

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*

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*

Хміль Дмитро Петрович

*доктор філософії, старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Khmil Dmytro

*PhD, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Місюра Тимофій Олексійович

*доктор філософії, науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Misiura Tymofii

PhD, Scientific Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Абдулін Михайло Загретдинович

доктор технічних наук, професор,

старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України;

професор

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Abdulin Mykhailo

Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine;

Professor

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Бетін Юрій Олексійович

кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Betin Yurii

PhD, Junior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Сірий Олександр Анатолійович

кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України;

доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Siryi Oleksandr

*Candidate of Technical Sciences, Junior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine;
Associate Professor
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

Кліщ Андрій Володимирович

*молодший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Klishch Andrii

*Junior 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*

Мельниченко Тарас Олексійович

*аспірант
Інституту технічної теплофізики НАН України*

Melnychenko Taras

*Postgraduate of the
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ТЕЧІЇ У ПРЯМОКУТНИХ КІЛЬЦЕВИХ
НІШАХ МІКРОФАКЕЛЬНИХ ПАЛЬНИКІВ**

FLOW REGULARITIES IN RECTANGULAR ANNULAR NICHE OF MICROJET BURNERS

Анотація. Досліджено характер течії палива і окиснювача в прямокутних кільцевих нішевих порожнинах пальників з циліндричними стабілізаторами полум'я. Отримано оптимальні розміри ніші, в залежності від потужності пальника, для умов сприятливого сумішоутворення та стабілізації полум'я. Рекомендовано раціональні параметри ніш з урахуванням розмірів і форми стабілізаторів полум'я пальникових пристроїв.

Ключові слова: циліндричні стабілізатори, кільцева ніша, математичне моделювання, стабілізація полум'я.

Summary. The nature of the fuel and oxidizer flow in rectangular annular niche cavities of burners with cylindrical flame stabilizers is investigated. Optimum niche dimensions are obtained depending on the burner power for favorable mixture formation and flame stabilization conditions. Rational niche parameters are recommended taking into account the dimensions and shape of flame stabilizers of burner devices.

Key words: cylindrical stabilizers, annular niche, mathematical modeling, flame stabilization.

До ефективних методів інтенсифікації процесів горіння в пальниках стабілізаторного типу відноситься застосування каверн (ніш). Вивченню цього напрямку присвячено низку робіт [1-11]. Проте багато аспектів залишаються недостатньо дослідженими. Однією з актуальних проблем є вибір раціональних параметрів ніш з урахуванням особливостей форми та розмірів стабілізаторів полум'я.

У даній роботі виконано дослідження течії палива та окиснювача у прямокутних кільцевих нішевих порожнинах пальників з циліндричними

стабілізаторами полум'я. Пальники такого типу, як відомо, знаходять широке застосування у відносно малопотужних вогнетехнічних об'єктах або при необхідності реалізації в них теплопідводу з високим ступенем рівномірності. Як метод дослідження було обрано математичне моделювання, яке стає все більш достовірним та інформативним інструментом при поглибленому аналізі процесів переносу при горінні.

Математичне моделювання течії виконано для типоряду циліндричних нішевих пальників стабілізаторного типу потужністю від 30 до 200 кВт. На рис. 1 дана схема такого пальникового пристрою, в табл. 1 наведено основні характеристики зазначеного типоряду. У цих пальникових пристроях реалізується принцип неповного попереднього змішування палива та окиснювача, коли в зону горіння надходить неоднорідна горюча суміш. Природний газ подається до поперечного потоку повітря через систему круглих отворів на бічній поверхні циліндричного стабілізатора полум'я. Прямокутна кільцева ніша розташовується на деякій відстані від газоподавальних отворів вниз за потоком.

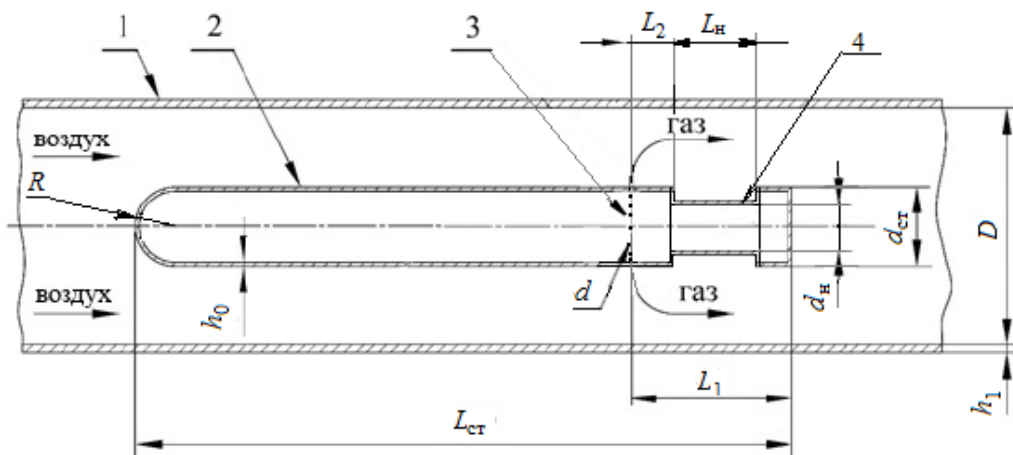


Рис. 1. Поздовжній переріз циліндричного стабілізаторного пальника:

- 1 – циліндричний канал; 2 – циліндричний стабілізатор полум'я;
- 3 – газоподавальні отвори; 4 – кільцева ніша

Обчислювальні експерименти ґрунтувалися на розв'язку системи рівнянь руху і тепло- та масопереносу у наближенні Рейнольдса. Для

замикання системи рівнянь використовувалася k-ε-модель турбулентності в модифікації RNG.

Таблиця 1

Конструктивні та режимні характеристики типоряду циліндричних стабілізаторних пальників

| $N_{п}$, кВт | $d_{ст}$, м | D , м | d , м | Кількість газоподавальних отворів | Витрата газу, м ³ /час | Коефіцієнт надлишку повітря |
|---------------|--------------|---------|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 30 | 0,02 | 0,0365 | 0,002 | 9 | 3,0 | 1,1 |
| 110 | 0,04 | 0,073 | 0,003 | 13 | 11,0 | 1,1 |
| 155 | 0,05 | 0,091 | 0,0035 | 14 | 15,5 | 1,1 |
| 200 | 0,06 | 0,1005 | 0,004 | 15 | 20,0 | 1,1 |

Розрахункова область мала вигляд кутового фрагмента пальникового пристрою, який відповідає половині кутового кроку розташування газоподавальних отворів. Як граничні умови у вхідному перерізі пальника і вихідних перерізах газоподавальних отворів задавалися значення середньої швидкості потоку, інтенсивності турбулентності, гідравлічного радіусу, температури та масових часток компонентів суміші; на вихідних перерізах значення перших похідних у бік нормалі від залежних змінних приймалися рівними нулю; на межах розрахункової області, які відповідають поверхням гідродинамічної симетрії, задавалися рівними нулю нормальні до цих поверхонь компоненти швидкостей і перші нормальні похідні від залежних змінних; на твердих поверхнях ставилися умови "прилипання" та "непроникності".

Рисунок 2 ілюструє результати комп'ютерного моделювання картини течії палива і окиснювача в пальникових пристроях потужністю $N_{п}=30;110;155$ і 200 кВт за наявності нішевої порожнини з розмірами $L \times H=0,03 \times 0,06$ м.

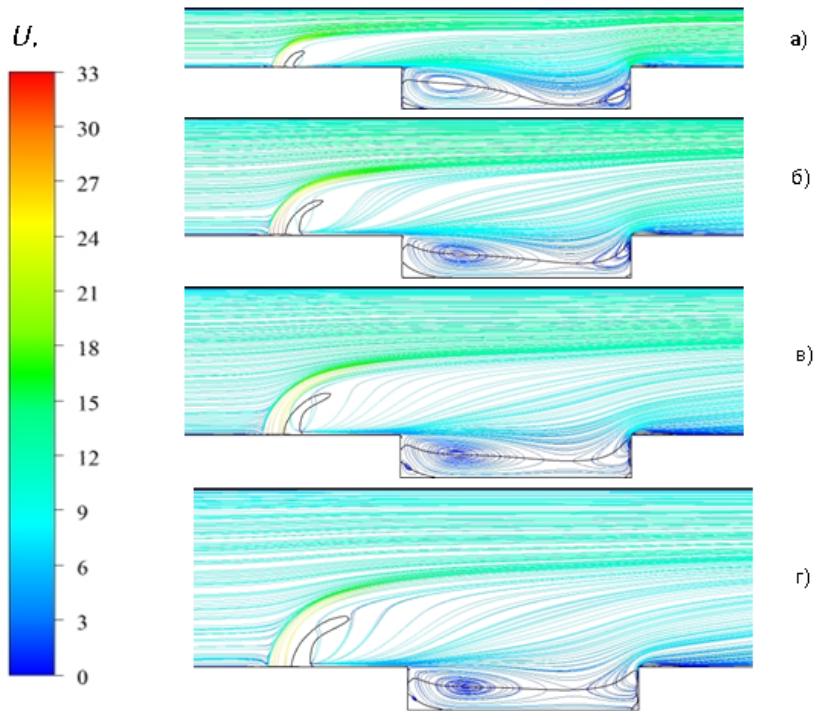


Рис. 2. Картина ліній току в поздовжньому перерізі пальника, що проходить через вісь газоподавального отвору, для ніш розміром $L \times H = 0,03 \times 0,06$ м для пальників різної потужності:

а) $N_{\text{п}} = 30$ кВт; б) $N_{\text{п}} = 110$ кВт; в) $N_{\text{п}} = 155$ кВт; г) $N_{\text{п}} = 200$ кВт.

Як видно, у всіх пальникових пристроях аналізованого типоряду протяжність первинного вихору в ніші помітно менше, ніж її довжина. При цьому чим менша потужність $N_{\text{п}}$, тим менша довжина вихору. Щодо місця розташування первинного вихору, то для всіх значень $N_{\text{п}}$ воно зміщується у бік передньої стінки ніші. Зона вихрової течії біля задньої стінки ніші зі зростанням потужності $N_{\text{п}}$ стає все більш яскраво вираженою і зміщується від дна ніші до краю.

Як свідчать результати проведених раніше досліджень, для ефективного сумішоутворення та стабілізації полум'я в ніші зона первинного вихору в ній повинна займати основну частину простору ніші, і, відповідно, його довжина не повинна значно відрізнятись від довжини L нішевої порожнини.

У табл. 2 наведено значення абсолютної та відносної довжини кільцевої прямокутної ніші, отримані в результаті проведеного

обчислювального експерименту. Картина течії палива та окиснювача у ніші, що відповідає цим значенням, показана на рис. 3.

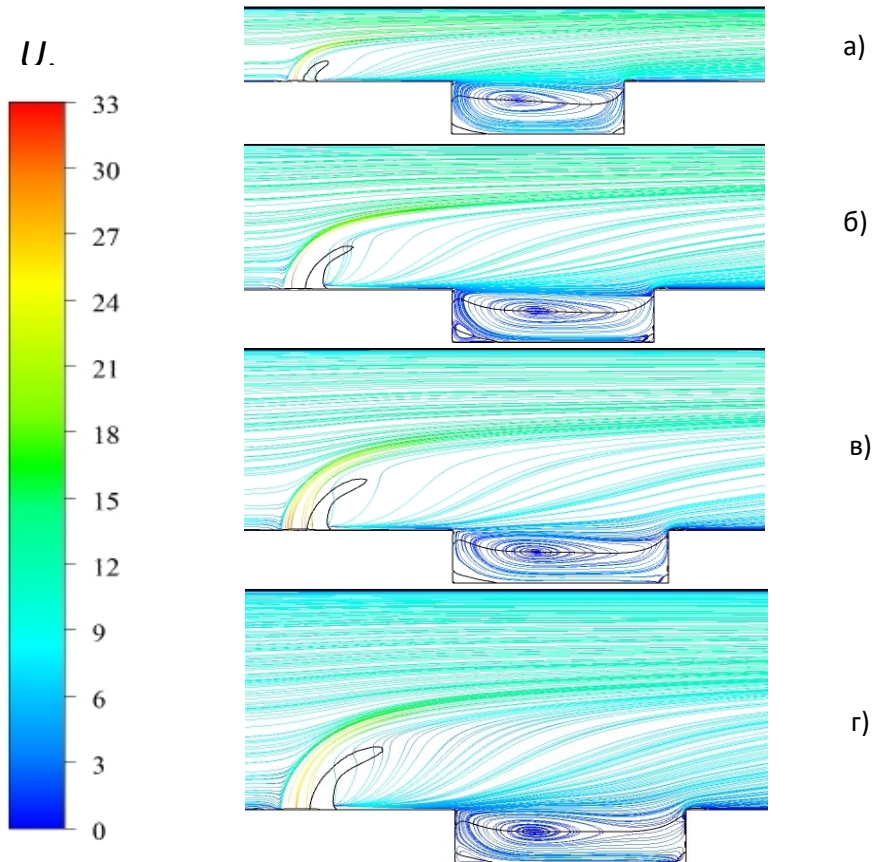


Рис. 3. Картина ліній току в поздовжньому перерізі пальника, що проходить через вісь газоподавального отвору, при рекомендованих конструктивних параметрах нішевих порожнин для пальників різної потужності:

а) $N_{п}=30$ кВт; б) $N_{п} = 110$ кВт; в) $N_{п} = 155$ кВт; г) $N_{п} = 200$ кВт

Таблиця 2

Величини рекомендованих значень довжин нішевої порожнини для типоряду циліндричних стабілізаторних пальникових пристроїв

| $N_{п}$, кВт | 30 | 110 | 155 | 200 |
|---------------|-------|-------|--------|-------|
| L , м | 0,018 | 0,021 | 0,0225 | 0,024 |
| \bar{L} | 3 | 3,5 | 3,75 | 4 |

Як показали результати даного дослідження, ніша довжиною $L=0,03$ м в умовах, що розглядаються, не відповідає вищевказаним вимогам. Довжина нішевої порожнини, вочевидь, має бути меншою, трохи збільшуючись з підвищенням потужності $N_{п}$.

Згідно результатів математичного моделювання для рекомендованих значень довжини ніші довжина первинного вихору в нішевій порожнині не набагато менша за її довжину, так що вихор займає основну частину цього простору. Як уже зазначалося, це одна з найважливіших умов сприятливого сумішоутворення та стабілізації полум'я в ніші.

Література

1. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Алешко С.А. и др. Анализ влияния геометрической формы нишевой полости на аэродинамическое сопротивление канала. *Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики: материалы XXII межд. конференции*. Ялта, 8-12 июня 2012 г. Киев, 2012. С. 148-150.

2. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Майсон Н.В. и др. Математическое моделирование взаимодействия вихревых структур в прямоугольной нише. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2014. Т.3, № 8 (69). С. 40-44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24895>.

3. Fialko N.M., Aleshko S.A., Rokitko K.V., Maletskaya O.E. et set. Regularities of mixture formation in the burners of the stabilizer type with one-sided fuel supply. *Технологические системы*. 2018. 3(38). С. 37-43. <https://doi.org/10.29010/084.3>.

4. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В, Прокопов В.Г., Полозенко Н.П. и др. 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.39193>,

5. Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovskii Ju.V., Aleshko S.A. et set. 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, 2018. P. 189-192.

6. 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/tpe.2.2023.4>.

7. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Алёшко С.А., Абдулин М.З. и др. Компьютерное моделирование течения в микрофакельных горелочных устройствах с асимметричной подачей топлива. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28, № 8. С. 117-121. <https://doi.org/10.15421/40280823>.

8. 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/tpe.4.2019.2>.

9. 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. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2023. № 6(140). С. 65-70. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-6-8767>.

10. Фіалко Н.М., Меранова Н.О., Шеренковський Ю.В., Абдулін М.З. та ін. Моделювання процесів горіння в мікрофакельних пальниках з асиметричним паливорозподілом, НАН України, Інститут технічної теплофізики, НАН України. Київ, Миколаїв: СПД Румянцева Г.В. 2023. 212 с.

11. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О. та ін. Особливості аеродинаміки і змішування палива та окиснювача в пальниках з трирядною паливоподачею. *Міжнародний науковий журнал*

"Интернаука". 2023. № 10(144). С. 63-67. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-10-8968>.