

УДК 533.601:662.61
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.3/35>

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»

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИФУЗІЙНО-СТАБІЛІЗАТОРНОГО ПАЛЬНИКА ПІД ЧАС СПАЛЮВАННЯ ГАЗУ В ЗАБАЛАСТОВАНОМУ ОКИСНЮВАЧІ

У статті представлено результати експериментальних досліджень характеристик мікродифузійних стабілізаторних пальникових пристроїв вторинного підігріву повітря під час спалювання газо-подібного палива в умовах зменшеного вмісту кисню в повітряному потоці. Наведені дані враховують вплив на сталість горіння за умов багатого зриву факела режимних і конструктивних факторів, що дозволяє здійснювати попередній розрахунок пальникового пристрою. Показано, що сталість факела на режимі багатого зриву погіршується у разі зменшення вмісту кисню в окиснювачі, зниження температури окиснювача і підвищення швидкості повітряного потоку. Зменшити величину коефіцієнта надлишку повітря на режимі багатого зриву можна шляхом підвищення коефіцієнта затінення стабілізаторної решітки і збільшення розміру стабілізатора. Слід враховувати те, що під час збільшення ширини стабілізатора збільшується довжина зони горіння. Також зменшити коефіцієнт надлишку повітря на режимі багатого зриву можна за рахунок перфорації бокових стінок стабілізатора. Суттєво розширити діапазон сталої роботи пальникового пристрою під час спалювання газу в окиснювачі, забаластованому продуктами згорання першого ступеня підігріву, можна шляхом подання додаткового чистого повітря в зону рециркуляції за стабілізатором через перфорацію в стабілізаторі. При цьому підвищується повнота вигорання палива в камері.

Ключові слова: стабілізаторний пальник, забаластований окиснювач, багатий зрив, коефіцієнт надлишку повітря.

Постановка проблеми. Одним із головних напрямів термодинамічного форсування паротурбінних (далі – ПТУ) і газотурбінних (далі – ГТУ) установок є використання когенераційно-утилізаційних технологій на базі ГТУ у великій і малій енергетиці. За рахунок цього досягається економія первинних енергоресурсів і зменшення витрат на виробництво механічної, електричної і теплової енергії шляхом зниження витрат дефіцитного і коштовного природного газу.

Перспективність використання когенераційно-утилізаційних технологій на базі ГТУ визна-

чається, як правило, можливістю використання багатьох варіантів компоновки енергетичних і теплосилових установок, які характеризуються порівняною простотою та малими затратами. Найбільш простими і маловитратними схемами є встановлення в газоході ГТУ теплофікаційних теплообмінників, підігрівачів мережної води, котлів-утилізаторів тощо [1, с. 25; 2, с. 51, 3, с. 0103.1, 4, с. 323]. Із метою підвищення коефіцієнта корисної дії використовується двоступеневе спалювання палива [5, с. 11]. Методи спалювання

можуть бути використані у разі знешкодження шкідливих викидів різних технологічних виробництв [6, с. 190].

Загальними умовами роботи пальникових пристроїв, які використовуються у разі реалізації розглянутих схем камер згорання і топок, є наявність баластування повітряного потоку продуктами згорання після основних камер згорання підігріву повітря першого ступеня. При цьому слід ураховувати, що продукти згорання після основної камери частково охолоджуються під час проходження через проточну частину газової турбіни. Ці фактори значно впливають на сталість факела в пальникових пристроях і ефективність процесу горіння палива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час розгляду можливої конструктивної реалізації допалювальних пальникових пристроїв другого ступеня підігріву повітря слід брати до уваги, що такі камери повинні забезпечувати рівномірне поле температур газів на виході, стабільне горіння під час зміни параметрів повітряного потоку – швидкості і температури, в широкому діапазоні режимів, а також високий ступінь вигорання палива.

Аналіз конструкцій пальникових пристроїв, які використовуються в камерах вторинного підігріву повітря, показує, що здебільшого використовуються дифузійно-стабілізаторні пальникові пристрої, які становлять систему кутових погано-обтічних тіл – стабілізаторів, які обтікаються повітряним потоком. Паливо на горіння подається дискретними струменями в зону рециркуляції за стабілізатором з окремих колекторів або з порожнини самого стабілізатора [7, с. 325; 8, с. 109; 9, с. 158].

У цих пальникових пристроях завдяки високій інтенсивності масообмінних процесів у зоні рециркуляції й аеродинамічному сліду за стабілізатором, незважаючи на дифузійний принцип подачі палива, процеси горіння наближаються до характеристик горіння попередньо перемішаних сумішей палива і повітря. Водночас ступінь перемішування в зоні рециркуляції не є досконалим завдяки дискретній подачі палива, тому робочий процес у таких пальникових пристроях має ознаки дифузійності, тобто працюють у широкому діапазоні режимів щодо зміни коефіцієнта надлишку повітря і швидкості повітряного потоку [7, с. 325].

Стабілізаторні пальникові пристрої вторинного підігріву вихідних газів використано у вигляді системи кутових стабілізаторів – «Блоку допалювальних пристроїв» (далі – БДУ) перед мережними підігрівачами в теплофікаційній ГТУ типу ГТ-25-700 ЛМЗ на Якутській ГРЕС [10, с. 48]. Під-

вищення температури вихідних газів дозволило приблизно удвічі збільшити теплову потужність установки. Такі БДУ також було встановлено на турбінах ГТ-35-770 ХТГЗ. Пальникові пристрої стабілізаторного типу розроблено для котла-утилізатора ПГУ-800 [11, с. 55], а також фірмою Джeneral Електрик для котлів-утилізаторів [12, с. 14].

Характерною конструктивною особливістю таких пальникових пристроїв є те, що вони розраховувались для роботи з порівняно невеликим підігрівом повітря. Крім того, з конструктивних міркувань у наведених конструкціях використовувались стабілізатори щодо великих розмірів $V_{ст} = 180$ мм; 360 мм, що призводить до значного збільшення довжини факела, а також довжини, яка необхідна для вирівнювання поля температур газів у топці. У роботах відсутні систематизовані дані щодо впливу конструктивних і режимних параметрів, як-от швидкості і температури потоку, а також умісту кисню в окиснювачі на характеристики робочого процесу.

Постановка завдання. Метою статті є визначення впливу на характеристики дифузійно-стабілізаторних пальникових пристроїв режимних (температура та швидкість потоку окиснювача, коефіцієнт надлишку окиснювача) і конструктивних (ширина стабілізатора, коефіцієнт затінення, система газороздачі) факторів під час роботи на зниженому вмісті кисню в окиснювачі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Відповідні дослідження були проведені на стенді, схема якого показана на рис. 1. Повітря від нагнітача (на схемі не показано) з температурою $t_n^{вх}$ подається до вхідного дифузора 1, за яким розташовується камера попереднього підігріву повітря 2 розміром у світлі 400x400 мм, де відбувається прямий підігрів повітря шляхом спалювання газу з витратою $G_r^{лст}$ до необхідної температури. Між дифузорею та камерою попереднього підігріву розташована вирівнювальна решітка 3.

Повітря на вході в стенд підігривається в регенеративному підігрівачі до температури $t_n^{вх}$. Для прямого підігріву повітря використовується фронтний пристрій 4 дифузійно-стабілізаторного типу, встановлений у камері попереднього підігріву повітря. Після камери попереднього підігріву повітря продукти згорання проходять вирівнюючи ділянку попереднього підігріву повітря 5, яка футерована зсередини кремнеземним волокном КВ-11. Далі розташована ділянка 6, у якій продукти згорання проходять через систему трубок охолоджувача продуктів згорання кількістю 200 шт. із внутрішнім діаметром 16 мм, що

омиваються ззовні водою. Вирівнювання потоку охолоджених продуктів згорання відбувається в перехідній ділянці 7, до якої приєднана робоча камера 8, футерована зсередини вогнетривкою керамікою з Al_2O_3 , у якій установлюються моделі фронтних пристроїв. Спостереження за робочим процесом здійснюється через вікно 9, яке закрите кварцовим склом діаметром 200 мм. Для введення зондів заміру температури робочого тіла, відбору проб для газового аналізу передбачена система штуцерів 10. Продукти згорання видаляються через газохід 11.

За умовами роботи стану була можливість проводити дослідження з температурою газів у першому ступеню підігріву $t_{вих}^{1ст} = 50 \div 950^\circ C$. Після водяного холодильника температура газів перед палинковим пристроєм змінювалася в діапазоні $t_{вх}^{2ст} = 50 \div 500^\circ C$.

Випробування моделей палинкових пристроїв проводились у робочій камері шириною $B_k = 200$ мм і висотою $H_k = 100$ мм. Ширина стабілізаторів складала $B_{ст} = 30$ мм \div 60 мм, кут за вершини стабілізатора $\beta = 60^\circ \div 90^\circ$; коефіцієнт затінення $K_f = 0,3 \div 0,60$, де $K_f = B_{ст} / t_{ст}$ ($t_{ст}$ – крок розміщення стабілізаторів).

На рис. 2 як приклад показана схема одного з варіантів палинкових пристроїв з одним стабілізатором $B_{ст} = 60$ мм; $K_f = 0,3$.

Обробка експериментальних даних виконувалась із використанням таких залежностей.

Коефіцієнт надлишку повітря в камері підігріву повітря першого ступеня

$$\alpha^{1ст} = G_{п} / L_o \cdot G_r^{1ст} \quad (1)$$

де $G_{п}$ – витрата повітря через дослідну ділянку, кг/с; $G_r^{1ст}$ – витрата газу в камері підігріву

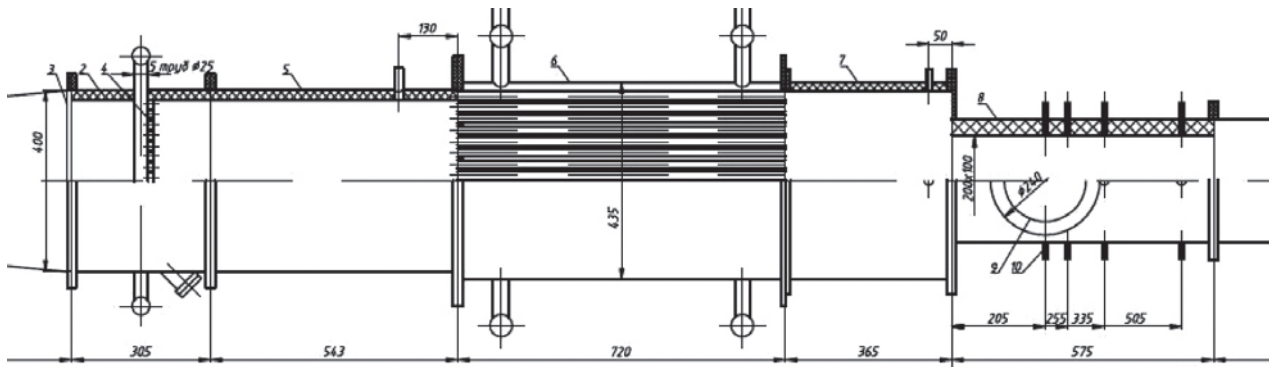


Рис. 1. Схема стану для випробувань палинкових пристроїв в умовах баластування повітря продуктами згорання: 1 – вхідний дифузор; 2 – камера згорання попереднього підігріву повітря; 3 – вирівнювальна решітка; 4 – палинковий пристрій попереднього прямого підігріву повітря; 5 – вирівнювальна ділянка; 6 – охолоджувальна ділянка; 7 – перехідна ділянка; 8 – робоча камера

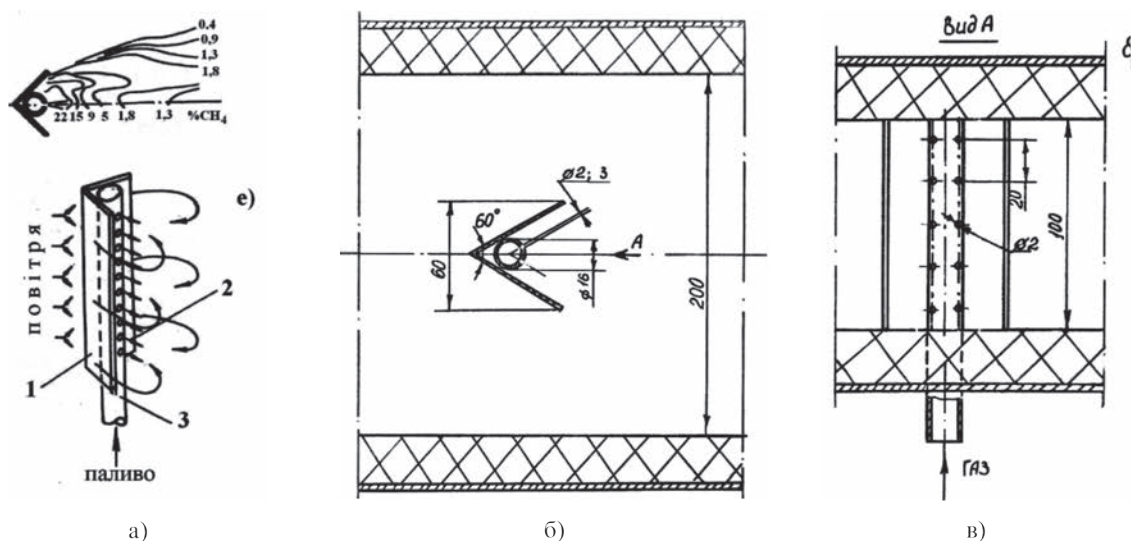


Рис. 2. Схема палинкового пристрою дифузійного типу (а), розміщення в робочій ділянці (б) і схема газороздачі (в)

$$B_{ст} = 60 \text{ мм}; B_k = 200 \text{ мм}; K_f = 0,30$$

повітря першого ступеня, кг/с; L_0 – стехіометричний коефіцієнт, кг/кг.

Коефіцієнт надлишку повітря в дослідному пальниковому пристрої другого ступеня підігріву повітря

$$\alpha^{2ct} = G_r / L_n \cdot G_r^{2ct} \quad (2)$$

де G_r^{2ct} – витрата газу в дослідному пальниковому пристрої, кг/с, L_n – стехіометричний коефіцієнт з урахуванням баласту в повітрі від камери підігріву, кг/кг.

Своєю чергою

$$L_n = L_0 \frac{21}{O_{2ocm}^{1cm}} \quad (3)$$

де O_{2ocm}^{1cm} – вміст залишкового кисню в продуктах згорання камери підігріву повітря першого ступеня, об. %.

Значення O_{2ocm}^{1cm} знаходиться з формули

$$\alpha^{1cm} = \frac{21}{21 - O_{2ocm}^{1cm}} \quad (4)$$

Доля баластних газів в окислювачі після камери підігріву повітря розраховується за формулою [15, с. 48]

$$g_0 = G_{0,r} / (G_n + g_0^{1cm}) = (1 + L_0) / (1 + \alpha^{1ct} \cdot L_0) \quad (5)$$

де $G_{0,r}$ – витрата баластних газів з урахуванням вигорання в камері підігріву повітря першого ступеня, кг/с.

З урахуванням отриманих експериментальних даних запропонована формула розрахунку характеристик сталості факела на багатій межі з урахуванням баластування газів продуктами згорання попереднього газового підігріву першого ступеня у вигляді

$$\alpha_{min}^{2cm} = 1,44 \frac{W_k^{0,3}}{B_{ct}^{0,5}} \frac{e^{1,5k_f}}{k_f^{1,5}} \left(\frac{T_b}{273} \right)^{-0,6} \left(4,08 \cdot 10^{-3} \frac{F_{ct}}{\Sigma f_r} + 0,84 \right) \cdot (1 + g_0)^m \quad (6)$$

де показник ступеню m залежить від долі баластних газів в окислювачі

$$m = 7,2 \cdot (1 + g_0) - 6,2 \quad (7)$$

Слід зазначити, що в досліджених варіантах стабілізаторних пальникових пристроїв горіння метану виявилось можливим під час зниження вмісту кисню в продуктах згорання основної камери до 15%.

Дослідження щодо розширення діапазону сталої роботи камери вторинного підігріву повітря зі змінним вмістом кисню в окислювачі проводились, виходячи з таких положень.

У роботах [7, с. 330] показано, що під час подання газу в зону рециркуляції за стабілізатором значний вплив на процеси сталості факелу

і вигорання палива мають характеристики зони рециркуляції. Для системи газороздачі, що розглядається, встановлено, що умовний середній коефіцієнт надлишку повітря в зоні пов'язаний із загальним коефіцієнтом надлишку повітря в камері співвідношенням

$$\alpha_{рец}^{гор} = K_{рец}^{гор} \cdot C_x \cdot \alpha \cdot K_f \cdot (1 + K_f) \quad (8)$$

Як видно, коефіцієнт надлишку повітря в зоні рециркуляції збільшується з підвищенням загального коефіцієнта надлишку повітря α і коефіцієнтом затінення стабілізаторної решітки K_f . Дослідний коефіцієнт K_f під час горіння $K_f \approx 0,042$.

Залежно від відносного розміщення стабілізаторів (коефіцієнта затінення) існує діапазон роботи пальникового пристрою з максимальною повнотою згорання. Установлено, що максимум значення η_z відповідає значенню $(\alpha_{рец}^{гор})^{opt} \approx 0,3$. У такому разі на границі зони встановлюється співвідношення $\alpha \approx 1,0$.

У разі збільшення витрати палива до значення $\alpha_{рец}^{гор} < 0,2$ в зоні рециркуляції буде спостерігатись нестача кисню, температура газів зменшиться, що призведе до затягування процесу горіння слід за стабілізатором і зниження повноти згорання. Під час зменшення витрати палива до режиму $\alpha_{рец}^{гор} > 0,4$ в зоні рециркуляції буде надлишок повітря і в результаті інтенсивного масообміну в зоні повнота згорання також буде знижуватись.

Під час роботи камери вторинного підігріву повітря під час зменшення концентрації кисню в окислювачі, що набігає, відповідно зменшується концентрація кисню в зоні рециркуляції, що призводить до погіршення характеристик сталості факела і неможливості горіння.

Для збільшення концентрації кисню в зоні рециркуляції були проведені дослідження з різними схемами перфорації бокових стінок стабілізатора (рис. 3).

На рис. 4 наведені дані щодо діапазону сталої роботи на режимі з мінімально можливими коефіцієнтами надлишку повітря камери вторинного підігріву окиснювача. У першому варіанті (рис. 2, $V_{ct} = 60$ мм, $K_f = 0,30$, $d_r = 3,0$ мм) перфорація стінок стабілізатора відсутня, в другому варіанті (рис. 3, $V_{ct} = 60$ мм, $K_f = 0,30$, $d_r = 3,0$ мм) виконана перфорація бокових стінок стабілізатора, в третьому варіанті встановлено два стабілізатори з перфорацією ($V_{ct} = 60$ мм, $K_f = 0,60$, $d_r = 3,0$ мм).

Із рис. 4 видно, що під час використання перфорації стінок стабілізатора (див. вар. 1 та 2) збільшується кількість кисню, що надходить у зону рециркуляції з потоку, що набігає, що призводить до розширення сталої роботи стабілізаторного

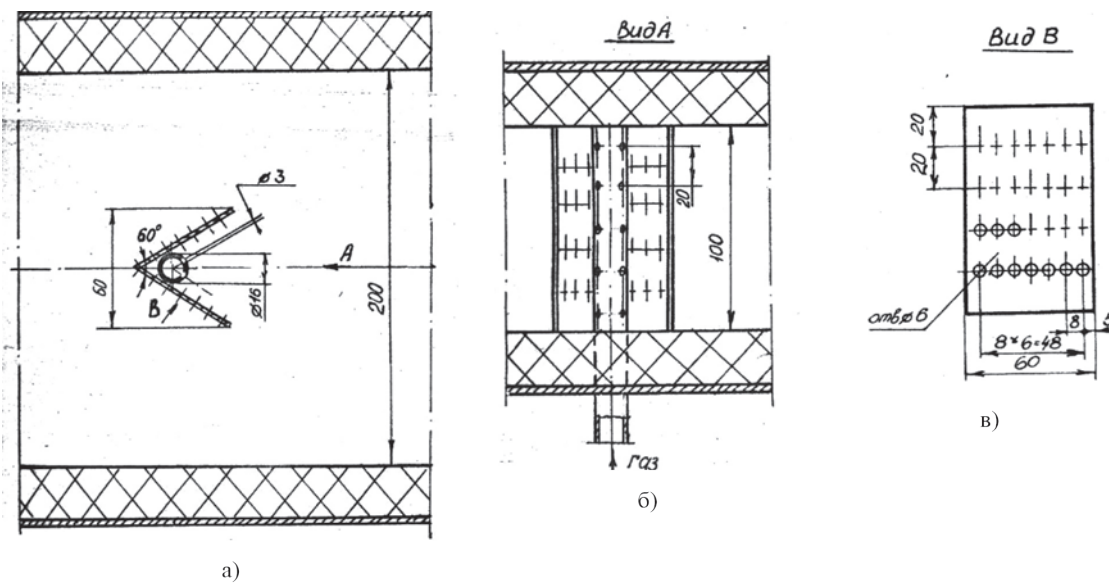


Рис. 3. Схеми розміщення перфорованого стабілізатора в робочій ділянці (а), схеми газороздачі (б) і перфорації бокової стінки (в)

$B_{ст} = 60 \text{ мм}, K_f = 0,30$

пристрою в бік зменшення мінімально можливого коефіцієнта надлишку повітря – $(\alpha_d^{2ст})^{min}$.

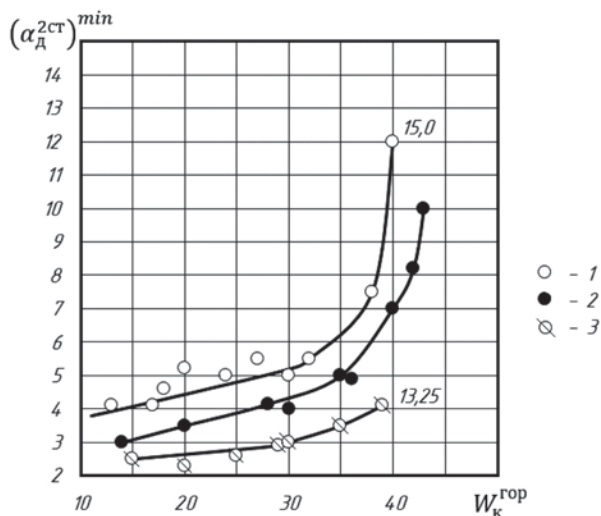


Рис. 4. Вплив перфорації стінок стабілізатора на характеристики багатого зриву паликових пристроїв: 1 – паликовий пристрій без перфорації стінок стабілізатора ($B_{ст} = 60 \text{ мм}, K_f = 0,30, d_r = 3,0 \text{ мм}$); 2 - паликовий пристрій із перфорацією стінок ($B_{ст} = 60 \text{ мм}, K_f = 0,30, d_r = 3,0 \text{ мм}$); 3 – паликовий пристрій із перфорацією стінок стабілізатора і збільшенням коефіцієнта затінення стабілізаторної решітки ($B_{ст} = 60 \text{ мм}, K_f = 0,30, d_r = 3,0 \text{ мм}$)

Цифри на графіку – уміст кисню в окиснювачі після першого ступеня підігріву повітря

Підвищення коефіцієнта затінення палики (див. вар. 2, $K_f = 0,30$ та вар. 3, $K_f = 0,60$) дозволяє

додатково зменшити мінімально допустимий коефіцієнт надлишку повітря $(\alpha_d^{2ст})^{min}$. В останньому варіанті була забезпечена можливість роботи паликового пристрою за умов умісту кисню в окиснювачі $O_2^{1ст} = 13,25 \%$ ($t_{вих}^{1ст} = 950^\circ\text{C}$).

Водночас установлено, що під час зменшення витрати палива попадання додаткової кількості окиснювача в зону рециркуляції у разі перфорації бокових стінок стабілізатора призводить до збільшення коефіцієнта надлишку повітря в зоні і, відповідно, до зменшення коефіцієнта надлишку повітря на бідному зриві, тобто до звуження діапазону сталої роботи паликового пристрою.

Однією з важливих характеристик паликового пристрою є повнота згорання на виході з камери. Як показали результати випробувань натурних паликових пристроїв [10], спалювання газу в забаластованому окиснювачі здебільшого характеризується наявністю недопалу.

Проведені в роботі випробування паликових пристроїв показали, що у варіантах без перфорації стінок стабілізатора і з перфорацією відмічається наявність недопалу під час збільшення ступеню баластування окиснювача (рис. 5).

На рис. 5 наведено дані щодо недопалу в камері для трьох режимів роботи: 1 режим – $t_{вих}^{1ст} = 50^\circ\text{C}$, тобто без підігріву повітря, 2 – з підігрівом у камері першого ступеня до $t_{вих}^{1ст} = 500^\circ\text{C}$, 3 – до $t_{вих}^{1ст} = 650^\circ\text{C}$. Як видно з наведених даних, якщо під час роботи без підігріву повітря ми маємо майже повне вигорання палива $q_3 \approx 0$, то під час

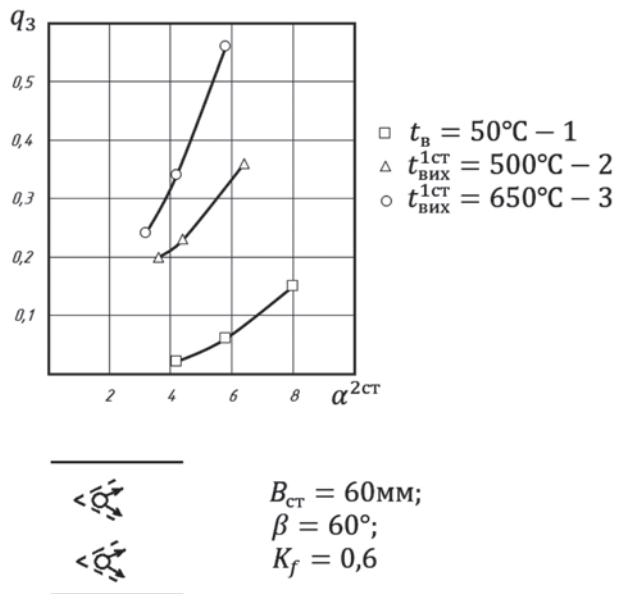


Рис. 5. Залежність недопалу в камері згорання з перфорованими стабілізаторами
 $V_{\text{ст}} = 60\text{ мм}, K_f = 0,60, W_{\text{к}}^{\text{хол}} = 20,0\text{ м/с}$

роботи з газовим підігрівом повітря $q_3 > 0$, причому величина недопалу збільшується з підвищенням ступеня попереднього підігріву і коефіцієнта надлишку повітря в камері – $\alpha_{\text{д}}^{2\text{ст}}$.

Ураховуючи значний вплив процесів, що відбуваються в зоні рециркуляції, на характеристики сталості факела і вигорання палива, для розглянутих у роботі варіантів пальників проведено дослідження впливу на такі процеси подання додаткового повітря в зону рециркуляції.

Оскільки для подання додаткового повітря потрібна окрема магістраль зі своїми регулювальними органами, що ускладнює конструкцію камери згорання, були проведені дослідження кількох варіантів із метою досягнення максимального ефекту зі стійкості й повноти згорання за мінімальної витрати додаткового повітря. Схема одного з варіантів пальникових пристроїв показана на рис. 6.

Як видно з рис. 6, повітря з колектора подається в порожнину стабілізатора на всій висоті і потім через перфорацію в бокових стінках стабілізатора надходить у зону рециркуляції за стабілізатором. Отвори для подання додаткового повітря розміщено між рядами газових отворів.

Визначено вплив подання додаткового повітря в зону рециркуляції на характеристики сталості факела. Із рис. 7, де наведено дані щодо впливу подачі додаткового повітря, видно, що збільшення кількості повітря в зоні рециркуляції призводить до зменшення коефіцієнта надлишку повітря на режимі багатого зриву.

Коефіцієнт надлишку додаткового повітря розраховувався за формулою

$$\alpha_{\text{дод}}^{\text{пов}} = G_{\text{дод}}^{\text{пов}} / (L_0 \cdot G_{\text{г}}^{2\text{ст}}) \quad (9)$$

де $G_{\text{дод}}^{\text{пов}}$ – витрата додаткового повітря.

Водночас у результаті досліджень установлено, що значення коефіцієнта надлишку повітря на режимі бідного зриву факела під час подачі додаткового повітря також зменшуються, що зужує межі сталої роботи за умов малих попередніх підігрівів повітря. З іншого боку, цей факт пока-

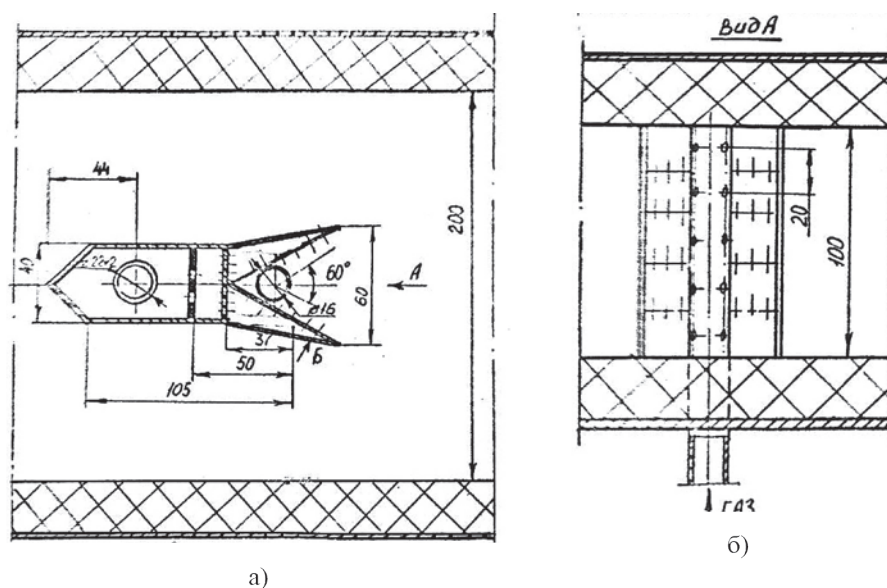


Рис. 6. Розташування перфорованого стабілізатора в камері (а) і схеми подання газу і додаткового повітря (б)

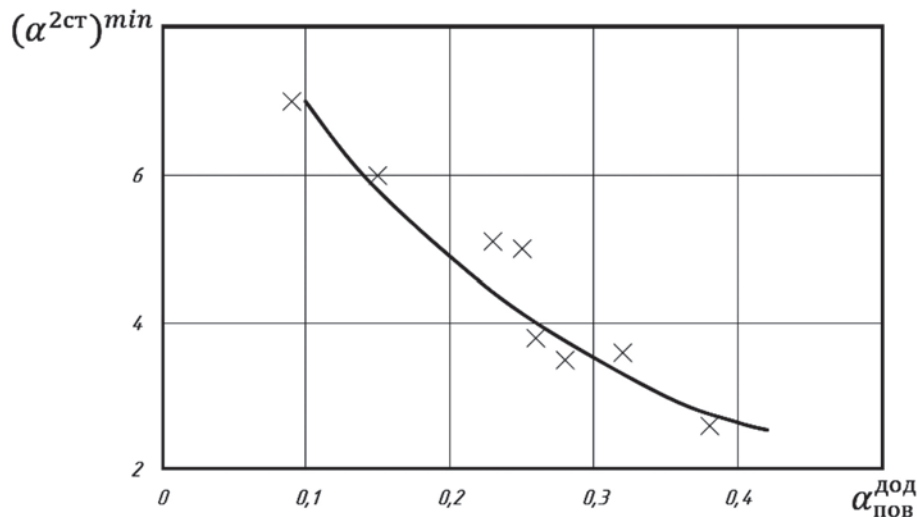


Рис. 7. Залежність сталості факела на багатій межі від подачі додаткового повітря в зону рециркуляції

$B_{cm} = 60 \text{ мм}$, $K_f = 0,30$, $W_{\kappa}^{хол} = 14,9 \text{ м/с}$, $W_{\kappa}^{гор} = 38,3 \text{ м/с}$ $\alpha^{1cm} = 2,9$, $t_{вих}^{1cm} = 85^{\circ}\text{C}$,
 $t_{вх}^{2cm} = 480^{\circ}\text{C}$, $g_{бал} = 0,358$, $O_2^{1cm} = 13,76$

зує, що на режимах бідного зриву немає необхідності подавати додаткове повітря.

Результати досліджень щодо впливу подачі в зону рециркуляції додаткового повітря через перфорацію в бокових стінках стабілізатора наведено на рис. 8.

Як видно з наведених на рис. 8 даних, подача в зону рециркуляції додаткового повітря через перфорацію в бокових стінках стабілізатора дозволяє вибрати схему перфорації і режими подачі додаткового повітря, за яких є можливість забезпечити повне вигорання палива з мінімальними витратами додаткового повітря.

Висновки. Випробування моделей пальникових пристроїв вторинного підігріву повітря, забаластованого продуктами згорання в камері первинного підігріву повітря, показало, що сталість факела на режимі багатого зриву погіршується у разі зменшення вмісту кисню в окиснювачі, зниження температури окиснювача і підвищення швидкості повітряного потоку. Зменшити величину коефіцієнта надлишку повітря на режимі багатого зриву можна шляхом підвищення коефіцієнта затінення стабілізаторної решітки і збільшення розмірів стабілізатора, якщо довжина топки допускає збільшення довжини зони горіння. Зменшити до певного рівня коефіцієнт надлишку повітря на режимі багатого зриву можна за рахунок перфорації бокових стінок стабілізатора. Суттєво розширити діапазон сталої роботи пальникового

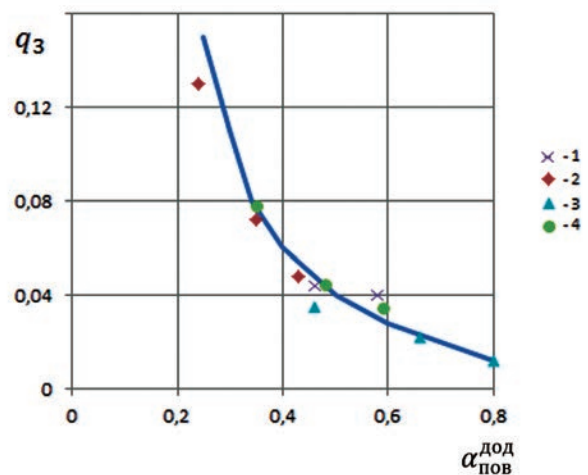


Рис. 8. Вплив подачі додаткового повітря в зону рециркуляції на величину хімічного недопалу в камері згорання

$B_{cm} = 60 \text{ мм}$, $K_f = 0,60$, $\alpha^{1cm} = 2,9$, $t_{вих}^{1cm} = 850^{\circ}\text{C}$,
 $t_{вх}^{2cm} = 480^{\circ}\text{C}$, $g_{бал} = 0,36$, $O_2^{1cm} = 13,76$.
 1 - $W_{\kappa}^{хол} = 15,0 \text{ м/с}$; $\alpha^{2cm} = 5,19$; 2 - $W_{\kappa}^{хол} = 15,0 \text{ м/с}$;
 $\alpha^{2cm} = 3,92$; 3 - $W_{\kappa}^{хол} = 11,0 \text{ м/с}$; $\alpha^{2cm} = 5,29$; 4 - $W_{\kappa}^{хол} =$
 $11,0 \text{ м/с}$; $\alpha^{2cm} = 3,92$

пристрою під час спалювання газу в окиснювачі, забаластованому продуктами згорання першого ступеня підігріву, можна шляхом подачі додаткового чистого повітря в зону рециркуляції за стабілізатором через перфорацію в стабілізаторі. При цьому також підвищується повнота вигорання палива в камері.

Список літератури:

1. Когенерационно-утилизационные технологии на базе газотурбинных установок / Г.Н. Любчик, Л.Б. Чабанович, Р.М. Говдяк и др. // Киев: Варта, 2008. 188 с.
2. Варварский В.С., Прутковский Е.Н., Грибов В.Б. Комбинированное производство тепла и электроэнергии, современные циклы ПГУ, включая внутрицикловую газификацию твердого топлива. *Теплоэнергетика*, 1990. № 3. С. 51–54.
3. Karoly Veszely. Hybrid combined cycle power plant // International Conference «Nuclear Energy for New Europe 2002». Krfnjska Gora, Slovenia, September 9-12, 2002. 5 pp.
4. Трухний А.Д., Изюмов М.А., Поваров О.А., Малышко С.П. Основы современной энергетики / под общ. ред. Е.В. Аметистова. Том 1. Современная теплоэнергетика / Под ред. А.Д. Трухний. Москва : Изд. Дом МЭИ, 2016. 512 с.
5. Хоменок Л.А. Создание горелочных устройств камер дожигания котлов-утилизаторов ПГУ-ТЭЦ. *Теплоэнергетика*, 2007. № 9. С. 10–16.
6. Спейшер В.А. Огневое обезвреживание промышленных выбросов. Москва : Энергия, 1977. 262 с.
7. Бутовский Л.С., Грановская Е.А., Любчик Г.Н., Христич В.А. Исследование закономерностей выгорания топлива за уголковыми и плоскими стабилизаторами пламени. *Теория и практика сжигания газа*. Ленинград, 1975. Вып. VI. С. 324–338.
8. Шатиль А.А. Расчетное исследование топочных устройств. Санкт-Петербург, 2003. 153 с.
9. Постников А.М., Цыбизов Ю.И., Белкин В.М., Васильев В.И., Чикин В.П. Принципы конструирования блока дожигающих устройств для высокоэффективной парогазовой установки на базе двигателя НК-37 / А.М. Постников. *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета*, 2007. № 2. С. 155–160.
10. Акулов В.А., Бутовский Л.С., Жемчугов В.И., Христич В.А. Испытание блока дожигающих устройств ГТ-25-700 на Якутской ГРЭС. *Теплоэнергетика*, 1981. № 6. С. 48–51.
11. Горбаненко А.Д., Морозов О.В., Тумановский А.Г., Абросимов А.А., Романов А.П. Горелочное устройство для котла-утилизатора ПГУ-800. *Теплоэнергетика*. 1989. № 5. С. 54–58.
12. Морозов О.В. Горелочные устройства котлов-утилизаторов ПГУ. *Энергетика за рубежом*. 1985. Вып. 5. С. 13–15.
13. Груздев Н.В. Аналитическое представление основных характеристик процессов горения гомогенных топливовоздушных смесей. *Горение в потоке. Межвузовский сборник*. Казань: Казанский авиационный институт, 1982. С. 44–50.

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

CHARACTERISTICS OF THE DIFFUSION-STABILIZER BURNER WHEN COMBUSTION OF GAS AT REDUCED OXYGEN CONTENT IN OXIDIZER

The article presents the results of experimental studies of the characteristics of micro-diffusion stabilizer burners of the secondary heating of the air during the combustion of gaseous fuel in a decrease in oxygen content in the air flow.

The given data takes into account the influence on the stability of combustion on a rich disruption of a burner of regime and structural factors, which allows to perform a preliminary calculation of the burner device.

It has been shown that the stability of burning on a rich disease deteriorates with a decrease in oxygen content in oxidizers, lowering the temperature of the oxidant and increased air flow rate.

To reduce the value of the excess air coefficient on the mode of rich disruption is possible by increasing the coefficient of shading of a stabilizer grating and an increase in the size of the stabilizer, if the length of the furnace allows an increase of the length of the combustion zone.

Also, it is possible to reduce to a certain level of excess air coefficient on the mode of rich disruption by the perforation of the side walls of the stabilizer.

It is possible to significantly expand the range of the stable work of the burner device in the combustion of gas in oxidizer, amazed with the combustion products of the first degree of heating, by supplying additional clean air to the recirculation zone behind the stabilizer through a perforation in the stabilizer.

In this case, the completeness of fuel burning in the chamber is also increased.

Key words: *stabilizer burner; an amazed oxidant, a rich breakdown, a coefficient of excess air.*