

5. На лінії підведення пари в колектор ущільнень встановити клапан для автоматичного підтримання заданого тиску пари в колекторі ущільнень.

6. Виконати лінію відведення (скиду) надлишків пари з переднього ущільнення турбіни на конденсатор і одночасно демонтувати лінію відведення пари з переднього ущільнення на СП.

Виконання запропонованих рекомендацій дало змогу підвищити надійність і економічність роботи турбін за рахунок:

– покращання роботи вакуумної системи (за рахунок ліквідації присмоктування повітря через заднє ущільнення циліндра і можливості індивідуального регулювання витрати пари на переднє і заднє ущільнення);

– зниження температури вихлопного патрубку турбіни під час підвищення частоти обертання і взяття початкового навантаження;

– використання теплоти пари від ущільнень і штоків стопорного і регулювальних клапанів для підігріву мережної води;

– впровадження автоматичного регулювання тиску в колекторі подачі пари на ущільнення.

Висновки. 1. Враховуючи те, що турбіни типу “Вумаг” працюють з погіршеним вакуумом в конденсаторі, необхідно в пускових режимах, по можливості, зменшувати час роботи їх на холостому ході, а також час роботи на низьких навантаженнях. Виконання цих умов дасть змогу уникнути розігрівання вихлопних патрубків турбін за межі допустимих величин і, як наслідок, зменшить імовірність підвищення вібрації підшипників.

2. Впровадження вищезгаданих технічних рішень значно покращило умови експлуатації турбін.

1. *Паровые турбины малой мощности КТЗ.* – М. 1987. 2. *Рунов Б.Т. Исследование и устранение вибрации паровых турбоагрегатов.* – М. 1982.

УДК 536.532

Вальдемар Вуйцік, Зенон Готра^{*}, Богдан Стадник^{**}

Люблінська політехніка, Люблін, Польща,

Національний університет “Львівська політехніка”

^{*} кафедра електронних приладів,

^{**} кафедра інформаційно-вимірювальної техніки

ПРОБЛЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ЗГОРЯННЯ

© Вуйцік Вальдемар, Готра Зенон, Стадник Богдан, 2001

In this work the analysis of combustion process in energetic boilers features was carried out.

The new technique of burning process control was proposed by means of optic methods. New constructions of measuring devices were elaborated. Light guide sensors and their displacement schemes were optimized.

The proposed technique expediency was experimentally established.

Процеси високотемпературного спалювання пов'язані з утворенням енергії. Спалювання являє собою швидку реакцію, що характеризується виділенням тепла та його поширенням у просторі. Переміщення реакції горіння, до певної міри, обмежене областю,

що носить назву полум'я. Дослідження структури полум'я передбачає визначення поля температур та швидкості його поширення. Дослідження теплових процесів спалювання знаходяться на стику хімії, термодинаміки і метрології. Залежно від швидкості подачі палива спалювання може бути ламінарним або турбулентним [1]. У промислових котлах швидкість подачі суміші з пальника є настільки значною, що з самого початку маємо справу з турбулентним спалюванням [3]. Для забезпечення оптимального спалювання слід визначити параметри, які необхідно контролювати, а також, якщо необхідно, розробити конструкцію. Це є особливо важливим у промислових умовах, де спалювання палива відбувається у трьох фазах: газовій (для розпалювання котла), рідкій (для розпалювання котла і швидкого збільшення температури у котлі) і третій, що виникає при горінні вугільного пилу. Необхідність дотримання жорстких норм емісії забруднень вимагає забезпечення горіння в режимі т. зв. низькоемісійного спалювання, що є спалюванням зонним [1]. При спалюванні в початковій області паливної суміші при недостатці кисню відбувається підстехіометричне спалювання, а у наступних областях, при надлишку кисню, надстехіометричне спалювання. Оскільки паливно-повітряна суміш утворюється практично всередині камери спалювання, для збільшення інтенсивності перемішування палива і повітря необхідним є створення великої турбулентності.

Для вибору режимів горіння полум'я, придатних для їх практичного використання з метою керування процесом спалювання у промислових умовах, необхідно проаналізувати теоретичні роботи і практичні винаходи з цієї тематики. Інтенсивні дослідження турбулентного полум'я, проведені з 1940 р., коли Дамкхелер за допомогою доріжки змішування Прандтля першим довів вплив діапазону турбулентності і товщини ламінарного полум'я на швидкість турбулентного спалювання. У 1941 році Холмогоров опублікував свої міркування щодо структури турбулентності. Роком пізніше він опублікував модель турбулентності з описанням її у вигляді рівнянь, що зробило можливим визначення середнього квадратичного значення пульсації швидкості і цілковитого діапазону турбулентності [5]. Це, однак, не було використано в теорії спалювання внаслідок недооцінки ролі цих параметрів і відсутності можливості їх вимірювання.

Подальші дослідження структури ламінарного і турбулентного полум'я були проведені Карловітцем, Климовим і Тейлором і стосуються опрацювання моделей цього полум'я. Недоліком запропонованих ними моделей турбулентного полум'я є їх недостатнє експериментальне підтвердження. Газове полум'я досліджувалось з погляду складних фізико-хімічних питань. Проблема значно ускладнюється вже у випадку спалювання рідкого палива, де спалюванню передуює розпилення рідкого палива у вигляді крапель. Істотний вплив на спалювання поодинокі краплини палива має його вид (легкі і важкі палива), розмір крапель і швидкість їх руху. Це створює великі труднощі для описання механізму спалювання поодиноких крапель. Далі складність зростає при спалюванні струменя крапель. У цій ситуації з'являється багато процесів, які істотно впливають на характеристику полум'я. До цих процесів можна віднести зіткнення крапель, динамічні зміни їх форми, процеси внутрішнього нагрівання, дифузії маси крапель з багатьма складниками, реакції у рідкій фазі, процеси займання у газовій фазі погашення, а також такі явища, як мікроривбухи чи досягнення критичних і надкритичних станів. Виявляється, що при нинішньому стані знань можна якісно уявити основні механізми випаровування і спалювання крапель, хоча кількісного опису цих явищ постійно не вистачає. Насправді ми не в стані якісно обчислити жодного з головних параметрів спалювання для випадку сферично-симетричного визначеного спалювання краплі палива одного складу [1].

Використання вугілля як палива у промислових установках відбувається шляхом спалювання шару на решітці, спалювання дрібного вугільного пилу (< 100 мкм) у факелі, чи також спалювання великих кількамільметрових зерен вугілля (1- 10 мм) у флюїдальних топках. Найпоширенішим у промисловому використанні вугілля як джерела теплової енергії є спалювання вугільного пилу в факелі. Спалювання поодинокого зерна вугілля є процесом дуже складним, що складається з багатьох фізичних і хімічних явищ. У цьому процесі присутні такі явища, як обмін теплом зерна з оточуючим його газовим середовищем і нагрітими стінками камери спалювання, в результаті чого зростає температура зерна, випаровування вологи, що міститься у ньому і виділення летючих речовин, які, зустрічаючи у оточуючому їх середовищі кисень, спалюються. Водночас відбувається фізико-хімічне перетворення мінеральної субстанції вугілля у вигляді окремих частинок чи включень, виявлених під час спалення зерен вугілля. Одночасно з цими явищами спалюється коксоване зерно. Спалювання коксової частини відбувається внаслідок дифузії кисню, його хімічної реакції з вугіллям зерна, вторинних реакцій продуктів спалювання на їх нагрітій поверхні і поблизу неї. Вже на підставі цього короткого опису можна стверджувати, що одночасний аналіз процесів, які відбуваються при спалюванні поодинокого зерна, є практично неможливим [5]. Ситуація ускладнюється і надалі, коли необхідно аналізувати спалювання вугільного пилу у факелі. Вугільний пил утворюється помолом вугілля на дрібні частинки, 80 % маси яких становить зерно, менше від 75 мкм [5]. Займання і стабілізація полум'я факела отримується за допомогою рециркуляційних вихорів, які переносять частину гарячих продуктів згоряння з області згоряння до області займання. У струмені суміші спочатку утворюється і спалюється суміш легких компонентів з повітрям. Якщо пил містить мало легких частинок, тоді обов'язковим є початкове нагрівання суміші, щоб одночасно з запаленням вони могли інтенсивно реагувати, тим самим підтримуючи процес. Рециркуляційне транспортування продуктів згоряння до пилової суміші спричиняє зменшення концентрації складових реакції, але робить можливим їх швидке нагрівання до відповідно високої температури. Визначення в цих умовах величин параметрів спалювання струменя пилової суміші є проблемою складною і нині не розв'язаною.

Оцінюючи макроскопічним способом турбулентний потік, слід зауважити, що його параметри є постійними в часі, хоча коливаються біля середніх значень. Коливання спостерігаються у потоці внаслідок періодичної появи і зникнення хаотичного руху вихорів з великою різницею у розмірах. Найбільші з них мають розміри цілого об'єму речовини, що пропливає. Далі спостерігається неперервне розподілення щораз менших вихорів аж до деякої границі, що називається внутрішнім діапазоном, де виникає дисипація енергії внаслідок в'язкості. Найбільші вихори виникають внаслідок нестабільності головного потоку, беручи з нього енергію. Вони розпадаються на менші, передаючи їм свою енергію доти, доки дисипація у менших вихорах не покладе кінець цьому процесу.

Вже Холмогоров зауважив, що турбулентний потік можна охарактеризувати середньо-квадратичною швидкістю пульсації та їх діапазоном. Нами сформульована задача визначення параметрів спалювання, які б задовільно описували його якісно і зробили можливим вимірювання у промислових умовах [3, 4, 5]. Нами змодифіковано цей підхід і запропоновано параметри вимірювання, що визначають якість спалювання. Це – пульсації полум'я та інтенсивність його свічення, яке є сигналом, пропорційним до його температури. Перші досліді з цими параметрами були проведені на початку 90-х років [1, 2, 3, 4, 5]. Результати виявилися досить цікавими як з погляду досліджень, так і щодо практичного використання. Незамінною для застосування у цих умовах виявилася світловодна техніка, за допомогою якої сконструйовано вимірювальні системи (рис. 1).

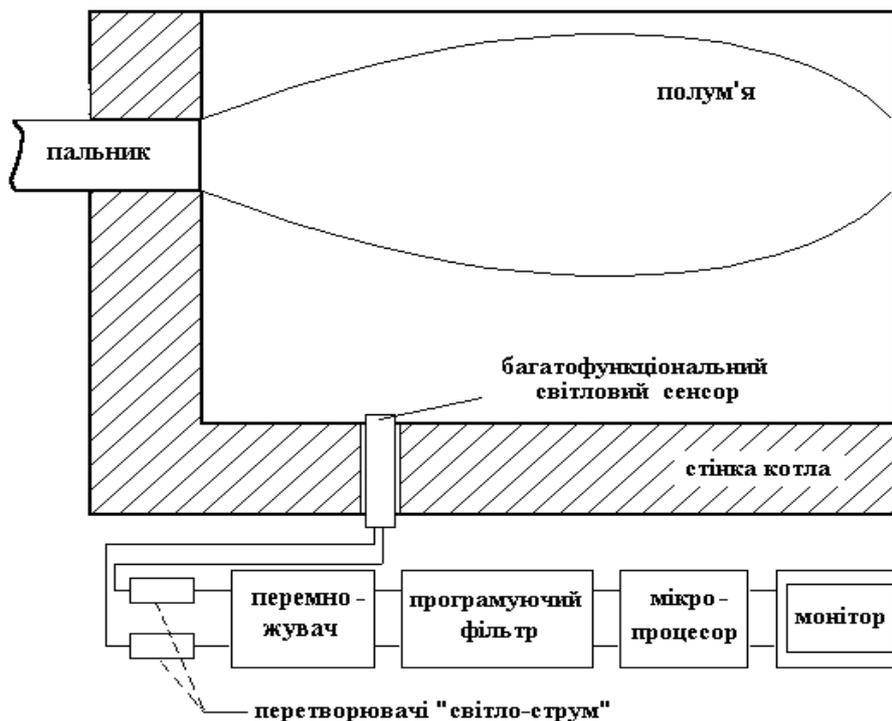


Рис. 1. Багатофункціональна система контролю полум'я для роботи у промисловому енергетичному котлі з пристінними пальниками

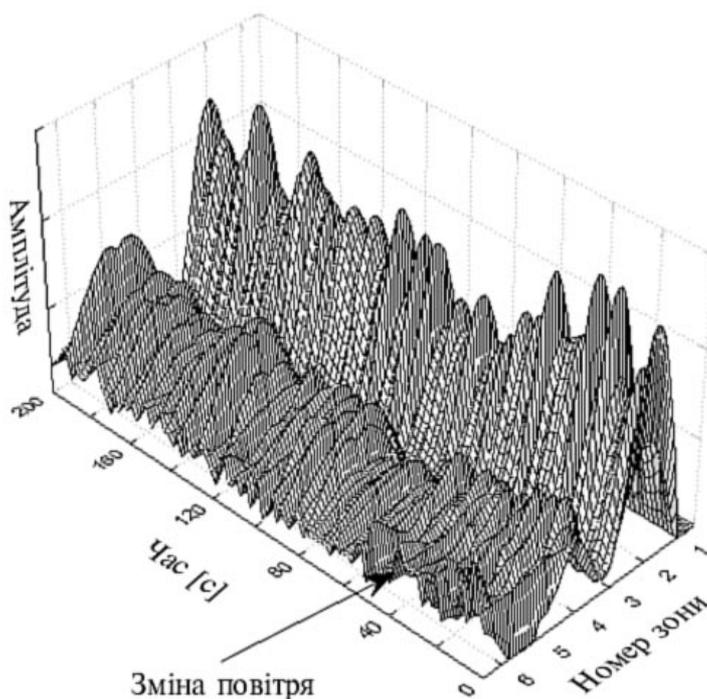


Рис. 2. Зміна пульсації залежно від зони полум'я

Попередньо проведені дослідження просторових розподілень пульсацій (рис. 2) і інтенсивності свічення, вплив вхідних сигналів на ці параметри (рис. 3, 4) і вплив на них навантаження котла. Аналізи дали змогу вибрати такі області полум'я, в яких чутливість до змін вхідних параметрів є найбільшою. Слід звернути увагу на те, що істотний вплив на

параметри має вид пальника, вигляд і розмір камери, а також технологія спалювання. Тому обов'язковими є дослідження тих зон полум'я, що підлягають вимірюванням. Необхідно враховувати, що світловодні вимірювальні сенсори, розміщені всередині камери, працюють у дуже важких умовах. Їх конструкція повинна забезпечувати період безперервної експлуатації без обслуговування один рік. Виявлено, що важливим фактором при керуванні є відповідний кут прийому [1, 8]. Він часто служить компромісом між величиною сигналу, отриманого в приладі, і розмір зони полум'я, що підлягає вимірюванню. Можна стверджувати, що у принципі кут прийому завжди повинен бути обмеженим. Нами розроблено вимірювальний прилад з мікропроцесорним пристроєм, що забезпечує можливість розширення отримання інформації.

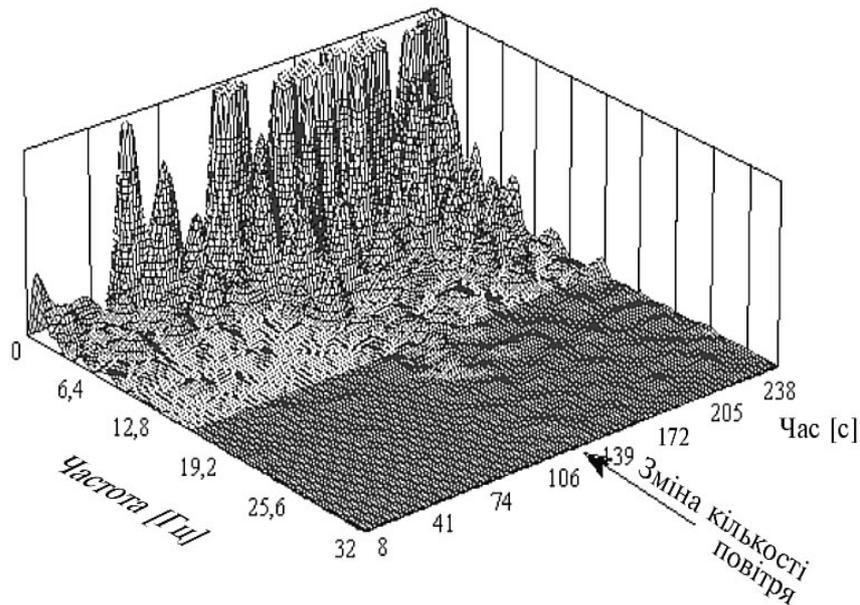


Рис. 3. Вплив зміни кількості повітря на величину пульсації у вибраній зоні полум'я

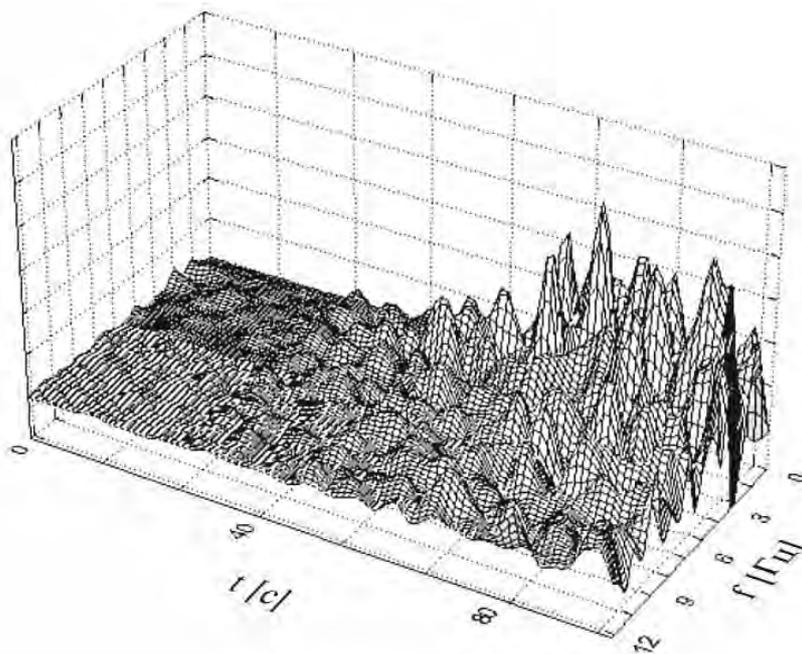


Рис. 4. Вплив включення мазуту на величину пульсації у вибраній зоні полум'я

Для оптимального проведення процесу згоряння в енергетичних котлах слід забезпечити відсутність аварії. Це особливо важливо під час розпалювання котла, коли погашення полум'я у випадку неодноразової подачі палива може призвести до небажаних аварійних ситуацій. Ненадійність функціонування сенсора для визначення погашення полум'я, який є під'єднаним у систему забезпечення безаварійної роботи котла, може спричинити повторення розпалювання. Це призводить до втрат палива, а також спричиняє запізнення входу цілого блока до енергетичної мережі, що ще збільшує вищеописані затрати.

З цією метою був розроблений світловодний сенсор погашення полум'я [7]. Порівняно з класичними сенсорами, т. зв. "фотокомірками", вони не спричиняють зайвих вимкнень під час роботи пальника.

Виявлено, що найбільше інформації щодо якості згоряння можна отримати, досліджуючи початкові зони згоряння, в яких міститься фронт полум'я. Фронт полум'я може давати інформацію, яка стосується безпечної роботи котла, наприклад, повернення полум'я до пальника, що може призвести до його можливого знищення. Нами був сконструйований світловодний сенсор, що виявляє це явище в його початковій фазі [6]. Це робить можливим безаварійне вимкнення пальника чи таку зміну умов, що є необхідною для його нормальної роботи [1 – 9].

На основі проведених досліджень підтвержено можливість контролю теплових процесів спалювання оптичними методами за розподілом температури полум'я та його пульсацією на основі світловодної техніки. Показано, що конструкція розміщення світловодів у робочому стані та кут входження світлового сигналу в світловід залежить від реальних процесів спалення. Встановлено вплив кількості повітря на величину пульсації в зоні полум'я.

1. Wójcik W. *Application of PCS fibres for multiple zone flame measurements in industrial power burners* // *Optica Applicata*. – 1999. – N. 1-2. V. XXIX. – P. 201-212.
2. Wójcik W. *Flame flicker measurements in industrial conditions*//*Proceedings of SPIE 'Optoelektronic and Electronic Sensors III*. – V. 3730. 1999. – P. 158-166.
3. Wójcik W. *The utilization of flame in the fibre optic system for combustion quality evaluation in industrial energetic boilers* // *Conf. Proc., EUROSENSORS XI*. – V. 3 – Warszawa. 1997. – P. 997-1000.
4. Wójcik W. *Optical fibre system for flame monitoring in energetic boilers, Technology and Applications of Lightguides*//*Proceedings of SPIE-V*. 3189. 1997. – P. 74-82.
5. Wójcik W. *Swiatłowodowy układ do diagnostyki procesu spalania* // *Mat. Konf- II Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Diagnostyka Procesów Przemysłowych"*. – Zielona Góra. 1997. – S. 401-406.
6. Вуйцик В., Готра З. *Світловоди для контролю роботи пилевого пальника* // *Вісн. НУ "Львівська політехніка"*. 2000. – № 404. – С. 39-51.
7. Patent N AI (21) 33097. *Sposób wykrywania odrywania się płomienia od wieńca niskoemisyjnego palnika wirowego i czujnika do tego sposobu* / Wójcik W., Smolarz A., Zieliński W., Kotyra A. – Zgłosz. 18.01.1999. Opubl. 31.07.2000. *Buletin Urzędu Patentowego N 16 (694)*. 2000.
8. Zgłoszenie patentowe N P 33385. *Swiatłowodowy czujnik zaniku płomienia w pojedynczym palniku* / Wójcik W., Gotra Z., Kotyra A., Smolarz A. – Zgłosz. 17.06.1999.
9. Zgłosz. Patentowe N P 332263. *Układ pomiarowy do monitorowania pracy palników naściennych* / Wójcik W., Gotra Z., Kotyra A., Smolarz A. – Zgłosz. 26.03.1999.