

УДК 532.525.2

А. Г. Шмаков<sup>1</sup>, А. А. Чернов<sup>1</sup>, Д. А. Князьков<sup>1</sup>, О. П. Коробейничев<sup>1</sup>, В. В. Козлов<sup>2</sup>  
Ю. А. Литвиненко<sup>2</sup>, М. М. Катасонов<sup>2</sup>, Г. Р. Грек<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт химической кинетики и горения СО РАН  
ул. Институтская, 3, Новосибирск, 630090, Россия

<sup>2</sup> Институт теоретической и прикладной механики  
им. С. А. Христиановича  
ул. Институтская, 4/1, Новосибирск, 630090, Россия

E-mail: litur@itam.nsc.ru

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОСТРУЙНОЙ ГОРЕЛКИ С РАЗЛИЧНОЙ ПОДАЧЕЙ ГАЗА ПРИ ДИФфуЗИОННОМ ГОРЕНИИ\*

Цель данной работы заключалась в экспериментальном исследовании эффективности многоструйной горелки с различной подачей газа при диффузионном горении. Для описания параметров диффузионного пламени метана проводились термоанемометрические измерения. Основные исследования проходили в ИХКиГ СО РАН, а термоанемометрические измерения проведены сотрудниками ИТПМ СО РАН.

*Ключевые слова:* диффузионное горение, термоанемометр, многоструйная горелка, профиль скорости, пламя.

Для экспериментального исследования использовалась горелка бунзеновского типа с диаметром сопла 10 мм, разработанная и изготовленная в ИХКиГ СО РАН (рис. 1). Горелка состоит из системы подачи метана, сопла Витошинского (1), обеспечивающего выравнивание скорости потока по сечению струи, и форсунки (2) для подачи мазута или водомазутной эмульсии. Установленная внутри основного потока газа форсунка увеличивает степень турбулизации потока, которая определялась с помощью термоанемометрических измерений.

Термоанемометрические измерения скорости газового потока на выходе из сопла горелки были проведены с помощью термоанемометра постоянного сопротивления

фирмы DISA. Схема эксперимента приведена на рис. 2.

Термоанемометр измеряет среднюю по времени продольную компоненту скорости  $U$  и пульсации скорости  $u'$ . Датчик с проволокой из золоченого вольфрама длиной 1 мм и диаметром 5 мкм с коэффициентом перегрева 1,8 калибровался в свободном потоке с использованием модифицированного закона Кинга:

$$U = k_1(E_2 - E_0)^{1/n} + k_2(E - E_0)^{1/2},$$

где  $E$  и  $E_0$  – выходные напряжения термоанемометра при скорости потока и ее отсутствии соответственно;  $k_1$ ,  $k_2$  и  $n$  – константы. Температура нити составляла 160 °С. Показатель экспоненты ( $n$ ) обычно близок к 0,5, вторая константа ( $k_2$ ) учитывает свободную

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Междисциплинарного интеграционного проекта фундаментальных исследований СО РАН (2012–2014 г.) № 24.

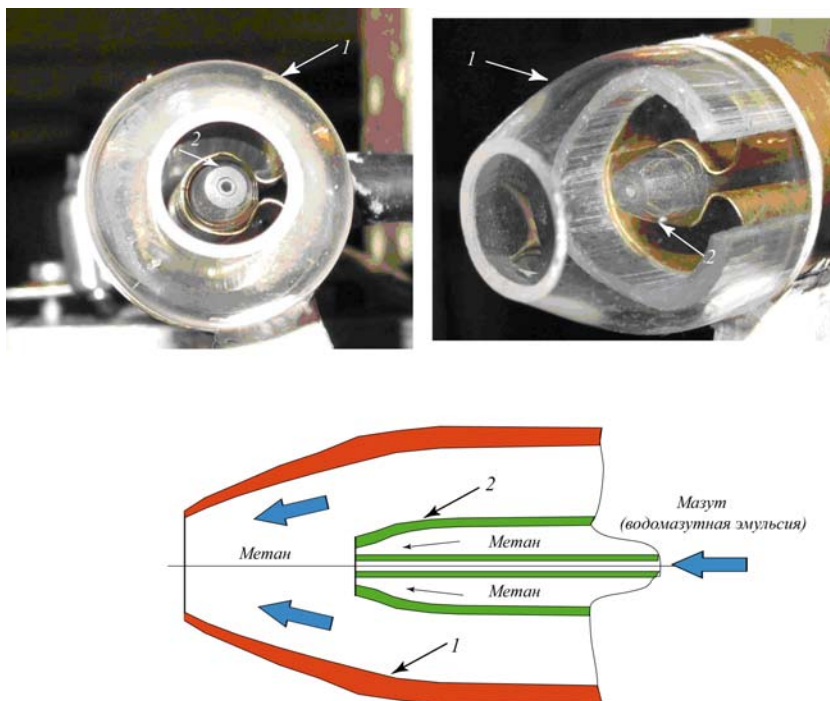


Рис. 1. Фото и схема горелки: 1 – сопло Витошинского; 2 – форсунка

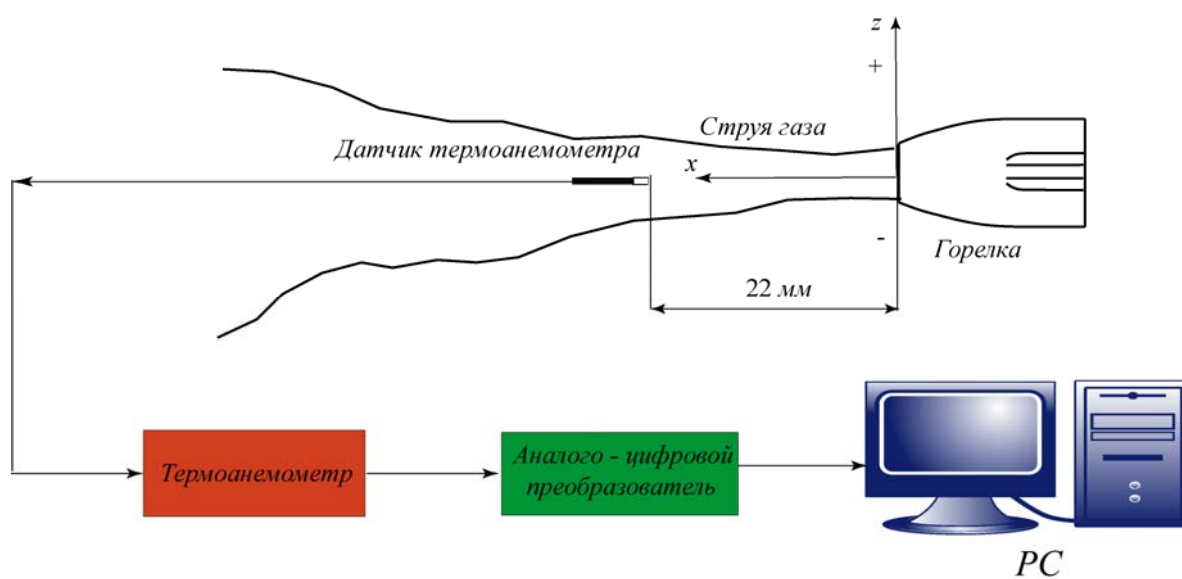


Рис. 2. Схема эксперимента по измерению скорости потока газа

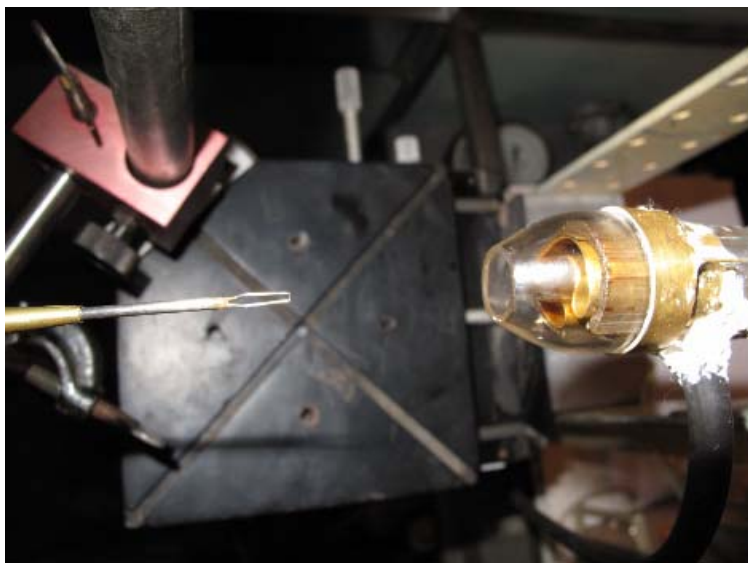
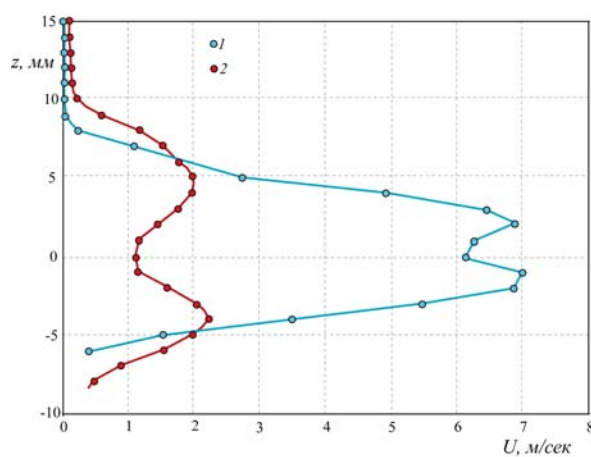
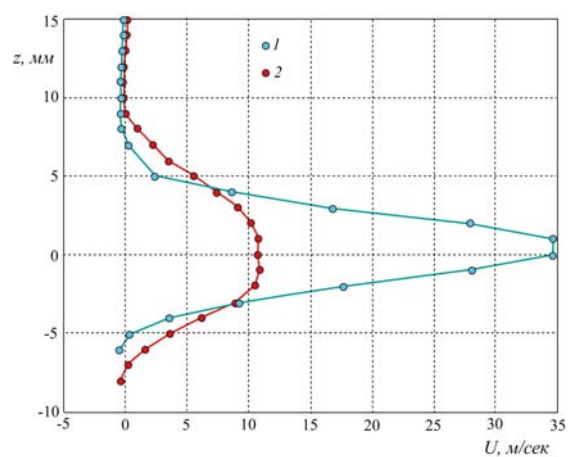


Рис. 3. Расположение термоанемометрического датчика и горелки



а



б

Рис. 4. Распределение скорости (1) и пульсаций скорости (2) по сечению струи на расстоянии 22 мм от среза сопла горелки при отсутствии (а) и при наличии (б) потока метана через форсунку 0,166 л/с



а



б

Рис. 5 (фото). Пламя без подачи (а) и с подачей (б) дополнительного метана через форсунку

конвекцию на стенке при малых скоростях потока. Максимальная ошибка при калибровке датчика не превышала 1 % от  $U_0$ . Сигнал с датчика поступал в термоанемометр, затем подавался на аналого-цифровой преобразователь АЦП и далее в компьютер, где данные измерений накапливались в памяти компьютера, затем подвергались программной обработке, и ее результаты представлялись в виде графиков. Перемещение датчика осуществлялось с шагом 1 мм на расстоянии 22 мм от внешнего среза сопла в перпендикулярном к оси горелки направлении. На рис. 3 представлена фотография горелки с установленным в потоке газа датчиком термоанемометра, на рис. 4 – распределения скоростей и пульсации скоростей для случаев без подачи и с подачей потока метана через форсунку.

Полученные данные демонстрируют, что при включении потока метана через форсунку максимальная скорость потока по оси горелки увеличивается в 5 раз, при этом пульсации скорости также увеличиваются в 5 раз. Поэтому можно сказать, что высокоскоростной поток метана через форсунку, составляющий 14 % от общего потока метана через горелку, вызывает очень сильную турбулизацию потока. Характер течения такого потока соответствует условиям течения с числами Рейнольдса, превышающими величину  $Re = 15\ 000$ .

## Выводы

Полученные в результате термоанемометрических измерений данные показали, что при включении потока метана через форсунку максимальная скорость потока по оси горелки увеличивается в 5 раз, при этом пульсации скорости также увеличиваются в 5 раз. Поэтому можно сказать, что высокоскоростной поток метана через форсунку, составляющий 14 % от общего потока метана через горелку, вызывает очень сильную турбулизацию потока. Характер течения такого потока соответствует условиям течения с числами Рейнольдса, превышающими  $Re = 15\ 000$ . Установлено, что изучаемое диффузионное пламя метана является турбулентным. Пульсации скорости потока без пламени составляют типичную для таких пламен величину порядка 30 %.

Примеры пламени при горении метана в струе показаны на рис. 5. Фотографии демонстрируют, что в результате смешения потоков метана (общего и подаваемого через форсунку) возросла скорость потока, увеличилась дальность струи, наблюдается исчезновение желтого свечения, характеризующего недостаточную степень перемешивания метана и воздуха, а также увеличение доли «голубой» части светящегося пламени, характеризующей высокую степень перемешивания метана и воздуха.

*Материал поступил в редколлегию 20.03.2013*

A. G. Shmakov, A. A. Chernov, D. A. Knyazkov, O. P. Korobeinichev, V. V. Kozlov  
Yu. A. Litvinenko, M. M. Katasonov, G. R. Grek

## EFFECTIVENESS INVESTIGATION OF MULTIJET BURNER WITH DIFFERENT INLET GAS AT DIFFUSION COMBUSTION

The purpose of the given work consists in an experimental study of the efficiency of a multi-jet burner with various of the gas admission at diffusion combustion. For description of the methane flame parameters at the diffusion combustion the hot - wire measurements were carried out. The main studies were carried out in ICKC of the SB RAS and the hot-wire measurements were carried out in ITAM of the SB RAS.

*Keywords:* diffusion combustion, termoanemometer, multijet burner, velocity profile, RMS, flame.