

Технічні науки

УДК 536.24:533

**Фіалко Наталія Михайлівна**

*доктор технічних наук, професор,  
член-кореспондент НАН України, завідувача відділом  
Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Фиалко Наталия Михайловна**

*доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент НАН Украины, заведующая отделом  
Института технической теплофизики НАН Украины*

**Fialko Nataliia**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of Department  
Institute of Technical Thermophysics of the  
National Academy of Sciences 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  
Института технической теплофизики НАН Украины*

**Prokopov Viktor**

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher  
Institute of Technical Thermophysics of the  
National Academy of Sciences of Ukraine*

**Шеренковський Юлій Владиславович**

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

**Шеренковский Юлий Владиславович**

*кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник*

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Sherenkovskiy Julii**

*Candidate of Technical Sciences (PhD),*

*Senior Scientific Researcher, Leading Researcher*

*Institute of Technical Thermophysics of the*

*National Academy of Sciences of Ukraine*

**Тимошенко Олександра Борисівна**

*молодший науковий співробітник*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Тимошенко Александра Борисовна**

*младший научный сотрудник*

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Tymoshchenko Oleksandra**

*Junior Research*

*Institute of Technical Thermophysics of the*

*National Academy of Sciences 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 (PhD), Senior Researcher*

*Institute of Technical Thermophysics of the*

*National Academy of Sciences of Ukraine*

**Кутняк Ольга Миколаївна**

*науковий співробітник*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Кутняк Ольга Николаевна**

*научный сотрудник*

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Kutnyak Olha**

*Researcher*

*Institute of Technical Thermophysics of the*

*National Academy of Sciences 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 Technical Thermophysics of the*

*National Academy of Sciences of Ukraine*

**Реграгі Абубакр**

*молодший науковий співробітник*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Реграги Абубакр**

*младший научный сотрудник*

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Regragui Aboubakr**

*Junior Research*

*Institute of Technical Thermophysics of the*

*National Academy of Sciences of Ukraine*

**АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ  
СУМІШОУТВОРЕННЯ В МІКРОФАКЕЛЬНИХ ПАЛЬНИКАХ З  
ЦИЛІНДРИЧНИМИ СТАБІЛІЗАТОРАМИ ПОЛУМ'Я  
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА  
СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В МИКРОФАКЕЛЬНЫХ ГОРЕЛКАХ С  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ СТАБИЛИЗАТОРАМИ ПЛАМЕНИ  
ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF REGULATING THE PROCESS  
OF MIXTURE FORMATION IN MICROJET BURNERS WITH  
CYLINDRICAL FLAME STABILIZERS**

*Анотація.* Наведено результати аналізу впливу безрозмірної відстані від виходу газів з отворів до устя пальникових пристроїв з циліндричними стабілізаторами полум'я на процеси сумішоутворення палива і окиснювача. Наводяться дані щодо умов, за яких до устя пальників різної потужності надходить суміш високого ступеня перемішаності палива з повітрям.

*Ключові слова:* циліндричні стабілізатори полум'я, відстань від газоподавальних отворів до устя пальника, ступінь перемішаності палива і повітря.

*Аннотация.* Приведены результаты анализа влияния безразмерного расстояния от газоподающих отверстий до затупленной задней кромки горелочного устройства с цилиндрическими стабилизаторами пламени на процессы смесеобразования топлива и окислителя. Приводятся данные об условиях, при которых к устью горелки различной мощности поступает смесь топлива с воздухом высокой степени перемешанности.

**Ключевые слова:** цилиндрические стабилизаторы пламени, расстояние от газоподающих отверстий до устья горелки, степень перемешанности топлива и воздуха.

**Summary.** The analysis results of the influence of the dimensionless distance from the gas supply holes to the blunt edge of the burner device with cylindrical flame stabilizers on the processes of fuel and oxidizer mixture formation are presented. Data are given on the conditions when a mixture of fuel and air with high degree mixing is supplied to the mouth burners of different power.

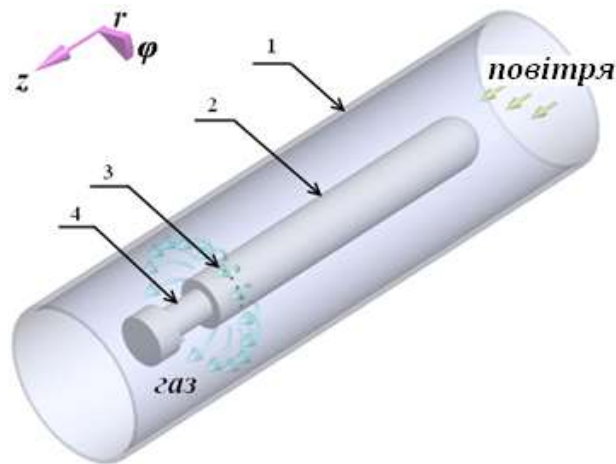
**Key words:** cylindrical flame stabilizers, distance from the gas supply holes to the mouth of the burner, degree mixing of fuel and air.

**Вступ.** Модернізація парку котельного устаткування відбувається в Україні на основі впровадження сучасних пальникових пристроїв [1-5], високоефективних теплоутилізаторів різного призначення [6-10], застосування матеріалів з комплексом унікальних фізичних і технологічних властивостей [10-15] тощо.

В даній роботі проведено дослідження щодо мікрофакельних пальників з циліндричними стабілізаторами полум'я, орієнтованих на експлуатацію в котельних установках порівняно невеликої потужності.

**Мета роботи** - встановлення закономірностей впливу відстані між газоподавальними отворами і зривною кромкою циліндричних стабілізаторів полум'я на процеси сумішоутворення палива і окиснювача.

**Виклад основного матеріалу.** Схему досліджуваного пальникового пристрою наведено на рис. 1. В рамках даної роботи виконано комплекс обчислювальних експериментів, які базуються на використанні RANS підходу до моделювання турбулентних течій. При цьому як модель турбулентного переносу застосовувалася k-ε модель турбулентності в модифікації RNG.



**Рис. 1. Схема пального пристрою з циліндричним стабілізатором полум'я за наявності кільцевої ніші: 1 – циліндричний канал; 2 – циліндричний стабілізатор полум'я; 3 – газоподавальні отвори; 4 – кільцева ніша**

Основна увага при проведенні досліджень приділялась виявленню закономірностей змішування природного газу і повітря. Знання цих закономірностей дозволяє регулювати процес сумішоутворення і, відповідно, створювати факел полум'я різної довжини. При цьому для вогнетехнічних об'єктів, що вимагають короткого факела полум'я, необхідно прискорювати сумішоутворення в пальнику, забезпечуючи надходження до його устя горючої суміші високого ступеня перемішаності. А для об'єктів з довгим факелом полум'я навпаки потрібне уповільнення змішування струменів газу з повітрям так, щоб до устя пальника вони були лише незначно перемішані [16].

Зазначене регулювання процесу сумішоутворення і, відповідно, довжини факела полум'я може реалізуватися за допомогою зміни відстані  $L_1$  від місця виходу газу з отворів до устя пальника. У вогнетехнічних об'єктах відносно малих розмірів газоподавальні отвори повинні бути глибоко втоплені в амбразуру пальника, тобто величину  $L_1$  слід вибирати порівняно великою. Щодо вогнетехнічних об'єктів значних розмірів, то тут струмені повинні розташовуватися поблизу устя пальника, тобто відстань  $L_1$  необхідно скорочувати.

Досліджувані в цій роботі циліндричні пальникові пристрої відносяться до пристроїв відносно малої потужності і орієнтовані на використання, головним чином, в вогнетехнічних об'єктах порівняно невеликих розмірів. З огляду на це становить інтерес розгляд першої із зазначених вище ситуацій, коли до устя пальника надходить суміш високого ступеня перемішаності газу і повітря таким чином, щоби практично весь поперечний переріз пальника, який проходить через зривну кромку стабілізатора, було зайнято сумішшю, що знаходиться в концентраційних межах займання.

Проведені дослідження показали, що розмір, при якому реалізується такий ступінь перемішаності в усті пальника, є різним для пальників різної потужності (див. табл. 1 і рис. 2). Як видно з таблиці 1, чим вище потужність пальникового пристрою, тим більше значення  $L_1^*$ . Так, при  $N_{\text{п}} = 30$  кВт величина  $L_1^* = 0,07$  м, а при  $N_{\text{п}} = 200$  кВт вона досягає 0,14 м.

Дану обставину можна пояснити наступним чином. Змішування газу з повітрям, як відомо, можна затягнути або прискорити не тільки за рахунок зміни відстані  $L_1$ , але також варіюючи діаметр  $d$  газоподавальних отворів.

При цьому зі збільшенням даного діаметра сумішоутворення затягується і відповідно значення  $L_1^*$  зростає.

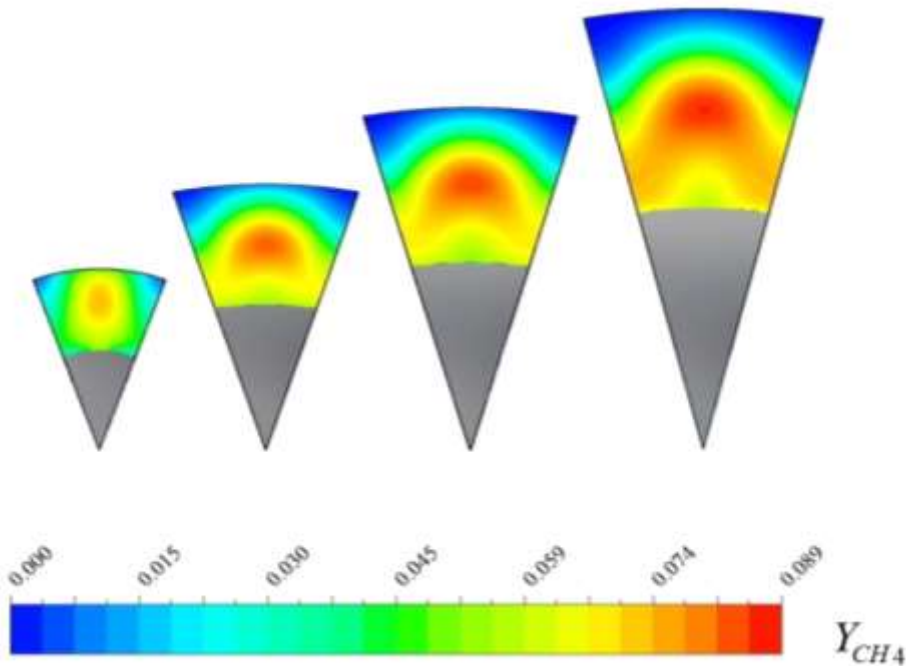
Таблиця 1

**Значення абсолютної  $L_1^*$  і відносної  $L_1^*/d$  відстані, при яких в усті пальника газ і повітря практично повністю перемішані, для циліндричних пальників різної потужності**

$N_{\text{п}}$ , кВт	30	110	155	200
$L_1^*$ , м	0,07	0,105	0,1225	0,14
$d$ , м	0,002	0,003	0,0035	0,004
$L_1^*/d$	35	35	35	35

В умовах, які аналізуються, підвищення потужності  $N_{\text{п}}$  пальникового пристрою пов'язано зі збільшенням діаметра газоподавальних отворів, що й

зумовлює зростання відстані  $L_1^*$ .



**Рис. 2. Фрагмент поля масової концентрації метана в поперечному перерізі, що проходить через задню кромку стабілізатора, при  $L_1^*/d = 35$  для циліндричних пальникових пристроїв 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**

Таким чином, для даної ситуації підтверджується положення про те, що процес сумішоутворення в пальникових пристроях визначається величиною  $L_1^*/d$ , що представляє собою відношення відстані між затупленою задньою кромкою стабілізатора і газоподавальними отворами до діаметру цих отворів.

В результаті виконаних чисельних досліджень встановлено, що відношення  $L_1^*/d$ , яке відповідає практично повній перемішаності палива і окиснювача в усті пальника, в разі циліндричних пальників різної потужності є близьким за величиною і рівним приблизно 35. Тобто для того, щоб розглянуті пальникові пристрої були пристроями з так званим внутрішнім сумішоутворенням необхідно розташовувати газоподавальні отвори на відстані від зривної кромки стабілізатора, рівній приблизно 35-ти



діаметрам цих отворів.

**Висновки.** Виконано аналіз впливу безрозмірної відстані від виходу газів з отворів до устя пальника на процеси сумішоутворення палива і окиснювача:

- показано можливість ефективного регулювання процесу сумішоутворення в пальнику за рахунок зміни вказаної відстані;
- визначено умови, за яких до устя пальників різної потужності надходить суміш високого ступеня перемішаності палива з повітрям.

### Література

1. 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.
2. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Бутовский Л.С., Шеренковский Ю.В., Алешко С.А., Меранова Н.О, Полозенко Н.П. Особенности течения топлива и окислителя при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени // Промышленная теплотехника. 2011. №2. С. 59-64.
3. Фиалко Н.М., Бутовский Л.С., Прокопов В.Г., Грановская Е.А., Шеренковский Ю.В., Алешко С.А., Коханенко П.С. Особенности обтекания плоских стабилизаторов ограниченным потоком // Промышленная теплотехника. 2010. №5. С. 26-33.
4. 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.

5. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В, Прокопов В.Г., Полозенко Н.П., Меранова Н.О., Алешко С.А., Иваненко 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.
6. Навродська Р.О., Фіалко Н.М., Гнедаш Г.О., Сбродова Г.О. Енергоефективна теплоутилізаційна система для підігрівання тепломережної води та дуттьового повітря котлів комунальної теплоенергетики // Промышленная теплотехника. 2017. Т. 39. №4. С. 61-68.
7. Фиалко Н.М., Навродская Р.А., Шевчук С.И., Пресич Г.А., Гнедаш Г.А., Глушак О.Ю. Тепловые методы защиты газоотводящих трактов котельных установок с глубоким охлаждением дымовых газов // Современная наука исследования, идеи, результаты, технологии. 2014. № 2 (15). С.13-17.
8. Фиалко Н.М., Аронов И.З., Навродская Р.А., Пресич Г.А. Эффективность применения конденсационных теплоутилизаторов в системах теплоснабжения // Промышленная теплотехника. 2003. Т. 25. №3. С. 36-41.
9. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N., Sherenkovskii J. Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2018. № 6/8 (96). С.43-48.
10. Фіалко Н.М., Пресіч Г.О., Навродська Р.О., Гнедаш Г.О. Удосконалення комплексної системи утилізації теплоти відхідних газів котлоагрегатів для підігрівання і зволоження дуттьового повітря // Промышленная теплотехника. 2011. Т. 33. №5. С. 88-95.
11. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А.

- Теплофизические свойства полимерных микро-и нанокомпозитов на основе поликарбоната // Промышленная теплотехника. 2015. №2. С. 12-19.
12. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Теплофизические свойства низкотеплопроводных полимерных нанокомпозитов для элементов энергетического оборудования // Промышленная теплотехника. 2015. №6. С.5-15.
13. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Структурообразование полимерных микро-и нанокомпозитов на основе поликарбоната в процессах их кристаллизации // Промышленная теплотехника. 2015. №3. С. 5-15.
14. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Навродская Р.О. Теплопроводность полимерных микро- и нанокомпозитов на основе полиэтилена при различных методах их получения // Промышленная теплотехника. 2017. Т. 39. №4. С. 21-26
15. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Влияние типа полимерной матрицы на теплофизические свойства и структурообразование полимерных нанокомпозитов // Технологические системы. 2016. №3 (76). С.49-60
16. Иванов Ю.В. Газогорелочные устройства / Ю.В. Иванов. М.: Недра, 1972. 376 с.