

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА КОРРЕЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ

И. А. Беляев², И.И. Поддубный¹, Н.Г. Разуванов², В. Г. Свиридов¹, В.С. Загорский¹.

1. Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Москва, 111250, Красноказарменная, 14,

2 Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, bia@ihed.ras.ru

В данной статье рассматривается метод измерения скорости жидкого металла с помощью измерения корреляции сигналов от двух термопар. Представлено описание микротермопарного датчика и процедура обработки сигнала. Также приводятся результаты калибровки датчика, проведенные на объединенном ртуном комплексе МЭИ-ОИВТРАН

Ключевые слова: Жидкий металл, зондовые измерения, микро термопара, корреляционный датчик скорости.

1. Постановка задачи

Измерение локальной скорости в потоке жидкого металла (ЖМ) представляет непростую задачу, так как приходится преодолевать ряд трудностей. При выборе метода измерений надо учитывать следующие особенности ЖМ:

- высокая плотность;
- высокая электропроводность;
- высокая температура (за исключением ртути и некоторых других металлов или сплавов);
- химическая активность;
- токсичность.

Целый ряд методов, широко используемых для измерений скоростей в неэлектропроводных жидкостях и газах, часто в потоках ЖМ являются неприменимыми, либо требуют модификации. По мнению авторов метод корреляционных измерений температурных сигналов является одним из наиболее простых в реализации зондовых методов измерения продольной компоненты скорости.

2. Используемое оборудование и программное обеспечение

Для корреляционных измерений продольной компоненты скорости V_z в сечении трубы авторами использовался датчик, внешний вид которого показан на рис. 1. Он представляет собой две микротермопары (медь-константан), спаи которых располагаются на осевой линии зонда. Диаметр спаев мекротермопар составлял 0,3 мм, расстояние между термопарами $l = 5,0$ мм. Микротермопары вклеены в стальные капилляры высокотемпературным эпоксидным клеем. Датчик монтировался на конце зонда рычажного типа (рис.1).

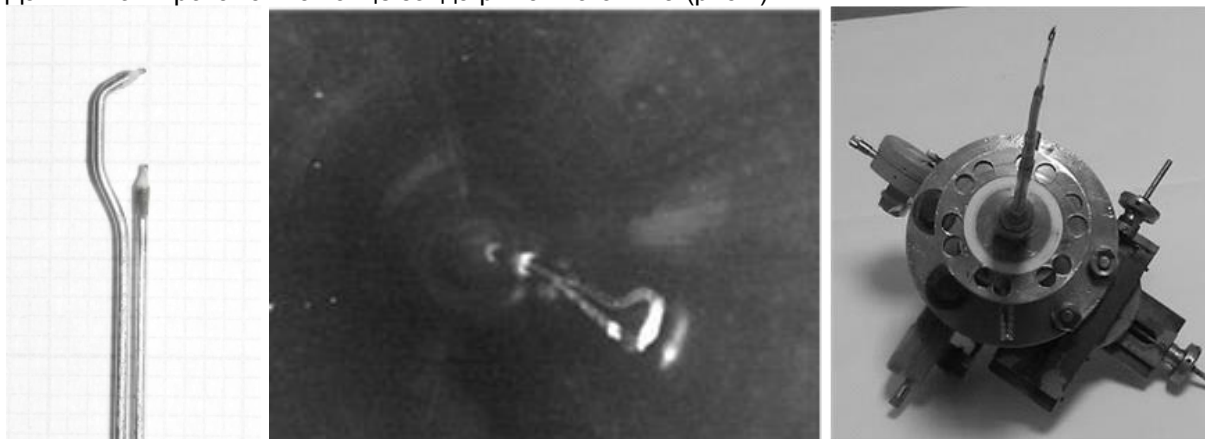


Рис. 1. Корреляционный датчик скорости вид сбоку, спереди в канале и закрепленный на рычажном зонде

Зонд представляет собой рычаг, шарнирно закрепленный на станине. Перемещение зонда осуществляется вращением винтов поперечно-поворотного суппорта, в котором закреплен один конец рычага зонда. Перемещение конца рычага контролировалось индикаторами часового типа.

Измерения проводились на экспериментальном магнитно-гидродинамическом (МГД) комплексе МЭИ-ОИВТ РАН [2]. Эксперименты были автоматизированы с использованием современной измерительно-вычислительной аппаратуры и программных средств.

3. Описание решения

Профили скорости измеряются корреляционным методом с использованием естественного фона турбулентных флуктуаций температуры, переносимых потоком. Термодатчик продольных корреляций имеет фиксированное расстояние между микротермопарами. Измерения скорости проводятся главным образом в ядре потока, при значении безразмерного радиуса трубы $R < 0,9$. Это связано с тем, что у стенки теряется справедливость гипотеза Тэйлора о "замороженной" турбулентности, лежащая в основе корреляционного метода [1]. Если l - расстояние между термопарами, а S - время запаздывания сигнала от второй термопары, то осредненное по времени значение местной скорости V_z рассчитывается по формуле:

$$V_z = \frac{l}{S}$$

В корреляционном методе время запаздывания соответствует координате максимума на кривой взаимно-корреляционной функции (ВКФ). Теоретически ВКФ для двух стационарных случайных сигналов $X(\tau)$ и $Y(\tau)$ определяется по формуле:

$$R_{XY}(S) = \frac{1}{\sigma_X} \lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t X(\tau)Y(\tau+S)d\tau$$

где S - временной сдвиг, τ - текущее время процесса, t - время осреднения. Для получения оценки времени запаздывания достаточно иметь информацию о мелкомасштабной структуре температурного фона турбулентного потока.

На практике используются ограниченные по времени реализации, полученные прецизионными мультиметрами NI 4071. Для построения взаимно-корреляционной функции использовалась встроенная функция пакета LabView. Характерный вид осциллограмм температуры, измеренных с помощью двух микротермопар, показан на рис. 2. Видно, что сигнал с термопары №2 повторяет сигнал №1 с некоторой задержкой по времени. Эта задержка S_{max} определяется по координате максимума оценки ВКФ R_{12} . На рис. 2 показан пример нормированной ВКФ для различных значений скорости потока.

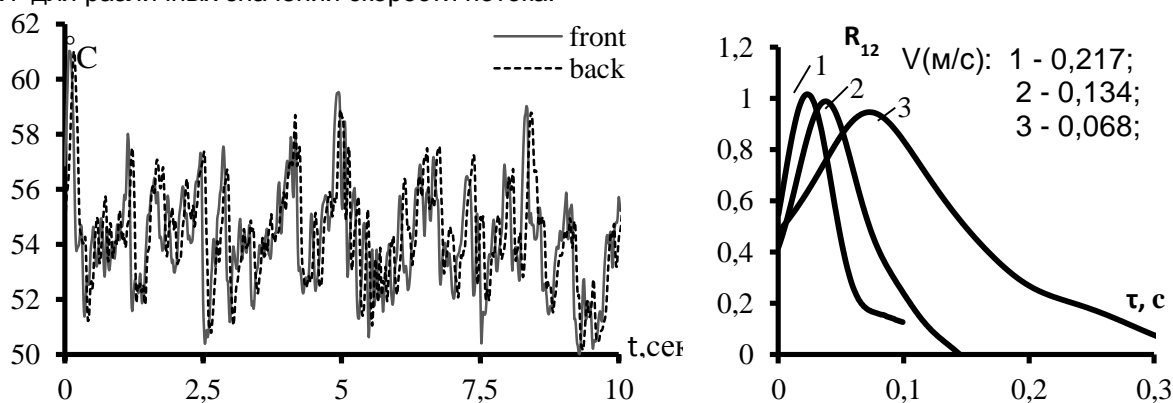


Рис. 2 Пример осциллограмм сигналов с термопар корреляционного датчика скорости и взаимных корреляционных функций

Градуировка датчиков проходила следующим образом: устанавливался и фиксировался расход. Далее по формуле Рейхардта [2] рассчитывался профиль скорости и сопоставлялся с данными измерений. Задавался минимальный тепловой поток, при котором регистрировались турбулентные пульсации, и который не приводит к появлению вторичных течений, искажающих значение поля скорости. При установленных параметрах снималось значение скорости на оси трубы. Это значение скорости ставилось в соответствие с теоретически рассчитанным по формуле

Рейхардта. Из графика (рис. 3) видно, что измеренные значения скорости оказываются ниже истинных (расчетных) значений.

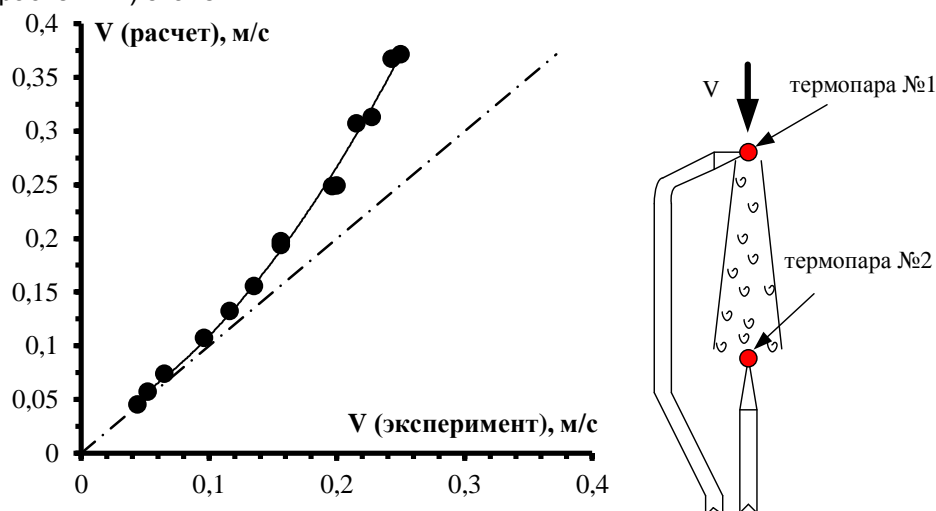


Рис. 4 Результаты градуировки датчика и схема торможения потока передней термопарой.

Данное явление объясняется следующим фактором: за первой микротермопарой в потоке возникает слой заторможенной жидкости, который попадает на вторую микротермопару. Соответственно, измеренная скорость оказывается ниже, чем в невозмущенном датчиком потоке. И это возмущение тем больше, чем больше скорость потока или. Вводя поправку можно компенсировать эту методическую погрешность.

Разработанная методика успешно применяется в исследованиях, проводимых на ртутном комплексе МЭИ-ОИВТ РАН в условиях сильных магнитных полей. Успешная апробация методики проведена на водяном стенде В-200 ФЭИ.

4. Список литературы

[1]. Генин Л.Г., Листратов Я.И., Свиридов В.Г., Жилин В.Г., Ивочкин Ю.П., Е.В., Разуванов Н.Г. Экспериментальные исследования гидродинамики и теплообмена жидких металлов в магнитных полях. Вопросы атомной науки и техники. Серия: термоядерный синтез. Выпуск 4. – М. 2003. – с. 35-44.

[2]. Л.Г. Генин, В.Г.Свиридов. Гидродинамика и теплообмен МГД-течений в каналах, МЭИ, 2001. 199 с.

TEMPERATURE CORRELATION VELOCIMETRY TECHNIQUE IN LIQUID METALS

Belyaev I.A², Poddubnyi I.I¹, Sviridov V.G¹, Razuvanov N.G², Zagorsky V.S¹

1. National Research University "Moscow Power Engineering Institute", 14 Krasnokazarmennaya str., Moscow, Russia
2. Joint Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Science, 17a Krasnokazarmennaya str., Moscow, Russia
bia@ihed.ras.ru

This article is about measuring of the liquid metal velocity with use of the temperature-correlation method, which allows to measure of the temperature waveforms and average longitudinal velocity simultaneously. The design of the micro thermocouple sensors and the signal processing procedure are presented in this article.

Keywords: liquid metal, temperature sensor, temperature correlation velocimetry, TCV.