

УДК 621.1.016:621.184

Технічні науки

**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,*

*Senior Scientific Researcher, Leading Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Прокопов Віктор Грогорович**

*доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Prokopov Viktor**

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

**Юрчук Володимир Леонідович**

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

**Yurchuk Volodymyr**

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Ольховська Ніна Миколаївна**

*науковий співробітник  
Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Olkhovska Nina**

*Scientific Researcher  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Кутняк Ольга Миколаївна**

*науковий співробітник  
Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Kutnyak Olha**

*Scientific Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Бетін Юрій Олексійович**

*кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Betin Yurii**

*PhD, Junior Senior Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Малецька Ольга Євгенівна**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Maletska Olha**

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**ВПЛИВ ПОТУЖНОСТІ МІКРОФАКЕЛЬНИХ ПАЛЬНИКІВ НА  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЧІЇ І СУМІШОУТВОРЕННЯ  
INFLUENCE OF THE POWER OF MICRO-JET BURNERS ON THE  
CHARACTERISTICS OF FLOW AND MIXTURE FORMATION**

***Анотація.** Представлено результати досліджень аеродинаміки і сумішоутворення в мікрофакельних циліндричних пальникових пристроях потужністю від 20 до 200 кВт. Дослідження виконано на основі CFD моделювання. Наведено рекомендації щодо вибору раціональних конструктивних параметрів розглянутих пальникових пристроїв.*

***Ключові слова:** циліндричні пальникові пристрої, аеродинаміка, сумішоутворення палива та окиснювача, CFD моделювання.*

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

**Key words:** cylindrical burners, aerodynamics, fuel and oxidizer mixture formation, CFD modeling.

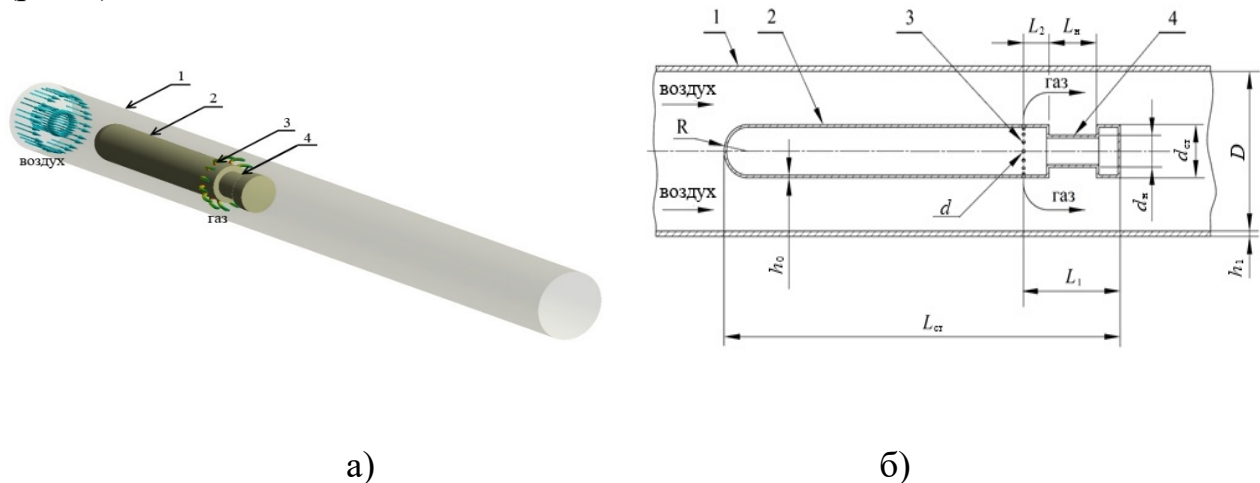
В енергетичному обладнанні різного призначення широко застосовуються пальникові пристрої порівняно малої потужності. Їх використання для вогнетехнічних об'єктів особливо ефективно за умов високих вимог до рівномірності теплопідведення у вогневому просторі.

Використання мікрофакельних пальників з циліндричними стабілізаторами полум'я є доцільним для зазначених ситуацій. Їх більш висока ефективність у порівнянні з традиційними пальниковими пристроями, в яких застосовуються плоскі стабілізатори, зумовлена, головним чином, відсутністю різного роду втрат, пов'язаних із кінцевими ефектами. До того ж практично важливою є та обставина, що циліндричні пальникові пристрої через особливості конфігурації порівняно легко інтегруються в конструкцію енергетичного обладнання.

Наявні дослідження щодо створення високоефективних мікрофакельних конструкцій [1-14] далеко не вичерпують потреби енергетичної практики. Це зумовлює необхідність подальшого розвитку досліджень різних елементів робочих процесів мікрофакельних циліндричних пальників.

Дана робота виконана з метою встановлення закономірностей течії та сумішоутворення в мікрофакельних циліндричних пальниках різної потужності та розробці рекомендацій щодо вибору їх раціональних конструктивних параметрів.

**Виклад основного матеріалу.** Пальниковий модуль, що досліджується, є круглим каналом з розміщеним у ньому циліндричним стабілізатором із заокругленою передньою і затупленою задньою кромкою (рис.1).



**Рис. 1. Схема (а) та поздовжній переріз (б) пальникового пристрою з циліндричним стабілізатором полум'я: 1 – круглий канал; 2 – циліндричний стабілізатор полум'я; 3 – газоподавальні отвори; 4 – кільцева ніша**

Стабілізатор оснащений системою круглих отворів, через які здійснюється поперечна подача газу в зносячий потік повітря. Отвори розташовуються перед зміщеною вниз за потоком прямокутною кільцевою нішею.

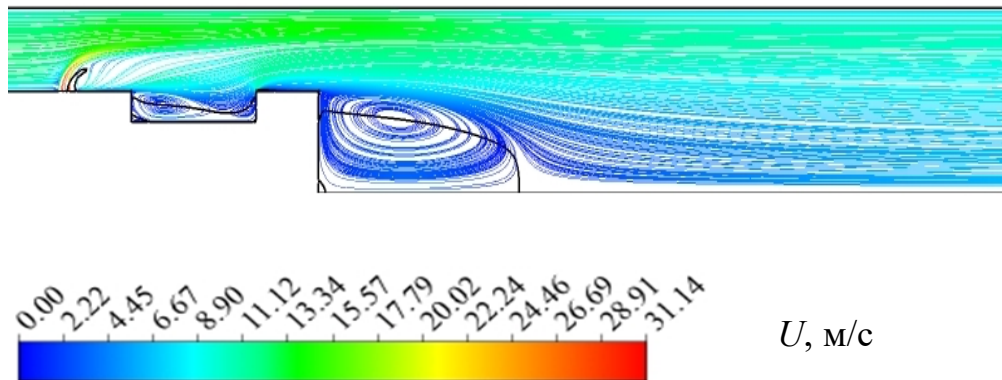
Чисельна реалізація задачі турбулентного переносу маси, імпульсу та енергії в розглянутих пальниках здійснювалася із застосуванням програмного пакета FLUENT.

**Результати досліджень.** Дослідження проведено для типоряду мікрофакельних циліндричних пальникових пристроїв, який включає п'ять пальників потужністю відповідно 20, 65, 110, 155 та 200 кВт.

Результати комп'ютерного моделювання представлені на рис. 2-4 при таких значеннях вихідних параметрів. Витрата газу: 2; 6,5; 11; 15,5 та 20 м<sup>3</sup>/год для пальників зазначеної потужності; коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha = 1,1$ ; довжина стабілізатора  $L_{ст} = 0,25$  м; розміри прямокутної

кільцевої нішевої порожнини  $0,03 \times 0,006$  м; інтенсивність турбулентності повітря на вході в канал  $I_n = 3\%$ , природного газу в поперечному перерізі газоподавального отвору  $I_r = 3\%$ ; абсолютна температура газу та повітря 300 К.

На основі отриманих даних можна зробити висновок про те, що основні закономірності течії палива та окиснювача зберігаються за різної потужності пальникового пристрою. На рис. 2, як приклад, представлені лінії току для пальника потужністю 110 кВт у перерізі  $\varphi = 0$ , що проходить через центр газоподавального отвору.

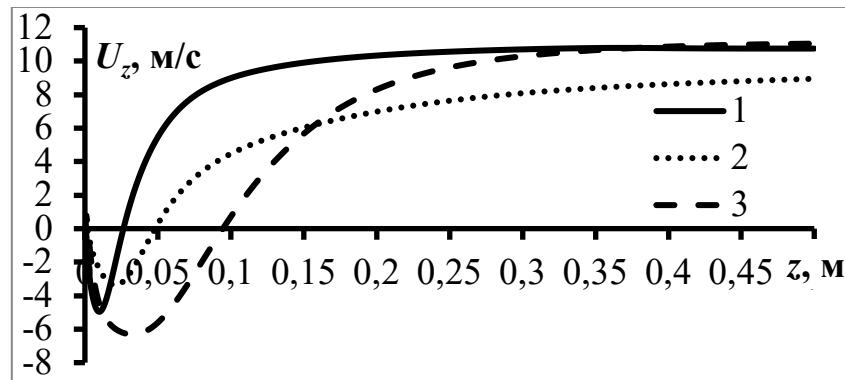


**Рис. 2. Лінії току в поздовжньому перерізі циліндричного пальника  $\varphi = 0^\circ$ , що проходить через вісь газоподавального отвору**

Як видно з рис. 2, в умовах, що розглядаються, має місце проникнення струменів газу в зносячий потік окиснювача і захоплення вихору в нішевій порожнині. У закормовій ділянці стабілізатора утворюється зона зворотних токів, і далі вниз за потоком відбувається вирівнювання епюр швидкості та формування стабілізованої течії в каналі.

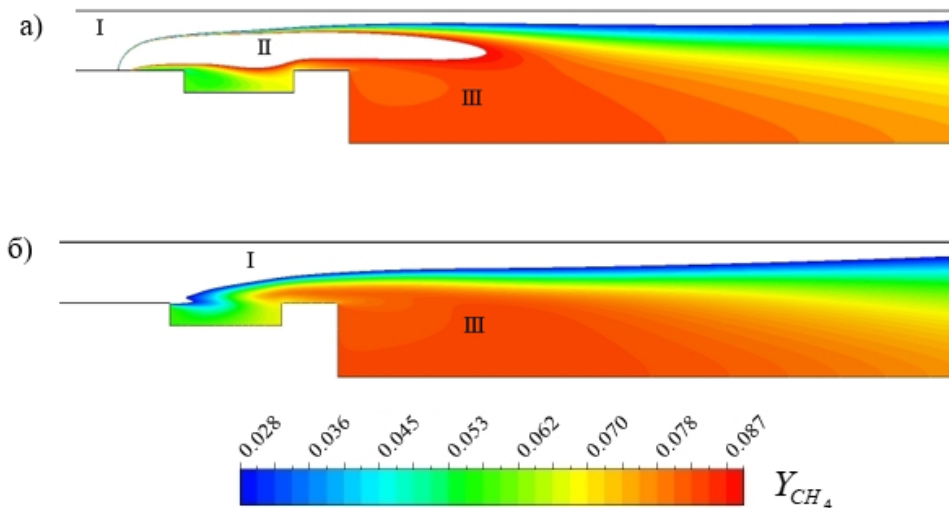
Слід зазначити, що картини течії в пальникових пристроях різної потужності якісно близькі, проте суттєво відрізняються в кількісному відношенні. Як видно з рис. 3, більшим значенням потужності пальника відповідають більші протяжності зон зворотних токів. При потужності  $N_n$ , що дорівнює 20, 110 та 200 кВт зазначені протяжності становлять 0,026; 0,048 та 0,0945 м відповідно. При цьому помітно відрізняються між собою

максимальні величини абсолютних значень швидкості в зонах зворотних токів.



**Рис. 3. Розподіл осевої компоненти швидкості  $U_z$  вздовж осі турбулентного сліду за циліндричним стабілізатором полум'я для пальникових пристроїв різної потужності  $N_n$ : 1 –  $N_n = 20$  кВт; 2 –  $N_n = 110$  кВт; 3 –  $N_n = 200$  кВт**

Крім того, згідно з отриманими даними для пальникових пристроїв різної потужності має місце зберіг також і загальних закономірностей сумішоутворення палива та окиснювача. Рис. 4 ілюструє типовий характер полів масових концентрацій метану на прикладі пальникового пристрою потужністю 110 кВт. Тут зони I та II відповідають областям з надлишковим вмістом повітря та природного газу відповідно, а зони III – областям, у яких суміш знаходиться у концентраційних межах займання. Як видно, в цілому, має місце сприятлива картина сумішоутворення палива та окиснювача в пальниковому пристрої. У нішевій порожнині та зоні зворотних токів за стабілізатором суміш відповідає концентраційним межах займання.



**Рис. 4. Поля масової концентрації метану в поздовжньому перерізі циліндричного стабілізаторного пальника потужністю 110 кВт, що проходить через центр газоподавального отвору (а) та посередині між отворами (б)**

У табл. 1 наведено раціональні конструктивні параметри для типоряду мікрофакельних циліндричних пальників, які були визначені на основі виконаних досліджень.

*Таблиця 1*

**Основні геометричні характеристики типоряду мікрофакельних циліндричних пальникових пристроїв потужністю від 20 до 200 кВт**

| $N_{\Gamma}$ , кВт | $d_{\text{ст}}$ , 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  |

Аналіз даних, що наведені в таблиці, свідчить про те, що має місце досить чітко виражена кореляція між потужністю пальника і геометричними характеристиками відповідних конструкцій. А саме: зі зростанням потужності пальника збільшуються діаметри циліндричного стабілізатора і



газоподавальних отворів, а також зменшується відносний крок розташування цих отворів.

**Висновки.** Проведено комплекс досліджень для мікрофакельних циліндричних пальникових пристроїв з прямокутними кільцевими нішами, виявлено особливості течії та сумішоутворення в даних пристроях. На основі отриманих даних розроблено рекомендації щодо вибору їх раціональних конструктивних параметрів.

### Література

1. Fialko N., Meranova N., Sherenkovskii Ju., Aleshko S., Prokopov V., Abdulin M., Babak V., Korzhyk V., Zhelykh V., Khaskin V. Establishment of regularities of isothermal flow and mixture formation in microjet burners with three-row jet fuel supply. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 6 (8 (120)). P. 65–72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267891>.
2. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Альошко С.О. Аеродинаміка і сумішоутворення в пальниках з багаторядною струменевою системою паливоподачі. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2023. № 2. С. 34-44. <https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2023.4>.
3. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Альошко С.О., Кутняк О.М., Рокитько К.В., Малецька О.Є., Хміль Д.П., Сороковий Р.Я. Особливості аеродинаміки і змішування палива та окиснювача в пальниках з трирядною паливоподачею. *МНЖ "Інтернаука"*. 2023. № 10(144). С. 63-67. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-10-8968>.
4. Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Альошко С.О., Полозенко Н.П., Чехаровська М.І., Дашковська І.Л., Хміль Д.П., Кліщ А.В., Попружук І.О. Ефекти впливу номеру ряду струменевої подачі палива на характеристики течії і сумішоутворення в мікрофакельних пальникових

пристроях. МНЖ "Інтернаука". 2023. № 6(140). С. 65-70.  
<https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-6-8767>.

5. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Алёшко С.А., Полозенко Н.П., Тимощенко А.Б., Абдулин М.З., Малецкая О.Е. Ночовный А.В. Анализ влияния геометрической формы нишевой полости на аэродинамическое сопротивление канала. *Промышленная теплотехника*. 2012. Т. 34, № 1. С. 72-76. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/59057/09-Fialko2.pdf?sequence=1> (дата звернення: 01.10.2024).

6. Фіалко Н.М. Шеренковский Ю.В., Майсон Н.В. и др. Интенсификация процессов переноса в горелочном устройстве с цилиндрическим стабилизатором пламени. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24.5. С. 136-142. URL: [https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24\\_5/24.pdf](https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_5/24.pdf) (дата звернення: 01.10.2024).

7. Фіалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Майсон Н.В. и др. Математическое моделирование процессов течения и смесеобразования в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2014. Т. 3, № 8(69). С. 40-44. URL: <https://journals.uran.ua/eejet/article/view/24895/22818> (дата звернення: 01.10.2024).

8. Фіалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Майсон Н.В. Влияние пластинчатых турбулизаторов потока на характеристики течения и смесеобразования топлива и окислителя в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24.06. С. 114-121. URL: [https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24\\_6/20.pdf](https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_6/20.pdf) (дата звернення: 01.10.2024).

9. Fialko N.M, Aleshko S.A, Rokitko K.V, Maletskaya O.E, etc. Закономерности смесеобразования в горелках стабилизаторного типа с односторонней подачей топлива. *Технологические системы*. 2018. Т. 3, № 38. С. 37-43. URL: <http://technological->

systems.com/index.php/Home/issue/view/28/showToc (дата звернення: 01.10.2024).

10. Фіалко Н.М, Прокопов В.Г, Майсон Н.В, Шеренковский Ю.В. и др. Влияние шага между газовыми струями на характеристики течения в стабилизаторных горелочных устройствах. *Науковий вісник НУБіП*. 2014. № 194 (3). С. 102-107. URL: [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=ru&user=o12KAM0AAAAJ&cstart=100&pagesize=100&citation\\_for\\_view=o12KAM0AAAAJ:AXPGKjj\\_ei8C](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=o12KAM0AAAAJ&cstart=100&pagesize=100&citation_for_view=o12KAM0AAAAJ:AXPGKjj_ei8C) (дата звернення: 01.10.2024).

11. 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. *Проблеми екології и експлуатації об'єктів енергетики: збірник трудов*. К.: ИПЦ АЛКОН НАН України. 2014. С. 122-125.

12. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Ганжа М.В., Юрчук В.Л., Швецова Л.А. Комп'ютерне моделювання процесів теплопереносу в мікрофакельних пальникових пристроях з термобар'єрними покриттями. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Т. 27, № 5. С. 130-133. <https://doi.org/10.15421/40270526>.

13. Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovskyi Yu. 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. Brno: Baltija Publishing. 2018. С. 189-192.

14. 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. <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2019.2>.