

УДК 504.06:66.046.8

МАКАРОВА О.В.

аспірант, Миколаївський державний гуманітарний університет
ім. Петра Могили

РАДЧЕНКО М.І.

д.т.н., проф., Національний університет кораблебудування
ім. адм. Макарова, НДІ проблем екології та енерго-
збереження, м. Миколаїв

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ВІД КОТЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНОЇ ІНДУСТРІЇ

Проаналізовано екологічну безпеку сучасних методів скорочення шкідливих викидів від котелень та запропоновано методи зменшення антропогенного впливу котельних підприємств будівельної індустрії на довкілля.

Ecological safety of the modern methods of the harmful wastes from boilers is analyzed and some methods of the ecological influence of boilers of the building industry enterprises on the environment are proposed.

1. Стан проблеми, аналіз способів скорочення шкідливих викидів від котельних підприємств будівельної індустрії, постановка мети дослідження

Виробництво будівельних матеріалів є вельми енергоємним процесом, що характеризується значними втратами теплоти та нерациональним використанням паливних і водних ресурсів. Так, близько 45 % витраченої у виробництві теплоти акумулюється будівельним матеріалом (силікатною цеглою, бетоном) та парою у вільному об'ємі автоклаву. Значна частка акумульованої теплоти витрачається при випуску відпрацьованої пари, що призводить до збільшення витрат палива (газу, мазуту, вугілля) на виробництво пари в котельнях, які займають вагоме місце в загальних витратах енергоресурсів у виробництві будівельних матеріалів. Так, для отримання 1 кг пари необхідно витратити 2,261 кДж тепла, а з урахуванням теплоти на нагрів води до 100 °С – біля 2,680 кДж [1]. При цьому втрати тепла в самих котельнях при спалюванні палива і перетворенні води в пару теж високі: середній ККД котелень не перевищує 0,8. Втрати тепла мають місце також при транспортуванні пари в трубопроводах до теплових агрегатів і через непер-

нення до котелень суттєвої частки конденсату (до 25 %) [1]. Разом ці втрати тепла призводять до значного екологічного навантаження котелень на довкілля у вигляді викидів токсичних і шкідливих речовин із продуктами згоряння в атмосферу (окису вуглецю, двоокису азоту, ангідриду сірчистого, ванадію п'ятиокису та сажі при роботі котельних на мазуті; окису вуглецю та окислів азоту – при роботі на газі).

Сучасні методи очищення шкідливих викидів котелень мають низьку ефективність [2]. Найбільш поширені – вологі методи очищення відхідних газів (зрошенням водою) супроводжуються значним зменшенням температури газів, а відтак різко скорочують можливість подальшого використання їхнього теплового потенціалу. Окрім того, вони пов'язані з додатковими енергетичними та матеріальними витратами, а ефективність очистки в них удвічі нижча, ніж в електрофільтрах.

Апарати сухого типу теж не забезпечують необхідного ступеня очищення, доволі громіздкі, а їхнє включення у тракт відпрацьованих газів потребує додаткових енергетичних витрат на подолання аеродинамічного опору. Очистка димових газів від золи в основному здійснюється в електрофільтрах, на більшості котелень давно

морально і фізично застарілих, що вимагає їх заміни або реконструкції. Проблема екологічної безпеки котельень загострюється ще тим, що заміна недосконалих апаратів вологого заловлюю-

вання і електрофільтрів на сухі сучасні апарати потребує значних матеріальних і фінансових витрат (рис. 1).

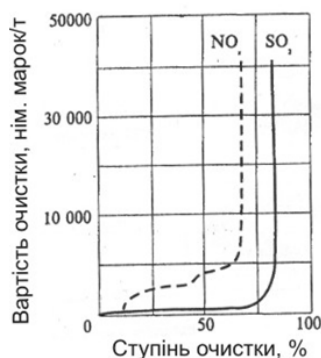


Рис. 1. Нелінійний ріст вартості очистки від забруднення

Як видно на рис. 1, високий ступінь очистки відхідних газів від таких забруднювачів атмосфери, як SO_2 і NO_x , може бути досягнутий при низьких витратах, але на певному етапі вони різко збільшуються (вартість очистки від SO_2 розрахована для Східної Європи (у нім. марках за тону видаленого забруднювача), від NO_x – для Західної Європи). Таким чином, чим вищий ступінь очистки газів, тим вища її вартість [7]. До того ж через недосконале природоохоронне обладнання на виробництві необхідний ступінь очистки у більшості випадків є недосяжним.

Вагому частку у шкідливих викидах котельень займають *сірчані речовини*. Якщо перехід котельень на спалювання газу або малосірчистого вугілля неможливий, то виникає необхідність очистки димових газів або зв'язування сірки в процесі спалювання, а також попередній витяг сірки з палива. Існуючі способи очистки, зокрема циклічні, являють собою складне хімічне виробництво і значно перевищують капіталовкладеннями і експлуатаційними витратами нециклічні варіанти. Так, вологий вапняковий (вапняний) спосіб – нециклічний процес, найбільш розповсюджений у США, Японії, ФРН тощо. Він забезпечує очистку газів на 90 % від SO_2 . Основною складністю при експлуатації вапняних установок є значні тверді відклади на стінках скрубера [8].

При розгляді різних хімічних способів очистки димових газів котельень від діоксиду сірки, слід відзначити, що капіталовкладення в нециклічні способи очистки складають близько 10-15 %, у циклічні 30-40 % вартості енергоблоку. До того ж циклічні методи можуть бути рентабельними при вмісті сірки в паливі понад 3,5-4 %. В інших випадках економічно доцільно використовувати вологий вапняковий чи волого-сухий вапняковий метод. Подальший розвиток і вдосконалення методів очистки димових газів котельних від оксидів сірки спрямований на досягнення безвідходної технології [8].

Переробка сірчанних палив перед їх спалюванням є одним із методів скорочення викидів діок-

сиду сірки на котельнях. Особливий інтерес при цьому набуває видалення з палива колчеданної сірки, що значно простіше, ніж очистка димових газів від SO_2 . Додатковою перевагою очистки палива від сірки (перед спалюванням) є підвищення ефективності та надійності котельних установок, зниження корозії низькотемпературних поверхонь нагріву. Існуючі способи видалення колчеданної сірки не забезпечують повного її видалення. За допомогою гравітаційних повітряних сепараторів вдається видалити лише до 75 % колчеданної сірки. Хімічним методом, зокрема хімічною обробкою палива пентакарбонілом заліза та збагачення магнітним способом, можна видалити 85 % колчеданної сірки. Для того, щоб видалити з вугілля не тільки колчеданну сірку, але й органічну сірку, необхідно використовувати складні та вартісні технологічні процеси.

Для вирішення екологічних задач, і в першу чергу зниження викиду оксидів сірки, в останні роки багато уваги приділяється *спалюванню твердого палива в киплячому шарі та створенню парогазових установок з газифікацією вугілля*. Перевагами цих методів є утилізація оксидів азоту, наявність утилізаційного парогенератору для виробництва електроенергії. Недоліками є витрати, пов'язані з використанням інертних матеріалів та сорбентів, а також потреба у природному газі для газифікації твердого палива. У СНД створені та знаходяться в стадії дослідження декілька котлів зі спалюванням палива в киплячому шарі. Аналогічні роботи проводяться за кордоном. У США налагоджено серійний випуск такого типу котлів паропроductивністю від 1 до 100 т/год. У Фінляндії фірмою "Альстром" випускаються котли з киплячим шаром на 420 т/год пари [8].

Суттєво зменшити кількість оксидів азоту, що утворюються при горінні, можливо за умови спеціально організованого процесу горіння. *Методи скорочення викидів оксидів азоту*, що знайшли практичне використання, потребують значних матеріальних витрат та вартісного обладнання [8]. Використання того чи іншого методу скоро-

чення NO_x викликає багато складнощів. Пояснюється це тим, що процеси у топці є складними, відрізняються різноманіттям конструкцій топків, горілочних установок та властивостей палив [8]. Так, *зниження температурного рівня в топці* як метод скорочення викидів оксиду азоту потребує додаткових коштів для встановлення великої кількості горілок в котлах. До того ж цей метод використовується лише в котлах, де в як паливо спалюється природний газ, який не містить азоту. У багатьох випадках досягти бажаного зниження викидів в процесі спалювання палива шляхом пригнічення утворення NO_x неможливо. У таких випадках використовується *методи хімічної очистки газів від оксидів азоту*.

Перспективними щодо очистки димових газів котлів є *відновлювальні методи*. Найбільш вивчений метод полягає у відновлюванні оксидів азоту за допомогою аміаку при високих температурах (900...1100 °С). Ефективність розкладання NO_x з використанням каталізатора досягає 90 %. Недоліками методу є значні витрати на придбання аміаку та каталізатора для очистки викидів оксиду азоту. До того ж тривалість дії каталізатора обмежена. Через декілька тисяч годин роботи ефективність каталізатора на пиловугільних шахтах (за досвідом їх роботи за кордоном) знижується. У цьому випадку можливе додавання ще одного ряду блоків каталізатора, що потребує додаткових витрат.

Серед інших шкідливих викидів, що утворюються при спалюванні органічного палива, найбільше значення мають продукти неповного згорання – оксид вуглецю та бенз(а)пірен. Як правило, зі зменшенням потужності котлів концентрація СО у відхідних газах зростає. На концентрацію оксиду вуглецю в продуктах згорання впливають багато факторів, зокрема потужність котла, вид палива, аеродинаміка топкової камери тощо. До того ж спалювання палива в топці варто налагоджувати таким чином, щоб знизити до нуля хімічний недопал і, відповідно, викиди СО.

Значна кількість бенз(а)пірену виділяється при режимах горіння, що супроводжуються утворенням сажі, і залежить насамперед від надлишку повітря в топці й температури горіння. У добре відрегульованих топкових пристроях вихід бенз(а)пірену не перевищує $0,4 \cdot 10^{-4}$ мкг/м³ продуктів згорання. Слід зазначити, що бенз(а)пірен добре розчиняється в ацетоні, бензолі, толуолі та ряді інших розчинників і може бути вловлений фільтрами із тканини ФПП-15, розробленими академіком І.В. Петряновим-Соколовим.

Важливе місце займають також *методи очистки шкідливих викидів котельних від золи*. Ефективність роботи газоочисних установок, зокрема золовловлювачів, залежить передусім від фізико-хімічних властивостей вловлювальної золи і потрапляючих в золовловлювач димових газів. Основними характеристиками золи, які враховуються при проектуванні золоуловлювачів, є щіль-

ність, дисперсний склад та електричний опір, злипання тощо. Так, зола з високим ступенем злипання, сюди можна віднести золу АШ, забиває циклони і мокрі золовловлювачі і погано видаляється з бункерів. Для вологих золовловлювачів істотне значення має вміст в золі оксиду кальцію СаО. При великій кількості СаО їх робота стає неможливою через цементизацію золи (сланець).

Варто мати на увазі, що чим вище необхідний ступінь очищення газів і чим дрібніші частки, що підлягають уловленню, тим більшими виявляються питомі капітальні витрати на спорудження установок для вловлювання золи й витрати на їх експлуатацію.

На котельних застосовуються три типи золоуловлювачів: апарати сухого інерційного очищення газів (жалюзійні золоуловлювачі, циклони, прямооточні циклони, батарейні циклони); апарати мокрого очищення газів; електрофільтри. Фільтри, у яких використовуються пористі середовища для очищення газів від твердих часток (волоконисті, тканеві або рукавні, зернисті), не знайшли широкого поширення через дуже великі габарити й підвищену складність в експлуатації. Основна складність полягає в нагромадженні золи у фільтруючому матеріалі, що вимагає його періодичної регенерації. Основна перевага таких фільтрів полягає в дуже високому ступені очищення газів від пилу або золи, що перевищує 99,9 %. Ступінь вловлювання золи в золовловлювачах коливається залежно від властивостей золи й умов експлуатації в широких межах. Так, ступінь вловлювання й електрофільтрів становить 96-99; мокрих золоуловлювачів 92-96; батарейних циклонів 82-90 %.

Складнощі виникають також при очистці шкідливих викидів котелень, що спалюють рідке паливо. Видалення вловлених твердих часток на мазутних котлах являє собою більш складне завдання, ніж при роботі на твердому паливі. Поперше, котли таких котелень, як правило, не оснащені золовловлювачами у зв'язку з низьким змістом золи в паливі ($A^p = 0,05 \div 0,15$ %). По-друге, складність видалення твердих часток на мазутних котлах пояснюється гігроскопічністю, високим вмістом горючих і втратою сипкості золи при температурі нижче 150 °С. Тому застосовується пневматична або гідравлічна система евакуації мазутної золи. У зв'язку з тим, що в уловленому матеріалі великий вміст вуглецю, у деяких схемах передбачається повернення вловлених часток на повторний допал.

В останні роки у зв'язку зі збільшенням забруднення атмосферного повітря й більш глибоким вивченням складу твердих викидів, що утворюються при спалюванні мазуту, у СНД і за кордоном проводяться роботи з дослідницького й промислового впровадження золовловлювачів у мазутних котлах. Найбільше поширення у світовій практиці на котлах, що спалюють мазут, знайшли

інерційні золотловлювачі, як найбільш дешеві при спорудженні й прості в експлуатації. Також використовуються електрофільтри, найбільші труднощі при експлуатації яких полягають у налипанні твердих часток на поверхні електродів. Цю проблему вирішують шляхом упорскуванням аміаку в газохід перед електрофільтром. Періодично здійснюється водне промивання електрофільтрів [8].

У результаті виконаного аналізу екологічної безпеки та економічної доцільності існуючих методів очистки шкідливих викидів котельних, можна зробити висновок, що розглянуті методи очистки або не забезпечують високого ступеня видалення шкідливих речовин у відхідних газах котелень, або ж потребують значних матеріальних та фінансових витрат. Очевидно, що пошук резервів скорочення токсичних викидів від котелень доцільно здійснювати в напрямі скороченні витрат палива, що в них спалюється, тобто самих джерел цих викидів, а не тільки ліквідації наслідків непродуктивного використання паливних і водних ресурсів. Реалізація цього напряму в свою чергу пов'язана з раціональним використанням теплоти й теплоносія (води) в технологічних процесах, а відтак паливних і водних ресурсів [3].

Шляхи повторного використання відпрацьованої в автоклавах пари для термообробки будівельного матеріалу, зокрема силікатної цегли, розглядалися Вахніним М.П. і Аніщенком А.А. [3], Хавкіним Л.М. [4], Зейфманом М.І. [5]. Автори дійшли висновку, що завдяки перепуску відпрацьованої пари з автоклаву в автоклав досягається економія пари і підвищується ККД котельні. Однак значні резерви лишаються не задіяними, що виключає можливість раціонального використання наявних ресурсів.

Отже, скорочення токсичних і шкідливих викидів від котелень у довкілля лише шляхом застосування навіть сучасних ефективних пилогазоочисних установок не вирішує проблему забруднення атмосфери, оскільки спрямоване на ліквідацію наслідків, а не першопричин забруднення. Проблема повинна вирішуватись у комплексі шляхом розробки енергоресурсозберігаючих технологій, які забезпечували б максимально повне використання теплових резервів виробництва. Впровадження таких енергоресурсозберігаючих

технологій в автоклавне виробництво будівельних матеріалів сприяло б не тільки підвищенню його енергетичної ефективності (скороченню витрат пари і, як наслідок, зменшенню непродуктивних витрат палива та води на їхнє виробництво), але й підвищенню екологічної безпеки (скороченню токсичних викидів від котельних у довкілля).

Метою дослідження є зменшення антропогенного навантаження котельними автоклавного виробництва будівельних матеріалів на довкілля шляхом глибокої утилізації теплоти відпрацьованої пари.

2. Аналіз результатів дослідження

Термічна обробка сирцю в автоклавах – споживача пари в технологічному циклі виробництва будівельних матеріалів – супроводжується значними енергетичними втратами. У циклі термообробки близько 45 % теплоти, що витрачається, акумулюється в автоклаві: більша частка – цеглою, а решта – парою у вільному об'ємі автоклаву та самим автоклавом і вагонетками. Ця теплота при випуску відпрацьованої пари в атмосферу втрачається. Спалювання в котельній палива для виробництва пари призводить до значної кількості викидів шкідливих речовин із продуктами згоряння в атмосферу.

Так, аналіз шкідливих викидів котельної АТ “Олександрівський завод силікатної цегли” (Миколаївська область), яка працює на мазуті [9], дав такі результати (рис. 2.).

Загальна частка викидів забруднюючих речовин котельної в порівнянні з іншими джерелами викидів хоча й не домінуюча, але все ж доволі суттєва – 7,7 %.

Котельня в процесі своєї роботи на мазуті викидає в навколишнє середовище такі забруднюючі речовини, як окис вуглецю, двоокис азоту, ангідрид сірчастий, ванадія п'ятиокис.

Найбільшу частку викидів котельні в навколишнє середовище становить сірчастий ангідрид – 37,7 %; на другому місці – окис вуглецю, частка якого складає 15 %; на третьому – двоокис азоту (13 %); на четвертому – п'ятиокис ванадію (0,009 %) [9].

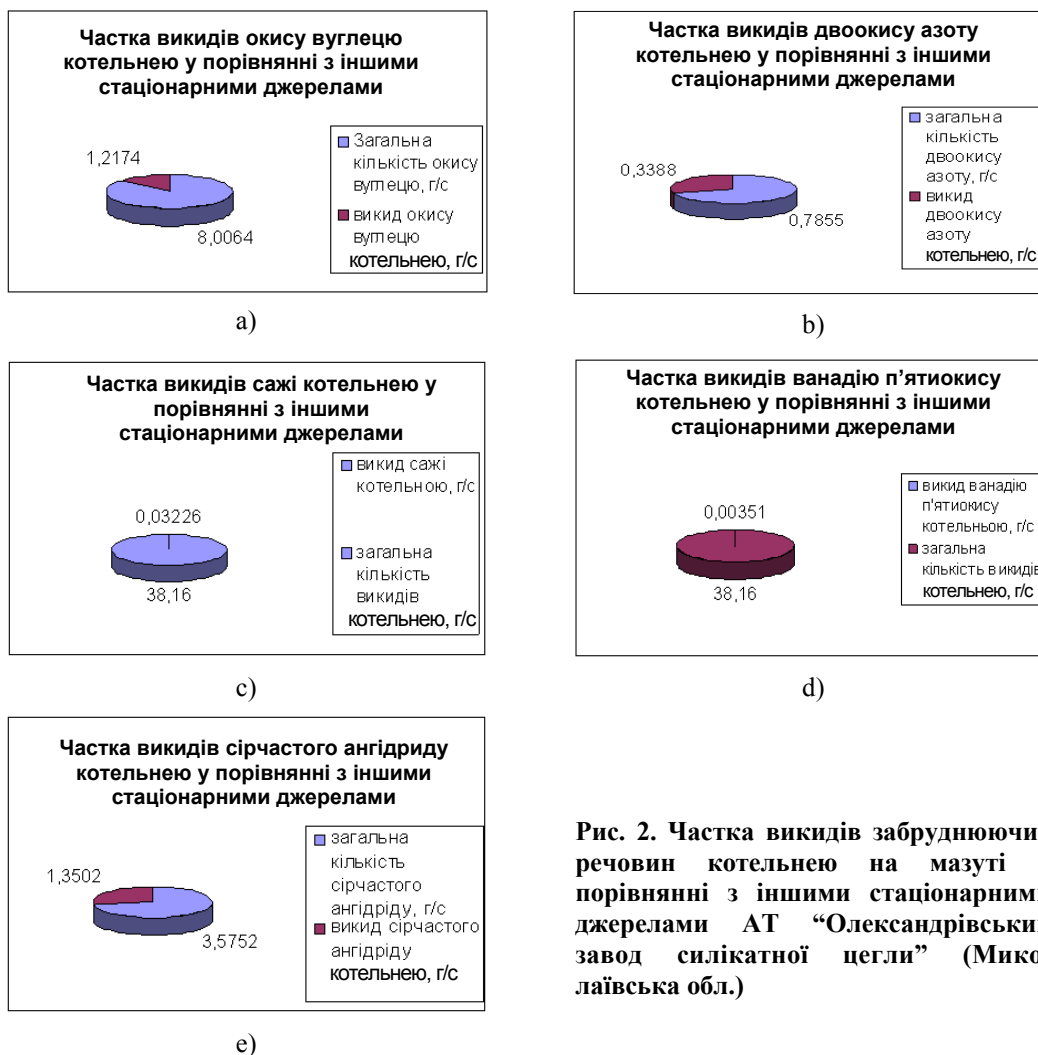


Рис. 2. Частка викидів забруднюючих речовин котельнею на мазуті в порівнянні з іншими стаціонарними джерелами АТ “Олександрівський завод силікатної цегли” (Миколаївська обл.)

Частка викидів котельнею, яка працює на мазуті чи на природному газі, шкідливих речовин доволі суттєва. Таким чином, вирішення проблеми зменшення антропогенного навантаження на довкілля котельнями автоклавного виробництва будівельних матеріалів пов'язане передусім з раціональним споживанням пари і, як результат, – паливних ресурсів.

Перепуск відпрацьованої пари у підготовлені до роботи автоклави під дією перепаду тиску в автоклаві-джерелі й автоклаві-приймальнику [3, 4] є найбільш поширеним серед шляхів використання відпрацьованої пари. За таких умов перепуск здійснюється за рахунок градієнта тисків в автоклавах, який зменшується зі зростанням протитиску в автоклаві-приймальнику. Однак час перепуску обмежений, тому його закінчують при абсолютному тиску 0,4...0,5 МПа в автоклаві-джерелі та 0,3...0,4 МПа в автоклаві-приймальнику. Ефективність такого перепуску становить 23 % [4]. **Завдяки економії пари і відповідно палива та води скорочуються шкідливі викиди з котельні в довкілля (рис. 3).** Проте такий спосіб використання відпрацьованої пари [4] не забезпечує достатньо повного використання наявних теплових резервів, оскільки гли-

бина перепуску обмежена протитиском у автоклаві-приймальнику та падінням тиску в перепускному паропроводі. При перепуску до автоклава-приймальника, що сполучається з атмосферою, хоча тиск у автоклаві-джерелі і знижується майже до атмосферного, та все ж мають місце втрати теплоти з “пролітною” парою, яка викидається в атмосферу з автоклава-приймальника. При цьому економія пари та палива з відповідним скороченням шкідливих викидів обмежується витратами теплоти на прогрів завантаженого сирцем автоклава-приймальника при атмосферному тиску (тобто не вище 100 °С).

Якщо прогрів здійснювати відхідними газами, витратам теплоти на прогрів сирцю при перепуску відпрацьованої пари в автоклаві-приймальник, який сполучається з атмосферою, за рахунок перепаду тиску можна запобігти. Такими газами можуть бути як відхідні газу процесу випалювання вапна, тобто попереднього етапу технологічного ланцюга, так і продукти згоряння від котельної. Запропонована авторами технологія автоклавного виробництва, що передбачає застосування перепуску відпрацьованої пари з автоклава-джерела в завантажений сирцем автоклаві-приймальник, попередньо прогрітий відхідними

газами [6], має ряд переваг. **По-перше**, застосування як теплоносія відхідних газів скорочує витрати пари на нагрів сирцю до температури 100 °С, яка відповідає температурі насичення водяної пари при атмосферному тиску. Ця частка досить вагома і становить приблизно 40 % загальної кількості споживаної теплоти. **По-друге**, у разі перепуску з попереднім газовим прогрівом сирцю теплота від відпрацьованої пари відводиться, починаючи вже з більш високого рівня температур – 90...100 °С. Отже, її інтенсивність конденсації пари, яка залежить від різниці температур пари й сирцю, буде значно меншою. Відповідно зменшуються втрати теплоти з нагрітим конденсатом та водних ресурсів у вигляді самого конденсату, який відводиться з автоклава. **По-третє**, попередній прогрів відхідними газами скорочує шкідливі викиди котельні на величину, пропорційну зменшенню витрат пари на нагрів сирцю до температури 100 °С, тобто майже на 40 % (рис. 3).

Запропонований авторами спосіб перепуску відпрацьованої пари, що здійснюється шляхом її ежектування гострою парою до досягнення в автоклаві-джерелі тиску 0,2...0,3 МПа, забезпечує глибоку утилізацію теплоти [6]. При такому способі створюється напір ежектором, який забезпечує перепуск пари навіть при від'ємному градієнті тиску, коли тиск в автоклаві-джерелі нижчий, ніж в автоклаві-приймальнику. Ефективність такого перепуску становить 30 % [6]. Завдяки більш повному перепуску відпрацьованої пари втрати тепла з відпрацьованою парою з автоклава-джерела в атмосферу зводяться до мінімуму і, як наслідок, економія палива та води для виробництва пари в котельнях перевищує відомі методи повторного використання пари майже на 30 %. При цьому суттєво підвищується екологічна безпека виробництва – шкідливі викиди скорочуються на величину, пропорційну зменшенню витрат пари, енергетичних та природних ресурсів для її виробництва (рис. 3).

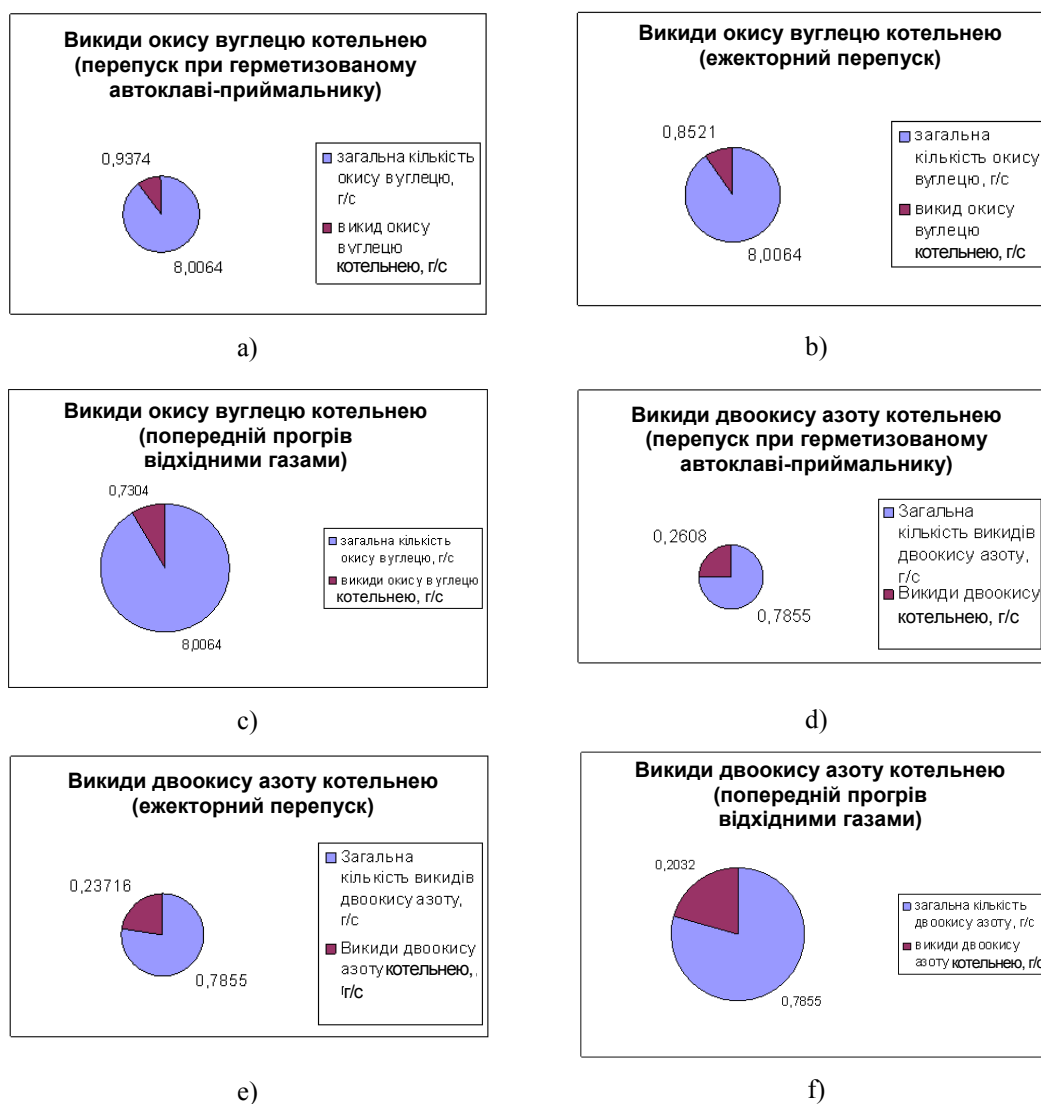
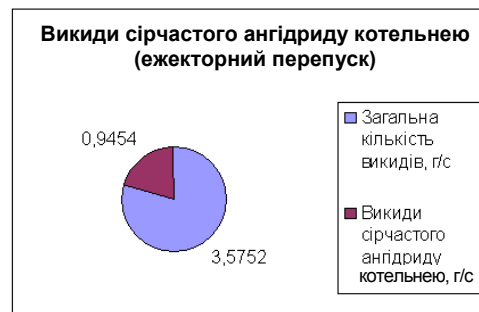


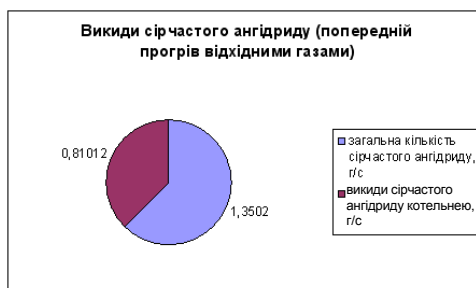
Рис. 3. Частка викидів забруднюючих речовин котельнею на мазуті при повторному використанні пари (на прикладі АТ "Олександрівський завод силікатної цегли" (Миколаївська обл.) (a, b, c, d, e, f)



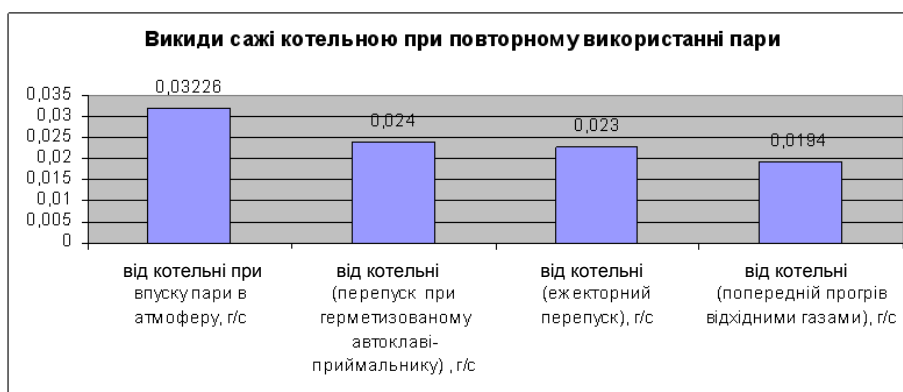
g)



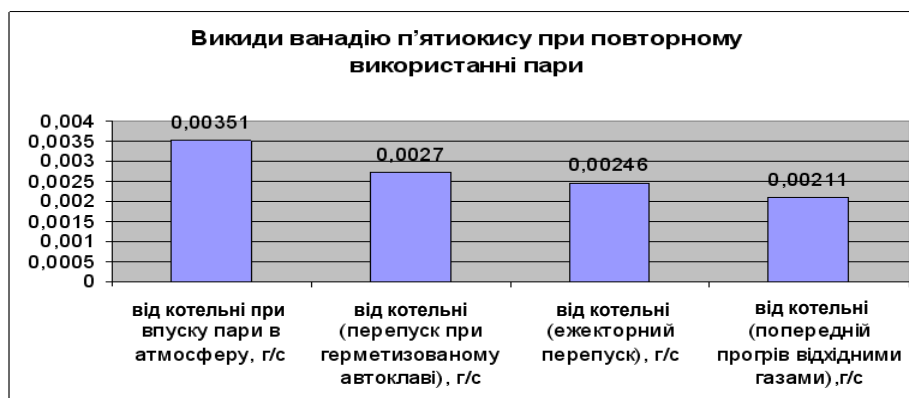
h)



i)



j)



k)

Рис. 3. Частка викидів забруднюючих речовин котельнею на мазуті при повторному використанні пари (на прикладі АТ "Олександрівський завод силікатної цегли" (Миколаївська обл.) (g, h, i, j, k)

3. Висновки

Рекуперация відпрацьованої пари автоклавного виробництва будівельних матеріалів запропонованими авторами способами забезпечує зменшення:

- шкідливих і токсичних викидів від котельних на 30...40 %;
- витрат пари на термообробку будівельного матеріалу у автоклавах на 30 %;

- витрат палива на 30 % та води на 40 % на виробництво пари в котельнях.

Раціональне використання паливних та водних ресурсів безпосередньо в автоклавному виробництві будівельних матеріалів знижує антропогенне навантаження від котелень на довкілля, підвищує екологічну безпеку виробництва в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Крылов Б.А. Эффективное ресурсосбережение. (На примере железобетонных конструкций). – М.: Знание, 1989. – 64 с.
2. Д.В. Сталинский, Г.Ф. Ганжа, А.В. Дунаев, В.Г. Дорошенко Защита окружающей среды от загрязнений дымовыми газами теплостанций // Экология та виробництво. – 2002. – Вересень. – С. 16-18.
3. Вахнин М.П., Анищенко А.А. Производство силикатного кирпича. – М.: Высшая школа, 1989. – 200 с.
4. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. – М.: Стройиздат, 1982. – 384 с.
5. Зейфман М.И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов. – М.: Стройиздат, 1990. – 184 с.
6. Патент України на винахід 71358 А, В01J3/04. Автоклавна установка термообробки паром під тиском / М.І. Радченко, О.А. Сирота, Ю.Г. Щербак, О.В. Макарова. – 20031212270; Заявл. 24.12.2003; Опубл. 15.11.2004; Бюл. № 11. – 3 с.
7. Хотунцев Ю.Л. Экология и экологическая безопасность. – М.: Издат. центр “Академия”, 2002. – 480 с.
8. Жабо В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
9. Проект нормативов предельно допустимых выбросов для АО “Александровский завод силикатного кирпича”. – Николаев.: УКРАГРОСТРОЙ Николаевское отделение “ОБЛАГРОСТРОЙ”, Специализированный центр по техническому обслуживанию и наладке оборудования “СИРЕНА”, 1994. – 77 с.

Стаття надійшла до редакції 03.12.2008 р.