

*Т.І. Римар канд. техн. наук, Д.С. Дюмін (Національний університет «Львівська політехніка»), О.В. Станіславчук, канд. техн. наук (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## НИЗЬКОІНЕРЦІЙНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ НАД ЗАГАСАННЯМ ПОЛУМ'Я В КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВКАХ

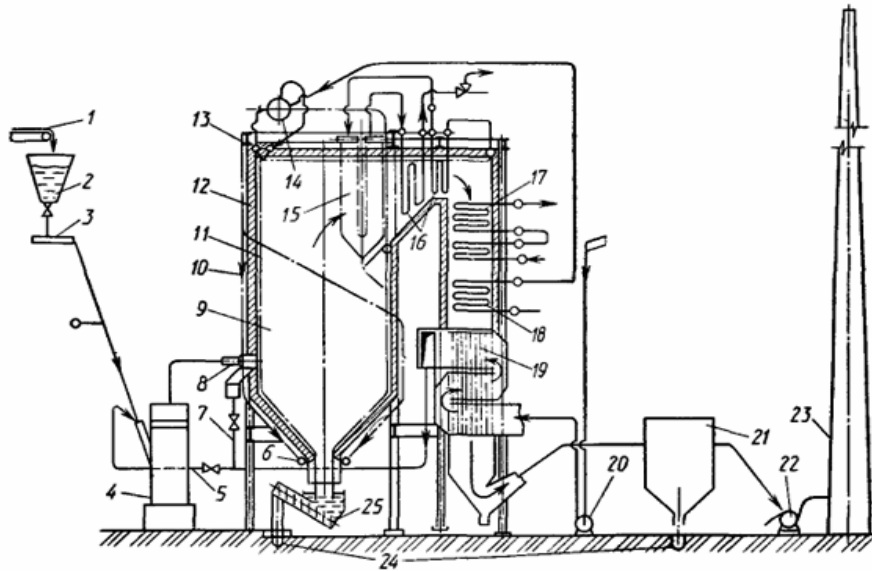
У статті представлені елементи пожежної безпеки котла, що передбачені для захисту від загасання полум'я у топці енергетичних котлів. Основний напрям досліджень – використання низькоінерційних систем контролю над вказаним явищем. Розглянуті контролери експлуатуються на вітчизняних енергоблоках. Проводився огляд принципу їх роботи та наступне порівняння робочих характеристик. Також, наведені алгоритми систем захисту з умовами їх вводу в роботу та використання часових затримок задля адекватності сприйняття отриманої інформації, що були запроваджені на базі котлів ТП 100 енергоблоку №9 Буштинської ТЕС.

**Ключові слова:** низькоінерційний контролер, загасання полум'я, іонізаційний датчик.

**Постановка проблеми.** Котельні установки – це основа теплоенергетики будь-якої розвиненої країни світу.

Основними джерелами небезпеки під час обслуговування котельних установок є можливість вибуху, пожежі, токсичність палива, наявність різноманітного технологічного обладнання (помп, компресорів та ін.). Причинами вибухів котельних установок є перегрівання стінок котла (внаслідок проникнення води), або недостатнє охолодження внутрішніх стінок внаслідок накопичення накипу, а також раптове руйнування стінок котла внаслідок появи в них тріщин або втомних утворень, зумовлених перевищенням тиску порівняно з розрахунковим у випадку несправності запобіжних пристроїв.

Тому необхідно звернути увагу на відповідний захист котельних установок від дії можливих надзвичайних ситуацій та від виникнення аварій.



**Рис. 1.** Схема котельної установки:

1 – конвеєр палива; 2 – бункер для палива; 3 – живильники палива; 4 – млин; 5, 7 – короб первинного і вторинного повітря; 6 – нижній розподільчий колектор; 8 – палик; 9 – топка; 10 – опускні труби; 11 – екрани; 12 – система вогнетривких та теплоізолюючих огорож; 13 – каркас котла; 14 – барабан; 15 – ширмові перегрівачі; 16 – конвективні перегрівачі; 17 – проміжний перегрівач; 18 – водяний економайзер; 19 – підігрівач повітря; 20 – дуттьовий вентилятор; 21 – зололовлювач; 22 – димосмоктувач; 23 – димова труба; 24 – канали шлаковидалення; 25 – шлаковидальне пристосування

Котельна установка (рис. 1) призначена для вироблення пари з заданими параметрами для парових турбін, поршневих машин, а також для потреб виробництва або опалення. Залежно від призначення котельні установки можуть бути енергетичними (що обслуговують електричні станції), виробничі, виробничо-опалювальні та опалювальні. Призначення котельної установки зумовлює її продуктивність та параметри виробленої пари.

Вихідним робочим тілом для отримання пари в котельній установці є вода, а вихідним носієм енергії – паливо. Основними складовими процесу виробництва пари в котельних установках є горіння палива, теплообмін між продуктами горіння та робочим тілом і утворення пари.

Котельна установка складається з котельних агрегатів та допоміжних пристроїв. До основних елементів обладнання котельної установки належать:

- паровий котел, що являє собою теплообмінний апарат, який обігрівается топковими газами, призначений для отримання водяної пари, що використовується поза самим апаратом;
- топка – пристрій, в якому відбувається виділення тепла у процесі згоряння палива.

Водонагрівні котли встановлюють на ТЕЦ для перекривання пікових навантажень у теплофікаційних системах, а також у районних та заводських котельнях в якості основних джерел теплоти у системах централізованого тепlopостачання. У піковому режимі здійснюється підігрівання мережної води до температури від 104 до 150 °С, а в основному режимі – від 70 до 150 °С.

Надійність роботи котельних установок та запобігання аварійним ситуаціям набуває стратегічного значення в умовах безперервного функціонування електричної системи держави.

Автоматика системи безпеки котла складається з таких основних елементів [1]:

- Датчиків контролю температури гарячої води, що відслідковують за температурним рівнем теплоносія, і, у разі його перевищення від заданої норми, дають команду на припинення подачі газу у котельний агрегат. В його основу закладений термометалічний елемент, який змінює свою форму і положення в просторі залежно від температури.
- Датчиків контролю тиску у системі живильної води, основна задача яких не допустити падіння тиску нижче заданої експлуатаційної норми. Принцип роботи полягає у перетворенні сили тиску середовища на мембрану в механічну дію для наступної передачі сигналу.
- Датчиків контролю тиску у системі гарячої води, задля запобігання підвищення тиску вище норми.
- Різноманітних тягомів і контролерів температури поверхонь котла.

Принцип роботи цих елементів змінювати недоцільно через їх надійність і економічну рентабельність. Але, головним блоком безпеки котельної установки, що не був зазначений вище, є датчик загасання полум'я. Тільки його ефективна робота дозволить дати певну гарантію на неможливість створення потенційного вибуху паливної суміші котельної установки.

Річ у тім, що подача пиловугільної суміші та повітря в топку котла не припиняється, і при наступному розпалюванні факела після згасання або у разі самозаймання пилу існує ймовірність потенційного вибуху [2].

**Аналіз останніх досліджень.** Найбільш розповсюджені датчики загасання полум'я або, як їх ще називають – датчики контролю горіння, працюють за трьома основними схемами:

1. Використання пірометрії для зняття інформації про існування чіткого фронту горіння методом хвильової теорії, вимірюючи яскравість факела.
2. Застосування термопари, в якій під впливом підвищеної температури факела виникає ЕРС.
3. Контролювання амплітуди пульсації полум'я.

Головним недоліком перших двох типів є висока інерційність, яка зумовлена в першому випадку хибним розпізнаванням випромінювання поверхонь нагріву (обмурівка самого котла і

труб) у топці під час загасання полум'я, як основного фронту горіння, а в другому – деяким часом охолодження різнорідних металів термопари для подальшого припинення току ЕРС.

До того ж, в більшості випадків для ведення контролю по яскравості випромінювання використовують фотоопори. А питання про відповідність спектра випромінювання пиловугільного факела і спеціальних характеристик фоторезисторів недостатньо вивчені. На практиці вони досить часто приймаються без врахування світлових, температурних і вольт-амперних характеристик. Наприклад, візуальні спостереження показують, що в нормальному режимі горіння, ядро факела має яскраво помаранчевий колір, хоча випромінювання проходить в червоній і інфрачервоній частинах спектра. Тобто, важко прогнозувати поведінку подібних систем за наведених ситуацій. Варто додати, що саме такі датчики закладалися в проектах котлів у часи Радянського Союзу. А у високопродуктивних котлах втрата часу на спрацювання систем безпеки такого роду може призвести до вибухонебезпечної ситуації.

**Постановка завдання.** Визначити оптимальний варіант системи контролю над загасанням полум'я у топці з точки зору його потенційного використання в умовах вітчизняної промисловості.

**Виклад основного матеріалу.** Зрозуміло, що зменшення яскравості полум'я в топці котла свідчить про нестабільність процесу горіння палива, особливо за низьких і різкозмінних навантажень. Найбільш перспективними для спостереження є прилади, що вимірюють амплітуду пульсації полум'я.

Під час досліджень, що відбувались на енергоблоці № 9 Бурштинської ТЕС, саме ці датчики (третього типу) показали непогані результати [5].

Принцип їх вимірювання дозволяє зменшити вплив випромінювання обмурівки топки котла і труб на відміну від приладів, що були розглянуті вище. Крім того, вони мають малу інерційність.

Котел ТП – 100 однобарабанный з природною циркуляцією, розрахований на спалювання вугілля. Топочна камера котла має призматичну форму і розділена по всій висоті двосвітним екраном на дві паралельно працюючі топки. Топка котла працює з рідким шлаковидаленням. На бокових стінках топочної камери розташовані 16 турбулентних пиловугільних пальників по двоярусній схемі. В пиловугільні пальники вбудовані мазутні форсунки з механічним розпиленням.

Відомо, що процес горіння палива (аеропилу) складається з великої кількості маленьких вибухів під час з'єднання молекул палива і займання в присутності кисню. Під час такого вибуху виникає випромінювання видимого світла та інфрачервоної радіації, саме ж полум'я знаходиться в постійному русі, змінюючи під час цього свою форму та яскравість. Інфрачервона хвиля випромінюється полум'ям не на постійній частоті, тобто утворюється, так зване, мерехкотіння полум'я. Інтенсивність мерехкотіння полум'я зчитується інфрачервоним або ультрафіолетовим датчиком сканера, і далі перетворюється у показник сили сигналу приладу, що змінюється залежно від поведінки наведеного явища.

Саме наявність пульсації і унеможливорює вплив паразитного випромінювання поверхонь нагрівання. Внаслідок цього якість горіння в топці оцінюється за інтенсивністю свічення його факела. Контролювати процес спалювання палива повинна система захисту. Вона зменшує кількість обривів полум'я і пов'язаних з ними зупинок котла. Система є найбільш ефективною для котлів, що працюють в умовах різко змінних навантажень та нестабільних процесів горіння. Для реалізації подібного захисту на котлі ТП 100 блока №9 Бурштинської ТЕС запроєктоване автоматичне вмикання чотирьох механічних мазутних форсунок, вмонтованих в пальники нижнього ярусу, що виконують підхват полум'я і відновлення стабільності горіння.

Реалізований технологічний алгоритм роботи захисту з витримкою часу протягом трьох секунд діє на вмикання мазутних форсунок за існування однієї з умов:

1. Під час зниження величини сигналу частотної модуляції полум'я, який був зафіксований сканерами контролю полум'я, а саме: менше 7 % від контрольованого діапазону сигналу 0 – 100 %;

2. Під час спрацювання технологічного захисту по автоматичному переведенні навантаження блока до 50 % від номінального.

Команда на відкриття подачі мазуту до форсунок котельного агрегату реалізована на відсутності сигналу про загазованість топки. За наявності умов створення цього сигналу, у випадку коли середній вміст кисню в передній чи задній напівтопках менший від 2 %, команда на відкриття подачі мазуту відбувається після відключення електрофільтрів.

Технологічний алгоритм про загасання загального полум'я в топці котла створений таким чином. При роботі котла на вугільному пилу система захисту з витримкою часу протягом п'яти секунд зупиняє котел за наявності збігу умов:

1. Під час зниження величини сигналу частотної модуляції полум'я, який був зафіксований сканерами контролю полум'я, а саме: менше 2 % від контрольованого діапазону сигналу 0 – 100 %;

2. Під час зниження тиску в одній з напівтопок котла менше 12 мм вод. ст.

Сигнал запам'ятовується і витримується заданий проміжок часу. Автоматичне введення захисту – наявність полум'я в напівтопці і збільшення сигналу частотної модуляції полум'я більше 10 % зафіксований сканерами контролю полум'я в напівтопці та початку розпалювання на газу за витрати газу більше 20 тис. м<sup>3</sup>/год чи існуванні умови початку розпалювання та включенні чотирьох і більше живильників пилу котла.

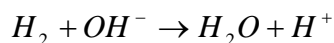
Автоматичне виведення захисту – спрацювання захисту на зупинення блоку. При виниканні умов його спрацювання вмикається звукова сигналізація і табло аварійної сигналізації, яке свідчить про загасання полум'я в топці котла. Захист виконаний незалежно від передньої і задньої напівтопок котла. Під час виникнення неполадок в роботі будь-якого сканера контролю полум'я в топці котла, вмикається звукова сигналізація і табло попереджувальної сигналізації про неполадки в захисті від загасання полум'я.

Неодноразові спостереження за поведінкою сигналу яскравості полум'я показали, що частота мерехкотіння полум'я насправді відрізняється у різних його зонах. Коливання частоти полум'я пов'язані не тільки з типом спалюваного палива, але й із станом живильників пилу, млина та його вентилятора [4].

Поверхня топки котла з декількома пальниками випромінює інфрачервоне проміння у великій кількості, що становить близько 90 % від загального спектра випромінювання полум'я. Для зменшення насиченого випромінювання, що попадає на сканер, (тобто для звуження поля спостереження), в монтажному кронштейні після розмежувального кварцового скла перед збиральною лінзою у теплоізолюючій муфті, була встановлена діафрагма з внутрішнім центральним отвором діаметром 3 мм. Варто зазначити, що після монтажу діафрагми, сканер фіксував лише інфрачервоне випромінювання, хоча коефіцієнт підсилення по ультрафіолетовій області спектра мав максимальне значення.

Якщо розглянути електрофізику горіння, то можна зробити висновок про те, що процес спричиняє термічну іонізацію.

Окислення складової палива – водню:



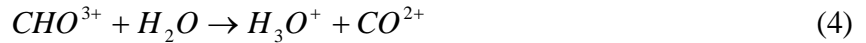
Термічна дисоціація (на прикладі бензолу):



Іонізація:



Надалі іони  $CHO^{3+}$  реагують з молекулами води:



Як видно з рівнянь реакції (3) і (4), у газі утворюються вільні електрони і позитивні іони (більша частина – це іони  $H_3O^+$ , так званий «гідроксоній»), що зумовлює його електропровідність [3]. При чому, за характером вона є односторонньою, тобто відповідає p-n переходу [4]. А це ознака того, що паливо під час горіння виступає напівпровідником (діодом).

Вищесказане і використовується в низькоінерційних системах контролю над загасанням полум'я. В зону горіння подаються електроди для подачі електричного струму крізь неї. Його наявність і характер фіксується спеціальними пристроями у блоці управління. У разі загасання, електропровідність зони зникає, і за надкороткий проміжок часу приймається рішення на припинення подачі палива у топку (спрацьовує запірна газова арматура), або включаються мазутні форсунки для підхоплення факела. Тобто, така система (іншими словами – іонізаційний датчик) не залежить від температурного рівня у топці, а з урахуванням швидкості струму приблизно рівній швидкості світла, інерційність майже не спостерігається.

Крім того, можливий варіант зняття вольт-амперної характеристики струму проходження через полум'я для контролю над якістю горіння палива. На відміну від систем, що визначають амплітуду пульсації полум'я, пристрої для приготування пиловугільної суміші не впливатимуть на майбутні залежності. Тобто, отримуємо двофункціональну систему сигналізації та контролю, що даватиме можливість стежити за процесом горіння цього виду палива при певному режимі роботи.

**Висновок.** Надійність роботи котельних установок та запобігання аварійним ситуаціям набуває стратегічного значення в умовах безперебійного функціонування електричної системи держави. Порушення роботи систем контролю над загасанням полум'я у паливних котлах призводить до вибуху, а відтак до руйнування будівель і травмування людей.

Тому, розвиток елементів безпеки котлоагрегатів повинен прямувати у бік підвищення швидкості реагування на зміну тих чи інших параметрів. Контролери повинні дублюватися приладами з іншим принципом роботи задля адекватності сприйняття сигналізації про аварійну ситуацію. Розвиток безпечної експлуатації котельних установок в умовах вітчизняної промисловості не можливий без використання контролерів амплітуди пульсації полум'я в комбінації з іонізаційними датчиками. Системи захисту повинні будуватися на чітких засадах, які закладатимуть можливість часової витримки. Можливість продовження горіння за умов «підхоплення» полум'я мазутними форсунками, буде диктуватися сценарієм алгоритму, на якому базується автоматика контролю цього котельного агрегату.

#### Список літератури:

1. Гришков А.А. Довідник з ремонту та обслуговування газового обладнання. – Москва, 1977. – 250 с.
2. Сидельковский Л.Н. Котельні установки промислових підприємств. – М: Энергоатомиздат, 1988. – 316 с.
3. Збірка наукових праць «Питання електрофізики горіння» Випуск 36. – ГЛАВНИИПРО-ЭКТ, 1975. – 305с.
4. Павлыш О.Н. Датчик контроля яркости пламени топки. Испытания на пылеугольном котлоагрегате ТП-100 блока № 9 Бурштынской ТЭС // Энергетика и ТЭК, 2008. – № 1. – 203с.

*Т.И. Рымарь, канд. техн. наук, Д.С. Дюмин (Национальный университет «Львовская Политехника»), О.В. Станиславчук, канд. техн. наук (Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности)*

## **НИЗКОИНЕРЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НАД ЗАТУХАНИЕМ ПЛАМЕНИ В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ**

В статье представлены элементы системы пожарной безопасности котла, а именно - защиты от несанкционированного затухания пламени. Основное направление - использование низкоинерционных систем контроля над этим явлением. Рассмотрены контроллеры, которые эксплуатируются на отечественных энергоблоках. Подвергнуты анализу их принцип действия и рабочие характеристики. А также, описаны существующие алгоритмы систем защиты с условиями их ввода в работу при использовании временных задержек, для адекватности восприятия полученной информации, которые были введены в эксплуатацию на базе котлов ТП100 энергоблока №9 Бурштынской ТЭС.

**Ключевые слова:** низкоинерционный контроллер, погасание пламени, ионизационный датчик

*T.I. Rymar, Candidate of Sciences (Engineering), D.S. Dyumin (Lviv Polytechnic National ), O.V. Stanislavchuk, Candidate of Sciences (Engineering) (Lviv State University of Vital Activity Safety)*

## **LOW-INERTIAL SYSTEMS OF CONTROL OF FLAME EXTINGUISHING IN BOILERS**

The article deals with the elements of fire safety of boilers for protection of flame extinguishing in fire-chambers of power boilers. The main direction of investigation is the usage of low-inertial systems of control on the mentioned event. The examined controllers are used in native power-generating units. The review of the main principles of their work is done for further comparison of working characteristic. The algorithms of protection systems of their work and usage of time delays for perception of the adequacy in the received information introduced at the TS 110 of power-generating №9 Burshtynska TES.

**Key words:** low-inertial controller, flame extinction, ionized transducer

