

4. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высш. шк., 1967. – 189 с.
5. Майоров В.А. Расчет и анализ энергетических характеристик солнечных батарей различных типов / В.А. Майоров // Тр. 7-й Междунар. науч.-техн. конф. «Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве», 13-14 мая 2008 г., г. Москва. Ч.4. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – С. 96– 100.
6. Стребков Д.С. Концентраторы солнечного излучения / Д.С. Стребков, Э.В. Тверьянович. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 316 с.

Розглянуто нові фотоелектричні модулі, що включають фото-приймачі і концентратори, які забезпечують ефективне перетворення сонячної енергії в теплову та електричну. Проведено математичне моделювання для створення алгоритму розрахунку конструкції тепло-фотоелектричного модуля з заданими енергетичними параметрами.

Сонячний модуль, колектор, сонячна енергія, тепло фотоелектричний модуль.

Some new photovoltaic modules, including photodetectors and hubs to ensure efficient conversion of solar energy into heat and electricity. The mathematical modeling to create an algorithm for calculating the design heat the solar module with the specified power parameters.

Solar module, collector, solar energy, heat the solar module.

УДК 621.1.016:621.184

ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ И СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В МИКРОФАКЕЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ

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

В.Г. Прокопов, доктор технических наук

Н.В. Майсон, аспирант*

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

Н.Н. Ольховская, научный сотрудник

Л.А. Швецова, младший научный сотрудник

М.И. Дончак, главный конструктор

Институт технической теплофизики НАН Украины

Л.С. Бутовский, кандидат технических наук

Национальный технический университет Украины «КПИ»

¹ Научный руководитель – чл.-корр. НАН Украины, доктор технических наук, профессор Н.М. Фиалко

© Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Н.В. Майсон, Ю.В. Шеренковский, Г.В. Иваненко, М.З. Абдулин, Н.Н. Ольховская, Л.А. Швецова, М.И. Дончак, Л.С. Бутовский, 2014

Приведены результаты выполненного на основе CFD моделирования комплекса исследований аэродинамики и смесеобразования для типоряда микрофакельных цилиндрических горелочных устройств мощностью от 20 до 200 кВт. Представлены разработанные рекомендации по выбору рациональных конструктивных параметров рассматриваемых горелочных устройств.

CFD моделирование, цилиндрические горелочные устройства, аэродинамика, смесеобразование топлива и окислителя.

Горелочные устройства сравнительно малой мощности широко применяются в энергетическом оборудовании АПК различного назначения. Их использование является эффективным для огнетехнических объектов не только относительно небольшой, но и различной теплопроизводительности в условиях, когда предъявляются высокие требования к равномерности теплоподвода по огневому пространству.

Для отмеченных ситуаций целесообразным оказывается использование микрофакельных горелочных устройств с цилиндрическими стабилизаторами пламени. Их более высокая эффективность в сравнении с традиционными горелочными устройствами, в которых применяются плоские стабилизаторы, обусловлена, главным образом, отсутствием различного рода потерь, связанных с концевыми эффектами. К тому же практически важным является то обстоятельство, что цилиндрические горелочные устройства ввиду особенностей конфигурации сравнительно легко интегрируются в конструкцию энергетического оборудования.

Анализ состояния исследований, касающихся создания высокоэффективных микрофакельных цилиндрических конструкций, свидетельствует о том, что имеющиеся отдельные работы, посвященные данной тематике, далеко не исчерпывают потребности энергетической практики (например, [1–3]). Это обуславливает необходимость дальнейшего развития исследований различных элементов рабочих процессов микрофакельных цилиндрических горелочных устройств.

Цель исследований – установление закономерностей течения и смесеобразования в микрофакельных цилиндрических горелочных устройствах различной мощности и выбор их рациональных конструктивных параметров.

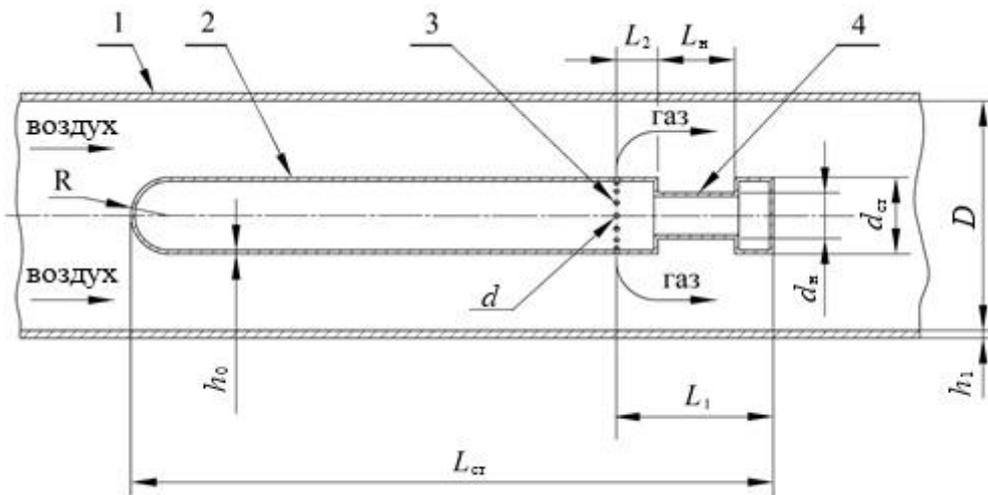
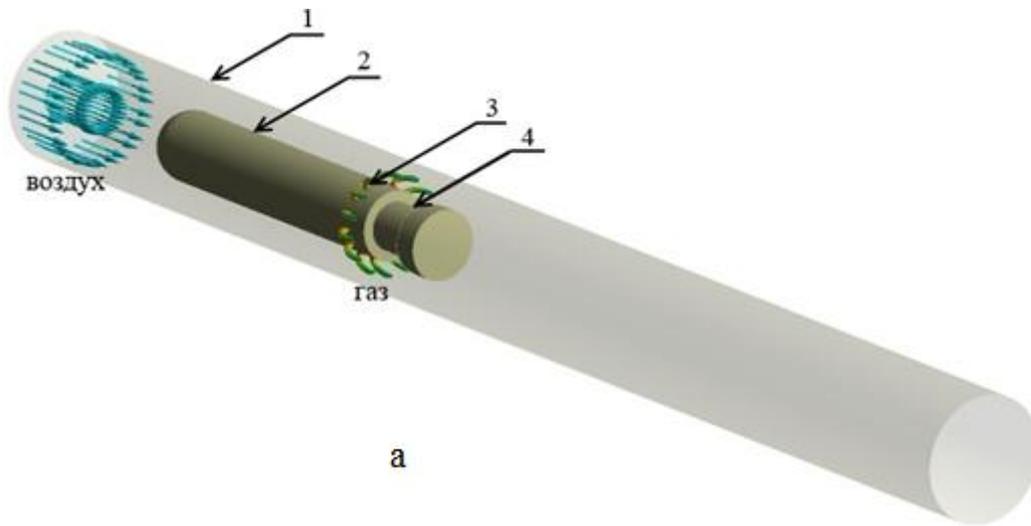
Материалы и методика исследований. Рассматривается горелочный модуль, представляющий собой круглый канал с размещенным в нем цилиндрическим стабилизатором с округленной передней и затупленной задней кромкой (рис.1). Стабилизатор снабжен системой круглых отверстий, через которые осуществляется поперечная подача газа в сносящий поток воздуха. Отверстия располагаются перед смещенной вниз по потоку прямоугольной кольцевой нишей.

Математическая модель исследуемых процессов течения и смесеобразования в микрофакельном цилиндрическом горелочном устройстве может быть представлена в виде

$$\nabla(\rho \vec{U} \vec{U}) = -\nabla p + \nabla \vec{\tau}; \quad (1)$$

$$\nabla(\rho \vec{U}) = 0; \quad (2)$$

$$\nabla(\rho \vec{U} Y_i) = \nabla \left(\left(\frac{\mu}{Sc_i} + \frac{\mu_i}{Sc_i} \right) \nabla Y_i \right); \quad i = 1, 2, \dots, N-1; \quad (3)$$



б

Рис. 1. Схема (а) и продольный разрез (б) горелочного устройства с цилиндрическим стабилизатором пламени:

- 1 – круглый канал; 2 – цилиндрический стабилизатор пламени;
3 – газоподающие отверстия; 4 – кольцевая ниша

$$\rho = \frac{P}{RT \sum_i \frac{Y_i}{M_i}}, \quad (4)$$

где \vec{U} – вектор скорости, м/с; p – давление, Па; $\bar{\tau}$ – тензор напряжений, н/м²; ρ – плотность, кг/м³; μ , μ_T – коэффициенты молекулярной и турбулентной динамической вязкости, Па·с; Y_i – массовая доля i -той компоненты смеси; M_i – молекулярная масса i -той компоненты, кг/моль; D_i – коэффициент диффузии i -той компоненты, м²/с; Sc_i – число Шмидта i -той компоненты, $Sc_i = \mu/\rho D_i$; Sc_T – турбулентное число Шмидта; N – количество компонент смеси; T – абсолютная температура, К; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К).

Замыкание приведенной системы уравнений осуществляется на основе использования RNG k - ϵ модели турбулентности.

Ввиду регулярности расположения газоподающих отверстий при математическом моделировании рассматривался характерный элемент горелочного устройства, представляющий собой угловой фрагмент ($0 < \varphi < \varphi_1$). Здесь φ_1 отвечает половине шага между отверстиями и включает половину одного из них. Во входном сечении выделенного элемента задавалась скорость воздуха, его степень турбулентности и температура. В поперечном сечении газоподающего отверстия на боковой стенке стабилизатора заданными являлись скорость газа, его степень турбулентности и температура.

На остальных поверхностях стенок стабилизатора и боковых поверхностях канала принимались условия прилипания и непроницаемости. На поверхностях выделенного элемента $\varphi=0$ и $\varphi=\varphi_1$ задавались условия симметрии, в выходном сечении – «мягкие» граничные условия, отвечающие равенству нулю производных по нормали к границе от зависимых переменных.

Численная реализация решения рассматриваемой задачи осуществлялась с применением программного пакета Fluent.

Результаты исследований. Ниже приводятся результаты численных исследований течения и смесеобразования топлива и окислителя для типоряда микрофакельных цилиндрических горелочных устройств. Этот типоряд включает пять горелок мощностью соответственно 20, 65, 110, 155 и 200 кВт.

На рисунках 2–5 для данного типоряда представлены результаты компьютерного моделирования при следующих значениях исходных параметров. Расход природного газа: 2; 6,5; 11; 15,5 и 20 м³/ч для горелок указанной мощности; коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,1$; длина стабилизатора $L_{ст} = 0,25$ м; размеры прямоугольной кольцевой нишевой полости 0,03х0,006 м; интенсивность турбулентности воздуха на входе в канал $I_B = 3\%$, природного газа в поперечном сечении газоподающего отверстия $I_T = 3\%$; абсолютная температура газа и воздуха 300 К. Прочие исходные данные различны для горелок различной мощности.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что основные закономерности течения топлива и окислителя сохраняются при различной мощности горелочного устройства. На рис. 2 в качестве примера представлены линии тока для горелки мощностью 110 кВт в

сечении $\varphi = 0$, проходящем через центр газоподающего отверстия. Как видно, в рассматриваемых условиях имеет место внедрение струй газа в сносящий поток окислителя и захват вихря в нишевой полости. В закормовой области стабилизатора образуется зона обратных токов и далее вниз по потоку происходит выравнивание эпюр скорости и формирование стабилизированного течения в канале.

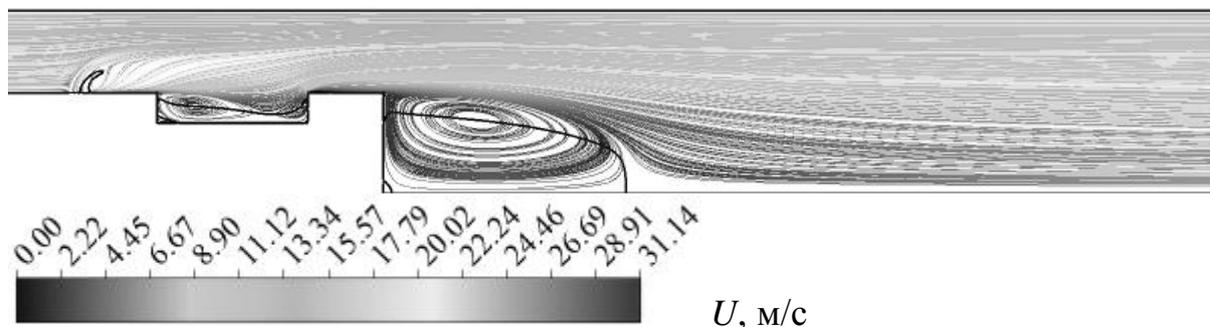
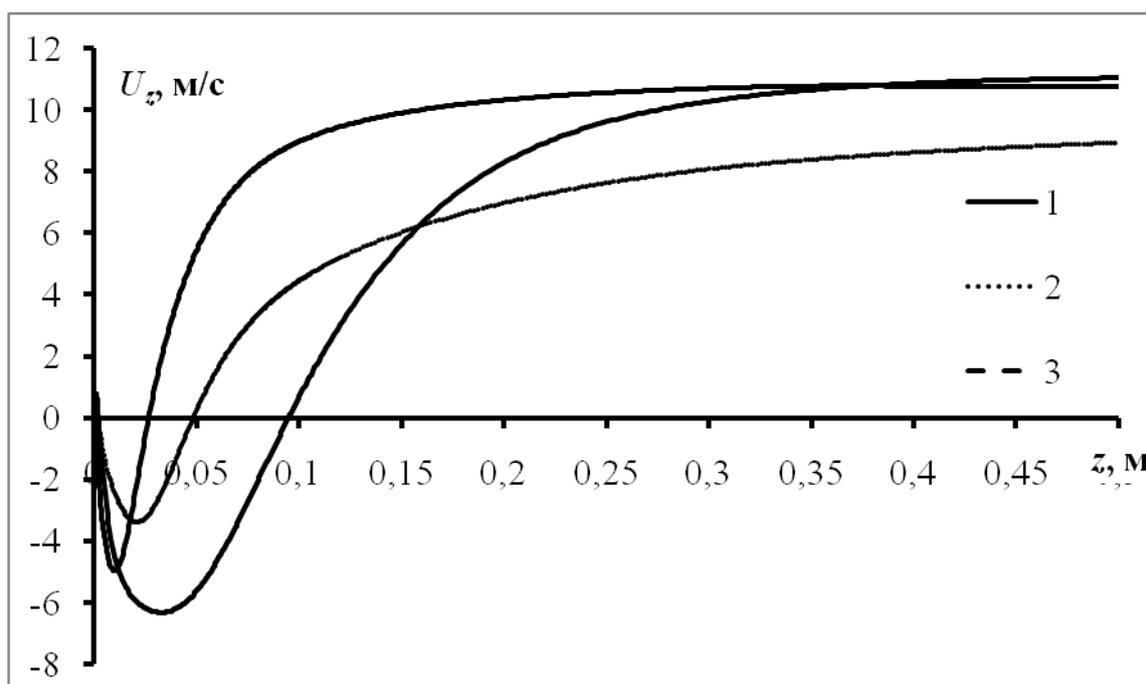


Рис. 2. Линии тока в продольном сечении цилиндрического горелочного устройства $\varphi = 0^\circ$, проходящем через ось газоподающего отверстия



**Рис. 3. Распределение осевой компоненты скорости U_z вдоль оси турбулентного следа за цилиндрическим стабилизатором пламени для горелочных устройств различной мощности N_r :
1 – $N_r = 20$ кВт; 2 – $N_r = 110$ кВт; 3 – $N_r = 200$ кВт**

Картины течения в горелочных устройствах разной мощности, будучи качественно близкими, тем не менее, существенно отличаются в

количественном отношении. Так, в закормовой области стабилизатора характеристики зон обратных токов оказываются существенно различными при разной мощности $N_{г}$. Как видно из рис. 3, большим значениям мощности горелочного устройства отвечает большие протяженности зон обратных токов. При мощности $N_{г}$, равной 20, 110 и 200 кВт указанные протяженности составляют 0,026; 0,048 и 0,0945 м соответственно. При этом заметно отличаются между собой и максимальные величины абсолютных значений скорости в зонах обратных токов.

Согласно полученным данным для горелочных устройств разной мощности сохраняются также и общие закономерности смесеобразования топлива и окислителя. На рисунках 4 и 5 показан типичный характер полей массовых концентраций метана на примере горелочного устройства мощностью 110 кВт. Здесь зоны I и II отвечают областям с избыточным содержанием воздуха и природного газа соответственно, а зоны III – областям, в которых смесь находится в концентрационных пределах воспламенения. Как видно, в целом, имеет место благоприятная картина смесеобразования топлива и окислителя в горелочном устройстве. В нишевой полости и зоне обратных токов за стабилизатором смесь отвечает концентрационным пределам воспламенения.

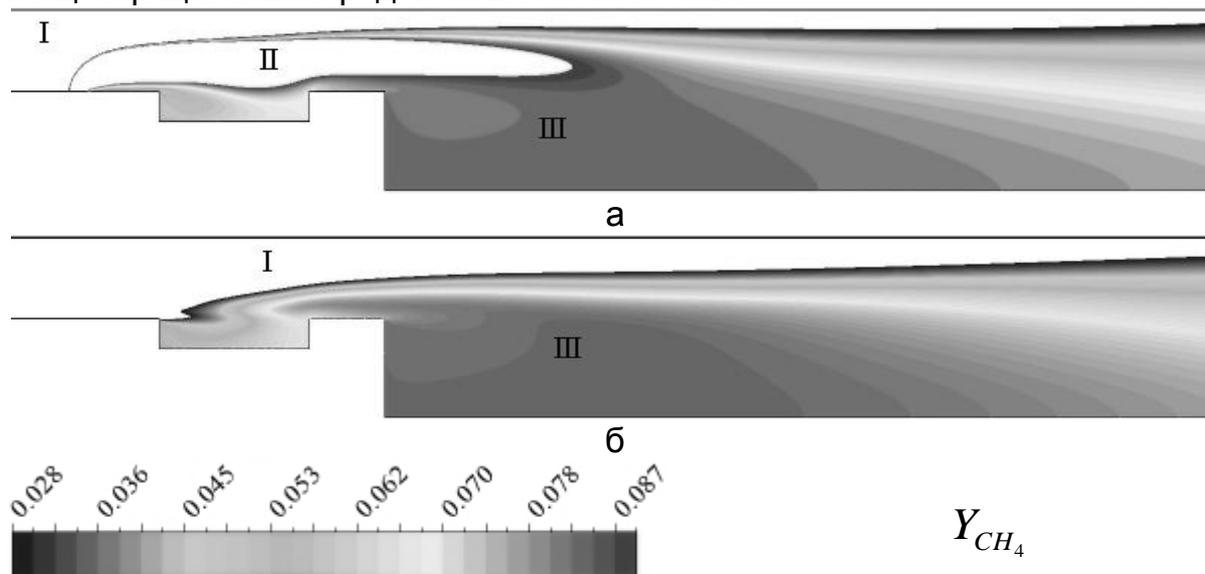


Рис. 4. Поля массовой концентрации метана в продольном сечении цилиндрического стабилизаторного горелочного устройства, проходящем через центр газоподающего отверстия (а) и посередине между отверстиями (б) для горелки мощностью 110 кВт

На основе выполненных исследований определены рациональные конструктивные параметры для типоряда микрофакельных цилиндрических горелочных устройств. В таблице приведены основные геометрические характеристики таких устройств.

Как следует из приведенных в таблице данных, имеет место достаточно четко выраженная корреляция между мощностью горелочного

устройства и геометрическими характеристиками соответствующих конструкций, а именно, с ростом мощности горелки увеличиваются диаметры цилиндрического стабилизатора, газоподающих отверстий и уменьшается относительный шаг их расположения.

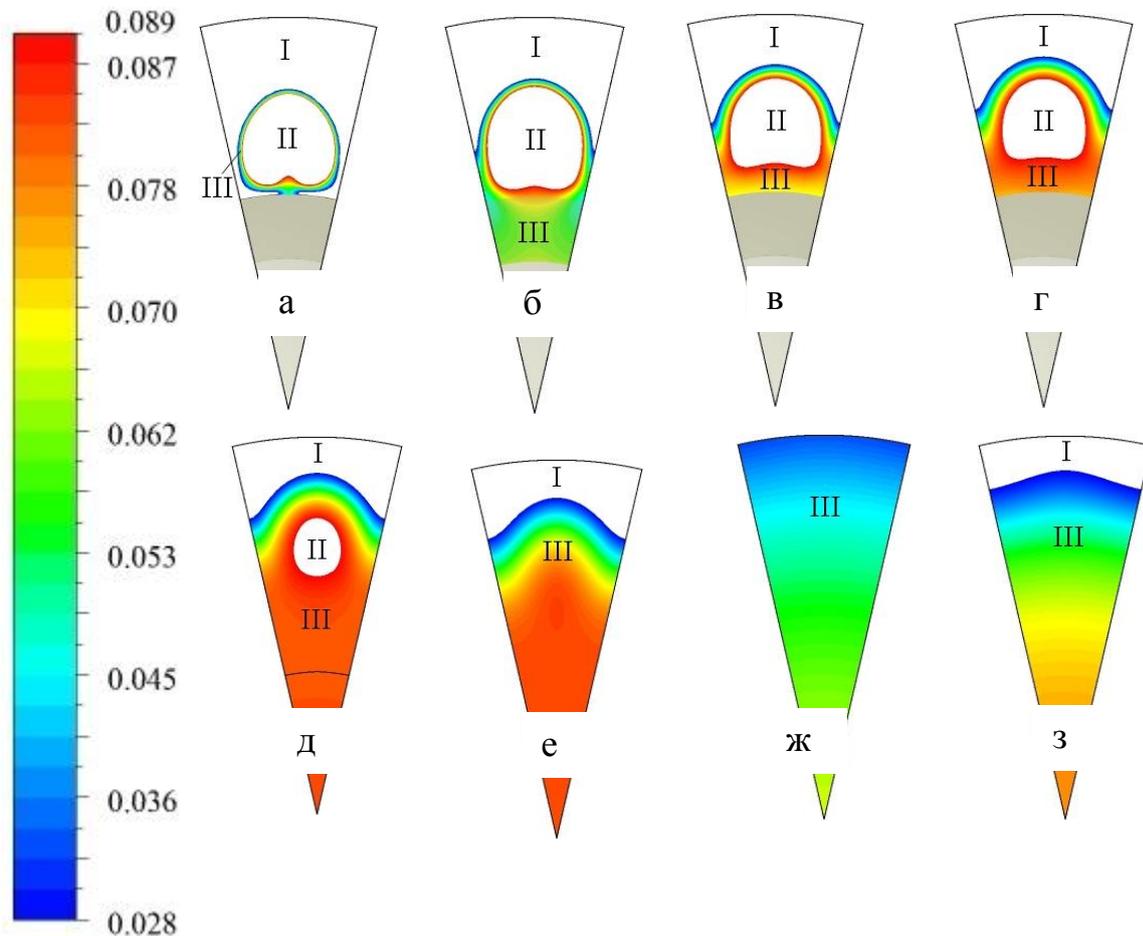


Рис. 5. Поля массовой концентрации метана в поперечных сечениях горелки, расположенных на удалении z' от газоподающих отверстий для горелочного устройства мощностью 110 кВт:

а– $z' = 0,015$ м (передняя стенка ниши); б– $z' = 0,030$ м (середина ниши);
 в– $z' = 0,045$ м (задняя стенка ниши); г– $z' = 0,06$ м (срывная кромка стабилизатора); д– $z' = 0,085$ м; е– $z' = 0,11$ м; ж) $z' = 0,21$ м; з– $z' = 0,36$ м

Основные геометрические характеристики типоряда микрофакельных цилиндрических горелочных устройств мощностью от 20 до 200 кВт

N_{Γ} , кВт	$d_{ст}$, м	d , м	S/d
20	0,02	0,002	3,5
65	0,03	0,0025	3,43
110	0,04	0,003	3,22
155	0,05	0,0035	3,0
200	0,06	0,004	2,94

Выводы

В результате выполненного комплекса исследований для микро-факельных цилиндрических горелочных устройств с прямоугольными кольцевыми нишами выявлены особенности течения и смесеобразования в данных устройствах и на этой основе разработаны рекомендации по выбору их геометрических характеристик.

Список литературы

1. Влияние пластинчатых турбулизаторов потока на характеристики течения и смесеобразования топлива и окислителя в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве / Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, Н.В. Майсон [и др.] // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.06 – С.114–121.

2. Интенсификация процессов переноса в горелочном устройстве с цилиндрическим стабилизатором пламени / Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, Н.В. Майсон [и др.] // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.5 – С. 136–142.

3. Математическое моделирование процессов течения и смесеобразования в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве / Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, Н.В. Майсон [и др.] // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. - Т.3, №8(69). – С.40–44.

Наведено результати виконаного на основі CFD моделювання комплексу досліджень аеродинаміки і сумішоутворення для типоряду мікрофакельних циліндричних пальникових пристроїв потужністю від 20 до 200 кВт. Подано розроблені рекомендації щодо вибору раціональних конструктивних параметрів розглянутих пальникових пристроїв.

CFD моделювання, циліндричні пальникові пристрої, аеродинаміка, сумішоутворення палива та окислювача.

The results of CFD simulation of the complex research of aerodynamics and mixing are given for type series of micro-flame cylindrical burners with power from 20 to 200 kW. The developed recommendations for choosing the rational design parameters considered burners are offered.

CFD modeling, cylindrical burners, aerodynamics, fuel and oxidizer mixing.