

**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”**

**Джамал Абдель - Карім Ібрагім**  
громадянин Іорданії

УДК 621.438.056:662.951.2

**Робочий процес модуля газопальникового пристрою  
з поперечною подачею струменів газу**

Спеціальність 05.04.01

Котли, парогенератори та  
камери згоряння

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**м. КИЇВ 1997 рік**

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00739226 (Т)

енергетичного устаткування теплових  
аціонального технічного університету  
України "Київський політехнічний інститут".

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,  
Льченко Олег Трохимович, НТУУ, професор;

Офіційні опоненти: доктор технічних наук  
Єрінов Анатолій Єремійович, зав.відділом Інституту  
газу АН України, професор; м.Київ.  
доктор технічних наук  
Шрайбер Олександр Авраамович, зав.відділом  
Інституту проблем енергозбереження НАН України,  
професор, м.Київ.

Провідна організація: Харківський державний політехнічний університет

Захист відбудеться 29 грудня 1997 року о 15 годині  
на засіданні спеціалізованої ради Д 01.02.13 з присудження вчених ступенів  
Національного технічного університету України "Київський політехнічний  
інститут" (НТУУ "КПІ") за адресою: 252056, Київ 56, пр. Перемоги, 37, корп.  
5, ауд. 406.

Відгуки на автореферат у двох примірниках, завірених гербовою  
печаткою установи, просимо надсилати за вказаною адресою.

З дисертаційною роботою можна ознайомитись у бібліотечі НТУУ  
"КПІ".

Автореферат розісланий 28 листопада 1997 року

Вчений секретар  
спеціалізованої ради

В.І. Коншин

## Загальна характеристика роботи

**Актуальність теми.** Парк сучасного вогнетехнічного обладнання характеризується наявністю великої номенклатури пальникових пристроїв для спалювання газів. Аналіз газодинамічних схем цих пристроїв показує, що вони відрізняються засобами стабілізації полум'я (закруткою потоку повітря, зонами зворотної течії за стабілізатором полум'я) та засобами розподілу пального в потоці окислювача (супутня роздача або під кутом до напрямку потоку). Для оптимальної організації робочого процесу газового пальника необхідно забезпечити збереження його надійної стабілізуючої спроможності у широкому діапазоні режимів роботи щодо потужності та коефіцієнта надлишку повітря. Такі характеристики мають дуже важливе значення для широкого спектру теплоенергетичного обладнання.

**Мета роботи.** Виявлення впливу конструктивних та режимних параметрів на робочий процес газового пальника з оптимальною газодинамічною схемою.

Для реалізації мети в роботі експериментально вирішені такі завдання:

1. Досліджено структуру течії за однорядною системою струменів при взаємодії її з зоною зворотних токів за погано обтічним тілом (стабілізатором полум'я).

2. Визначено закономірності сумішеутворення при гранично малих діаметрах газорозподіляючих отворів.

3. Досліджено витікання пального через однорядну систему газороздаючих отворів при малих далекобійностях.

4. Визначено зони та рівень максимальних температур високонагрітих елементів пальника.

5. Досліджено стійкість горіння модуля пальника.

6. Розроблені фізичні уявлення про процес стійкості полум'я при даній газодинамічній схемі.

**Методи дослідження.** В роботі використані сучасні методи вимірювання: концентрації метану ( $\text{CH}_4$ ) з застосуванням газоаналізатора «Газохром-3101»; структури течії за допомогою пневмометричних трубок та мікроманометрів, а також шляхом підсвітлювання полум'я; температури потоку продуктів згорання за допомогою термопар ХА, ХК та ППР і вторинного приладу А-565.

ЛНБ ім. В. Стефанива  
АН України

**Наукова новизна.** За результатами виконаної роботи, вперше:

1. Експериментально визначено існування критичного, з точки зору структури течії, значення відстані від газороздаючих отворів до зони зворотних потоків.
2. Визначено мінімальний діаметр газороздаючих отворів, який забезпечує необхідний склад паливної суміші в зоні горіння.
3. Виявлено існування мінімального значення гідродинамічного параметра.
4. Визначено умови, за яких виявляється вплив зони зворотних потоків за стабілізатором на далекобійність системи струменів.
5. Досліджено температурний стан елементів пальника в широкому діапазоні конструктивних та режимних факторів.
6. Розроблені фізичні уявлення про процес стійкості горіння за даною газодинамічною схемою.

**Практичне значення роботи.** На основі виявлених закономірностей граничних значень діаметрів газорозподіляючих отворів, критичної відстані від системи отворів до зони зворотних потоків відкривається можливість значно підвищити точність розрахунку робочого процесу пальникового пристрою та провести його подальшу оптимізацію.

Вищенаведені результати використані при проектуванні пальникового пристрою з витратою газу 400 м<sup>3</sup>/год для котла ДКВР-10/13 та 60 м<sup>3</sup>/год для котла НІСТУ-5.

**На захист виносяться такі положення:**

1. Результати дослідження структури течії та сумішеутворення при взаємодії системи струменів метану у поперечному потоці повітря.
2. Результати дослідження граничних значень діаметра газороздаючих отворів та гідродинамічного параметра.
3. Результати дослідження температурного стану елементів пальникового пристрою.
4. Фізичні уявлення про механізм стійкості горіння при даній газодинамічній схемі.
5. Результати впровадження здобутих результатів у промислові зразки пальникових пристроїв.

**Апробація роботи.** Основні матеріали дисертації доповідались та обговорювались на розширеному науковому семінарі кафедри теплоенергетичного устаткування теплових та атомних електричних станцій НТУУ «Київський політехнічний інститут» та науковому семінарі кафедри

ри парогенераторобудування Харківського державного політехнічного університету.

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 4 статті.

**Особистий внесок автора.** Автором особисто виконані експериментальні дослідження щодо виявлення граничних значень діаметрів газороздаючих отворів, гідродинамічного параметра та відстані від газороздаючих отворів до кромки стабілізатора полум'я. Досліджено тепловий режим елементів пального пристрою.

Фізичні уявлення про механізм стійкості горіння в даній газодинамічній системі розроблена разом з к.т.н. Абулініним М.З.

**Структура та об'єм роботи.** Дисертація викладена на 150 сторінках і складається з вступу, чотирьох глав, висновків по розділах, загальних висновків, додатків; включає 9 таблиць, 59 рисунків, список літератури з 114 назв.

У вступі дається загальна характеристика напрямку досліджень, обґрунтовано актуальність теми, зв'язок мети роботи з завданнями, що поставлені промисловістю.

**В першій главі** проведено аналіз існуючих газодинамічних схем палинкових пристроїв і обґрунтовуються переваги схеми з поперечним розподілом пального в потоці окислювача перед стабілізатором полум'я, формулюється задача дослідження.

**В другій главі** розглядається методика проведення досліджень, експериментальні стенди, обладнання, методика проведення вимірів та обробки результатів.

**В третій главі** наведено результати досліджень робочого процесу (структура течії, сумішоутворення, горіння) в модулі пального пристрою та представлені фізичні уявлення про механізм стійкості горіння.

**В четвертій главі** представлені фізичні уявлення про механізм стійкості горіння в модулі пального пристрою та результати іспитів пального пристрою виготовленого на основі досліджених модулів.

**В доповненнях** представлені документи про апробацію та втілення результатів роботи у промисловість; наведені табличні експериментальні дані, а також результати їх обробки на ЕОМ.

## **Зміст роботи**

Сучасні газодинамічні схеми палинкових пристроїв, працюючих на газі, сформувавшись досить давно. В них реалізуються принципи, які дозволяють за допомогою турбулізації потоку та відносно рівномірної газороздачі забезпечити сумішеутворення для повного спалювання па-

лива. При цьому стабілізація горіння здійснюється за рахунок рециркуляції високотемпературних топочних газів, чергового факела, нагрітого тіла, тощо.

Головним напрямом при організації робочого процесу палинкових пристроїв є організація сумішеутворення та аеродинамічної стабілізації за допомогою скрутки потоку повітря.

Головними недоліками такої схеми є великий гідравлічний опір та нерівномірність температурного поля у топці котла, що викликає перегрівання елементів вогнетехнічного об'єкту.

Закрутка потоку не вирішує проблем сумішеутворення, і це погіршує економічні та екологічні показники палика.

Палинкові пристрої з скруткою довго доводяться в процесі експлуатації і не можуть забезпечити оптимізацію усіх параметрів робочого процесу одночасно.

Газороздача використовується різноманітна, від центральної до периферійної, від супутньої до зустрічного струменя пального та окислювача, від постачання газу одним струменем до багатоструменевої системи.

Відсутність чіткого наукового та методично-обґрунтованого підходу до організації робочого процесу палинкових пристроїв призвело, по-перше, до їх невиправдано великої номенклатури, а по-друге, до того, що покращання одного параметра здійснюється за рахунок інших. Статистичні дані показують, що інтенсифікація скрутки в найбільш розповсюджених палинках ГМГ та ГМГ(м) призводить не тільки до збільшення гідравлічного опору, але збільшує емісію  $\text{NO}_x$  та призводить до перегрівання сопла палика, амбразури котла, тощо.

Все це разом призводить до невиправданих витрат на:

- підвищення інтенсивності скрутки потоку;
- підвищення тиску повітря і газу ;
- ускладнення конструкції паликів та збільшення їх ваги;
- використання дорогих термостійких матеріалів;
- керування потужністю котла кількістю паликів;
- керування робочим процесом, компоновкою котла та розподіленням паликів.

Для забезпечення економічності, екологічної чистоти, надійності роботи на рівні сучасних світових вимог, робочий процес палика повинен об'єднувати:

- оптимальну газороздачу, яка забезпечує необхідний початковий розподіл пального;

- ефективне сумішеутворення (інтенсивне та таке, що допускає регулювання);
- можливість ефективного охолодження елементів пального пристрою при допомозі пального та окислювача;
- можливість забезпечення екологічної чистоти пального пристрою, надійність роботи;
- широкий діапазон регулювання по коефіцієнту надлишку повітря та по потужності.

В НТУУ «КПІ» на кафедрі теплоенергетичного обладнання теплових та атомних електричних станцій успішно вирішується задача формування нової мікродифузійної технології спалювання газу, яка задовольняє сучасним комплексним вимогам економічності та екологічності.

Д.А. Франк-Каменецьким було введено поняття мікродифузійного горіння, яке займає перехідне положення між дифузійним та кінетичним горінням. Мікродифузійне горіння характеризується інтенсивністю, близькою до кінетичного, але в значно ширшому діапазоні по надлишку повітря.

Для забезпечення мікродифузійного механізму горіння та для задовольняння вищезгаданих вимог, до пальників найбільше підходить газодинамічна схема з роздачею пального за допомогою однорядної системи струменів, перпендикулярно потоку окислювача (рис.1).

Постачання пального струменями перед стабілізатором факела не порушує структури рециркуляційної течії, а в деяких випадках позитивно впливає на стійкість горіння за рахунок зміни структури течії. Така схема дозволяє забезпечити необхідний раціональний розподіл пального та пристосувати деякі положення методики Ю.В.Іванова для розрахунку просторо-концентраційної структури паливної суміші.

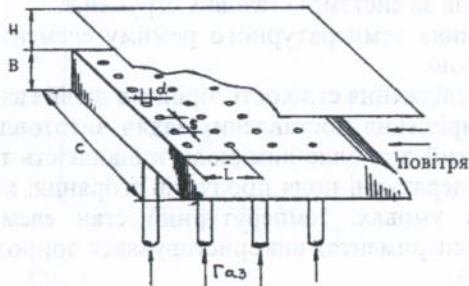


Рис.1

Конструктивні характеристики модуля та границі зміни досліджених величин.  $d=0,5...2\text{мм}$ ;  $W_n=5...85\text{м/с}$ ;  $S^*=3,5...12\text{мм}$ ;  $W_r=0...140\text{м/с}$ ;  $B=5...20\text{мм}$ ;  $q^*=0...120$ ;  $L=6...110\text{мм}$ ;  $t=20...30^\circ\text{C}$ ;  $C=50...200\text{мм}$ ;  $p=10\text{кПа}$ ;  $H=5...20\text{мм}$ .

Пальникові пристрої на основі такої схеми, використані у котлах малої та середньої потужності, печах та ін. (1...4), виявили можливість її використання практично для будь-якого виду вогнетехнічного пристрою.

Для уточнення розрахунку робочого процесу таких пальникових пристроїв та для розширення сфери їх використання необхідно внести пояснення в деякі питання.

Так, основні закономірності розвитку струменів у поперечному потоці залежать від гідродинамічного параметра:

$$q^* = W_r^2 \rho_r / W_n^2 \rho_n$$

де,  $\rho_r$  та  $\rho_n$  - густина газу та повітря,  $W_r$  та  $W_n$  - швидкість газу та повітря, а також відносного кроку газороздаючих отворів  $S^* = S/d$ .

З загальних уявлень про закономірності розвитку системи струменів у поперечному факелі можливо зробити висновки, що робочий процес пальникового пристрою на основі даної газодинамічної схеми залежить від відносного кроку розташування газороздаючих отворів  $S^*$ , діаметра отворів  $d$ , характерного розміру пілона  $B$ , відстані від кромки стабілізатора до газороздаючих отворів  $L$ , швидкості потоку повітря  $W_n$ , гідродинамічного параметра  $q^*$ ; висоти щілини повітряного каналу  $H$ , температури повітря  $t_n$ , температури елементів пальникового пристрою  $t_{ст}$ .

На основі вищенаведеного та досвіду експлуатації пальникових пристроїв сформульовані такі задачі дослідження:

1. Дослідження взаємодії течії за системою струменів у поперечному потоці з зоною зворотних токів за стабілізатором пелум'я.
2. Виявлення граничних значень діаметрів газороздаючих отворів та гідродинамічного параметра.
3. Дослідження особливостей сумішеутворення в зоні зворотних токів за системою газових струменів.
4. Оцінка температурного режиму елементів пальникового пристрою.
5. Дослідження стійкості горіння в даній газодинамічній системі.

Для вирішення поставлених задач виготовлений експериментальний стенд, який дозволив вимірювати швидкість та температуру газу та повітря; температурні поля продуктів згорання; концентрацію метану в ізотермічних умовах; температурний стан елементів досліджуваного об'єкту. В експериментах використовувався природний газ з вмістом метану 98,6%.

Експериментальні та теоретичні дослідження впливу широкого спектра режимних та конструктивних факторів на склад суміші в зоні зворотних токів за стабілізатором, якій знаходиться на деякому віддаленні вниз по потоку за однорядною системою струменів, дозволи-

ли виявити основний фактор - відносний крок розташування газороздаючих отворів.

Дослідження інтенсивності турбулентності за системою струменів в умовах струменево-нишової системи, які були проведені раніше, з'ясували, що струмені є потужними генераторами турбулентності і слід за струменем являє собою пелену газу, розмиту по всій висоті, на яку струмінь занурився в потік.

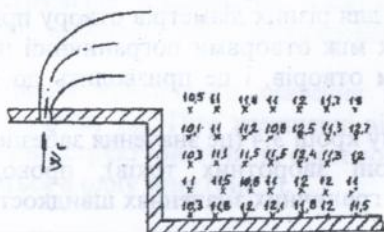


Рис.2  
Сумішеутворення за стабілізатором

Висока інтенсивність турбулентності за стабілізатором довершує дифузію сліду за струменем. Тому суміш в зоні зворотних токів за стабілізатором досить рівномірна.

Проведені виміри концентрації  $\text{CH}_4$  в ізотермічних умовах (рис.2) підтвердили це.

На рис.3 представлені результати досліджень при швидкості повітря 10 м/с і значенні гідродинамічного параметру  $q^*=12$ .

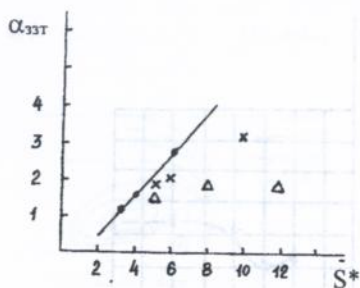


Рис.3

Середній склад суміші в зоні зворотних токів за стабілізатором

( $W_n=10$  м/с;  $q^*=12$ ;  $B=20$  мм)

● —  $d = 0,7; 1; 1,5; 2; 3$  мм; × —  $d = 0,6$  мм; Δ —  $d = 0,5$  мм;

З графіка видно, що середній склад суміші в зоні зворотних токів цілком залежить від відносного кроку газороздаючих отворів і не залежить від їх діаметра.

Але якщо зменшувати діаметр менше ніж 0,7мм, виявляються відхилення в сумішоутворенні. На рис.3 видно, що вже для діаметра 0,6мм порушується автомодельність процесу. Це пояснюється тим, що при зменшенні діаметра отвору при постійному відносному кроці треба зменшувати відстань між отворами. Якщо зважити на те, що товщина пограничного шару для різних діаметрів отвору приблизно постійна, то при малих відстанях між отворами пограничний шар стає значущим у порівнянні з кроком отворів, і це призводить до перезбагачення зони зворотних токів.

При відносному кроці 3,4 (це значення забезпечує стехіометричний склад суміші в зоні зворотних токів), проводились дослідження сумішеутворення на граничних значеннях швидкості витікання пального з отворів.

При малих швидкостях витікання, які дають значення гідродинамічного параметра  $q^*_{кр} \approx 2$  було помічено різке перезбагачення зони зворотних токів ( $\alpha_{зтт}$ ) (рис.4б). Таке порушення автомодельності пояснюється «прилипанням» струменів до поверхні, на якій розташовані газороздаючі отвори. На Рис.4а показано положення верхньої границі струменя для різних випадків.

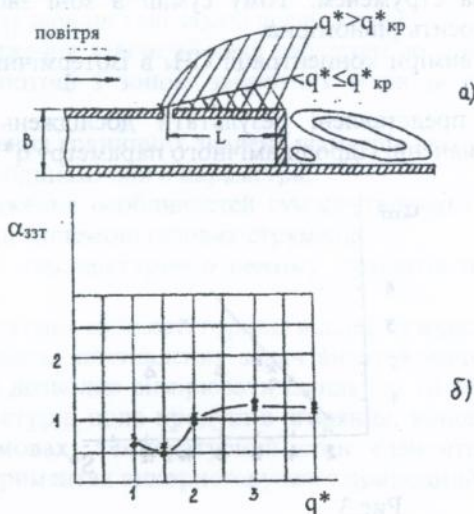


Рис.4

Критичне значення гідродинамічного параметра.

Як показують дослідження різних авторів, за однорядною системою струменів при деяких умовах може суттєво змінюватись структура течії.

Так, при зміні відносного кроку з 6 до 4 має місце злиття індивідуальних рециркуляційних зон, які існують за кожним струменем, в єдину загальну зону рециркуляції зі складною структурою течії (рис.5а, 5б).

Для системи струменів з відносним кроком 3,4 були проведені дослідження взаємодії загальної зони рециркуляції з зоною зворотних токів за уступом.

Виявлено існування критичного значення відстані від системи струменів до кромки уступу  $L_{кр}$ . При зменшенні відстані менше ніж  $L_{кр}$  відбувається різка зміна структури течії за системою струменів та за уступом. Вони зливаються в одну зону (рис.5).

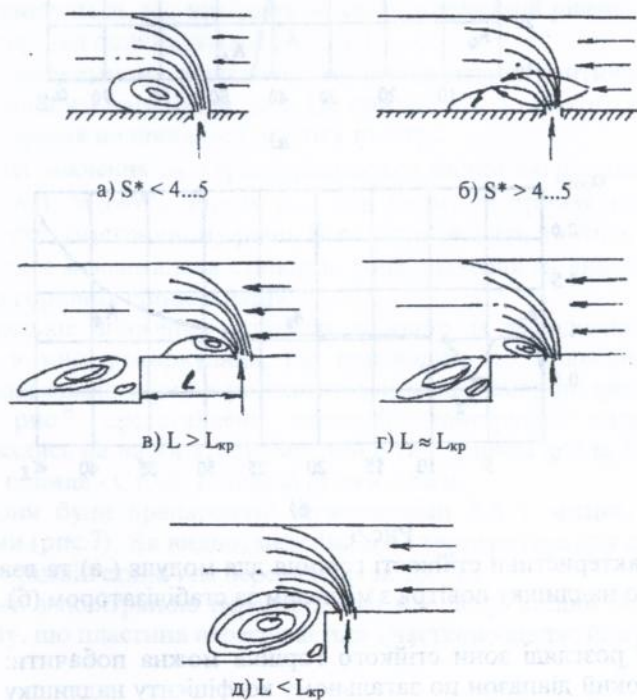


Рис.5

Аеродинаміка течії за однорядною системою струменів.

Вже давно дослідники спостерігали відхилення стійкості горіння при даній газодинамічній схемі від звичних уявлень. Проведені нами дослідження пілона ( $B=20\text{мм}$ ;  $H=50\text{мм}$ ;  $d=1,5\text{мм}$ ;  $S^*=3$ ;  $L=15\text{мм}$ ) підтвердили їх наявність (рис.6).

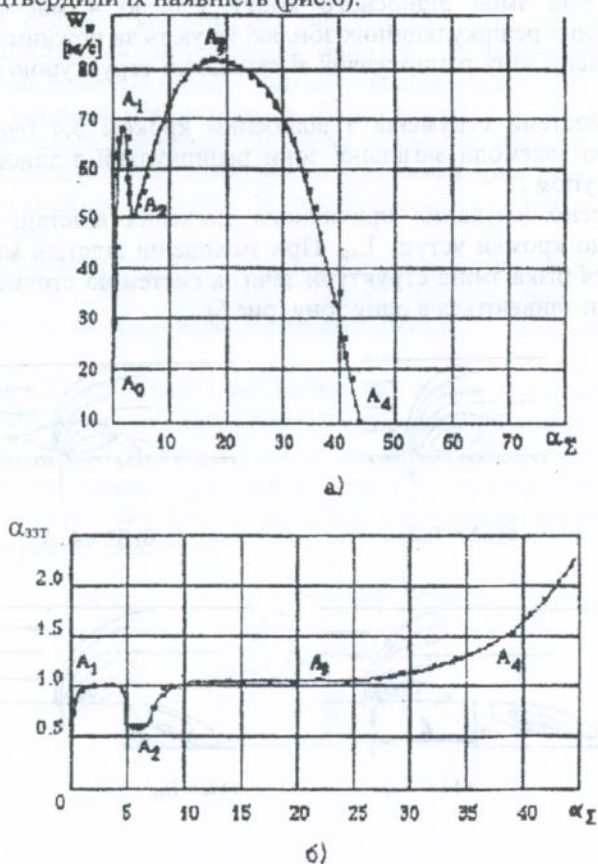


Рис.6

Характеристики стійкості горіння для модуля ( а) та взаємозв'язок загального надлишку повітря з місцевим за стабілізатором (б).

При розгляді зони стійкого горіння можна побачити: по-перше, дуже широкий діапазон по загальному коефіцієнту надлишку повітря та швидкості потоку повітря, по-друге, крім звичного максимуму ( $A_3$ ), який знаходиться в районі великих значень  $\alpha_z$ , має місце провал з мінімумом у точці  $A_2$ . Така аномалія в діапазоні  $2 < \alpha_z < 10$  ( у нашому випадку  $2 < \alpha_z < 6$ ) характерна для пілонів різного калібру.

Для пояснення цього явища треба зауважити, що швидкість повітря ( $W_n$ )- це швидкість до зустрічі з струменями. Швидкість повітря

між струменями буде більшою внаслідок загромодження ними потоку повітря. Цю швидкість назвемо швидкістю обтікання ( $W_{об}$ ). Вона є визначальною для стійкості горіння.

На основі вищенаведених факторів, фізичні уявлення про механізм стійкості горіння виглядають таким чином.

При малих значеннях сумарного коефіцієнта надлишку повітря ( $A_0...A_1$ ) далекодійність струменів більша, ніж та, яка необхідна для рівномірного розподілу пального в шарі окислювача ( $W_{об} > W_n$ ), струмені дістають верхньої стінки і це призводить до перезбагачення паливної суміші. При достатньо малих значеннях  $\alpha_\Sigma$  перезбагачується також і зона зворотних токів.

Зменшення  $\alpha_\Sigma$  призводить до критичного значення сукупності даних факторів і до «багатого» зриву горіння. Збільшення  $\alpha_\Sigma$  характеризується зменшенням загромодження повітряного потоку струменями газу.  $W_{об}$  зменшується,  $\alpha_{згт}$  виходить на стехіометричний рівень. Умови для стійкості горіння поліпшуються ( $A_0...A_1$ ).

При подальшому збільшенні  $\alpha_\Sigma$  проявляється критичне значення гідродинамічного параметра ( $q^*$ ). Це призводить до різкого погіршення стійкості горіння по швидкості потоку повітря.

Великі значення  $\alpha_\Sigma$  характеризуються малим загромодженням потоку ( $A_2...A_3$ ),  $W_{об} \approx W_n$ . Рівень  $\alpha_{згт}$  при цьому підтримується на оптимальному стехіометричному рівні. Все це призводить до того, що в точці А досягається максимальна стійкість, хоча значення  $\alpha_\Sigma$  виходить далеко за границі горючих концентрацій.

Подальше зниження стійкості зв'язано із зменшенням витрати пального в зону рециркуляції, що призводить до збіднення паливної суміші в зоні стабілізації, і в результаті має місце «бідний» зрив горіння.

На рис.7 представлено елементи конструкції паливника, які досліджувались на лабораторному стенді та в умовах котла ДКВР-10/13. Матеріал пілонів - Ст.45, товщина стінки 2,5мм.

Пілони були препаровані термопарами ХА у місцях, помічених хрестиками (рис.7). Як видно, максимальна температура для пілона мала місце на торцевій стінці і не перевищувала 260 °С.

Пілон з повітряною перегородкою має дещо вищий рівень температур тому, що пластина перегрівается і частково віддає йому тепло.

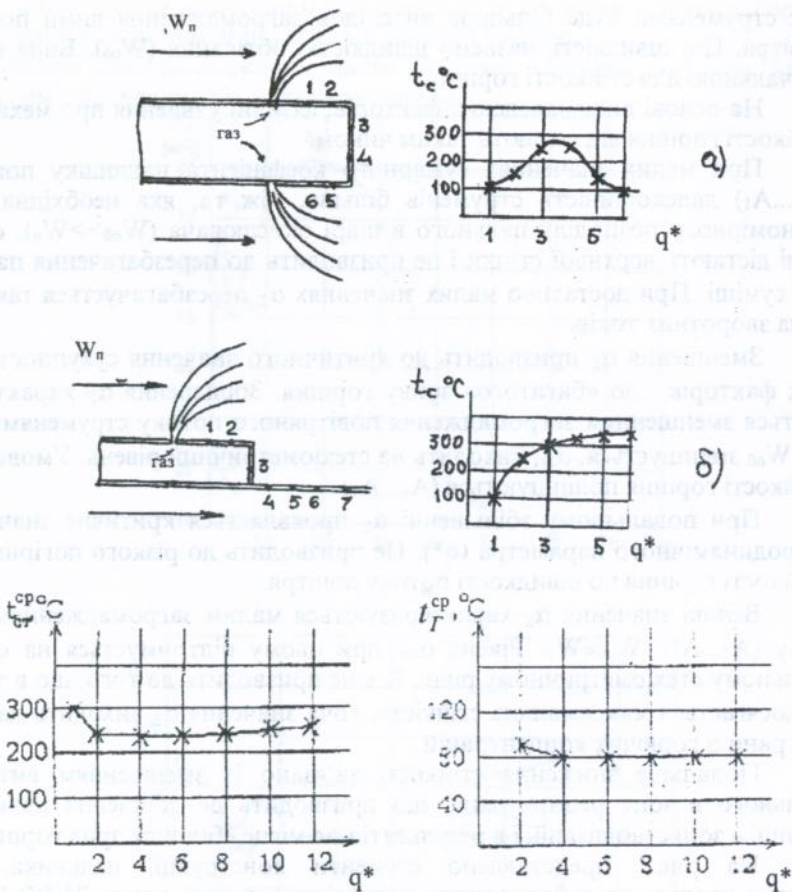


Рис.7

Тепловий режим пальникового пристрою.

$$W_n=10\text{м/с}; d=2,5\text{ мм}; S^*=3,2; q^*=12$$

Рис. 7 ілюструє коливання температури в широких межах зміни гідродинамічного параметра. Добре видно відносно невисокий та постійний рівень температур торцевої стінки. Тільки при  $q^* \approx q^*_{кр}$ , коли струмені «прилипають» до поверхні, має місце деяке підвищення температури, зв'язане з перезбагаченням зони зворотних токів та підвищенням світимості факела.

Температура торцевої стінки підтримується на необхідному рівні за рахунок охолоджуючого впливу газу. Як видно з рис. 7, рівень підігрівання газу досить низький для пірогенних процесів.

Два пальника подібної конструкції знаходяться більше року в експлуатації на котлі ДКВР-10/13. За цей час на пальнику не помічено впливу високотемпературного перегріву.

При експлуатації штатних пальників ГМГ-4 кожні 1,5...2 місяці замінювалась футеровка амбразур пальників. З новими пальниками необхідність зупинок котла відпала.

### Загальні висновки

На основі досліджень у лабораторних умовах та в умовах промислової експлуатації можна стверджувати, що:

1. При розрахунку раціонального розподілу пального системою струменів у потоці окислювача необхідно враховувати вплив зони зворотних токів стабілізатора полум'я на далекодійність системи струменів.

2. Експериментально знайдено залежність середнього складу паливної суміші в зоні зворотних токів стабілізатора полум'я від відносного кроку розташування газороздаючих отворів.

3. Експериментально знайдені граничні значення головних режимних та конструктивних факторів, які визначають робочий процес пальникового пристрою, нижче яких порушується автомодельність процесу: критичний діаметр  $d \approx 0,7 \text{ мм}$ ; критичний гідродинамічний параметр  $q^* \approx 2$ ; критична відстань від отворів до стабілізатора  $L \approx 15 \text{ мм}$ .

4. На основі даних по сумішеутворенню та структурі течії проведено аналіз стійкості горіння в модулі пальникового пристрою та представлена фізична модель процесу, в основі якої знаходиться середній рівень концентрації пального в зоні стабілізації, який залежить від відносного кроку газових отворів.

5. Дані результати дозволили роздвинути межі регулювання потужності при збереженні автомодельності робочого процесу для пальника з витратою газу  $400 \text{ м}^3/\text{год}$  ( $H = 20 \text{ мм}$ ;  $B = 15 \text{ мм}$ ;  $d = 2 \text{ мм}$ ;  $S^* = 3,5$ )  $N^* = N/N_{\text{ном}} = f(q^*_{\text{кр}}) = 0,2 \dots 1$ .

Керування структурою течії пального та окислювача дозволило забезпечити температуру елементів пальника не вище  $260^\circ\text{C}$ . Це дозволило виготовити промислові зразки пальників для котлів НІСТУ та ДКВР з простої конструкційної сталі Ст45 завтовшки  $2,5 \text{ мм}$ .

### Основний зміст дисертації опубліковано у роботах:

1. Абдулін М.З., Ібрагім Джамал. Критичні режими та конструктивні параметри мікродифузійного газопальникового пристрою. // Экотехнологии и ресурсосбережения. - 1997.-№2.-С.70-71.

2. Абдулін М.З., Ібрагім Джамал. Дослідження пальникового пристрою з поперечною подачею струменів палива. // Экотехнологии и ресурсосбережение - 1997.-№2. С.68-69.
  3. Абдулін М.З., Ібрагім Джамал. Аномальні явища стійкості горіння за пілоном з поперечною подачею струменів палива. // Экотехнологии и ресурсосбережение - 1997.- №3.-С.68-70.
  4. Абдулін М.З., Ібрагім Джамал. Тепловий режим елементів мікродифузійного газового пальника. // Наукові вісті НТТУ «КПІ» серія теплоенергетики, 1997 ст 111-113.
- Автор вдячний Абдуліну М.З., к.т.н., старшому науковому співробітникові за допомогу у роботі над дисертацією.

### **Анотація**

Ібрагім Джамал Абдель Карім. Робочий процес у пальникового пристрою з поперечною подачею струменів газу. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня, кандидата технічних наук по спеціальності 05.04.01. - котли, парогенератори та камери згоряння. Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», Київ, 1997.

Дисертацію присвячено експериментальним та теоретичним дослідженням розвитку, сумішоутворенню та аеродинаміці однорядної системи струменів при взаємодії з течією за поганообтічним тілом.

Встановлено основні закономірності та розроблено конструктивно-технологічні рекомендації по уточненню розрахунку та оптимізації робочого процесу пальникового пристрою.

Ключеві слова: мікродифузійне горіння, Гідродинамічний параметр, коефіцієнт надлишку повітря, состав суміші, дальнобійність струменів, відносний крок.

### **Анотація**

Ибрагим Джамал Абдель Карим. Рабочий процесс горелочного устройства с поперечной подачей струй газа. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.01. - Котлы, парогенераторы и камеры сгорания - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, 1997.

Диссертация посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям развития, смесеобразования и аэродинамики однорядной системы струй при взаимодействии с течением за плохообтекаемым телом.

Установлены основные закономерности и разработаны конструктивно-технологические рекомендации по уточнению расчета и оптимизации рабочего процесса горелочного устройства.

Ключевые слова: микродиффузионное горение, гидродинамический параметр, коэффициент избытка воздуха, состав смеси, дальность струй, относительный шаг.

### **The abstract**

Jamal Abdel-Karim Ibragim. Working process gas burners with one rowjets system, before flame stabilization.

Thesis are submitted for candidate of technical sciens, speciality 05.04.01 - Boiler and annular combustion chamber. National Technical University "Kiev Polytechnical Institute". Kiev, 1997.

Experimental and theoretical investigation of mixing development and aerodynamics of one rowjets system under interaction with flow in frail of spoil the flow. Determined the main regulaties and worked out the tehnoogy-desing recommendations of refinement of a calculation and optimisation of working process in a burn development.

Key words: microdiffusion mechanism of burning, hydrodynamic parameter, volume of air necessary for the combustion of unit weight of fuel, height jet.

Здобувач



Джамал Абдель-Карим Ибрагим



---

Підписано до друку 26.11.97р. Формат 60х90/16.  
Ум. друк. арк. 1,0, Обл.-вид. арк. 0,8.  
Наклад 100. Зам. 316.

---

Відділ оперативної поліграфії  
Центру Міжнародної освіти  
227-12-75, 227-37-86

431019

**AB 39.105**