

Наведено результати комп'ютерного моделювання щодо встановлення закономірностей впливу кроку між газовими струменями на характеристики течії в стабілізаторних пальникових пристроях із струменевою подачею палива в зносячий потік окислювача. Особливу увагу приділено розгляду ефектів впливу цього кроку на величину глибини проникнення газових струменів впоперечний потік, протяжність зон зворотних токів за стабілізатором, значення максимальних швидкостей в цих зонах та ін.

Струмінь у зносячому потоці, мікрофакельні пальникові пристрої, крок між струменями, математичне моделювання.

The results of computer simulation to establish the patterns of influence of the step between the gas jets on the flow characteristics in the stabilizer burner devices with jet fuel supply to the entraining oxidant stream are given. Particular attention is paid to the consideration of the effect of this step on the depth of penetration of gas jets in cross-flow, the length of the zones of reverse flow beside the stabilizer, the maximum speed in these areas and so forth.

Jet in entraining stream, micro-flame burners, step between the jets, mathematical modeling.

УДК 536.24

СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЯ В МИКРОФАКЕЛЬНЫХ ГОРЕЛКАХ С ЭШЕЛОНИРОВАННЫМИ РЕШЕТКАМИ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПЛАМЕНИ

Н.М. Фиалко, доктор технических наук, член-корр. НАН Украины

В.Г. Прокопов, доктор технических наук

**Ю.В. Шеренковский, С.А. Алешко, Г.В. Иваненко, М.З. Абдулин,
кандидаты технических наук**

О.Н. Кутняк, младший научный сотрудник

А.А. Озеров, научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Л.С. Бутовский, кандидат технических наук*

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Представлены результаты исследований закономерностей течения топлива и окислителя в микрофакельных горелочных устройствах с эшелонированным расположением стабилизаторов пламени. Приведены данные математического моделирования по выявлению влияния количества стабилизаторов на картину течения в эшелонированных стабилизаторных решетках.

© Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Ю.В. Шеренковский,
С.А. Алешко, Г.В. Иваненко, М.З. Абдулин,
О.Н. Кутняк, А.А. Озеров, Л.С. Бутовский, 2014

Математическое моделирование, эшелонирование стабилизаторов пламени, микрофакельные горелочные устройства, структура течения топлива и окислителя.

Сжигание газообразного топлива в микрофакельных горелочных устройствах с эшелонированными решетками стабилизаторов пламени обладает целым рядом известных достоинств [2,5]. Посредством организации специальным образом эшелонированного расположения стабилизаторов оказывается возможным формирование требуемого поля температур в зоне горения. Эшелонирование применяется также в качестве способа устранения спонтанного нарушения симметрии течения в стабилизаторной решетке, что характерно для условий, отвечающих относительно высокой степени загромождения стабилизаторами проходного сечения канала.

Для конструирования микрофакельных горелочных устройств с эшелонированными решетками стабилизаторов пламени требуется знание закономерностей протекания рабочих процессов в этих устройствах. Однако, в настоящее время имеются лишь немногочисленные исследования, посвященные отдельным аспектам данной проблемы (например, [1,4,3]).

Цель исследований – выявление основных особенностей структуры течения топлива и окислителя в микрофакельных горелочных устройствах с лестнично эшелонированными решетками плоских стабилизаторов пламени.

Материалы и методика исследований. Рассматривается картина течения топлива и окислителя в микрофакельном горелочном устройстве при смещенном расположении стабилизаторов пламени друг относительно друга вниз по потоку с постоянным шагом $L_{см}$ (рис.1). Математическая модель исследуемого процесса представима в виде

$$\frac{\partial(\rho U_j U_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial(\tau_{ij})}{\partial x_j}, \quad i,j=1,2,3; \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho U_j)}{\partial x_j} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho_k U_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu}{Sc_k} + \frac{\nu_T}{Sc_T} \right) \frac{\partial \rho_k}{\partial x_j} \right]; \quad (3)$$

$k=1,2, N^*-1,$

где x_j – декартова координата, м, $j = 1, 2, 3$; U_j – компонента вектора скорости в направлении оси x_j , м/с; P – статическое давление, Па; τ_{ij} – компоненты тензора напряжения, н/м²; ρ – плотность, кг/м³; ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с; ν_T – коэффициент турбулентной кинематической вязкости, Па·с; ρ_k – парциальная массовая плотность k -той компоненты, кг/м³, $\rho_k = \rho \cdot W_k$; W_k – массовая концентрация; Sc_k – число Шмидта k -той компоненты, $Sc_k = \nu/D_k$, где D_k – коэффициент диффузии k -той компоненты, м²/с; Sc_T – турбулентное число Шмидта; N^* – количество компонент смеси.

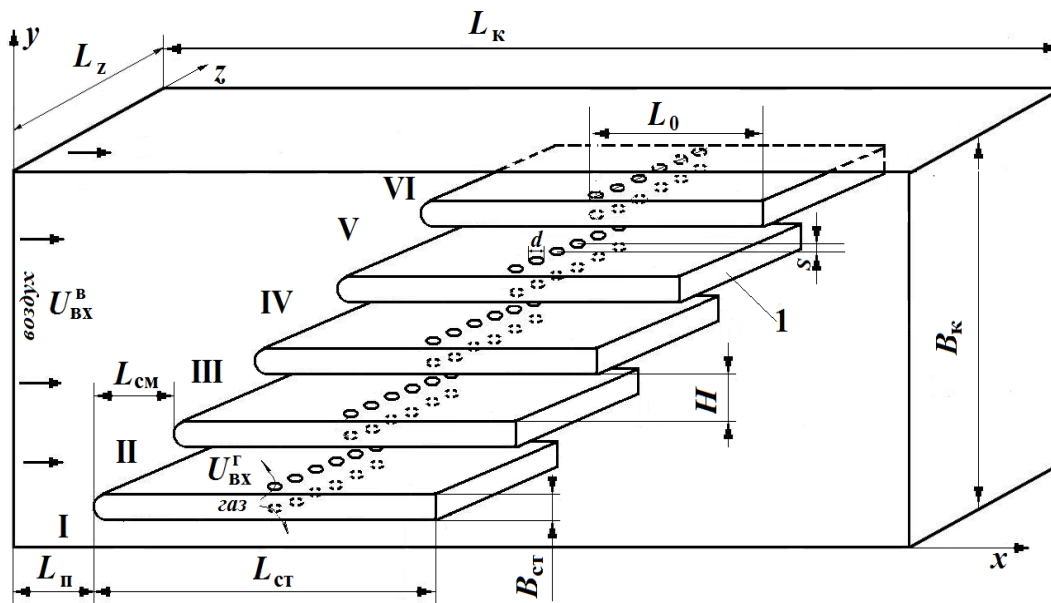


Рис. 1. К постановке задачи для эшелонированной решетки стабилизаторов:

1 – стабилизаторы пламени; I, VI – пристеночные каналы;
II, III, IV, V – межстабилизаторные каналы

Для замыкания системы уравнений (1) – (3) применялась RNG k-ε модель турбулентности. Поставленная задача решалась с использованием пакета прикладных программ ANSYS.

Результаты исследований. Характерные результаты математического моделирования представлены на рисунках 2–4 и в таблице. Приведенные данные отвечают следующим значениям исходных параметров: $U_{\text{вх}}^{\text{г}} = 6,8$ м/с; $U_{\text{вх}}^{\text{в}} = 24$ м/с; $L_{\text{п}} = 0,2$ м; $L_{\text{СТ}} = 0,215$ м; $L_{\text{к}} = 1,5$ м; $H = 0,075$ м; $B_{\text{к}} = 0,225$ м; $B_{\text{СТ}} = 0,03$ м; $L_{\text{СМ}} = 0,06$ м; $L_0 = 0,02$ м; $d = 0,0045$ м; $S/d = 3,55$, где S – шаг расположения газоподающих отверстий, м; топливо – природный газ, окислитель – воздух.

Как показали проведенные исследования, в случае эшелонированного расположения стабилизаторов происходит определенное перераспределение расходов воздуха в межстабилизаторных и пристеночных каналах решетки по сравнению с ситуацией ей, когда такое эшелонирование отсутствует. Это обстоятельство иллюстрируют данные, приведенные на рис.2, соответствующие горелочному устройству с тремя эшелонированными стабилизаторами пламени. Как видно, значения продольных составляющих скорости в первом по потоку межстабилизаторном канале заметно превышают соответствующие величины для второго межстабилизаторного канала (см. линию 5 на графике). При этом соответствующие расходы воздуха отличаются более чем на 10 %. Что же касается пристеночных каналов, то здесь расхождения скоростей U_x в первом и во втором по потоку каналах оказывается более существенными, так что расходы воздуха отличаются примерно на 17 %.

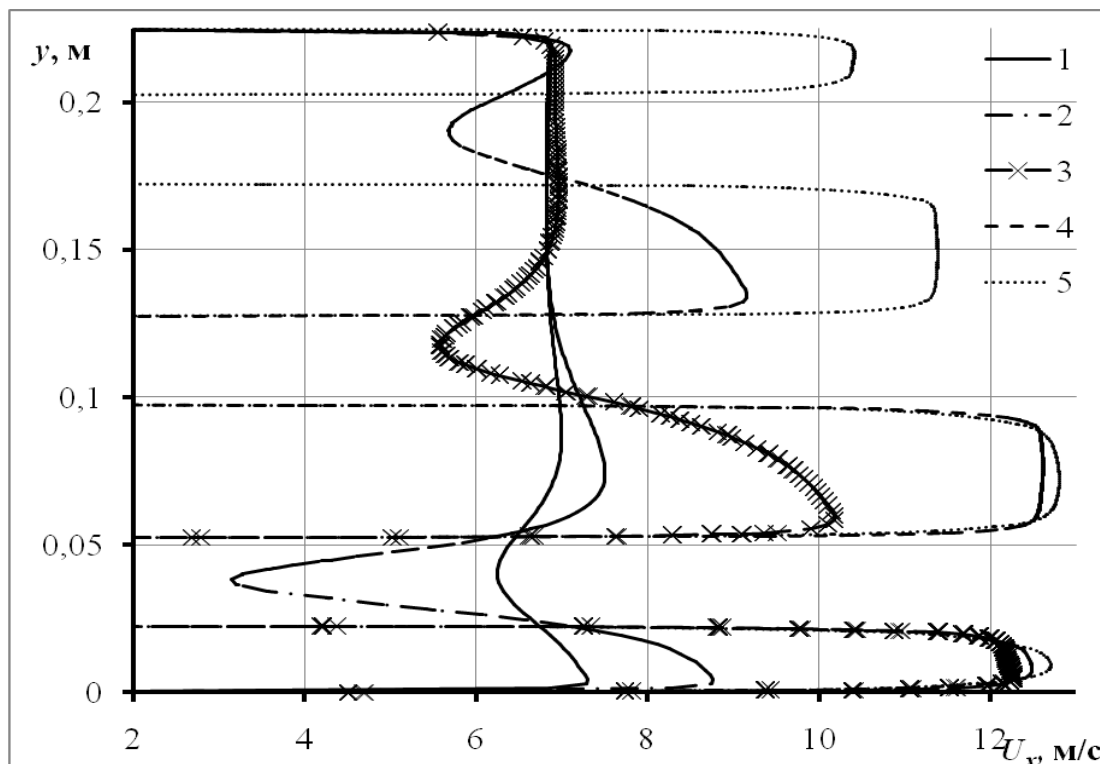


Рис.2. Эпюры продольной составляющей скорости для решетки, состоящей из трех стабилизаторов, на удалении 0,03 м вниз по потоку от лобовой точки третьего стабилизатора (линия 5), на расстоянии 0,04 и 0,02 м перед первым стабилизатором (линии 1 и 2) и 0,03 м перед вторым и третьим стабилизатором, соответственно (линии 3 и 4).

За стабилизаторной решеткой на некотором удалении от нее возникает асимметричность течения, обратная той, которая наблюдается в собственно стабилизаторной решетке. В качестве примера соответствующие данные приведены на рис.3. Как видно, поток за стабилизаторами в целом несколько отклоняется в сторону последнего из них по течению. Полученные результаты компьютерного моделирования свидетельствуют также о том, что далее вниз по потоку за стабилизаторной решеткой указанная асимметричность течения монотонно снижается. Это является следствием эффекта локализации влияния факта эшелонированного расположения стабилизаторов пламени.

В данной работе выполнены также исследования, посвященные анализу влияния количества эшелонированных стабилизаторов пламени на характеристики течения топлива и окислителя в горелочном устройстве. При этом рассмотрению подлежала ситуация, когда при проведении сопоставлений все прочие характеристики решетки оставались неизменными. В таких условиях изменение количества стабилизаторов отвечает соответствующему изменению мощности горелочного устройства.

Согласно полученным данным важнейшие особенности структуры течения сохраняются в случае различного количества стабилизаторов пламени.

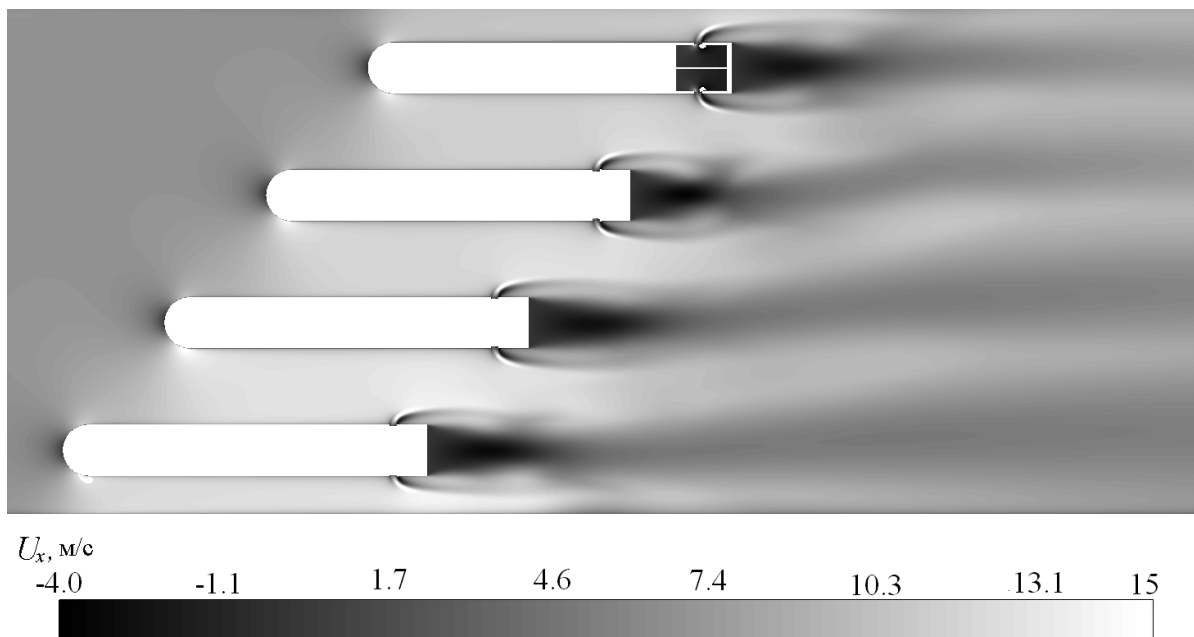


Рис.3. Поле продольной составляющей вектора скорости в сечении XOY, проходящем через центры газоподающих отверстий

Ниже на рис.4 и в таблице в качестве примера представлены результаты математического моделирования для стабилизаторных решеток, состоящих из 3 и 4 стабилизаторов пламени. Как видно из таблицы, для сопоставляемых ситуаций расходы воздуха весьма близки по величине в пристеночных каналах, а также в первом и последнем по потоку межстабилизаторных каналах. Обращает на себя внимание также тот факт, что в случае 4 стабилизаторов снижение расхода в каждом следующем стабилизаторном канале оказывается меньшим по величине.

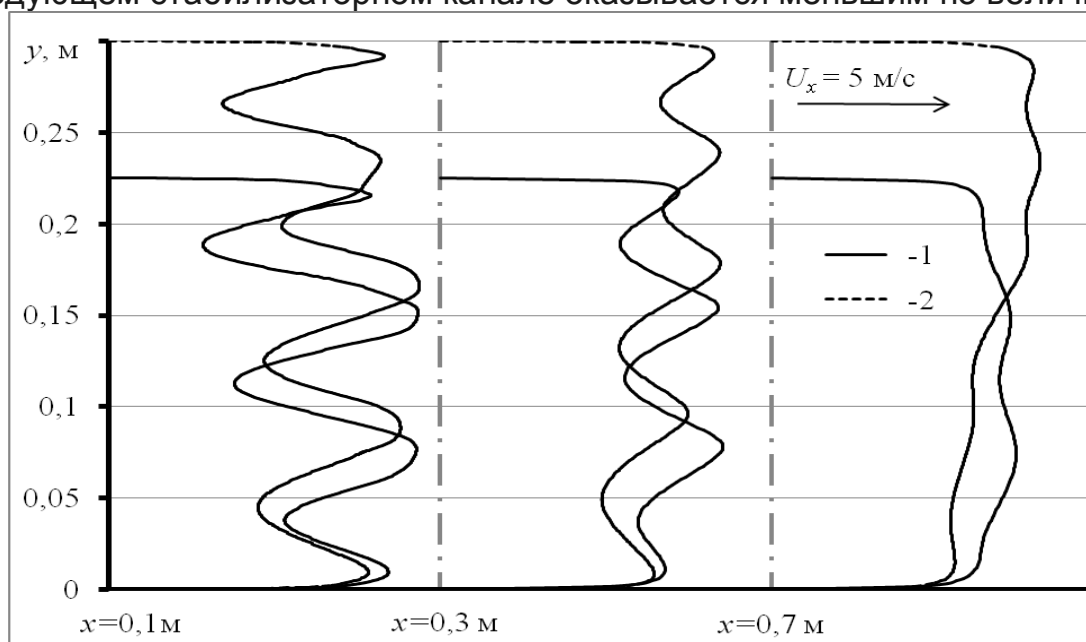


Рис. 4. Эпюры продольной компоненты U_x вектора скорости для решеток, состоящих из трех (линии 1) и четырех (линии 2) стабилизаторов пламени на фиксированном расстоянии x за последним из них по потоку: $x = 0,1$ м; $0,3$ м; $0,7$ м

Особенности течения за указанными решетками на некотором расстоянии от них вниз по потоку иллюстрируют данные, представленные на рис.4. Как видно, эпюры скорости U_x , отвечающие двум анализируемым ситуациям, существенно отличаются. Так, если в случае трех стабилизаторов местоположения минимумов скорости U_x примерно соответствуют осевым сечениям стабилизаторов, а максимумов – осевым сечениям межстабилизаторных каналов, то для четырех стабилизаторов положение указанных экстремумов заметно смещается в направлении последнего по потоку стабилизатора. Это обстоятельство свидетельствует о наличии перетоков по сечению канала в данном направлении. При этом на достаточно большом удалении от стабилизаторной решетки (см. $x=0,7$ м на рис. 4) в целом более низкие скорости наблюдаются в зоне, отвечающей местоположению первого по потоку стабилизатора.

Расход воздуха в каналах решеток стабилизаторов пламени, м³/ч

Количество стабилизаторов	Номер канала				
	I	II	III	IV	V
3	7,57	15,86	14,29	6,38	----
4	7,55	15,91	14,77	14,22	6,34

Важно также подчеркнуть, что согласно полученным данным выравнивание профиля скорости для трехстабилизаторной решетки происходит на меньшем расстоянии от нее, чем в случае четырехстабилизаторной решетки.

Выводы

На основе проведенных исследований показано, что структура течения топлива и окислителя в горелочном устройстве с эшелонированным расположением стабилизаторов пламени существенно отличается от таковой при установке торцов стабилизаторов в одной плоскости. При этом основные особенности течения при эшелонированном расположении стабилизаторов состоят, во-первых, в определенном перераспределении расходов воздуха в межстабилизаторных и пристеночных каналах и, во-вторых, в наличии за решеткой стабилизаторов на некотором удалении от нее асимметричности течения, обратной той, которая имеет место в собственно решетке.

Установлено также, что количество стабилизаторов пламени в эшелонированных решетках существенно влияет на характеристики течения топлива и окислителя в стабилизаторных горелочных устройствах.

Список литературы

1. Баламаджи И.И. Компьютерное моделирование течения топлива и окислителя в горелочных устройствах с эшелонированным расположением стабилизаторов пламени / И.И. Баламаджи, Н.М. Фиалко, Н.О. Меранова // 9 міжнар. наук.-практ. конф. аспірантів, магістрантів і студентів [«Сучасні

проблеми наукового забезпечення енергетики»], (Київ, 18-22 квітня 2011р.): тези доповідей.– К., 2011. – С.127.

2. Моделирование структуры течения изотермического потока в эшелонированной решетке плоских стабилизаторов пламени/ Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Л.С. Бутовский[и др.] // Пром. теплотехника. – 2010. – №6. – С. 28–36.

3. Особенности смесеобразования при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени в микрофакельных горелочных устройствах / Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, В.Г. Прокопов [и др.] // XXI междунар. конф. [«Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики»], (Ялта, 7-11 июня 2011 г.). – Киев, 2011. – С. 167–170.

4. Особенности течения топлива и окислителя при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени / Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Л.С. Бутовский [и др.] // Пром. теплотехника. – 2011. – №2.– С. 59–64.

5. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей / [Б.В. Раушенбах, С.А. Белый, И.В. Беспалов и др.] – М.: Машиностроение, 1964. – 526 с.

Подано результати досліджень закономірностей течії палива та окислювача в мікрофакельних пальникових пристроях з ешелонуваним розташуванням стабілізаторів полум'я. Наведено дані математичного моделювання щодо виявлення впливу кількості стабілізаторів на картину течії в ешелонованих стабілізаторних решітках.

Математичне моделювання, ешелонування стабілізаторів полум'я, мікрофакельні пальникові пристрої, структура течії палива та окислювача.

The results of studies of regularities flow of fuel and oxidant in micro-flame burner devices with echelon arrangement of flame stabilizers are given. The mathematical modeling data to identify the effect of the amount of stabilizers on the flow pattern in the stabilizer echelon gratings are discussed.

Mathematical modeling, echeloning flame stabilizers, micro-flame burners, the structure of the flow of fuel and oxidant.