

Технічні науки

УДК 536.24:533

Фіалко Наталія Михайлівна

доктор технічних наук, професор,

Член-кореспондент НАН України, завідувач відділу

Інститут технічної теплофізики НАН України

Фиалко Наталия Михайловна

доктор технических наук, профессор,

член-кореспондент НАН Украины, заведующая отделом

Институт технической теплофизики НАН Украины

Fialko Nataliia

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Corresponding Member NAS of Ukraine, Head Department

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Прокопов Віктор Григорович

доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Прокопов Виктор Григорьевич

доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Prokopov Viktor

Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Шеренковський Юлій Владиславович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Шеренковский Юлий Владиславович

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник*

Институт технической теплофизики НАН Украины

Sherenkovskiy Julii

*Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher,
Leading Researcher*

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Меранова Наталія Олегівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник*

Інститут технічної теплофізики НАН України

Меранова Наталья Олеговна

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник*

Институт технической теплофизики НАН Украины

Meranova Nataliia

*Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher,
Leading Researcher*

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Альошко Сергій Олександрович

кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Алеша Сергей Александрович

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Aloshko Serhii

Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Юрчук Володимир Леонідович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Юрчук Владимир Леонидович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Yurchuk Volodymyr

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Полозенко Ніна Петрівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Полозенко Нина Петровна

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Polozenko Nina

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Рокитько Костянтин Володимирович

кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Рокитько Константин Владимирович

кандидат технических наук, младший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Rokitko Konstantin

Candidate of Technical Sciences, Junior Research

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Реграгі Абубакр

кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Реграги Абубакр

кандидат технических наук, младший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Regragui Abubakr

Candidate of Technical Sciences, Junior Research

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Ганжа Марк Володимирович

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Ганжа Марк Владимирович

младший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Hanzha Mark

Junior Research

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

**ВПЛИВ НАВАНТАЖЕННЯ ВОГНЕТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТА НА
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЧІЇ І ТЕПЛООБМІНУ У СИСТЕМІ
ОХОЛОДЖЕННЯ СТАБІЛІЗАТОРА ПОЛУМ'Я
ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ ОГНЕТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА НА
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЧЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ
ОХЛАЖДЕНИЯ СТАБИЛИЗАТОРА ПЛАМЕНИ
INFLUENCE OF THE FIRE-TECHNICAL OBJECT LOAD ON THE
CHARACTERISTICS OF FLOW AND HEAT TRANSFER IN THE
COOLING SYSTEM OF THE FLAME STABILIZER**

Анотація. Проведено дослідження особливостей течії та теплообміну охолоджувального агента всередині стабілізатора полум'я мікрофакельного пальника при різних значеннях навантаження котлоагрегату. Виконано аналіз впливу конструктивних особливостей стабілізатора на ефективність функціонування системи охолодження в цих умовах.

Ключові слова: мікрофакельний пальник, система самоохолодження, зміна навантаження котлоагрегату, коефіцієнт тепловіддачі.

Аннотация. Проведено исследование особенностей течения и теплообмена охлаждающего агента внутри стабилизатора пламени микрофакельного горелочного устройства при различных значениях нагрузки котлоагрегата. Выполнен анализ влияния конструктивных особенностей стабилизатора на эффективность функционирования его системы охлаждения в этих условиях.

Ключевые слова: микрофакельное горелочное устройство, система самоохлаждения, изменение нагрузки котлоагрегата, коэффициент теплоотдачи.

Summary. The study of the features of the flow and heat transfer of the cooling agent inside the flame stabilizer of the microjet burner is carried out at various values of the boiler unit load. The analysis of the influence of the design features of the stabilizer on the efficiency of the functioning of its cooling system under these conditions is carried out.

Key words: microjet burner, self-cooling system, change in boiler unit load, heat transfer coefficient.

Вступ. Мікрофакельні пальникові пристрої, які широко застосовуються в комунальній та промисловій енергетиці, мають ряд відомих переваг [1-9]. Надійність і довговічність їхньої роботи суттєво

залежить від особливостей систем охолодження стабілізаторів полум'я цих пальників [10-15].

Ефективність систем охолодження мікрофакельних пальників стабілізаторного типу великою мірою визначається навантаженням котлоагрегату. Вказана обставина зумовлена тим, що в таких системах, які є так званими системами самоохолодження, витрата охолоджуючого агента (природного газу) змінюється відповідно до зміни навантаження котла. Зважаючи на це, умови самоохолодження пальникових пристроїв є найменш сприятливими саме в ситуаціях, що відповідають зниженим навантаженням котлоагрегату, коли витрата охолоджуючого агента суттєво зменшується. Отже, можливості ефективної роботи систем охолодження стабілізаторних пальникових пристроїв, що розглядаються, повинні оцінюватися для умов експлуатації котельних установок на мінімально допустимих навантаженнях.

При цьому граничні можливості даних систем охолодження, як очевидно, відповідають ситуації досить різкого скидання навантаження котлоагрегату від номінального до відповідного мінімального. Саме в цьому випадку через теплову інерцію стінок топки тепловідведення від них до пальникового пристрою виявляється максимальним за даних умов. Отже, оцінка граничних можливостей ефективної роботи пальникових пристроїв повинна здійснюватися для ситуації, що відповідає поєднанню, з одного боку, мінімальної витрати охолоджувального газу, з іншого – максимальної величини підведення теплоти до пальникового пристрою. Отримані у зазначених передумовах дані, очевидно, відповідають оцінці систем охолодження, що розглядаються, з певним запасом щодо виконання вимог, які висуваються до них.

Дану статтю присвячено аналізу впливу навантаження котлоагрегату на характеристики систем охолодження пальникових пристроїв. При цьому діапазон зміни відносного навантаження котла N ($N = Q_k/Q_n \cdot 100\%$, де Q_k , Q_n – поточне та номінальне навантаження) знаходився в межах 30% – 100%.

Результати досліджень. Нижче для двох досліджуваних ситуацій, які відповідають конструкції стабілізатора полум'я за наявності і відсутності нішових порожнин на їхніх бічних поверхнях, аналізуються особливості течії охолоджувача (природного газу) та закономірності теплообміну у внутрішній порожнині стабілізаторів (рис. 1). Наведені дані відповідають таким вихідним параметрам: витрата природного газу $G = 200 \text{ м}^3/\text{год}$, що відповідає 100% навантаженню котлоагрегату; коефіцієнт надлишку повітря дорівнював 1,1; температура газу на вході в систему охолодження $t_2^{\text{ex}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$; температура повітря на вході в паликовий пристрій $t_n^{\text{ex}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; матеріал стінки стабілізатора – нержавіюча сталь 12Х18Н9Т; коефіцієнт затінення прохідного перетину каналу $k_f = 0,4$; діаметр газоподавальних отворів $d_{\Gamma} = 0,0043 \text{ м}$; відносний крок розташування отворів $S/d_{\Gamma} = 3,72$; довжина стабілізатора $L_{\text{ст}} = 0,225 \text{ м}$; ширина стабілізатора $B_{\text{ст}} = 0,030 \text{ м}$; $L_0 = 0,012 \text{ м}$; $L_{0^*} = 0,05 \text{ м}$; $L = 0,024 \text{ м}$; $L_1 = 0,014 \text{ м}$; $\Delta_1 = 0,0015 \text{ м}$; $\Delta_2 = 0,001 \text{ м}$; $\Delta_3 = 0,002 \text{ м}$; $\delta_0 = 0,006 \text{ м}$.

Характерні результати виконаних досліджень наведено на рис. 2 - 4. Рис. 2, 3 ілюструють картину течії охолоджувального агента у порожнині стабілізатора при варіювання у широких межах навантаження вогнетехнічного об'єкта. При цьому рис. 2 відповідає конструкції стабілізатора полум'я за наявності нішових порожнин на його бічних поверхнях, рис. 3 – за відсутності таких порожнин.

Як видно, зменшення навантаження вогнетехнічного об'єкту дещо змінює картину течії для обох досліджуваних конструкцій стабілізатора полум'я. А саме, крупні вихори поблизу торця стабілізатора помітно зменшуються у розмірах. При цьому збільшуються вихори у кутових зонах в області зривної кромки стабілізатора.

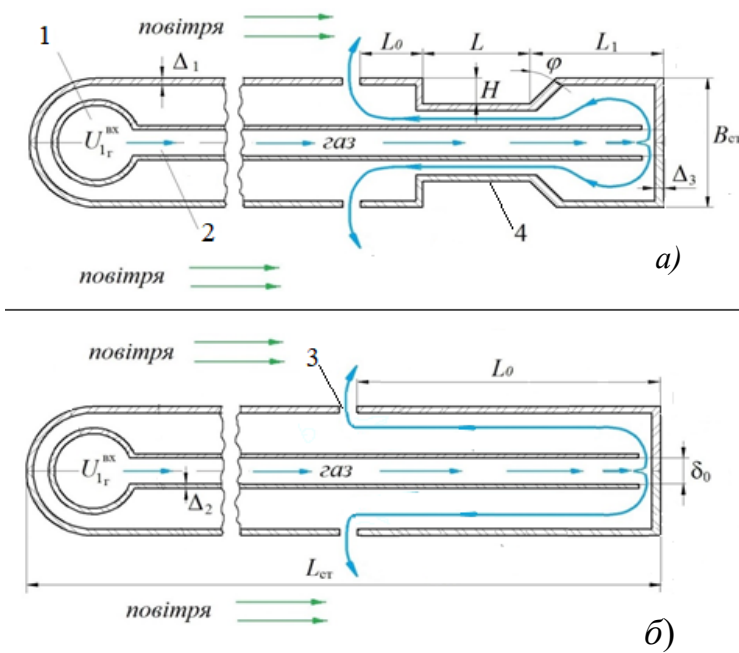
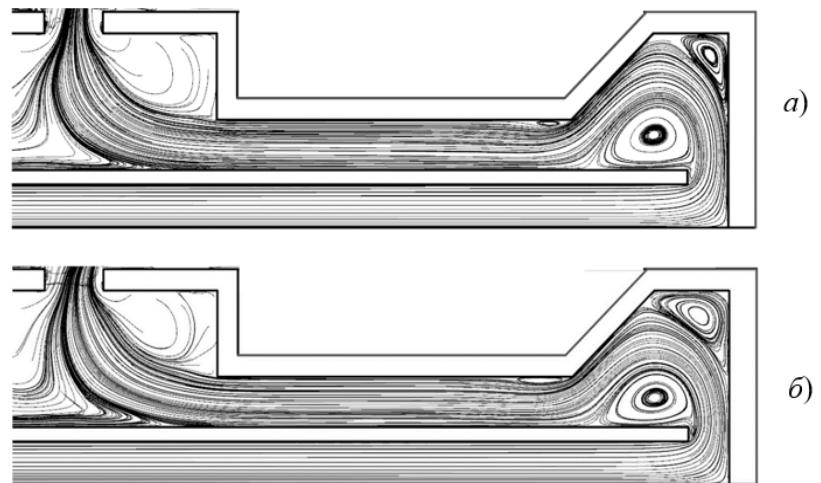


Рис. 1. До постановки задачі:
а) стабілізатор полум'я з нішовою порожниною; **б)** стабілізатор полум'я за її відсутності; 1 – газоподавальний колектор; 2 – канал для охолоджувального газу; 3 – газоподавальні отвори; 4 – нішова порожнина

Рис. 2. Картина ліній току в поздовжньому перерізі стабілізаторів полум'я, що проходить через вісь газоподавальних отворів, за наявності нішової порожнини на його бічній поверхні при різних навантаженнях вогнетехнічного об'єкта N:
а) N = 100 %; **б)** N = 30 %.



З огляду на скорочення витрати охолоджувального агента при зменшенні навантаження вогнетехнічного об'єкта суттєво знижується швидкість течії охолоджувача у внутрішній порожнині стабілізатора полум'я. Так, для стабілізатора з нішами у поперечному перерізі, що проходить через середину дна ніші, швидкість становить 6,2 м/с при навантаженні вогнетехнічного об'єкта 100%, і 1,0 м/с при навантаженні 30%. Для стабілізатора без нішових порожнин у відповідному перерізі ці швидкості дорівнюють 2,28 і 0,37 м/с.

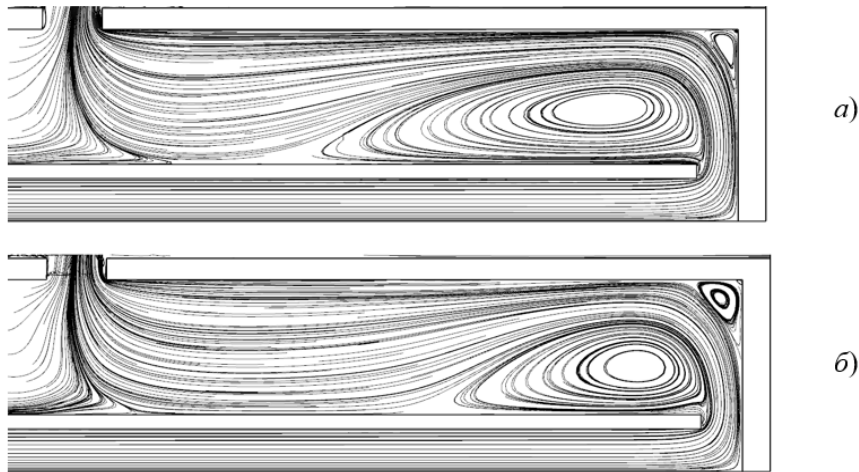


Рис. 3. Картина ліній току в поздовжньому перерізі стабілізаторів полум'я, що проходить через вісь газоподавальних отворів, за відсутності нішової порожнини на його бічній поверхні при різних навантаженнях вогнетехнічного об'єкта N:

а) N = 100 %; б) N = 30 %

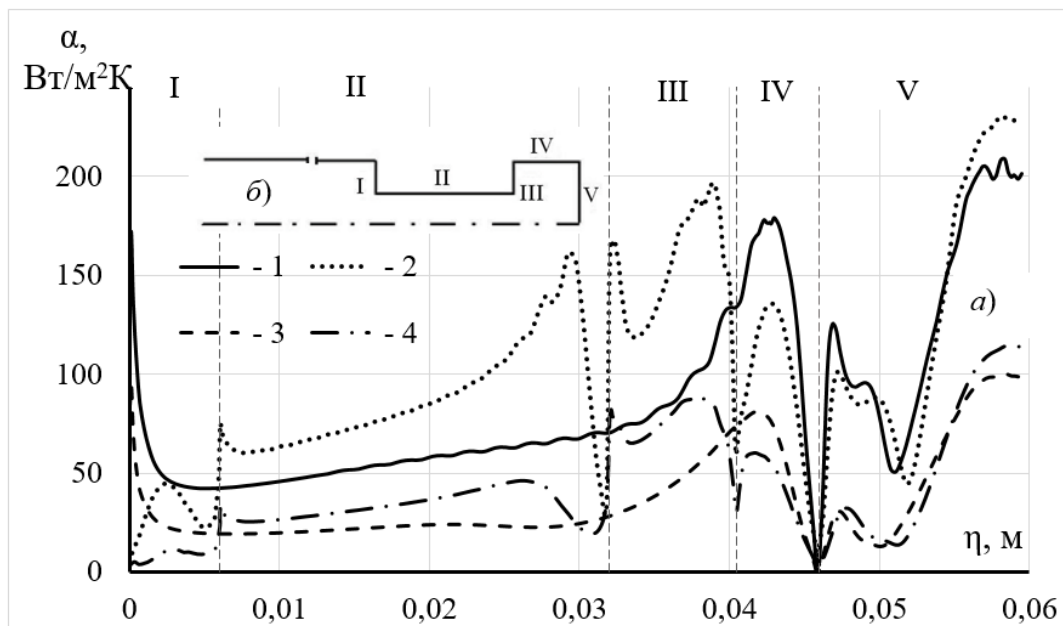


Рис. 4. Розподіл коефіцієнта тепловіддачі α вздовж зовнішньої поверхні стабілізатора полум'я (а) в перерізі, що проходить через вісь газоподавальних отворів, за відсутності (1,3) і наявності (2,4) нішової порожнини на бічній поверхні стабілізатора при різних навантаженнях вогнетехнічного об'єкта N = 100 % (1,2) , N = 30 % (3,4) , та розташування на даній поверхні характерних зон (б)

Зниження швидкості руху паливного газу всередині стабілізатора спричиняє зменшення інтенсивності охолодження його внутрішньої поверхні. На рис. 4 наведено розподіл коефіцієнтів тепловіддачі α на цій

поверхні для двох досліджуваних конструкцій стабілізатора полум'я при навантаженні N вогнетехнічного об'єкту 100 і 30%. Згідно з представленими даними картини розподілу α при різних навантаженнях N якісно подібні для конструкцій стабілізатора, що розглядаються. Звертає на себе увагу той факт, що лінії розподілу α при $N = 30\%$ характеризуються більшою гладкістю ніж відповідні лінії при $N = 100\%$.

Щодо кількісних відмінностей у значеннях α при різних навантаженнях N , то вони є суттєвими для обох конструкцій стабілізатора полум'я. При цьому в деяких відносно невеликих зонах поверхні вказані відмінності практично відсутні. За наявності нішових порожнин ці зони відповідають трьом підобластям: підобласті поблизу зривної кромки стабілізатора полум'я, та підобластям біля верхньої та нижньої границі похилої задньої кромки ніші. Як видно, в цих зонах особливості течії зумовлюють низькі та близькі за значенням величини коефіцієнтів тепловіддачі при двох навантаженнях N , що розглядаються. За відсутності нішових порожнин має місце лише одна така зона поблизу зривної кромки стабілізатора (рис. 4).

Для досліджуваних конструкцій стабілізатора полум'я характер відмінностей у значеннях α при різних навантаженнях вогнетехнічного об'єкта дещо відрізняється. На торцевій поверхні стабілізатора та прилеглий до неї ділянці його бічної поверхні картина даних відмінностей є якісно однаковою для обох конструкцій стабілізатора полум'я. Тут коефіцієнти тепловіддачі при різних навантаженнях N можуть значно відрізнятись. Для стабілізатора з нішовими порожнинами значні відмінності у величинах α при $N = 100\%$ і 30% зберігаються на ділянці похилої задньої стінки ніші та на прилеглий до неї ділянці дна ніші. З віддаленням від останньої в бік передньої кромки ніші порівнювані значення α стають близькими за величиною. Щодо плоского стабілізатора полум'я без нішових порожнин, то в зоні за межами ділянок I та II величини α , що відповідають різним

значенням навантаження N , відрізняються в цілому значно менше, ніж на вказаних ділянках.

На ділянках інтенсивного відведення теплоти значення α на внутрішній поверхні стабілізатора при номінальному навантаженні вогнетехнічного об'єкта ($N = 100\%$) можуть перевищувати відповідні значення при $N = 30\%$ приблизно вдвічі для обох досліджуваних конструкцій стабілізатора. Так, в центрі торця стабілізатора α становить 227,9 і 114,0 Вт/(м²К) при двох вказаних навантаженнях N для стабілізатора з нішами та 200,2 і 99,2 Вт/(м²К) за відсутності нішових порожнин.

Висновки. Проведені дослідження показали, що особливості течії охолоджувача та характер розподілу коефіцієнта тепловіддачі на внутрішній поверхні стабілізатора полум'я при різних навантаженнях котлоагрегату якісно схожі. Кількісні ж відмінності значень коефіцієнта тепловіддачі в діапазоні зміни навантаження для досліджуваних варіантів конструкцій стабілізатора можуть бути значними.

Література

1. Фиалко Н.М., Бутовский Л.С., Прокопов В.Г., Меранова Н.О., Алёшко С.А., Полозенко Н.П. Особенности обтекания плоских стабилизаторов ограниченным потоком. Промышленная теплотехника. 2010. № 5. С. 53-57.
2. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Алешко С.А., Полозенко Н.П. и др. Анализ влияния геометрической формы нишевой полости на аэродинамическое сопротивление канала. Промышленная теплотехника. 2012. №1. С. 72-76.
3. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Бутовский Л.С., Шеренковский Ю.В. и др. Особенности течения топлива и окислителя при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени. Промышленная теплотехника. 2011. №2. С. 59-64.

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. Fialko N.M., Aleshko S.A., Rokitko K.V., Maletska O.E. and other. Regularities of mixture formation in the burners of the stabilizer type with one-sided fuel supply. *Технологические системы*. 2018. 3(38). С. 37-43. ISSN print: 2074-0603.
6. Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovskiy 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.
7. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О. и др. Интенсификация процессов переноса в горелочном устройстве с цилиндрическим стабилизатором пламени. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24.5. С. 136-142.
8. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Бутовский Л.С., Шеренковский 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., 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. №4. С. 13-18.
10. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., С.А. Алешко, Меранова Н.О., Абдулин М.З. Системы охлаждения микрофакельных

- горелочных устройств с плоскими стабилизаторами пламени. Киев: Изд-во «София-А», 2016. 200 с.
11. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Алешко С.А. и др. Компьютерное моделирование процессов переноса в системе охлаждения горелочных устройств стабилизаторного типа. Промышленная теплотехника. 2012. №1. С. 64-71.
 12. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Алешко С.А., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О. и др. Эффективность систем охлаждения горелочных устройств струйно-стабилизаторного типа. Технологические системы. 2012. № 1. С. 52-57.
 13. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Алешко С.А., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Полозенко Н.П., Малецкая О.Е. Влияние ширины стабилизатора на аэродинамические и тепловые характеристики систем охлаждения микрофакельных горелочных устройств. Науковий вісник НЛТУ України. 2013. Вип. 23.7. С. 83-87.
 14. Fialko N.M., Prokopov V.G., Alyoshko S.A., Sherenkovskiy J.V. Performance analysis of cooling stabilizing burners for different stress boiler unit. Вісник НУ «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. 2013. №756. С. 43-46.
 15. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Алешко С.А. и др. Исследование эффективности систем охлаждения микрофакельных горелочных устройств. Промышленная теплотехника. 2013. №1. С. 36-42.