

УДК 697.432

Розподілення вторинного повітря в технологічній схемі спалювання твердого палива в шарі

М. П. Сенчук¹

¹к.т.н., доц., Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, smp_21@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8968-7336

Анотація. Розглянуто різні способи струминного дуття в шарових топках з аналізом його впливу на ефективність перемішування надшарових горючих газів з повітрям задля утворення необхідних топкових умов для забезпечення повноти згоряння газоповітряної суміші. Обґрунтовано доцільність застосування у твердопаливних теплогенераторах невеликої потужності системи повітряного (вторинного) дуття з невисоким тиском дуттьового повітря. Наведено аналіз схем подачі вторинного повітря в класичних технологічних схемах спалювання твердого палива в шарі (протитечійній, прямотечійній, поперечній) та їхню реалізацію в конструкціях поширених механічних топкових пристроїв (з ретортою, з шурувальною планкою та з ланцюговою решіткою). У роботі розглянуто різні схеми подачі вторинного повітря в комбінованих технологічних схемах спалювання твердого палива. Наведено технічні рішення основних конструктивних вузлів систем вторинного повітря в топкових пристроях: шахтного типу – профільні насадки на соплах вторинного повітря на виході із паливної шахти; шахтно-шарового типу – водоохолоджуваній повітряний колектор з дуттьовими соплами в зоні газифікації палива. Завдяки раціональній організації подачі вторинного повітря залежно від якості спалюваного палива (виходу легких речовин, вологості, зольності, фракційного складу) формується суміш надшарових газів з повітрям. Її концентраційно-температурні умови забезпечують надійне запалювання, стабільне горіння і повноту вигорання горючих речовин. У роботі обґрунтовано вибір ефективної системи повітряного дуття для шахтно-шарових механічних топкоопалювальних котлів невеликої потужності (до 4 МВт).

Ключові слова: комбінована технологічна схема спалювання, первинне повітря, система вторинного повітря, струминне дуття, дуттьові сопла, колектор повітряний, теплогенератор, твердопаливний котел, топковий пристрій, шахтно-шарова топка, паливна шахта, колосникова решітка

Вступ. Зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище при експлуатації теплогенерувальних установок, особливо твердопаливних, є актуальним завданням. Одним із дієвих шляхів покращення екологічних показників роботи топко при спалюванні твердого палива в шарі, поширеного в теплогенераторах невеликої потужності до 4 МВт, є застосування систем струминного повітряного (вторинного) дуття для забезпечення ефективного спалювання надшарових газів. При цьому слід забезпечити глибоке перемішування горючих газів над шаром палива з неоднорідним вмістом кисню за перерізом камери згоряння та створити умови для повноти їхнього спалювання. Зокрема, треба утворити однорідну газоповітряну суміш при температурі її спалювання. Таким чином суттєво знижуються втрати теплоти з хімічною і механічною неповнотою згоряння та зменшується забруднення конвективних поверхонь легкою золою. Система вторинного дуття в шарових топках реалізується простими конструктивними рішеннями. З аеродинамічної точки зору вона є комплексом складних фізико-хімічних процесів. Від оптимізації перебігу цих процесів залежить ефективність роботи теплогенератора

в цілому. Конструктивні й режимні параметри таких систем в основному залежать від типу топки та виду спалюваного палива. Їх застосовують з урахуванням результатів розрахункових і експериментальних досліджень практично в усіх промислових твердопаливних котлах з шаровими топками, у яких реалізовані переважно класичні технологічні схеми спалювання.

Актуальність дослідження. Застосування системи вторинного дуття в комбінованих технологічних схемах механічних топко потребує врахування особливостей такого спалювання, зокрема суттєвої неоднорідності горючих газів як уздовж тракту переміщення палива за зонами від його підготовки до вигорання вогнищевих залишків безпосередньо над шаром палива, так і за висотою топкової камери.

Останні дослідження та публікації. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень [1-7] склад горючих газів на виході з шару палива, який горить на колосниковій решітці в потоці первинного повітря, головним чином залежить від характеру протікання процесу горіння. Останній визначається в основному товщиною шару, видом і гранулометричним складом палива. Збільшення швид-

кості дуттьового повітря (більш посилене продування частинок шару) мало впливає на зміну складу вихідних газів за наявної висоти шару, а підвищує форсування (зростання швидкості горіння частинок палива, збільшення навантаження дзеркала горіння). Таким чином, з потоку первинного повітря до зон сублімації летких речовин не надходить достатньої для їхнього горіння кількості повітря.

Водночас, при різній товщині шару палива, яке горить, на площині колосникової решітки встановлюється різний склад горючих газів (здебільшого за поперечної схеми спалювання), зокрема за вмістом кисню. Так, у зонах інтенсивного виходу летких речовин (товщина шару більша за висоту кисневої зони) відчутна нестача кисню. Натомість, надлишок кисню виникає в зоні догорання вогнищевих залишків. Зонне регулювання подачі первинного повітря дещо знижує цю нерівномірність. Проте воно не може забезпечити повноту згорання, особливо при товщині шару більшій за висоту кисневої зони. Останнє характерне для практики спалювання в топкових пристроях.

Ефективним способом спалювання горючих газів над шаром палива є їхнє перемішування з наявним у топковій камері надлишковим киснем за допомогою системи струминного дуття – «гострого дуття». Ці системи створюють відносно тонкі струмини зі швидкістю вводу в камеру згорання 50...70 м/с. Головною функцією такої системи є створення шляхом інтенсивного перемішування максимально однорідної газоповітряної суміші (вирівнювання за перерізом топкової камери вмісту кисню) над шаром, який горить на колосникової решітці. Струминне дуття може бути газовим (відхідні гази з температурою 150...200 °С), паровим або повітряним. Найбільш ефективною є система струминного газового дуття. Вона унеможливує вплив на повітряний режим топки. Це дає можливість подавати потрібну для перемішування горючих газів витрату димових газів без зміни коефіцієнта надлишку повітря.

Однак, найчастіше застосовується проста за конструкцією повітряна система. Її струмини крім основної функції перемішування різних за складом горючих газів є джерелом вторинного повітря. Їхній кисень взаємодіє зі складовими горючих газів у реакціях горіння. При цьому залежно від витрати вторинного повітря змінюється величина коефіцієнта надлишку повітря. Дотримання цього коефіцієнта в межах 1,3...1,6 досягається завдяки збалансованій витраті первинного й вторинного повітря.

Здебільшого застосовують дешевшу за си-

стему «гострого дуття» систему вторинного повітря зі швидкістю вводу струмин 30...35 м/с. Вона забезпечується основним вентилятором дуттьового повітря. Конструктивне оформлення системи вторинного повітря та режимні параметри її роботи залежать від

- конструкції топок;
- схем організації в них подачі палива й первинного повітря;
- виду й гранулометричного складу спалюваного палива;
- способу шурування шару та видалення вогнищевих залишків.

Нижче наведено найбільш поширені схеми подачі вторинного дуття в класичних технологічних схемах спалювання твердого палива в шарі (рис. 1).

Розглянемо протитечійну (рис. 1 а) та прямотечійну (рис. 1 б) схеми організації спалювання палива за переміщенням його і первинного повітря. Вторинне повітря подається в потік високотемпературних газів, що виходять з шару палива, яке горить. Одностороння або двостороння подача вторинного повітря (рис. 1 е, ж) залежить, здебільшого, від можливого забезпечення потрібної глибини проникнення повітряних струмин.

Для поперечної схеми (рис. 1 в-д) при розміщенні колекторів вторинного повітря доцільно також урахувати напрямки потоків палива й надшарових газів – продуктів згорання:

- паралельна (рис. 1 в) – для спалювання палива з невеликою вологістю;
- зустрічна (рис. 1 г) – для спалювання вологого палива з низькою теплою згорання;
- перехресна (поєднання паралельної й зустрічної схем, рис. 1 д) – для спалювання палива в топках з вертикальними вторинними топковими камерами.

Розглянемо схеми подачі вторинного повітря в найбільш розповсюджених сучасних механічних топкових пристроях (рис. 2). Ретортні топки мають такі основні типи:

- із прямокутною ретортою – передбачають двосторонню або односторонню подачу вторинного повітря над шаром (рис. 2 а);
- із круглою ретортою з потоком вторинного повітря:
 - супутнім з продуктами горіння безпосередньо в зоні горіння шару (рис. 2 б);
 - вихровим над шаром (рис. 2 в).

У промислових топках технічні рішення щодо системи вторинного повітря враховують особливості їхньої конструкції.

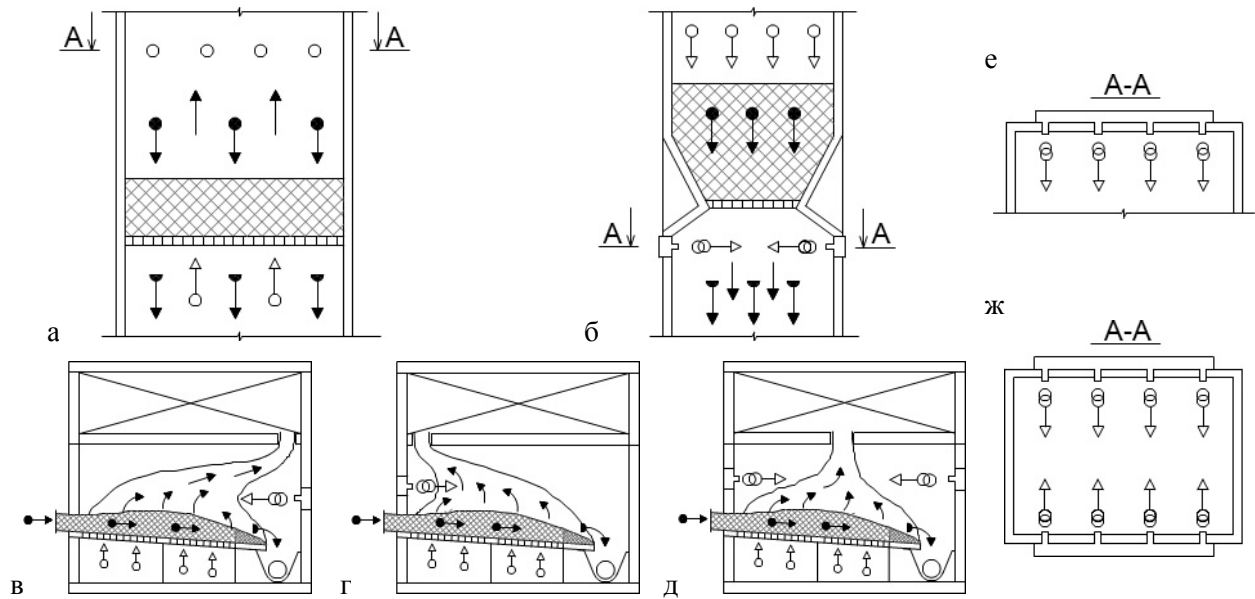


Рис. 1. Подача вторинного повітря в технологічних схемах спалювання твердого палива в шарі:
 за напрямком потоків палива і первинного повітря: а – протігачна; б – прямотечійна; в-д – поперечна;
 за напрямком потоків палива і надшарових газів: в – паралельна; г – зустрічна; д – перехресна;
 схеми подачі вторинного повітря – розтини А-А: в, г, е – одностороння; д, ж – двостороння;
 умовні позначення на цьому рисунку і далі за текстом:

●→ – подача палива; ○→ – первинне повітря; ⊕→ – вторинне повітря; → – продукти горіння; ▸ – видалення золи

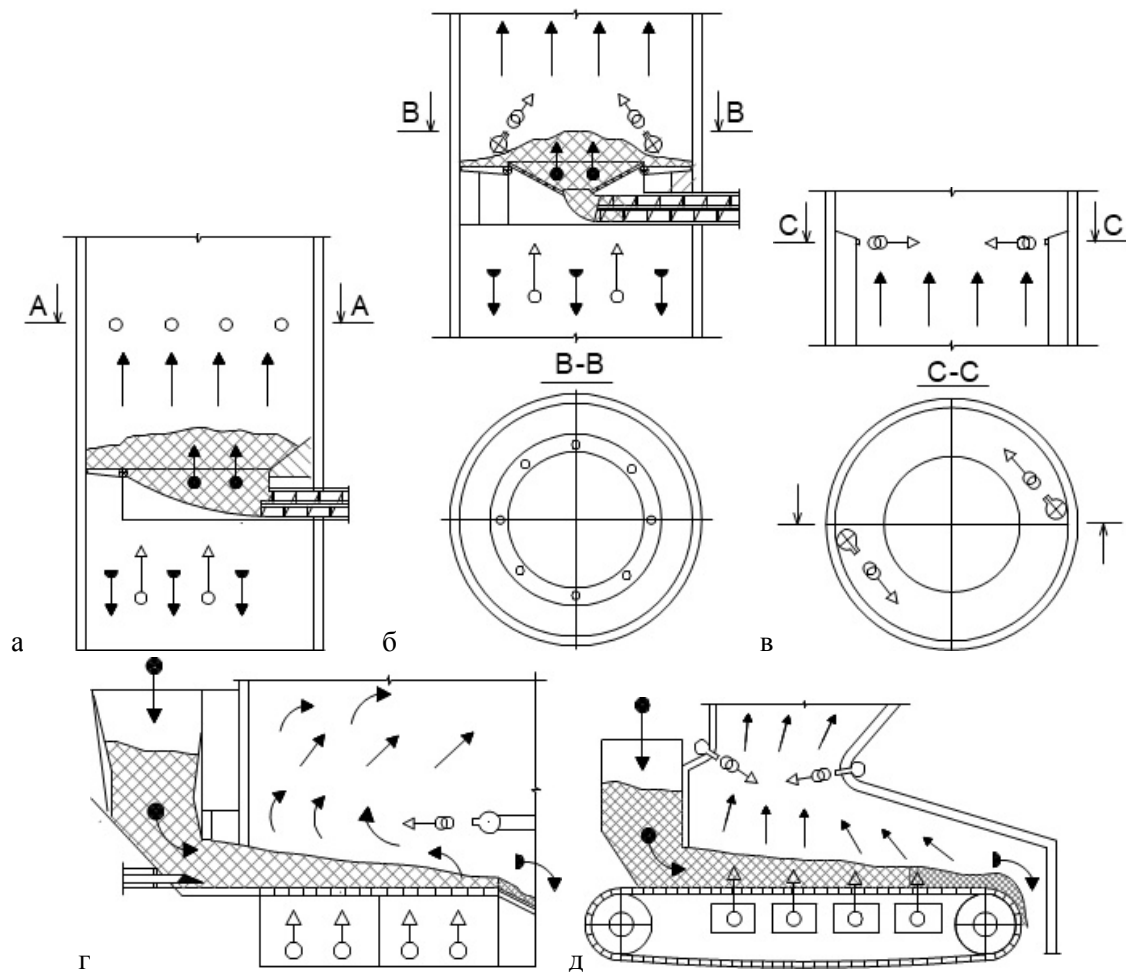


Рис. 2. Подача вторинного повітря в конструкціях топкових пристроїв спалювання палива в шарі:
 а – прямокутна ретортна топка (розтин А-А див. рис. 1 е ж); б – ретортна топка з круглою ретортою з розподіленою подачею вторинного повітря; в – те ж з закрученим потоком вторинного повітря; г – топка із шнурувальною планкою; д – топка із ланцюговою решіткою: умовні позначення див. рис. 1

Так, у ретортних топках (основна прямокутна схема спалювання) за реторти прямокутної форми (рис. 2 а) доцільно застосовувати двосторонню або односторонню подачу вторинного повітря. Для топки з ретортою круглої форми рішеннями можуть бути розподілена подача навколо зони горіння (рис. 2 б) або закручений потік вторинного повітря (рис. 2 в).

У топці з інтенсивним шуруванням шару палива на решітці (рис. 2 г) за поперечної схеми спалювання ефективна одностороння фронтальна подача вторинного повітря струминами з сопел колектора.

У топці з ланцюговою решіткою з подачею палива за поперечною схемою (рис. 2 д) при щільному шарі, який вигоряє по мірі переміщення без механічного перемішування частинок, спалювання здійснюється при відносно більшій кількості первинного повітря. Тому, для перемішування надшарових газів частіше застосовують конструктивні рішення (наприклад, склепіння). Вторинне повітря в невеликій кількості подають тільки для вигорання горючих речовин на виході з первинної топкової камери. Завдяки розвинутому задньому склепінню гарячі гази, утворені в активній зоні горіння на решітці, більш повно вигоряють і направляються до початкової ділянки шару задля сприяння запалюванню свіжого палива.

Пряме застосування таких схем подачі вторинного повітря в топках з комбінованими схемами спалювання знижує їхню ефективність. Виникає потреба модифікації їх з урахуванням особливостей таких схем організації спалювання.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є обґрунтування вибору раціональної системи вторинного дуття в комбінованій технологічній схемі спалювання топкових пристроїв опалювальних котлів невеликої потужності з забезпеченням енергоекологічної ефективності їхньої роботи.

Виклад основного матеріалу. Для ефективного спалювання палива крім раціонального розподілення і подачі первинного повітря в шар палива потрібно забезпечити відповідну повноту спалювання надшарових горючих газів. Неможливо досягти мінімальних втрат теплоти з хімічною неповнотою горіння завдяки тільки відповідній конфігурації топкової камери:

- збільшенню об'єму;
- створенню розвинутих склепінь;
- звуження прохідного перерізу.

У роботі розглянуто різні системи вторинного дуття в комбінованій технологічній схемі

(шахтно-шаровій) спалювання кам'яного і бурого вугілля, антрациту, торф'яних брикетів, деревного палива. За такого схемою стадійні процеси спалювання протікають:

- у паливній шахті з нижньою подачею первинного повітря (протитечіяна схема);
- на горизонтальній (нахилений) колосниковій решітці (поперечна схема).

Уздовж тракту переміщення палива по мірі його підготовки й вигорання від входу паливної шахти до кінця колосникової решітки здійснюється:

- підсушування вихідного палива;
- вихід легких речовин;
- горіння коксових частинок;
- допалювання вогнищевих залишків.

Переміщення палива здійснюється завдяки плунжерним пристроям різних типів. Регулювання подачі первинного дуттьового повітря за стадіями процесу задається прийнятим коефіцієнтом надлишку повітря та необхідною якістю надшарових газів. У нижній зоні шахти відбувається інтенсивне протитечієне горіння палива. Висока температура процесу сприяє нагріву палива середньої зони шахти та інтенсифікації процесу газифікації з виходом легких речовин крізь перфоровану фронтальну стінку (затискну решітку). Коефіцієнт надлишку повітря α становить близько 0,8. У першій зоні на вході колосникової решітки горить паливо – напівкокс – з виділенням решти легких речовин. Висота шару перевищує кисневу зону. Тому горіння проходить за відновлювальними реакціями. Коефіцієнт надлишку повітря дещо більший ніж у зоні шахти ($\alpha \approx 1,0$). У наступній зоні колосникової решітки горіння здебільшого протікає в кисневій зоні. Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha \approx 1,1 \dots 1,5$. Вигорання вогнищевих залишків за межами активної зони горіння відбувається за нерівномірності шару в площині решітки з коефіцієнтом надлишку повітря $\alpha \approx 1,6 \dots 2,0$.

Забезпечення високої якості протікання стадійних процесів горіння за наведеною комбінованою схемою досягається при застосуванні відповідної багатоступеневої (комбінованої) системи розподілення дуттьового повітря:

- комплексна подача первинного повітря в шар і вторинного дуття для горіння надшарових газів;
- поєднання зонного регулювання витрати первинного й вторинного повітря.

Співвідношення між загальними витратами первинного й вторинного повітря та витратами за стадіями процесу суттєво залежить від

якості спалюваного палива. Таке раціональне розподілення дуттьового повітря сприяє не тільки повноті вигорання палива на всіх етапах процесу спалювання, а й зниженню оксидів азоту.

Відомо, що знижена концентрація кисню в зоні виходу летких речовин зменшує емісію шкідливих паливних і термічних оксидів азоту. Водночас, потрібно підтримувати насичення газоповітряної суміші киснем. Його концентрація повинна бути не меншою за величину, при якій відбувається надійне запалювання суміші від відкритого джерела вогню з подальшим активним горінням. А в зоні їхнього активного горіння за потреби уповільнення реакції окислення паливного азоту потрібно підтримувати мінімально можливий коефіцієнт надлишку повітря. При цьому зниження концентрації окислювача не повинно викликати значного росту окислу вуглецю та інших продуктів хімічного недопалу. Отже, повноти спалювання летких речовин доцільно досягати поетапно:

- на стадії їхнього виходу подачу вторинного повітря здійснюють у мінімальній кількості для створення газоповітряної суміші із забезпеченням займання горючих газів;
- далі додають повітря задля створення концентраційно-температурних умов їхньої повноти вигорання.

Ефективність топкового пристрою залежить від рівня інтенсифікації процесу спалювання палива в цілому і особливо від стабільності процесу горіння коксового залишку на колосниковій решітці. Швидкість горіння шару коксу задається швидкістю дуття, м/с, тобто регулюється витратою первинного повітря, м³/с.

Для збереження стійкості шару на решітці швидкість первинного повітря приймають не більше 0,4...0,5 м/с. Таким чином, довжина допалювальної решітки шахтно-шарової топки, м, за підтримання рекомендованого рівня теплового навантаження дзеркала горіння, кВт/м², визначається кількістю коксового залишку, що подається з низу шахти в зону горіння. Його величина пов'язана з якістю палива, у першу чергу із виходом летких речовин, вологістю й зольністю (рис. 3).

Так, спалювання деревного вологого палива із незначною зольністю і великим виходом летких речовин можна здійснювати тільки в шахті зі спалюванням на виході шахти горючих газів в газоповітряній суміші з вторинним повітрям.

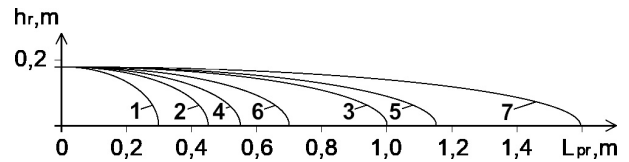


Рис. 3. Криві вигорання твердого палива різної якості на решітці за комбінованої технологічної схеми: номери кривих відповідають табл. 1

Таблиця 1

Характеристика кривих вигорання на рис. 3

Но- мер кри- вої	Потуж- ність теп- логенера- тора, МВт	Марка кам'яного вугілля	Склад пали- ва, %		
			V^{daf}	W^r	A^r
1	2	3	4	5	6
1	0,2	Довгопо- лумене- ве	43,0	13,0	27,8
2	0,5				
3	2,5				
4	0,5	Жирне Ж	32,0	6,0	30,1
5	2,5				
6	0,5	Пісне Т	12,0	6,0	32,0
7	2,5				

Примітки:

1. Склад палива у відсотках:

V^{daf} – вихід летких речовин на суху беззо-
льну масу;

W^r – вологість на робочу масу;

A^r – зольність на робочу масу;

2. Прийняті режимні й конструктивні параметри: середній розмір частинки палива на вході шахти – $\delta_{ши} = 25$ мм; висота вікна (шару) на вході колосникової решітки – $h_n = 180$ мм; швидкість дуттьового повітря на вході шару коксового залишку, що горить на решітці – $W_0 = 0,4$ м/с.

Побудуємо (рис. 3) криві вигорання коксового залишку на колосниковій решітці з поступальним живленням шару під дією плунжерних пристроїв шахтно-шарової механічної топки. Розрахунки виконано за даними робіт [8, 9] для трьох видів вугілля з різними значеннями виходу летких речовин (табл. 1). У розрахунках визначено частку спаленого натурального палива в шахті, $b_{ш}$, %. Прийнято умови випаровування вологи та виходу летких речовин обсягом 95 % від загального їхнього вмісту та приблизно 20 % спаленого в шахті коксу палива від загальної витрати робочої маси палива.

Розміри зони горіння топкового пристрою прийнято за розрахунками процесу спалювання палива. Враховано вимоги до конструкції топків і котлів та нормативних вимог до теплонапруження дзеркала горіння, кВт/м², і топкового об'єму, кВт/м³ [6, 10, 11].

Довжину колосникової решітки визначаємо за формулою:

$$\ell_p = \frac{\delta_n^{2,5}}{2,5 A}, \text{ м}, \quad (1)$$

де δ_n – початковий розмір частинок на початку решітки, м; A – постійна величина, $\text{м}^{1,5}$.

Розмір частинок палива на початку решітки розраховано за умови, що початковий їхній розмір на вході шахти за висотою зменшується пропорційно кількості спаленого палива. Тоді розмір частинок у нижній зоні шахти $\delta_{ки}$, м, залежно від початкового їхнього розміру в шахті $\delta_{ни}$, м, дорівнює:

$$\delta_{ки} = \delta_{ни} (1 - b_{ш})^{1/3}, \text{ м}. \quad (2)$$

У формулі (1) приймаємо, що $\delta_n = \delta_{ки}$, м. Постійна величина

$$A = \frac{2 \cdot 0,185 C_0 D^{0,5} W^{0,5} \delta_n}{\rho v_n}, \quad (3)$$

де C_0 – масова концентрація кисню в шарі, $\text{кг}/\text{м}^3$; D – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$; W – приведена швидкість дуттьового повітря, $\text{м}/\text{с}$; v_n – початкова лінійна швидкість переміщення частинок по решітці, $\text{м}/\text{с}$; ρ – густина частинок, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Приведена швидкість дуттьового повітря, W , $\text{м}/\text{с}$, яка віднесена до живого перерізу шару і температури, K , в шарі дорівнює:

$$W = W_0 T_{ш}/(m T_0), \text{ м}/\text{с}, \quad (4)$$

де W_0 – швидкість дуттьового повітря, $\text{м}/\text{с}$, при нормальних умовах ($P_0 = 101,3 \text{ кПа}$, $T_0 = 273,15 \text{ К}$); $T_{ш}$ – середня температура, K , у шарі, що горить на решітці; m – пористість шару (прийнято в розрахунках $m = 0,5$).

Початкова лінійна швидкість руху частинок:

$$v_n = \frac{B_p}{b h_n \rho_{ш}} = \frac{B_p}{b h_n m \rho}, \text{ м}/\text{с}, \quad (5)$$

де b – ширина решітки, на якій відбувається спалювання, м; $\rho_{ш} = m \rho$ – густина шару, $\text{кг}/\text{м}^3$; B_p – розрахункова витрата палива на вході решітки, $\text{кг}/\text{с}$.

Для ефективного спалювання надшарових газів із забезпеченням нормативних екологі-

чних показників за участю автора були проведені дослідження експериментальних зразків (рис. 4) твердопаливних теплогенераторів з різними системами вторинного дуття.

Розглянемо спалювання сортового мало-зольного палива ($A^c < 8 \%$) з невеликим виходом летких речовин ($V^{daf} < 10 \%$), наприклад, сортового антрациту. Основний процес горіння протікає в нижній частині шахти за ефективною протитечійною схемою. Допалювання завершується на короткій довжині колосникової решітки (до $0,5 \dots 0,6 \text{ м}$). При незначному накопиченні золи й шлаку в шарі, який горить на решітці, високотемпературні продукти згоряння з першої зони з підмішуванням продуктів надшарових газів із вмістом кисню ($\alpha \approx 1,6 \dots 2,0$) з наступних зон забезпечують повноту згоряння летких речовин, які виходять крізь перфоровану стінку шахти.

Ефективне спалювання мало-зольного палива з великим виходом летких речовин можна досягти в теплоізолюваній шахті. Вторинне дуття доцільно подавати в потік високотемпературних газів на виході з нижньої зони шахти. Інтенсивне перемішування горючих газів з повітрям досягається завдяки особливій системі вторинного дуття. Вона складається з розподільного повітряного каналу, приєднаного через регульовальний пристрій до дуттьового вентилятора топкового пристрою, із дуттьовими соплами, обладнаними профільними насадками по висоті вихідного вікна паливної шахти.

Проста конструкція профільних насадок (рис. 5) складається з кутників і накладок з жароміцної сталі. Кутники, які розміщені вершиною назустріч потоку продуктів згоряння з вихідного вікна шахти, з накладками із внутрішнього боку кутників утворюють канал змінного перерізу за висотою з отворами для виходу вторинного повітря. Продукти газифікації і горіння палива виходять у камеру згоряння крізь прозори між кутниками. За ними створюється зона відривання потоку – вихрова зона зі зниженим тиском.

Вторинне повітря, що подається крізь сопла у внутрішній простір, створений кутниками і накладками, розповсюджується за всією довжиною насадок. Отже, воно перекриває всю ширину вихідного вікна шахти за рахунок додаткового розрідження, створеного вихровою зоною.

За такої конструкції створюються оптимальні умови:

- для ефективного розподілення вторинного повітря в газовому потоці на вході до футерованої камери спалювання;

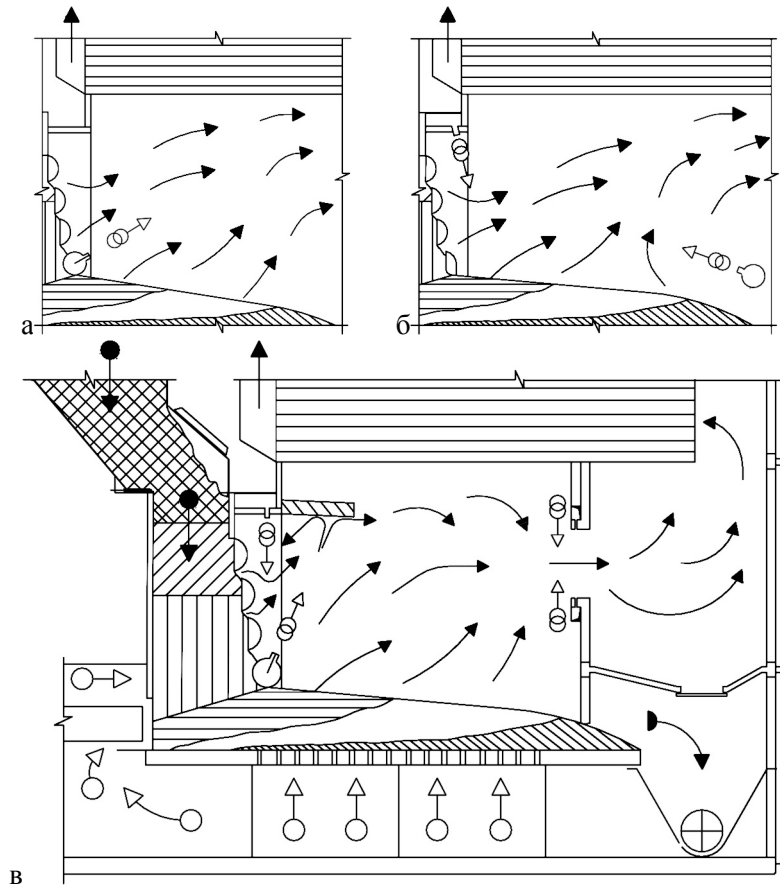


Рис. 4. Подача вторинного повітря в шахтно-шаровій механічній топці:
 а – розподільний водоохолоджуваний колектор в зоні інтенсивного виходу легких речовин;
 б – зустрічні струмени; в – багатозонне розподілення потоків

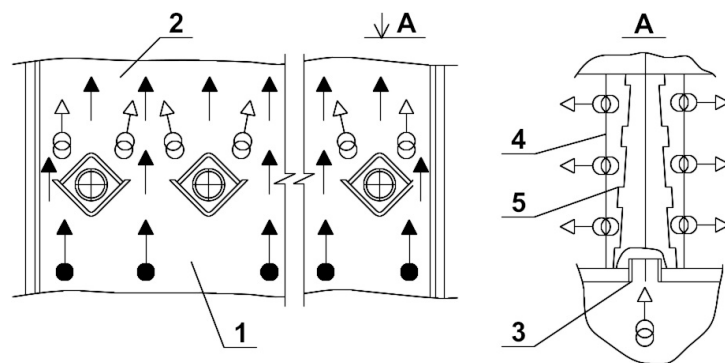


Рис. 5. Схема подачі вторинного повітря крізь профільні насадки на дуттьових соплах:
 1 – вікно виходу продуктів газифікації з шахти; 2 – футерована камера згоряння; 3 – сопло;
 4 – кутник; 5 – накладка профільної насадки

- для підтримання необхідних температурних і концентраційних умов для підпалювання газоповітряної суміші та вигорання горючих речовин.

Розглянемо спалювання реакційного зольного палива ($A^c > 8\%$, $V^{daf} > 10\%$) у шахтно-шаровій механічній топці малої потужності (до 0,5 МВт) при відносно невеликій довжині активної зони горіння на колосниковій решітці (до 0,7 м). Для цього ефективною є схема подачі вторинного повітря в зоні інтенсивної газифікації палива (нижня зона шахти) та підмішу-

вання високотемпературної газоповітряної суміші із зони вигорання вогнищевих залишків (рис. 4 а). Система вторинного повітря містить розподільний канал (колектор) з соплами. Подача повітря до цього каналу здійснюється від вентилятора топкового пристрою. Вентилятор одночасно здійснює роздільну регульовану подачу вторинного повітря і первинного повітря до шару палива. Кількість вторинного повітря становить 10...15 % від загальної витрати дуттьового повітря, м³/с, що забезпечує умови запалювання легких речовин. З урахуванням

досліджень [3, 8] прийнято крок s , м, сопел діаметром d , м, за умови співвідношення $s/d \approx 4$. Діаметр сопел прийнято за умови швидкості витоку струмин із гирла в межах 25...30 м/с. Колектор вторинного дуттьового повітря розміщений у високотемпературній зоні, тому виконаний водоохолоджуванним. Напрямок струмини повітря збігається з траєкторією виходу летких речовин. Це сприяє інтенсивному перемішуванню газоповітряної суміші та створенню концентраційних умов для її надійного займання при мінімальній концентрації кисню.

Для твердопаливних котлів більшої потужності (0,63...4,0 МВт) при спалюванні зольного палива процес допалювання здійснюється на видовженій колосниковій решітці. Таким чином забезпечуються раціональне розміщення обладнання в котельній, зручність обслуговування, надійність експлуатації тощо.

Здебільшого, решітку обладнують пристроями для шурування шару палива, яке горить і спікається. Зазначеними пристроями також забезпечується рівномірне горизонтальне переміщення шару по мірі його вигорання. У цьому випадку, доцільно, крім колектора вторинного дуття в зоні газифікації, передбачати фронтальний повітряний колектор. Струмини з сопел останнього направляють високотемпературні продукти згоряння з надлишковим киснем назустріч потоку газоповітряної суміші летких речовин та надшарових газів з початкових ділянок решітки (рис. 4 б). Горіння такої суміші горючих газів з повітрям забезпечує нормативну повноту згоряння.

Більш ефективною є технологічна схема з двокамерною топкою і багатозонною системою вторинного повітря (рис. 4 в). У первинній камері згоряння струмини вторинного повітря із сопел колектора, розміщеного в нижній зоні шахти, забезпечують інтенсивне перемішування. У результаті створюється газоповітряна суміш з відповідними концентраційними умовами для займання й горіння летких речовин з мінімальним вмістом кисню.

Струмини повітря з нижніх сопел спрямовані на склепіння у верхній зоні шахти таким чином, що одна частина газоповітряного потоку потрапляє у вихрову зону допалювання газів, а інша – створює зворотній низхідний потік уздовж перфорованої стінки. При цьому також відбувається підсмоктування струминами з нижніх сопел високотемпературних газів з

допалювальної решітки.

На виході первинної камери струминами повітря із дуттьових сопел організовано вихровий потік газоповітряної суміші. До останньої підмішуються, крім недопалених газів із зони газифікації, високотемпературні гази в суміші з киснем первинного повітря із зони догоряння на кінці решітки. У вторинній камері завершується процес догоряння газів, а також осадження більшості зольних частинок на дні камери з подальшим видаленням їх до зольника. Для ефективного спалювання довгопопеленевого палива ($V^{daf} > 40\%$) доцільно додавати повітряні струмини з верхніх сопел уздовж перфорованої стінки шахти.

Організація процесу спалювання за такою технологічною схемою з багатозонною системою вторинного дуття здійснюється за низьких коефіцієнтів надлишку повітря $\alpha \approx 1,2...1,3$. Завдяки цьому досягається:

- надійне займання суміші надшарових газів з повітрям;
- стабільність протікання процесу горіння;
- можливість забезпечити мінімальний вміст зольних частинок у відхідних газах;
- екологічні та економічні показники спалювання розширеного діапазону палив, серед яких низькосортних на рівні вимог вітчизняних і європейських норм.

Висновки. Для зниження шкідливих викидів у відхідних газах твердопаливних котлів, особливо, на низькосортному паливі, ефективно використовувати раціональні схеми розподілення дуттьового повітря (первинного і вторинного) за стадіями горіння палива та налагодження параметрів цього розподілення за режимом експлуатаційної роботи топкових пристроїв. Обґрунтовані ефективні системи вторинного повітря для механічної топки з комбінованою шахтно-шаровою схемою спалювання дозволяють забезпечити максимальне допалювання горючих газів.

Перспективи подальших досліджень. З метою поширення наведених результатів практичного досвіду спалювання твердого палива за різними технологічними схемами, подальшим розвитком роботи намічається уточнення методики розрахунку систем струминного дуття, серед яких багатозонні системи розподілу вторинного повітря, з урахуванням комбінованих технологічних схем спалювання твердого палива різної якості.

Література

1. Основы практической теории горения: учебное пособие для вузов /В.В. Померанцев, К.М. Арефьев, Д.Б. Ахмедов и др.; под ред. В.В. Померанцева. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 312 с.
2. Хзмалян Д.М. Теория топочных процессов: учебное пособие для вузов /Д.М.Хзмалян. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 332 с.
3. Иванов Ю.В. Эффективное сжигание надслойных горючих газов в топках/Ю.В. Иванов. – Таллин: Эстонское государственное издательство, 1959. – 324 с.
4. Головкин С.И. Энергетическое использование древесных отходов / И.Ф. Коперин, В.И. Найденев. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 224 с.
5. Nickel E., Hofeld G. Erhöhung der Primaregienutzung und Verringerung der Emission bei mit festen Brennstoffen rostoffgefeuerten, vollautomatisch arbeitenden Warmezeugern/ E. Nickel, G.Hofeld. – Germany, 1980. – 181 p. (ISSN 0240-7608, N BMFT-FB-TB1-222 – K., 1985. – 181 с. – пер.). Никель Е., Хефельд Г. Повышение использования первичных энергетических ресурсов и уменьшение пылевыведения в автоматических установках со слоевыми топками на твердом топливе/ Е. Никель, Г. Хефельд. – Германия, 1980. – 181 с.
6. Нечаев Е.В. Механические топки для котлов малой и средней мощности /Е.В. Нечаев, А.Ф. Лубнин. – Л.: Энергия, 1968. – 311 с.
7. Жовмір М.М. Концентраційні умови вимушеного запалювання летких при спалюванні біомаси/ М.М. Жовмір // Відновлювальна енергетика. – 2013. – № 4. – с. 75-81.
8. Сенчук М.П. Швидкість горіння твердого палива в топкових процесах опалювальних котлів/ М.П.Сенчук//Вісник національного університету «Львівська політехніка», серія: теорія і практика будівництва.–2016. – №844. – С.194–202.
9. М.П.Сенчук, А.В.Барковський. Simulation of Solid-Fuel Hybrid Combustion / М.П.Сенчук, А.В.Барковський// Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. /Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2017. – Вип. 21. – с. 11-17.
10. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). – Санкт-Петербург: ВТИ, НПО ЦКТИ, 1998. – 257 с.
11. Правила технічної експлуатації систем теплопостачання комунальної енергетики України. – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, КНУБА, 1999. – 200 с.

References

1. Osnovy prakticheskoi teorii goreniiia: uchebnoie posobiie dla vuzov /V.V. Pomerantsev, K.M. Ariefiev, D.B. Akhmiedov i dr.; pod. V.V. Pomerantseva. – L.: Enerrhoatomizdat, 1986. – 312 p.
2. Khzmalian D.M. Teioriiia topochykh prozessov: uchebnoie posobie dla vuzov/D.M. Khzmalian. – M.: Enerrhoatomizdat, 1990. – 332 s.
3. Ivanov Yu.V. Effektivnoie szhiganie nadsloinykh goriuchikh gazov v topkakh/Yu.V. Ivanov. – Tallin: Estonskoie gosudarstviennoie izdatelstvo, 1959. – 324 s.
4. Golovkov C.I. Energeticheskoe ispolzovaniie dreviesnykh otkhodov/ I.F. Koperin, V.I.Naidenov. – M.: Liesnaia promyshliennost, 1987. – 224 s.
5. Nickel E., Hofeld G. Erhöhung der Primaregienutzung und Verringerung der Emission bei mit festen Brennstoffen rostoffgefeuerten, vollautomatisch arbeitenden Warmezeugern/ E. Nickel, G.Hofeld. – Germany, 1980. – 181 p. (ISSN 0240-7608, N BMFT-FB-TB1-222 – K., 1985. – 181 с. – пер.).
6. Nechaiev E.V., Lubnin A. F. Mekhanicheskiie topki dla kotlov maloi I srednei moshchnosti /E.V. Nechaev, A.F. Lubnin. – L.: Energiia, 1968. – 311 s.
7. Zhovmir M.M. Konzentrziini umovy vymushenogo zapaliuvannia letkykh pry spaliuvanni biomasy/ M.M. Zhovmir // Vidnovliuvalna energetika. – 2013. – № 4. – s. 75-81.
8. Senchuk M.P. Speed of Solid Fuel Burning in the Thermal Processes of Heating Boilers/ M.P. Senchuk//Announcer of national university "Lviv Polytechnic", series: Theory and Practice of Building. – 2016. – №844. – p.194–202.
9. M.P.Senchuk, A.V.Barkovskiyi. Simulation of Solid-Fuel Hybrid Combustion/Senchuk M.P., Barkovskiyi A.V. // Ventilation, lighting and heat and gas supply: sci. Tech. save / Kiev National University of Construction and Architecture. - 2017. - Voip. 21. - p. 11-17.
10. Thermal calculation of boilers (normative method). - St. Petersburg: VTI, NPO CKTI, 1998.- 257 p.
11. Rules of technical exploitation of heat supply systems for public utilities of Ukraine. - K .: The holding company of the budivnitztva, arhitekturi ta zhitlovoi polity Ukrainy, KNUBA, 1999. - 200 p. 2017. № 877. P.25-32.

УДК 697.432

Вторичный воздух в технологической схеме сжигания твёрдого топлива в слое

М.П. Сенчук

к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина, smp21@ukr.net

ORCID: 0000-0001-8968-7336

Аннотация. Рассмотрены различные способы струйного дутья в слоевых топках с анализом его влияния на эффективность перемешивания надслоевых горючих газов с воздухом с образованием необходимых топочных условий для обеспечения полноты сгорания газозвушной смеси. Приведена целесообразность применения в твердотопливных теплогенераторах небольшой мощности системы воздушного (вторичного) дутья с невысоким давлением дутьевого воздуха. Приведён анализ схем подачи вторичного воздуха в классических технологических схемах сжигания твёрдого топлива в слое (противоточной, прямоточной, поперечной) и их реализация в конструкциях распределённых механических топочных устройствах (с ретортой, с шурующей планкой и с цепной решёткой). В работе рассмотрены различные схемы подачи вторичного воздуха в комбинированных технологических схемах сжигания твёрдого топлива. Приведены технические решения по основным конструктивным узлам систем вторичного воздуха в топочных устройствах: шахтного типа – профильные насадки на соплах вторичного воздуха на выходе из топливной шахты; шахтно-слоевого типа – водоохлаждаемый воздушный коллектор с дутьевыми соплами в зоне газификации топлива. Благодаря рациональной организации подачи вторичного воздуха в зависимости от качества сжигаемого топлива (выхода летучих веществ, влажности, зольности, фракционного состава) формируется смесь надслоевых газов с воздухом. Её концентрационно-температурные условия обеспечивают надёжное её зажигание, стабильное горение и полноту выгорания горючих веществ. В работе обоснован выбор эффективной системы воздушного дутья для шахтно-слоевых механических топков отопительных котлов небольшой мощности (до 4 МВт).

Ключевые слова: комбинированная технологическая схема сжигания, первичный воздух, система вторичного воздуха, струйное дутьё, дутьевые сопла, коллектор воздушный, теплогенератор, твердотопливный котёл, топочное устройство, шахтно-слоевая топка, топливная шахта, колосниковая решётка

UDC 697.432

Secondary Air in the Scheme of Combustion of Solid Fuel in the Layer

M. P. Senchuk¹

¹PhD, associate professor. Kiev National University of Construction and Architecture, Kiev, Ukraine, smp_21@ukr.net

ORCID: 0000-0001-8968-7336

Abstract. Various methods of stream combustion in layer furnaces are considered with the analysis of their influence on the efficiency of mixing of overlayers combustible gases with air for the formation of necessary combustion conditions to ensure the completeness of combustion of the gas-air mixture. The expediency of using in the solid fuel low power heat generators the system of air (secondary) blast with low pressure of blast air is shown. The analysis of secondary air flow circuits in classical technological schemes of solid fuel combustion in a layer (flow, direct flow, transverse) and their implementation in the structures of common mechanical furnace devices (with a retort, with a poke plank and with a chain grill) are presented. The paper deals with different schemes of secondary air supply in combined technological schemes of solid fuel combustion. The technical solutions for the main structural units of the secondary air systems in the furnace are presented. For the shaft type of a furnace, there are profile muzzles on the secondary air nozzles at the outlet of the fuel shaft. For the shaft-layer type of a furnace, there is a water-cooled air collector with blast nozzles in the gasification zone of the fuel. Due to the rational organization of the secondary air supply, depending on the quality of the combusted fuel (volatile yield, humidity, ash content, fractional composition), a mixture of over-gases with air is formed. The concentration and temperature conditions of it should ensure its reliable ignition, stable combustion and complete combustion of combustible substances. The paper substantiates the choice of an effective air blowing system for mechanical furnaces in low-power shaft boilers (up to 4 MW). Effective burning of over-gases rises the efficiency of boilers and decreases atmospheric pollution.

Keywords: combined combustion scheme, primary air, secondary air system, jet blast, blast nozzles, air collector, heat generator, solid fuel boiler, furnace, shaft-furnace, fuel shaft, grill

Надійшла до редакції / Received 06.10.2019.