

**Черноусенко О.Ю.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Бутовський Л.С.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Грановська О.О.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Мороз О.С.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Старченко О.С.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## СТАЛІСТЬ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ НА «БІДНОМУ» ЗРИВІ ПІД ЧАС МІКРОДИФУЗІЙНОГО СПАЛЮВАННЯ ГАЗУ ЗА СТАБІЛІЗАТОРОМ

*У статті наведено результати експериментальних досліджень щодо стійкості мікродифузійного горіння факелу за погано-обтічним тілом – стабілізатором на межі «бідного» зриву під час струменевої подачі газоподібного палива в зону рециркуляції. Паливо подається через систему отворів у вихідній торцевій стінці стабілізатора. Одержано дані щодо впливу на характеристики «бідного» зриву – зриву факелу під час зменшення витрати палива, таких факторів, як швидкість, температура і інтенсивність турбулентності повітряного потоку, розмір та взаємне розміщення стабілізаторів, розмір та відносна площа газових отворів, конфігурація вихідної кромки стабілізатора. Результати досліджень показали якісне співпадіння характеристик «бідного» зриву, які отримані під час спалювання за стабілізатором попередньо перемішаних гомогенних сумішей і дифузійного горіння палива під час струменевої подачі газу в зону зворотних токів за стабілізатором. Встановлено, що стала робота пальника на бідній межі розширюється – коефіцієнт надлишку повітря збільшується під час зменшення швидкості повітряного потоку в камері перед пальником, збільшення ширини стабілізатора, діаметру газороздавальних отворів і підвищення температури повітря. Слід також брати до уваги те, що, з іншого боку, збільшення ширини стабілізатора за умов постійної витрати повітря призводить до підвищення швидкості повітряного потоку між стабілізаторами, що може призвести до погіршення сталості горіння, підвищення гідравлічного опору пальника і збільшення довжини факелу в топковому просторі. Встановлено сильний вплив інтенсивності турбулентності повітряного потоку на характеристики «бідного» зриву. Так, під час підвищення значення інтенсивності турбулентності з 1,5 % до 6,0 %, тобто в 4 рази значення коефіцієнту надлишку повітря на бідній межі зменшується в 2,5 рази.*

*Наведено залежності для попереднього розрахунку характеристик «бідного» зриву факелу у стабілізаторних пальникових пристроях із подачею газу в зону рециркуляції.*

**Ключові слова:** стабілізатор, мікродифузійне горіння, газоподібне паливо, «бідний» зрив, повітряний потік, зона рециркуляції.

**Постановка проблеми.** Однією з особливостей теплоенергетичної галузі України є певна залежність від імпорту паливно-енергетичних ресурсів, зокрема газоподібного палива – природного газу. Значна частина цього палива йде на потреби

промислових підприємств та об'єктів житлово-комунального господарства, виробництво чавуну, сталі, цементу, мінеральних добрив тощо. Істотний потенціал техніки, що використовує паливо, складають котельні установки, наприклад,

котли типу НІСТУ-5, КВГМ, ПТВМ, печі, підігрівачі різного типу тощо, які відпрацювали свій ресурс. Найбільш реальним шляхом підвищення ефективності цих установок при мінімальних затратах є їхня модернізація. Досвід показує, що в тепловому балансі теплоенергетичних установок промислових і комунальних підприємств витрата тепла під час зміни потужності, наприклад, під час розпалення котла, складає вагому частку [1]. У відповідності із цим існує задача забезпечення режиму роботи, за якого певним умовам експлуатації відповідає найбільш оптимальна схема організації топкового процесу – регульований оптимум.

Майже в усіх галузях використання газу як палива існують енергетичні та технологічні процеси, в яких згорання повинно відбуватися за високих та змінних коефіцієнтах надлишку повітря, а інколи за одночасної їх зміни. Так, зміна коефіцієнтах надлишку повітря може мати значення від  $\alpha \approx 1,0$  в енергетичних та промислових котлах, до  $\alpha \approx 100$  під час сушіння зерна, сіна, обігріву теплиць [1, с. 4].

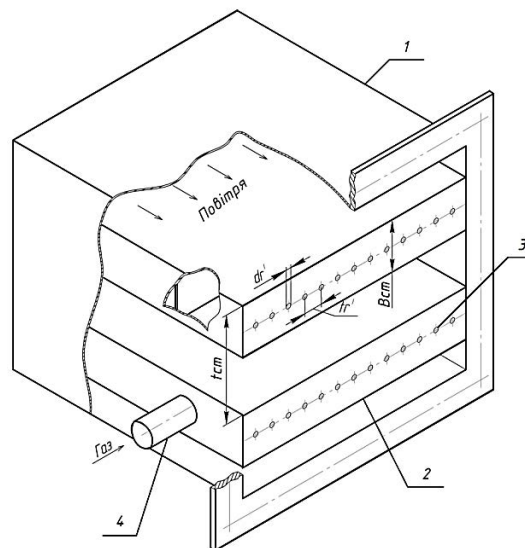
Останнім часом у світовій практиці все більшу увагу приділяють використанню високотемпературних газотурбінних (ГТУ) та парогазових (ПГУ) установок для вироблення електроенергії, цілей теплофікації, що призводить до підвищення термодинамічної ефективності циклу [2; 3, с. 84; 4, с. 52].

Одним із основних елементів, значною мірою визначає ефективність об'єкта, в якому спалюється паливо, є пальниковий пристрій. Від ефективності його роботи, надійності та довговічності залежать показники роботи агрегату в цілому. Аналіз показників роботи пальників, які використовуються в енергетичних та промислових установках, показує, що в багатьох випадках значна частина з них має недостатньо високі щодо сучасних вимог техніко-економічні характеристики, що зумовлено застарілими методами організації в них робочого процесу, як правило, пов'язаних із використанням закрутки повітряного потоку, що подається до пальника. Таким чином, актуальність запропонованої роботи визначається необхідністю економії дефіцитного палива, а також законодавчими вимогами щодо охорони довкілля від забруднення токсичними продуктами згорання шляхом впровадження в енергетичне, промислове та комунальне господарство України високоефективних технологій спалювання палив та відповідних пальникових пристроїв.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним із напрямків вирішення вказаної проблеми

є використання пальників із мікрофакельним (мікродифузійним) спалюванням газу в системі стабілізаторів, які оббігаються повітряним потоком. Стабілізаторні пальникові пристрої використовуються в камерах згорання реактивних двигунів [5, с. 371; 6, с. 261], газотурбінних установок [7, с. 94; 8, с. 6], пальників вторинного підігріву повітря [9, с. 54; 10, с. 145; 11, с. 84; 12, с. 108], форсажних камерах згорання [13, с. 36; 8, с. 6], а також різних галузях народного господарства [14, с. 16; 15, с. 324].

Організація процесу спалювання палива в системі мікрооб'ємів і пов'язане із цим збільшення поверхні запалювання та горіння дозволяє підвищити інтенсивність горіння та теплову напругу топкового об'єму і скоротити довжину факела [16, с. 170]. Схема пальника з мікрофакельним горінням під час струменевої подачі палива в зону рециркуляції за стабілізатором приведена на рис. 1.



**Рис. 1. Схема пальникового пристрою із струменевою подачею газу в зону рециркуляції за стабілізатором: 1 – корпус пальника; 2 – стабілізатор; 3 – газоподаючий отвір; 4 – патрубок підводу газу в порожнину стабілізатора**

Мікрофакельні пальникові пристрої стабілізаторного типу показали високу ефективність робочого процесу під час зміни режимних параметрів, а зменшення часу перебування продуктів реакції в зоні високих температур призводить до зниження рівня викидів токсичних оксидів азоту [17, с. 22]. Під час спалювання палива в системі стабілізаторів забезпечується можливість створення пальників різної потужності за рахунок зміни кількості окремих модульних елементів. Завдяки принципу прямої течії пальникові пристрої мають зниже-

ний аеродинамічний опір. Із метою поліпшення показників роботи енергетичних та промислових агрегатів необхідне проведення робіт щодо вдосконалення характеристик пальників у напрямку розширення їхньої сталості та ефективної роботи за високих та низьких коефіцієнтах надлишку повітря, підвищення швидкості повітряного потоку та забезпечення можливості керування структурою факелу в залежності від конструкції та умов експлуатації агрегату.

Вважається, що у випадку подачі палива в зону рециркуляції за стабілізатором реалізується механізм мікродифузійного турбулентного горіння (рис. 1) [18, с. 353].

За цією схемою під час зіткнення струменів палива і потоку повітря в зоні рециркуляції ці струмені подрібнюються на окремі невеликі об'єми, які розподіляються в повітряному потоці і перемішуються з повітрям шляхом молекулярної і турбулентної дифузії.

За такої організації процесу горіння значний вплив мають геометричні та аеродинамічні характеристики зони рециркуляції за стабілізатором і її взаємодія з газовими струменями, що виходять з отворів для подачі палива.

Основні експериментальні роботи виконані під час спалювання гомогенних попередньо перемішаних палив – повітряних сумішей палива і повітря [5, с. 379; 6, с. 269; 19, с. 143]. Під час аналізу експериментальних даних найбільш прийнятною вважається реакторна модель Лонгвелла, розроблена на основі теплової теорії запалювання [20, с. 95].

За цією моделлю циркуляційна зона за стабілізатором розглядається як ізотермічний реактор із безперервною подачею свіжої суміші з основного потоку і виходом продуктів згорання із зони. Зрив полум'я відбувається, коли кількість теплоти реакції в зоні рециркуляції стає менше теплоти, яка необхідна для запалювання свіжої суміші (рис. 2).

Із точки зору практичного представлення результатів досліджень умови стабілізації зводяться до критерія Міхельсона [6, с. 270]:

$$Mi = \frac{d_{cm} \cdot u_n}{W_{zp} \cdot a} = const \quad (1)$$

де  $d_{cm}$  – характерний розмір стабілізатора, м;  $W_{zp}$  – значення швидкості суміші в момент зриву факелу, м/с;  $u_n$  – нормальна швидкість розповсюдження полум'я, м/с,  $a$  – коефіцієнт температуропровідності суміші, м<sup>2</sup>/с. У цій системі невизначеними є значення  $u_n$  та  $a$ .

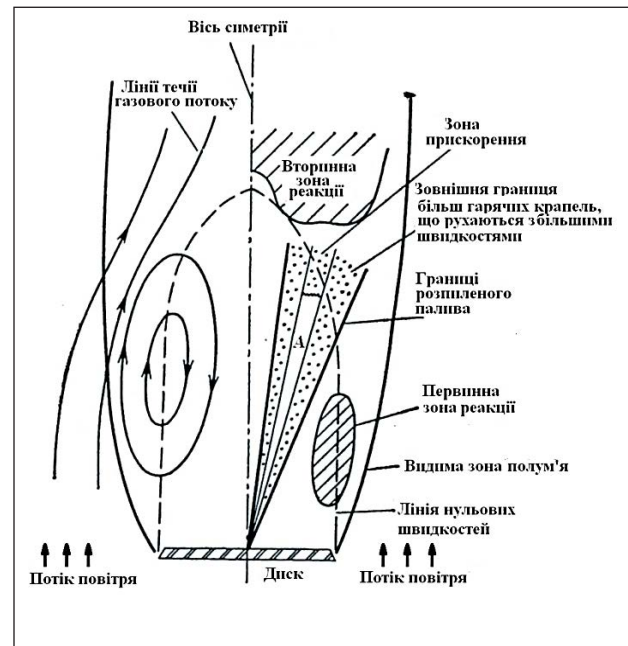


Рис. 2. Схема масообміну компонентів за стабілізатором за струменевої подачі палива в зону рециркуляції [10]

Після відповідних перетворень критерій сталості факелу призводять до виду [19, с. 157]:

$$\frac{W_{zp}}{(B_{cm} \cdot c_x)^n} = f(\alpha) \quad (2)$$

де  $C_x$  – коефіцієнт лобового опору стабілізатора, коефіцієнт надлишку повітря.

Коефіцієнт температуропровідності суміші визначається за формулою

$$\alpha = \frac{G_n}{G_2^{min}} \cdot L_0 \quad (3)$$

де  $G_n$ ,  $G_2^{min}$  – витрата повітря в пальниковому пристрої і мінімально можлива витрата палива на передзривних режимах,  $L_0$  – стехіометричний коефіцієнт.

Встановлено, що межі сталого горіння за составом суміші і швидкості повітряного потоку розширюються зі збільшенням розміру стабілізатора і коефіцієнту опору, тому що при цьому збільшуються об'єм і витратні характеристики зони зворотних токів.

Залежно від розміру і форми стабілізатора показник ступеню  $n$  змінюється в діапазоні від 0,45 ÷ 0,5 до 0,85 ÷ 1,0. Наприклад, для подовжених вздовж потоку стабілізаторів розміром  $B_{cm} \leq 10$  мм при  $Re > 10^4$  і великих стабілізаторів при  $Re > 5 \cdot 10^4$  показник ступеню  $n \approx 1,0$ . Для великих стабілізаторів при  $Re < 5 \cdot 10^4$  показник ступеню  $n = 0,45 \div 0,5$  [5, с. 381; 19, с. 163].

Під час збільшення температури потоку стабільність горіння підвищується, тому що в даному випадку суміш поступає в зону горіння з температурою, що наближається до температури запалення, що зменшує кількість теплоти, яку необхідно підвести із зони зворотних токів до свіжої суміші.

Залежність швидкості зриву полум'я від температури горючої суміші пропонується врахувати співвідношенням

$$\frac{W_{зр}}{W_{0зр}} \sim \left( \frac{T}{T_0} \right)^m, \quad (4)$$

де  $T_0$  – температура суміші, для якої відомо значення швидкості зриву  $W_{0зр}$ , показник ступеню змінюється від  $m = 1,2$  до  $1,7$  і  $1,85$  [5, с. 385; 19, с. 154].

Підвищення інтенсивності турбулентності повітряного потоку призводить до росту коефіцієнту дифузії і зменшенню часу перебування газу в зоні рециркуляції. На підставі аналізу теорії гомогенного реактору вплив турбулентності повітряного потоку А.В. Талантовим запропоновано використовувати співвідношення виду  $W_{зр} \sim 1/\varepsilon$  [21, с. 92].

Приймаючи до уваги невизначеність параметрів, що входять до критерія Міхельсона, на практиці використовуються експериментальні залежності, які враховують температуру повітря і газу, геометричні характеристики стабілізатора, камери згоряння тощо. У ряді випадків в основу розрахунків нового пальникового пристрою закладають результати досліджень, отриманих на аналогічних моделях [5, с. 399].

Робіт, у яких розглядаються взаємодія течії в зоні рециркуляції із струменем, що подається в зону зворотних токів, зокрема процесів горіння палива, порівняно мало. У роботах [22, с. 222; 23, с. 46] досліджувався вплив на характеристики зони рециркуляції струменевої подачі повітря і інертного газу в зону зворотних токів за конусом та клином. У роботі [24, с. 195] досліджувалась взаємодія двох коаксіальних повітряних струменів – центрального із швидкістю  $W_c$  та кільцевого із швидкістю  $W_k$  за різних швидкостей цих потоків. Встановлено, що коли швидкість центрального струменю значно менше швидкості кільцевого струменю  $W_c / W_k < 8,5$ , то центральний струмінь затухає і подається зустрічним потоком зони зворотних токів.

Дослідження щодо стабілізації полум'я в циліндричному пальнику при струменевій подачі палива в зону рециркуляції було проведено в роботі [25, с. 138]. Але в цій роботі отримано

експериментальні дані і запропоновано залежність щодо «багатого» відриву факелу за диском під час збільшення швидкості палива.

**Постановка завдання.** Завданням досліджень було визначення впливу режимних і конструктивних параметрів пальникового пристрою на характеристики «бідного» зриву факелу при подачі газу в зону рециркуляції за стабілізатором.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Під час проведення досліджень параметри системи змінювались в такому діапазоні: ширина стабілізатора  $B_{cm} = 15 \div 60$  мм, діаметр газоподаючих отворів  $d_z = 2,0 \div 5,0$  мм, коефіцієнт затінення  $K_f = 0,15 \div 0,81$  ( $K_f = B_{cm} / t_{cm}$ , де  $t_{cm}$  – крок розміщення стабілізаторів), відношення площі вихідного торця стабілізатора до площі газових отворів  $F_{cm} / F_z = 25,5 \div 124$ , температура повітря  $T_n = 293 \div 1083$  К, інтенсивність турбулентності повітряного потоку  $\varepsilon = 1,5 \div 6,0$  %.

У результаті проведення досліджень процесів масообміну в зоні рециркуляції і паливних струменів було встановлено вплив різних геометричних і режимних факторів на коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha_{max}$  на процес «бідного» зриву факелу в такому виді:

$$\alpha_{max} = K_{max} \frac{B_{cm}^{0,5} d_z^{0,35} \left( \frac{F_{cm}}{F_z} \right)^{0,2}}{w_k^m \cdot K_f (1 + K_f)} \left( \frac{T_n}{273} \right)^{1,3-2K_f}, \quad (5)$$

У формулі (5) через  $W_k$  означено швидкість повітряного потоку в камері згоряння перед пальниковим пристроєм. Як приклад, результати частини експериментів наведено на рис. 3.

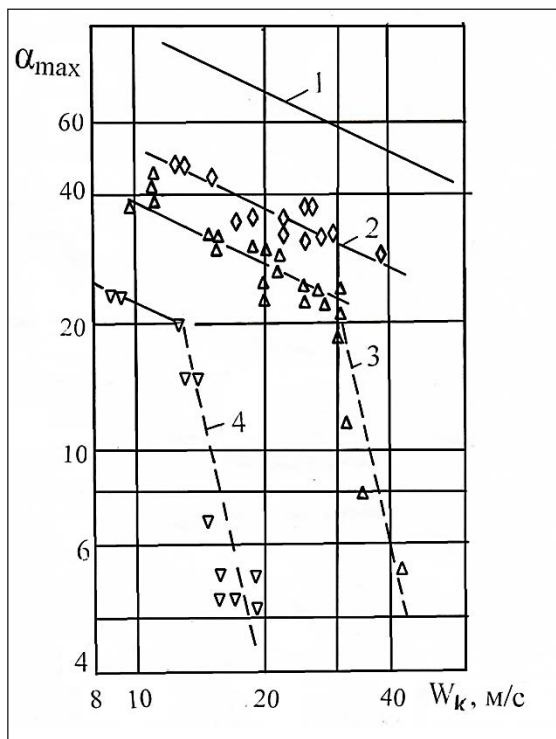
Випробування показали, що коефіцієнт надлишку повітря підвищується під час збільшення ширини стабілізатора  $B_{cm}$ , діаметру газоподаючого отвору  $d_z$ , температури повітря  $T_n$  і зменшення швидкості повітряного потоку  $W_k$ . Водночас із наведеного матеріалу видно комплексний вплив режимних і геометричних факторів на стабільність факелу на бідній межі.

Наприклад, як видно із залежності (5), стабільність факелу підвищується зі збільшенням ширини стабілізатора –  $B_{cm}$ . Але при цьому слід брати до уваги такі обставини, що під час збільшення  $B_{cm}$  і при незмінному коефіцієнті затінення  $K_f$  поперечні габарити корпусу пальника зростають.

При цьому збільшується також довжина факелу в топковому просторі, яка пропорційна розміру стабілізатора [8, с. 170]. Якщо габарити пальникового пристрою залишаються незмінними, то при збільшенні  $B_{cm}$  підвищується коефіцієнт затінення  $K_f$ , що

негативно відображається на зміні  $\alpha_{max}$  (рис. 3, криві: 1 -  $K_f = 0,81$ , 2 -  $K_f = 0,60$ ), а також призводить до росту гідравлічного опору пальникового пристрою.

Крім того, при незмінному розмірі пальникового пристрою і значеннях  $K_f > 0,6$ , тобто у випадку більш тісного розміщення стабілізаторів підвищення швидкості повітряного потоку між стабілізаторами при постійній швидкості повітря перед пальниковим пристроєм призводить до такої інтенсифікації масообміну в зоні рециркуляції, що зменшує вплив на значення  $\alpha_{max}$  температури повітря  $T_n$  перед пальниковим пристроєм, тому що температура газів у зоні зворотних токів підвищується на менше значення, ніж температура повітря перед пальником, і стабілізаційні характеристики зони рециркуляції погіршуються.



**Рис. 3.** «Бідний» зрив факелу в залежності від швидкості повітряного потоку при різній ширині стабілізатора  $B_{cb} = 45$  мм, коефіцієнту затінення  $K_f$  і інтенсивності турбулентності повітряного потоку  $\mu$ : 1 – розрахунок за формулою (5) ( $B_{cm} = 30$  мм,  $K_f = 0,60$ ,  $\varepsilon = 1,5\%$ ); 2 -  $B_{cm} = 45$  мм,  $K_f = 0,692$ ,  $\varepsilon = 6,0$ ; 3 -  $B_{cm} = 30$  мм,  $K_f = 0,60$ ,  $\varepsilon = 6,0\%$ ; 4 -  $B_{cm} = 30$  мм,  $K_f = 0,81$ ,  $\varepsilon = 6,0\%$ .

Експериментальні дослідження також показали змінність коефіцієнту  $m$  у формулі (5) за швидкості повітряного потоку. При  $B_{cm} = 45$  мм в діапазоні досліджених значень швидкості повітряного потоку показник  $m = 0,5$  (рис. 3, крива 2). Для стабілізаторів меншого розміру  $B_{cm} = 30$  мм під час збільшення швидкості повітряного потоку  $Re > 1,0 \cdot 10^5$  сталість горіння різко погіршується

(рис. 3, криві 3,4), що становить неможливим нормальну роботу пальникового пристрою.

У дослідженнях встановлено вплив на характеристики «бідного» зриву інтенсивності турбулентності повітряного потоку. Аналіз отриманих даних показав, що при значеннях  $\varepsilon = 1,5\%$  коефіцієнт пропорційності  $K_{max}$  в формулі (5) дорівнює  $K_{max} = 20,8$  (рис. 3, крива 1). Під час підвищення інтенсивності турбулентності повітряного потоку до  $\varepsilon = 6,0\%$ , тобто в 4 рази, сталість факелу зменшується приблизно у 2,5 рази (рис. 3, криві 2, 3, 4) і в цьому випадку коефіцієнт пропорційності  $K_{max} = 8,2$ .

Погіршення сталості факелу при збільшенні інтенсивності повітряного потоку пов'язано з тим, що набігає, при цьому також підвищується інтенсивність турбулентності і, відповідно, теплоі масообміну в зоні рециркуляції, що призводить до підвищення необхідної температури суміші в зоні рециркуляції і звуження концентраційних меж запалювання [17, с. 92; 22, с. 78].

Експерименти показали, що в умовах підвищеної інтенсивності турбулентності і швидкості повітряного потоку підвищити сталість факелу під час подачі газу в зону рециркуляції, крім зміни параметрів системи за формулою (5), можна шляхом зменшення інтенсивності тепло-масообмінних процесів у зоні рециркуляції і за рахунок часткової ізоляції зони рециркуляції за стабілізатором постановкою так званих закрилків на вихідні кромки стабілізаторів (див. схему на рис. 4).

Як видно з рис. 4, встановлення закрилків дає можливість значно підвищити зривну швидкість повітряного потоку.

Вплив довжини закрилків на «бідний» зрив факелу можна обрахувати за такою залежністю:

$$\frac{\alpha_{max}}{\alpha_{max_0}} = 1 + 0,6 \left( \frac{l_{zak}}{B_{cm}} \right), \quad (6)$$

де  $\alpha_{max}$ ,  $\alpha_{max_0}$  – зривні коефіцієнти надлишку повітря за наявності закрилків та в разі їх відсутності. Як показали експерименти, закрилки, відносна довжина яких більше 3,0, ставити не доцільно, у зв'язку з тим, що в такому випадку зменшується інтенсивність процесу сумішоутворення палива і повітря, що призводить до підвищення довжини факелу.

$$B_{cm} = 30,0 \text{ мм}; K_f = 0,60; T_n = 293 \text{ К}; 1 - l_{zak} = 0 \text{ мм}; \frac{l_{zak}}{B_{cm}} = 0; 2 - l_{zak} = 30 \text{ мм};$$

$$\frac{l_{zak}}{b_{cm}} = 1,0; 3 - l_{zak} = 60 \text{ мм}; \frac{l_{zak}}{B_{cm}} = 2;$$

$$4 - l_{zak} = 90 \text{ мм}; \frac{l_{zak}}{B_{cm}} = 3,0$$

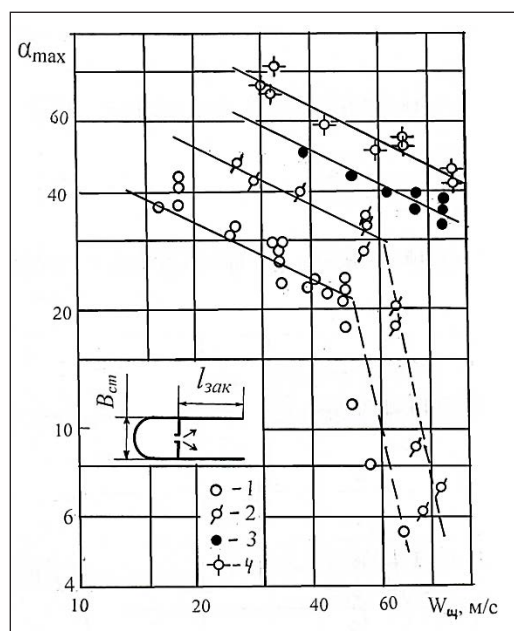


Рис. 4. Схема установки і вплив довжини закрилків на сталість факелу на режимі «бідного» зриву за стабілізатором

**Висновки.** Виконано аналіз досліджень щодо стійкості горіння мікродифузійного факелу газоподібного палива на межі «бідного» зриву за погано-обтічним тілом – плоским стабілізатором у випадку струменевої подачі палива в зону рециркуляції за ним. Встановлено вплив на характеристики «бідного» зриву режимних –  $W_n$ ,  $T_n$ ,  $\varepsilon$  і конструктивних –  $B_{cm}$ ,  $d_{z}$ ,  $K_f$  факторів. Встановлено, що під час зменшення ширини стабілізатора  $B_{cm} \leq 30$  мм і збільшення швидкості  $W_n$  і турбулентності повітряного потоку  $\varepsilon$ , що обтікає стабілізатор, характеристики стійкості факелу погіршуються, що може призвести до різкого зменшення температури газів в топковому просторі в разі зриву факелу і виникнення додаткових термічних напружень в елементах обладнання. Показано, що стійкість факелу на режимі «бідного» зриву можна підвищити шляхом зміни геометричних параметрів системи, зменшення швидкості повітряного потоку, а також встановленням на вихідні кромки стабілізатора закрилків різної довжини.

#### Список літератури:

- Христин В.А., Любчик Г.Н. Газогорелочные устройства для сжигания газа при высоких и переменных избытках воздуха : Научно-технический обзор. Серия: Использование газа в народном хозяйстве. Выпуск 10. Москва : ВНИИЭгазпром, 1978. 60 с.
- Зысин Л.В. парогазовые и газотурбинные тепловые электростанции. Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 368 с.
- Махнутин А.К., Кавалеров Б.В. О вопросах применения газотурбинных установок и парогазовых установок в энергетике. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета*. 2015. № 15. С. 84–96.
- Халатов А.А., Карп И.Н., Куцан Ю.Г. Энергетическое газотурбостроение: Перспективы использования в энергетике Украины. *Вісн. НАН України*. 2015. № 11. С. 52–57.
- Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей / Б.В. Раушенбах и др. Москва : Машиностроение, 1964. 526 с.
- Ильяшенко С.М., Талантов А.В. Теория и расчет прямоточных камер сгорания. Москва : Машиностроение, 1964. 306 с.
- Когенерационно-утилизационные технологии на базе газотурбинных установок / Г.Н. Любчик и др. Киев : Варта, 2008. 188 с.
- Сударев А.В., Маев В.А. Камеры сгорания газотурбинных установок. Интенсификация горения. Ленинград : Недра, 1990. 274 с.
- Горелочное устройство для котла-утилизатора ПГУ-800 / А.Д. Горбатенко и др. *Теплоэнергетика*. 1989. № 5. С. 54–58.
- Розвиток систем опалювання на вихлопі утилізаційних ГТУ / Г.М. Любчик та ін. *Вестник НТУ «ХПИ». Тематический юбилейный выпуск «Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование»*. Харьков, 2005. № 6. С. 145–153.
- Цанев С.В., Бузов В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. Москва : Изд-во МЭИ, 2002. 584 с.
- Шатиль А.А. Расчетное исследование топочных устройств. Санкт-Петербург : «НПО ЦКТИ», 2003. 150 с.
- Чигрин В.С., Белова С.Е. Конструкция форсажных камер и выходных устройств авиационных ГТД. Рыбинск : РГАТА, 2004. 38 с.
- Модернизация горелочного оборудования зажигательных горнов агломерационных машин аглофабрики ЧАО «ММК им. Ильича» / М.А. Томаш и др. / *Металл и литье Украины*. 2017. № 1(284). С. 16-18.

15. Исследование выгорания топлива за уголковыми и плоскими стабилизаторами пламени / Л.С. Бутовский и др. *Теория и практика сжигания газа*. Вып. VI. Ленинград : Недра, 1975. С. 324–338.
16. Хзмалян Д.М., Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства. Москва : Энергия, 1976. 488 с.
17. Проблемы и пути создания малотоксичных камер сгорания для стационарных ГТУ / А.Г. Тумановский и др. *Теплоэнергетика*. 2006. № 7. С. 22–29.
18. Франк-Каменецкий Д.А., Минский Е.М. Микродиффузионное турбулентное горение. *Докл. АН СССР*. 1950. Т. 50. С. 353–354.
19. Основы проектирования и характеристики газотурбинных двигателей / Под ред. У.Р. Хауторна и У.Т. Олсона. Москва : Машиностроение, 1964. 648 с.
20. Щетинков Е.С. О физической модели стабилизации пламени на плохообтекаемых телах. *Теория и практика сжигания газа*. Вып. IV. Ленинград : Недра, 1968. С. 95–105.
21. Талантов А.В. Анализ условий стабилизации пламени на основе гомогенного реактора. *Известия вузов. Авиационная техника*. 1978. № 3. С. 92–99.
22. Бауэр А.Б. Эксперименты по вдуву в ближний след. *Ракетная техника и космонавтика*. 1968. № 8. С. 222–224.
23. Льюис Дж.Э., Чепкис Р.Л. Осредненные характеристики турбулентного ближнего следа за тонким телом при наличии и отсутствии вдува в донную область. *Ракетная техника и космонавтика*. 1969. Т. 7. № 5. С. 46–54.
24. Хигир Н.А., Бэр Дж. М. Область течения двойных концентрических струй вблизи сопла. *Теоретические основы инженерных расчетов. Серия Д*. 1964. 86. № 4. С. 195–204.
25. Иссерлин А.С. Основы сжигания газового топлива. Санкт-Петербург : Недра, 1987. 336 с.

**Chernousenko O.Yu., Butovsky L.S., Hranovska O.O., Moroz O.S., Starchenko O.S.**

**THE STABILITY OF THE COMBUSTION PROCESS ON «POOR» FLAME OUT IN CONDITION OF THE MICROFLAME BURNING OF THE GAS BEHIND THE STABILIZER**

*The article presents the results of experimental studies on the stability of microflame torch combustion behind a poorly streamlined body – a stabilizer on the boundary of “poor” flame out at the jet supply of gaseous fuel into the recirculation zone. The fuel is supplied through the hole system in the output end of the stabilizer.*

*The data were obtained about the influence on the characteristics of the “poor” flame out of such factors as the speed and temperature of the air flow, the size and the relative location of stabilizers, the size and the relative area of the gas openings, the configuration of the output edge of the stabilizer. Results of researches showed the high-quality coincidence of characteristics of “poor” flame out which are received when burning behind the stabilizer of previously mixed homogeneous mixes and diffusion burning of fuel at the stream supply of gas in a zone of the return currents behind the stabilizer. It is established that the stable work of a torch on poor limits extends – the coefficient of excess of air increases at reduction of speed of an air flow in the camera before a torch, increase in width of the stabilizer, diameter of gas-distributing openings and air temperature increasing. It is also necessary to take into account that, on the other hand, increase in width of the stabilizer leads to increase in speed of an air flow between stabilizers that can lead to deterioration in constancy of burning, increase of hydraulic resistance of a torch and increase in length of a torch in a furnace. Strong influence of intensity of turbulence of an air flow on characteristics of “poor” failure is established. So, at increase in value of intensity of turbulence from 1,8 % to 6.0%, that is by 4 times, the value of coefficient of excess of air on poor limits decreases from by 2.5 times. The dependencies for the preliminary calculation of characteristics of “poor” flame out in stabilizer burners with gas supply to the recirculation zone are given.*

**Key words:** stabilizer, microflame combustion, gaseous fuel, “poor” flame out, air flow, recirculation zone.