

чотириполюсника. Отже, необхідно знайти перехідні процеси і умови, які відповідають за визначення елементів матриці. Особливістю роботи термоперетворювача як чотириполюсника є те, що вихідна сторона, чутливий елемент, у всіх випадках знаходиться в режимі неробочого ходу. Всі інші режими означали би, що в чутливому елементі існує втрата потужності, витікання тепла, що фізично не може бути здійснено. Режим короткого замикання на вхідній стороні, тобто на поверхні термоперетворювача, означає, що температура середовища дорівнює температурі поверхні, тобто опір тепловіддачі дорівнює нулеві. Режим неробочого ходу на вхідній стороні практично неможливо здійснити, це означає, що з поверхні термоперетво-

рювача відсутній потік тепла при виділенні потужності в чутливому елементі. У такий спосіб визначити елементи матриці, подавши термоперетворювач в цілому як чотириполюсник, є неможливим. Розв'язати цю задачу є можливим двома іншими шляхами. Перший шлях – це подання складових частин перетворювача окремими чотириполюсниками і другий шлях – це експериментальний, при ньому дуже важливою є методика експериментального визначення матриці термоперетворювача.

*1. Гарднер М. Ф., Бернс Дж. Л. Переходные процессы в линейных системах: Пер. с англ. М., 1961. 2. Бардило В.И. Моделирование термометра сопротивления электрическим четырехполюсником // Измерит. техника, 1973, № 3.*

УДК 536

## РОЗРОБЛЕННЯ СВІТЛОВИДНИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ПРОЦЕСІВ

*© Вольдемар Вуйцік, Зенон Готра, Анджей Смоляж, Анджей Котура, Павел Комада, 2000*

Люблінська політехніка, вул. Надбистрицька, 38, Люблін, Польща  
Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра “Електронні прилади”,  
вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

***Описано конструкцію світловодного сенсора, призначеного для контролю процесів згоряння. Розглянуто основні проблеми, що виникають під час пуску котла. Визначено концепцію сенсора для вимірювань кількості вугільного пилу, що доводиться до пальника.***

***Описана конструкция световодного сенсора, предназначенного для контроля процессов сгорания. Рассмотрены основные проблемы, возникающие при запуске котла. Определена концепция сенсора для измерения количества угольной пыли, которое подводится к горелке.***

***In this work the design of fiber light guide sensor for combustion process control is described. The basic problem, which arise at the time of a boiler starting process are considered. The design of the sensor is fixed for measuring of coal dust quantity, which is provided to the burner.***

Технологія низькоемісійного згоряння вимагає наявності відповідного оснащення кожного з пальників, а саме приладів, призначених для контрольних вимірювань, що пов'язано зі зростанням кількості сигналів, які керують пальником, порівняно з традиційною технологією згоряння, а також меншими і допустимими змінами цих сигналів. Особливо важливим є визначення кількості вугільного пилу, що надходить до пальника. Дотепер застосовували непрямі вимірювання параметрів, пропорційних до навантаження млина і млинового вентилятора. Точність цих вимірювань можна вважати оцінною. Враховуючи те, що один млин обслуговує кілька пальників, розподіл пилу між

окремими пальниками невідомий. Прилади автоматичного регулювання, що застосовують при низькоемісійному згорянні для ефективного проведення процесу, допускають 10% відхилення кількості пилу поміж окремими пальниками. На практиці виявляється, що дотримання таких вимог існуючими методами вимірювань є неможливим. Проведені дослідження показали, що нерівномірність кількості пилу, що доводиться до окремих пальників, досягає навіть 40%. Це, звичайно, має вплив на зростання емісії токсичних речовин, зниження коефіцієнта корисної дії і зростання втрат, пов'язаних з недопалюванням. З метою отримання кращого згоряння у низькоемісійних пальниках з більшою

швидкістю потоку як суміші, так і додаткового повітря [4] з'являються проблеми горіння, особливо під час пуску котла. Застосовувані раніше сенсори, що реагують на різницю тиску на визначених рівнях у котлі, а також фотосенсори (у кількості 3 шт.) не можуть бути застосовані для пуску. З цих причин всі низькоемісійні пальники, як правило, обладнані фотосенсорами (виробництва фірм Honeywel, Lund та ін.), що виконують одночасно роль сенсора погашення полум'я. Це збільшує віддачу при пуску котла, але не усуває тієї ситуації, коли ще не запалений пил діафрагмує полум'я спалюваного мазуту і пальник вимикається з нормальної роботи. Такі сенсори встановлюються у кутових і крайніх пристінних пальниках у високопотужному енергетичному котлі, у якому найчастіше згоряє вугільний пил [1]. Сенсори, переважно, вмонтовують всередині пальника під невеликим кутом до його осі. Вони діафрагмуються розпиленою вугільно-повітряною сумішшю, що може призвести до помилкового реагування сенсора, особливо при пуску котла. Ці сенсори з огляду на допустиму температуру роботи ( $50^{\circ}\text{C}$ ) вимагають інтенсивного охолодження, незважаючи на велике теплове випромінювання. Для запобігання цим явищам було розроблено ряд світловодних сенсорів.

Розроблений нами сенсор містить, як мінімум, три світловодні волокна. Вони розміщені так, щоб конус першого спостереження обіймав виліт пальника, а конуси наступних були скеровані до внутрішньої частини камери (рис.1). Конуси бачення двох сусідніх світловодів мають спільну частину, а осі їх симетрії лежать в одній площині з віссю пальника. Світловоди були прилаштовані до оптоелектронних перетворювачів, а далі, за допомогою електричних провідників,

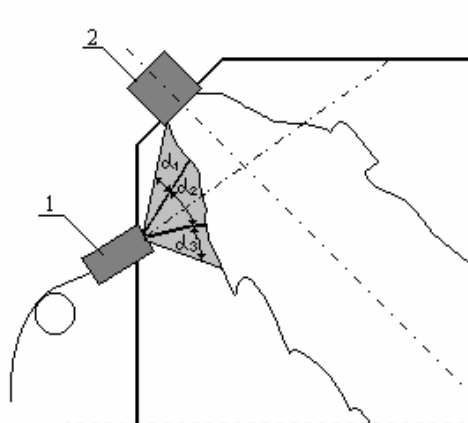


Рис. 1. Світловодний сенсор погашення полум'я в одному пальнику: 1 – світловодна головка сенсора, 2 – пальник,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  – кути акцептації світловодів

до мікропроцесора із стандартним виходом. Світловодний сенсор погашення полум'я в одному пальнику характеризується тим, що вимірювальна головка може бути розміщена під кутом  $45-90^{\circ}$  відносно поздовжньої осі на віддалі порядку 1 м від його вильоту. Залежно від типу світловодів сенсор може працювати при температурі  $100^{\circ}$  чи  $350^{\circ}\text{C}$ . У разі застосування спеціальних світловодів допустима температура неперервної роботи може зрости до  $650^{\circ}\text{C}$ , а навіть до  $750^{\circ}\text{C}$ .

Нами також розроблено сенсор для контролю відриву полум'я від вінця пальників, що обертаються. Під час нормальної роботи пальників, що обертаються, особливо низькоемісійних пальників, полум'я не повинно відриватися від вінця. Однак існують ситуації, при яких полум'я може вернутися до пальника і тим самим спричинити його знищення. Воно може також відсунути у глибину котла, викликаючи погіршення умов змішування палива і повітря, що призводить до зменшення зон згорання і зростання емісії токсичних речовин, а також зменшення ефективності процесу. Більш ранні методи дозволяють виявити присутність чи погашення полум'я. Такий сенсор може інтерпретувати вищеописані процеси як погашення полум'я і вимкнути пальник. Для уникнення цього явища був розроблений світловодний сенсор [2]. Метод визначення відриву полум'я від вінця пальника полягає в тому, що вимірювання виконуються за допомогою двох світловодів із зменшеними кутами акцептації. Оптичні сигнали з цих світловодів перетворюються в електричні і є пропорційними до інтенсивності випромінювання полум'я, з яких виділяються змінні складові. Відрив змінної складової у першому сигналі ближнього пальника (рис.2) при наявності змінної складової у другому сигналі свідчить про відрив полум'я від вінця. Присутність тільки постійної складової в обох сигналах чи тільки у першому за відсутності другого сигналу означає повернення полум'я до пальника. Сенсор складається з головки, що містить два світловоди з однаковими кутами акцептації, обмеженими так, щоб конус акцептації першого з них з невеликим запасом охопив вінець пальника. Другий є зміщеним у глибину котла так, що має тільки  $1/4$  спільної частини з кутом акцептації першого. Осі симетрії світловодів і пальника лежать в одній площині. Оптичні сигнали надходять до оптоелектронних перетворювачів і електричними провідниками до детектора із стандартним виходом.

Для контролю роботи пристінних пальників нами також розроблено конструкцію сенсора. Зонне згорян-

ня характеризується відносно великою стабільністю просторового розподілення у цих зонах. Тому вони можуть служити джерелом інформації для приладів контролю та оцінки якості згорання. З цією метою розроблені світловодні сенсори для вимірювань пульсації та інтенсивності свічення полум'я у його вибраних зонах.

Суть конструкції полягає у тому, що головка світловоду поміщається всередині камери згорання і містить світловоди обмеженої числової апертури у кількості, яка дорівнює числу контрольованих зон полум'я.

Перетворення сигналу відбувається так само, як і у попередніх сенсорах. Для зменшення кількості розгинів, необхідних для контролю сенсорів (кожен з них у деякій мірі розщільнює котел), був розроблений світловодний сенсор, що дозволив провести одночасний контроль двох пальників (рис.3) чи навіть чотирьох (рис.4). Результати вимірювань із застосуванням сенсора з одним пальником детально описані у роботах [4-6].

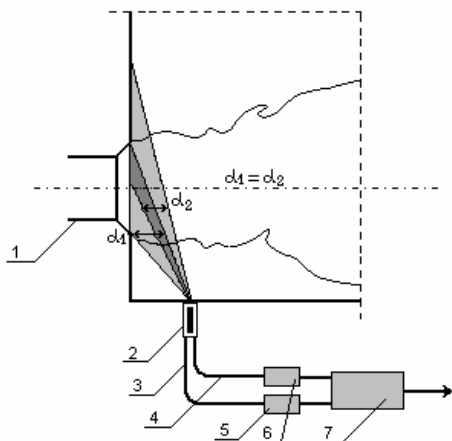


Рис. 2. Світловодний сенсор відривання полум'я від вінця пальника: 1 – пальник, 2 – вимірювальна головка, 3, 4 – світловоди, 5, 6 – оптоелектронні перетворювачі, 7 – детектор

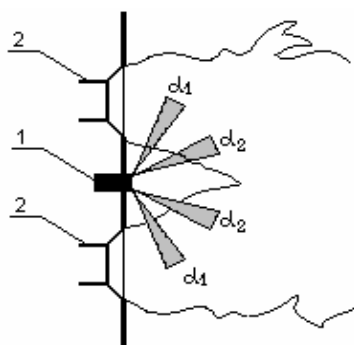


Рис. 3. Світловодний сенсор для контролю двох пристінних пальників: 1 – світловодна вимірювальна головка, 2 – пальники,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – кути акцептації світловодів

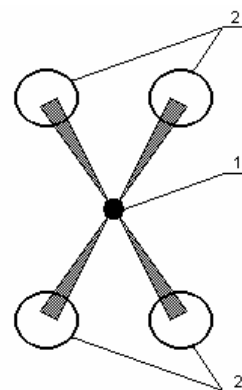


Рис. 4. Одночасний контроль чотирьох пристінних пальників із застосуванням світловодного сенсора: 1 – світловодна багатоканальна вимірювальна головка, 2 – пальники

### Висновки

Представлено ряд сенсорів, призначених для обслуговування технологічного процесу згорання в енергетичних котлах. Частина описаних світловодних сенсорів використовується на практиці. Вони підтвердили свою придатність, а у випадку пальників, що відхиляються від початкового положення у додатному чи від'ємному напрямі, світловодні сенсори відповідають вимогам роботи у промисловості. Розпочаті роботи над конструкцією оптичного сенсора, що призначений для вимірювань кількості вугільного пилу, який доводиться до одиничного пальника, дають настільки цікаві результати, що найближчим часом такий сенсор буде виконаний промислово.

1. Zgłoszenie patentowe N P 333854- Swiatlowodowy czujnik zaniku płomienia w pojedynczym palniku / Wójcik W., Gotra Z., Kotyra A., Smolarz A. Zgłoszono 17.06.1999. 2. Patent NA1 (21) 330937. Sposób wykrywania odrywania się płomienia od wieńca niskoemisyjnego palnika wirowego i czujnika do tego sposobu / Wójcik W.: Smolarz A., Kotyra A., Zieliński W. Zgłoszono 18.01.1999. Opublikowano 31.07.2000, Biuletyn Urzędu Patentowego N 16 (694), 2000. 3. Zgłoszenie patentowe N P 332263. Układ pomiarowy do monitorowania pracy palników naściennych / Wójcik W., Gotra Z., Kotyra A., Smolarz A. Zgłoszono 26.03.1999. 4. Wójcik W. Application of PCS fibre multiplezone flame measurements in industrial power burner // Optica Applicata. Vol. XXIX. № 1-2. 1999. Pp. 201-212. 5. Wójcik W. Flame fucker measurements in industrial conditions // Proceedings of SPIE " Optoelektronic and Elektronic Sensors III". Vol. 3730, 1999. Pp. 158-166. 6. Wójcik W. Swiatlowody w zastosowaniu do kontroli pracy palnika pyłowego // Mat. Konf. Naukowo-Technicznej „Diagnostyka jakości spalania w nergetyce”, Ustroń-Zawodzie. 1998. S. 333-348- referat zaproszony.