

УДК 666.97.035.5

М. І. РАДЧЕНКО<sup>1</sup>, О. В. МАКАРОВА<sup>2</sup><sup>1</sup> Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв, Україна<sup>2</sup> Чорноморський державний університет ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

## ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ГАЗОВИХ КОТЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ АВТОКЛАВНОГО ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Запропоновано методи комплексної утилізації теплоти відпрацьованої пари та відхідних газів, що забезпечують істотне скорочення викидів газових котелень. Використання відпрацьованої пари як теплоносія дозволяє скоротити витрати пари на теплову обробку будівельних матеріалів. Повторне використання пари забезпечує економію водних ресурсів на її виробництво. Запропоновані методи істотно підвищують енергетичну ефективність та екологічну безпеку автоклавного виробництва будівельних матеріалів. Результати досліджень можуть бути застосовані для розробки енерго- та ресурсозберігаючих технологій для підприємств промисловості будівельних матеріалів.

**Ключові слова:** антропогенне навантаження, котельні, автоклавне виробництво будівельних матеріалів, природний газ.

### 1. Постановка проблеми

Автоклавне виробництво будівельних матеріалів характеризується значними втратами теплоти і, як наслідок, нераціональними витратами паливних і водних ресурсів. Зокрема, у процесі теплової обробки будівельного матеріалу в автоклаві біля 45% витраченої теплоти акумулюється матеріалом (силікатною цеглою, бетоном) та парою у вільному об'ємі автоклаву. При випуску відпрацьованої пари в атмосферу відбувається втрата цієї частки теплоти, що призводить до збільшення витрат природного газу на виробництво цієї пари в котельних. Серед витрат енергоресурсів виробництва будівельних матеріалів котельні займають вагоме місце. Зокрема, до статей витрат можна віднести витрати теплоти для отримання пари в котельних. Так, для отримання 1 кг пари необхідно витратити 2261 кДж тепла, а з урахуванням теплоти на нагрів води до 100 °С – біля 2680 кДж [1]. При цьому мають місце втрати тепла в самих котельних при спалюванні палива і перетворенні води в пару, які доволі високі (середній ККД котельних не перевищує 0,8). Крім того, теплові втрати в трубопроводах транспортування пари до теплових агрегатів складають 25% [1]. Внаслідок значної кількості шкідливих викидів газової котельні в атмосферу (окису вуглецю та окислів азоту) збільшується антропогенне навантаження на довкілля. До того ж у місцях розташування котельних підвищується рівень захворюваності та смертності людей через значне накопичення в ґрунті та сільгоспкультурах шкідливих речовин [2].

То ж проблема скорочення шкідливих викидів від газових котельних автоклавного виробництва

будівельних матеріалів шляхом раціонального використання паливних та водних ресурсів вельми актуальна. Розробка шляхів повторного використання відпрацьованої пари сприятиме не тільки підвищенню енергетичної ефективності виробництва завдяки економії палива, але й зменшенню екологічного навантаження на довкілля.

### 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

При роботі котельної на природному газі в атмосферу потрапляють шкідливі речовини із продуктами згоряння, зокрема диоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>) та оксиди азоту (NO<sub>x</sub>) [7]. Токсичні гази котельних, що працюють на природному газі, займають вагоме місце серед причин виникнення глобальних екологічних проблем (парниковий ефект, кислотні опади та руйнування озонового шару). [8].

Застосування сучасних методів очистки шкідливих викидів котельних не забезпечують високої ефективності. Як приклад, ефективність такого методу, як рециркуляція димових газів, залежить від їх кількості та температури, а також від організації процесу спалювання. Недоліком методу є значні втрати електроенергії [6].

Оксид вуглецю також займає вагоме місце серед шкідливих викидів, що утворюються при роботі котельної на природному газі. Зокрема, при спалюванні 10<sup>7</sup> м<sup>3</sup>/добу природного газу в атмосферне повітря надходить 30-40 т/добу оксиду вуглецю [6].

Таким чином, через недосконале природоохоронне обладнання високий ступінь очистки у більшості випадків є практично недосяжним. Цілоком

очевидно, що найбільш ефективним шляхом зменшення негативних наслідків є усунення причин, що до них призводять. Виходячи з цього, подальші резерви скорочення токсичних викидів від котельної слід шукати в скороченні витрат палива, що в них спалюється, тобто самих джерел цих викидів. Останнє, в свою чергу, пов'язане із раціональним використанням теплоти в технологічних процесах, а значить, і паливних ресурсів [2].

Аналіз шляхів скорочення шкідливих викидів і споживання палива та води у виробництві будівельних матеріалів свідчить про те, що вони мають значні резерви. Шляхи повторного використання відпрацьованої в автоклавах пари для термообробки цегли розглядалися М. П. Вахніним і А. А. Аніщенком [3], Л. М. Хавкіним [4], М. І. Зейфманом [5]. Теплоу відпрацьованої пари можна використовувати для нагріву живильної води котлів і води системи опалення заводських приміщень [3, 4].

Зменшення кількості викидів котельні в навколишнє середовище лише шляхом встановлення ефективних пилогазоочисних установок не може усунути повністю **проблему** забруднення атмосфери. Вона повинна вирішуватись у комплексі шляхом пошуку енергоресурсозберігаючих технологій виробництва будівельних матеріалів, що сприяло б не тільки скороченню непродуктивних витрат палива, але й зменшенню екологічного навантаження на навколишнє природне середовище.

**Метою дослідження** є зменшення антропогенного навантаження на довкілля газових котельних підприємств автоклавного виробництва будівельних матеріалів шляхом комплексної утилізації теплоти відпрацьованої пари та відхідних газів.

### 3. Викладення основного матеріалу

Котельні підприємств будівельної промисловості забезпечують парою теплові агрегати періодичної дії – автоклави. Тривалість теплової витримки при тиску 0,8 МПа становить 6 годин [1].

Автоклавна обробка будівельного матеріалу (зокрема, цегли, бетону) характеризується суттєвими енергетичними витратами. Частка теплоти (понад 45%), витраченої в циклі термообробки, акумулюється в автоклаві: більша частка – цеглою, а решта – парою у вільному об'ємі автоклаву та самим автоклавом і вагонетками [4].

Зміна кількості пари з урахуванням її втрат теплоти на нагрів автоклаву та вагонеток, втрат теплоти у довкілля через корпус автоклаву і теплової інерційності наведена на рис. 1.

В процесі спалювання природного газу в котельних для виробництва пари потрапляє у довкілля значна кількість шкідливих викидів ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ), що підвищує антропогенне навантаження котельних на навколишнє природне середовище.

Динаміка кількості викидів  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в довкілля наведена на рис. 2-3.

Як видно на рис. 2-3, загальна кількість викидів з підвищенням тиску зростає. Така закономірність визначається передусім зростанням витрат пари на нагрів сирцю з підвищенням тиску в процесі теплової обробки сирцю. Витрати пари, в свою чергу пов'язані зі споживанням палива для його виробництва.

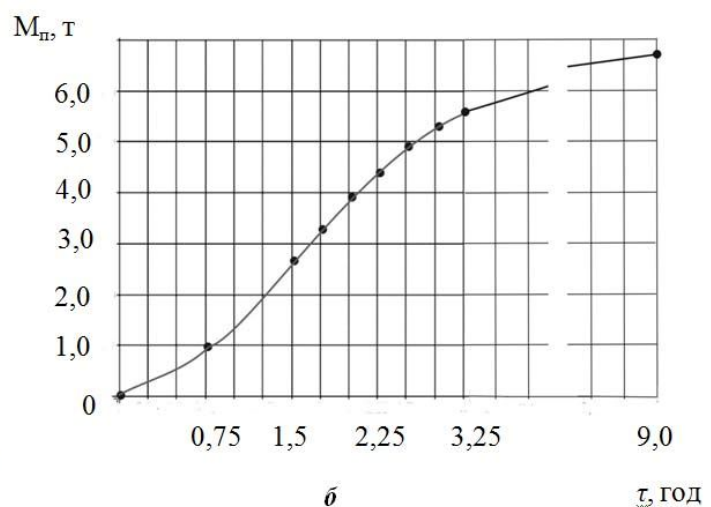
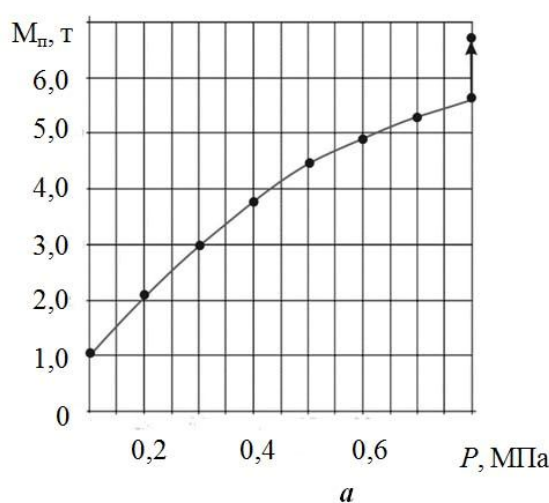


Рис. 1. Загальна кількість пари  $M_p$ , що витрачається на нагрів сирцю від початку запарювання в залежності від тиску  $P$  в автоклаві (а) та часу  $\tau$  (б) з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в довкілля

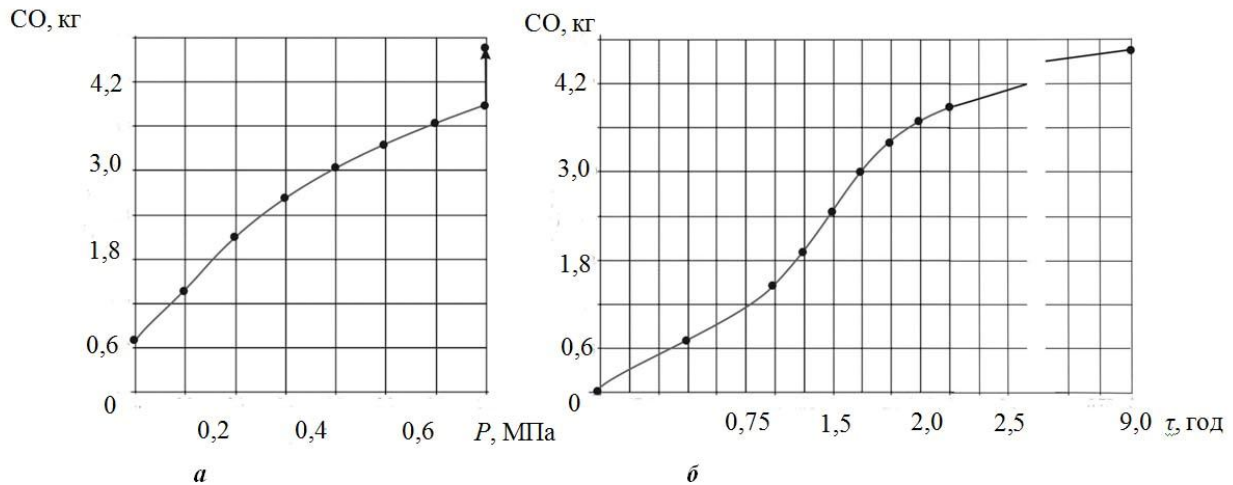


Рис. 2. Загальна кількість викидів CO від початку запарювання в залежності від тиску  $P$  в автоклаві (а) та часу  $\tau$  (б) з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля

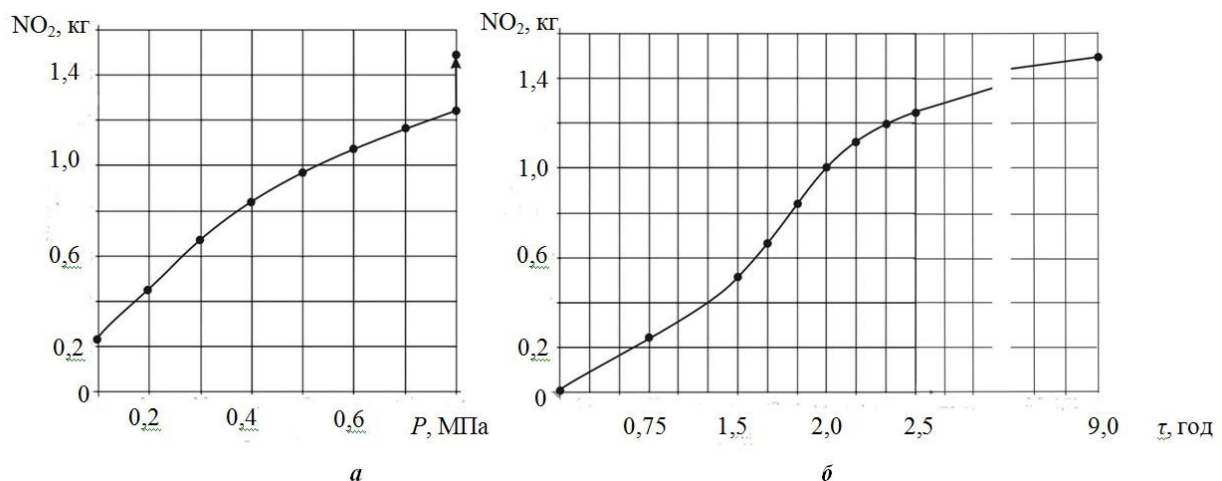


Рис. 3. Загальна кількість викидів NO<sub>2</sub> від початку запарювання в залежності від тиску  $P$  в автоклаві (а) та часу  $\tau$  (б) з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля

Комплексний підхід до вирішення проблеми скорочення токсичних викидів від газових котельних дає змогу розробити шляхи раціонального використання відпрацьованої пари, і відтак паливних і водних ресурсів.

Зміна загальної кількості пари  $M_p$ , що витрачається на нагрів сирцю від початку запарювання та при перепуску пари з урахуванням теплової інерційності системи, втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля наведена на рис. 4.

Динаміка кількості викидів CO, NO<sub>2</sub> від початку запарювання та при перепуску пари з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля наведена на рис. 5 і 6.

Як видно на рис. 5 і 6, динаміка кількості викидів газових котельних CO, NO<sub>2</sub> від початку запарювання та при перепуску пари з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля суттєво різні.

Кількість шкідливих викидів CO, NO<sub>2</sub> при розглянутих перепусках відпрацьованої пари характеризується значним скороченням в порівнянні з динамікою від початку запарювання.

Таким чином, перепуск відпрацьованої пари розглянутими способами забезпечує скорочення витрат палива газовими котельними і відповідне зменшення токсичних викидів. Завдяки повторному використанню пари заощаджуються також водні ресурси.

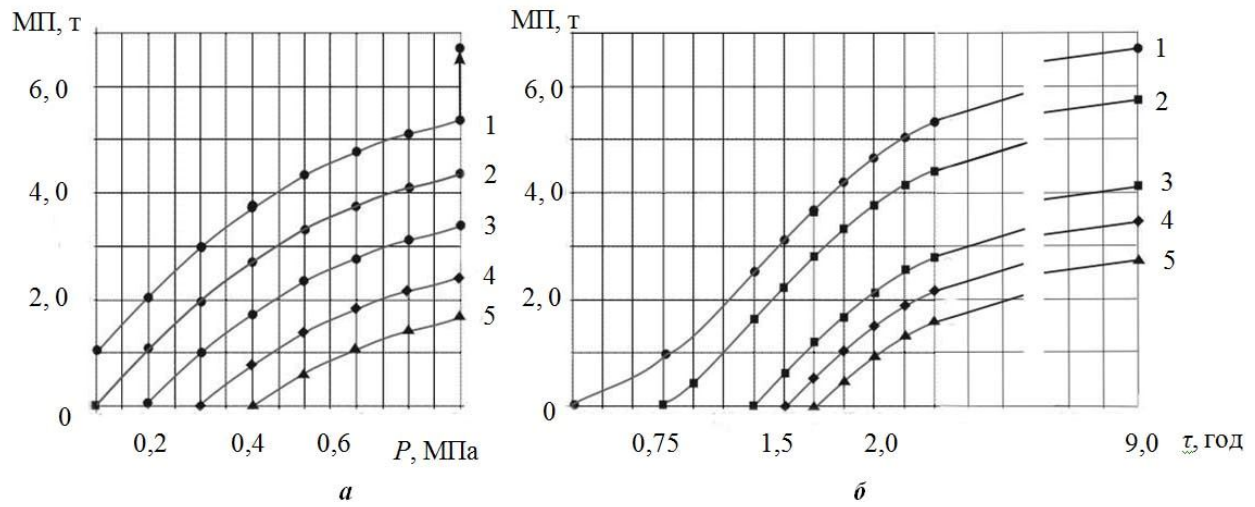


Рис. 4. Загальна кількість пари  $M_p$ , що витрачається на нагрів сирцю від початку запарювання та при перепуску пари з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля в залежності від тиску  $P$  в автоклаві (а) та часу  $\tau$  (б): 1 – з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля; 2 – прогрів відхідними газами до 0,1 МПа; 3 – перепуск пари до 0,3 МПа; 4 – ежекторний перепуск пари до 0,4 МПа

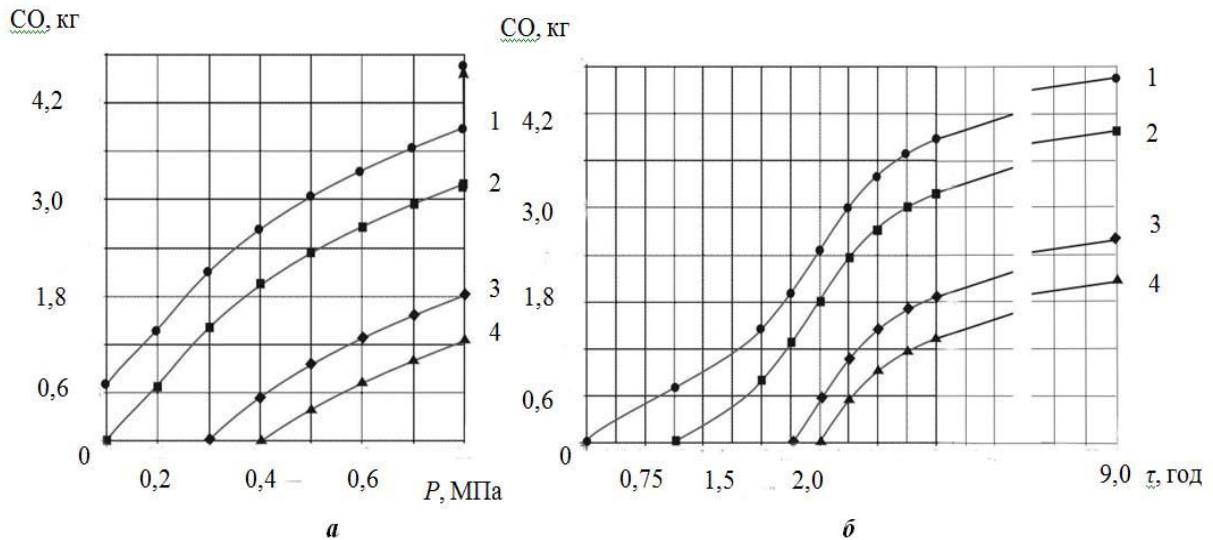


Рис. 5. Загальна кількість викидів CO від початку запарювання та при перепуску пари з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля в залежності від тиску  $P$  в автоклаві (а) та часу  $\tau$  (б): 1 – з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля; 2 – прогрів відхідними газами до 0,1 МПа; 3 – перепуск пари до 0,3 МПа; 4 – ежекторний перепуск пари до 0,4 МПа

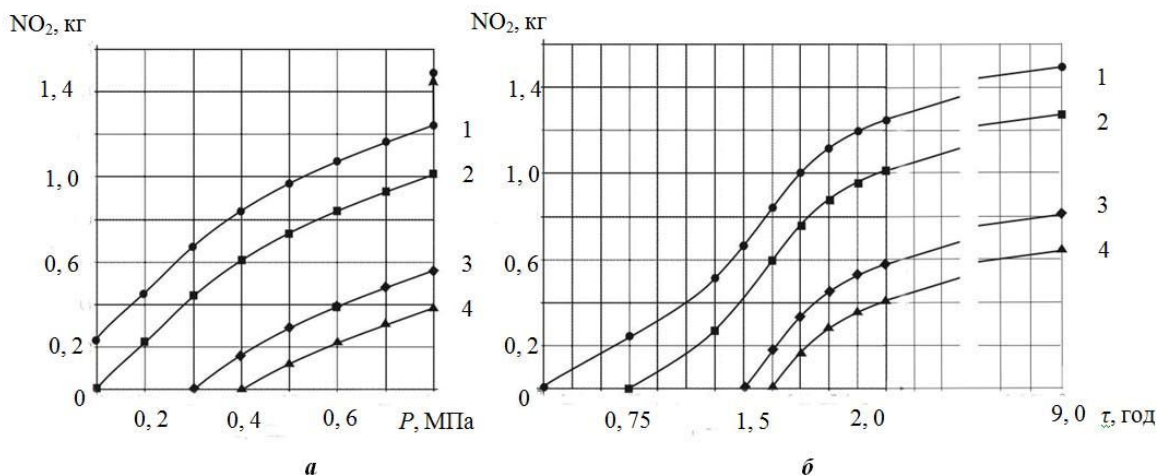


Рис. 6. Загальна кількість викидів  $\text{NO}_2$  від початку запарювання та перепуску пари з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доккілля в залежності від тиску  $P$  в автоклаві (*a*) та часу  $\tau$  (*б*): 1 – з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доккілля; 2 – прогрів відхідними газами до 0,1 МПа; 3 – перепуск пари до 0,3 МПа; 4 – ежекторний перепуск пари до 0,4 МПа

### Висновки

1. Запропоновані шляхи комплексної утилізації теплоти відпрацьованої пари та відхідних газів котельних підприємств автоклавного виробництва будівельних матеріалів забезпечують зменшення антропогенного навантаження на довкілля.

2. Повторне використання відпрацьованої пари як теплоносія забезпечує скорочення витрат пари на теплову обробку будівельного матеріалу в автоклавах, а саме:

– прогрів сирцю відхідними газами до тиску в автоклаві-приймальнику 0,1 МПа забезпечує скорочення витрат пари на термообробку будівельного матеріалу в автоклавах на 40 %;

– перепуск пари до тиску в автоклаві-приймальнику 0,3 МПа забезпечує скорочення витрат пари на термообробку будівельного матеріалу в автоклавах на 23 %;

– ежекторний перепуск пари до тиску в автоклаві-приймальнику 0,4 МПа забезпечує скорочення витрат пари на термообробку будівельного матеріалу в автоклавах на 30 %.

3. Повторне використання відпрацьованої пари як теплоносія розглянутими способами забезпечує скорочення шкідливих викидів газової котельної, зокрема викидів  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  на величину, пропорційну кількості рекуперованої пари, а також витрат водних ресурсів на її виробництво. Запропоновані методи забезпечують скорочення шкідливих викидів на 50 % завдяки відповідному зменшенню споживання

пари у процесах автоклавного виробництва будівельних матеріалів.

### Література

1. Крылов, Б. А. Эффективное ресурсосбережение (На примере железобетонных конструкций). [Текст] / Б. А. Крылов. - М.: Знание, 1989. - 64 с.
2. Защита окружающей среды от загрязнений дымовыми газами теплоэлектростанций [Текст] / Д. В. Сталинский, Г. Ф. Ганжа, А. В. Дунаев, В. Г. Дорошенко // Экология та виробництво. - 2002. - № 3. - С. 16-18.
3. Вахнин, М. П. Производство силикатного кирпича [Текст] / М. П. Вахнин, А. А. Анищенко. - М.: Высшая школа, 1989. - 200 с.
4. Хавкин, Л. М. Технология силикатного кирпича [Текст] / Л. М. Хавкин. - М.: Стройиздат, 1982. - 384 с.
5. Зейфман, М. И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов [Текст] / М. И. Зейфман. - М.: Стройиздат, 1990. - 184 с.
6. Жабо, В. В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС [Текст]: Учебник для техникумов / В. В. Жабо. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 240 с.
7. Резников, М. И. Котельные установки электростанций [Текст]: учебник / М. И. Резников, Ю. М. Липов. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 288 с.
8. Хотунцев, Ю. Л. Экология и экологическая безопасность [Текст]: учеб. пос. для студ. / Ю. Л. Хотунцев. - М.: Академия, 2004. - 480 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, професор М. Г. Хмельнюк, Одеська національна академія харчових технологій.

### ПУТИ СНИЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ ГАЗОВЫХ КОТЕЛЬНЫХ КОМПАНИЙ АВТОКЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Н. И. Радченко, А. В. Макарова*

Предложены методы комплексной утилизации теплоты отработанного пара и отходящих газов, которые обеспечивают существенное сокращение выбросов газовых котельных. Использование отработанного пара в качестве теплоносителя позволяет сократить расходы пара на тепловую обработку строительных материалов. Повторное использование пара обеспечивает экономию водных ресурсов на его производство. Предложенные методы существенно повышают энергетическую эффективность и экологическую безопасность автоклавного производства строительных материалов. Результаты исследований могут быть применены для разработки энерго- и ресурсосберегающих технологий для предприятий промышленности строительных материалов.

**Ключевые слова:** вредные выбросы, газовые котельные, автоклавное производство строительных материалов, методы уменьшения.

### WAYS OF REDUCTION OF ANTROPOGENIC INFLUENCE OF GAS BOILERS AUTOCLAVE ENTERPRISES PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS

*N. I. Radchenko, E. V. Makarova*

The methods of integrated waste heat recovery of steam and exhaust gases that reduce significantly emissions of gas boilers are proposed. The use of exhaust steam as a coolant allows to reduce steam consumption on heat treatment of building materials. Reusing of exhaust steam provides saving water on its production. Proposed methods significantly improve the energy efficiency and environmental safety production of autoclaved building materials. The research results can be used to develop energy- and resource saving technologies for the building materials industry enterprises.

**Keywords:** emissions, gas boiler, autoclave construction materials, methods of reduction.

**Радченко Микола Іванович** – д-р техн. наук, професор, Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв, Україна, e-mail: andrad69@mail.ru.

**Макарова Олена Валеріївна** – викладач, Чорноморський державний університет ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна, e-mail: l.mackarowa2012@yandex.ru.