

УДК 536.24:533

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ И СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ ТОПЛИВА И ОКИСЛИТЕЛЯ В ГОРЕЛКАХ С ПОДКОВООБРАЗНЫМ И ЛЕСТНИЧНЫМ ЭШЕЛОНИРОВАНИЕМ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПЛАМЕНИ

Фиалко Н.М., член-корреспондент НАН Украины, Меранова Н.О., канд. техн. наук, Рокитько К.В., Алешко С.А., канд. техн. наук

Институт технической теплофизики НАН Украины, ул. Желябова, 2а, Киев, 03680, Украина

Наводяться дані CFD прогнозування структури ізотермічної течії та закономірностей сумішоутворення палива та окиснювача в пальникових пристроях з різними конструктивними схемами ешелонування стабілізаторів полум'я. Подаються результати порівняльного аналізу характеристик течії та сумішоутворення за наявності та відсутності вказаного ешелонування.

Приводятся данные CFD прогнозирования структуры изотермического течения и закономерностей смесеобразования топлива и окислителя в горелочных устройствах с различными конструктивными схемами эшелонирования стабилизаторов пламени. Даны результаты сравнительного анализа характеристик течения и смесеобразования при наличии и отсутствии указанного эшелонирования.

The data CFD predicting of the structure of the isothermal flow and the regularities of the fuel and oxidant mixture formation in burners with different constructional schemes of the echeloning of flame stabilizers are presented. The results of a comparative analysis of flow characteristics and mixture formation in the presence and absence of the indicated echeloning are given.

Библ. 10, рис. 4, табл.1.

Ключевые слова: течение, смесеобразование, подковообразное и лестничное эшелонирование, горелочные устройства, математическое моделирование.

B_k – ширина канала;

$B_{ст}$ – ширина стабилизатора;

d – диаметр газоподающих отверстий;

D_k – коэффициент диффузии k -го компонента;

H – шаг расположения стабилизаторов;

N – число компонентов смеси;

L – длина;

P – статическое давление;

S – шаг расположения газоподающих отверстий;

Sc_k – число Шмидта k -го компонента, $Sc_k = \nu / D_k$;

Sc_T – турбулентное число Шмидта;

t – время;

U_j – компоненты вектора скорости в направлении x_j ;

w_k – массовая концентрация k -го компонента;

x_j – декартова координата;

ν, ν_t – кинематическая и турбулентная кинематическая вязкость;

ρ – плотность среды;

ρ_k – парциальная массовая плотность k -го компонента, $\rho_k = \rho \cdot w_k$;

τ_{ij} – компоненты тензора напряжений;

DDES (Delayed Detached Eddy Simulation) – метод моделирования отсоединенных вихрей;

LES (Large Eddy Simulation) – метод моделирования крупных вихрей;

URANS (Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes) – полуэмпирический метод, базирующийся на осредненных по Рейнольдсу стационарных и нестационарных уравнениях Навье-Стокса;

v – воздух;

vx – входный;

vex – выходной;

g – газ;

$ст$ – стабилизатор.

Введение

Эшелонированное расположение стабилизаторов пламени в микрофакельных горелочных устройствах является, как известно, одним из эффективных способов воздействия на протекающие в них рабочие процессы [1-5]. В зависимости от целей такого воздействия могут использоваться различные конструктивные схемы указанного эшелонирования. Особый интерес представляет рассмотрение следующих двух конструктивных схем. Первая из них отвечает условиям, когда необхо-

димо обеспечение пониженного уровня температур в зонах огнетехнического объекта, находящихся вблизи крайних стабилизаторов решетки. Для выполнения данного требования целесообразно использовать так называемое подковообразное расположение стабилизаторов пламени. Вторая конструктивная схема соответствует требованию определенного смещения ядра факела с целью получения существенно неравномерного поля температур в поперечном сечении потока непосредственно за горелочным устройством. Эти условия могут быть

реализованы при использовании лестничного эшелонирования стабилизаторов пламени в решетке.

Развитие технологий сжигания топлива в горелках с указанными типами эшелонирования стабилизаторов пламени обуславливает необходимость проведения исследований различных элементов их рабочих процессов.

1. Анализ последних исследований и публикаций

В последний период исследованию рабочих процессов в горелках с эшелонированным расположением стабилизаторов пламени уделяется все большее внимание. При этом имеющиеся публикации посвящены, главным образом, изучению физической ситуации, отвечающей лишь одной конструктивной схеме эшелонирования стабилизаторов пламени, а именно, их лестничному расположению. Так, в [1, 2, 6-8] представлены результаты исследований структуры течения топлива и окислителя в решетках данного типа. Работы [9, 10] касаются формирования температурных полей в зоне горения за лестнично эшелонированными стабилизаторами пламени и т.д.

Потребности энергетической практики вызывают необходимость исследования различных конструктивных схем эшелонирования стабилизаторов пламени. Важным является также проведение сравнительного анализа характеристик рабочих процессов в горелках с разными типами эшелонирования и при расположении торцов стабилизаторов в одной плоскости.

2. Формулировка цели статьи

Целью работы является выявление основных особенностей течения и смесеобразования топливного газа и окислителя в горелочных устройствах с подковообразным и лестничным эшелонированием стабилизаторов пламени и проведение сравнительного анализа установленных закономерностей с ситуацией отсутствия такого эшелонирования.

3. Особенности постановки задачи

Рассматривается картина течения и смесеобразования природного газа и воздуха в горелочных устройствах при подковообразном и лестничном размещении стабилизаторов пламени (рис. 1).

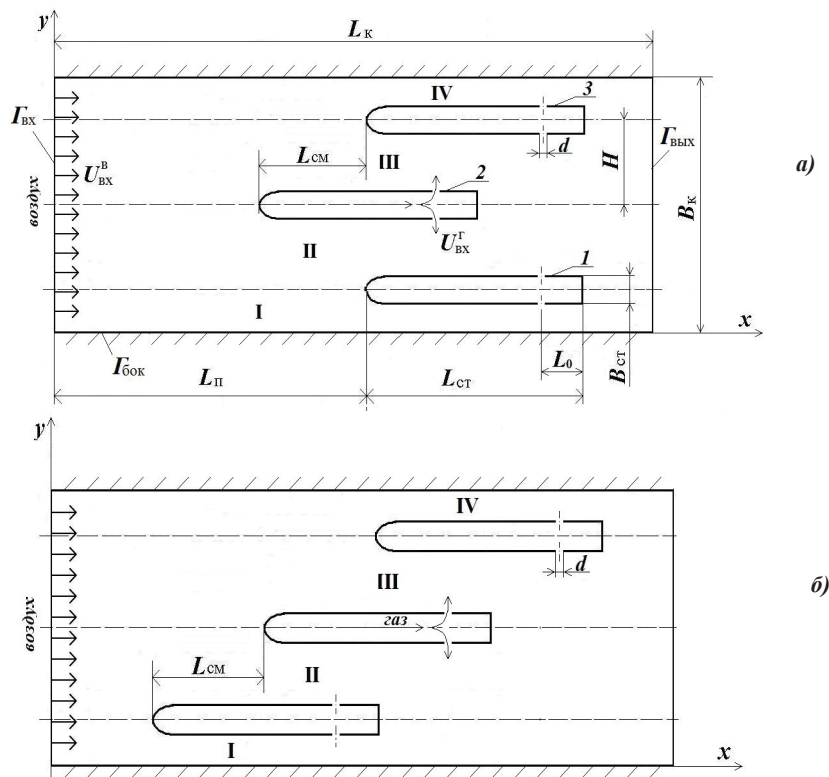


Рис. 1. К постановке задачи для подковообразно (а) и лестнично (б) эшелонированной решетки стабилизаторов пламени: 1, 2, 3 – первый, второй и третий стабилизаторы пламени; I, IV – пристеночные каналы; II, III – межстабилизаторные каналы.

Решетка стабилизаторов располагается в прямоугольном канале горелочного устройства, ограниченном входным $\Gamma_{\text{вх}}$ и выходным $\Gamma_{\text{вых}}$ поперечными сечениями и боковой поверхностью канала $\Gamma_{\text{бок}}$. На вход канала подается воздух, который омывает наружные поверхности

стенки стабилизаторов. Подача газа на горение осуществляется проникновением в сносный поток воздуха через систему газоподающих отверстий на боковых поверхностях стабилизаторов пламени. Эшелонирование решеток выполняется за счет смещения стабилизаторов

друг относительно друга вдоль потока на некоторую постоянную величину – шаг смещения L_{cm} (рис. 1).

Математическая модель, описывающая процессы течения и смесеобразования в рассматриваемом горелочном устройстве, включает в себя следующие дифференциальные уравнения:

уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_j)}{\partial x_j} = 0, \quad j = 1, 2, 3, \quad (1)$$

уравнения движения

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

уравнения сохранения массы компонентов смеси

$$\frac{\partial \rho_K}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_K U_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v}{Sc_K} + \frac{v_T}{Sc_T} \right) \frac{\partial \rho_K}{\partial x_j}, \quad K = 1, 2, \dots, N-1. \quad (3)$$

В представленной модели суммирование производится по повторяющемуся индексу j .

Граничные условия к системе уравнений (1) – (3) задавались следующим образом: во входных сечениях принимались постоянные значения скорости и степени турбулентности потока, в выходных сечениях – мягкие граничные условия; на твердых границах задавались условия прилипания для скорости и равенство нулю первых производных по нормали к этим поверхностям от концентрации компонентов смеси.

Решение поставленной задачи проводилось на основе DDES подхода, который является комбинацией URANS и LES моделей и объединяет их лучшие свой-

ства. По результатам верификации модели турбулентного переноса для указанного подхода была выбрана *k-ε realizable* модель турбулентности.

4. Изложение основного материала

На рис. 2 – 4 и в табл. 1 представлены характерные результаты выполненных численных исследований, отвечающие следующим исходным данным: $U_{вх}^B = 6,8 \text{ м/с}$; $U_{вх}^r = 24 \text{ м/с}$; $L_n = 0,2 \text{ м}$; $L_{ct} = 0,215 \text{ м}$; $L_k = 1,5 \text{ м}$; $H = 0,075 \text{ м}$; $B_k = 0,225 \text{ м}$; $B_{ct} = 0,03 \text{ м}$; $L_{cm} = 0,06 \text{ м}$; $L_0 = 0,02 \text{ м}$; $d = 0,0045 \text{ м}$; $S/d = 3,55$, $Tu_{вх}^B = Tu_{вх}^r = 5\%$.

4.1. Структура изотермического течения топлива и окислителя

В табл. 1 приведены средние значения продольной составляющей скорости \bar{U}_x в каналах неэшелонированной и рассматриваемых эшелонированных решеток стабилизаторов пламени. Как видно, при подковообразном расположении стабилизаторов пламени скорости в межстабилизаторных каналах оказываются более высокими, а в пристеночных каналах – несколько ниже, чем при установке торцов стабилизаторов в одной плоскости. В случае же лестнично эшелонированной решетки значения \bar{U}_x увеличиваются в сравнении с неэшелонированной решеткой в каналах, прилежащих к первому по потоку стабилизатору, и уменьшаются в остальных каналах. Так, если в случае подковообразной решетки стабилизаторов пламени средние скорости в межстабилизаторном и пристеночном канале отличаются примерно на 19 %, то в неэшелонированной решетке это отличие составляет лишь 4,5 %.

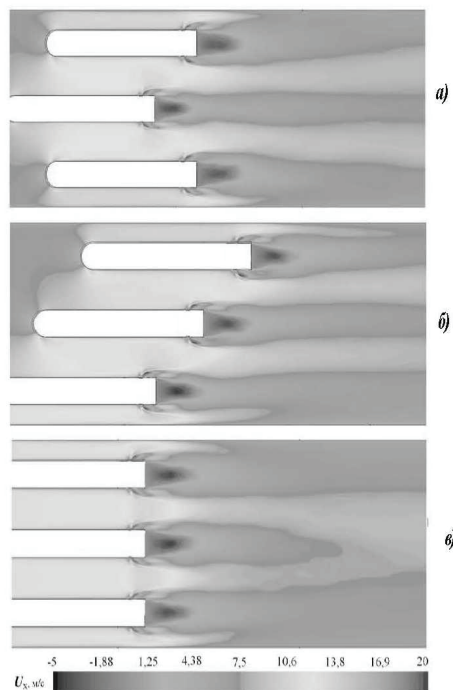


Рис. 2. Поля продольной составляющей вектора скорости в продольном сечении, проходящем через центры газоподающих отверстий, для подковообразной (а), лестничной (б) и неэшелонированной (в) решеток стабилизаторов пламени.

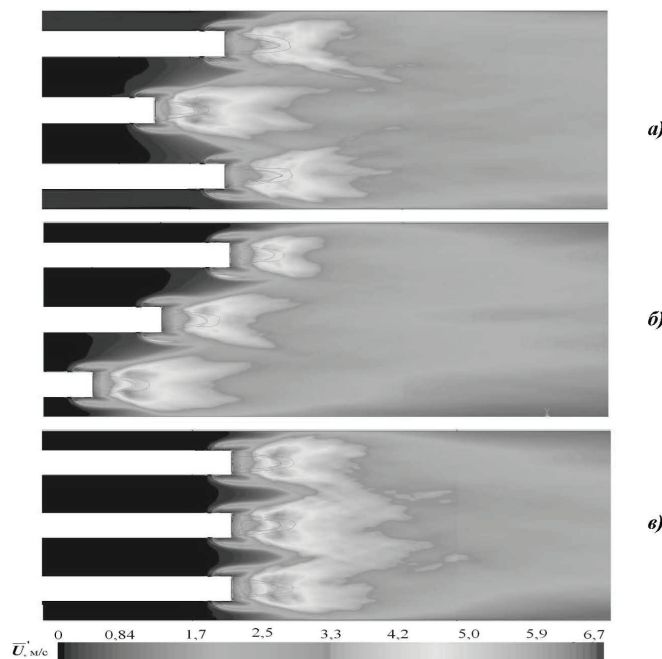


Рис. 3. Поля среднеквадратичных значений пульсаций скорости $\overline{U'}$ в сечении, проходящем через центры газоподающих отверстий, для подковообразной (а), лестничной (б) и неэшелонированной (в) решеток стабилизаторов пламени.

При лестничном эшелонировании стабилизаторов расхождение скоростей в верхнем и нижнем пристеночном каналах достигает 18 %, а в неэшелонированной решетке эти скорости оказываются одинаковыми.

Приведенные в табл. 1 данные свидетельствуют также о том, что отклонения значений скорости \overline{U}_x в каналах эшелонированных решеток от их величин при отсутствии эшелонирования имеют общие особенности для подковообразного и лестничного расположения стабилизаторов. А именно, в обеих ситуациях значения \overline{U}_x увеличиваются в каналах, прилегающих к первому по потоку стабилизатору, и уменьшаются в остальных каналах. То есть в каналах эшелонированных решеток происходит определенное перераспределение расходов воздуха в сравнении с условиями, когда такое эшелонирование отсутствует.

На рис. 3 представлены поля среднеквадратичных пульсаций скорости $\overline{U'}$ в сечении, проходящем через центры газоподающих отверстий. Из сопоставления данных на рис. 3, а), б), в) следует, что при подковообразном и лестничном расположении стабилизаторов, а также при установке их торцов в одной плоскости наибольшие значения пульсаций скорости $\overline{U'}$ наблюдаются за срывной кромкой каждого из стабилизаторов. Однако, при этом поля пульсаций для рассматриваемых эшелонированных и неэшелонированной решеток отличаются весьма существенно в качественном и количественном отношении. Так, в случае неэшелонированных решеток картины полей пульсаций близки за всеми стабилизаторами, а при их эшелонированном расположении существенно различны для разных стабилизаторов. А

именно, как в случае подковообразно, так и лестнично эшелонированной решетки, за первым по потоку стабилизатором (центральным для подковообразного расположения стабилизаторов и нижним периферийным для их лестничного расположения) уровни пульсаций скорости \overline{U}_x значительно выше, чем за остальными стабилизаторами. При этом данные уровни за указанным первым стабилизатором близки к таковым в условиях отсутствия эшелонирования. То есть в целом турбулизация потока за решеткой стабилизаторов оказывается более существенной в случае расположения торцов стабилизаторов в одной плоскости.

Что касается потерь давления в горелочном устройстве с подковообразно эшелонированной решеткой, то они оказываются весьма близкими к таковым при лестничном эшелонировании стабилизаторов и составляют 39,5 Па. Эти потери несколько меньше по величине по сравнению с ситуацией, отвечающей неэшелонированной решетке. Здесь данные потери равны 43,0 Па. Последнее обусловлено, в частности, большей турбулизацией потока в закормовых областях стабилизаторов при расположении их торцов в одной плоскости.

4.2. Смесеобразование топливного газа и воздуха

На рис. 4 представлены поля массовых концентраций метана в продольных сечениях горелочного устройства для решетки с подковообразным, лестничным эшелонированием стабилизаторов пламени и при расположении их торцов в одной плоскости. Здесь зоны I и II отвечают подобластям с повышенным содержанием воздуха и топлива соответственно. В первой зоне мас-

совая концентрация метана меньше нижнего концентрационного предела воспламенения $c < 0,028$, а во второй зоне превышает верхний концентрационный предел $c > 0,089$. В зоне III величина c находится в концентрационных пределах воспламенения.

Как видно, картины смешения топлива и окислителя, относящиеся к разным схемам расположения стабилизаторов пламени в решетке, качественно весьма сходны. А именно, области развития газовых струй соответствуют зонам II с повышенным содержанием газа. В межстабилизаторном пространстве и несколько ниже по потоку за пределами указанных зон имеют ме-

сто подобласти I с повышенным содержанием воздуха. В зонах циркуляционного течения за стабилизаторами и в их ближнем следе обеспечиваются требуемые концентрационные пределы горючей смеси.

Наряду с отмеченными общими для трех рассматриваемых стабилизаторных решеток закономерностями смесеобразования наблюдается также и определенные особенности, характерные для каждой из них. При этом картина смесеобразования в большой мере определяется спецификой структуры течения топлива и окислителя.

Табл. 1. Средние значения продольной составляющей скорости \bar{U}_x в каналах незшелонированной и эшелонированных решеток стабилизаторов пламени.

Тип решетки	Скорости \bar{U}_x в каналах, м/с			
	I	II	III	IV
подковообразно эшелонированная	10,09	11,97	11,97	10,09
лестнично эшелонированная	11,5	12,18	11,18	9,76
неэшелонированная	11,0	11,5	11,5	11,0

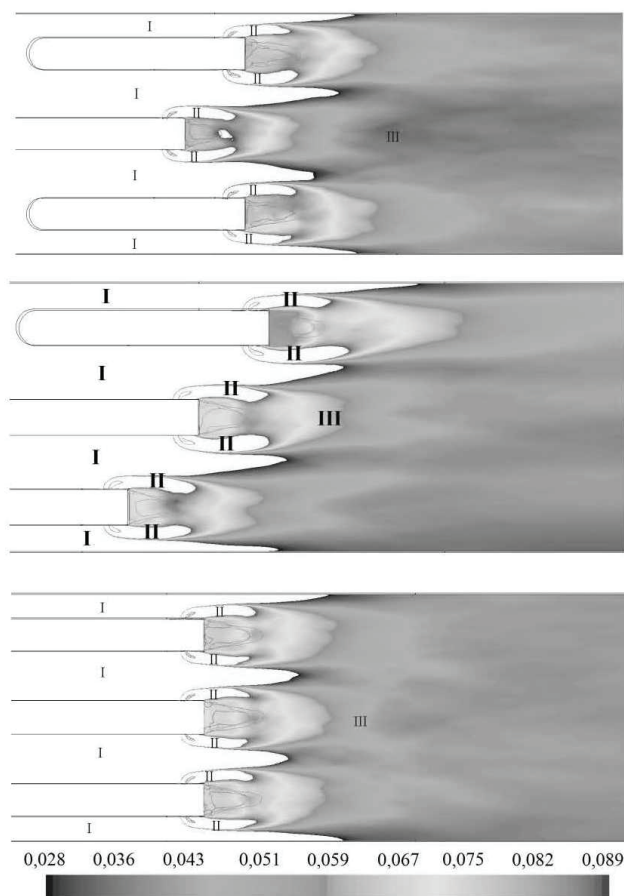


Рис. 4. Поля массовых концентраций метана в продольном сечении, проходящем через центры газоподающих отверстий, для решетки с подковообразным (а), лестничным (б) и незшелонированным (в) расположением стабилизаторов пламени.

В случае решетки с подковообразным расположением стабилизаторов пламени поле концентраций метана, как и поле скоростей, является практически симметричным относительно оси канала. Уровень концентрации метана в зоне обратных токов за центральным, первым по потоку стабилизатором, превышает соответствующие уровни за периферийными стабилизаторами. Это объясняется большими, чем при неэшелонированном расположении стабилизаторов расходами воздуха в межстабилизаторных каналах и соответственно меньшей дальностью струй центрального стабилизатора. Такое прижатие струй к стабилизатору и обуславливает более высокие уровни концентраций метана в зоне обратных токов за центральным стабилизатором.

При удалении от стабилизаторов вниз по потоку картина существенно меняется. Здесь, напротив, наименьшие концентрации метана отвечают центральному стабилизатору. Это обстоятельство также обусловлено указанным повышением расходов воздуха в межстабилизаторных каналах.

Что касается решетки с лестничным расположением стабилизаторов пламени, то здесь закономерности смесеобразования оказываются различными для каждого из трех стабилизаторов. Так, имеют место заметные отличия в полях концентрации метана непосредственно за стабилизаторами. Здесь указанные уровни концентрации в целом являются наиболее высокими за первым по потоку стабилизатором, более низкими – за вторым, и наименьшими – за третьим. Данное обстоятельство, как очевидно, обусловлено описанным выше перераспределением расходов в каналах стабилизаторной решетки. Действительно, с большими расходами воздуха и соответственно с его большими скоростями в нижней части стабилизаторной решетки связана меньшая дальность струй газа в этой зоне. Последнее, в свою очередь, и обуславливает более высокую концентрацию метана непосредственно за стабилизатором.

Что же касается полей концентраций метана, на некотором удалении от стабилизаторов вниз по потоку, то здесь наблюдается обратная картина. То есть концентрация метана за первым по потоку стабилизатором является наименьшей, несколько большей – за вторым, и наибольшей – за третьим. Это непосредственно связано с большими расходами воздуха в нижней части лестнично-эшелонированной решетки.

Из сопоставления данных на рис. 4 а), б), в) также следует, что зоны с повышенным содержанием воздуха в межстабилизаторных каналах и ниже по потоку оказываются более протяженными для неэшелонированной решетки стабилизаторов. Это связано с тем, что в последнем случае имеет место значительное локальное ускорение воздушного потока ввиду внедрения струй газа, симметрично стесняющих данный поток. При эшелонированном же расположении стабилизаторов струи газа смещены друг относительно друга по течению, ввиду чего локальное ускорение воздушного потока является менее существенным и, соответственно, указанные зоны с повышенным содержанием воздуха заметно короче.

Выводы

1. Для горелочных устройств с подковообразным и лестничным эшелонированием плоских стабилизаторов пламени на основе CFD моделирования установлены закономерности течения и смесеобразования топлива и окислителя.

2. Получены данные сравнительного анализа картины течения и смесеобразования в случае рассматриваемых конструктивных схем эшелонирования и его отсутствия. Показано, что при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени в сопоставлении с условиями размещения их торцов в одной плоскости:

а) картина течения топлива и окислителя обладает такими основными особенностями:

- имеет место перераспределение расходов воздуха в каналах эшелонированных решеток, так что данные расходы увеличиваются в каналах, прилежащих к первому по потоку стабилизатору, и уменьшаются в остальных;

- наблюдается в целом более низкий уровень турбулизации потока в закормовых областях стабилизаторов пламени и соответственно несколько меньшие потери давления в горелочном устройстве;

б) смесеобразование топливного газа и окислителя характеризуется следующей спецификой:

- в зонах обратных токов в приторцевых областях стабилизаторов пламени концентрации метана при подковообразном расположении стабилизаторов оказываются более высокими за центральным стабилизатором, а при их лестничном расположении – за первым по потоку, заметно превышая соответствующие уровни за вторым стабилизатором и существенно превосходя их за третьим последним вдоль потока;

- на некотором удалении от стабилизаторной решетки вдоль по потоку для двух рассматриваемых конструктивных схем эшелонирования картина полей концентраций является обратной той, которая имеет место в непосредственной близости от решетки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Прокопов В.Г., Полозенко Н.П., Меранова Н.О., Алешко С.А., Иваненко Г.В., Юрчук В.Л., Милко Е.И., Ольховская Н.Н. 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., Бутовский Л.С., Шеренковский Ю.В., Алешко С.А., Меранова Н.О., Полозенко Н.П. Особенности течения топлива и окислителя при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени // Промышленная теплотехника. – 2011. – №2. – С. 59–64.

3. Шеренковский Ю.В., Фиалко Н.М., Меранова Н.О., Полозенко Н.П., Алешко С.А., Малецкая О.Е. Закономерности течения и смесеобразования в горелочных устройствах с гребенчато-эшелонированными стабилизаторными решетками // Тезисы IX международной конференции «Проблемы промышленной теп-

лотехники», Киев 20–23 октября 2015г. – Киев, 2015. – Т.37, №7. – С. 31.

4. Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Фиалко Н.М., Полозенко Н.П., Алешко С.А., Милко Е.И. Влияние конструктивных и режимных параметров на структуру течения в горелочных устройствах при лестнично эшелонированном расположении стабилизаторов пламени // Тезисы IX международной конференции «Проблемы промышленной теплотехники», Киев 20–23 октября 2015г. – Киев, 2015. – Т.37, №7. – С. 39.

5. Раушенбах Б.В., Белый С.А., Беспалов И.В., Бородачев В.Я., Волынский М.С., Прудников А.Г. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушнореактивных двигателей. – М.: Машиностроение, 1964. – 526 с.

6. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Прокопов В.Г., Полозенко Н.П., Меранова Н.О., Алешко С.А., Милко Е.И., Озеров А.А., Кутняк О.Н., Швецова Л.А., Абдулин М.З. Влияние на характеристики течения степени загромождения эшелонированными стабилизаторами каналов горелочных устройств // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – 209, Ч.2. – С. 45-53.

7. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Бутовский Л.С.,

Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Коханенко П.С., Полозенко Н.П. Моделирование структуры течения изотермического потока в эшелонированной решетке плоских стабилизаторов пламени // Промышленная теплотехника. – 2010. – № 6. – С. 28–36.

8. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Алешко С.А., Полозенко Н.П., Бутовский Л.С., Абдулин М.З., Клищ А.В., Новицкий В.С., Евтушенко А.А. Закономерности смесеобразования в эшелонированных решетках плоских стабилизаторов пламени // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.7 – С. 187–191.

9. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Майсон Н.В., Полозенко Н.П., Степанова А.И. CFD моделирование температурных полей в горелочных устройствах с эшелонированным расположением стабилизаторов пламени // Технологические системы. – 2016, №2, – С.92-99

10. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Алешко С.А., Полозенко Н.П., Меранова Н.О., Бутовский Л.С., Абдулин М.З. Закономерности формирования температурных полей продуктов горения // Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики: сборник трудов. – Киев, 2015. – С. 110–113.

**MODELING OF FLOW AND MIXTURE
FORMATION OF FUEL AND OXIDANT IN
BURNERS WITH HORSESHOE-SHAPED
AND STAIRCASE ECHELONING OF FLAME
STABILIZERS**

Fialko N.M., Meranova N.O., Rokyt'ko K.V., Aleshko S.A.

Institute of Engineering Thermophysics, National
Academy of Sciences of Ukraine,
2a, Zhelyabova str., Kyiv, 03057, Ukraine

The data CFD predicting of the structure of the isothermal flow and the regularities of the fuel and oxidant mixture formation in burners with different constructional schemes of the echeloning of flame stabilizers are presented. The results of a comparative analysis of flow characteristics and mixture formation in the presence and absence of the indicated echeloning are given. Particular attention is paid to the peculiarities of redistribution of air flowrate in the channels of the echeloned stabilizing gratings. The characteristics of the mixture formation in the aspect of their conditionality by the specificity of the flow of fuel and oxidant are considered. References 10, fig-ures 4, tables 1,

Key words: Flow, mixture formation, horseshoe shaped and staircase echeloning, burners, mathe-matical modeling.

1. *Fialko N.M., Sherenkovskiy Yu.V., Prokopov V.G., Polozenko N.P., Meranova N.O., Aleshko S.A., Ivanenko G.V., Yurchuk V.L., Milko E.I., Olkhovskaya N.N.* Modeling of the flow structure in the echeloning gratings of stabilizers with a variation in the step of their displacement . East-European Journal of Advanced Technologies, 2015, V.2, №8 (74), P. 29-34. (Rus.)

2. *Fialko N.M., Prokopov V.G., Butovskiy L.S., Sherenkovskiy Yu.V., Aleshko S.A., Meranova N.O., Polozenko N.P.* Features of the flow of fuel and oxidizer in the echeloning location of flame stabilizers, Industrial Heat Engineering, 2011, №2, P. 59-64. (Rus.)

3. *Sherenkovskiy Yu.V., Fialko N.M., Meranova N.O., Polozenko N.P., Aleshko S.A., Maletskaya O.E.* Regularities of flow and mixture formation in burners with comb shaped echeloning stabilizer gratings, Abstracts of the IX International Conference "Problems of Industrial Heat Engineering", Kiev, October 20-23, 2015, Kiev, 2015, V.37,

№7, P. 31. (Rus.)

4. *Prokopov V.G., Sherenkovskiy Yu.V., Fialko N.M., Polozenko N.P., Aleshko S.A., Milko E.I.* Influence of constructive and regime parameters on flow structure in burner devices with staircase echeloned displacement of flame stabilizers, Abstracts of the IX International Conference "Problems of Industrial Heat Engineering", Kiev, October 20-23, 2015, Kiev, 2015, V.37, №7, P. 39. (Rus.)

5. *Rauschenbach B.V., Belyi S.A., Besspalov I.V., Borodachev V.Ya., Volynsky M.S., Prudnikov A.G.* Physical basis of the working process in combustion chambers of air-breathing engines, Moscow, Mashinostroenie, 1964, 526 p. (Rus.)

6. *Fialko N.M., Sherenkovskiy Yu.V., Prokopov V.G., Polozenko N.P., Meranova N.O., Aleshko S.A., Milko E.I., Ozerov A.A., Kutnyak O.N., Shvetsova L.A., Abdulin M.Z.* Influence degree of cluttering by echeloning stabilizers of burner devices channels on the characteristics of the flow, Scientific Journal NLTU Ukraine., 2015, № 209, Part 2, P. 45-53. (Rus.)

7. *Fialko N.M., Prokopov V.G., Butovskiy L.S., Sherenkovskiy Yu.V., Meranova N.O., Aleshko S.A., Kokhanenko P.S., Polozenko N.P.* Simulation of the flow structure of an isothermal flow in the echeloned grating of flat flame stabilizers, Industrial heat engineering, 2010, № 6, P. 28-36. (Rus.)

8. *Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovskiy Yu.V., Aleshko S.A., Polozenko N.P., Butovskiy L.S., Abdulin M.Z., Klisch A.V., Novitsky V.S., Evtushenko A.A.* Regularities of the mixture formation in the echeloning grating of flat flame stabilizers, Scientific Journal NLTU Ukraine., 2014, № 24.7, P. 187-191. (Rus.)

9. *Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovskiy Yu.V., Meranova N.O., Aleshko S.A., Mayson N.V., Polozenko N.P., Stepanova A.I.* CFD modeling of temperature fields in burner devices with echeloning arrangement of flame stabilizers, Technological Systems, 2016, № 2, P.92-99. (Rus.)

10. *Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovskiy Yu.V., Aleshko S.A., Polozenko N.P., Meranova N.O., Butovskiy L.S., Abdulin M.Z.* Regularities in the formation of temperature fields of combustion products, Problems of ecology and operation of energy facilities: a collection of works, Kiev, 2015, P. 110-113. (Rus.)

Получено 05.06.2017
Received 05.06.2017