

ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.181

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.3.1/17>

Воїнов О.П.

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Елькін Ю.Г.

Одеська державна академія будівництва та архітектури

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ КОТЕЛЬНО-ТОПКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Метою статті є аналіз існуючих перспективних котельно-топкових технологій спалювання твердого палива та одержаних результатів дослідження технологічного процесу у котлах з киплячим шаром. Розглянуто актуальність спалювання вугілля в Україні та обумовлюючі її фактори, від історичного контексту до соціальних та економічних аспектів. Акцентовано увагу на необхідності знаходити оптимальний баланс між потребами в енергозабезпеченні та дотриманням екологічних норм. Перехід до чистих джерел енергії потребує комплексного підходу та довгострокового планування. Ринок твердопаливних котлів на деревині, агровідходах та біопаливі демонструє зростання та динамічний розвиток. Діюче обладнання котельнь потребує оновлення та розвитку на основі застосування високоефективних котельно-топкових технологій. Необхідним є розвиток структури паливно-енергетичного балансу енергетики з урахуванням збільшення частки енергетичного твердого палива. Підвищення технологічної ефективності котельно-топкових систем можливе як шляхом оновлення існуючого обладнання, так і шляхом створення нового досконалого обладнання. Розвиток парку котлів у вітчизняній енергетиці слід здійснювати на основі використання прогресивних, перспективних котельно-топкових технологій. Такими прогресивними технологіями є використання об'ємно-охолоджуваної топki, киплячого шару, низькотемпературного спалювання та спалювання під підвищеним тиском. Поєднання перших трьох технологій є найбільш доцільним, пріоритетним для випадків спалювання палива всіх видів і сортів. Технологія спалювання під підвищеним тиском є доцільною при використанні газоподібного та рідкого палива. Істотним результатом вивчення технологічного процесу котлів з киплячим шаром стала розробка концепції управління процесом зовнішньої ерозії. Виконані дослідження дозволили запропонувати шляхи та засоби підвищення технологічної ефективності котлів з киплячим шаром під час роботи на низькоякісному твердому паливі, у тому числі суттєво підвищити стійкість поверхонь нагріву до впливу зовнішньої ерозії.

Ключові слова: котельно-топкові технології, тверде паливо, вугілля, біомаса, екологічність, об'ємне охолодження топki, киплячий шар, низькотемпературне спалювання, зовнішня ерозія.

Постановка проблеми. Незважаючи на світові тренди, спрямовані на перехід до чистих джерел енергії, спалювання вугілля займає важливе місце в енергетичному секторі України. Актуальність спалювання вугілля в Україні має економічні, соціальні та екологічні причини.

Історично в Україні вугілля було одним із основних енергетичних ресурсів. І хоча вугільна галузь зіткнулася з безліччю труднощів, і насамперед із війною, включаючи закриття шахт та зниження попиту, вона все ще зберігає своє значення для енергетичного балансу країни.

Однією з ключових причин збереження актуальності спалювання вугілля в Україні є прагнення до енергетичної незалежності. Країна історично залежала від імпорту газу. Після 2014 року необхідність зменшити залежність від зовнішніх його поставок стала одним із пріоритетних завдань. Спалювання внутрішнього вугілля дозволяє не лише знизити залежність від імпорту газу, а й створити нові робочі місця у вугільній галузі, що стимулює розвиток регіонів, де розташовані вугільні шахти. Таким чином, вугілля є важливим елементом у стратегії забезпечення енергетичної безпеки країни.

Спалювання вугілля в Україні також зумовлене його економічною доступністю. Вугілля залишається одним з найдешевших джерел енергії в порівнянні з газом або відновлюваними джерелами. Це робить вугілля привабливим, особливо в контексті зростання конкуренції на енергетичному ринку. В умовах значних фінансових навантажень використання вугілля дозволяє скоротити витрати, зберігаючи цінову конкурентоспроможність.

Вугільна галузь надає трудові місця проживаючим у регіонах, багатих на вугілля. Перехід на «зелену» енергетику без попереднього планування може призвести до серйозних соціальних наслідків у вугільних регіонах. Тому важливим є сталий перехід на чисті джерела. На найближчі десятиліття спалювання вугілля залишатиметься важливою частиною енергетичної системи України. У східних областях воно може залишитись і далі.

Крім того, сонячні та вітрогенератори суттєво залежать від природних циклів, а отже вимагають створення масштабних систем зберігання енергії. Сучасні акумулятори при всій їх ефективності занадто дорогі та ресурсомісткі для глобального впровадження. Враховуючи поточний рівень вугільного виробництва та споживання, не лише економічні фактори, а й соціальні аспекти збережуть актуальність спалювання вугілля.

Спалювання вугілля пов'язане з погіршенням екологічної ситуації. Проте вугільні електростанції в Україні орієнтовані на впровадження сучасних технологій очищення викидів, щоб мінімізувати їх шкідливий вплив на довкілля. І хоча на сьогоднішній день в Україні не залишилося жодної теплової електростанції, яка б не була пошкоджена або повністю зруйнована війною, у відновному післявоєнному періоді впровадження сучасних технологій очищення викидів тепловими електростанціями збереже актуальність.

Перспективним в Україні також є використання інших видів твердого палива і, насамперед, з біомаси, агровідходів та біопалива, для подолання енергетичної залежності та зміни структури споживання енергоресурсів ближче до моделі сталої енергетики. Україна має великий потенціал використання як палива сільськогосподарських відходів (соломи, лушпиння соняшника, кукурудзяних качанів тощо), лісового ресурсу, біопалива (пелет, агропелет тощо).

У цих умовах використання твердопаливних котлів (Кт) є одним із шляхів досягнення енергетичної автономії, особливо в аграрному та

переробному секторах. Ринок таких Кт розвивається та пристосовується до сучасних вимог ефективності, екологічності та зручності використання [1].

Програми від ЄС, німецького товариства міжнародного співробітництва GIZ, агентства США з міжнародного розвитку USAID тощо фінансують використання твердопаливних Кт на промислових та муніципальних об'єктах.

В Україні є виробники промислових твердопаливних Кт, які забезпечують високу ефективність топкового процесу та низький рівень викидів шкідливих речовин [2–4]. Дехто з них навіть експортує продукцію.

Розглянемо стан вітчизняного котельного обладнання.

Істотною особливістю котельних відділень ТЕС та промислово-опалювальних котельнь є той факт, що більше 80% встановлених у них Кт відпрацювало розрахунковий ресурс і знаходиться в граничному стані [5]. Відповідно до чинного стандарту, подібні агрегати не доцільно ні експлуатувати, ні ремонтувати. Їх необхідно замінити на нові Кт.

Зношене обладнання потребує спеціалізованого технічного (експлуатаційного та ремонтного) обслуговування, з урахуванням основних положень технічної геронтології [6].

У котельних відділеннях ТЕС встановлені великі енергетичні Кт сучасних параметрів пари. Водогрійні Кт відрізняються від парових Кт ширшою різноманітністю типів теплової та конструктивної схем.

Звертає на себе увагу невисокий ступінь автоматизації котельних установок. При їх експлуатаційному обслуговуванні, а також у звітних матеріалах котельнь відомості про екологічні показники функціонування котельно-топкового обладнання не значаться.

Загалом фактичний стан обладнання парку енергетичних та промислово-опалювальних котельнь відстає від рівня вимог світової енергетики.

Говорячи про ефективність використання існуючих котельно-топкових систем (КТС), слід зазначити, що ефективність технічних об'єктів – поняття комплексне, характеризується соціальною і технологічною складовими.

Остання формується екологічною, економічною та загальнотехнічною ефективністю. Найважливішою складовою є ступінь екологічності.

Показники функціонування зношених Кт, і насамперед екологічна ефективність, – нижчі

за рівень сучасних вимог. Це особливо важливо тому, що енергетика є основним забруднювачем природного середовища. На її частку припадає, як відомо, шкідливих викидів $\sim 48\%$, шкідливих скидів $\sim 27\%$, твердих відходів $> 70\%$, викиду парникових газів до 70% [7].

У загальному обсязі шкідливого впливу котельнь на природне середовище при приблизно однаковій кількості спалюваного палива станційними агрегатами і промисловими агрегатами на частку останніх припадає значно більша частина відповідальності за шкоду, що приноситься.

Ефективність використання палива в КТС визначається дією низки факторів: видом та сортом палива; ступенем технічної досконалості технології та застосовуваного котельно-топкового обладнання, його станом; режимом функціонування котельнь; технічною культурою експлуатаційного та ремонтного обслуговування котельних установок.

При оцінці ефективності використання обладнання необхідно враховувати соціальну та технологічну її складові. В останній основну увагу

слід приділяти оцінці ступеня екологічної досконалості технічних об'єктів [8].

Практично, усереднена ефективність функціонування промислово-опалювальних котельнь, особливо на твердому паливі, – відносно низька. Високий рівень зносу Кт не дозволяє підняти технічну культуру їх обслуговування, отже, і їх ефективність.

Важливим завданням вітчизняної енергетики та енергетичного машинобудування є підвищення технологічної ефективності КТС у станційній та промисловій енергетиці.

Структура паливно-енергетичного балансу вітчизняної енергетики оцінюється такими даними за станом на 2022 рік (рис. 1, 2) [9].

Частка імпортного газового і рідкого палива, дуже дорогого на світовому ринку, що досягає майже половини спалюваного палива (в умовному паливі), підвищує ціну вироблюваних електрики і теплоти. Нинішня структура балансу має бути визнана несприятливою.

Генеральною лінією розвитку енергетики, як станційної, так і промислової, слід вважати цілеспрямоване, планомірне збільшення частки

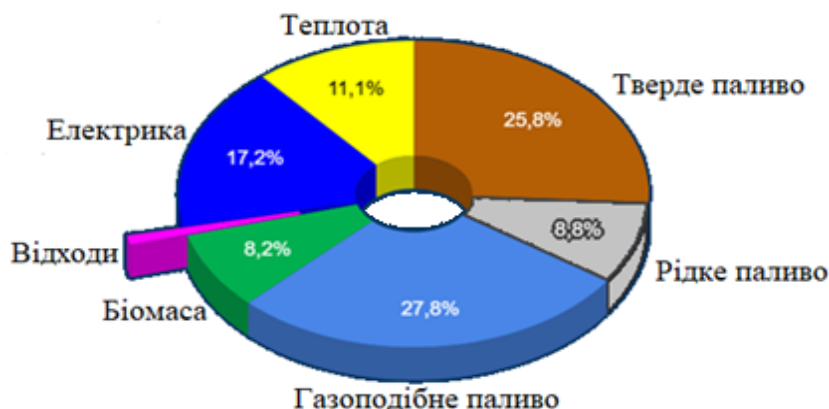


Рис. 1. Структура виробництва енергоносіїв в Україні

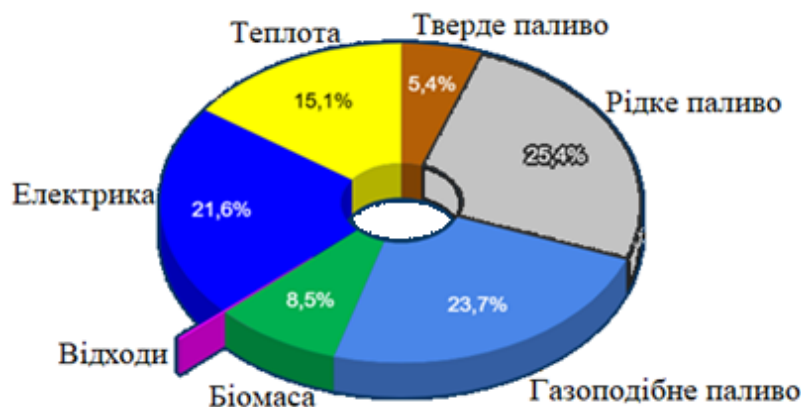


Рис. 2. Структура кінцевого енергетичного споживання

твердого палива в паливно-енергетичному балансі галузі. Першочерговому використанню підлягає тверде вітчизняне паливо як основне первинне джерело енергії.

При цьому, як відомо, в енергетику доцільно спрямовувати енергетичне тверде паливо, що відрізняється низькою якістю. Паливо високої якості (кондиціоновано) слід використовувати в інших галузях економіки.

Актуальним є дослідження шляхів підвищення технологічної ефективності КТС на твердому паливі.

Доцільним у нинішніх умовах є здійснення програми підвищення технологічної ефективності застосовуваних КТС, що складається з двох самостійних частин:

- програма А – підвищення ефективності на основі оновлення існуючих Кт та котельних установок,
- програма Б – підвищення ефективності на основі створення та використання нового, сучасного, перспективного обладнання.

Обидві програми мають спиратися на застосування високоефективних, перспективних, пріоритетних котельно-топкових технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поглиблений науково-технічний аналіз доступних даних показав, що серед відомих котельно-топкових технологій підвищенням ступенем досконалості привертають увагу лише деякі. Зазначимо найцікавіші:

- технологія застосування об'ємно-охолоджувальної топки (ООТ) [10],
- технологія киплячого шару (КШ) [11, 12],
- технологія низькотемпературного спалювання (НТС) [13],
- технологія спалювання під підвищеним тиском (СПТ) [14].

Кожна з них несе у собі суттєву новизну та широкі можливості підвищення технологічної ефективності котельно-топкового процесу. Ступені вивченості кожної з цих технологій різні, ступінь промислового освоєння, масштаб застосування їх у котельній техніці – також різні.

Найбільший інтерес становлять технології, що поєднують у собі деякі із зазначених вище. Вони набули характеру пріоритетних технологій.

Технологія застосування об'ємно-охолоджувальної топки

Технологія застосування ООТ дозволяє суттєво підвищити ступінь екологічної та економічної ефективності котельно-топкового процесу під час роботи на паливі всіх видів, в агрегатах будь-якої одиничної потужності. Ця технологія є основою створення КТС четвертого покоління. Це надає технології ООТ пріоритетного характеру.

Поверхні нагріву ООТ працюють значно ефективніше, ніж традиційні настінні та двосвітні топкові екрани (рис. 3).

ООТ відрізняються від поверхнево-охолоджуваних топков високим ступенем екологічної ефективності, насамперед після виходу оксидів азоту [15].

Переведення оновлюваних котлів традиційних типів на технологію ООТ (рис. 4) зумовлює отримання суттєвого позитивного технологічного ефекту. Створення нових КТС на основі використання технології ООТ дозволяє отримати агрегати четвертого покоління, що становлять пріоритетну лінію розвитку котельно-топкової техніки. Ці положення відносяться до котлів різної одиничної потужності.

Технологія киплячого шару

Технологія КШ є найефективнішою у поєднанні із технологією НТС. Вона дозволяє отримати високий технологічний ефект функціонування Кт на паливі будь-якого виду та сорту,

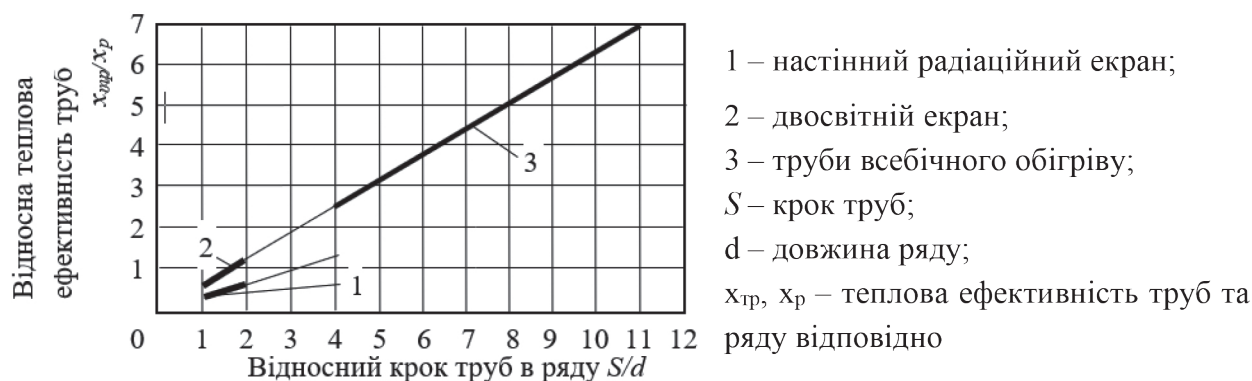
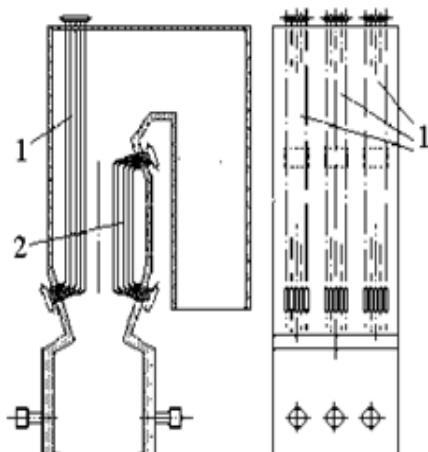


Рис. 3. Вплив відносного кроку труб S/d у ряді на їх відносну теплову ефективність $x_{тр}/x_p$



1 – передній, 2 – задній модуль

Рис. 4. Компонівка ООТ котла ТПП-210А

включаючи тверде низькоякісне (у тому числі рекордно високозольне, а також високосірчисте) паливо. Дана технологія має риси пріоритетного вирішення завдання вибору доцільної КТС для високоефективного використання низькоякісного твердого палива та відходів вуглезбагачення

у вітчизняній енергетиці. Зазначені властивості технології КШ притаманні бульбашковому КШ (БКШ) (рис. 5), характерному для промислової енергетики [16].

Також зазначені властивості технології КШ притаманні циркулюючому КШ (ЦКШ) (рис. 6), характерному для енергетики станційної та великої промислової [17]. Перший в Україні енергетичний Кт із ЦКШ почав працювати в 2004 році на Старо-Бешівській ТЕС Донбасенерго.

Технологія низькотемпературного спалювання палива

Технологія НТС відкриває можливість спалювати натуральне паливо різних видів і сортів при низькій температурі топкового середовища, до 1100°C , при якій вихід оксидів азоту (NO_x) малий, тому їх концентрація у викиді нижче гранично допустимої.

Недоліком даної технології є можливість збільшення хімічного та механічного недопалу палива при порушеннях режиму функціонування топки. За низьким рівнем викиду NO_x ця технологія є унікальною.

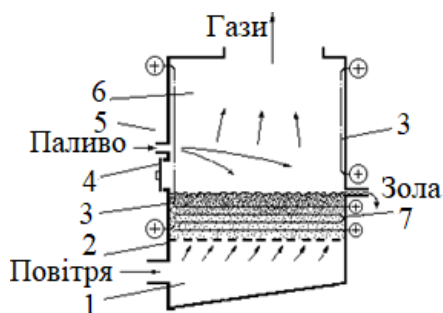


Рис. 5. Схема топки котла із бульбашковим КШ

- 1 – дуттьова камера,
- 2 – повітророзподільні ґрати,
- 3 – КШ, 4 – дверцята,
- 5 – топковий радіаційний екран,
- 6 – топкова камера,
- 7 – поверхня нагріву, занурена в КШ

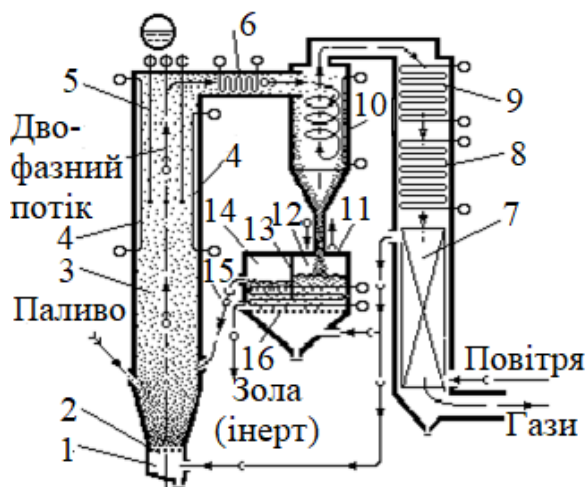


Рис. 6. Схема котла з циркулюючим киплячим шаром

- 1 – дуттьова камера;
- 2 – повітророзподільні ґрати;
- 3 – топкова камера;
- 4 – топочні радіаційні екрани;
- 5 – ширми; 6, 7 – пароперегрівач;
- 8 – економайзер; 9 – повітропідігрівач;
- 10 – циклон; 11 – винесений теплообмінник;
- 12 – вхідна камера; 13 – переділ;
- 14 – камера вихідна; 15 – течка;
- 16 – повітророзподільні ґрати теплообмінника

Технологія спалювання під підвищеним тиском

Технологія СПТ приваблює можливістю зменшити габарити Кт, скоротити питому витрату конструкційних матеріалів. Вона ще не освоєна при спалюванні твердого палива.

З розглянутих котельно-топкових технологій у нинішніх умовах для енергетики України великий інтерес становлять перші три.

Особливий інтерес представляє поєднання зазначених перспективних технологій в одній КТС.

При цьому вдається зберегти, використати переваги кожної з них і одночасно скоротити ступінь прояву властивих їм недоліків.

Технологіям ООТ + КС + НТС властива універсальність за умов доцільного застосування, а саме, за видом і сортом палива, за одиничною тепловою потужністю Кт, а також за призначенням: їх можна успішно застосовувати як основу програми А (оновлення котлів застарілого, традиційного типу) і як основу програми Б (створення нових перспективних КТС четвертого покоління).

Деякі завдання розробки зазначеної комплексної технології стали предметом наукових досліджень з цієї теми.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз існуючих перспективних котельно-топкових технологій спалювання твердого палива та деяких результатів проведеного дослідження закономірностей технологічного процесу у котлах, зокрема, із киплячим шаром.

Виклад основного матеріалу. Виконані дослідження були спрямовані на вивчення закономірностей технологічного процесу в Кт з КШ, зокрема, однієї з важливих, але недостатньо досліджених з них, – процесу зовнішньої ерозії (ЗЕ), тобто витончення занурених у КШ поверхонь нагрівання Кт, що стикаються з речовиною інерту, оскільки саме ЗЕ визначає ресурс найактивніших поверхонь нагрівання Кт.

Інтенсивність процесу ЗЕ визначається дією численних факторів. Основними серед них є розмір частинок інерту, форма частинок інерту, швидкість псевдозрідження, місцезнаходження труби по висоті КШ, відносна відстань труби від осової вертикальної поздовжньої площини топки, діаметр труби, кут атаки поверхні труби потоком частинок, ерозійна стійкість матеріалу труби, ерозійна агресивність частинок інерту.

ЗЕ в КШ є неминучою, оскільки неминучою є силова взаємодія частинок інерту з поверхнею

труб, занурених у шар. Виключити ЗЕ не можна, можна лише обмежити її інтенсивність.

Тому на шляху широкого впровадження технології КШ у станційну та промислову енергетику виникло завдання обмеження інтенсивності процесу ЗЕ (I_g , мм/рік або кг/(м²·рік)), яка за несприятливих умов функціонування Кт з БКС може досягати 5–10 мм/рік, а в Кт з ЦКС – 50–100 мм/рік.

Завдань, пов'язаних з обмеженням ЗЕ багато, оскільки процес ЗЕ характеризується високою розмірністю. Завдання утворюють складний комплекс тісно взаємозалежних елементів. Це надає задачі управління цим процесом проблемного характеру.

Для вирішення цієї проблеми необхідно вирішити щонайменше три головні науково-технічні задачі (рис. 7):

А) задача підвищення ерозійної стійкості елементів Кт;

Б) задача зниження ерозійної агресивності інерту;

В) задача підтримки щадного режиму функціонування Кт.

Отримано головні закономірності впливу на інтенсивність ЗЕ з боку основних конструктивно-компонувальних та режимних факторів. Отримані результати дозволили запропонувати та розробити концепцію управління процесом ЗЕ у Кт з КШ [18] на основі вирішення зазначених трьох задач. Кожна з них має комплексний характер. Усі вони утворюють відносно складну систему елементів з численними причинно-наслідковими зв'язками.

Повнота розв'язання окремих задач визначає ступінь розв'язання сформованих ними основних задач, і навіть досягнутий рівень технологічної ефективності функціонування Кт з КС у конкретних виробничих умовах.

В табл. 1–3 наведено шляхи розв'язання розглянутих задач.

Одним із запропонованих перспективних засобів управління інтенсивністю ЗЕ є розроблене оригінальне рішення задачі Б.

Воно полягає у застосуванні в Кт з КШ інертної сипучої речовини КШ (матеріалу КШ – інерту), який містить певну частку спеціально підготовленої засипки з частинок низької ерозійної агресивності (ЕА) порівняно з агресивністю частинок золи твердого палива, що спалюється.

Одним із шляхів вирішення зазначеної задачі є зниження ЕА частинок інерту шляхом їх обкатки, тобто притуплення виступаючих над їх



Рис. 7. Проблема обмеження інтенсивності зовнішньої ерозії і формуючі її задачі

Таблиця 1

Задача А. Шляхи підвищення ерозійної стійкості елементів Кт

Засіб підвищення ерозійної стійкості елементів Кт	Примітки
Конструкція елементів	
A1. Використання ерозійно-стійкого конструкційного матеріалу	Відносно дорого
A2. Застосування труб, плакованих ерозійно стійким матеріалом	Дорого
A3. Застосування труб із зміцненим поверхневим шаром	Високоєфективно
A4. Застосування труб із потовщеною стінкою	Просто, недорого
A5. Застосування труб із захисним покриттям	Важко, відносно дорого
A6. Застосування труб із захисними накладками	Малоефективно
A7. Застосування змійовиків із різних за властивостями трубчастих елементів	Високоєфективно, відносно дорого
A8. Застосування змійовикових пакетів, що допускають встановлення у двох позиціях	Високоєфективно
A9. Застосування дешевих пакетів обмеженої довговічності, що легко замінюються	Необхідна індивідуаль-на оцінка ефективності
Компоновка елементів	
A10. Доцільне розташування труб у пакеті за відмітками їх рядів	Необхідна оптимізація рішення
A11. Доцільне розташування труб у пакеті по відносним крокам	Необхідна оптимізація рішення
A12. Доцільне розташування труб у пакеті по куту до горизонту	Необхідна оптимізація рішення

Таблиця 2

Завдання Б. Шляхи зниження ерозійної агресивності частинок інерту

Засіб зниження ерозійної агресивності частинок інерту	Примітки
B1. Застосування інерту з часток, попередньо обкатаних	Зручно на газі та мазуті
B2. Рециркуляція інерту між топкою та установкою для обкатки частинок	Зручно на газі та мазуті
B3. Робота з використанням інерту з великих частинок	Ускладнює експлуатацію
B4. Використання стороннього інерту з частинок із низькою ерозійною агресивністю	Зручно на газі та мазуті

Таблиця 3

Завдання В. Шляхи підтримки щадного режиму функціонування Кт

Засіб підтримки щадного режиму функціонування Кт	Примітки
V1. Робота при високій порізності КС	Речовина частинок інерту малої щільності
V2. Використання палива з низькою ерозійною агресивністю частинок золи	Див. таблицю 2
V3. Використання засобів зниження ерозійної агресивності інерту	Див. таблицю 2
V4. Поточний контроль над станом труб для того, щоб використовувати весь їх ресурс	Доступно, не складно
V5. Застосування САР з алгоритмами, що забезпечують оптимальні траєкторії перехідних процесів	Доступно

поверхню гострих вершин і ребер. Для такого впливу на частинки інерту, можна використовувати природний процес внутрішньої ерозії в КШ або процес обкатки частинок на стороні, у спеціальній установці (рис. 8). Отриманий в ній обкатаний інерт (ОІ) можна застосовувати в одній або декількох КТС.

Поглиблений аналіз стану вітчизняної енергетики, структури її паливно-енергетичного балансу показує, що планомірне цілеспрямоване повернення її (насамперед станційної її частини) до використання твердого палива як основного джерела енергії є доцільним шляхом розвитку, оскільки веде до досягнення високого ступеня енергонезалежності та енергобезпеки держави. Ця обставина свідчить про суттєву соціальну значущість розглянутого напрямку розвитку КТС.

Висновки. Актуальність спалювання вугілля в Україні обумовлена безліччю факторів, починаючи від історичного контексту та закінчуючи соціальними та економічними аспектами.

Важливо знаходити оптимальний баланс між потребами в енергозабезпеченні та дотриманням екологічних норм.

Перехід до чистих джерел енергії потребує комплексного підходу та довгострокового планування, щоб забезпечити стабільне та стійке майбутнє для України.

Ринок твердопаливних Кт на деревині, агровідходах та біопаливі демонструє зростання та динамічний розвиток у відповідь на сучасні виклики та потреби споживачів.

Діюче обладнання котельнь потребує оновлення та розвитку на основі застосування

нових високоефективних котельно-топкових технологій.

Необхідний розвиток структури паливно-енергетичного балансу енергетики з урахуванням збільшення частки енергетичного твердого палива.

Підвищення технологічної ефективності КТС можливе як шляхом оновлення існуючого обладнання, так і шляхом створення та використання нового досконалого обладнання.

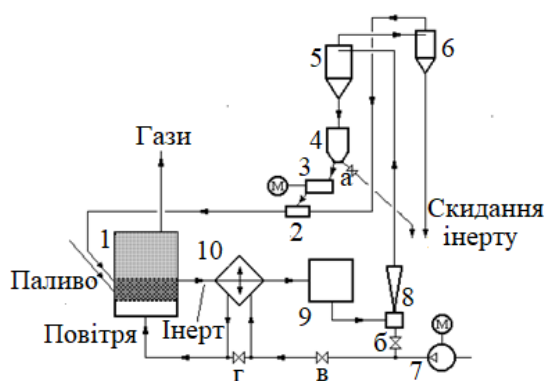
Розвиток парку котлів у вітчизняній енергетиці слід здійснювати на основі використання прогресивних, перспективних (особливо пріоритетних) котельно-топкових технологій.

Перспективними котельно-топковими технологіями є технології використання об'ємно-охолоджуваної топки, киплячого шару, низькотемпературного спалювання та спалювання під підвищеним тиском.

Поєднання перших трьох технологій є найбільш доцільним, пріоритетним для випадків спалювання палива всіх видів і сортів. Технологія спалювання під підвищеним тиском доцільна при використанні газового та рідкого палива.

Істотним результатом вивчення технологічного процесу котлів з КС стала розробка концепції управління процесом зовнішньої ерозії.

Виконані розробки дозволили запропонувати шляхи та засоби підвищення технологічної ефективності котлів з КС під час роботи на низькоякісному твердому паливі, у тому числі суттєво підвищити стійкість поверхонь нагріву до впливу зовнішньої ерозії.



- 1 – котел; 2 – змішувач;
- 3 – живильник ОІ; 4 – бункер ОІ;
- 5 – відділювач ОІ;
- 6 – відділювач дрібного інерту;
- 7 – вентилятор дуттьовий;
- 8 – ежектор; 9 – вузол обкатки;
- 10 – охолоджувач інерту;
- а, б, в, г – запірно-регулюючий орган

Рис. 8. Схема котла із системою приготування та рециркуляції ОІ

Список літератури:

1. Тенденції ринку твердопаливних котлів: сучасні виклики та перспективи, 11 червня 2024. URL: <https://surl.li/nqqbsz> (дата звернення: 04.05.2025).
2. Твердопаливні котли «Zubr» / Офіційний сайт ТОВ «ZUBR». URL: <https://kotel-zubr.com/catalog/promyslovi-kotly> (дата звернення: 04.05.2025).
3. Твердопаливні котли «Вітязь» та «Гетьман» / Офіційний сайт машинобудівного заводу «Вітязь». URL: <https://kotel.vitiaz.biz/> (дата звернення: 04.05.2025).
4. Парогенератори промислові «Ідмар» / Офіційний сайт ТОВ «НВП Електротепломаш». URL: <https://prompar.com/uk/about> (дата звернення: 04.05.2025).
5. Базеев Є.Т. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє – Кн. 3: Розвиток теплоенергетики та гідроенергетики / Є.Т. Базеев, Б.Д. Білека, Є.П. Васильєв та ін. Київ : Фенікс, 2013. 399 с.
6. Воїнов О.П., Воїнова С.О. Технічна геронтологія в проблемі підвищення технологічної ефективності енергетичного обладнання. Вісник інженерної академії України. 2001. № 3. С. 174–177.
7. Воїнов О.П., Елькін Ю.Г. Про зниження шкідливого впливу котельних установок на природне середовище. Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2023. № 1–2 (13–14). С. 66–71. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2023.01.11>.
8. Елькін Ю.Г., Воїнов О.П. Про підвищення екологічної ефективності парку котельних установок у сучасних умовах. Вісник НТУ «ХП» Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2024. № 1. С. 53–59. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2024.01.07>.
9. Енергетичний профіль України / EES ЕАЕС. Світова енергетика. URL: (<https://www.eeseaec.org/energeticeskij-profil-ukrainy>) (дата звернення: 04.05.2025).
10. Воїнов О.П. Розробка науково-технічних основ створення промислових котлів з об'ємно-охолоджувальною топкою: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.01. Харків, 1986. 40 с.
11. Топка з кип'ячим шаром: пат. 11884 Україна: МПК (2006) F23C 10/00. № 4642048; заявл. 27.01.1989; опубл. 25.12.1996, Бюл. № 4. 4 с.
12. Топка кип'ячого шару: пат. 11883 Україна: МПК (2006) F23C 10/00. № 4345022; заявл. 18.12.1987; опубл. 25.12.1996, Бюл. № 4. 4 с.
13. Мисак Й.С., Гнатишин Я.М., Івасик Я.Ф. Паливні пристрої для спалювання низькосортних палив. Львів: Львівська політехніка, 2002. 135 с.
14. Степанов Д.В., Корженко Є.С., Боднар Л.А. Котельні установки промислових підприємств. Вінниця: ВНТУ, 2011. 120 с.
15. Воїнов О.П., Воїнова С.О. Об'ємне охолодження топки – інноваційний елемент розвитку котельно-топкових систем. Енергетика та електрифікація. 2014. № 7. С. 14–17.
16. Воїнов О.П., Воїнова С.О. Особливості завдання управління котлами низькотемпературного бульбашкового киплячого шару. Наукові праці ОНАХТ. 2009. Вип. 35. Т. 2. Одеса: ОНАХТ. 2009. С. 236–238.
17. Воїнов О.П., Чернявський О.Є. Зовнішня ерозія в котлах з циркулюючим киплячим шаром. Вивчення процесу. Управління ефективним енерговикористанням: матеріали 5-ої міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 4–5 вересня 2003 р.). Одеса: ОНПУ, 2003. С. 85–87.
18. Воїнов О.П., Богаченко Д.І., Шевчук Є.О. та ін. Завдання обмеження зовнішньої ерозії у проблемі освоєння котлів з киплячим шаром. Управління енерговикористанням: матер. наук.-техн. конф. (Київ, 15 вересня 2002 р.). Київ: ХПІ, 2002. С. 551–554.

Voinov O.P., Elkin Yu.H. PROSPECTIVE DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF BOILER-FURNACE TECHNOLOGIES

The purpose of the article is to analyze existing promising boiler-fired technologies for burning solid fuels and the results of the study of the technological process in fluidized bed boilers. The relevance of coal combustion in Ukraine and its determining factors are considered, starting from the historical context and ending with social and economic aspects. The emphasis is on the need to find the optimal balance between energy supply needs and compliance with environmental standards. The transition to clean energy sources requires an integrated approach and long-term planning. The market for solid fuel boilers running on wood, agricultural waste and biofuels is demonstrating growth and dynamic development. The current equipment of boiler plants needs to be updated and developed based on the use of highly efficient boiler-fired technologies. It is necessary to develop the structure of the fuel and energy balance of the energy sector, taking into account the increase in the share of energy solid fuels. Increasing the technological efficiency of boiler-fired systems is possible both by updating existing equipment and by creating new advanced equipment. The development of the boiler fleet in the domestic energy sector should be carried out on the basis of the use of progressive, promising boiler and furnace technologies. Such progressive technologies are the technologies of using a volume-cooled furnace,

a fluidized bed, low-temperature combustion and combustion under increased pressure. The combination of the first three technologies is the most appropriate, priority for cases of combustion of fuel of all types and grades. The technology of combustion under increased pressure is appropriate when using gas and liquid fuel. A significant result of studying the technological process of fluidized bed boilers was the development of a concept for controlling the external erosion process. The research conducted allowed us to propose ways and means of increasing the technological efficiency of fluidized bed boilers when operating on low-quality solid fuel, including significantly increasing the resistance of heating surfaces to the effects of external erosion.

Key words: boiler and furnace technologies, solid fuel, coal, biomass, environmental friendliness, volumetric cooling of the furnace, fluidized bed, low-temperature combustion, external erosion.