

УДК 681.51

Дмитришин С.С.

Одеський національний політехнічний університет

Давидов В.О.

Одеський національний політехнічний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГОРІННЯ ВУГЛЕВОДНИХ ГАЗІВ У ПАРОГЕНЕРУЮЧИХ УСТАНОВКАХ ШЛЯХОМ ЗМІНИ ВІДНОШЕННЯ ПАЛЬНЕ/ПОВІТРЯ

Важливим та одним з основних завдань персоналу є підтримка оптимального режиму котла за цих умов його роботи, що відповідає максимально можливому значенню ККД котла нетто. Тому виникає необхідність визначення впливу статичних характеристик котла, а саме: навантаження, температури живильної води, повітряного режиму топки й характеристики палива – на показники його роботи при зміні значень перерахованих параметрів. Для вирішення наукового завдання, що полягає в підтримці оптимального співвідношення при спалюванні в повітрі вуглеводневого газу невідомого складу шляхом визначення максимальної температури горіння та забезпечення заданих характеристик факела полум'я при зміні поточної витрати повітря, необхідно визначити статичні та динамічні характеристики об'єкта керування. Необхідно розробити математичну модель об'єкта керування та моделі визначення умовної формули вуглеводневого палива за вимірними витратами повітря і вуглеводневого газу і температури полум'я, методи реалізації ефективного спалювання в парогенеруючому обладнанні шляхом зміни співвідношення паливо-повітря з метою забезпечення максимальної ефективності.

Ключові слова: теплова електростанція, паровий котел, автоматизація, співвідношення паливо-повітря, ефективність.

Постановка проблеми. У сучасних ринкових економічних відносинах і за умови відсутності інвестиційних ресурсів, а також істотного підвищення вимог до викиду речовин, що забруднюють навколишнє природне середовище, економічності процесу горіння необхідно приділяти особливу увагу. Тому є актуальною задача доповнення регуляторами наявної системи автоматичного регулювання парових та водогрійних котлів, що використовують як паливо несертифіковані гази, які забезпечать максимальну температуру спалювання поточної суміші газів у факелі. Забезпечення ефективності та екологічної безпеки використання палива як газопальникових пристроїв, так і усього, що використовує паливо агрегату, можливе шляхом зміни конструкції пальників, режимними методами або управлінням властивостями палива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікаціях М. Davodia на тему «Основні джерела спалювання газу та забрудненого повітря на заводах по переробці природного газу» [1, с. 17], Niels Berghout Machteld van den Broek, André Faaij на тему «Технічно-економічні показники та проблеми застосування захоплення CO₂ у промисловості: приклад п'яти промислових під-

приємств» [2, с. 259] проводиться аналіз впливу та складу викидів заводів, що займаються спалюванням природного газу, та проблем, з якими підприємства мають справу.

У публікації авторів Liu Hong, Peiwen Li, Kai Wang на тему «Оптимізація розмірів проточного каналу паливних елементів PEM-аналіз математичного моделювання та експериментальна перевірка» [3, с. 83] розглянута модель спалювання природного газу, мазуту, а також несертифікованого газу, при цьому було прийнято реконструювати теплообмінник у вертикальне положення, а також розділити вихідні димові гази на два потоки, один з яких веде назад у паровий котел.

В іншій відкритій літературі не виявлено ніяких аналітичних методів і моделей, що дають змогу підтримувати задані енергетичні характеристики енергетичного обладнання у разі якісної зміни властивостей вуглеводневого палива.

Постановка завдання. Для вирішення завдання підтримки оптимального співвідношення при спалюванні в повітрі вуглеводневого газу невідомого складу шляхом пошуку максимальної температури горіння при забезпеченні заданих характеристик факела полум'я при зміні поточної витрати повітря необхідно розробити

моделі визначення умовної формули вуглеводневого палива за вимірними витратами повітря і вуглеводневого газу і температурі полум'я і методи реалізації його ефективного спалювання в парогенеруючому обладнанні шляхом зміни відношення паливо/повітря з метою забезпечення максимальної ефективності.

При цьому необхідно розглянути такі допоміжні завдання:

1. Із метою проведення дослідження, перш за все, необхідно провести аналіз способів отримання вуглеводневих газів змінного складу й особливостей їх спалювання в парогенеруючих установках. На цій основі розробити імітаційну модель спалювання вуглеводневих газів змінного складу в камерах згоряння за допомогою вимірювань температури факела і витрат пального й окислювача. Математична модель має базуватися на обчисленні умовної формули газоподібного вуглеводневого палива, заснованої на законах збереження речовини, Дальтона, хімічної рівноваги по парціальних тисках, яка дасть змогу визначити кількісний склад умовної формули, ентальпію і склад продуктів згоряння.

2. Із метою розробки методу і моделі забезпечення сталості заданих характеристик генерації пару при зміні в часі якісного складу вуглеводневого газу необхідно визначити динамічні характеристики парового котла, засновані на рівняннях матеріального і теплового балансів, законах конвективного і променистого теплообміну і властивостях стиснутого газоподібного середовища.

3. Варто провести дослідження розробленого методу забезпечення заданого парового навантаження, який базується на математичних моделях обчислення умовної формули газоподібного вуглеводневого палива і визначення динамічних характеристик парового котла. Пошук максимального рівня ефективності генерації пари при використанні вуглеводневого газу змінного складу здійснювати шляхом постійної зміни відношення паливо/повітря за допомогою вимірювань температури факела в парогенеруючій установці.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Автоматична система регулювання живлення призначена для підтримки матеріальної відповідності між подачею живильної води в котел і витратою пара. Показником цієї відповідності служить рівень води в барабані котла. Зниження рівня нижче допустимих меж може привести до порушення циркуляції в екранних трубах (перекидання циркуляції) і, як наслідок, перепалу труб. При значному підвищенні рівня в барабані мож-

ливе захоплення частинок води паром, винесення її в пароперегрівач і турбіну, що викликає занос пароперегрівача і турбіни солями і веде до їх руйнування. У зв'язку з цим до точності підтримки заданого рівня пред'являються дуже високі вимоги. Регулювання живлення котлів малої продуктивності зазвичай здійснюється одноімпульсними регуляторами, керованими датчиками зміни рівня води в барабані. В котлах середньої та великої паропроductивності з малим водяним об'ємом застосовуються двоімпульсні регулятори живлення котла за рівнем води і витрати пара (рис. 1), а також тріімпульсні, які керують живленням котла за рівнем води, витрати пари і витрати живильної води.

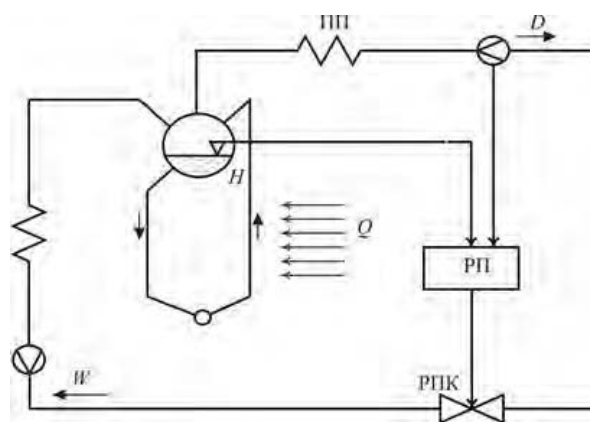


Рис. 1. Принципова схема АСР живлення:
 Е – економайзер; ПП – пароперегрівач;
 РП – регулятор; РПК – регулюючий клапан живлення

Граничні значення рівня в барабані котла визначаються на підставі спеціальних розрахунків на заводі-виробнику котельного обладнання і називаються уставками по спрацьовуванню захистів від підвищення і пониження рівня. Як правило, виконується двоступеневий захист від підвищення рівня. Перший ступінь захисту впливає на відкриття засувки аварійного сливу з барабана (аварійний скид); вона має свою уставку, яка є проміжною між нормальним рівнем і уставкою захисту від підвищення рівня. Другий ступінь захисту впливає на зупинку котла. Операції відключення котла і відкриття аварійного сливу при досягненні відповідних уставок виконуються пристроями захисту (у разі відключення) і блокування (відкриття-закриття аварійного сливу).

Таким чином, зона роботи АСР живлення обмежена уставкою захисту від зниження рівня в барабані котла, з одного боку, й уставкою відкриття аварійного сливу – з іншого. Ці межі зумовлюють безпеку роботи котла, перевищення їх тягне

за собою аварійну ситуацію. Варто врахувати, що для організації такого регулювання за газовим трактом розміщується швидкодіючий регулюючий орган і масовий витратомір газу, а за повітряним трактом із метою постійної його зміни – частотний регулятор і витратомір. Передбачається введення додаткового вимірювального каналу з визначення температури газів, що горять у факелі. Постійна зміна максимальної температури і нижчої теплотворної здатності газу, що надходить на спалювання, робить необхідним їх постійне коригування, адже необхідно підтримувати задану паропроодуктивність. Оптимальний режим котла має забезпечуватися корекцією повітря і газу для отримання максимальної температури при заданій паропроодуктивності або тепловим навантаженням. Організація такого режиму регулювання можлива лише на основі застосування систем екстремального регулювання. Це пов'язано з тим, що у разі спалювання в котлах горючих газів природного походження, теплофізичні параметри (склад, нижча теплотворна здатність) є змінними, що особливо посилюється вмістом баластних газів.

Тому постійне налаштування котлів за режимною картою не може забезпечити оптимальний режим роботи. Крім вирішення завдання теплової ефективності експлуатації котлів, також є актуальною задача зниження викидів CO₂ у навколишнє середовище у разі використання водневмісного газу.

З метою зниження питомих витрат енергії на валовий національний продукт необхідно на водогрійних і парових котлах, де це економічно доцільно, організувати всебічне використання сумішей горючих газів природного і штучного походження з мінливими енергетичними характеристиками, що дасть змогу:

- знизити споживання сертифікованого природного газу шляхом максимальної утилізації шахтного метану, сланцевих, доменних, коксових, генераторних, вуглеводневих, водневмісних газів, а також біогазів та газів піролізу;

- мінімізувати в промислових виробництвах утилізаційні технології спалювання горючих газів штучного походження на свічці;

- підвищити екологічну безпеку парових та водогрійних котлів;

- оптимізувати використання газів штучного походження між енергетичними і хіміко-технологічними виробництвами;

- знизити викиди SO₃, SO₂, NO₂, NO шляхом оптимізації процесів горіння в факелі і камері згоряння;

- забезпечити стійку взаємну роботу теплогенеруючого обладнання.

Спалювання горючих газів природного і штучного походження для отримання підігрітої води або технологічної пари виробляється в топках котельних агрегатів, де функцію камери згоряння виконує факел.

Спалювання газоподібного вуглеводневого палива будь-якого складу, а тим більше змінного в часі, вимагає забезпечення сталої та ефективної роботи факелів із характеристиками, що забезпечують задані енергетичні показники. До конструювання і застосування пальників, що працюють на газі штучного походження змінного складу, висувається низка вимог: пальники мають забезпечити повне і надійне спалювання палива з мінімальним надлишком повітря, бути компактними і зручними в експлуатації, відрізнитися великим терміном служби і мати невисоку вартість. Пальники мають створювати факел із необхідними теплообмінними характеристиками.

Забезпечити однакове дотримання перерахованих вимог неможливо, тому, насамперед, необхідно знати найбільш важливі з них для цієї парогенеруючої установки.

Забезпечення ефективності та екологічної безпеки використання палива як газопальникових пристроїв, так і всього, що використовує паливо агрегату, можливе шляхом зміни конструкції пальників, режимними методами або управлінням властивостями палива.

Утворення газоповітряної суміші та її займання залежать від зовнішніх і внутрішніх умов. Вплив конструктивних характеристик пальників на процес горіння можна назвати зовнішнім, а вплив характеристик самого палива – внутрішнім. Удосконалення конструкції пальників велось різними способами.

Особливістю роботи парових котлів на нафтопереробних підприємствах є використання в них як палива власних газів штучного походження змінного складу, склад яких значно коливається в часі і залежить від сировини, що переробляється і різної структури включених технологічних установок.

Очевидно, що найбільш оптимальним рішенням у таких випадках є використання пальників із регульованими параметрами, але є спроби забезпечити спалювання газів змінного складу і у звичайних пальниках.

Можна сказати, що підвищення ефективності спалювання газу штучного походження змінного складу в пальниках із примусовою подачею

повітря за допомогою зміни прохідного перетину газу завдяки роботі в дискретному режимі як із подачі газу, так і з подачі повітря, цілком можливе.

Управління спалюванням пального невідомої теплотворної здатності може бути забезпечене екстремальним регулятором. При заданій витраті пального шляхом зміни витрати окислювача (повітря) забезпечує стехіометричне співвідношення, що відповідає максимальній температурі продуктів згорання. Максимальна температура досягається за умови коефіцієнта надлишку повітря α , який дорівнює 1,0.

Альтернативою такого методу може служити визначення складу газу невідомої теплотворної здатності за допомогою газоаналізатора.

Висновки. Рішення завдання максимального забезпечення ефективності горіння й екологічних

норм в умовах постійної зміни якісного складу палива вимагає впровадження нових розрахункових методів і моделей. Такий метод має низку недоліків: ресурсномісткий, громіздкий, має великий час інерції і, як наслідок, запізнення. Тому він насилу інтегрується в автоматизовану систему управління. Для газоаналізаторів потрібні дані за переліком газів у суміші. Застосування газоаналітичних приладів ускладнюється тим, що такі гази містять у складі небажані компоненти, які призводять до прискореного зносу первинних приладів і виходу їх із ладу. Вартість системи росте зі збільшенням цього переліку.

Доцільно розглянути підходи до моделювання та результати натурних і чисельних експериментів у низці досліджень, які були отримані під час вивчення утворення сажі, фактично вуглецю.

Список літератури:

1. Davoudia M. The major sources of gas flaring and air contamination in the natural gas processing plants. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. Vol. 13. 2013. P. 7–19.
2. Niels Berghout Machteld van den Broek, André Faaij. Techno-economic performance and challenges of applying CO₂ capture in the industry: A case study of five industrial plants. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. Vol. 17. 2013. P. 259–279.
3. Liu Hong, Peiwen Li, Kai Wang. Optimization of PEM fuel cell flow channel dimensions – Mathematic modeling analysis and experimental verification. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 38 (23). 2013. P. 9835–9846.
4. Tucakovica Dragan Possibilities for reconstruction of existing steam boilers for the purpose of using exhaust gases from 14 MW or 17 MW gas turbine. *Applied Thermal Engineering*. Vol. 56 (1–2). 2013. P. 83–90.
5. Rusinowski Henryk, Wojciech Stanek. Hybrid model of steam boiler. *Energy*. Vol. 35 (2). 2010. P. 1107–1113.
6. Vujak Janusz. Optimal control of energy losses in multi-boiler steam systems. *Energy*. 2009. Vol. 34 (9). P. 1260–1270.
7. Новиков О.Н. Энергоэкологическая оптимизация сжигания топлива в котлах и печах регулированием соотношения «топливо-воздух». *Промышленная энергетика*. 2000. № 5. С. 57–60.
8. Александров В.П. Паровые котлы малой и средней мощности. Москва, 1972. 200 с.
9. Вукалович М.П. Термодинамические свойства воды и водяного пара. Москва, 1955. 93 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ В ПАРОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ ЗА СЧЁТ ИЗМЕНЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ ТОПЛИВО/ВОЗДУХ

Важной и одной из основных задач персонала является поддержание оптимального режима котла при данных условиях его работы, соответствующей максимально возможному значению КПД котла нетто. Поэтому возникает необходимость определения влияния статических характеристик котла, а именно: нагрузки, температуры питательной воды, воздушного режима топки и характеристики топлива – на показатели его работы при изменении значений перечисленных параметров.

Для решения научной задачи, которая заключается в поддержании оптимального соотношения при сжигании в воздухе углеводородного газа неизвестного состава за счет определения максимальной температуры горения и при обеспечении заданных характеристик факела пламени, при изменении текущего расхода воздуха необходимо определить статические и динамические характеристики объекта управления. Необходимо разработать математическую модель объекта управления и модели определения условной формулы углеводородного топлива по измеренным расходам воздуха и углеводородного газа и температуры пламени, методы реализации.

Ключевые слова: тепловая электростанция, паровой котел, автоматизация, математическая модель, передаточная функция.

ENHANCEMENT OF THE EFFICIENCY OF BURNING CARBOHYDRATED GASES IN POROGENERATOR INSTALLATIONS AT THE RATES OF REFRACTION OF THE FUEL / AIR

An important and one of the main tasks of the personnel is to support the optimal mode of the boiler under the conditions of its operation, which corresponds to the maximum possible value of the efficiency of the boiler net. That`s why requires to need to determine the influence of static characteristics of the boiler, namely: load, water temperature, air furnace mode and fuel characteristics – on its performance indicators when changing the values of these parameters.

To solve a scientific problem, which is maintenance of the optimal ratio, when burning in the air of an unknown gas composition of hydrocarbon gas by determining the maximum combustion temperature and providing the given characteristics of the flame of the flame when the current flow of air is changed, needs to determine the static and dynamic characteristics of the control object. It is necessary to develop a mathematical model of the control object and a model for determining the conditional formula of hydrocarbon fuel by measured air and hydrocarbon gas and flue temperature, methods for implementing efficient combustion in steam generating equipment by changing the fuel-air ratio to ensure maximum efficiency.

Key words: *thermal power station, steam boiler, automation, fuel / air ratio, efficiency.*