

# НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ІНФОРМАЦІЯ

## ЛОКАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ

В [1–3] було опубліковано матеріали, що стосуються вимірювання теплових потоків датчиками різних типів, зокрема лінійним калориметричним зондом.

**Метою даної роботи** є вдосконалення конструкції лінійного калориметричного зонда (ЛКЗ).

Вдосконалення полягає в тому, що в середину ЛКЗ встановлюється диференційна термопара (рис. 1). Як видно з рисунка, нагрівання води на ділянці АВ пропорційне тепловому потоку в зонді на цій ділянці або:

$$q = \frac{K \cdot G \cdot c \cdot \Delta t}{\pi \cdot L \cdot d}, \quad (1)$$

де  $q$  – середня густина теплового потоку в зонді на ділянці АВ;  $G$  – витрата води, що охолоджує зонд;  $c$  – питома теплоємність води;  $L$  – відстань між спаями термопари;  $d$  – діаметр зонда;  $\Delta t$  – зміна температури води на ділянці АВ;  $K$  – передаточна функція ЛКЗ.

Функція  $K$  враховує нерівномірність теплової структури всередині ЛКЗ, що залежить від конструктивних параметрів зонду, швидкості води, числа Рейнольдса  $Re$ , а також від градієнта теплового потоку в даній точці струменя. Вид функції визначався експериментально при калібруванні зонду наступним чином. На ЛКЗ локально діяло точкове джерело теплоти (площа плями близько  $0,5 \text{ мм}^2$ ), що переміщувалось вздовж зонда зі швидкістю  $v_s \ll v_w$  (де  $v_s$  – швидкість переміщення джерела теплоти;  $v_w$  – швидкість води, що охолоджує ЛКЗ). Сигнал з термопари реєструвався платою АЦП марки

WAD-AD12-128Н. Вимірювання виконували зондами діаметром 4,0; 2,0 та 1,0 мм. У результаті дослідження встановлено, що в діапазоні чисел  $Re = 5000 \div 50000$ , при відстані між спаями термопари  $L = 2d$  форма передаточної функції близька до прямокутної (рис. 1). Передаточна функція зміщена також відносно диференційної термопари на відстань  $l = (0,5 \div 2,0)d$ , причому зі збільшенням числа Рейнольда величина зміщення та крутість фронтів функції суттєво зменшуються.

З формули (1) видно, що приймаючи відстань між спаями термопари близько декількох  $d$  та вибираючи діаметр ЛКЗ достатньо малий, то при великих числах  $Re$  є можливість безпосередньо виміряти локальні теплові потоки струменів нагрітих газів або рідин. Таким чином модернізований ЛКЗ являє собою один з різновидів точкового калориметра, який відрізняється від описаних у літературі [2, 3] точкових датчиків простотою конструкції та можливістю визначати температуру струменів шляхом перерахунку за відомим критеріальним співвідношенням для циліндра [3].

Як видно з формули (1), збільшення відстані між спаями термопари підвищує чутливість методу, зменшує похибку, одночасно погіршуючи його просторову чутливість. Тому можна рекомендувати такі співвідношення для основних розмірів зонда:

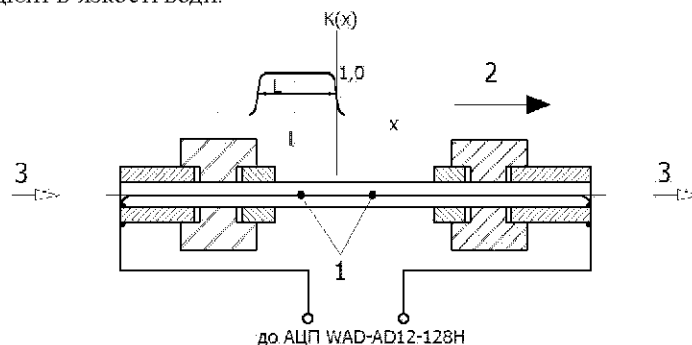
$$L = (2 \div 3) \cdot d, \quad d \ll D,$$

де  $D$  – лінійний розмір об'єкту досліджень (плазмового струменя).

Витрата води для охолодження визначаються за критерієм Рейнольда:

$$G = \frac{\pi \cdot d \cdot \eta \cdot Re}{4}, \quad (2)$$

де  $\eta$  – динамічний коефіцієнт в'язкості води.



**Рис. 1.** Калориметричний зонд для локального визначення теплових потоків:

1 – спаї термопар; 2 – напрямок руху зонда; 3 – напрямок руху води

Окрім стаціонарних вимірювань густини теплового потоку даний ЛКЗ дозволяє визначати радіальний розподіл густини теплового потоку в струменях будь-якої конфігурації. Для цього достатньо переміщувати ділянку АВ зонду з постійною швидкістю через потік. Переміщувати зонд слід у напрямку, який співпадає з віссю самого ЛКЗ, оскільки при цьому суттєво зменшується похибка, що обумовлена неодномірною тепловою структурою всередині зонда. Питання відносно швидкості руху ЛКЗ, інерційності системи реєстрації і т. і. розглянуті в роботі [4].

Загальна похибка методу визначається (окрім інерційності зонда та системи реєстрації) похибкою визначення величин, які входять до формули (1).

Для експериментальної перевірки описаного методу був виготовлений зонд з мідної трубки діаметром 1,0 мм та товщиною стінок 0,1 мм (рис. 1).

Латунні перехідні штуцери для введення та виведення потоку води, що охолоджує, були припаяні до кінців мідного капіляру. Диференційна мідьконстантанова термопара виконана з дроту діаметром 0,1 мм, який зварено стиковим швом та покрито лаком. Кінці динамічної термопари були виведені через вставки з органічного скла, які вкручувалися в штуцери, що дозволяло регулювати просторове положення та механічний натяг термопари. В якості реєструвального приладу використовувалась плата АЦП. Зонд переміщувався з постійною швидкістю координатним пристроєм, який приводився в дію реверсивним електродвигуном постійного струму з регульованою частотою обертів.

Метод було випробувано в умовах повітряного плазмового струменя, який витікав з плазмотрону з вихровою стабілізацією дуги потужністю до 90 кВт. Швидкість витікання газу на зрізі сопла не перевищувала 200 м/с. Одержаний радіальний розподіл густини теплового потоку порівнювався з аналогічними залежностями, що були отримані іншими методами: звичайним ЛКЗ та динамічним термометром опору. Зіставлення експериментальних результатів, одержаних цими трьома методами, показало їх хороший збіг.

Оцінка сумарної похибки визначення густини теплового потоку зондом у нашому випадку показала, що ця величина не перевищує 5% у центрі струменя та 10–15% на її периферії.

#### Висновок

Проведені експерименти підтвердили простоту, точність, надійність та універсальність запропонованого методу, що дозволяє рекомендувати його для різноманітних вимірювань густини теплового потоку в струменях рідин та газів будь-якої конфігурації.

#### Список літератури

1. Грей Дж. Калориметрический зонд для измерения очень высоких температур / Грей Дж., Дисекобс П. Р., Шерман М. П. // Приборы для научных исследований. – 1972. – № 7. – С. 29–33.
2. Физика и техника низкотемпературной плазмы / [С. В. Дресвин, А. В. Донской, Д. М. Гольдфарб, В. С. Клубниккин] ; общ. ред. С. В. Дресвина. – М. : Атомиздат, 1972. – 352 с.
3. Животов В. К. Диагностика низкотемпературной плазмы / В. К. Животов. – Красноярск, 1983. – 60 с.
4. Поляков С. П. О двух методах калориметрии плазменных струй / С. П. Поляков, О. В. Рязанцев // Физ. и хим. обработка материалов. – 1985. – № 5, 12.

*Одержано 07.02.2012*

© Д-р техн. наук С. П. Поляков, І. І. Фенько, канд. техн. наук С. А. Беспалько,  
канд. техн. наук Є. Я. Губар

Державний технологічний університет, м. Черкаси

**Polyakov S., Fen'ko I., Besimal'ko S., Gubar E. Determination of local heat flux**