

## АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В АВТОКЛАВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

*У статті обґрунтовано актуальність проблеми енергозбереження в автоклав-ному виробництві будівельних матеріалів.*

**Ключові слова:** проблема енергозбереження, автоклавне виробництво, будівельні матеріали.

*В статье обоснована актуальность проблемы энергосбережения в автоклавном производстве строительных материалов.*

**Ключевые слова:** проблема энергосбережения, автоклавное производство, строительные материалы.

*In the article the actuality of the energy conservation problem in the the autoclaving production of building materials is analyzed.*

**Key words:** energy conservation problem, autoclaving production, building materials.

### 1. Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.

Автоклавне виробництво будівельних матеріалів є вельми енергоємним процесом зі значними втратами теплоти і, як наслідок, нераціональним 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. Левова частка акумульованої теплоти втрачається при випуску відпрацьованої пари, що призводить до збільшення витрат палива (газу, мазуту, вугілля) на виробництво пари в котельних, які займають вагоме місце в загальних витратах енергоресурсів у виробництві будівельних матеріалів [1]. При цьому втрати тепла в самих котельних при спалюванні палива і перетворенні води в пару теж високі: середній ККД котельних не перевищує 0,8. До того ж втрати тепла мають місце при транспортуванні пари в трубопроводах до теплових агрегатів і через повернення до котельних суттєвої частки конденсату (до 25 %) [1]. Все це призводить до значного екологічного навантаження 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).

Отже, проблема скорочення токсичних викидів від котельних автоклавного виробництва будівельних матеріалів шляхом раціонального використання паливних та водних ресурсів вельми актуальна. Впровадження енергоресурсозберігаючих технологій сприятиме не тільки підвищенню енергетичної

ефективності виробництва завдяки економії палива, але й зменшенню його екологічного навантаження на довкілля [1].

### 2. Аналіз останніх досліджень із проблеми, виділення невирішених завдань у загальній проблемі. Обґрунтування актуальності.

В результаті спалювання палива (нафти, кам'яного вугілля, природного газу) в атмосферу потрапляють шкідливі речовини із продуктами згоряння, зокрема диоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>) та оксиди азоту (NO<sub>x</sub>). Антропогенне забруднення токсичними газами призводить до виникнення проблеми парникового ефекту. Актуальність проблеми та гостра необхідність загального скорочення викидів в атмосферу парникових газів шляхом впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій у виробництво неодноразово підкреслюється в таких міжнародних документах як Конвенції про зміну клімату (Конференція ООН з навколишнього середовища та розвитку, м. Ріо-де-Жанейро, 1992р.) та Кіотському протоколі (Міжнародна конференція з глобальної зміни клімату на планеті, м. Кіото, грудень 1997р.) [3].

Джерелами викидів парникових газів є енерго- та теплогенеруючі установки, до останніх з яких відносяться котельні, зокрема таких енергоємних процесів зі значними втратами теплоти і, як наслідок, нераціональним використанням паливних і водних ресурсів, як автоклавне виробництво будівельних матеріалів. Левова частка акумульованої теплоти у автоклаві під час теплової обробки сирцю втрачається при випуску відпрацьованої пари, що призводить до збільшення витрат палива (газу, мазуту, вугілля) на виробництво пари в котельних, які займають вагоме місце в загальних витратах енергоресурсів у вироб-

ництві будівельних матеріалів. Для отримання 1 кг пари необхідно витратити 540 ккал тепла, а з урахуванням теплоти на нагрів води до 100 °С – біля 640 ккал [1]. При цьому втрати тепла в самих котельних при спалюванні палива і перетворенні води в пару теж високі: середній ККД котельних не перевищує 0,8. До того ж втрати тепла мають місце при транспортуванні пари в трубопроводах до теплових агрегатів і через неповорнення до котельних суттєвої частки конденсату (до 25 %) [1]. Все це призводить до значного екологічного навантаження 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).

Як правило, вирішуючи питання скорочення шкідливих викидів в самій котельні, зусилля спрямовуються на вдосконалення методів очистки цих викидів, а не на скорочення споживання пари, що і є, власне, першопричиною викидів шкідливих речовин. Проте сучасні методи очищення шкідливих викидів котельних 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 вдвічі нижче, 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 котельних давно морально і фізично застарілих, що вимагає їх заміни або реконструкції. Проблема екологічної безпеки котельних загострюється ще тим, що заміна недосконалих апаратів вологого золовловлювання і електрофільтрів на сухі сучасні апарати потребує значних матеріальних і фінансових витрат. До того ж через недосконале природоохоронне обладнання необхідний ступінь очистки у більшості випадків є недосяжним.

Пошук резервів скорочення токсичних викидів від котельних 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 і теплоносія (води) в технологічних процесах, а відтак паливних і водних ресурсів [2].

В зв'язку з напруженою ситуацією, що склалася з природним газом в Україні, цілком можливе повернення до використання енергоємними виробництвами в якості палива вугілля у процесі використання теплової енергії. При цьому проблема забруднення атмосферного повітря парниковими газами буде

значно загострена. Так, в разі переходу котельної на вугілля різко збільшується забруднення атмосферного повітря, оскільки зростають викиди парникових газів. Таким чином, проблема скорочення токсичних викидів від котельних автоклавного виробництва будівельних матеріалів шляхом впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій, в основу яких покладено пошук шляхів раціонального використання паливних та водних ресурсів, набуває гострої актуальності.

**Другою статтею енергетичних витрат у технологічному ланцюгу автоклавного виробництва будівельних матеріалів є етап теплової обробки цегли-сирцю.** При автоклавному виробництві біля 45 % затраченої теплоти акумулюється будівельним матеріалом (силікатною цеглою, бетоном) та парою у вільному об'ємі автоклаву. При випуску відпрацьованої пари з автоклаву в атмосферу ця теплота втрачається.

Аналіз існуючих способів перепуску відпрацьованої пари в автоклавах свідчить про неможливість повного використання відпрацьованої пари. Шляхи повторного використання відпрацьованої в автоклавах пари для термообробки цегли розглядалися Вахніним М. П. і Аніщенком А. А. [4], Хавкінім Л. М. [5], Зейфманом М. І. [6]. Автори дійшли висновку, що завдяки перепуску відпрацьованої пари з автоклаву в автоклав досягається економія пари і підвищується ККД котельної. Так, Вахнінім М. П. та Аніщенком А. А. [4] розглянуто шляхи повернення відпрацьованої пари в виробництво. Із автоклава в автоклав пару перепускають двома способами: при герметизованому автоклаві приймальнику, або відкритому вентилі на магістралі випуску в атмосферу. За даними Вахніна М. П. [4], використання другого способу перепуску пари із автоклава в автоклав підвищує ефективність рекуперації приблизно в два рази в порівнянні зі способом перепуску при герметизованому автоклаві. Перепуск пари з одного автоклаву в інший дозволяє теоретично на 23 % скоротити витрати пари на запарювання цегли. Практично за даними проведених на заводах тепло-технічних випробувань, економія пари при перепуску його в герметизований автоклав-приймальник досягає 10-16 % [4].

**Третьою статтею енергетичних витрат у технологічному ланцюгу автоклавного виробництва будівельних матеріалів є втрати тепла з парою низького тиску та конденсату.** В процесі роботи автоклавів із них видаляють гарячий конденсат, а після перепуску – пару низького тиску [5].

Пару низького тиску рекомендують використовувати для підігріву живильної води котлів котельної і води системи опалення заводських приміщень [6,4]. За таких умов тепло пари низького тиску використовується в основному в сезон опалення – в осінньо-зимовий період. В інших сезонах року тепло залишається не використаним, тобто проблема повного використання тепла пари низького тиску залишається невирішеною.

Перевитрати палива мають місце також через неповорнення конденсату у технологічний процес виробництва.

Конденсат утворюється внаслідок конденсації пари на стінках автоклава та поверхні виробу. Систему

скиду конденсату із автоклава на підприємствах обирають в залежності від конструкції магістралі та вихідних параметрів автоклавної обробки. Типова схема автоклавної обробки цегли передбачає скид конденсату протягом 5...10 хвил. за умов досягнення в автоклаві тиску 0,2 МПа [4]. Під час видалення конденсату з автоклаву відбуваються значні втрати тепла. Так, при запарюванні повнотілої цегли, загальною кількістю 15 400 шт. та масою 55 500 кг, в автоклаві при робочому тиску 0,8 МПа втрати тепла з видаленим конденсатом складають 1165 МДж. В автоклаві при робочому тиску 1,2 МПа, за умов такої ж кількості та маси сирцю, під час запарювання цегли при 10 % пустотності втрати тепла складають 1280 МДж [4].

Аналіз шляхів використання конденсату у технологічному процесі виробництва будівельних матеріалів свідчить про наявність теплових резервів. Використання конденсату для зволоження суміші не забезпечує його повного використання. Загальної кількості конденсату, що утворюється в процесі роботи автоклаву більше, ніж його використовують для зволоження силікатної суміші. За даними Вахніна М. П. та Аніщенка А. А. [4], Зейфмана М. І. [6] конденсат частково або повністю може бути використано після очистки на первинне або часткове зволоження силікатної суміші, а також для опалення заводу. Так, на ЗАТ «Таврійська будівельна компанія» (м. Херсон, Миколаївська область) при виробництві 60 млн. шт. цегли в рік внаслідок викиду відпрацьованої пари в атмосферу після теплової обробки в автоклаві втрати пари складають 8 955 т/рік, конденсату – 50 745 т/рік. З метою повернення конденсату у технологічний процес виробництва силікатної цегли підприємство використовує на зволоження силікатної суміші 0,3 т/тис. шт. цегли конденсату. Враховуючи загальні втрати конденсату та продуктивність підприємства, частка використаного конденсату на зволоження суміші складає лише 36 %.

**Четвертою статтею енергетичних витрат у технологічному ланцюгу автоклавного виробництва будівельних матеріалів є етап випалу вапняку, складової частини сировинної суміші для виробництва силікатної цегли.** До перетворення у вапно вапняк проходить ряд технологічних процесів, серед яких найбільш енерговитратним та екологічно небезпечним є випал вапняку у печах різного типу: шахтних пересипних, газових та обертальних печах. Найбільш розповсюджені шахтні пересипні печі, які вимагають мінімальної витрати палива, прості в експлуатації, мають менші втрати тепла [7]. Проте такі печі мають недоліки – паливо згоряє в середовищі матеріалу, вапно забруднюється золою і якість його знижується; випал здійснюється нерівномірно. Газові печі мають переваги – дозволяють підвищити якість вапна, збільшити продуктивність випалу, покращити екологічну безпеку виробництва. Обертальні печі забезпечують компактність технологічних схем, дозволяють автоматизувати процес та знизити капітальні витрати на будівництво. Продуктивність їх в 2...4 рази вище, ніж у шахтних

печей. В той же час використання обертальних печей пов'язано з підвищеними витратами палива, відповідними втратами теплоти з відхідними газами [7].

Виробництво вапна пов'язано не лише з підвищеними витратами палива та втратами теплоти, але й з викидами забруднюючих речовин. Основним джерелами виділення забруднюючих речовин в процесі випалу вапняку є бурти вапняку та вугілля, вузли завантаження та розвантаження пічки, а також сама зона випалу вапняку. В результаті випалу в доквілля потрапляють шкідливі речовини, в тому числі парникові гази, а саме: зола вугільна, кальцію оксид, ангідрид сірчастий, окис вуглецю, двоокис азоту [8]. Таким чином зменшення антропогенного навантаження на доквілля технологічного етапу випалу вапняку у автоклавному виробництві будівельних матеріалів є вельми актуальним.

Прогресивним напрямком у ресурсозберігаючих технологіях теплової обробки будівельних матеріалів є використання продуктів згоряння палива, зокрема природного газу. Використання продуктів згоряння природного газу є сьогодні перспективним способом тепловологісної обробки будівельних матеріалів і конструкцій, зокрема збірного залізобетону [1, 9, 10]. Цей спосіб дозволяє поєднати в єдиний комплекс теплогенеруючу та тепловикористовуючу установки, що забезпечить покращення теплових балансів підприємства на 20...25 % завдяки зниженню втрат, що мають місце при використанні пари. В порівнянні з методом пропарювання цей спосіб дозволяє знизити собівартість виробів, підвищити якість виробів, покращити умови експлуатації обладнання, зекономити паливо [9, 10]. Тепловологісна обробка виробів продуктами згоряння природного газу з використанням теплогенераторів набуває все більшого поширення на підприємствах будівельної індустрії. Розроблено проекти реконструкції тунельних камер безперервної дії, які забезпечують теплову обробку продуктами згоряння природного газу. Відомий досвід роботи аналогічних камер на Полтавському та Альметьєвському ДБК [10].

Серед інших способів використання продуктів згоряння природного газу в процесі виробництва будівельних матеріалів і конструкцій є теплова обробка бетону продуктами в камерах газоповітряною сумішшю відповідної температури, яка одержується спалюванням газу у виносній топці [11]. Як теплоносії можуть використовуватися також гази від котельної, що працює на природному газі. Таку теплову обробку керамзитобетонних панелей продуктами згоряння природного газу здійснюють в ямних камерах. У нижній частині стін камер є отвори для входу та виходу продуктів згоряння газу, які (проходячи через змішувач, сполучений з димарем) можуть надходити в камеру із спеціальної печі з димаря парового котла. Камери можуть працювати на газах, що відходять від котлів, що збільшує на 10...15 % КПД котельної, на продуктах спалювання в пічці або ж на тих і інших одночасно. Тривалість теплової обробки складала 10...11 г [5]. Результати порівняльного аналізу різних способів теплової обробки показують, що на 1 м<sup>3</sup> виробів у камерах з

термоелектричними елементами (ТЕНами) витрата електроенергії становить 98 кВт·г, витрата пари – 250 кг і природного газу – 15 м<sup>3</sup> [9].

Відхідні гази після випалювання вапна, тобто попереднього етапу технологічного ланцюга, так і продукти згоряння від котельної можуть бути використані як теплоносії в технології автоклавного виробництва, що передбачає застосування перепуску відпрацьованої пари з автоклава-джерела в завантажений сирцем автоклав-приймальник, попередньо прогрітий відхідними газами. Завдяки застосуванню як теплоносія відхідних газів скорочуються 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.

Попередньо очищені відхідні гази від печей випалу вапняку не погіршують екологічні якості будівельного матеріалу. Це підтверджує досвід використання продуктів згоряння природного газу. Так,

сухе середовище продуктів згоряння природного газу, які широко використовуються для теплової обробки будівельних матеріалів і конструкцій, стримує корозію металевих поверхонь, а взаємодія вуглекислого газу та окису вуглецю з продуктами гідролізу та гідратації цементу в виробках поглинає до 45 % шкідливих викидів, утворюючи на поверхні бетону стійке до кліматичних умов покриття [9].

Ефективність теплової обробки відхідними газами від печей випалу вапняку значно підвищується в разі впорскування дрібнорозпиленої води в гази перед їх подачею в автоклав. Зволоження газу таким способом сприяє покращенню практично всіх показників термообробки: підвищується інтенсивність теплообміну, різко зменшується усушка поверхневих шарів матеріалу, покращуються його екологічні показники. За таких умов тепла обробка будівельного матеріалу у автоклаві стає в своєму роді вологим способом очистки відхідних газів від печей випалу [2].

## ЛІТЕРАТУРА

1. Крылов Б. А. Эффективное ресурсосбережение (На примере железобетонных конструкций). – М. : Знание, 1989. – 64 с.
2. Сталинский Д. В., Ганжа Г. Ф., Дунаев А. В., Дорошенко В. Г. Защита окружающей среды от загрязнений дымовыми газами теплоэлектростанций / Д. В. Сталинский, Г. Ф. Ганжа, А. В. Дунаев, В. Г. Дорошенко // Экология та виробництво. – 2002. – Вересень. – С. 16–18.
3. Хотунцев Ю. Л. Экология и экологическая безопасность: [учебное пособие для студентов высших педагогических учебных заведений]. – М. : Издат. центр «Академия», 2002. – 480 с.
4. Вахнин М. П., Анищенко А. А. Производство силикатного кирпича. – М. : Высшая школа, 1989 г. – 200 с.
5. Хавкин Л. М. Технология силикатного кирпича. – М. : Стройиздат, 1982. – 384 с.
6. Зейфман М. И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов. – М. : Стройиздат, 1990. – 184 с.
7. Комар А. Г. Технология производства строительных материалов. – М. : Вища школа, 1990. – 446 с.
8. 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 г. – 77 с.
9. Гошовский Ю. М. Прогрев изделий продуктами сгорания природного газа / Ю. М. Гошовский, Н. Г. Чуприна, М. А. Коршунов // Строительные материалы и конструкции. – 1990. – № 4. – С. 26–28.
10. Гринберг О. Р. Реконструкция тоннельных камер для ТВО изделий продуктами сгорания природного газа / О. Р. Гринберг, А. З. Кагнер, М. П. Данилов, И. Л. Ветвицкий // Бетон и железобетон. – 1987. – № 7. – С. 24.
11. Технология бетонных и железобетонных изделий: [учебник для инж.-строит. вузов] / под ред. В. Н. Сизова. – М. : Изд-во «Высшая школа», 1972. – 520 с.

Рецензенти: д.т.н., проф. Клименко Л. П.  
к.т.н., доц. Сирота О. А.

© Радченко М. І., 2011  
© Макарова О. В., 2011

Стаття надійшла до редколегії 25.05.2011 р.