

Технические науки

УДК 536.24:533

Фиалко Наталья Михайловна

*доктор технических наук, профессор, член корреспондент НАН Украины,
Заслуженный деятель науки и техники Украины,
заведующий отделом теплофизики энергоэффективных теплотехнологий
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of NAS of Ukraine,
Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Head of the
Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Прокопов Виктор Григорьевич

*доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Prokopov Viktor

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Шеренковский Юлий Владиславович

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Sherenkovskiy Julii

*Candidate of Technical Sciences (PhD),
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Меранова Наталия Олеговна

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Meranova Natalia

*Candidate of Technical Sciences (PhD),
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Алешко Сергей Александрович

*кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Alioshko Sergiy

*Candidate of Technical Sciences (PhD), Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Рокитько Константин Владимирович

*младший научный сотрудник
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Rokytko Konstantyn

Junior Research

*Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Полозенко Нина Петровна

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Polozenko Nina

Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Researcher

*Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Малецкая Ольга Евгеньевна

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Maletska Olha

Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Researcher

*Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Юрчук Владимир Леонидович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Yurchuk Vladimir

Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Researcher

*Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

**ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИЗБЫТКА ВОЗДУХА НА
ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ
МИКРОФАКЕЛЬНЫХ ГОРЕЛОК СТАБИЛИЗАТОРНОГО ТИПА
THE EFFECT OF EXCESS AIR ON THE CHARACTERISTICS OF THE
NON-ISOTHERMAL FLOW OF MICROJET STABILIZER-TYPE
BURNERS**

Аннотация. Представлены результаты исследований структуры неизотермического течения в микрофакельных горелочных устройствах с асимметричной подачей топливного газа, предназначенных для эксплуатации в условиях повышенных значений коэффициента избытка воздуха α . Указывается, что данные условия имеют место в промышленных печах различного назначения, сушилках и пр. Приводится описание принципиальной схемы данного устройства. Рассматривается система топливоподачи и подачи первичного и вторичного воздуха. Анализируются особенности математического моделирования анализируемой физической ситуации. Отмечается, что решение поставленной задачи получено с использованием метода DES (Detached Eddy Simulation – метод моделирования отсоединенных вихрей).

Приводятся данные математического моделирования, касающиеся выявления эффектов влияния величины коэффициента избытка воздуха ($\alpha = 2,0 \dots 4,0$) на характеристики течения в рассматриваемом горелочном устройстве. Указывается, что моделирование изменения общего расхода воздуха осуществлялось за счет изменения расхода топливного газа при постоянном расходе воздуха. Анализируются основные отличия полей скорости при разных значениях коэффициента избытка воздуха. Отмечается, в частности, что большим величинам коэффициента α отвечают в целом более низкие значения скорости течения продуктов

горения. Особое внимание уделяется исследованию закономерностей влияния коэффициента избытка воздуха на характеристики зоны циркуляционного течения в закормовой области стабилизатора пламени. Указывается, в частности, на то, что длина зоны обратных токов в данной области существенно сокращается с ростом величины α . Анализируются особенности вихревых структур в ближнем следе стабилизатора пламени для разных значений коэффициента избытка воздуха. Представлены результаты исследований в части картины пространственного распределения среднеквадратичных пульсаций скорости при варьировании коэффициента избытка воздуха. Отмечается, что с ростом величины α наблюдается удаление от торца стабилизатора зоны повышенных пульсаций скорости.

Ключевые слова: асимметричная топливоподача, компьютерное моделирование, коэффициент избытка воздуха, микрофакельные горелки, структура течения.

Summary. The results of studies of the structure of non-isothermal flow in microjet burner devices with asymmetric fuel gas supply, intended for operation in conditions of increased values of the coefficient of excess air α . It is indicated that these conditions take place in industrial furnaces for various purposes, dryers, etc. A schematic diagram of this device is described. The system of fuel supply and supply of primary and secondary air is considered. The features of mathematical modeling of the analyzed physical situation are analyzed. It is noted that the solution to this problem was obtained using the DES method (Detached Eddy Simulation - a method for modeling detached eddies).

The data of mathematical modeling that relate to the identification of the effects of the coefficient of excess air ($\alpha = 2.0 \dots 4.0$) on the flow characteristics in the considered burner device are presented. It is indicated that the change in the

total air flow rate was simulated by changing the fuel gas flow rate at a constant air flow rate. The main differences of the velocity fields are analyzed for different values of the coefficient of excess air. In particular, it is noted that large values of the coefficient α correspond generally to lower values of the flow rate of the combustion products. Particular attention is paid to the study of the laws of the influence of the coefficient of excess air on the characteristics of the circulation zone in the astern area of the flame stabilizer. It is indicated, in particular, that the length of the reverse current zone in this region decreases significantly with increasing value of α . The features of the vortex structures in the near wake of the flame stabilizer are analyzed for different values of the coefficient of excess air. The results of studies on the spatial distribution of the RMS velocity pulsations with varying air excess coefficients are presented. It is noted that with an increase in the value of α , a zone of increased velocity pulsations is removed from the end of the stabilizer.

Key words: *asymmetric fuel supply, computer simulation, excess air coefficient, microjet burners, flow structure.*

Введение. Рассматриваемые в настоящей работе микрофакельные горелочные устройства ориентированы на использование при относительно высоких значениях коэффициента избытка воздуха. Такие значения отвечают условиям эксплуатации различных промышленных печей, сушилок и пр.

Задачи разработки указанных горелок требуют всестороннего исследования структуры течения в данных устройствах. В последний период во многих работах, посвященных изучению таких течений, в качестве метода исследования используется компьютерное моделирование [1-5]. Последнее позволяет получать детальную полевую информацию относительно основных характеристик аэродинамики исследуемых горелочных устройств.

Постановка задачи и метод исследования. В рамках данной работы на основе компьютерного моделирования исследуются особенности влияния коэффициента избытка воздуха на закономерности неизотермического течения в горелках рассматриваемого типа.

Исследованию подлежит структура течения в микрофакельном горелочном устройстве с асимметричной подачей топлива, предназначенном для эксплуатации при относительно высоких значениях коэффициента избытка воздуха ($2,0 \leq \alpha \leq 4,0$). Схема модуля исследуемого горелочного устройства представлена на рис. 1. Модуль, размещенный в канале 1, состоит из двух плоских стабилизаторов пламени 2. На одной из боковых поверхностей каждого стабилизатора, омываемой первичным воздухом, расположена система газоподающих отверстий 3, через которую струи газа подаются внедрением в сносящий поток первичного воздуха. Вторичный воздух течет в межстабилизаторном канале и подается на горение ниже по потоку после обтекания закрылков 4.

Асимметричность топливораспределения заключается в том, что топливный газ подается в поток окислителя только с одной из боковых поверхностей стабилизатора пламени. На другой его боковой поверхности на торце стабилизатора устанавливается пластина определенной длины (закрылок). Основные функции данных закрылков состоят, во-первых, в способствовании образованию устойчивых зон обратных токов в закормовой области стабилизатора пламени и, во-вторых, в формировании потока вторичного воздуха, который подается непосредственно в зону горения.

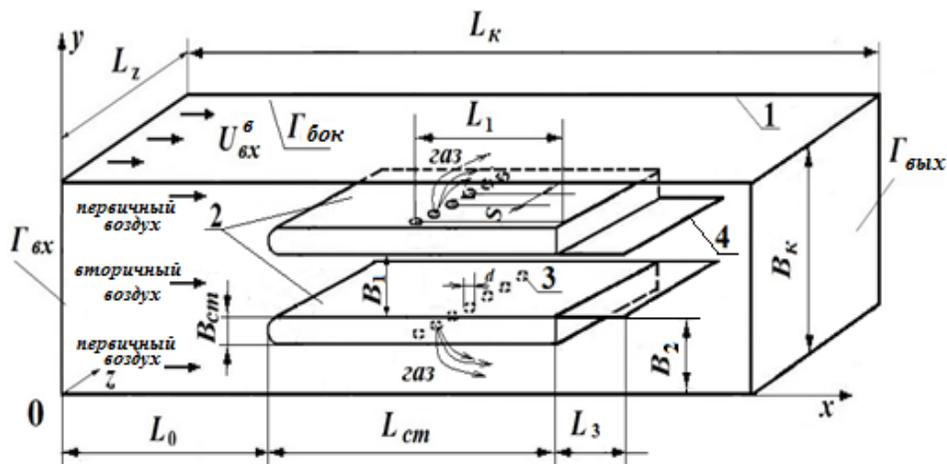


Рис. 1. Схема микрофакельного горелочного устройства стабилизаторного типа с асимметричной подачей топлива:

1 - плоский канал; 2 - стабилизатор пламени; 3 - газоподающие отверстия; 4 - закрылки

Математическая модель исследуемого процесса горения включает уравнения движения, неразрывности, энергии для реагирующих турбулентных потоков, сохранения массы компонентов реагирующей смеси и уравнение состояния. При решении задачи использовался программный комплекс FLUENT. Компьютерное моделирование осуществлялось с использованием DES подхода (Detached Eddy Simulation – метод моделирования отсоединенных вихрей).

В ходе компьютерного моделирования изменение общего коэффициента избытка воздуха α задавалось путем изменения расхода природного газа при неизменном расходе воздуха. Исследования проводились при постоянном соотношении расходов первичного и вторичного воздуха, которое отвечало значениям ширины пристеночного и межстабилизаторного каналов 13,5 и 9,0 мм.

Результаты исследований и их анализ. Ниже приводятся результаты исследований, отвечающие следующим исходным данным $B_{ст} = 0,015$ м; $B_1 = 0,0135$ м; $B_2 = 0,009$ м; $B_K = 0,075$ м; $L_K = 1,3$ м; $L_0 = 0,1$ м; $L_{ст} = 0,2$ м;

$L_1 = 0,02$ м; $L_3 = 0,09$ м; $d = 0,002$ м; $S/d = 3,5$; коэффициент загромождения проходного сечения канала $k_f = 0,4$; скорость воздуха на входе в канал $U_{вх}^n = 10,0$ м/с; общий коэффициент избытка воздуха α варьировался в пределах $2,0 \dots 4,0$.

Рисунок 2 иллюстрирует поля скорости в поперечном сечении канала при разных значениях общего коэффициента избытка воздуха. Согласно представленным данным большим величинам α отвечают в целом более низкие значения скорости за пределами зон циркуляционных течений в закормовой области стабилизатора пламени. Так, максимальные скорости на выходе из канала достигают 50 м/с при $\alpha = 2,0$; 45 м/с при $\alpha = 3,0$ и не превышают 30 м/с для $\alpha = 4,0$. С ростом α области высоких значений скорости смещаются вниз по потоку.

Представленная на рис. 3 картина линий тока при разных значениях α показывает особенности вихревой структуры в закормовой области стабилизатора пламени. Как видно, величина α заметно влияет на длину зоны обратных токов в данной области. Последняя уменьшается с ростом α . В целом вихревая структура в закормовой области стабилизатора оказывается различной при разных значениях α . Так, при $\alpha = 2,0$ наблюдается два основных вихря относительно небольших размеров, один из которых расположен вблизи торца стабилизатора, другой – на удалении от него. При $\alpha = 3,0$ и $\alpha = 4,0$ картина вихреобразования оказывается в целом качественно схожей. Здесь имеет место один основной вихрь, формируемый вблизи указанного торца. Однако при $\alpha = 3,0$ вблизи удаленной от торца стабилизатора границы закрылка наблюдается образование вторичной вихревой структуры, которая отсутствует при $\alpha = 4,0$.

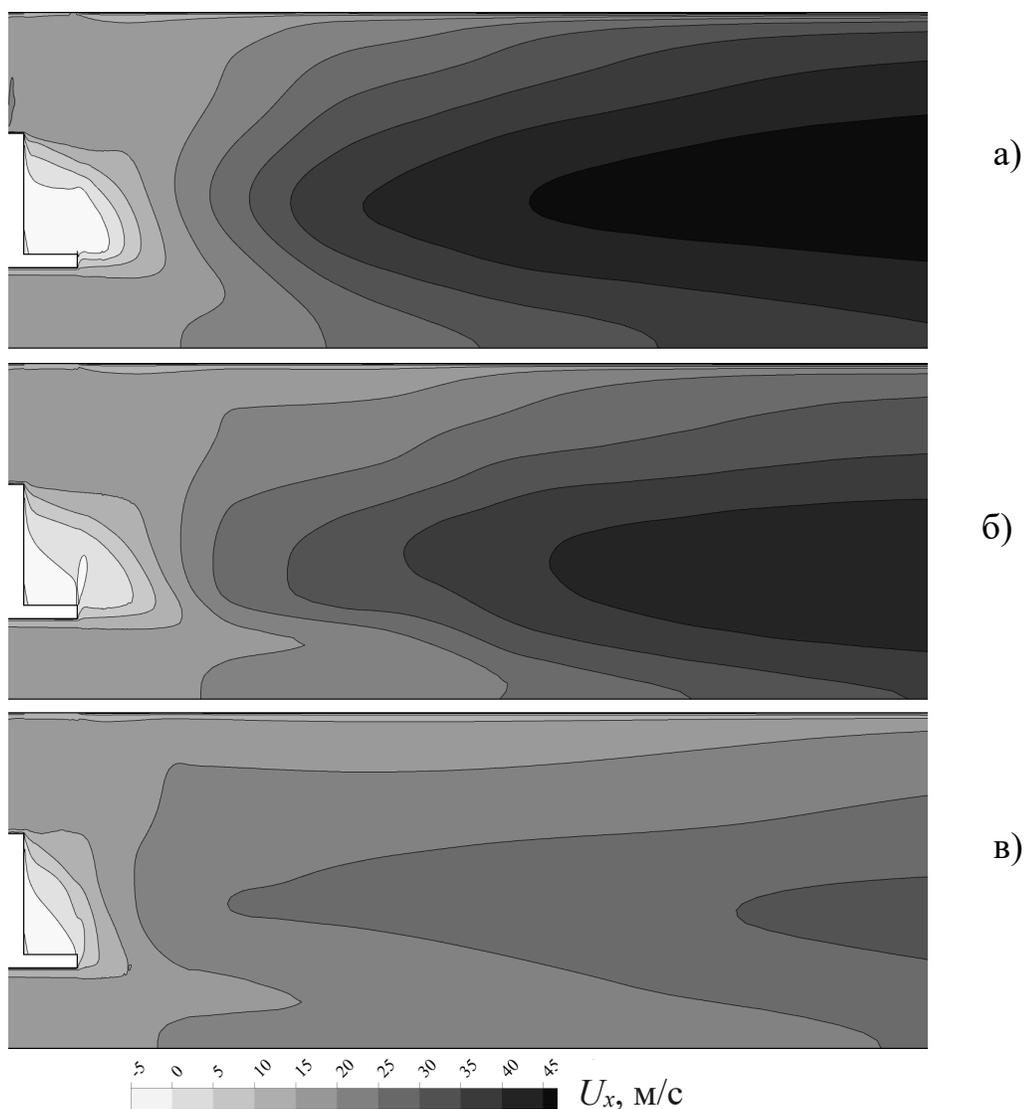


Рис. 2. Поле скоростей U_x в сечении, проходящем через ось газоподающих отверстий, при $B_1/B_2 = 13,5/9,0$ для различных значений общего коэффициента избытка воздуха:

а) $\alpha = 2,0$; б) $\alpha = 3,0$; в) $\alpha = 4,0$

С увеличением общего коэффициента избытка воздуха меняется также картина пространственного распределения среднеквадратичных пульсаций скорости U' . Как свидетельствуют полученные данные, чем больше α , тем дальше от торца стабилизатора пламени располагается область повышенных значений пульсаций скорости и тем больше расположенная непосредственно

за данным торцом зона, в которой имеет место предельно низкие значения этих пульсаций.

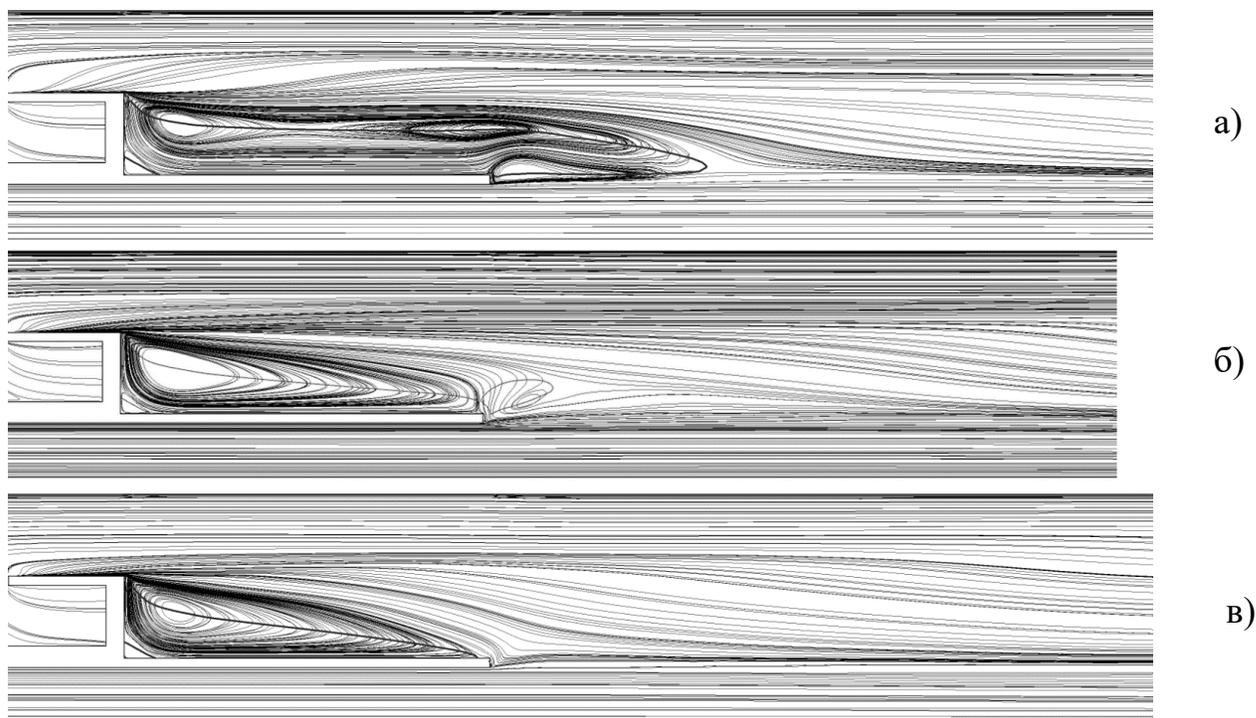


Рис. 3. Картина линий тока в сечении, проходящем через ось газоподающих отверстий, при $B_1/B_2 = 13,5/9,0$ для разных значений общего коэффициента избытка воздуха:

а) $\alpha = 2,0$; б) $\alpha = 3,0$; в) $\alpha = 4,0$

Выводы. Таким образом, на основе выполненных исследований аэродинамики горелочных устройств с асимметричной подачей топлива при варьировании значений коэффициента избытка воздуха показано, что величина данного коэффициента оказывает существенное влияние на различные характеристики течения.

Литература

1. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В, Прокопов В.Г., Полозенко Н.П., Меранова Н.О., Алешко С.А., Иваненко Г.В., 4Юрчук В.Л., Милко Е.И., Моделирование структуры течения в эшелонированных решетках

- стабилизаторов при варьировании шага их смещения // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2015. Т.2, №8(74). С. 29-34.
2. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Алешко С.А., Меранова Н.О., Абдулин М.З., Бутовский Л.С., Миргородский А.Н. Компьютерное моделирование процессов переноса в системах охлаждения горелочных устройств стабилизаторного типа // Промышленная теплотехника. 2012. №1. С. 64-71.
 3. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О., Бутовский Л.С., Абдулин М.З., Полозенко Н.П., Клищ А.В., Стрижеус С.Н., Тимощенко А.Б. Интенсификация процессов переноса в горелочном устройстве с цилиндрическим стабилизатором пламени // Науковий вісник НЛТУ України. 2014. Вип. 24.5. С. 136-142.
 4. Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovskiy J.V., Alioshko S.O., Meranova N.O., Rokitko K.V. CFD Simulation of Temperature Regimes of The Combustion Zone of Stabilizer-Type Burners with Asymmetric Fuel Supply // Thermophysics and Thermal Power Engineering. 2019. 41 (4). PP.13-18.
 5. Fialko N.M., Sherenkovskiy J.V., Alioshko S.O., Meranova N.O., Rokitko K.V. Peculiarities of Flow and Mixture Formation in Microjet Burner Devices with Asymmetric Fuel Distribution // Thermophysics and Thermal Power Engineering. 2019. 41 (1). PP. 11-19.