

УДК 697.432

Комбінована схема спалювання твердого палива в опалювальних котлах малої потужності

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 конструктивні схеми спалювання твердого палива в опалювальних водогрійних котлах до 100 кВт з аналізом їхньої ефективності. З метою зниження капітальних і експлуатаційних затрат доцільне промислове впровадження порівняно недорогих зразків опалювальних котлів малої теплопродуктивності з прийнятним рівнем механізації технології спалювання дешевого, в тому числі місцевого палива, з мінімальними затратами на його підготування. Запропоновано конструкцію опалювального водогрійного котла з напівмеханічною топкою, технологічна схема спалювання якої поєднує процеси сушіння, газифікації і горіння палива в шахті із затисковою решіткою та вигорання коксу в шарі на обертовій колосниковій решітці. Відмічено, що за періодичної подачі палива в топці з обертовою колосниковою решіткою підтримується стабільність процесу горіння в камері згорання в період між чищеннями від золи й шлаку без значної зміни складу надшарових газів. Завдяки плавному переміщенню на обертовій колосниковій решітці порції розжареного коксу з паливної шахти в топкову камеру створюються умови для підтримання рівномірності роботи котла з нормативними показниками. Зниження шкідливих викидів у відхідних газах при спалюванні реакційного палива досягається подачею через колектор вторинного дуття повітря в зону горіння легких речовин на виході із затискової решітки. Наведено аналітичні рівняння визначення розмірів зони горіння за режимними й конструктивними параметрами процесу спалювання. Ефективність застосування в малопотужних котлах комбінованої (шахтно-шарової) технологічної схеми перевірено під час випробувань спалювання вугілля різної якості в напівмеханічній топці з обертовою колосниковою решіткою в складі електровугільного котла теплопродуктивністю 50 кВт для залізничних вагонів.*

***Ключові слова:** комбінована схема спалювання, шахтно-шарова схема, опалювальний водогрійний котел, твердопаливний котел, напівмеханічна топка, обертова колосникова решітка, тверде паливо*

Вступ. Застосування побутової опалювальної техніки потужністю до 100 кВт на твердому паливі в автономних центральних або в індивідуальних системах опалення є економічно доцільним. Виробництво таких котлів розвинуте як у багатьох країнах світу, так і в Україні. На промисловому ринку виробниками пропонуються різноманітні твердопаливні водогрійні опалювальні котли потужністю до 100 кВт, які відрізняються за конструктивними й функціональними ознаками. У топкових камерах котлів реалізовано різні схеми організації спалювання. Вони пов'язані з напрямками потоків палива і первинного дуттьового повітря: протитечійна, прямотечійна, поперечна. Обслуговування твердопаливних топок (подача палива, шування шару палива, видалення золи й шлаку) виконують вручну або механізованим способом для окремих або всіх операцій. Найвні промислові конструкції такого класу водогрійних котлів призначені в основному для спалювання окремих видів твердого палива: вугілля, торфу, деревини та ін. Переважно використовують паливо після попередньої підготовки до спалювання: сортування, брикетування, гранулювання, пакування тощо. Найбільш розповсюджені на ринку водогрійні котли для

спалювання гранул з деревних чи рослинних відходів, що характеризуються малою зольністю й вологістю. Разом з тим, за високої вартості такого палива його використання не завжди є доцільним, особливо за наявності дешевого нижчої якості місцевого палива. Хоча його спалювання із забезпеченням відповідного рівня нормативних вимог потребує застосування удосконалених конструктивних схем. Ураховуючи дефіцит паливних ресурсів власного видобутку та високу ціну спеціально підготовленого палива, доцільним є використання різних видів палива, серед яких місцевого низькосортного. Світові тенденції розвитку опалювальної техніки вказують на подальше зростання частки котлів малої потужності на традиційному твердому паливі та органічних відходах.

Актуальність дослідження. Забезпечення ефективного використання різних видів твердого палива в широкому діапазоні їхніх характеристик, серед яких дешевого різнофракційного палива в малометражних опалювальних твердопаливних котлах нескладної конструкції дозволяє знизити собівартість теплової енергії.

Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень за напрямком роботи та відомостей

виробників теплогенераційного обладнання [1–17 та ін.] показав, що в системах теплопостачання приміщень, будівель і споруд застосовують твердопаливні опалювальні котли потужністю до 100 кВт з різноманітними типами топкових пристроїв: від простих топок з ручним обслуговуванням, напівмеханічних і механічних топок до автоматизованих пристроїв складної конструкції.

Різноманітність конструкцій топкових пристроїв пояснюється широким діапазоном спалюваного твердого палива, значною відмінністю в складі робочої маси (вмісту баласту – золи та вологи, – легких речовин), у фракційному складі, теплоті згоряння, спікливості золи тощо. На інтенсивність процесу спалювання твердого палива в шарі впливають багато факторів:

- структура шару;
- розмір частинок палива;
- форсування дуттьового повітря;
- температурні умови камери згоряння;
- вологість і зольність палива;
- властивості золи;
- вихід легких речовин.

Суттєва відмінність твердого палива за теплотехнічними характеристиками вимагає для його ефективного використання відповідних технологічних схем спалювання, реалізованих у різноманітних конструкціях топок. Вибір схеми організації процесу горіння твердого палива, реалізованої в топкових пристроях котлів, обумовлюється в першу чергу співвідношенням вмісту вологи і золи в паливі, а також прийнятним рівнем обслуговування в умовах експлуатації.

Нижче наведено розповсюджені схеми спалювання твердого палива, які реалізовані в промислових зразках твердопаливних котлів потужністю до 100 кВт. Найбільш поширене в таких котлах спалювання твердого палива в сталому шарі.

Найпростішим топковим пристроєм, який і зараз використовується в окремих установках малої потужності, є топка з ручною періодичною подачею палива на колосникову решітку. Котли з такими топками характеризуються простотою обслуговування та відносно невеликою вартістю.

Особливістю теплової роботи топок з ручним обслуговуванням є циклічність топкового процесу, тобто нерівномірність показників роботи з періодичною зміною переважних стадій горіння палива.

Також, важливим фактором, який впливає на ефективність спалювання, є відповідність

живого перерізу колосникової решітки характеристикам спалюваного палива. Так, живий переріз решіток становить:

- для спалювання полін деревини та кускового торфу в межах 25...40 %;
- для антрациту і кам'яного вугілля – в межах 12...18 %.

Недоліками ручних топок є те, що при завантаженні свіжої порції палива раптовий вихід легких речовин може призводити до значного зростання хімічної неповноти згоряння. Також їхня експлуатація пов'язана з важкою ручною працею. Покращення теплової роботи таких котлів досягають шляхом спалювання низькорекційного палива та збільшення тривалості між фазовими змінами горіння в топках шахтового типу (рис. 1).

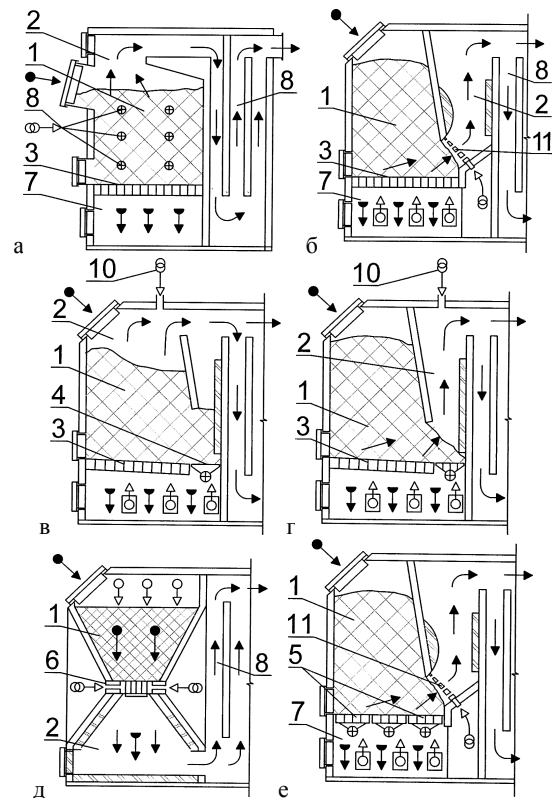


Рис. 1. Схеми твердопаливних котлів з шахтовими топками:

- а, б – з нерухомою колосниковою решіткою;
- в, г – з перекидним колосником у зоні вигорання шару;
- д – з колосниковою решіткою з соплами вторинного повітря;
- е – з колосниковою решіткою з поворотними колосниками:

- 1 – шахта паливна; 2 – камера згоряння;
- 3 – нерухома колосникова решітка; 4 – перекидний колосник; 5 – колосникова решітка з поворотними колосниками; 6 – колосникова решітка із соплами вторинного дуття; 7 – зольник; 8 – газохід конвективний;
- 9 – сопла подачі повітря, первинного і вторинного;
- 10 – сопла вторинного повітря; 11 – система розподілення вторинного повітря;

умовні позначення на цьому рисунку і далі за текстом:

- – подача палива; ○→ – первинне повітря;
- ⊙→ – вторинне повітря; → – продукти горіння;
- ▶→ – видалення золи

Шахові топки мають розвинуту за висотою завантажувальну горловину (шахту), у якій відбувається підсушування, розігрівання і часткове виділення летких речовин. По мірі згоряння палива вище розташовані підготовлені шари переміщуються в активну зону горіння на колосниковій решітці.

Горіння палива в шахті може бути як верхнім, так і нижнім. Подача первинного повітря виконується за протитечійною або прямотечійною схемами. Подача вторинного повітря відбувається до зони горіння газів на виході з шару. У таких топках спалюють малозольне паливо з невисокою вологістю, сортове або гранульоване.

Для підтримання стабільності роботи котла необхідне періодичне чищення колосникової решітки від золи й шлаку. Зменшення трудомістких ручних операцій чищення досягають у напівмеханічних топках з поворотними або коливальними колосниками. Зниження експлуатаційних витрат досягається при застосуванні пелетних пальників з механічною подачею пелетів до зони горіння.

Механізація подачі палива й очищення шару від шлаку дозволяє значно зменшити фізичну працю та підвищити економічність топкового пристрою. При цьому забезпечуються умови для вирівнювання показників топкового процесу протягом тривалої експлуатації (рис. 2).

Водночас, застосування механічних топко значно підвищує вартість конструкції котлів. На промисловому ринку виробники пропонують різноманітні конструкції механізованих котлів [13-17] малої потужності до 100 кВт як з

експлуатацією за присутності оператора, так і за його тривалої відсутності – в автоматичному режимі (рис. 3).

У твердопаливних котлах з автоматичним режимом роботи крім механізації подачі палива, чищення від золи та її видалення за межі котла, забезпечується механізоване чищення конвективних теплообмінних поверхонь та автоматичне регулювання розподілення первинного і вторинного повітря при зміні теплового навантаження. Для досягнення стабільності роботи котла в автоматичному режимі використовують високоякісне гранульоване паливо з малою зольністю й вологістю.

У підсумку можна констатувати, що ефективність спалювання твердого палива обумовлюється ступенем механізації технологічних процесів та якістю палива. Висока якість процесу спалювання палива досягається в автоматизованих котлах на попередньо підготовленому однорідному сортовому паливі. У таких котлах забезпечується автоматизоване керування операціями обслуговування та безпеки роботи за відсутності оператора. Здебільшого передбачається і механізоване очищення теплообмінних поверхонь, зокрема конвективних, від золошлакового забруднення. Водночас, така технологія вимагає значні капітальні затрати на складні конструкції котлів і експлуатаційні витрати на обслуговування та дороге якісне паливо.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є аналіз запропонованої конструктивної схеми опалювального водогрійного котла малої потужності з напівмеханічною топкою з нормативною ефективністю роботи за низької вартості обладнання.

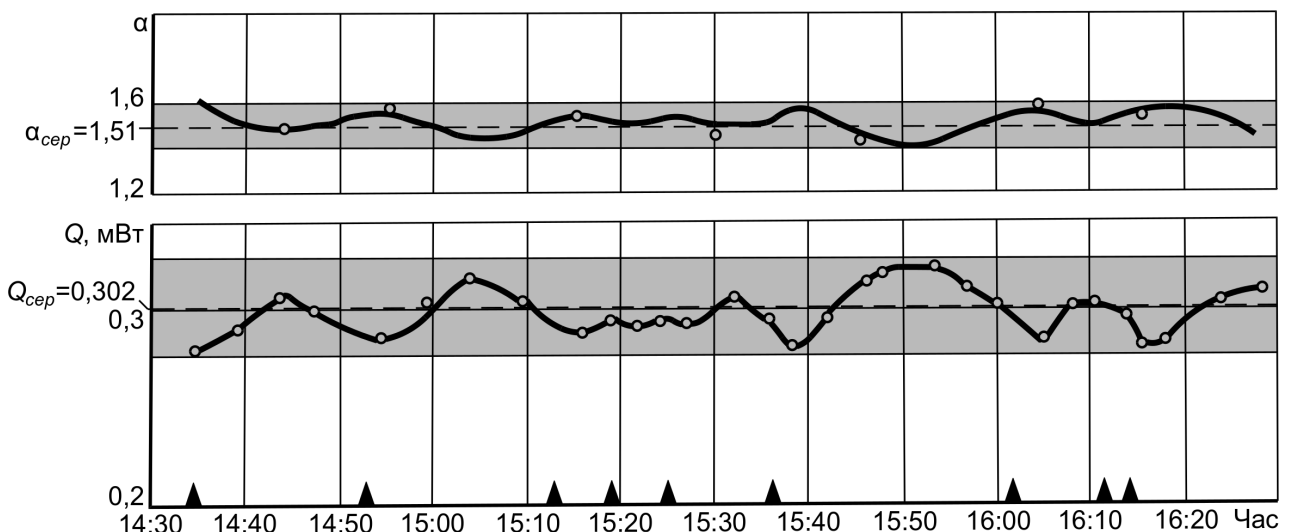


Рис. 2. Зміна в часі доби (год:хв) коефіцієнта надлишку повітря α та потужності Q , мВт, котла з механічною шахтошаровою топкою:

сірим кольором виділено діапазон зміни параметрів, максимальне відхилення від середніх значень $\alpha_{сер}$ і $Q_{сер}$, мВт, становить 6,8 %

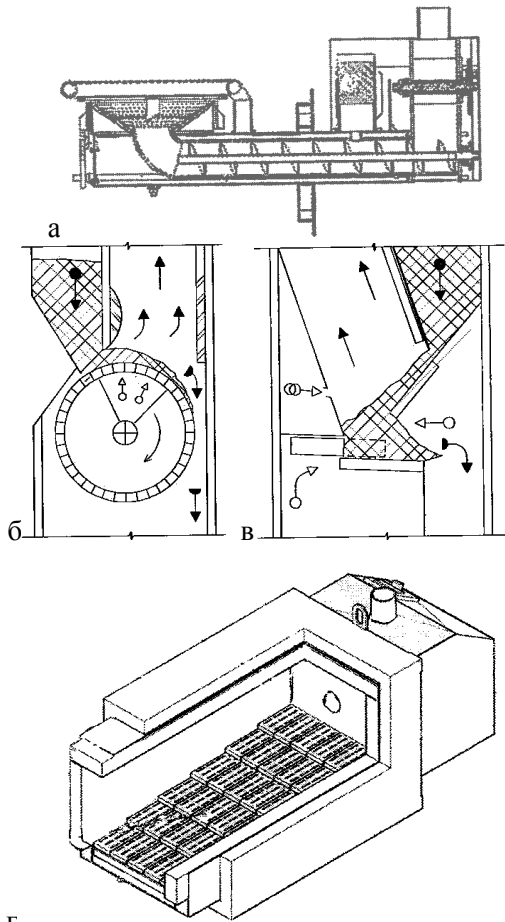


Рис.3. Схеми механічних топок:
 а – ретортна; б – з барабанною колосниковою решіткою; в – із плунжерним штовхачем;
 г – з перештовхувальними колосниками

Виклад основного матеріалу. Зниження капітальних затрат на котельне обладнання можливе при зменшенні ступеня механізації технології спалювання місцевого палива. Але при цьому слід забезпечити нормативні показники роботи котла як з екологічної, так і з економічної точки зору.

У роботі пропонується конструктивна схема опалювального водогрійного котла малої потужності з комбінованою технологічною схемою спалювання в шахті із затискною решіткою та в шарі на обертовій колосниковій решітці (рис. 4). Конструкція котла передбачає:

- водоохолоджуваний корпус циліндричної форми в топковій і конвективній частинах (поз. 1);
- напівмеханічну топку (поз. 2);
- перехідний опускний канал газоходу (поз. 30);
- конвективний газохід (поз. 5), що складається з димогарних труб (поз. 31) зі стрічковими турбулізаторами (поз. 32).

Гідравлічний тракт котла приєднується до

системи опалення через патрубки (поз. 6 і 7) на вході і виході гідравлічного трату, а патрубків відхідних газів (поз. 8) – до димової труби (або димососа). Декоративний кожух (поз. 9) котла з теплоізоляцією забезпечує зниження тепловтрат поверхні в навколишнє середовище.

Топка містить:

- обертову колосникову решітку (поз. 3);
- затискну решітку;
- паливну шахту (поз. 10);
- камеру згоряння (поз. 11);
- зольник (поз. 4);
- люки з дверцятами для обслуговування.

Колосникова решітка складається з корпусу круглої форми, у якому розміщені чавунні колошники з прорізами відповідних розмірів залежно від характеристик спалюваного палива і необхідною площею живого перерізу для подачі первинного повітря. Корпус решітки розміщується на коткових опорах і обладнаний приводом (поз. 16) для його обертання (на рисунку показано ручний привід). Одна частина колосникової решітки служить дном паливної шахти, а інша є допалювальною решіткою камери згоряння. Затискна решітка утворена такими конструктивними елементами:

- нижня водоохолоджувана балка (поз. 12);
- колектор вторинного дуття (поз. 13) із жаростійкої сталі;
- чавунні перегородки (поз. 14).

Останні встановлені уступом між собою вглиб шахти для забезпечення надійного опускання палива до зони горіння та з горизонтальними зазорами для виходу продуктів газифікації із шахти до топкової камери. Паливна шахта обмежена боковою та верхньою стінками корпусу, колосниковою решіткою й елементами затискної решітки.

Для обслуговування котла корпус конвективного пакета обладнано:

- люками із теплоізолюваними кришками – верхньою (поз. 17) і нижньою (поз. 28);
- клапаном розпалювальним (поз. 18);
- лючком (поз. 29) для чищення газоходу.

Корпус топки має чотири люки з відповідними конструктивними елементами для забезпечення щільності для газів та для обслуговування процесу спалювання палива в топці:

- верхній з кришкою (поз. 19) та дверцятами (поз. 20);
- боковий верхній двосекційний з бункером (поз. 21), затвором (поз. 22) та дверцятами (поз. 23) – для подачі палива до шахти та експлуатаційного обслуговування камери згоряння;

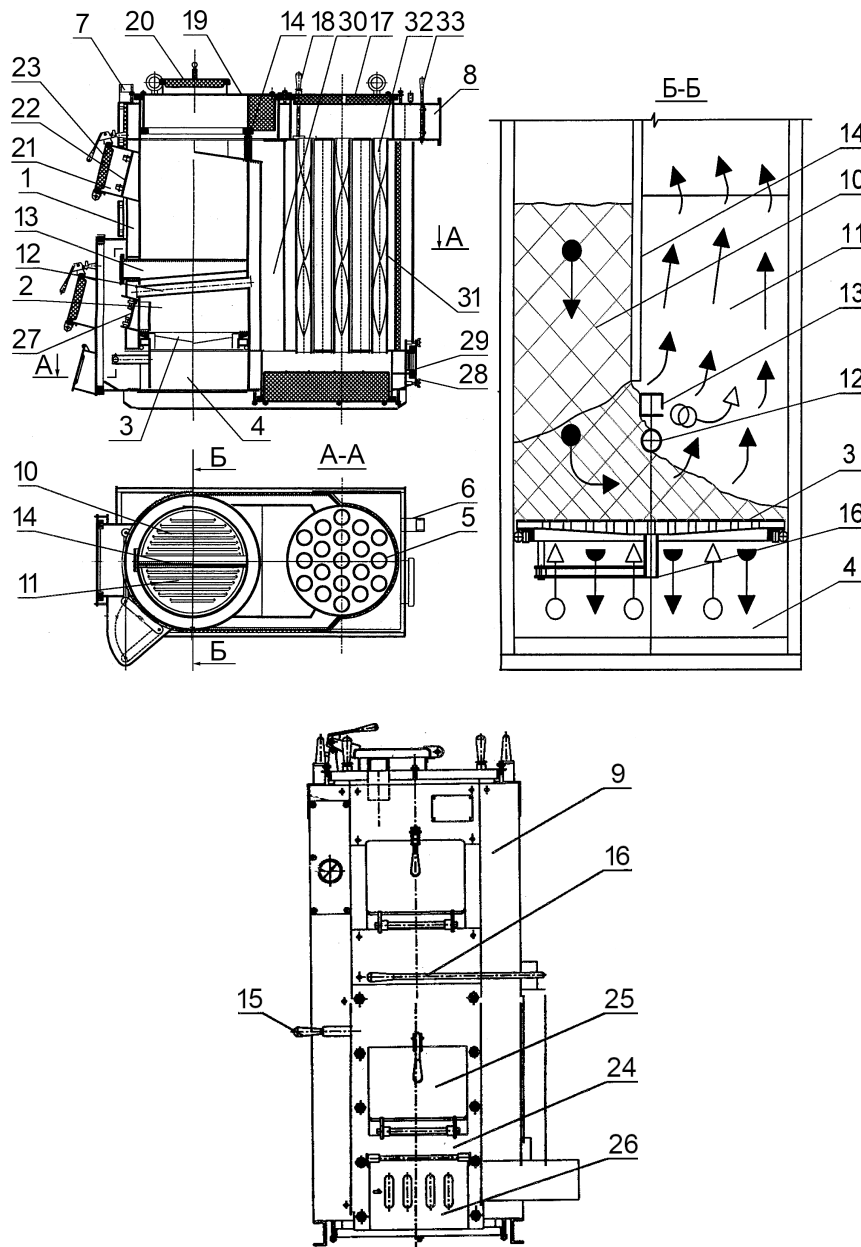


Рис. 4. Твердопаливний котел з напівмеханічною топкою:
а – розрізи, б – загальний вигляд:

- 1 – корпус; 2 – топка напівмеханічна; 3 – обертова колосникова решітка; 4 – зольник; 5 – газохід конвективний; 6, 7 – патрубки для приєднання до системи опалення; 8 – патрубок відхідних газів; 9 – кожух декоративний; 10 – шахта паливна; 11 – камера згоряння; 12 – балка водоохолоджувана; 13 – колектор вторинного дуття; 14 – перегородки чавунні; 15 – шибер вторинного повітря; 16 – привід ручний; 17 – кришка верхня газоходу; 18 – клапан розпалювальний; 19 – кришка верхня топки; 20 – дверцята кришки; 21 – бункер; 22 – затвор; 23 – дверцята бункера; 24 – блок дверей; 25 – дверцята топкові; 26 – дверцята зольника; 27 – щиток; 28 – кришка нижня газоходу; 29 – лючок газоходу; 30 – канал опускний газоходу; 31 – труби димогарні; 32 – турбулізатор стрічковий; 33 – шибер

- два бокові нижні – в зоні полотна колосникової решітки (поз. 25) та в зольнику (поз. 26).

Котел може працювати або на природній тязі димової труби або з димососом. Розглянемо принцип роботи котла. За наявності на колосниковій решітці (поз. 3) в нижній зоні шахти (поз. 10) та топковій камері (поз. 11) достатньої кількості розжареного коксу при відкритому клапані (поз. 18) заповнюють паливом шахту

через паливну секцію бункера (поз. 21) при закритому затворі (поз. 22) в топковій секції бункера. По мірі виходу на стабільний режим горіння палива в нижній зоні шахти і топковій камері закривають розпалювальний клапан і регулюють подачу первинного повітря. Первинне повітря подають під колосникову решітку із зольника крізь отвори в дверцятах (поз. 26) з регулюванням його кількості при повороті полотна дверцят та зміні розрідження

в топковій камері поворотом шибера (поз. 18). Для зниження шкідливих викидів у відхідних газах при спалюванні реакційного палива в зону горіння продуктів газифікації на виході із затискної решітки подають повітря через колектор вторинного дугтя (поз. 13), кількість якого регулюють шибером (поз. 15). Чергову порцію палива на допалювальну решітку (частина колосникової решітки, що знаходиться в камері згорання) подають крізь нижнє вікно в шахті між полотном колосникової решітки (поз. 3) і балкою (поз. 12) при повороті решітки за допомогою приводу (поз. 16). За конструкції ручного приводу один поворотний хід колосникової решітки виконують поворотом важеля і його поверненням у вихідне положення. Під час виходу частини колосників з шахти і повернення у вихідне положення відбуваються:

- винесення шару коксу, що горить, до топкової камери;
- інтенсивне взаємне переміщення частинок палива, що сприяє шуруванню шару.

При спалюванні високозольного рядового палива є необхідність додаткового ручного шурування шару, що горить. По мірі накопичення на допалювальній решітці шлаку і золи потрібне періодичне її чищення. На відміну від топок з ручним обслуговуванням, в топці з обертовою колосниковою решіткою під час подачі палива в камеру згорання не відбувається значного збурення процесу горіння на допалювальній решітці. Процес спалювання протікає з прийнятною рівномірністю завдяки:

- плавному винесенню з нижньої зони шахти в топкову камеру порції розпеченого і нерухомого на колосниках шару напівкоксу;
- шуруванню в зоні накопичення золи і шлаку при поверненні колосників у вихідне положення.

Конструкція котла водогрійного потужністю 50 кВт з напівмеханічною топкою розроблена спеціалістами Державного науково-дослідного інституту санітарної техніки обладнання будівель і споруд (м. Київ) за участю автора. Експериментальні випробування шахтно-шарової топки з обертовою решіткою в складі електровугільного котла потужністю 50 кВт для залізничних вагонів були проведені на стенді науково-дослідного інституту. Вони підтвердили стабільну роботу з нормативними показниками на сортовому і рядовому антрациті та рядовому кам'яному вугіллі. Під час випробувань використовувався ручний привід обертання колосникової решітки. Конструкція топки дозволяє застосування механічного приводу переміщення решітки з автоматичним

керуванням режиму подачі палива і шурування шару. Таку конструкцію можна віднести до класу котлів з напівмеханічними топками. За нескладної конструкції це дає можливість використовувати дешеве паливо з малими затратами на підготовку до спалювання.

Конструктивні габарити зони горіння топкового пристрою прийнято з урахуванням вимог до конструкцій топок і котлів, нормативних вимог щодо теплонапруження дзеркала горіння й топкового об'єму [10,11] та інших розрахункових величин. Розрахункові конструктивні і режимні параметри зони горіння на обертовій колосникової решітці в топковій камері при спалюванні вугілля або антрациту можна визначити за методикою, наведеною в [5, 9], яка базується на даних щодо швидкості горіння коксу.

Розрахунковий радіус колосникової обертової решітки можна визначити за формулою

$$R = \frac{\delta_n^{2,5}}{2,5 \pi A} = \sqrt{\frac{\delta_n^{1,5} B_p}{2,5 \pi \cdot 0,185 C_0 D^{0,5} W^{0,5} h_n m}}, \quad \text{м}, \quad (1)$$

де δ_n – початковий розмір частинок на виході із шахти, м; B_p – розрахункова витрата палива на вході решітки, кг/год; A – постійна величина, $\text{м}^{1,5}$; C_0 – молярна концентрація кисню в шарі, моль/м³; D – коефіцієнт дифузії, м²/с; W – приведена швидкість дугтьового повітря, м/с; h_n – початкова висота шару (вікна шахти) на вході решітки, м; m – пористість шару (прийнято в розрахунках $m = 0,5$); $0,185$ – розмірний коефіцієнт, кг·с/(моль·год); W – приведена швидкість дугтьового повітря, яка віднесена до площі живого перерізу шару, м², і середньої температури в шарі $T_{ш}$, К, а саме

$$W = \frac{W_o T_{ш}}{m T_o}, \quad \text{м/с}; \quad (2)$$

W_o – швидкість, м/с, при стандартній температурі $T_o = 273,15$ К.

Час горіння часток у шарі на обертовій решітці

$$t = \frac{5}{3} \pi^{\frac{3}{5}} \frac{\delta_n}{\omega_n} \cdot \left(\frac{5}{2} A R \right)^{-\frac{2}{5}}, \quad \text{год}, \quad (3)$$

де ω_n – початкова кутова швидкість переміщення

ня частинок.

$$\omega_n = \frac{2 B_p}{R^2 h_n m p}, \text{ год}^{-1}, \quad (4)$$

де ρ – густина частинок, кг/м^3 .

Висновки. Зростання частки промислового впровадження твердопаливних котлів малої потужності є доцільним як альтернатива теплогенераторним установкам на дорогах

енергоносіях – природному газі та рідкому паливі. Застосування напівмеханічних топків з обертовою решіткою в конструкціях мало-метражних опалювальних твердопаливних котлів створює умови для розширення діапазону спалюваного палива, серед якого дешевого різнофракційного. Простота запропонованої конструкції, малозатратна підготовка палива та зменшення витрат праці на ручне обслуговування дозволяє знизити вартість конструкції та експлуатаційні витрати.

Література

1. Степанов Д. В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності / Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. – Вінниця: КІВЦ ВНТУ, 2011. – 151 с.
2. Братенков В. Н. Теплоснабжение малых населенных пунктов / В. Н. Братенков, П. А. Хаванов, Л. Я. Вэскер. – Москва: Стройиздат, 1988. – 223 с.
3. Никель Е. Повышение использования первичных энергетических ресурсов и уменьшение пылевыведения в автоматических установках со слоевыми топками на твердом топливе / Е. Никель, Г. Хельфельд. – Киев, 1985. – 181 с.
4. Варес В. Справочник потребителя биотоплива / В. Варес, Ю. Каськ, П. Муйсте, Т. Пиху, С. Соосаар. – Таллин. 2005. – 183 с.
5. Senchuk M. P. Simulation of Solid-Fuel Hybrid Combustion / M. P. Senchuk, A. V. Barkovskiy // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання* : наук.-техн. зб. – 2017. – Вип. 21. – с. 11-17.
6. Пат. 50214 А Україна F24В1/02. Котел для спалювання дров, кускового торфу та відходів деревини / А. С. Макаров, М. П. Сенчук, Г. М. Невструева: власник Державний науково-дослідний інститут санітарної техніки і обладнання будівель та споруд; заявл. 23.11.2001; опублік. 15.10.2002, Бюл. №10.
7. Роддатис К. Ф. Котельные установки: учеб. пособие / К. Ф. Роддатис. – Москва: Энергия, 1977. – 432 с.
8. Кузьмин С. Н. Биоэнергетика: учебн. пособ. / С. Н. Кузьмин, В. Н. Ляшков, Ю. С. Кузьмина. – Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 80 с.
9. 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.
10. ДСТУ 2326-93. Котли опалювальні водогрійні теплопродуктивністю до 100 кВт. Загальні технічні умови. – Чинний від 1995-01-01. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 17 с.
11. ГОСТ 30735-2001. Котлы отопительные водогрейные теплопроизводительностью от 0,1 до 4 МВт. – Введен с 2003-01-01. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – 30 с.
12. Пелетна топка «Факел» (ПМЗ «ДЕНАС»МАШ, Україна). Режим доступу: <http://denasmash.com/ukr/tverdotoplivnyye-kotly/avtomaticheskije-pelletnyye-gorelki-fakel/>
13. Твердопаливні котли (HERZ Energietechnik, Австрія). Режим доступу: <https://bio.ukr.bio/ua/boilers/brand/13-HERZ/>
14. Твердопаливні котли «HEIZOMAT RHK» (Німеччина). Режим доступу: <http://www.saelen-energie.fr/chauffage-biomasse-miscanthus-Heizomat.html>
15. Твердопаливні котли «Світлобор Авто» (Україна). Режим доступу: <https://www.enemcon.com/pelletnyye-kotly/s-samoochistkoj/svetlobor-avto-90>
16. Твердопаливні котли (ТОВ «Газотрон-Влатава», Україна). Режим доступу: <https://www.gazotron.com>
17. Твердопаливні котли (ТОВ Котлозавод «Кригер», Україна). Режим доступу: <https://1552.com.ua/ua/catalog/kotlozavod-kriger-ooo-7323/>

References

1. Stepanov D. V., Bodnar L. A. *Enerhetychna ta ekolohichna efektyvnist vodohriinykh kotliv maloi potuzhnosti*, KVIZ VNTU, 2011.
2. Bratenkov V., Khavanov P., Vesker L. *Teplosnabzhenie malykh naseleennykh punktov*. Stroizdat, 1988.
3. Nickel E., Hofeld G. *Povyshenie ispolzovaniya pervichnykh energetycheskikh resursov i umenshenie pylivyedeleniia v avtomaticheskikh ustanovkakh so sloevymi topkami na tverdom toplive*. Kiev, 1985.
4. Vares V., Kask, Muiste P., Pikhu T., Soosaar S. *Spravochnik potrebitelia biotopliva*. Talliin. 2005
5. Senchuk M. P., Barkovskiy A. V. “Simulation of Solid-Fuel Hybrid Combustion”. *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplozopostachannia*, 2017. Vyp. 21. P. 11-17.

6. Makarov A. S., Senchuk M. P., Nevstrueva H. M. "Kotel dla spalivannia drov, kuskovoho torfu ta vidkhodiv derevyny." Patent of Ukraine 50214 A. 15.10.2002.
7. Roddatis K. *Kotelnye ustanovki*. Energy, 1977.
8. Kuzmin S. N., Liashkov V. N., Kuzmina Yu. S. *Byoenergetika*. FHBOU VPO "THTU", 2011.
9. Senchuk M. P. "Shvydkist horinnia tverdoho palyva v topkovykh protsesakh opaliuvalnykh kotliv". *Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politehnika», seriia: teoriia i praktyka budivnytstva* 2016. №844. P. 194-202.
10. *Kotly opaluvalni vodohriini teploproduktivnistiu do 100 kVt. Zahalni tehnicni umovy*. DSTU 2326-93, Derzhstandart Ukrainy, 1994.
11. *Kotly otopitelnye vodogreinye teploproizvoditelnosti ot 0,1 do 4 MVt*, HOST 30735-2001, Mezhsosudarstvennyi soviet po standartizatsii, metroloyii i sertifikatsii, 2001.
12. Peletna topka «Fakel» (PMZ «DENAS»MASH, Ukraina). Rezhym dostupu: <http://denasmash.com/ukr/tverdoplivnyye-kotly/avtomaticheskie-pelletnye-gorelki-fakel/>
13. Tverdopalyvni kotly (HERZ Energietechnik, Avstriia). Rezhym dostupu: <https://bio.ukr.bio.ua/boilers/brand/13-HERZ/>
14. Tverdopalyvni kotly «HEIZOMAT RHK» (Nimechchyna). Rezhym dostupu: <http://www.saelen-energie.fr/chauffage-biomasse-miscanthus-Heizomat.html>
15. Tverdopalyvni kotly «Svitlobor Avto» (Ukraina). Rezhym dostupu: <https://www.enemcon.com/pelletnye-kotly/s-samoochistkoj/svetlobor-avto-90>
16. Tverdopalyvni kotly (TOV «Hazotron-Vlatava», Ukraina). Rezhym dostupu: <https://www.gazotron.com>
17. Tverdopalyvni kotly (OOO Kotlozavod «Kryher», Ukraina). Rezhym dostupu: <https://1552.com.ua/ua/catalog/kotlozavod-kriger-ooo-7323/>

УДК 697.432

Комбинированная схема сжигания твёрдого топлива в отопительных котлах малой мощности

М. П. Сенчук¹

к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, smp21@ukr.net.
ORCID: 0000-0001-8968-7336

***Аннотация.** Рассмотрены различные конструктивные схемы сжигания твёрдого топлива в отопительных водогрейных котлах до 100 кВт с анализом их эффективности. С целью снижения капитальных и эксплуатационных затрат целесообразно промышленное внедрение сравнительно недорогих образцов отопительных котлов малой теплопроизводительности с приемлемым уровнем механизации технологии сжигания деиёвого, в том числе местного топлива, с минимальными затратами на его подготовку. Предложена конструкция отопительного водогрейного котла с полумеханической топкой, технологическая схема сжигания которой сочетает процессы сушки, газификации и горения топлива в шахте с зажимной решёткой и выгорания кокса в слое на подвижной колосниковой решётке. Отмечено, что при периодической подаче топлива в топку с оборотной колосниковой решёткой поддерживается стабильность процесса горения в камере сжигания, в период между чистками от золы и шлака, без значительного изменения состава надслоевых газов. Благодаря плавному перемещению на подвижной колосниковой решётке порции раскалённого кокса из топливной шахты в топочную камеру создаются условия для поддержания равномерности работы котла с нормативными показателями. Снижение вредных выбросов в уходящих газах при сжигании реакционного топлива достигается подачей через коллектор вторичного дутья воздуха в зону горения летучих веществ на выходе из зажимной решётки. Приведены аналитические уравнения определения размеров зоны горения по режимным и конструктивным параметрам процесса сжигания. Эффективность применения в мало-мощных котлах комбинированной (шахтно-слоевой) технологической схемы проверена во время испытаний сжигания угля разного качества в полумеханической топке с оборотной колосниковой решёткой в составе электроугольного котла теплопроизводительностью 50 кВт для железнодорожных вагонов.*

***Ключевые слова:** комбинированная схема сжигания, шахтно-слоевая схема, отопительный водогрейный котёл, твердотопливный котёл, полумеханическая топка, оборотная колосниковая решётка, твёрдое топливо*

UDC 697.432

Combined scheme of solid fuel combustion in low power boilers

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. *Different constructive schemes of solid fuel combustion in heating boilers up to 100 kW with the analysis of their efficiency depending on the quality of the burned solid fuel are considered. It is established that low-power solid fuel boilers with various types of combustion devices depending on the characteristics of the burned fuel and the accepted level of service are used in heat supply systems of premises, buildings and structures: from simple furnaces with manual maintenance to automated combustion devices of complex design. Mostly pre-prepared high-quality fuel is used for combustion: fuel pellets, briquettes, high-quality coal, the high cost of which significantly increases operating costs. In order to reduce capital and operating costs, it is advisable to introduce relatively inexpensive models of low-power heating boilers with an acceptable level of mechanization of combustion technology of cheap fuel, including local, with minimal costs for its preparation. The design of a heating water boiler with a semi-mechanical furnace and a technological scheme of combustion is proposed, which combines the processes of drying, gasification and combustion of fuel in a shaft with a clamping grate and combustion of coke in a layer on a moving grate. It is noted that the periodic supply of fuel in the furnace with a moving grate is maintained the stability of the combustion process in the combustion chamber, in the period between cleaning of ash and slag, without significant changes in the composition of above-layer gases. Due to the smooth movement of the next portion of hot coke from the fuel shaft to the combustion chamber on the rotating grate, conditions are created to maintain the uniformity of the boiler with the normative indicators. A reduction in harmful emissions in the exhaust gases was achieved during the combustion of the reaction fuel by passing a secondary blast of air through a collector and directing it to the combustion zone of light substances at the outlet of the clamping grate. Analytical equations for determining the size of the combustion zone according to the regime and design parameters of the combustion process are given. The efficiency of application of the combined (shaft-layer) technological scheme in low-power boilers was tested during testing of combustion of different quality coal in a semi-mechanical furnace with a rotating grate in the electric coal boiler with a heat output of 50 kW for railway carriages.*

Keywords: *combined combustion scheme, shaft-layer scheme, heating hot water boiler, solid fuel boiler, semi-mechanical furnace, circulating grate, solid fuel*

Надійшла до редакції / Received 20.11.2020