

УДК 662.983

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ІНЖЕКЦІЙНИХ ПАЛЬНИКІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ В СУЧАСНИХ АВТОНОМНИХ ОПАЛЮВАЛЬНИХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРАХ



СЕНЧУК М. П., к. т. н., доц.
СКЛЯРЕНКО О. М., к. т. н., доц.
РУДНИЦЬКИЙ А. І., к. т. н.
ВИШЕГОРОДСЬКА О. О., к. т. н.

Скляренко М. П.

Використання інжекційних газових пальників в автономному теплогенераторі визначає його теплотехнічні, екологічні та експлуатаційні показники. Завдяки простоті конструкції і надійності в експлуатації ці пальники широко застосовуються в сучасній опалювальній техніці (котлах, газових конвекторах тощо).

До основних конструктивних елементів пальників належать: газове сопло, інжектор та вогнева насадка. Процес змішування газу з повітрям здійснюється в інжекторі, який складається з конфузора, горловини та дифузора. Вогнева насадка призначена для рівномірного розподілення газоповітряної суміші та забезпечення стійкості горіння газу в топці теплогенератора. Незважаючи на постійне вдосконалення інжекційних пальників, які застосовуються в сучасних теплогенераторах, процес горіння супроводжується втратами теплоти від хімічної неповноти згорання, що знижує ефективність використання газу та негативно впливає на навколишнє середовище.

В залежності від коефіцієнту надлишку повітря інжекційні пальники поділяються на дві групи: з частковим попереднім змішуванням газу з повітрям ($\alpha' < 1$) та з повним попереднім їх змішуванням ($\alpha' > 1$).

При $\alpha' < 1$ первинне повітря (40-70% від необхідного для повного спалювання газу) підсмоктується в інжектор, а вторинне повітря, яке необхідне для повного спалювання газу, надходить з навколишнього середовища безпосередньо до контурів полум'я пальника. В цьому випадку період утворення гомогенної суміші при взаємній дифузії газу і повітря подовжується, а кінетика хімічного реагування гальмується, швидкість горіння зменшується і висота полум'я збільшується. Газ згорає за кінетично-дифузійним принципом.

Пальники з $\alpha' > 1$ працюють за кінетичним принципом спалювання газу, що відрізняється від кінетично-дифузійного. При цьому виключається найдовший процес сумішоутворення, швидкість горіння збільшується, полум'я стає коротким.

Від вибраного принципу згорання газу залежать спосіб стабілізації полум'я, діапазон робочого регулювання, розміри топок тощо.

Основна конструктивна відмінність пальників з різними принципами спалювання полягає в різному розташуванні сопла відносно входу конфузора. У пальниках з $\alpha' < 1$ газове сопло розташовується на межі входу в конфузур. Тоді, як для пальників з $\alpha' > 1$ сопло розташовується на визначеній відстані від конфузора. При віднесенні сопла від входу конфузора збільшується площа перерізу останнього, а відповідно зростає кількість інжекційного повітря.

Оптимальна відстань розташування сопла залежить від розмірів горловини змішувача і діаметра сопла, їх гідравлічного опору та тиску газу перед соплом. Вільна струмина газу, що витікає з сопла підсмоктує частину первинного повітря на відстані x' , а решта первинного повітря надходить до горловини за рахунок розрідження, яке виникає на вхідній ділянці змішувача (рис.1). Тому на величину повітря, яке підсмоктується в пальник, впливає не тільки кінетична енергія газової струмини, а й величина розрідження в топці теплогенератора [1, 5].

Теоретичні розрахунки інжекційних пальників складні, так як при їх виконанні необхідно враховувати комплексні процеси змішування, горіння, тепловіддачі полум'я тощо. Оскільки такого загального розрахунку не існує, тому на практиці використовують

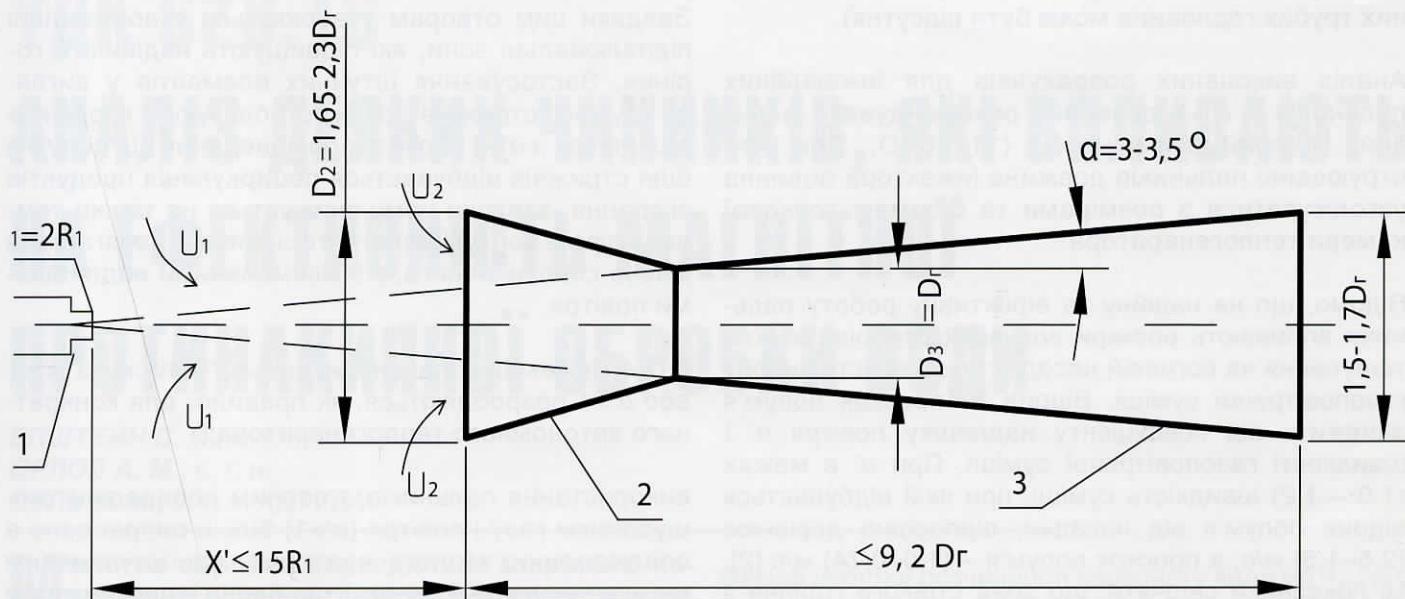


Рис. 1 Схема інжекційного змішувача з $\alpha' > 1$:
 1 – сопло, 2 – конфузор, 3 – дифузор;
 u_1 – кількість повітря, яке підсмоктується вільною струминою;
 u_2 – кількість повітря, яке підсмоктується за рахунок розрідження в кільцевому зазорі.

емпіричні методи розрахунку для кожного конкретного типу пальника.

Розрахунки пальників з $\alpha' < 1$ методично відпрацьовані та перевірені практикою [1, 2].

Для пальників з $\alpha' > 1$ практичних рекомендацій з проектування в літературі наведено недостатньо. Фундаментальні дослідження [3, 4, 6] головним чином присвячені розрахункам інжекторів або окремих його вузлів, призначених для технологічних апаратів, в яких відсутні процеси горіння, наприклад, струминно-вакуумних, гідроструминних насосів, пароінжекторних установок тощо.

Розглянемо чинники, які впливають на ефективну роботу пальників з $\alpha' > 1$, взаємозв'язок геометричних та газодинамічних параметрів, дамо рекомендації, що спрямовані на стабілізацію горіння і шляхи зниження втрат з хімічною неповнотою спалювання.

Аналіз експериментальних даних [4, 5], а також результати випробувань пальників Сертифікаційним випробувальним центром опалювального обладнання (СВЦОО, м. Київ) показують, що зі збільшенням відстані від сопла до змішувача коефіцієнт інжекції (u) збільшується. Але таке збільшення відбувається тільки в межах деякої визначеної відстані x' . При подальшому віддаленні сопла коефіцієнт (u) різко зменшується. Введення сопла в інжектор призводить також до зменшення коефіцієнта інжекції.

На підставі дослідних даних Г. М. Абрамович [7] запропонував відстань між вихідним перерізом сопла і входом конфузора визначати за формулою:

$$ax'/R_1 = 0,67,$$

де a – коефіцієнт структури струмини, що залежить від параметрів її турбулентності ($a=0,07...0,09$);

R_1 – радіус вихідного отвору газового сопла;

x' – величина початкової ділянки, $x'=(7,5...9,6)R_1$.

Ю. В. Іванов на підставі досліджень [8], проведених на соплах різної конструкції з'ясував, що коефіцієнт структури $a=0,06$, а величина $x'=11,2R_1$. За даними І. Д. Семикіна [4] довжина початкової ділянки складає $x'=12 R_1$, відповідно величина a зменшується до 0,056.

Вивчаючи роботу сучасних інжекційних пальників з $\alpha' > 1$ в умовах експлуатації автономних теплогенераторів з α' близько 1 ($\alpha'=1,01...1,03$), величина x' може бути збільшена до $15R_1$ з урахуванням розрідження в топці котла, яке додатково впливає на процес інжекції.

Крім того на величину α' впливає геометрія конфузора, яка повинна мати такі перерізи і контури, щоб якнайменше впливати на розвиток вільної струмини газу. Ділянка конфузора виконується, як правило, з конічним звуженням та поступовим переходом до стабілізаційної частини інжектора – горловини

діаметром D_3 або дифузора (в коротких інжекційних трубах горловина може бути відсутня).

Аналіз виконаних розрахунків для інжекційних пальників з $\alpha' > 1$ дозволяє рекомендувати величину D_3 приймати в межах $(11 \dots 13)D_1$. При конструюванні пальників довжина інжектора повинна узгоджуватися з розмірами та формою топкової камери теплогенератора.

Відомо, що на надійну та ефективну роботу пальника впливають розміри вогневих отворів, їх розташування на вогневій насадці та швидкість виходу газоповітряної суміші. Відрив та просок полум'я залежить від коефіцієнту надлишку повітря α' і швидкості газоповітряної суміші. При α' в межах $(1,0 - 1,2)$ швидкість суміші, при якій відбувається відрив полум'я від насадки, відповідно дорівнює $(2,5 - 1,5)$ м/с, а просок полум'я – $(1,0 - 0,74)$ м/с [2]. Ці показники свідчать, що зона стійкого горіння з $\alpha' \geq 1$ характеризується вузькими межами регулювання. Так, відношення швидкості суміші на виході з вогневих отворів до швидкості суміші, при якій спостерігається просок полум'я при $\alpha' = 1,0$ складає $w_{\text{від}}/w_{\text{зв}} = 2,5$, а при $\alpha' = 1,2$ – $w_{\text{від}}/w_{\text{зв}} = 2,0$, що відповідає коефіцієнту робочого регулювання $k_{\text{рр}}$ потужності пальника відповідно 2,5 і 2,0. В пальниках з $\alpha' < 1$ коефіцієнт робочого регулювання сягає 5,0. Незважаючи на цю перевагу пальників з $\alpha' < 1$ використання пальників з $\alpha' > 1$ дозволяє суттєво зменшити габарити топки за рахунок зменшеної висоти полум'я та підвищеної температури процесу горіння.

Однак це призводить до збільшеного утворення оксидів азоту. На сучасному етапі завдяки системі охолоджуючих стрижнів, які розташовуються в полум'ї над вогневими насадками, оптимальним розміром пальників та розміщення в них вогневих отворів, утворення оксидів азоту зменшено від 250 до 40 мг/м³.

Пальники з $\alpha' > 1$ забезпечують якісне спалювання газу з мінімальними надлишками повітря (α' близько 1) з низькими концентраціями оксидів вуглецю і азоту. Зменшення оксидів азоту здійснюється завдяки застосуванню спеціальних конструктивних заходів (розташування стрижнів у високотемпературній зоні полум'я, а також отворів різної форми і розмірів на вогневих насадках). Практика експлуатації показує, що для стійкої роботи пальника діаметри вогневих отворів не повинні перевищувати критичного розміру, який становить 2,5 мм.

В сучасних пальниках найбільш розповсюджені вогневі отвори в насадках щілевидної форми, наприклад з розмірами 0,7x3 мм, 0,7x6 мм тощо. Для підтримання зони стабілізації горіння біля щілин

розташовують вогневі отвори, діаметром 1,0...1,2 мм. Завдяки цим отворах утворюються стабілізаційні підпалювальні зони, які підвищують надійність горіння. Застосування штучних елементів у вигляді круглих стрижнів також стабілізують горіння в пальниках з $\alpha' > 1$. Крім тепловідведення від полум'я біля стрижнів відбувається рециркуляція продуктів згорання, завдяки чому знижується не тільки температура в контурі фронту горіння, а й досягається якісне спалювання газу з мінімальними надлишками повітря.

Отже, інжекційні пальники низького тиску з $\alpha' < 1$ або $\alpha' > 1$ розробляються, як правило, для конкретного автономного теплогенератора;

використання пальників з повним попереднім змішуванням газу і повітря ($\alpha' > 1$) більш виправдано в опалювальних теплогенераторах з одноступеневим регулюванням потужності, особливо в дискретному режимі нагрівання від 0 до 100% потужності;

в пальниках з $\alpha' > 1$ досягається компактніше та високотемпературне полум'я, що відповідає сучасним тенденціям конструювання високонапружених топко малогабаритних котлів (близько 1 МВт/м³), з якісним спалюванням газу при мінімальних надлишках повітря ($\alpha' = 1,01 \dots 1,03$) та низькими концентраціями в продуктах згорання оксидів вуглецю ($\text{CO} \approx 0$) та оксидів азоту (до 40 мг/м³).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ионин А. А. Газоснабжение – М.: Стройиздат, 1989. – 435 с.
2. Стаскевич Н. Л., Северинец Г. Н., Вигдорчук В. Я. Справочник по газоснабжению и использования газа. – Л.: Недра, 1990. – 726 с.
3. Путилов М. И. Расчет оптимального расстояния сопла от камеры смешения в струйных аппаратах «Теплотехника» // Энергия. – №7. – 1967. – 65-70 с.
4. Успенский В. А., Кузнецов Ю. М. Струйные вакуумные насосы. – М.: Машиностроение, 1973. – 144 с.
5. Левин А. М. Принципы рационального сжигания газа. – Л.: Недра, 1977. – 217 с.
6. Коган П. А., Шамис И. А., Якушин А. А., Определение оптимальных геометрических характеристик газоструйных аппаратов «Теплоэнергетика» // Энергия. – №9. – 1967. – 69-73 с.
7. Абрамович Г. М. Прикладная газовая динамика. – М.: Недра, 1969. – 824 с.
8. Иванов Ю. В. Газогорелочные устройства. – М.: Недра, 1972. – 371 с.