УДК 536.62 : 536.51

Бурова З.А.¹, Грищенко Т.Г.², Декуша Л.В.²

**ПЕРВИННІ ЗАСОБИ МОНІТОРИНГУ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

¹ *Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Київ, Героїв Оборони 15, 03041

² *Інститут технічної теплофізики НАН України*

Київ, Желябова 2а, 03680

Burova Z.A.¹, Grischenko T.G.², Dekusha L.V.²

**THE PRIMARY MONITORING DEVICES OF POWER OBJECTS
THERMOPHYSICAL PARAMETERS**

¹ *National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Kyiv, Heroyiv Oborony 15, 03041

² *Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine*

Kyiv, Zhelyabov str. 2a, 03680

Анотація. В роботі розглядаються моделі первинних сенсорів теплового потоку і температури та засоби вимірювання на їх основі для якісного моніторингу теплового стану об'єктів промислової теплоенергетики.

Ключові слова: тепловий потік, температура, сенсор, моніторинг, теплоенергетичний об'єкт.

Abstract. In the article the models of primary heat flux and temperature sensors and measurement devices based on them to high-quality monitor the thermal state of industrial power systems are described.

Key words: heat flow, temperature, sensor, monitoring, power object.

Вступ. При обстеженні теплового стану теплоенергетичних об'єктів, зокрема, котлів, котельного обладнання, теплопроводів тощо для визначення тепловтрат необхідно одночасно вимірювати основні теплофізичні параметри –

температуру та тепловий потік – у багатьох точках об'єкту протягом досить тривалого часу. Це обумовлено тим, що енергетичне обладнання, як правило, змінює режими роботи в залежності від навантаження, яке в свою чергу змінюється не лише протягом сезону, але й протягом доби. Крім того, ефективність та ресурс роботи теплогенеруючого обладнання значною мірою залежать від стану теплової ізоляції.

Огляд літератури. Моніторинг теплотехнічних параметрів і характеристик теплоенергетичних об'єктів повинен мати відповідне приладове забезпечення. Для визначення температури існує досить багато різноманітних приладів, що реалізують як контактний, так і безконтактний методи вимірювань. Для вимірювання густини теплового потоку, теплового опору та теплофізичних властивостей в Україні серійно розробляються спеціалізовані вимірювальні прилади [1, 2] на основі первинних перетворювачів (сенсорів) теплового потоку (далі – ПТП) [3] і температури (далі – ПТ) [4]. Застосування ПТП та засобів вимірювання на їх основі дозволяє шляхом прямих вимірювань визначати теплові втрати крізь огорожувальні конструкції (далі – ОК) енергетичного обладнання.

Вхідні дані та методи. При виборі засобів вимірювань для обстеження конкретної ОК необхідно врахувати багато факторів: тип ОК, її характеристики, наявність внутрішніх включень контрастної теплопровідності (наприклад, закладних деталей), ступінь шорсткості поверхні, умови теплообміну ОК з довкіллям тощо. При виконанні моніторингу теплогенеруючих установок при відсутності додаткових джерел теплового випромінення та за можливості забезпечення однакових ступенів чорноти поверхонь вимірювального ПТП і ОК зазвичай використовують ПТП двох моделей: у жорсткому (рис. 1, а, в) та у гнучкому (рис. 1, б, г) виконанні, в яких конструктивно об'єднані первинні перетворювачі ПТП і ПТ [2]. Первинні сенсори застосовують разом зі стандартним засобом вимірювання напруги постійного струму або у комплекті вимірювальних сенсорів нестандартизованих спеціалізованих цифрових

вимірювачів теплового потоку і температури моделей ИТП-22, ИТП-23, ИТП-23М, ИТП-24 [2] (рис. 1, д,е).

Рис. 1. Конструктивні схеми ПТП в жорсткому (а, в) та гнучкому (б, г) виконанні та приладові засоби вимірювання на їх основі (д, е):

*1 – батарея біметалевих термоелементів; 2 – перетворювач температури;
3 – теплосприймальна чутлива зона; 4 – охоронна зона; 5 – корпус;
6 – виводи ПТП і ПТ; 7 – мітка поверхні ПТП для визначення напрямку теплового потоку; 8 – кабельний з'єднувач із номером ПТП;
9 – кріпильна пластина; 10 – кріпильні отвори.*

В сенсорах обох моделей (рис. 1) у якості вмонтованого ПТ для визначення температури поверхні контрольованого об'єкту застосовано хромель-алюмелеву термопару зі статичною характеристикою перетворення типу ТХА (К) згідно з [4], робочий спай якої розташований у центрі ПТП. Сенсори ПТ генерують термоЕРС, пропорційну різниці температури між робочим і опорним спаєм, до якої з мостової схеми додається сигнал,

пропорційний температурі опорного спаю. Сумарний сигнал відповідає значенню температури поверхні контролюваного об'єкту.

Корпус кожного ПТП жорсткого виконання закріплено на висувній телескопічній штанзі для зручності контролю гарячих поверхонь та високо розташованих об'єктів. На штанзі також змонтовано ПТП_{пов} для вимірювання температури повітря поблизу поверхні контролюваного об'єкту. Сенсор ПТП_{пов} є хромель-алюмелевою термопарою, робочий спай якої розміщений у корпусі, виготовленому з тонкостінної металевої трубки.

Результати. Обговорення і аналіз. Розміщення ПТП на поверхнях об'єктів контролю показано: на рис. 1, в – жорсткого ПТП на пласкій поверхні обмурівки котла; на рис. 1, г – гнучкого ПТП на циліндричній поверхні трубопроводу. При необхідності вимірювання густини теплового потоку одночасно декількома ПТП, розташованими в різних точках контрольованої поверхні, доцільно забезпечувати таку відстань між сусідніми ПТП, при якій виключено вплив кожного на температурне (або теплове) поле іншого.

Ідентичні за конструктивним виконанням жорсткі ПТП мають відмінності в ступені чорноти їхніх прийомних поверхонь, що зумовлено задачами досліджень, що проводяться. Наприклад, при обстеженні об'єктів, що обшиті зовні металом (алюмінієм, нержавіючою сталлю та ін.), застосовується ПТП, покриття теплосприймальної поверхні якого має ступінь чорноти $0,20 \pm 0,02$. В інших випадках під час вимірювань застосовуються ПТП зі ступенем чорноти $0,92 \pm 0,02$. Якщо ступінь чорноти дослідної поверхні теплообміну відрізняється від ступеня чорноти ПТП більш ніж на $\pm 0,05$, для забезпечення вірогідності вимірів на теплосприймальну поверхню ПТП наклеюють тонку плівку з відповідним значенням ступеня чорноти.

При відсутності такого вирівнювання дійсне значення густини теплового потоку визначають розрахунковим шляхом за методикою, що враховує виміряні значення конвективної і радіаційної складових теплообміну, а також температури поверхні контролюваного об'єкту і середньої температури поверхонь, що оточують його. Так, у випадку, коли поверхні конструкцій,

грунту, будівель і споруд, що оточують досліджуваний об'єкт, мають приблизно однакову температуру і ступені чорноти, близькі до 1,0 (від 0,75 до 1,0), наближений розрахунок може бути виконаний за формулою:

$$q_0 \approx q_{\text{ВИМ}} - \sigma \cdot (\varepsilon_{\text{ПТП}} - \varepsilon_{\text{П}}) \cdot ((t_{\text{П}} + 273)^4 - (t_{\text{НП}} + 273)^4) \quad (1)$$

де q_0 і $q_{\text{ВИМ}}$ – дійсне й вимірне значення густини теплового потоку на поверхні об'єкту, Вт/м²; $t_{\text{П}}$ і $t_{\text{НП}}$ – температура поверхні контрольованого об'єкту і середня температура навколишніх поверхонь, °С; $\varepsilon_{\text{ПТП}}$ і $\varepsilon_{\text{П}}$ – ступінь чорноти вільної поверхні ПТП і ступінь чорноти поверхні контрольованого об'єкту (значення для різних матеріалів систематизовані в нормативній літературі).

Висновки. Застосування первинних сенсорів теплового потоку і температури та засобів вимірювання вітчизняного виробництва на їх основі дозволяє проводити якісний моніторинг теплового стану теплоенергетичних об'єктів та шляхом прямих вимірювань визначати теплові втрати крізь їх огорожувальні конструкції.

Література:

1. Геращенко О.А. Основы теплотетрии. – К. : Наук. думка, 1972. – 172 с.
2. Приборы для теплофизических измерений : Каталог [Електронний ресурс]. – Київ : ІТТФ НАН України, 2010. – 59 с. – Режим доступу: http://ittf.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/02/catalog_priborov_sensorov.pdf
3. Енергозбереження. Перетворювачі теплового потоку термоелектричні загального призначення. Загальні технічні умови : ДСТУ 3756–98 (ГОСТ 30619–98) / Розробники: Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Воробйов Л.Й. – Київ: Держстандарт України, 2000. – 21 с.
4. Перетворювачі термоелектричні. Номінальні статичні характеристики перетворювання : ДСТУ 2837–94 (ГОСТ 3044–94). – 238 с.

Статтю відправлено: 03.10.2016 г.

© Бурова З.А., Грищенко Т.Г., Декуша Л.В.