

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 the 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

Кліщ Андрій Володимирович

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Klishch Andrii

Junior Senior 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*

Полозенко Ніна Петрівна

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

Polozenko Nina

*Cand. of Tech. Sciences, Senior 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*

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

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ІЗОТЕРМІЧНОЇ ТЕЧІЇ В МІКРОФАКЕЛЬНИХ
ПАЛЬНИКАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ
REGULARITIES OF ISOTHERMAL FLOW IN SPECIAL PURPOSE
MICROJET BURNERS**

Анотація. Наведено результати CFD моделювання течії в мікрофакельних пальниках з трирядною струменевою паливоподачею за ізотермічних умов. Проаналізовано вплив характеристик системи паливоподачі і коефіцієнта надлишку повітря на структуру течії в пальниках.

Ключові слова: мікрофакельні пальники, CFD моделювання, трирядна струменева паливоподача.

Summary. The results of CFD modeling of flow in microflare burners with three-row jet fuel supply under isothermal conditions are presented. The influence of fuel supply system characteristics and the excess air coefficient on the flow structure in the burners is analyzed.

Key words: microjet burners, CFD modeling, three-row jet fuel supply.

Одним з напрямів сучасного розвитку енергетики України є забезпечення високих екологоенергетичних показників теплоенергетичного устаткування. До важливих тенденцій такого розвитку належить застосування прогресивних технологій спалювання палива у нових модифікаціях мікрофакельних пальникових пристроїв [1-25].

Стаття присвячена аналізу закономірностей впливу на структуру течії в мікрофакельних пальниках характеристик системи паливоподачі і коефіцієнта надлишку повітря постійної в часі теплопродуктивності обладнання. Такі умови є типовими, насамперед, при експлуатації котельних установок та інших вогнетехнічних об'єктів.

Даний аналіз проведено на прикладі модифікації пальникових пристроїв з багаторядною системою паливоподачі, які орієнтовані на застосування при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря. Схема досліджуваного модуля пальника стабілізаторного типу представлена в роботі [26]. Трирядна система паливоподачі складається з трьох секцій з різними значеннями відносного кроку розташування газоподавальних отворів. Використання окремої секції відповідає певному значенню коефіцієнта надлишку повітря, який в процесі дослідження змінювався в діапазоні $1,1 \leq \alpha_{\Sigma} \leq 1,5$. Як паливо використовувався природний газ, як окиснювач – повітря. Значення коефіцієнта надлишку повітря α_{Σ} , відстань L_1 між зривною кромкою стабілізатора і відповідними газоподавальними отворами, відносний крок розташування газоподавальних отворів S/d та швидкість повітря на вході канал U_{in}^a для подачі палива у різні секції наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Конструктивні параметри системи трирядної струменевої подачі палива при постійній теплопродуктивності устаткування

N_R	α_{Σ}	$L_1, 10^{-3} \cdot \text{м}$	$d, 10^{-3} \cdot \text{м}$	S/d
-------	-------------------	-------------------------------	-----------------------------	-------

1	1,1	40	3,8	4,21
2	1,3	55	3,5	4,57
3	1,5	70	3,3	4,85

Характерні результати виконаних досліджень наведено на рис. 1-4. Представлені дані математичного моделювання відповідають таким вихідним параметрам: довжина стабілізатора $B_{st}=0,03$ м; висота каналу $B_c=0,075$ м; довжина каналу $L_c=1,3$ м; відстань від входу в канал до стабілізатора $L_0=0,1$ м; довжина стабілізатора $L_{st}=0,2$ м; коефіцієнт загромадження прохідного перерізу каналу $k_f=0,4$ ($k_f=B_{st}/B_c$).

Слід зазначити, що в межах даної роботи дослідження проведено на основі математичного моделювання, що відповідає сучасній світовій тенденції [27-32].

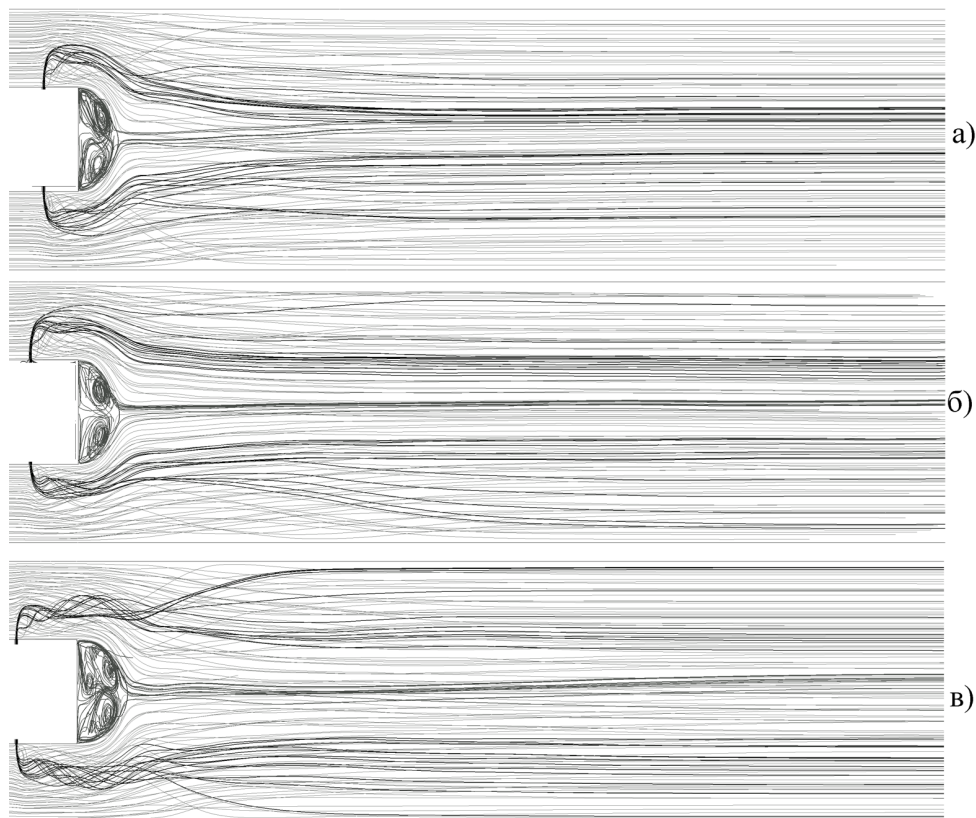


Рис. 1. Картина ліній току у поздовжньому перерізі стабілізатора полум'я, що проходить через вісь газоподавальних отворів, при подачі палива у першу (а), другу (б) та третю (в) секцію

За результатами досліджень встановлено, зокрема, що протяжність зони зворотних токів несуттєво залежить від номеру ряду паливоподачі і становить відповідно 45,5; 47, 2 і 45,5 мм для першої, другої і третьої секції подачі паливного газу. Максимальні за абсолютною величиною значення швидкості в цій зоні є близькими для першого і третього ряду паливоподачі (2,95 і 3,0 м/с) і дещо вищими для другого ряду (3,5 м/с).

Аналіз полів швидкості U_x у поздовжньому перерізі стабілізатора полум'я для трьох рядів газоподавальних отворів свідчать про наступне. В цілому вищі рівні швидкості мають місце при паливоподачі у третій ряд газоподавальних отворів, менші – у другий, і найменші – у третій (рис.2). При цьому області найвищих значень швидкості розташовуються в міжстабілізаторному просторі за паливними струменями.

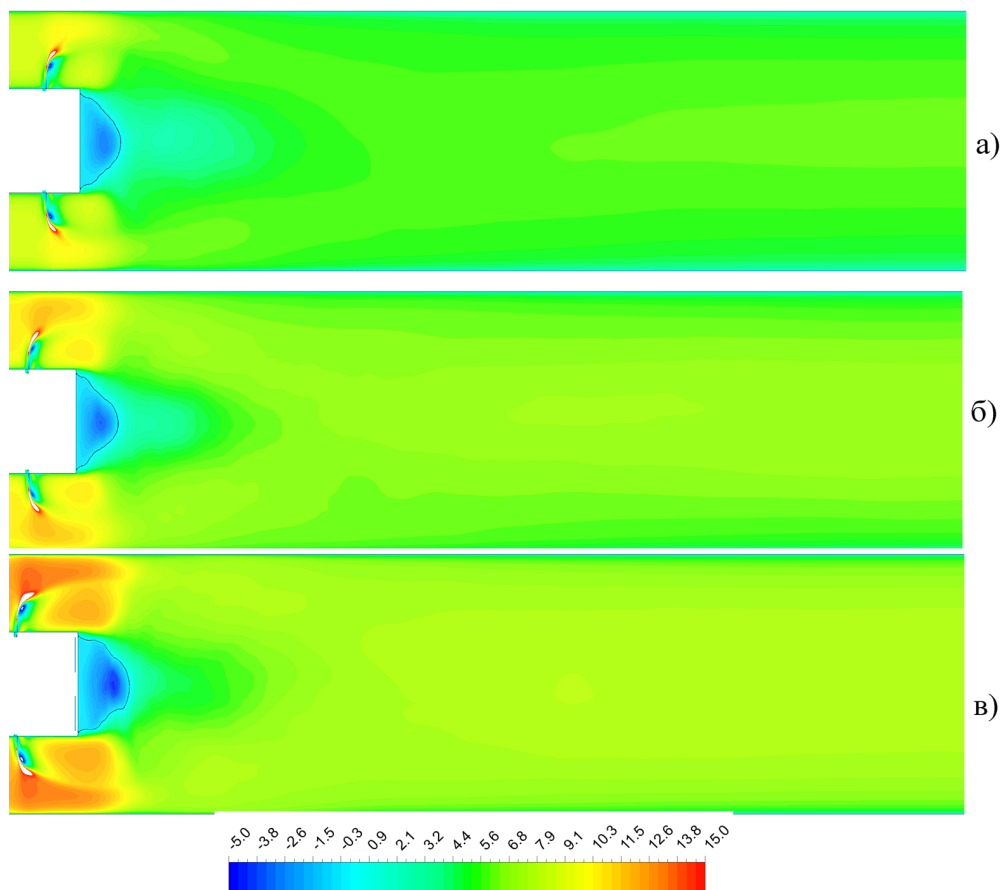


Рис. 2. Поле швидкості U_x у поздовжньому перерізі стабілізатора полум'я, що проходить через вісь газоподавальних отворів, при подачі палива у першу (а), другу (б) та третю (в) секцію за умов постійної теплопродуктивності енергетичного устаткування

З аналізу одержаних даних щодо розподілу швидкості U_x по довжині каналу випливає, що починаючи з певної відстані від торця стабілізатора, значення швидкості ранжуються у відповідності до номеру ряду, а відтак і до величини коефіцієнта надлишку повітря. При цьому вища швидкість відповідає більшому номеру ряду і значенню коефіцієнта надлишку повітря α (рис. 3).

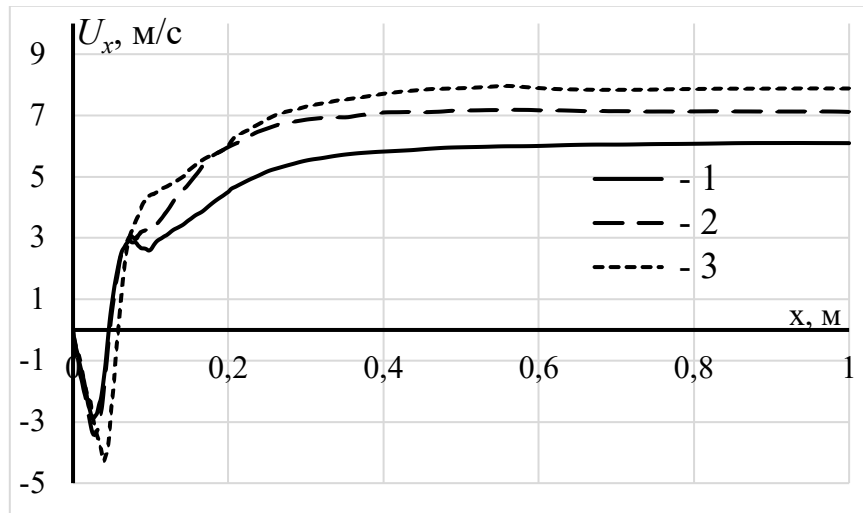


Рис. 3. Розподіл швидкості U_x по довжині каналу за стабілізатором полум'я на осі стабілізатора в площині, що проходить через вісь газоподавальних отворів, при подачі палива у першу (1), другу (2) та третю (3) секцію за умов постійної теплопродуктивності енергетичного устаткування

Значний інтерес становлять дослідження розподілу середньоквадратичних пульсацій швидкості у поздовжньому перерізі каналу. Аналіз отриманих даних, представлених на рис. 4, вказує на те, що рівень цих пульсацій для досліджуваних ситуацій не перевищує 7 м/с. Величини пульсацій швидкості зменшуються вниз за потоком при паливоподачі з різних рядів газоподавальних отворів. У даній області найвищі пульсації швидкості мають місце при паливоподачі в другу секцію, а найменші – за умов паливоподачі в третю секцію.

Слід також відзначити, що поблизу зони рециркуляції за стабілізатором полум'я рівні пульсацій швидкості зростають зі збільшенням номеру ряду.

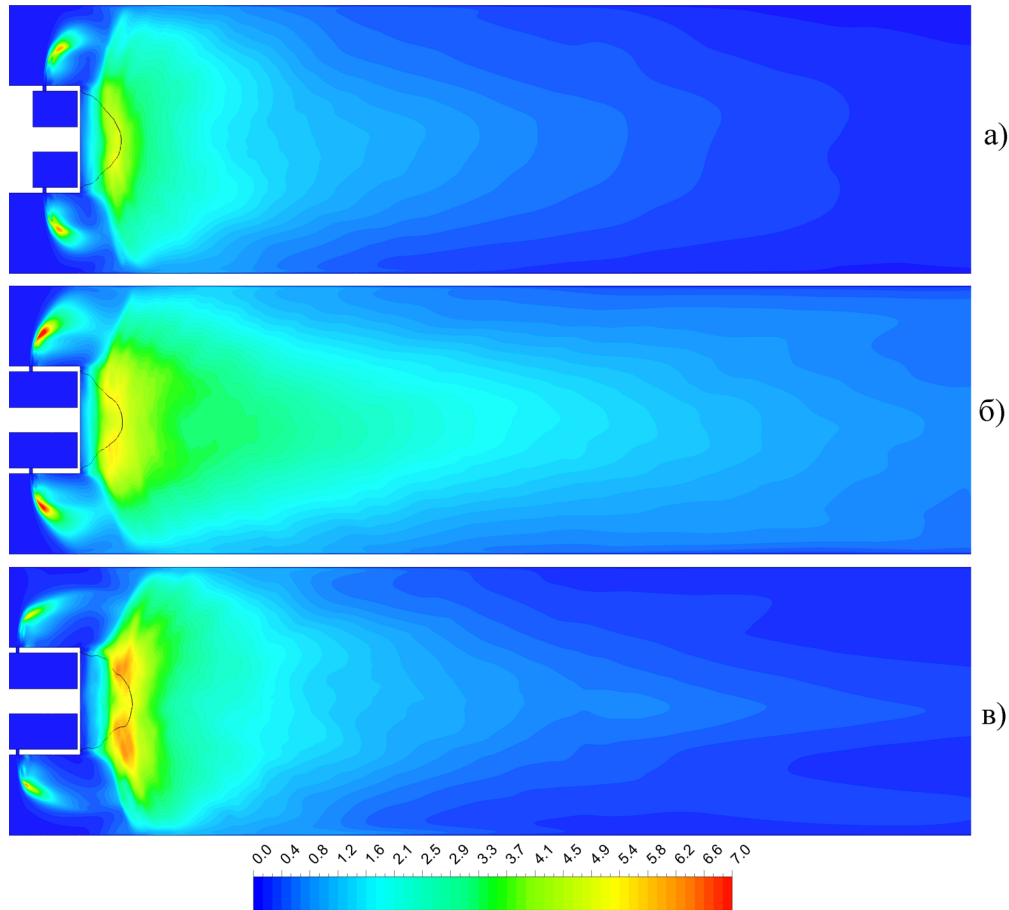


Рис. 4. Поле середньоквадратичних пульсацій швидкості U_{mag}' у поздовжньому перерізі стабілізатора полум'я, що проходить через вісь газоподавальних отворів, при подачі палива у першу (а), другу (б) та третю (в) секцію за умов постійної теплопродуктивності енергетичного устаткування

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено закономірності ізотермічної течії в мікрофакельних пальникових пристроях з трирядною паливоподачею за умов постійної в часі теплопродуктивності обладнання. Виявлено ефекти впливу на характеристики цих процесів таких чинників, як номер ряду газоподавальних отворів та величина загального коефіцієнта надлишку повітря.

Література

1. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Альошко С.О., Меранова Н.О., Рокитько К.В. Структура течії в пальникових пристроях з асиметричним паливорозподіленням для реагуючих потоків та ізотермічних умов. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2020. №1. С.19-26.
2. Абдулін М.З., Фіалко Н.М., Тимощенко О.Б., Сірий О.А., Шеренковський Ю.В., Мілко Є.І., Озеров А.А., Кліщ А.В., Ольховська Н.М., Швецова Л.Я. Температурні режими зон зворотних потоків у ближньому сліді циліндричних стабілізаторів полум'я. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018, Т.28, №3. С.97–100.
3. Н.М. Фіалко, В.Г. Прокопов, Ю.В. Шеренковський, М.В. Майсон, Н.О. Меранова, Н.П. Полозенко, О.Б. Тимощенко, С.О. Альошко, М.З. Абдулін Теплофізичні засади спалювання газу в мікрофакельних пальниках з циліндричними стабілізаторами полум'я. Миколаїв: СПД Румянцева Г.В., 2021. 118 с.
4. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Полозенко Н.П., Малецкая О.Е., Рокитько К.В., Юрчук В.Л. Микрофакельные горелочные устройства для эксплуатации в условиях повышенных избытков окислителя. *Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики: сборник трудов*. Институт промышленной экологии. ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2020. С.76-79.
5. Абдулін М.З., Сірий О.А., Кобилянська О.О. Енергоекологічна оцінка котельного устаткування модернізованого на базі струменевої технології. *Проблеми машинобудування*. 2022. Том 25, № 3. С. 46-55.
6. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Меранова Н.О., Алешко С.А., Полозенко Н.П., Кутняк О.Н. Влияние высоты пластинчатых турбулизаторов потока на характеристики течения в микрофакельных горелочных устройствах. *Енергетика і автоматика*. 2021. №3. С. 51-61.

7. Сорока Б.С., Пьяных К.Е. Развитие струй в сносящем потоке при сжигании топлива. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2001. №2. С. 59-66.
8. Fialko N., Prokopov V., Sherenkovsky Yu., Meranova N. Alioshko S., Polozenko N., Maletska O., Rokytko K., Abdulin M. Basic principles of thermogasdynamics of microjet burner devises with asymmetric supply of fuel gas. *International Scientific Journal "Internauka"*. 2020. № 4 (84). P. 30-33.
9. 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. 6(8 (120)). P. 65-72. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267891>
10. 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. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2023. №10(144). С.63-67.
11. 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.
12. Siryi O., Abdulin M., Bietin Y., Kobylanska O., Magera A. Study of Gas-Burning Systems Emission Characteristics Due Hydrocarbon Fuels Combustion. In: Zaporozhets, A. (eds) *Systems, Decision and Control in Energy V. Studies in Systems, Decision and Control*, vol. 481. 2023. Springer, Cham. P.751-766.

13. Фіалко Н. М., Шеренковський Ю.В., Прокопов В.Г., Меранова Н. О., Сірий О.А., Полозенко Н.П., Місюра Т.О., Хміль Д.П., Бетін Ю.О., В., Кліщ А.В. Дослідження особливостей течії в закормовій області стабілізаторів мікрофакельних пальників. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2024. № 11. С.96-100. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2024-11-10438>

14. Бутовский Л.С., Грановская Е.А., Фиалко Н.М., Строкин В.Н. Повышение устойчивости факела при подаче газа в зону рециркуляции за стабилизатором. *Технологические системы*. 2011. № 3 (56). С. 74-81.

15. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Прокопов В.Г., Полозенко Н.П., Алешко С.А., Малецкая О.Е., Милко Е.И., Озеров А.А., Кутняк О.Н., Бутовский Л.С. Особенности течения в микрофакельных горелках с подковообразным расположением стабилизаторов пламени. *Науковий вісник НУБіП України*. 2015, 20.9, Ч.1, С. 191-199.

16. 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.

17. Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Альошко С.О., Юрчук В.Л., Полозенко Н.П., Рокитько К.В., Дашковська І.Л., Ганжа М.В., Сороковий Р.Я. Особливості течії і теплообміну у внутрішній порожнині стабілізатора полум'я за наявності та відсутності ніш на його бічних поверхнях. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2021. №16. С.78-83. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-16-7654>

18. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Рокитько К.В., Полозенко Н.П., Малецкая О.Е. Юрчук В.Л. Влияние величины избытка воздуха на характеристики неизо термического течения микрофакельных горелок стабилизаторного типа. *Международный научный журнал "Інтернаука"*. 2020. № 5(85). С.

55-60. DOI: <https://www.inter-nauka.com/issues/2020/5/5803>

19. Абдулін М.З., Сірий О.А. Дослідження сталості горіння в струменево-нішовій системі при обмеженні далекобійності паливних струменів. К: Енергетика: економіка, технології, екологія, 2014. № 3/37. С. 22-29.

20. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Майсон М.В., Меранова Н.О., Полозенко Н.П., Тимощенко О.Б., Альошко С.О., Абдулін М.З. Теплофізичні засади спалювання газу в мікрофакельних пальниках з циліндричними стабілізаторами полум'я. Інститут технічної теплофізики НАН України. Миколаїв: СПД Румянцева Г.В., 2021. 118с.

21. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Полозенко Н.П., Малецкая О.Е., Клищ А.В., Дашковская И.Л. Закономерности течения в микрофакельных горелочных устройствах с пластинчатыми турбулизаторами потока. *Международный научный журнал «Интернаука»*. 2021. № 9(109). С. 62-67. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-9-7407>

22. Фіалко Н.М., Меранова Н.О., Шеренковський Ю.В., Кліщ А.В., Альошко С.О., Прокопов В.Г., Абдулін М.З., Полозенко Н.П., Кутняк О.М., Ольховська Н.М. Закономірності течії в пальниках з трирядною паливоподачею. *Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики: збірник праць*. К.: ІВЦ АЛКОН НАН України, 2024. С.92-99.

23. 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. DOI: <https://doi.org/10.29010/084.3>

24. 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. DOI: <https://doi.org/10.31472/tpe.2.2023.4>

25. Абдулін М.З., Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Бутовський Л.С., Юрчук В.Л., Г.В. Іваненко, А. В. Кліщ, Тимощенко О.Б. Структура течії у системі турбулізатор – нішова порожнина. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Т.27, № 3. С. 131-135.

26. 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. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2023. № 10(144). С. 63-67. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-10-8968>

27. Spalart P. R. Strategies for turbulence modelling and simulations. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2000. Vol. 21, № 3. P. 252–263.

28. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Альошко С.О., Малецька О.Є., Кутняк О.М., Бабак В.П., Щепетов В.В., Харченко С.Д. CFD моделювання температурних режимів пальникових пристроїв при використанні покриттів з різними теплопровідними властивостями. *Международный научный журнал «Интернаука»*. 2021. № 12(112). С. 25-30. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-12-7490>

29. Kamotani Y., Greber I. Experiments on a Turbulent Jet in a Cross Flow. *AIAA Journal*. 1972. Vol. 10, № 11. P. 1425–1429.

30. Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Прокопов В.Г., Полозенко Н.П., Меранова Н.О., Алешко С.А., Іваненко 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.

31. Shur M. L., Spalart P. R., Strelets M. K., Travin A. K. A hybrid RANS-LES approach with delayed-DES and wall-modeled LES capabilities. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2008. V. 29. P. 1638–1649.

32. Фиялко 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24895>