

Технічні науки

УДК 662.61:621

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
чл.-кор. НАН України, завідувач відділу,
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of Department
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Шеренковський Юлій Владиславович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Sherenkovskiy Julii

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

Меранова Наталія Олегівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Meranova Nataliia

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

Альошко Сергій Олександрович

кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Aleshko Sergey

Candidate of Technical Sciences (PhD), Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Полозенко Ніна Петрівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Polozenko Nina

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Чехаровська Марина Ігорівна

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Chekharovska Marina

Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Дашковська Ірина Леонідівна

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Dashkovska Iryna

Junior Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Хміль Дмитро Петрович

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Khmil Dmytro

Junior Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Кліщ Андрій Володимирович

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Klishch Andriy

Junior Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Попружук Ілля Олегович

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Popruzhuk Illia

Junior Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

**ЕФЕКТИ ВПЛИВУ НОМЕРУ РЯДУ СТРУМЕНЕВОЇ ПОДАЧІ
ПАЛИВА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЧІЇ І СУМІШОУТВОРЕННЯ В
МІКРОФАКЕЛЬНИХ ПАЛЬНИКОВИХ ПРИСТРОЯХ
INFLUENCE EFFECTS OF THE ROW NUMBER OF THE JET FUEL
SUPPLY ON THE CHARACTERISTICS OF THE FLOW AND
MIXTURE FORMATION IN MICROJET BURNER DEVICES**

Анотація. Наведено результати CFD моделювання процесів течії і сумішоутворення палива і окиснювача в системах з трирядною подачею паливного газу. Представлено дані досліджень залежності характеристик вказаних процесів від розташування секції паливоподачі відносно зривної кромки стабілізатора полум'я.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, пальникові пристрої, сумішоутворення, структура течії.

Summary. The results of CFD modeling of the processes of flow and mixture formation of fuel and oxidizer in systems with a three-row fuel gas supply are presented. The data of studies of the dependence of the characteristics of these processes on the location of the fuel supply section relative to the stall edge of the flame stabilizer are presented.

Key words: computer modeling, burners, mixture formation, flow structure.

Серед різних способів організації спалювання палива в енергоустановках виділяється мікрофакельне спалювання, яке досягається подрібненням факелу на окремі огнища. Таке спалювання може бути реалізовано, зокрема, шляхом формування факелу за системою стабілізаторів полум'я. Відповідні мікрофакельні пальникові пристрої характеризуються низкою переваг, таких як високий ступінь гомогенізації зони горіння, покращені стабілізаційні властивості, низький рівень втрат тиску на пальнику, підвищена екологічна ефективність тощо. Дослідженню робочих процесів таких пальників присвячено велику кількість робіт [1-15].

З появою нових перспективних модифікацій мікрофакельних пальникових пристроїв виникає необхідність запровадження наукових досліджень процесів горіння в цих пальниках. Однією з таких модифікацій є пальникові пристрої з трирядною подачею палива, орієнтовані на експлуатацію за умов різних значень коефіцієнта надлишку повітря.

Постановка задачі. В роботі дослідженню підлягали процеси течії і сумішоутворення у мікрофакельному пальнику з трирядною подачею паливного газу.

Пропонований пальниковий пристрій складається з окремих модулів. Необхідна потужність таких пристроїв забезпечується шляхом набору певної кількості модулів. В окремому модулі плоский стабілізатор полум'я

2 розміщується в каналі 1 (рис.1). Паливний газ підводиться до стабілізатора полум'я через одну із трьох окремих секцій I, II, III. У першу секцію газ подається при коефіцієнті надлишку повітря α , що дорівнює 1,1, у другу секцію при $\alpha = 1,3$ і у третю – при $\alpha = 1,5$. Кожній секції відповідає розташована на бічній поверхні стабілізатора система круглих газоподавальних отворів. Через ці отвори паливний газ надходить у зносячий потік окиснювача безпосередньо на горіння.

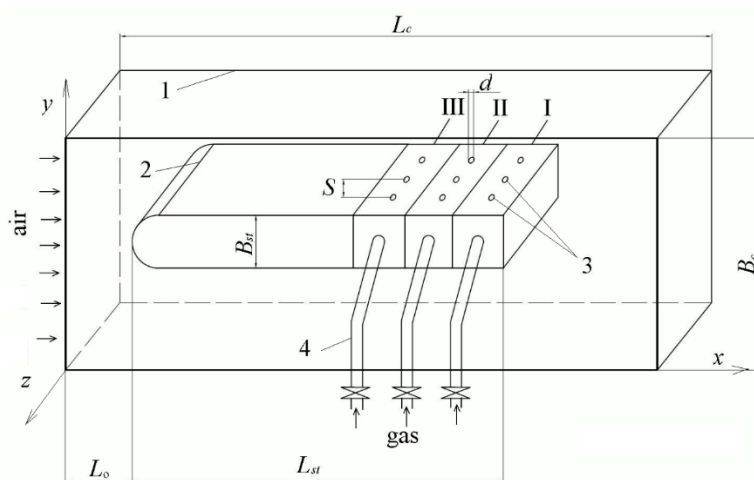


Рис. 1. Схема модуля мікрофакельного пальника стабілізаторного типу з трирядною системою подачі палива: 1 – плоский канал; 2 – стабілізатор полум'я; 3 – газоподавальні отвори; 4 – газопідвідні патрубки; I, II, III – секції газоподачі з різними значеннями відносного кроку розташування отворів, що відповідають різним значенням коефіцієнта надлишку повітря

В роботі ставилася задача встановити закономірності впливу номеру ряду паливоподачі на характеристики течії і сумішоутворення в досліджуваних мікрофакельних пальниках з трирядною струменевою подачею паливного газу.

Як метод дослідження застосовувалося CFD моделювання з використанням пакету FLUENT. При цьому зважаючи на геометричну симетрію паливного модуля і симетрію фізичних процесів відносно осі міжстабілізаторного каналу, розгляду підлягала область, що відповідає половині модуля.

Обговорення результатів досліджень. Характерні результати CFD моделювання наведено на рис. 2 та в табл. 1. Моделювання виконано при

таких вихідних даних: $B_{cm} = 0,03$ м; $B_k = 0,075$ м; $L_k = 1,3$ м; $L_0 = 0,1$ м; $L_{cm} = 0,2$ м; $d = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м. Відстань L_1 між зривною кромкою стабілізатора і першим, другим і третім рядом газоподавальних отворів $L_1 = 10 \cdot 10^{-3}$ м; $20 \cdot 10^{-3}$ м; $30 \cdot 10^{-3}$ м; коефіцієнт загромодження прохідного перерізу каналу $k_f = 0,4$ ($k_f = B_{cm}/B_k$); швидкість повітря на вході до каналу $U_{ex}^n = 10$ м/с; інтенсивність турбулентності Tu у вхідному перерізі каналу $Tu = 3\%$. Як паливо використовувався природний газ, як окиснювач – повітря.

Результати CFD моделювання свідчать, що за умови подачі палива окремо у першу, другу і третю секцію паливоподачі структури течії і сумішоутворення мають якісно подібний характер. До прикладу на рис. 2 представлено дані комп'ютерного моделювання при подачі паливного газу у першу секцію паливоподачі. Як видно з рис. 2а, паливні струмені розвиваються у зносячому потоці окиснювача. У закормовій області стабілізатора полум'я утворюється вихрова структура, відповідальна за стійкість горіння.

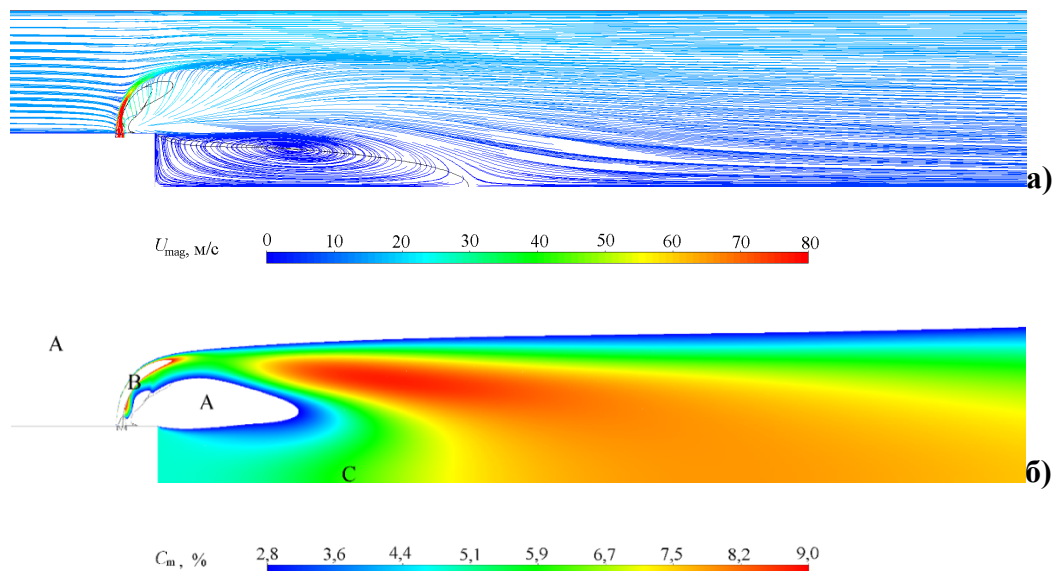


Рис. 2. Характеристики течії і сумішоутворення в поздовжньому перерізі паливкового модуля, що проходить через вісь газоподавальних отворів, при $\alpha = 1,1$; $L_1 = 10 \cdot 10^{-3}$ м; $S/d = 5,4$; $d = 2,6 \cdot 10^{-3}$ м; а) лінії току; б) поле концентрацій метану

Щодо картини сумішоутворення палива та окиснювача, то тут привертає увагу наявність зон А і В, в яких суміш знаходиться за границею

концентраційних меж займання. А саме, в зонах А, розташованих над і під струменем, масова концентрація метану менша від нижньої концентраційної межі займання. У зоні В, що відповідає початковій ділянці паливного струменя, концентрація метану перевищує верхню концентраційну межу. Тобто зони А характеризуються надлишком повітря, а зона В – паливного газу.

Важливим є той факт, що в закормовій області стабілізатора полум'я, де відбувається стабілізація факела, паливна суміш знаходиться в концентраційних межах займання. Так, середня масова концентрація метану у зоні зворотних токів за стабілізатором становить у аналізованій ситуації 5,5 %.

Отримані дані свідчать також про те, що характеристики течії та сумішоутворення можуть кількісно відрізнитися при подачі паливного газу через перший, другий та третій ряд газоподавальних отворів. А саме, чим більш віддалений ряд подачі палива від зривної кромки стабілізатора полум'я, тим нижча за інших рівних умов далекобійність паливних струменів і менша довжина зони зворотних токів L_z за стабілізатором полум'я. Як видно з табл. 1, при $\alpha = 1,1$, $S/d = 5,6$ протяжність зони зворотних токів L_z становить $96 \cdot 10^{-3}$ м, $75 \cdot 10^{-3}$ м та $70 \cdot 10^{-3}$ м відповідно при подачі палива через перший, другий і третій ряд газоподавальних отворів.

Таблиця 1

Величини протяжності зони зворотних токів за стабілізатором полум'я і середньої концентрації метану у цій зоні при подачі паливного газу у різні ряди N_R газоподавальних отворів для $\alpha=1,1$, $S/d=5,6$ $d = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м.

N_R	1	2	3
$L_z, 10^{-3}$ м	96	75	70
$\bar{c}_m, \%$	4,6	3,4	2,8

Що стосується картини сумішоутворення палива та окиснювача, то вона значною мірою визначається особливостями течії в пальниковому модулі. З віддаленням паливоподачі від зривної кромки більша частина

перерізу, що проходить через торець стабілізатора, зайнята сумішшю, яка відповідає концентраційним межах займання. Щодо середньої концентрації метану \bar{c}_m у зоні зворотних токів за стабілізатором, вона при цьому знижується. Згідно з отриманими даними ця концентрація для першого, другого та третього ряду паливоподачі дорівнює 4,6%, 3,4% та 2,8% при $\alpha = 1,1$; $S/d = 5,6$; $d = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м і $L_1 = 10 \cdot 10^{-3}$ м; $20 \cdot 10^{-3}$ м і $30 \cdot 10^{-3}$ м (табл. 1). В межах роботи ставилася також задача визначення раціональних конструктивних параметрів системи паливоподачі пропонованих пальників. Вказана задача конкретизувалася таким чином. В закормовій області стабілізатора полум'я мали забезпечуватися сприятливі умови сумішоутворення, необхідні для стабілізації факела. Такими сприятливими умовами вважалися умови, за яких у зоні зворотних токів за стабілізатором полум'я середня концентрація метану дорівнює із заданою точністю середньому значенню між верхньою і нижньою концентраційними межами займання. На рис. 3 наведено результати досліджень з визначення раціональних конструктивних параметрів системи паливоподачі згідно з вищевказаним підходом.

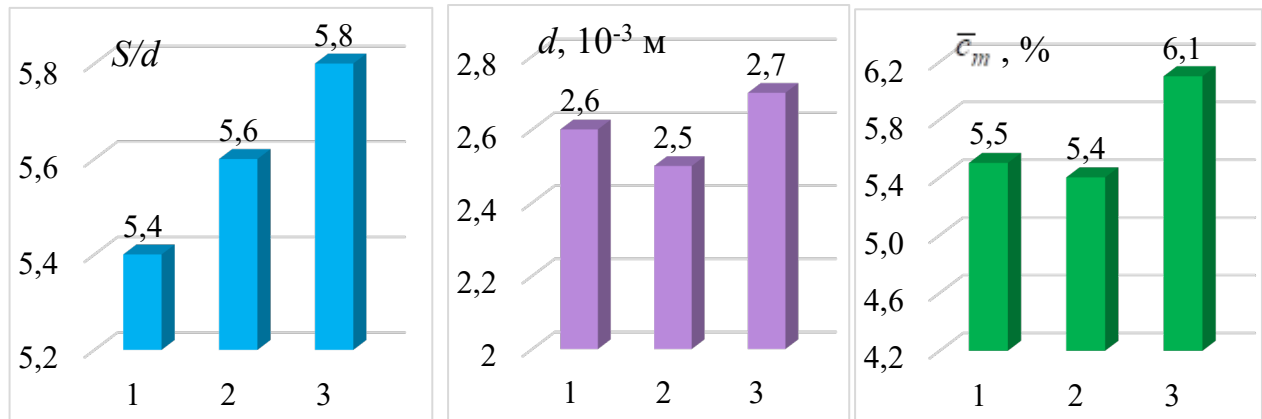


Рис. 3. Раціональні конструктивні параметри системи трирядної струменевої подачі палива та відповідне середнє значення концентрації метану в зоні зворотних токів за стабілізатором полум'я \bar{c}_m : 1 – $N_R = 1$; $\alpha = 1,1$; 2 – $N_R = 2$; $\alpha = 1,3$; 3 – $N_R = 3$; $\alpha = 1,5$

Як видно з рис. 3, при фіксованій відстані між газоподавальними отворами ($S = 14 \cdot 10^{-3}$ м) раціональне значення відносного кроку їх

розташування S/d зростає зі збільшенням номеру ряду паливоподачі, а діаметр цих отворів – зменшується.

Висновки. На основі CFD моделювання виконано комплекс досліджень аеродинаміки і сумішоутворення палива і окиснювача в пальниках з трирядною системою паливоподачі. Встановлено залежність перебігу вказаних процесів від номера ряду подачі паливного газу. За результатами виконаних досліджень визначено конструктивні параметри системи паливоподачі, за яких забезпечується сприятливе сумішоутворення в закормовій області стабілізатора полум’я, що є важливою умовою стабілізації факелу.

Література

1. 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. Т. 34, №1. С. 64-71.
2. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Алешко С.А., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Тимощенко А.Б., Абдулин М.З., Бутовский Л.С. Эффективность систем охлаждения горелочных устройств струйно-стабилизаторного типа. Технологические системы. 2012. № 1. С. 52-57.
URL: <http://technological-systems.com/index.php/Home/article/view/309/316>
3. Фиалко Н.М., Бутовский Л.С., Прокопов В.Г., Грановская Е.А., Шеренковский Ю.В., Алешко С.А., Коханенко П.С. Особенности обтекания плоских стабилизаторов ограниченным потоком. Пром теплотехника. 2010. №5. С. 26-33.
4. Фиалко Н.М., Бутовский Л.С., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Полозенко Н.П. Компьютерное

- моделирование процесса смесеобразования в горелочных устройствах стабилизаторного типа с подачей газа внедрением в сносящий поток воздуха. Промышленная теплотехника. 2011. №1. С. 51-56.
5. Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Майсон М.В., Абдулін М.З., Хомук С.В., Єніна А.О., Новицький В.С., Тимощенко О.Б. Підвищення інтенсивності процесів переносу в циліндричному стабілізаторному пальнику шляхом застосування прямокутних кільцевих ніш. Сборник трудов «Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики» // Институт промышленной экологии. К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины. 2014. С. 122-125.
 6. Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О., Бутовський Л.С., Абдулін М.З., Полозенко Н.П., Клищ А.В., Стрижеус С.Н., Тимощенко А.Б. Интенсификация процессов переноса в горелочном устройстве с цилиндрическим стабилизатором пламени. Наук. вісник НЛТУ України. 2014. Вип. 24.5 С. 136-142. URL: chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclcfndmkaj/https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_5/24.pdf
 7. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Бутовський Л.С., Шеренковський 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.
 8. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Бутовський Л.С., Шеренковський 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.
 9. Фіалко Н.М., Шеренковський 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. doi: 10.15587/1729-4061.2015.39193; URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/39193/37251>
10. 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. Математическое моделирование процессов течения и смесеобразования в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве. Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2014. т.3, №8(69). С. 40-44.
11. Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, С.А. Алёшко, М.З. Абдулин, К.В. Рокитько, О.Е. Малецкая, Е.И. Милко, Н.Н. Ольховская, А. Реграги, А.А. Евтушенко Компьютерное моделирование течения в микрофакельных горелочных устройствах с асимметричной подачей топлива. Науковий вісник НЛТУ України. 2018. Т. 28, № 8. С. 117-121. doi: <https://doi.org/10.15421/40280823>. URL: chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2018/28_8/25.pdf
12. Fialko N.M., Aleshko S.A., Rokitko K.V., Maletskaya O.E., Milko E.I., Kutnyak O.N., Olkhovskaya N.N., Regragui A., Donchak M.I., Evtushenko A.A. Regularities of mixture formation in the burners of the stabilizer type with one-sided fuel supply. Технологические системы. 2018. № 3(38). С. 37-43.
13. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Альошко С.О., Меранова Н.О., Рокитько К.В. CFD моделювання температурних режимів зони горіння пальників стабілізаторного типу з асиметричною подачею палива. Теплофізика та теплоенергетика. 2019. т. 41. №4. С. 13-18.

14. Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovskii Ju.V., Aleshko S.A., Meranova N.O., Yurchuk V.L., Hanzha M.V. Modeling of heat transfer processes in stabilizer burners with heat-resistant coatings. The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings, April 27-28, 2018. Brno: Baltija Publishing. P. 189-192.
15. Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О., Абдулін М.З., Бутовський Л.С., Полозенко Н.П., Клищ А.В., Стрижеус С.Н., Тимощенко А.Б. Влияние пластинчатых турбулизаторов потока на характеристики течения и смесеобразования топлива и окислителя в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве. Науковий вісник НЛТУ України. 2014. Вип. 24.6. С. 114-121. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_6/20.pdf