

*Подано опис експериментального устаткування для відпрацювання способу вимірювання температури розплаву металу за допомогою оптичного волоконного пірометра. Температуру пропонується вимірювати шляхом занурення зонду в метал через шар шлаку.*

**УДК 389:535.24**

**Г. І. Петриченко,**  
зам. директора  
ТОВ НВФ “Харків-Прилад”  
E-mail: [office@pribor.kharkov.ua](mailto:office@pribor.kharkov.ua)

## **РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РОЗПЛАВУ МЕТАЛУ ОПТИЧНИМ СПОСОБОМ**

### **Введення**

Очевидно, що для вимірювання температури металу під шаром шлаку неможливо застосовувати способи для вимірювання температури поверхні безпосередньо. Цьому заважає товстий шар шлаку, який має температуру, що істотно відрізняється від температури металу під шлаком. До того ж на границі розділу металу й шлаку можуть відбуватися інтенсивні хімічні реакції, які також супроводжуються змінами температури. Існуючі технології варіння сталі побудовані на вимірюванні саме температури металу. Тому очевидно, що доведеться застосовувати один із існуючих варіантів конструкцій із зондами.

Можливі декілька варіантів побудови зонду. Зонд може бути відкритим або закритим. Відкритим зондом ми будемо називати зонд, в якому оптичний датчик буде безпосередньо направлений на поверхню металу, тобто поверхня металу буде відкритою для оптичного датчика. Закритим зондом ми будемо називати зонд, в якому оптичний датчик буде направлений на поверхню якої-небудь проміжної речовини, яка буде “передавати” температуру металу.

Очевидно, що для того, щоб пробити шар шлаку, на етапі занурення зонду в метал для запобігання потрапляння шлаку в зонд, що призведе до невірної виміру температури, зонд повинен бути закритий захисним ковпачком.

На сьогодні в промисловості використовуються два основних способи контактного вимірювання температури сталі: за допомогою одноразових і багаторазових термопар [1–4]. Багаторазові термопари закріплюються на дні графітового наконечника і фактично вимірюють температуру поверхні графіту. Для того, щоб температура графіту зрівнялася з температурою металу треба дещо більше часу, тому при такому способі вимірювання температури зонд знаходиться в металі більше часу. Графітовий наконечник закріплюється безпосередньо на арматурі.

Одноразові термопари розміщуються в кварцовому балоні, що запобігає передчасному руйнуванню термопари, і мають тонкий захисний наконечник із легкоплавкого металу, який розплавляється, коли зонд пробиває шар шлаку, і в подальшому процесі термопара контактує безпосередньо з металом до завершення виміру температури або повного руйнування.

Автор пропонує розглянути обидва ці способи і у застосуванні до пірометра.

Перший спосіб буде побудований на вимірюванні температури поверхні графітового наконечника в замкненому просторі. Другий спосіб буде побудований на вимірювання температури металу, що увійде до зонду після руйнування захисного ковпачка.

Переваги першого способу полягають в тому, що той самий зонд можна використовувати більше одного разу, фактично до повного руйнування. Переваги другого способу полягають в тому, що забезпечується безпосередній оптичний контакт між поверхнею металу і пірометром.

### Конструкція устаткування для вимірювання розплаву металу оптичним способом

В якості пірометра для запропонованого способу вимірювання температури металу пропонується застосовувати волоконний оптичний пірометр із оптичною голівкою встановленою безпосередньо в установчій арматурі. Оптична голівка без електронних елементів спроможна витривати набагато вищі температури. Блок електроніки можна винести у відносно безпечну частину установчої арматури і встановити безпосередньо в тій частині, за яку арматуру буде тримати оператор.

Для апробації способу вимірювання температури за допомогою пірометра було обрано існуючу конструкцію установчої арматури, з відповідними доробками для можливості роботи як із закритим так і з відкритим зондом. Це забезпечено набором змінних перехідних насадок, що встановлюються вже після оптичної голівки пірометра і дозволяють закріплювати на собі або відкритий зонд або закритий зонд.

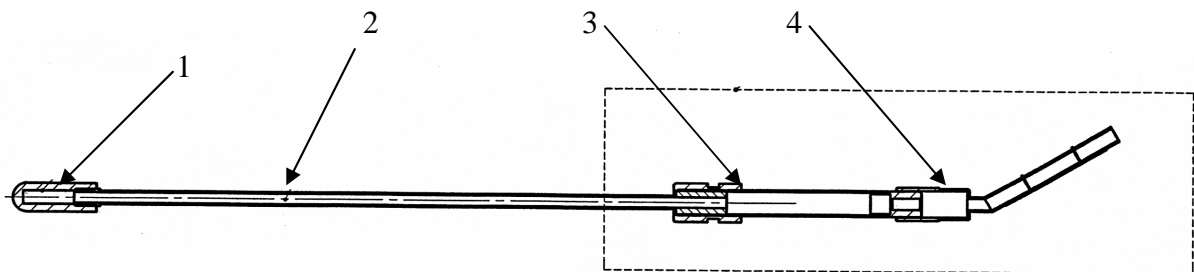


Рис.1 - Конструкція експериментальної установчої арматури.

1 - закритий зонд; 2 - перехідна насадка; 3 - перехідник для встановлення насадок;  
4 – установча арматура із встановленим пірометром

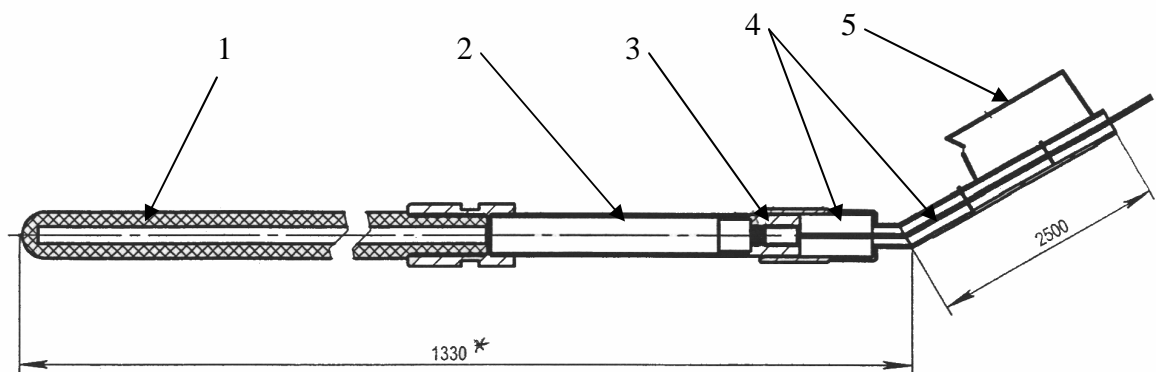


Рис.2 - Інший варіант конструкції експериментальної установчої арматури із закритим зондом  
1 – закритий зонд; 2 – перехідник для встановлення насадок; 3 – оптична голівка волоконного пірометра; 4 – волоконний оптичний кабель; 5 – блок електроніки волоконного пірометра

В якості закритого зонду застосовується графітовий наконечник.

В якості відкритого зонду було вирішено застосувати існуючі пробовідбірники дещо спрощені і перероблені для цілей експерименту. Фактично пробовідбірники є картонними одноразовими циліндричними пакетами із захисною кришкою на кінці. Закріплюються такі пробовідбірники на арматурі таким самим чином, як і звичайно.

Для проведення експериментальних вимірів було обрано кольоровий волоконний пірометр виробництва фірми Raytek серії Marathon – Marathon FR1C. Застосований кабель і оптична головка мають максимально допустиму температуру навколишнього середовища 310 °С, що дозволяє розмістити їх достатньо близько безпосередньо до зонду. Діапазон вимірюваних температур пірометра Marathon FR1C від 1000 °С до 2500 °С. Довжина кабелю 3 м. Пірометр допускає заміну кабелю і оптичної головки у випадку пошкодження без повторного калібрування всієї системи. Робочі спектральні діапазони двох каналів пірометра складають 0,85 ... 1,1 мкм та 0,95 ... 1,1 мкм відповідно.

### Система реєстрації показань пірометра

Показання пірометра можна знімати двома способами: через аналоговий вихід пірометра, або за допомогою промислового цифрового інтерфейсу RS-485. Для того, щоб уникнути похибки додаткових перетворень аналогового сигналу і зробити виміри більше захищеними від електричних наводок, було прийнято рішення для знімання показань пірометра використовувати тільки його цифровий вихід.

Для зняття температурних показань з пірометра і з контактної термопари було зроблено спеціальний інтерфейсний блок, що забезпечує перетворення сигналу термопари в цифровий код, а також передачу зібраних результатів вимірювань з пірометра і з термопари через вбудований порт RS-232. Структурну схему інтерфейсного блоку наведено на рис. 3.

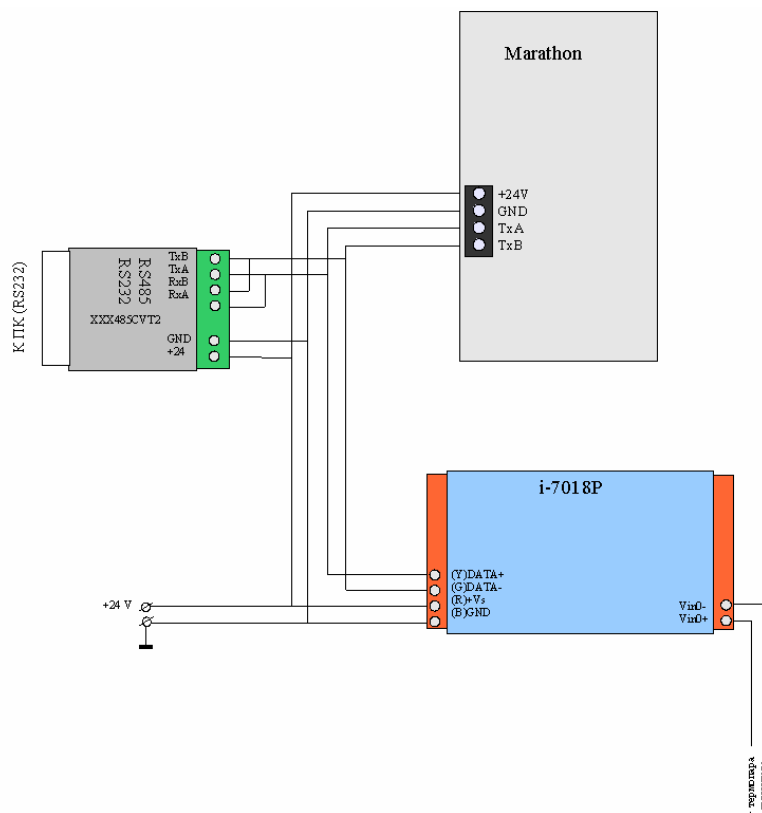


Рис. 3 - Структурна схема інтерфейсного блоку для експериментальних вимірювань

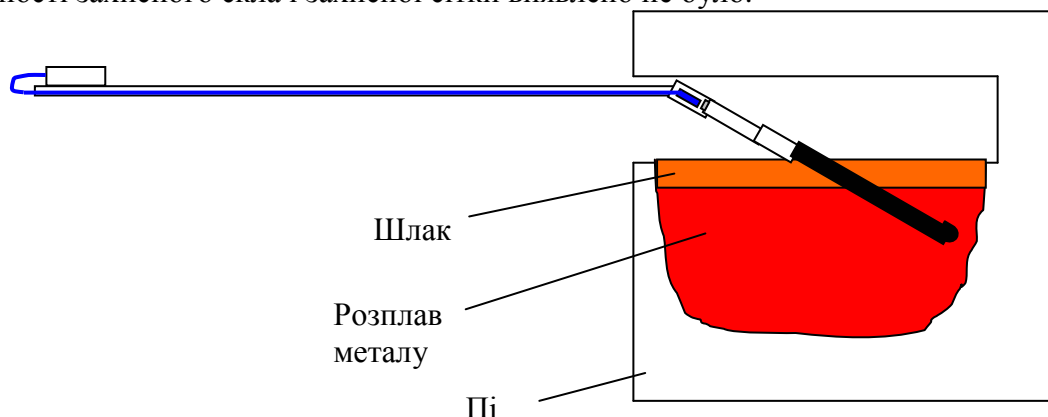
Пірометр може працювати як в потоковому режимі, коли він постійно видає результати вимірювань і інформацію про свій стан відповідно до попередньо заданої конфігурації, так і в опитувальному режимі, коли він видає необхідний параметр у відповідності до запиту. Система команд пірометра дозволяє отримати практично всю необхідну інформацію про вимірювання і їх результати: кольорову температуру, ярісну температуру по кожному із каналів, сигнал приймача кожного із каналів,

випромінювальну здатність, яка застосовувалася для обчислення температури, відношення випромінювальних здатностей для двох робочих спектральних діапазонів, яке застосовувалося для вимірювання температури тощо.

Перетворення сигналу термопар в цифровий сигнал відбувається за допомогою перетворювача I-7018P. Похибка вимірювання температури за допомогою цього перетворювача становить  $\pm 0,1\%$  від вимірюваної величини.

#### Результати експериментальних досліджень

Для захисту оптичної головки від можливих бризок металу було використано конструкцію із захисною дровою сіткою і захисним склом, які легко замінити в разі пошкодження бризками розплавленого металу. Для виявлення впливу наявності захисного скла і металеві сітки на показання пірометра в калібрувальній лабораторії ТОВ СЦ “Харків-Прилад” було проведено калібрування пірометра із встановленими сіткою і склом і без них по чорному тілу Raytek BV6000. В результаті проведених вимірювань залежності показань кольорової температури пірометра від наявності чи відсутності захисного скла і захисної сітки виявлено не було.



Експериментальні дослідження методу вимірювань температури розплавленого металу проводилися на металургійному комбінаті в доменній печі. Схема вимірювань показана на рис. 4.

Рис. 4 - Схема експериментальних вимірювань температури розплаву металу волоконним пірометром

Після проведення пробних вимірювань за допомогою відкритого і закритого зонду було отримано наступні результати, які наведено в графічному вигляді на рис. 5.

Максимальне значення вимірюваної температури, отримане за допомогою пірометра було  $1323\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В той же час, виміри температури термопарою дали значення температури  $1669\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Після проведення вимірювань обстеження оптичної головки пірометра показало виникнення тонкої плівки на оптичних поверхнях головки. Це може свідчити про наявність парів в середині закритого зонду, що можуть заважати вимірюванню температури навіть за допомогою пірометра спектрального відношення. Подальше калібрування волоконного оптичного пірометра показало, що плівка, що утворилася на оптичних поверхнях головки, не впливають суттєво на показання пірометра при вимірюванні температури спектрального відношення, проте впливають на показання в режимі вимірювання яскравісної температури.

#### Висновки

Виходячи з вище приведених результатів можна зробити висновок про те, що запропонований метод є перспективним з погляду можливості безконтактних вимірювань температури розплавлених металів усередині доменних печей а також значного здешевлення процесу вимірювань на металургійних комбінатах. Крім того, дослідження також показали, що для технічної реалізації даного методу необхідно

використовувати систему видалення парів усередині порожнини закритого зонда, які значно впливають на результати вимірювань.

График показаний пирометра

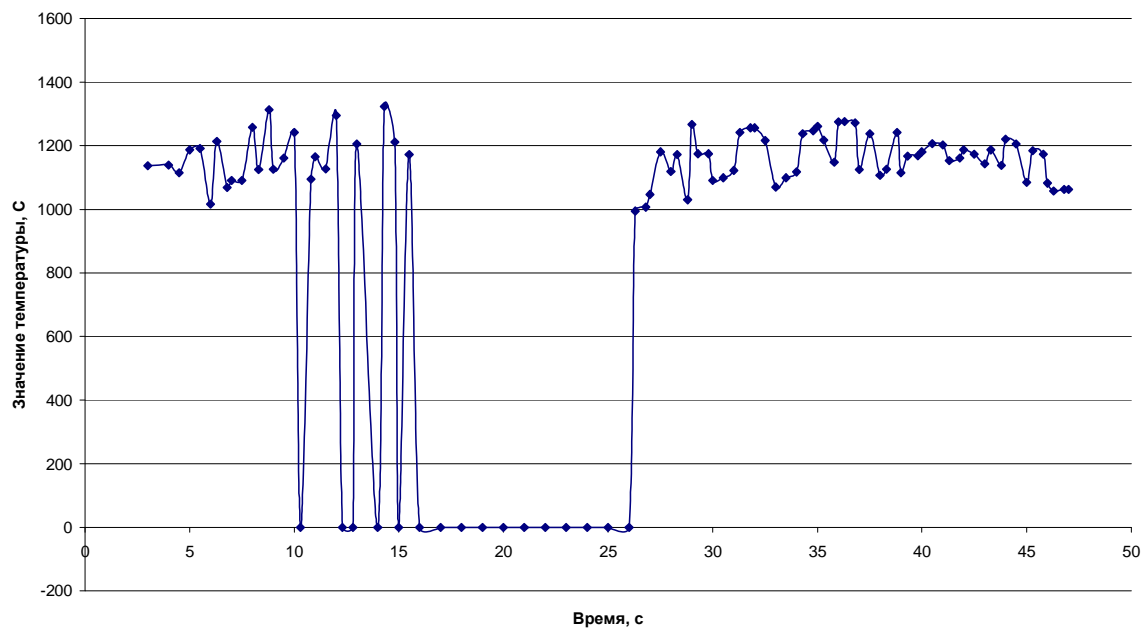


Рис. 5 - График результатов вимірювань температури з використанням закритого графітового зонду

### Література

1. Герашенко О.А., Гордов А.Н. и др. Температурные измерения: Справочное издание. –Киев: Наук. думка, 1989.– 704 с.
2. Линевег Ф. Измерение температур в технике: Справочное издание. / Пер. с нем. – М. : Металлургия, 1980.– 544 с.
3. Гордов А. Н. Основы пирометрии. –М.: Металлургия, 1971.-447 с.
4. Кузьмин Б.А., Авраменко Ю.Е. и др. Технология металлов и конструкционные материалы: Учебник. – М.: Машиностроение, 1981.-351 с.

## РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСПЛАВА МЕТАЛЛА ОПТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Г.И. Петриченко

*Представлено описание экспериментального оборудования для отработки способа измерения температуры расплава металла с помощью оптического волоконного пирометра. Температуру предлагается измерять путем погружения зонда в металл через слой шлака.*

## DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL EQUIPMENT FOR MEASURING OF FUSION OF METAL BY OPTICAL METHOD

G. I. Petrichenko

*Description of experimental equipment is given for working off the method of measuring of temperature of fusion of metal by an optical fibre pyrometer. It is suggested to measure a temperature by immersion a probe in a metal through the layer of slag.*