

УДК 681.5

**ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ПОДАЧІ ГАЗО-ПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ В  
КОТЕЛЬНУ УСТАНОВКУ****Лісовець С. М., Мартинюк Ю. А.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мета.** Створення засобів для забезпечення ефективної роботи котельної установки: забезпечення максимального рівня спалювання газів і мінімального рівня токсичних продуктів згорання у вихідному повітрі.

**Методика.** Використання планування експерименту на основі композиційних ортогональних планів другого порядку.

**Результати.** Розроблені моделі другого порядку, які дозволяють отримати такі параметри налагодження ПД-регуляторів, що забезпечують, з одного боку, необхідну якість перехідних процесів, а з другого боку, максимальний рівень спалювання газів і мінімальний рівень токсичних продуктів згорання у вихідному повітрі.

**Наукова новизна.** Встановлено, що використання в контурах подачі суміші газів і повітря ПД-регуляторів, які мають оптимальні параметри налагодження, дозволяє (у порівнянні з більш простими регуляторами) забезпечити більш високий рівень спалювання газів і більш низький рівень токсичних продуктів згорання у вихідному повітрі.

**Практична значимість.** Використання в контурах подачі суміші газів і повітря ПД-регуляторів, які мають оптимальні параметри налагодження, дозволяє зменшити витрати газів і навантаження на навколишнє середовище.

**Ключові слова:** газова суміш, економайзер, контур керування, котельна установка, насичений пар, паливня, паровий котел, перегрітий пар, продукти згорання

Централізоване постачання теплом великих, середніх і невеликих споживачів в вигляді перегрітого або насиченого пара високого тиску і гарячої води значно підвищує ефективність використання енергії палива, яке спалюється, і покращує стан повітряного басейну. Для здійснення такого постачання застосовують парові котли [1].

Паровий котел представляє собою систему поверхонь нагріву для виробництва пара з води, яка в нього неперервно надходить, шляхом використання тепла, яке виділяється при спалюванні палива. До пристроїв і механізмів, які забезпечують роботу парового котла, входять: обладнання для підготовки палива, живлячі насоси, вентилятори для наддуву (подають в котел повітря для горіння), димососи (служать для видалення продуктів згорання через димову трубу в атмосферу), а також інше допоміжне обладнання, що необхідне для забезпечення експлуатації котла [2-4].

Паровий котел разом з комплексом перерахованого вище обладнання складає котельну установку. Отже, поняття «котельна установка» ширше поняття «паровий

котел». Сучасна потужна котельна установка представляє собою складну технічну споруду, в якій всі робочі процеси повністю механізовані і автоматизовані. Для підвищення надійності роботи її оснащують автоматичним захистом від аварій. Тенденція розвитку парових котлів полягає в наступному: збільшення одиничної потужності, підвищення початкового тиску пара і його температури, застосування проміжного перегріву пара, повна механізація і автоматизація керування, виготовлення і поставка обладнання крупними блоками для полегшення і прискорення монтажу [5].

### *Постановка завдання*

Зазвичай основними контурами керування котельної установки є перший контур керування для підтримання тиску суміші газів на вході до пальників парового котла і другий контур керування для підтримання тиску повітря на вході до пальників парового котла. При цьому, якщо досить точно підтримувати співвідношенням між кількістю суміші газів і кількістю вхідного повітря, які подаються до пальників паливні парового котла, то можна досягти максимально можливого рівня спалювання газо-повітряної суміші і мінімально можливого рівня токсичних продуктів горіння в вихідному повітрі.

Реалізувати такі контури керування можна, наприклад, наступним чином. Безпосередньою задачею першого контуру керування є, як вже було показано вище, підтримання тиску суміші газів на вході до пальників парового котла. А безпосередньою задачею другого контуру керування є (враховуючи те, що потрібно досить точно підтримувати співвідношенням між кількістю суміші газів і кількістю вхідного повітря, які подаються до пальників паливні парового котла) підтримання тиску повітря на вході до пальників парового котла в залежності від тиску суміші газів на вході до пальників парового котла. Іншими словами, тиск повітря на вході до пальників парового котла повинний «приспосовуватися» до тиску суміші газів на вході до пальників того ж самого парового котла. Тобто перший контур керування є ведучим, а другий контур керування є веденим. Використання відносно простих регуляторів (наприклад, двопозиційних регуляторів) в першому контурі керування приводить до того, що тиск суміші газів на вході до пальників парового котла підтримується з невисокою точністю. А використання таких самих регуляторів в другому контурі керування (при цьому треба пам'ятати, що другий контур керування залежить від першого) приводить до того, що тиск повітря на вході до пальників парового котла підтримується з ще меншою точністю.

Таким чином, співвідношення між кількістю суміші газів і кількістю вхідного повітря, які подаються до пальників паливні парового котла, буде постійно «гуляти» то в один, то в інший бік відносно потрібного значення.

Це, зрозуміло, приводить до неповного спалювання газів і до підвищеного рівня токсичних продуктів згорання у вихідному повітрі.

### Результати досліджень

Більш ефективна структурна схема керування співвідношенням між кількістю суміші газів і кількістю вхідного повітря, які подаються до пальників паливні парового котла, наведена на рис. 1.

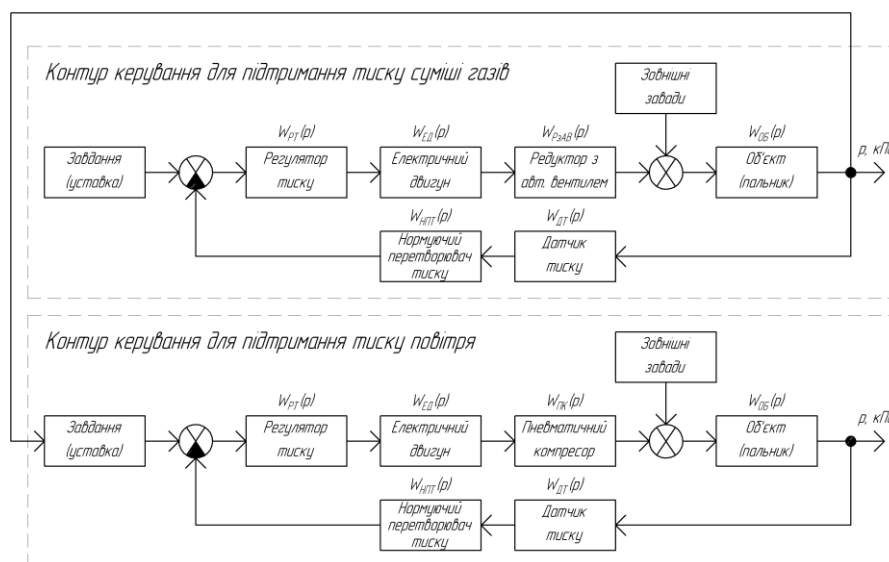


Рис. 1. Структурна схема взаємно пов'язаних контурів керування котельної установки

Така схема складається з двох контурів, причому верхній по схемі (див. рис. 1) контур формує завдання для нижнього контуру. В цій схемі необхідно визначити параметри налагодження регуляторів згідно з певним критерієм – так як зазвичай застосовуються ПД-регулятори, то необхідно визначити їх коефіцієнти підсилення  $K_p$ , постійні часу інтегрування  $T_p^I$  і постійні часу диференціювання  $T_p^D$  згідно з їх функцією передачі  $W_p(p)$ :

$$W_p(p) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_p^I p} + T_p^D p \right). \quad (1)$$

Особливістю схеми (див. рис. 1) було те, що верхній контур (так як завдання (уставка) на підтримання тиску суміші газів зазвичай є практично незмінним) повинний був працювати в основному в стабілізуючому режимі, зменшуючи до мінімуму вплив зовнішніх завад. А нижній контур (так як завдання (уставка) на підтримання тиску вхідного повітря постійно змінюється разом із тиском суміші газів) повинний був працювати в основному в слідкуючому режимі, постійно змінюючи завдання (уставку) на підтримання тиску вхідного повітря.

Для розрахунку параметрів налагодження ПІД-регуляторів використовувався інтегральний критерій, який полягав у знаходженні мінімуму інтеграла

$$\int_0^{\infty} (\varepsilon^2(t) + T^2 \dot{\varepsilon}^2(t)) dt, \quad (2)$$

де  $\varepsilon(t)$  – відхилення керуємої величини від усталеного значення;  $\dot{\varepsilon}(t)$  – перша похідна від  $\varepsilon(t)$ ;  $T$  – постійна часу.

Мінімум інтеграла (1) можна було отримати при різних наборах значень  $K_p$ ,  $T_p^I$  і  $T_p^D$  – тобто з точки зору планування експерименту отримати певний факторний простір. Після цього застосовувалося планування експерименту з використанням композиційних ортогональних планів другого порядку, де вхідними факторами в кодованому масштабі були  $k_p$ ,  $t_p^I$  і  $t_p^D$ , а цільовими функціями були  $Q_1(k_p, t_p^I, t_p^D)$  (рівень спалювання газоповітряної суміші) і  $Q_2(k_p, t_p^I, t_p^D)$  (рівень токсичних продуктів горіння в вихідному повітрі). Цільові функції  $Q_1(k_p, t_p^I, t_p^D)$  і  $Q_2(k_p, t_p^I, t_p^D)$  мали загальний наступний вигляд:

$$Q_1(k_p, t_p^I, t_p^D) = \alpha_0 + \alpha_1 k_p + \alpha_2 t_p^I + \alpha_3 t_p^D + \alpha_{12} k_p t_p^I + \alpha_{13} k_p t_p^D + \alpha_{23} t_p^I t_p^D + \alpha_{11} (k_p)^2 + \alpha_{22} (t_p^I)^2 + \alpha_{33} (t_p^D)^2, \quad (3)$$

де  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_{12}$ ,  $\alpha_{13}$ ,  $\alpha_{23}$ ,  $\alpha_{11}$ ,  $\alpha_{22}$ ,  $\alpha_{33}$  – відповідні постійні коефіцієнти.

Результати експериментів і розрахунків показали, що в переважній більшості випадків цільова функція  $Q_1(k_p, t_p^I, t_p^D)$  має максимум, а цільова функція  $Q_2(k_p, t_p^I, t_p^D)$  має мінімум. Таким чином, використання параметрів налагодження ПІД-регуляторів, які

відповідають максимуму функції  $Q_1(k_p, t_p^I, t_p^D)$  або мінімуму функції  $Q_2(k_p, t_p^I, t_p^D)$ , дозволяє відповідно збільшити рівень спалювання газо-повітряної суміші або зменшити рівень токсичних продуктів горіння в вихідному повітрі. Так як зазвичай параметри налагодження ПІД-регуляторів для максимуму функції  $Q_1(k_p, t_p^I, t_p^D)$  і мінімуму функції  $Q_2(k_p, t_p^I, t_p^D)$  не співпадають, то можливо обирати такі параметри  $K_p$ ,  $T_p^I$  і  $T_p^D$  налагодження ПІД-регуляторів, які знаходяться «посередині» між ними.

### Висновки

Отримані моделі для визначення параметрів налагодження ПІД-регуляторів, які при забезпеченні необхідної якості перехідних процесів в контурах підтримання тисків відповідно суміші газів і повітря забезпечують, з одного боку, необхідну якість перехідних процесів, а з другого боку, максимальний рівень спалювання газів і мінімальний рівень токсичних продуктів згорання у вихідному повітрі.

### Список використаних джерел

1. Безгрешнов А. Н., Липов Ю. М., Шлейфер Б. М. Расчёт паровых котлов в примерах и задачах / Под общ. ред. Ю. М. Липова. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
2. Доброхотов В. И., Жигулёв Г. В. Эксплуатация энергетических блоков. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. Кемельман Д. Н., Эскин Н. Б. Наладка котельных установок: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Липов Ю. М. Тепловой расчёт парового котла. Уч. пособие для вузов. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
5. Липов Ю. М., Третьяков Ю. М. Котельные установки и парогенераторы. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003.

### References

1. Bezgreshnov, A.N., Lipov, Yu.M., & Shleyfer, B.M. (1991). *Raschet parovykh kotlov v primerakh i zadachakh* [Calculation of steam boilers in examples and tasks]. Moscow: Energoatomizdat [in Russian].
2. Dobrokhotoy, V.I., & Zhigulev, G.V. (1987). *Ekspluatatsiya energeticheskikh blokov* [Operation of power units]. Moscow: Energoatomizdat [in Russian].
3. Kemelman, D.N., & Eskin, N.B. (1989). *Naladka kotelnykh ustanovok: Spravochnik* [Adjustment of boiler plants: Reference book]. Moscow: Energoatomizdat [in Russian].
4. Lipov, Yu.M. (2001). *Teplovoy raschet parovogo kotla. Uch. posobie dlya vuzov* [Thermal calculation of the steam boiler. Textbook for high schools]. Izhevsk: NITs «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika» [in Russian].
5. Lipov, Yu.M., & Tretyakov, Yu.M. (2003). *Kotelnye ustanovki i parogeneratory* [Technological measures to reduce harmful emissions of thermal power plants in the atmosphere]. Moscow-Izhevsk: NITs «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika» [in Russian].

*Lisovets Sergey*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3643-046X>[ser.lis.290171@gmail.com](mailto:ser.lis.290171@gmail.com)Kyiv National University of  
Technologies and Design*Martyniuk Yuriy*[rura95@gmail.com](mailto:rura95@gmail.com)Kyiv National University of  
Technologies and Design**Оптимизация режимов подачи газо-воздушной смеси в котельную установку****Лисовец С. Н., Мартынюк Ю. А.**

Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Создание средств для обеспечения эффективной работы котельной установки: обеспечение максимального уровня сжигания газов и минимального уровня токсичных продуктов сгорания в выходном воздухе.

**Методика.** Использование планирования эксперимента на основе композиционных ортогональных планов второго порядка.

**Результаты.** Разработаны модели второго порядка, которые позволяют получить параметры настройки ПИД-регуляторов, обеспечивающие, с одной стороны, необходимое качество переходных процессов, а с другой стороны, максимальный уровень сжигания газов и минимальный уровень токсичных продуктов сгорания в выходном воздухе.

**Научная новизна.** Установлено, что использование в контурах подачи смеси газов и воздуха ПИД-регуляторов, которые имеют оптимальные параметры настройки, позволяет (по сравнению с более простыми регуляторами) обеспечить более высокий уровень сжигания газов и более низкий уровень токсичных продуктов сгорания в выходном воздухе.

**Практическая значимость.** Использование в контурах подачи смеси газов и воздуха ПИД-регуляторов, которые имеют оптимальные параметры настройки, позволяет уменьшить расход газа и нагрузку на окружающую среду.

**Ключевые слова:** газовая смесь, экономайзер, контур управления, котельная установка, насыщенный пар, топка, паровой котёл, перегретый пар, продукты сгорания

**Optimization of modes of gas-air mixture supply to the boiler plant****Lisovets S. N., Martynuk U. A.**

Kyiv national university of technologies and design

**Purpose.** Creation of facilities for efficient operation of the boiler plant: ensuring the maximum level of combustion of gases and the minimum level of toxic combustion products in the exhaust air.

**Methodology.** Use of planning of experiment on the basis of composition orthogonal plans the second order.

**Findings.** Second-order models have been developed that allow obtaining PID-tuning parameters that ensure, on the one hand, the necessary quality of transients, and on the other hand, the maximum level of gas combustion and the minimum level of toxic combustion products in the exhaust air.

**Originality.** It has been established that the use of PID controllers in the circuits for supplying a mixture of gases and air that have optimal tuning parameters allows (in comparison with simpler regulators) to provide a higher level of gas combustion and a lower level of toxic combustion products in the exhaust air.

***Practical value.** The use of PID-controllers in the feed circuits of the gas and air mixture, which have optimal tuning parameters, allows to reduce gas consumption and load on the environment.*

***Keywords:** gas mixture, economizer, control circuit, boiler plant, saturated steam, furnace, steam boiler, superheated steam, combustion products*