

Технічні науки

УДК 536.24:533

Фіалко Наталія Михайлівна

доктор технічних наук, професор,

чл.-кор. НАН України, зав. 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

Прокопов Віктор Григорович

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*

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*

Місюра Тимофій Олексійович

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

Misiura Tymofii

*PhD, Research
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine,*

Хміль Дмитро Петрович

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

Khmil Dmytro

PhD, Junior Senior 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

Кліщ Андрій Володимирович

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Klishch Andrii

Junior Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ
СТАБІЛІЗАТОРНИХ ПАЛЬНИКІВ ІЗ ЗАХИСНИМИ ПОКРИТТЯМИ
COMPUTER SIMULATION OF THE THERMAL STATE OF
STABILIZER BURNERS WITH PROTECTIVE COATINGS**

Анотація. В даній роботі наводяться дані комп'ютерного моделювання теплового стану стабілізаторів полум'я мікрофакельних пальникових пристроїв при наявності захисного покриття на зовнішній поверхні стабілізатора. Встановлено закономірності впливу теплозахисного покриття на характеристики температурного режиму стінок стабілізаторів полум'я в широкому діапазоні зміни навантаження котлоагрегату.

Ключові слова: захисне покриття, пальниковий пристрій, температура стінки стабілізатора, система охолодження.

Summary. This paper presents the data of computer simulation of the thermal state of flame stabilizers of microjet burner devices in the presence of a protective coating on the outer surface of the stabilizer. The regularities of the influence of the heat-protective coating on the characteristics of the temperature regime of the walls of the flame stabilizers in a wide range of changes in the load of the boiler unit have been established.

Key words: protective coating, burner device, stabilizer wall temperature, cooling system.

Тепловий стан елементів стабілізаторних пальникових пристроїв, значною мірою визначає їх надійність та довговічність і залежить від температурного режиму стінок стабілізаторів [1-13]. В даних пальниках в певних ситуаціях можуть мати місце високі рівні температур стінок стабілізаторів. Зважаючи на це актуальним є завдання забезпечення необхідного теплового стану стабілізаторів полум'я. Серед різних способів організації такого стану особливо виділяється застосування на зовнішній поверхні стабілізаторів спеціальних теплозахисних покриттів.

Стаття присвячена комп'ютерному моделюванню температурних режимів стінок стабілізаторів полум'я в умовах нанесення на елементи їх поверхні захисних покриттів.

Розгляду підлягав мікрофакельний пальниковий пристрій з плоским стабілізатором полум'я, оснащений спеціальною системою охолодження (рис. 1). Як холодоагент у цих системах застосовувався природний газ, що підлягав подальшому спалюванню.

Задачі переносу, які відповідають фізичній ситуації, що розглядається, вирішувались в тривимірній постановці за допомогою методики поетапного моделювання [14].

Рішення здійснювалось на основі URANS підходу із застосуванням пакету FLUENT. Вибір необхідної моделі турбулентності здійснювався на основі зіставлення результатів натурних експериментів і даних чисельних рішень, отриманих з використанням різних модифікацій моделей турбулентності. За результатами виконаних досліджень встановлено, що найменші відхилення даних, що зіставляються, мають місце для RNG $k-\varepsilon$ моделі турбулентності.

Комп'ютерне моделювання здійснювалось при наступних вихідних параметрах: 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 $t_2^{ex} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$; температура повітря на вході в пальниковий пристрій $t_n^{ex} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; матеріал стінки пілона – сталь 12X18H9T; коефіцієнт загромадження прохідного перерізу каналу $k_f = 0,3$; діаметр газоподавальних отворів $d_\Gamma = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; відносний крок розташування отворів $S/d_\Gamma = 3,33$; довжина стабілізатора $L_{ст} = 2,25 \text{ м}$; ширина стабілізатора $B_{ст} = 30,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $L_0 = 16,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $L = 24,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $L_1 = 33,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\Delta_1 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\Delta_2 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\Delta_3 = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\delta_1 = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\delta_0 = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\delta = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; коефіцієнт теплопровідності матеріалу покриття $\lambda_{п} = 0,8 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; товщина покриття $\Delta_4 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

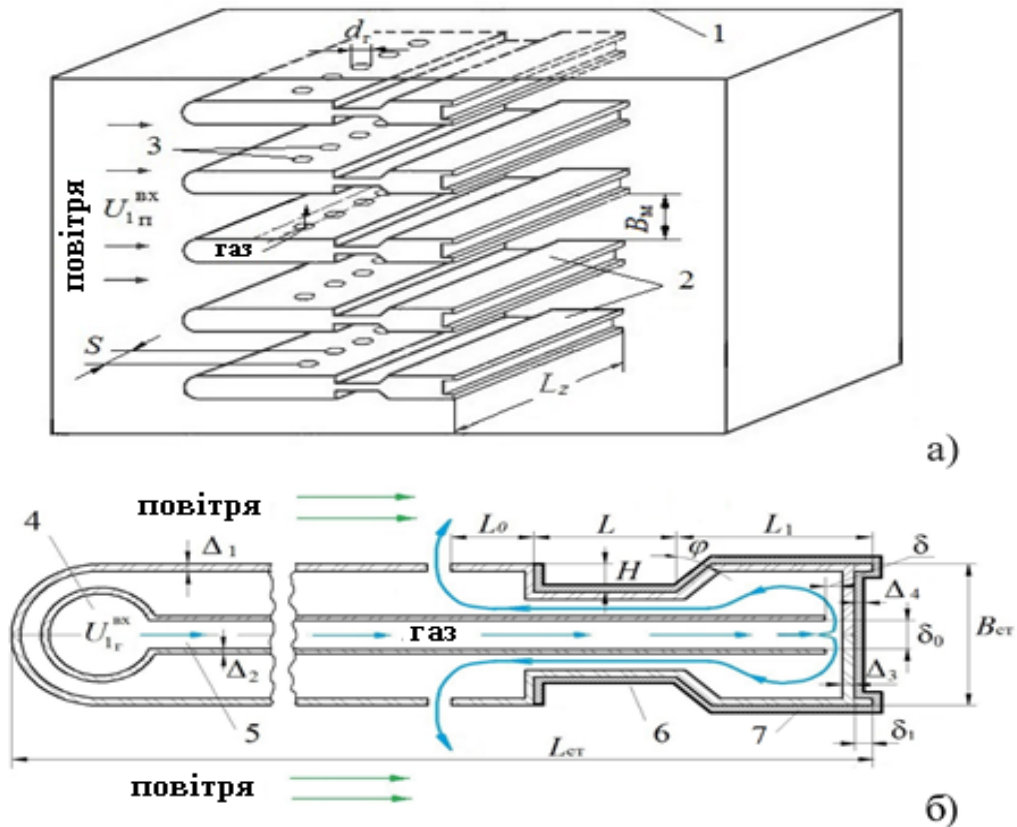


Рис. 1. Схема стабілізаторного пальникового пристрою (а) і системи його охолодження (б):

- 1 - плоский канал; 2 - стабілізатори полум'я; 3 - газоподавальні отвори;
- 4 - газоподавальний колектор; 5 - канал для охолоджуючого газу;
- 6 - нішова порожнина; 7 - покриття.

На рисунку 2 представлено результати досліджень теплового стану стабілізатора полум'я при двох значеннях відносного навантаження котлоагрегату – 100% та 20%. Необхідність вивчення ситуації, що відповідає мінімальному навантаженню котлоагрегату, обумовлена обставиною, що в цьому випадку умови охолодження є найменш сприятливими через малі витрати охолоджуючого агента (природного газу).

Згідно з результатами комп'ютерного моделювання при відносному навантаженні котлоагрегату, що дорівнює 20%, у ситуації, коли теплозахисне покриття відсутнє, температура стінки стабілізатора виявляється дещо вищою за допустиме значення 550°C. При нанесенні

теплозахисного покриття на зовнішню поверхню стабілізатора полум'я забезпечується зниження його температури до допустимих величин.

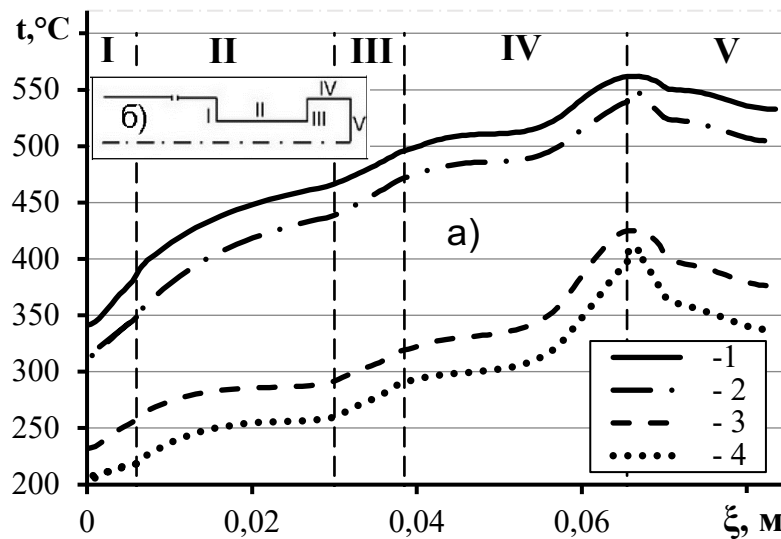


Рис. 2. Розподіл температури (а) вздовж зовнішньої поверхні стінки стабілізатора за наявності (2, 4) та відсутності (1, 3) теплозахисного покриття для відносного навантаження котлоагрегату 20% (1, 2) та 100 % (3, 4) та розташування на цій поверхні характерних зон (б)

Як видно з наведених даних, різниця температур зовнішньої поверхні стінки стабілізатора, що відповідають наявності та відсутності захисного покриття, змінюється вздовж цієї поверхні. На торцевій поверхні стабілізатора ця різниця залишається практично постійною. Вона дещо знижується на поверхні виступу, що служить утворенню приторцевої ніші. І далі вздовж горизонтальної поверхні стабілізатора ця різниця змінюється незначною мірою.

Таким чином, на поверхні власне виступу, де температура стабілізатора є максимальною, ефект впливу покриття виявляється найменшим. Це зумовлено дією двох конкуруючих факторів, пов'язаних із нанесенням теплозахисного покриття. З одного боку останній, як додатковий термічний опір низькотеплопровідного шару, має забезпечувати зниження температури зовнішньої поверхні стабілізатора. З іншого боку

нанесення покриття на виступ, що розглядається призводить до розвитку поверхні і, є фактором підвищення даної температури. У аналізованій ситуації домінуючим виявляється перший із зазначених факторів. Однак його дія дещо знижується через зазначений розвиток поверхні.

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок про перспективність нанесення теплозахисних покриттів на зовнішні поверхні стабілізаторів полум'я з метою забезпечення їх необхідного теплового стану.

Література

1. Fialko N. M., Prokopov V. G., Sherenkovsky Ju. V., Aleshko S. A., Hanzha M. V., Polozenko N. P., Maletskaya O. E., Kutniak O. N., Regragui A., Donchak M. I. Mathematical modeling of temperature regimes of burners of stabilizing type with thermo-barrier coatings. *Технологические системы*. 2018. № 83/2. С. 41-47. <https://doi.org/dx.doi.org/10.29010/083.4>.

2. 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>.

3. Fialko N. M., Aleshko S.A., Yurchuk V.L., Maletskaya O.E., Hanzha M.V., Milko E.I., Olkhovskaya N.N., Kutnyak O.N., Regragui A., Evtushenko A.A. Temperature regimes of stabilizer burners under application of thermo-barrier coatings on different parts of their surface. *Journal of New Technologies in Environmental Science*. 2018. (3). P. 121-124. URL: <https://jntes.tu.kielce.pl/2018/09/> (date of access: 17.10.2024).

4. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Алешко С.А., Меранова Н.О., Абдулин М.З., Бутовский Л.С., Полозенко Н.П., Мартюк

О.В. Исследование эффективности систем охлаждения микрофакельных горелочных устройств. *Промышленная теплотехника*. 2013. № 1. С. 36-41.

5. Прокопов В.Г., Фіалко Н.М., Альошко С.О., Полозенко Н.П., Кутняк О.Н., Дашковська І.Л., Кліщ А.В., Реграгі А., Ганжа М.В. Системи охолодження пальників струменево-нішового типу. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2020. № 12 (92). С. 36-42.

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., 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>.

8. 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.

9. Фіалко Н.М. Шеренковський 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 (date of access: 18.10.2024).

10. Фіалко Н.М., Шеренковський 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.
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24895>

11. Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovskiy 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.

12. Фіалко НМ, Прокопов ВГ, Шеренковський ЮВ, Меранова НО, Алешко СА, Ганжа МВ, Юрчук ВЛ, Швецова ЛА. 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. Фиалко 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 (date of access: 17.10.2024).

14. 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. № 1. С. 64-72.