергонагляд-Інформ. 2008. С. 26–28.
3. Автоматичний пристрій для визначення та коригування повноти спалювання вуглеводневих сумішей і газів / В.Ф. Бабіч, В.Ю. Вадов, В.С. Полонік. 1983.
4. Александров В.Г. Паровые котлы средней и малой мощности. Москва, 1972.
5. Системы автоматизации технологических процессов. Розрахунок електричних виконавчих механізмів при проектуванні. Москва, 1979.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ ПАРОВОГО КОТЛА ГМ-50

Сегодня системы автоматизированного управления стали неотъемлемой частью практически всех сфер материального производства. Применение автоматизированных систем регулирования значительно способствует повышению надежности и экономичности работы оборудования производственных процессов и, в частности, теплоэнергетических производств, а также решению экологических проблем. Автоматизация уверенно и решительно вошла в повседневную жизнь не только производителей, но и рядового жителя, все большим образом вытесняя достижения механизации.

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 такой ситуации, при которой управление технологическим процессом, выполнение необходимого режима эксплуатации и технологического регламента возможны только при посредстве автоматизированных систем управления, отвечающий самым современным требованиям.

Ключевые слова: паровой котел, автоматизированная система управления, оптимизация процесса горения, топливо, частотный преобразователь.

**AUTOMATIC SYSTEM OF REGULATION
OF ECONOMY OF THE GAM-50 COUPLING BOILER**

At present, automated control systems have become an integral part of virtually all spheres of material production. The use of automated control systems greatly contributes to increasing the reliability and cost-effectiveness of equipment production processes and in particular thermal power plants, as well as solving environmental problems. Automation confidently and decisively entered into everyday life of not only producers, but also ordinary inhabitants, increasingly pushing the achievements of mechanization.

Over the past decade, the composition and structure of technological tools used in automated control systems of technological processes have changed significantly.

Further improvement of production, complication of implemented technologies leads to a situation in which the control of the technological process, the implementation of the necessary operating conditions and technological regulations are possible only through the intermediation of automated control systems that meet the most advanced requirements.

Key words: *steam boiler, automated control system, optimization of combustion process, fuel, frequency converter.*