

ШВИДКІСТЬ ГОРІННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА В ТОПКОВИХ ПРОЦЕСАХ ОПАЛЮВАЛЬНИХ КОТЛІВ

© Сенчук М. П., 2016

Проаналізовано відомі дослідження за швидкістю горіння твердого палива, розглянуто поширені схеми шарових механічних топків, описано шахтно-шарову схему для спалювання твердого палива з різними характеристиками: теплоти згорання, зольності, вологості, виходу летких речовин, фракційному складі. Наведено аналітичні рівняння для розрахунку основних параметрів зони горіння на основі математичної моделі процесу горіння твердого палива в шахтно-шарових топках з поступальним і обертальним його переміщенням на колосниковій решітці. Проаналізовано залежність конструктивних параметрів зони горіння на колосниковій решітці від основних факторів, які впливають на процес вигорання частинок палива в шарі: швидкості дуттьового повітря, розміру частинок, надміру повітря з урахуванням сушіння та газифікації натурального палива в шахті. За результатами аналітичних досліджень отримано графічні залежності конструктивних параметрів топкової зони вигорання палива від його основних характеристик та режимних параметрів процесу в шахтно-шарових механічних топках з плунжерним штовхачем механізованих опалювальних котлів теплопродуктивністю від 0,25 до 1,25 МВт.

Ключові слова: швидкість горіння, механічна топка, шахтно-шарова схема спалювання, колосникова решітка з поступальним (обертальним) переміщенням палива, математична модель процесу, конструктивні і режимні параметри зони горіння.

In the article there were analyzed researches of combustion speed of solid fuel, here are considered common schemes of ball mechanical fire-boxes, is described mine-layered scheme for burning of solid fuel with different characteristics: calorific value, ash content, moisture, volatile matters, fractional part, that are known. Here are analytical equations to calculate the basic parameters of the combustion zone based on a mathematical model of burning solid fuel process in mine-layered fire-boxes with its translational and rotational movement on the grid-iron lattice. Was analyzed the dependence of structural parameters of the combustion zone on the grid-iron lattice from the main factors, that make an influence to the burning up process of fuel's particles into the layer: speed of income air, size of particles, excess of the air including drying and gasification of natural fuel in the mine. According to the results of analytical researches were obtained graphic ratios of combustion zone constructive parameters from its main characteristics and operational parameters of the process in the mine-layered mechanical fire-boxes with plunger pusher of mechanized heating boilers with heating capacity from 0.25 to 1.25 MW.

Key words: speed, rate of burning, mechanical furnace (fire-box), mine-layered scheme of burning up, grid-iron lattice with forward, translational (rotational) movement of the fuel, mathematical model of the process, constructive and regime, operational parameters of the combustion zone.

Постановка проблеми. Актуальність раціонального використання власних енергетичних ресурсів, зокрема твердопаливних, є очевидною. Враховуючи дефіцит в Україні основних традиційних видів палива природного газу і нафти, залежність від імпортованих енергоносіїв, а

також існуючий стан структури паливно-енергетичного комплексу із значною часткою твердого палива у виробництві теплової енергії, ефективність його використання, зокрема в котлах невеликої і середньої продуктивності, є важливим питанням. Перспективним напрямом в стабілізації паливно-енергетичного балансу країни є використання місцевих енергоресурсів: вугілля, торфу, біомаси як палива для виробництва теплової енергії. Нарощування обсягів споживання твердого палива повинно супроводжуватися підвищенням ефективності його спалювання із забезпеченням як економічних, так і екологічних показників на рівні сучасних вимог. Нормативних показників роботи твердопаливних котлів з урахуванням гармонізації національних норм зі стандартами ЄС можна досягти завдяки ширшому впровадженню нових технологій по спалюванню палива, зокрема механізованого способу, проведенню попередньої підготовки палива до спалювання (гранулювання, брикетування, пакування тощо), глибокому очищенню відхідних газів. Якість спалювання різних видів твердого палива з відмінними характеристиками (за фракційним складом, вологістю, вмістом та температурними властивостями золи, виходом летких речовин тощо) залежить від раціонального поєднання конструктивних та режимних параметрів топкової зони з характеристиками спалюваного палива. Розроблення конструкції топкових пристроїв, зокрема встановлення робочих параметрів зони горіння, ґрунтується на даних нормативної та довідкової літератури [1–3], які здебільшого мають загальний характер і не враховують особливостей різних схем організації процесу спалювання та значної відмінності різних марок, груп і класів кожного виду твердого палива. Тому, як правило, виконується доробка конкретного типу конструкцій топковий за результатами їх експериментальних випробувань з навантаження дзеркала горіння, товщини шару, надміру повітря з урахуванням узагальнюючих нормативних рекомендацій.

Одним із напрямків уточнення методики розрахунку параметрів топкової зони є аналітичні розрахунки за моделями процесу горіння твердого палива, що базуються на даних, отриманих за результатами лабораторних досліджень, за швидкістю горіння палива залежно від його технологічних властивостей та гідродинамічних (режимних) умов процесу. Швидкість горіння палива найбільш повно характеризує процес спалювання та в основному узагальнює вплив режимних і конструктивних параметрів топкової зони на якість проходження процесу і є придатною для виконання інженерних розрахунків топкового процесу горіння.

Забезпечення ефективного спалювання твердого палива, відмінного за генетичними ознаками, технологічними властивостями та фракційним складом, шляхом встановлення відповідних раціональних параметрів топкової зони горіння з урахуванням інтенсивності процесу спалювання палива є важливим завданням. Такі дослідження дають змогу раціональніше підібрати параметри топки та зменшити обсяг експериментальних випробувань на доопрацювання дослідної конструкції.

Мета роботи – розрахункові дослідження конструктивних і режимних параметрів зони горіння шахтно-шарової механічної топки механізованого твердопаливного котла для ефективного спалювання кускового твердого палива залежно від характеристик спалюваного палива на підставі даних за швидкістю його горіння та розрахункової математичної моделі технологічного процесу.

Аналіз досліджень із визначення швидкості горіння твердого палива. Горіння твердого палива – це складний фізико-хімічний процес окиснення палива, який супроводжується виділенням продуктів окиснення: CO_2 , H_2O , CO , CH_4 , NO_x та ін. та теплоти, а також твердих негорючих решток – золи й шлаку. Основні стадії горіння: нагрівання і сушіння палива з виділенням парів води; термічний розпад складних органічних сполук палива та виділення летких речовин у газоподібному вигляді; горіння коксового залишку – взаємодія між вуглецем коксу з киснем, вуглекислотою і водяною парою; горіння летких речовин та продуктів газифікації в об'ємі камери згорання. Стадія горіння коксового залишку – це основна стадія горіння натурального твердого палива, від інтенсивності тепловиділення при його горінні залежить проходження всіх інших стадій процесу [4, 5].

Відомі дослідження горіння твердого палива проводили за такими напрямками: вигорання частинок в камері з постійними величинами температури, концентрації кисню і швидкості

дугтьового повітря; вигорання порції палива при одноразовому завантаженні в камеру згорання; квазістаціонарне горіння палива в шарі – поточний процес горіння шару палива при постійному його живленні.

Горіння частинок палива

Дослідження горіння частинок натурального палива ґрунтуються на дифузійно-кінетичній теорії горіння вуглецю. Горіння вуглецю – гетерогенний процес, який супроводжується як дифузією кисню і продуктів горіння біля поверхні частинки, що горить, так і кінетикою горіння на поверхні і всередині масиву частинки.

Вигорання часток в об'ємі може відбуватися залежно від використання кисню в поверхневому шарі за такими схемами поверхневого шару, що:

- горить – горіння проходить при порівняно невисоких температурах, кисень досягає поверхні частинки і безпосередньо реагує з вуглецем;
- не горить – горіння дрібних часток в умовах середніх температур пиловугільних топків, продукти дифузійного процесу CO і H₂ виходять з поверхневого шару і згоряють в топковому об'ємі.

За результатами великої кількості досліджень горіння частинок різних видів палива, які проводили з метою виявлення впливу на процес спалювання різних факторів: температури в камері згорання, швидкості обтікання поверхні частинки потоком газу, розміру частинки, концентрації окислювача, вмісту летких речовин в паливі, зольності палива тощо, встановлено таке:

- вплив швидкості газоповітряної суміші, яка обтікає частинку, на її вигорання, є визначальним при високих температурах, коли швидкість реакції велика, і навпаки, малий при низьких температурах – за умов кінетичної реакції;
- швидкість горіння частинки значно зростає з підвищенням концентрації кисню в дугтьовому потоці;
- леткі речовини є інтенсифікатором процесу горіння частинок, хоч при їх інтенсивному виході гальмується горіння коксу (середня швидкість горіння частинки антрациту приблизно втричі менша від швидкості горіння частинки такого ж діаметра кам'яного газового вугілля);
- швидкість вигорання частинки не залежить від її розміру для кінетичної області горіння та обернено пропорційна діаметру частинки для дифузійної області горіння, а тривалість горіння пропорційна діаметру частинки в квадраті;
- зола мало впливає на швидкість виходу летких речовин, а головним чином впливає на вигорання коксового залишку, зі зменшенням розміру частинок вплив зольності знижується;
- швидкість горіння частинки при топкових температурах визначається тільки гідродинамічними умовами на її зовнішній поверхні, що підтверджено експериментальними даними досліджень.

Узагальнення даних багатьох експериментальних досліджень по горінню частинок коксу виконано в дифузійних критеріях Нусельта і Пекле

$$Nu_D = \frac{K_s^c d}{C_o D}, \quad Pe_D = \frac{Wd}{D}, \quad (1)$$

де K_s^c – питома швидкість горіння частинки коксу, г/(см²·с); d – розмір частинки, см; C_o – молярна концентрація кисню в потоці, г/см³; W – швидкість потоку, що обтікає частинку, см/с; D – коефіцієнт дифузії, см²/с.

Цей метод узагальнення дав змогу найповніше описати характер процесу вигорання частинки з урахуванням основних факторів, що впливають на інтенсивність процесу, з можливістю практичного визначення швидкості горіння частинок у топкових пристроях зі схемою процесу горіння в камері згорання [5].

Горіння твердого палива в шарі

Дослідження горіння твердого палива в шарі проводили як за вигоранням порції палива в камері згорання, так і за процесом горіння шару палива за постійного його живлення. Перший випадок характерний для ручних топків, другий – для механічних топків. Вивчають горіння частинок

палива в шарі, як правило, за такими методами дослідження: вимірювання складу газів на виході з шару та визначення динаміки газоутворення по висоті шару, що горить.

Горіння частинок коксового залишку в шарі відбувається за схемою подвійного шару, що горить – процес проходить при високих температурах, кисень не досягає поверхні вуглецю, а витрачається повністю в поверхневому шарі на догорання CO і H₂, вигорання вуглецю відбувається тільки за реакціями відновлення з CO₂ і H₂O. На гетерогенний процес горіння часток в шарі суттєво впливають фракційний склад палива та його якість (вміст і температура плавлення золи, вміст летких речовин тощо), режимні параметри процесу (швидкість дуттьового повітря, концентрація кисню в шарі, надмір повітря). Узагальнюючою характеристикою топкового процесу, що в сукупності враховує вплив всіх основних факторів на інтенсивність газоутворення, є питома швидкість горіння, K_s , г/(см²·с), яка дорівнює відношенню кількості спалюваного в одиницю часу палива, тобто перетвореного на газоподібний стан, до сумарної поверхні реагування частинок палива в шарі [4].

$$K_s = B / S, \quad (2)$$

де B – кількість спалюваного твердого палива, г/с; S – сумарна поверхня реагування частинок, см².

Метою дослідження нестационарного вигорання порції палива є визначення основної характеристики – тривалості вигорання палива та змінних у часі характеристик: витрати повітря, складу газів і маси палива. Стационарний процес горіння шару палива досліджували, встановлюючи склад газів за висотою шару та визначаючи його аеродинамічний опір.

За результатами великого об'єму досліджень в широкому діапазоні факторів (швидкості дуттьового повітря, концентрації кисню, зольності, розміру частинок), що впливають на вигорання шару палива, зроблено такі висновки:

- значний вплив на інтенсивність процесу горіння має швидкість дуттьового повітря – з її зростанням інтенсифікується вигорання частинок шару;

- інтенсивність горіння шару зростає зі збільшенням виходу летких речовин (розмір кисневої зони відповідно зменшується і приблизно становить у розмірі частинок: для антрациту – 2,5; для деревного вугілля – 1,5; для бурого вугілля – 1,3; спостерігається пропорційність величині кисневої зони величині відновлювальної зони – співвідношення приблизно 1:4);

- розмір частинки впливає на формування шару, водночас і на інтенсивність горіння: для однакової висоти шару швидкість горіння більша для частинок меншого розміру внаслідок збільшення поверхні реагування;

- встановлено неоднозначний вплив зольності палива на протікання процесу: за однакової швидкості дуття швидкість горіння знижується при збільшенні зольності, разом з тим за однакової зольності її гальмівний вплив зростає при форсуванні дуття. Помірне шурування шару зменшує негативний вплив зольності, енергійне шурування внаслідок збільшення провалу та механічного подрібнення часток, а також шурування при розплавленому стані шлаку знижує якість процесу;

- зі збільшенням концентрації окислювача підвищується температура в кисневій зоні і зростає швидкість горіння частинок в шарі.

Результати досліджень підтверджують, що інтенсивність горіння частинок в шарі визначається швидкістю дуття, W , см/с, без значного впливу наведених вище інших факторів. Так, швидкість горіння частинок коксу, K_s^c , г/(см²·с), в шарі висотою близько $10 \cdot \delta_n$ (надмір повітря близько 1) дорівнює

$$K_s^c = kW10^{-6}, \quad (3)$$

де $k = 420$ – для нестационарного вигорання шару, $k = 370$ – для стационарного процесу горіння шару палива; d_n – початковий розмір частинки.

Виклад основного матеріалу. Горіння стационарного шару, характерного для механізованого спалювання твердого палива в шарі, який проходить за постійної витрати повітря та подачі необхідної кількості палива в зону горіння, досліджено за участю автора з метою встановлення

впливу на швидкість горіння недостатньо вивчених факторів: розміру частинок і надміру повітря. Проведено великий об'єм досліджень в діапазоні швидкостей дуттьового повітря на вході шару від 0,2 до 0,4 м/с, розмірів частинок від 6 до 50 мм, коефіцієнтів надміру повітря на виході шару від 0,8 до 2,0 на коксі кам'яного вугілля і натуральних паливах (антрациті, кам'яному вугіллі з різними величинами за зольністю та виходом летких речовин). За узагальненими критеріальними залежностями за результатами обробки дослідних даних [6] отримано аналітичні рівняння для розрахунку питомої швидкості горіння частинок коксу в стаціонарному шарі на колосниковій решітці:

$$K_s^c = \frac{0,185 \cdot C_{\text{осер}} D^{0,5} W^{0,5}}{d^{0,5}}, \text{ при } 17 \leq Pe_D < 320, \quad (4)$$

де $Pe_D = Wd/D$ – дифузійний критерій Пекле; W – приведена швидкість дуттьового повітря, яка віднесена до живого перерізу шару і температури в шарі, см/с; d – розмір частинок в шарі, см; D – приведений коефіцієнт дифузії, см²/с; $C_{\text{осер}}$ – середня молярна концентрація кисню в шарі, г/см³.

Наведена аналітична залежність придатна для якнайповнішого описання проходження процесу горіння шару з урахуванням основних факторів, що впливають на інтенсивність процесу, та для практичних розрахунків параметрів топкової зони в деяких схемах горіння шару, зокрема в шахтно-шаровій схемі.

В опалювальних котельних з котлами теплопродуктивністю до 4 МВт найпоширеніше спалювання твердого палива в шарі, що зумовлено прийнятними капітальними затратами на впровадження та надійністю і простотою в експлуатації. Технологія спалювання в шарі ґрунтується на класичних схемах організації процесу горіння: прямої, протитечійній, поперечній (рис. 1).

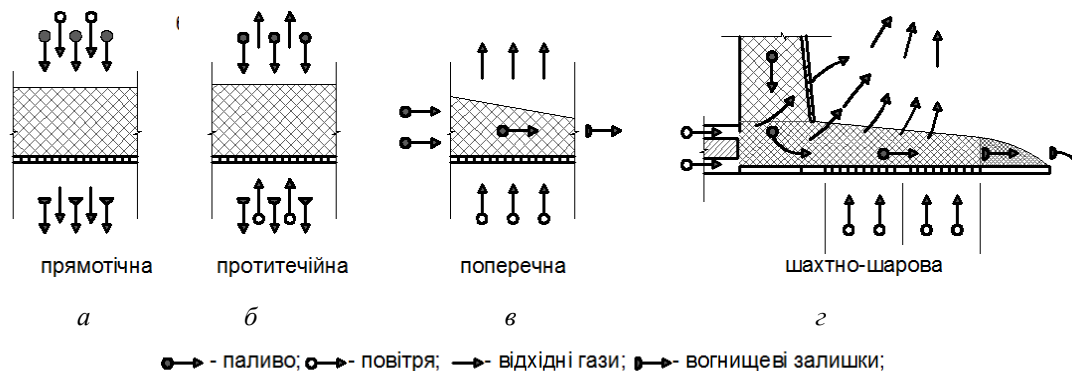


Рис. 1. Схеми горіння твердого палива в шарі

Вибирають схему організації горіння палива, враховуючи вид палива, його робочий склад, вміст та температурні властивості золи тощо, а також режимні параметри експлуатаційних умов. Протитечійна зі сталим шаром та прямої схеми ефективні при спалюванні якісного малозольного палива (антрациту, гранульованих рослинних та деревних відходів тощо). Поперечна схема забезпечує можливість механізувати процес спалювання, підтримання поточності щодо подачі свіжих порцій палива на горіння і видалення вогнищевих решток, тому поширена в конструкціях механічних топков для спалювання зольних палив [7]. Конструкції відомих механічних топкових пристроїв для спалювання твердого палива в шарі дуже різноманітні (рис. 2), що пояснюється значною відмінністю в складі робочої маси палива, зокрема вмісту баласту – золи, вологи, фракційного складу, виходу летких речовин, а також здатності до спікливості вогнищевих решток тощо. У конструкціях механічних топков механізованих твердопаливних котлів реалізовано переважно поперечну схему подачі палива і повітря (топки з ланцюговою решіткою, з шуруючою планкою, з обертовою решіткою, з хиткими колосниками, з перештовхуючими колосниками нахиленої, горизонтальної та каскадної решіток, з вібраційною решіткою). У схемі ретортної топки поєднано протитечійну і поперечну схеми для спалювання малозольного сортового палива.

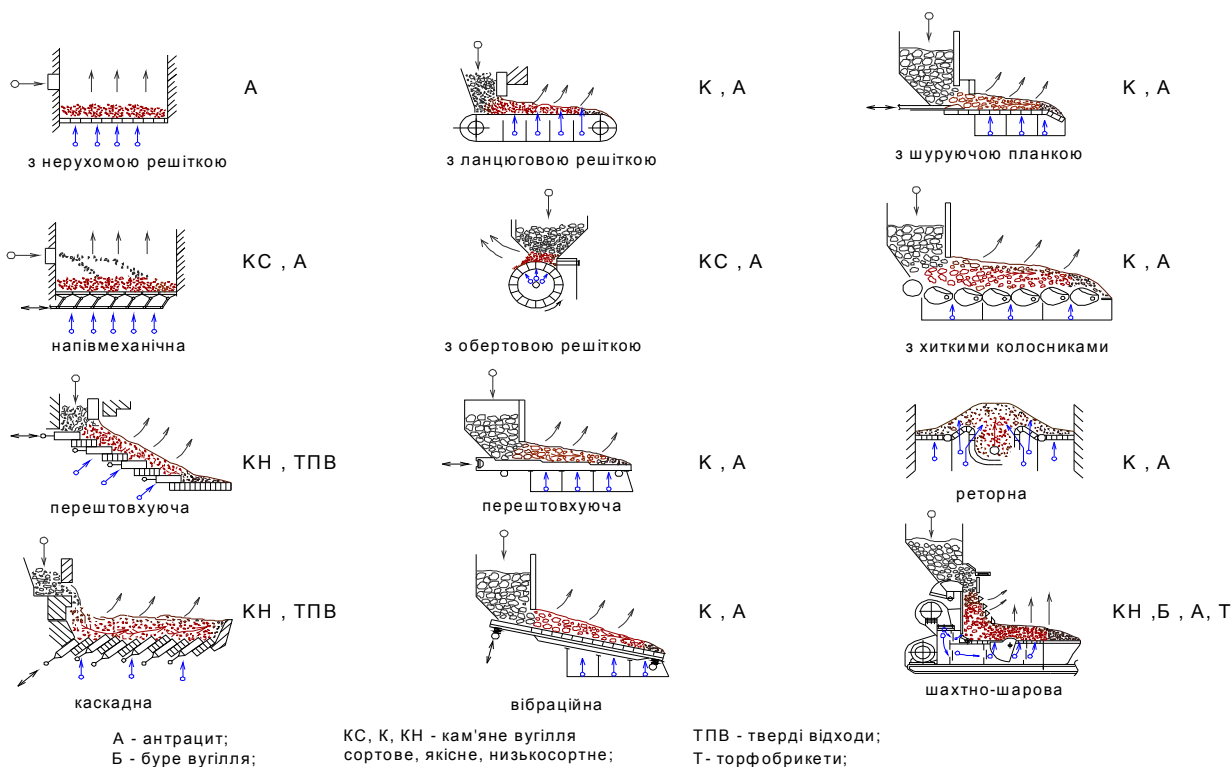


Рис. 2. Схеми топок твердопаливних котлів

Розширити діапазон спалюваного палива можна за комбінованої схеми, яка реалізована в шахтно-шарових механічних топках із плунжерним штовхачем [8]. Така комбінована схема забезпечує поєднання піролізного процесу в шахті за прямохідною схемою із шаровим горінням на колосниковій решітці за поперечною схемою. У вертикальній шахті із затискнутою решіткою відбувається сушіння та газифікація натурального палива під дією високої температури шару, що горить у нижній зоні, вихід летких речовин в топкову камеру, накопичення в нижній частині шахти однорідного палива – переважно коксу, що інтенсивно підпалюється за протитечійною схемою. Спалювання шахтного піролізного газу відбувається у високотемпературному факелі горіння коксу. Процес горіння коксового залишку палива відбувається на колосниковій решітці за поперечною схемою: дуттьове повітря в необхідній кількості подається під решітку з розподіленням по зонам, а нова порція коксу палива, що горить, з низу шахти переміщується (під дією штовхача механічної топки) по колосниковій решітці з заданою швидкістю, при якій на прийнятій довжині решітки забезпечується повне його догорання до золи і шлаку з подальшим видаленням їх в зольник.

Необхідна довжина решітки залежить від якості палива та режимних і конструктивних параметрів зони горіння. Конструкцію колосникової решітки з поступальним переміщенням палива, що горить, застосовують переважно в механічних топках механізованих котлів потужністю понад 100–300 кВт. Для малогабаритних котлів невеликої потужності доцільно застосовувати топки з обертальним переміщенням палива по решітці.

Стабільність і ефективність роботи шарових топок забезпечується при сприятливих теплових та аеродинамічних умовах, що визначаються насамперед конструктивними і режимними параметрами зони горіння. Вимоги до основних параметрів деяких типів топкових пристроїв нормуються [1–3 та ін.], з урахуванням яких виконують відповідні розрахунки і розробляють конструкції. Водночас нормативи мають загальний характер і не враховують особливостей різних схем організації топкового процесу, особливо удосконалених чи нових способів. Тому доводять конструкцію топок за результатами експериментальних випробувань натурних зразків за максимально наближених до експлуатаційних умов (режими роботи котла протягом доби, опалювального сезону та року, умови зберігання палива на складі, склад і фракційність палива,

ступінь механізації подачі палива в бункер топки і видалення золи і шлаку тощо). Такі випробування супроводжуються великими затратами матеріальних і трудових ресурсів, знизити які можна завдяки уточненим розрахункам конструктивних розмірів з урахуванням характеристик спалюваного палива і режимних параметрів роботи топки.

Таблиця 1

Розрахункові формули основних параметрів зони горіння

Величина	Переміщення палива на колосниковій решітці	
	поступальне	обертальне
I Змінна величина K_s , г/(см ² ·с) – за формулою (4)		
Довжина колосникової решітки, см	$l_p = \frac{d_n^{2,5}}{2,5A}$	
Радіус колосникової решітки, см		$R = \frac{d_n^{2,5}}{2,5pA} = \left(\frac{d_n^{1,5} B_p}{2,5p \cdot 0,185C_0 D^{0,5} W^{0,5} h_n m} \right)^{0,5}$
Час горіння часток в шарі, с	$t = \frac{5}{3} \cdot \frac{d_n}{v_n} \left(\frac{5}{2} A \right)^{\frac{2}{5}} \cdot l_p^{\frac{3}{5}}$	$t = \frac{5}{3} p^{\frac{3}{5}} \cdot \frac{d_n}{w_n} \cdot \left(\frac{5}{2} AR \right)^{\frac{2}{5}}$
Постійна величина	$A = \frac{2 \cdot 0,185 C_0 D^{0,5} W^{0,5} d_n}{r v_n}$	
Початкова швидкість часток, см/с: – лінійна – кутова	$v_n = \frac{B_p}{b h_n r_{iu}} = \frac{B_p}{b h_n m r}$	$w_n = \frac{2 B_p}{R^2 h_n m r}$
II У припущенні постійної величини K_s , г/(см ² ·с)		
Довжина колосникової решітки, см	$l_p = \frac{d_n B_p}{4 h_n b m K_s}$	
Радіус колосникової решітки, см		$R = \left(\frac{d_n B_p}{2 p h_n m K_s} \right)^{0,5}$
Час горіння частинок коксу в шарі [4], с	$t = \frac{r d_n}{2 K_s}$	

Позначення параметрів в табл. 1: d_n – початковий розмір частинок на початку решітки, см; v_n – початкова лінійна швидкість частинок, см/с; w_n – початкова кутова швидкість частинок, см/с; h_n – початкова висота шару на вході, см; b – ширина решітки, на якій відбувається спалювання, см; C_0 – молярна концентрація кисню в шарі, г/см³; D – коефіцієнт дифузії, см²/с; W – приведена швидкість дуттьового повітря, см/с; $r_{iu} = m r$ – щільність шару, г/см³; m – пористість шару; r – щільність частинок, г/см³; B_p – розрахункова витрата палива, г/с.

Наближенням до вирішення цієї проблеми є аналітичні розрахунки топкової зони за моделями процесу горіння твердого палива, що ґрунтуються на результатах експериментальних досліджень швидкості горіння палива залежно від його технологічних властивостей та режимних гідродинамічних умов процесу.

З урахуванням формули для визначення питомої швидкості горіння коксу (4) на основі диференціальних рівнянь розроблено математичну модель процесу горіння твердого палива в шарі на колосниковій решітці шахтно-шарових механічних топок з поступальним і обертальним переміщенням палива [9], що дає змогу за аналітичними рівняннями (табл. 1) розрахувати основні параметри зони горіння.

За результатами розрахунків вигорання коксового залишку на колосниковій решітці з поступальним живленням шару під дією штовхача шахтно-шарової механічної топки побудовано залежності (рис. 3, табл. 2) конструктивних параметрів зони горіння від основних факторів: швидкості дуттьового повітря, розміру частинок палива, надміру повітря, які впливають на інтенсивність спалювання. В розрахунках прийнято, що 40 % натурального палива вигоряє в шахті (випаровування вологи, вихід легких речовин, часткове горіння коксу), штиб у фракції (в таблиці наведено максимальний і мінімальний розміри частинок) палива не перевищує 10 %. Розміри зони горіння топкового пристрою приймають за розрахунками процесу спалювання палива з урахуванням вимог до конструкції топок і котлів та нормативних вимог з теплонапруження дзеркала горіння і топкового об'єму. Обсяг розрахункових даних наведено як приклад для найтиповіших випадків. Таку методику розрахунку можна застосовувати як для інших конструкцій шахтно-шарової топки, так і, за відповідного коригування, для топок з іншими схемами організації спалювання палива в шарі.

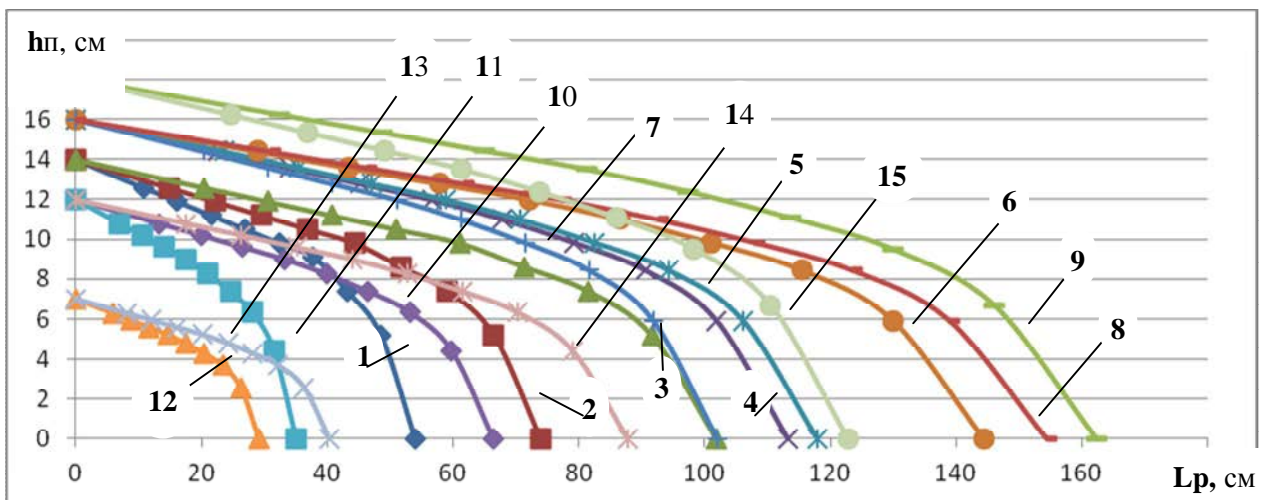


Рис. 3. Графік вигорання палива на колосниковій решітці шахтно-шарової механічної топки

Таблиця 2

Величини основних параметрів кривих вигорання палива на решітці

	Номер кривої на рис. 3														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Q_k	0,25	0,40	0,63	1,00	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	0,63	0,25	0,40	0,63	1,25	0,63
Фракція, см	5,0-0,6	5,0-0,6	5,0-0,6	5,0-0,6	5,0-0,6	5,0-0,6	5,0-0,6	5,0-0,6	5,0-0,6	2,5-2,5	2,5-1,3	1,3-0,6	1,3-0,6	2,5-1,3	5,0-2,5
W_o	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
α	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
b , см	60	70	80	100	120	120	120	120	120	80	60	70	80	120	80
h_n , см	14	14	14	16	16	16	16	16	18	12	12	7	7	12	18

Позначення параметрів в табл. 2: Q_k – теплопродуктивність твердопаливного котла, МВт; W_o – швидкість дуттьового повітря на вході шару палива, що горить на решітці, м/с; α – надмір повітря.

Висновки: 1. Показано, що швидкість горіння твердого палива є узагальнюючою характеристикою впливу основних факторів (робочого і фракційного складу палива, швидкості дуттьового потоку, розміру частинок, надміру повітря) на інтенсивність топкового процесу.

2. Використання вітчизняних запасів твердого палива різної якості (вугілля, торфу, біомаси) в теплоенергетиці є економічно доцільним, ефективність спалювання якого із дотриманням сучасних

екологічних нормативних показників найкраще забезпечується в механізованих процесах механічних топків.

3. Запропоновано методику розрахунку вигоряння палива на решітці для встановлення уточнених конструктивних і режимних параметрів зони горіння шахтно-шарової механічної топки для спалювання різних видів палива в широкому діапазоні його характеристик.

1 Котельні: ДБН В.2.5-77: 2014. – [Чинний від 2015-01-01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 65 с. – (Національний стандарт України). 2. Котлы отопительные водогрейные теплопроизводительностью от 0,1 до 4 МВт: ГОСТ 30735-2001. – [Введен с 2003-01-01]. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – 30 с. – (Межгосударственный стандарт). 3. Тепловой расчет котлов: нормативный метод. – Санкт-Петербург: ВТИ, НПО ЦКТИ, 1998. – 257 с. 4 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. 5. Хзмалян Д. М. Теория топочных процессов: учебное пособие для вузов / Д. М. Хзмалян. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 332 с. 6. Сенчук М. П. Результаты исследований скорости горения твердого топлива в слое / М. П. Сенчук, А. С. Макаров // Химическая физика процессов горения и взрыва. XI Симпозиум по горению и взрыву, 18–22 ноября, 1996 г. – Черногловка: Российская АН, 1996. – Т.1, Ч.2. – С. 295–299. 7. Нечаев Е. В. Механические топки для котлов малой и средней мощности / Е. В. Нечаев, А. Ф. Лубнин. – Л.: Энергия, 1968. – 311 с. 8. Пат. 37359А Україна, МПК 6 F 23 L1/00, F 23 B 1/12. Топка для спалювання довгопалуменевих палив / А. С. Макаров, М. П. Сенчук. – № 98031638; опублік. 15.05.2001 бюл. № 4. – 2 с. 9. Сенчук М. П. Моделювання процесу горіння твердого палива в шахтно-шарових топках / М. П. Сенчук, М. М. Астаф'єва. – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник. – К.: КНУБА, 2015. – Вип. 18. – С. 22–29.