

УДК 666.97.035.5

СКОРОЧЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ МАЗУТНИМИ КОТЕЛЬНЯМИ ПІДПРИЄМСТВ АВТОКЛАВНОГО ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**М. І. Радченко**

Національний університет кораблебудування

просп. Героїв Сталінграду, 9, м. Миколаїв, 54000, Україна. E-mail: andrad69@mail.ru

О. В. Макарова

Чорноморський державний університет імені Петра Могили

вул. 68-ти Десантників, 10, м. Миколаїв, 54000 Україна. E-mail: l.mackarowa2012@yandex.ru

Проаналізовано застосування розроблених методів скорочення шкідливих викидів мазутних котелів автоклавного виробництва будівельних матеріалів. Досліджено антропогенний вплив мазутних котелів автоклавного виробництва будівельних матеріалів на людину і навколишнє природне середовище, а також розглянута актуальність вирішення даного питання у зв'язку з проблемою дефіциту води. У результаті дослідження встановлено, що запропоновані методи комплексної утилізації теплоти відпрацьованої пари і відхідних газів забезпечують істотне скорочення не тільки викидів газових котелів з урахуванням теплової інерційності системи і втрат теплоти на нагрів автоклава, вагонеток і навколишнього середовища, а й витрат води. Використання відпрацьованої пари як теплоносія запропонованими методами дозволяє скоротити витрати пари під час теплової обробки будівельних матеріалів. Завдяки повторному використанню пари забезпечується також економія водних ресурсів на її виробництво. В цілому розглянуті методи суттєво підвищують енергетичну ефективність та екологічну безпеку автоклавного виробництва будівельних матеріалів. Результати досліджень можуть бути застосовані для розробки енерго- та ресурсозберігаючих технологій для підприємств по виробництву будівельних матеріалів.

Ключові слова: антропогенне навантаження, мазутні котельні, автоклавне виробництво будівельних матеріалів, водні ресурси, методи зменшення.

СОКРАЩЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ГАЗОВЫМИ КОТЕЛЬНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЙ АВТОКЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**Н. И. Радченко**

Национальный университет кораблестроения

просп. Героев Сталинграда, 9, г. Николаев, 54000, Украина. E-mail: andrad69@mail.ru

Е. В. Макарова

Черноморский государственный университет имени Петра Могилы

ул. 68-ти Десантников, 10, г. Николаев, 54000 Украина. E-mail: l.mackarowa2012@yandex.ru

Проанализировано применение новых методов сокращения вредных выбросов газовых котельных автоклавного производства строительных материалов. Исследовано антропогенное влияние газовых котельных автоклавного производства строительных материалов на человека и окружающую природную среду, а также рассмотрена актуальность решения данного вопроса в связи с проблемой дефицита воды. В результате исследования установлено, что предложенные методы комплексной утилизации теплоты отработанного пара и отходящих газов обеспечивают существенное сокращение не только выбросов газовых котельных с учетом тепловой инерционности системы и потерь теплоты на нагрев автоклава, вагонеток и окружающей среды, но и расходов воды. Использование отработанного пара в качестве теплоносителя предложенными методами позволяет сократить расходы пара во время тепловой обработки строительных материалов. Благодаря повторному использованию пара обеспечивается также экономия водных ресурсов на его производство. В целом рассмотренные 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 по производству строительных материалов.

Ключевые слова: антропогенное влияние, газовые котельные, предприятия автоклавного производства строительных материалов, водные ресурсы, методы сокращения.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Підприємства виробництва будівельних матеріалів відносяться до найбільш енергоємних, оскільки відзначаються не тільки значними втратами теплоти і, як наслідок, нераціональними витратами палива, але й суттєвими обсягами споживання *водних ресурсів*. Так, у автоклавному виробництві біля 45 % теплоти при випуску відпрацьованої пари в атмосферу втрачається, призводячи до збільшення крім самих витрат палива (природного газу, мазуту) на виробництво цієї пари в котельних, також до значної кількості шкідливих викидів в атмосферу. Крім того, мають місце значні

витрати водних ресурсів для виробництва технологічної пари. В статті витрат водних ресурсів підприємствами автоклавного виробництва будівельних матеріалів *котельні* займають вагомe місце [1].

До того ж, через нераціональні витрати паливних ресурсів і значні обсяги шкідливих викидів речовин котельними збільшується антропогенне навантаження на довкілля. В свою чергу, суттєві обсяги споживання води котельними тільки загострюють актуальну проблему сьогодення – дефіциту води [2–8].

Отже, проблема скорочення споживання водних ресурсів котельними, зокрема підприємствами авток-

лавного виробництва будівельних матеріалів, шляхом її раціонального використання вельми актуальна. Впровадження ресурсозберігаючих технологій сприятиме передусім зменшенню екологічного навантаження на довкілля завдяки скороченню споживання водних ресурсів для виробництва технологічної пари.

Метою дослідження є скорочення споживання котельними підприємств автоклавного виробництва будівельних матеріалів води шляхом комплексної утилізації теплоти відпрацьованої пари та відхідних газів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Вода як природний ресурс виділяє значну роль у технологічних процесах автоклавного виробництва будівельних матеріалів.

Вода, яка потрапляє в котельні з водопроводу, артезіанських свердловин або водойм, витрачається на заповнення втрат мережної води, конденсату, пари та власні потреби котельної установки, включаючи технічне водопостачання [1].

Витрати та втрати води у котельних для виробництва технологічної пари є доволі суттєвими.

У водогрійних котельних установках вода витрачається на обмивання поверхонь нагріву, деаерацію, розігрів мазуту, витік через нещільності, а також у системах теплопостачання. При відкритій системі теплопостачання до втрат додається витрата води на гаряче водопостачання споживачів.

У парових котельних установках втрати води відбуваються за рахунок витрат частини пари на власні потреби (привід насосів, підігрів і розпилювання мазуту, продувку котлоагрегатів, очистку його поверхонь нагріву, витоку через нещільності) та інших витрат. Крім витрат пари, існує проблема втрати конденсату. При постачанні споживачів парою частина конденсату втрачається через забруднення внаслідок недосконалості теплообмінних апаратів, а іноді через технологічний процес без повернення конденсату. Витрати води відшкодовують у спеціальних пристроях, комплекс яких називають водопідготовчою установкою [1].

До того ж існує необхідність попередньої очистки води перед використанням у котельних, що потребує значних матеріальних ресурсів.

Надійна і економічна робота котельної установки в значній мірі залежить від якості живильної води, яка використовується для живлення котлів. Джерелами водопостачання для живлення котлів можуть служити ставки, річки, озера (поверхневий водозбір), а також ґрунтові або артезіанські води, міський чи селищний водопровід. Природні води, зазвичай містять домішки у вигляді розчинених солей, колоїдні і механічні домішки, тому непридатні для живлення парових котлів без попереднього очищення.

Якість води для живлення котельні характеризується прозорістю (вмістом зважених речовин), сухим залишком, жорсткістю, лужністю та окиснюваністю. Вода, підготовлена для живлення котельної установки, не повинна давати відкладення шламу та накипу, роз'їдати стінки котла і його допоміжні поверхні нагрівання тощо [1].

У живильній воді, що надходить в котел, незалежно від того, яким способом виконувалося її пом'якшення, завжди залишається якась частина залишків. У процесі отримання пари і відведення її з котла, а також потрапляння в котел все нових порцій живильної води в котельній воді збільшується кількість солей, так як суха пара не розчиняє їх. При збільшенні вмісту солей в котельній воді вище норми почнеться випадіння їх в осад і утворення накипу на поверхні нагріву і шламу в товщі води. Після чого з'явиться піноутворення і посиляться винесення парою котельної води з розчиненими в ній солями, що призведе до забруднення паропроводу і пристроїв солями. Тому для надійної роботи котельної установки недостатньо тільки очищення живильної води, необхідно забезпечити також нормальний внутрішній котловий режим, який полягає у підтримці складу котельної води в межах встановлених норм. Для отримання пари потрібної якості котельна вода обробляється спеціальними реагентами, які змушують солі випадати в котлі у вигляді шламу, які легко видаляються продувкою [1].

Проблема екологічної безпеки котельних загострюється ще тим, що через недосконале природоохоронне обладнання високий ступінь очистки у більшості випадків є практично недосяжним. Цілком 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 (паливних ресурсів) в технологічних процесах, а значить, і води для виробництва пари [3].

Шляхи повторного використання відпрацьованої в автоклавах пари для термообробки цегли розглядалися Вахніним М.П. і Аніщенком А.А. [9], Хавкіним Л.М. [10], Зейфманом М.І. [11]. Теплоту відпрацьованої пари можна також використовувати для нагріву живильної води котлів і води системи опалення заводських приміщень [9, 10].

Аналіз шляхів скорочення шкідливих викидів і споживання палива та води у виробництві будівельних матеріалів свідчить про те, що вони мають значні резерви. 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.

Пара, що виробляється котельною, потрапляє до споживача, зокрема до теплових агрегатів періодичної дії (автоклави). Автоклавна обробка цегли відзначається значними енергетичними втратами. Понад 45 % теплоти, витраченої в циклі термообробки, акумулю-

ється в автоклаві: більша частка – цеглою, а решта – парюю у вільному об’ємі автоклаву та самим автоклавом і вагонетками [4]. При випуску відпрацьованої пари з автоклаву в атмосферу її теплота втрачається.

Зміна кількості води з урахуванням кількості пари та її втрат теплоти на нагрів автоклаву та вагонеток, втрат теплоти у довкілля через корпус автоклаву і теплової інерційності наведена на рис. 1. Тривалість теплової витримки при тиску 0,8 МПа становить 6 годин [6].

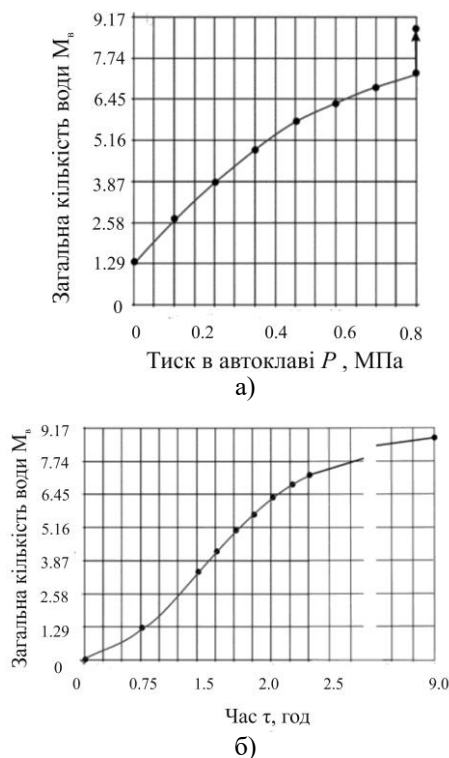


Рисунок 1 – Загальна кількість води M_w , що витрачається на нагрів сирцю від початку запарювання в залежності від тиску P в автоклаві (а) та часу τ (б) з урахуванням кількості пари та зміни теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в довкілля

Спалювання в котельній палива (зокрема мазуту) для виробництва цієї кількості пари призводить до збільшення екологічного навантаження на довкілля. Динаміка кількості викидів CO , NO_2 , SO_2 , V_2O_5 та сажі з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в довкілля наведена на рис. 2–6.

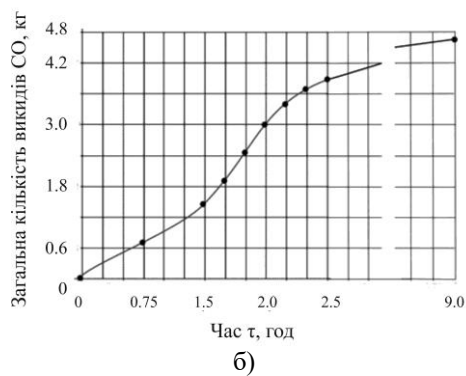
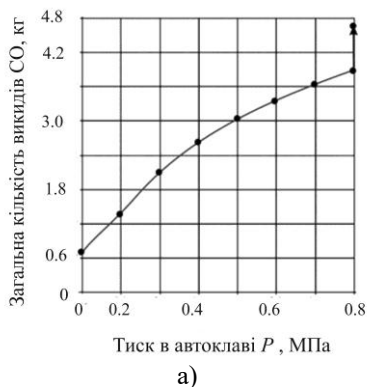


Рисунок 2 – Загальна кількість викидів CO від початку запарювання в залежності від тиску P в автоклаві (а) та часу τ (б) з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в довкілля

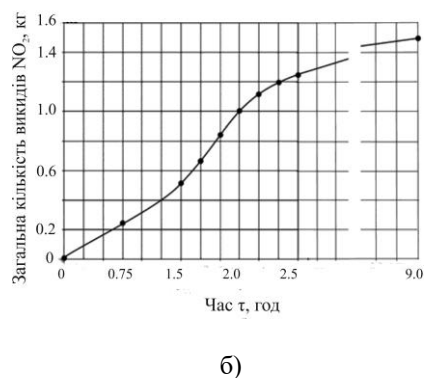
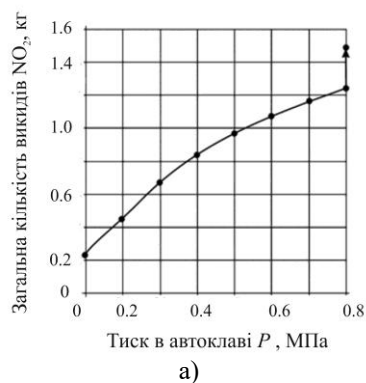
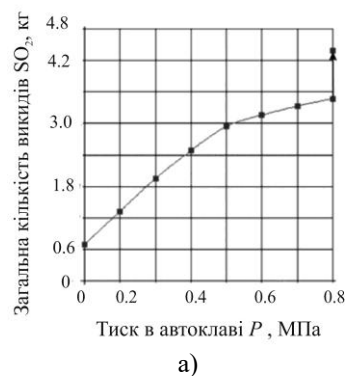


Рисунок 3 – Загальна кількість викидів NO_2 , кг від початку запарювання в залежності від тиску P в автоклаві (а) та часу τ (б) з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в довкілля



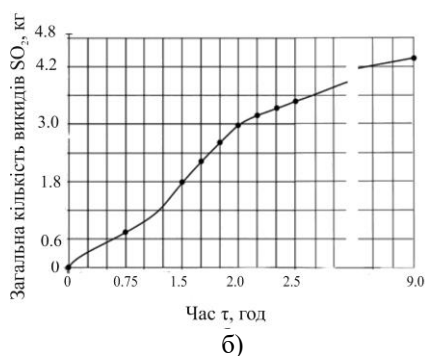


Рисунок 4 – Загальна кількість викидів SO_2 , кг від початку запарювання в залежності від тиску P в автоклаві (а) та часу τ (б) з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в довкілля

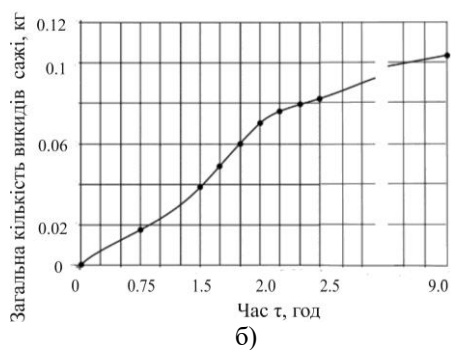


Рисунок 6 – Загальна кількість викидів сажі, кг від початку запарювання в залежності від тиску P в автоклаві (а) та часу τ (б) з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в довкілля

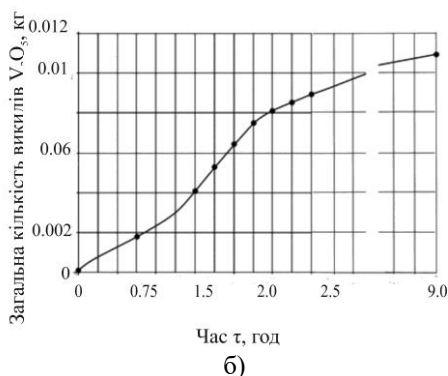
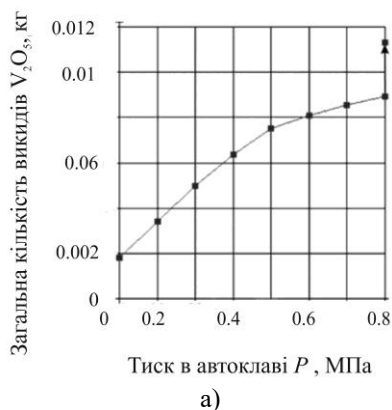
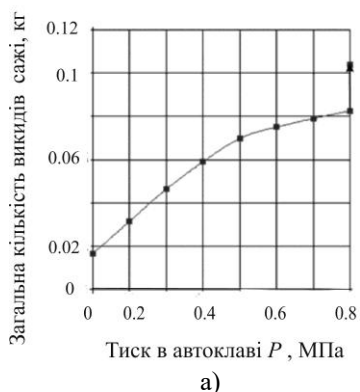


Рисунок 5 – Загальна кількість викидів V_2O_5 , кг від початку запарювання в залежності від тиску P в автоклаві (а) та часу τ (б) з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в довкілля



Для вирішення проблеми скорочення токсичних атмосферних викидів від котельних у процесі автоклавного виробництва цегли розроблені методи раціонального використання пари, а значить, і паливних ресурсів.

Зміна загальної кількості води M_w , 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 довкілля наведена на рис. 7.

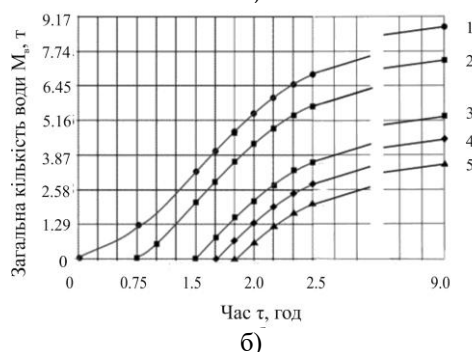
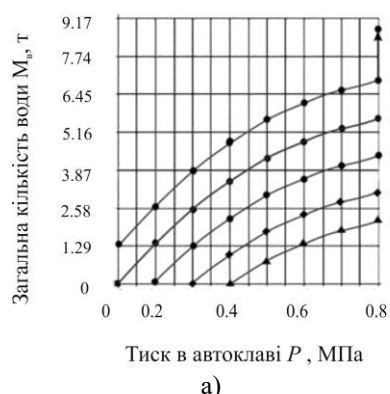


Рисунок 7 – Загальна кількість води M_w , Т що витрачається на нагрів сирцю від початку запарювання та при перепуску пари з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в довкілля в залежності від тиску P в автоклаві (а) та часу τ (б): 1 – з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в довкілля; 2 – прогрів відхідними газами до 0,1 МПа; 3 – перепуск пари до 0,3 МПа; 4 – ежекторний перепуск пари до 0,4 МПа

Як видно на рис. 7 кількість пари на нагрів сирцю за рахунок її перепуску значно скорочується.

Динаміка кількості викидів CO , NO_2 , SO_2 , V_2O_5 та сажі 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. 8–12.

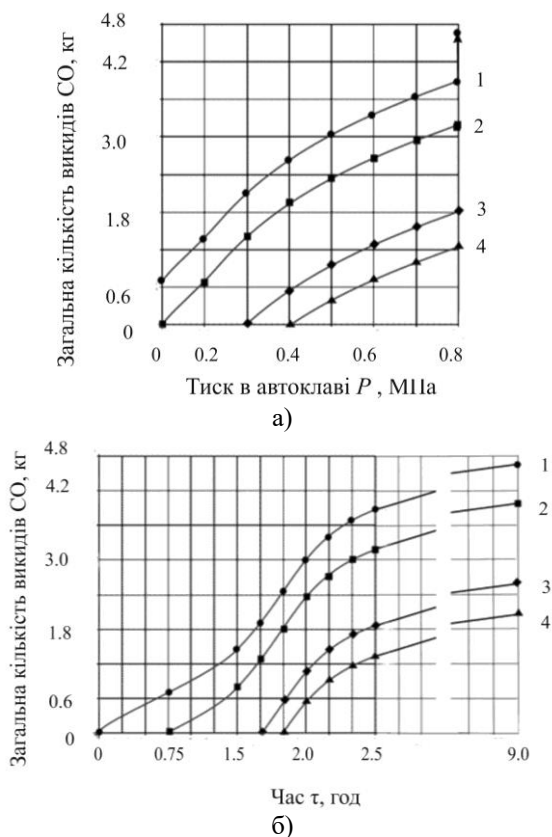


Рисунок 8 – Загальна кількість викидів CO , кг від початку запарювання та при перепуску пари з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля в залежності від тиску P в автоклаві (а) та часу τ (б): 1 – з урахуванням теплової інерційності системи 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

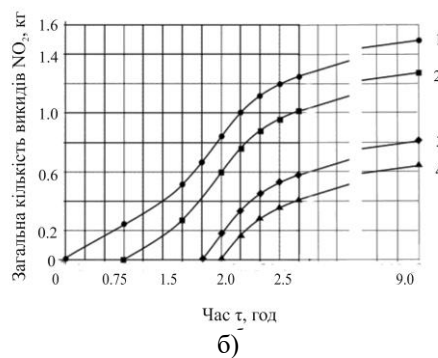
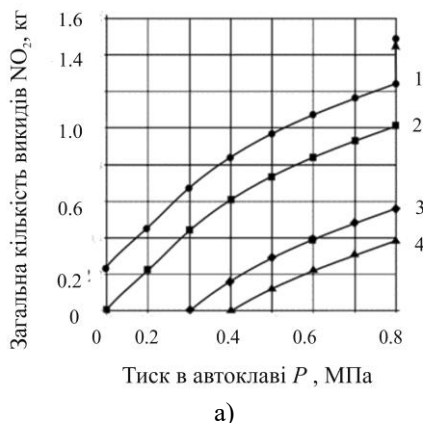


Рисунок 9 – Загальна кількість викидів NO_2 , кг від початку запарювання та перепуску пари з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля в залежності від тиску P в автоклаві (а) та часу τ (б): 1 – з урахуванням теплової інерційності системи та 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

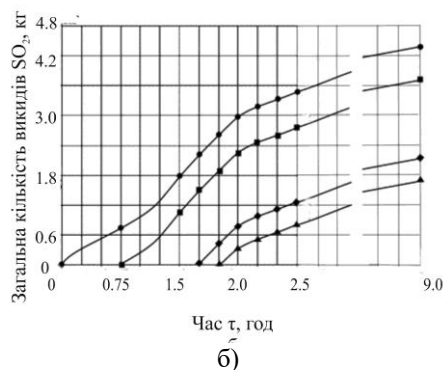
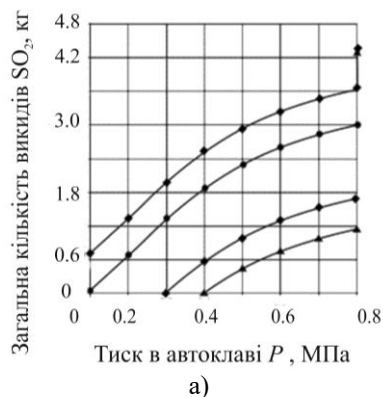


Рисунок 10 – Загальна кількість викидів SO_2 , кг від початку запарювання та перепуску пари з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля в залежності від тиску P в автоклаві (а) та часу τ (б): 1 – з урахуванням теплової інерційності системи 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

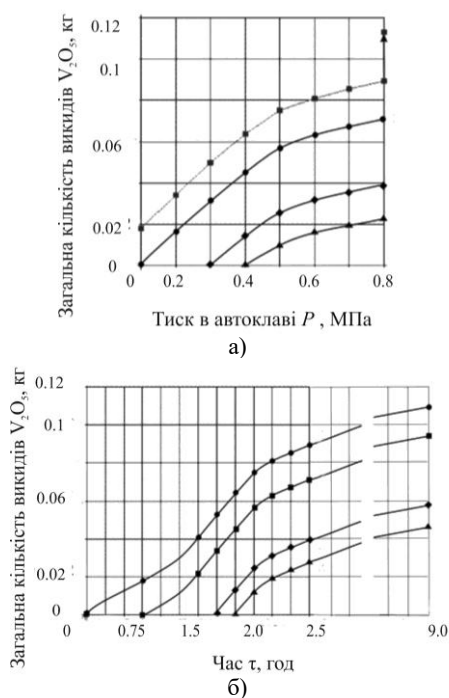


Рисунок 11 – Загальна кількість викидів V_2O_5 , кг від початку запарювання та перепуску пари з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля в залежності від тиску P в автоклаві (а) та часу τ (б): 1 – з урахуванням теплової інерційності системи 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

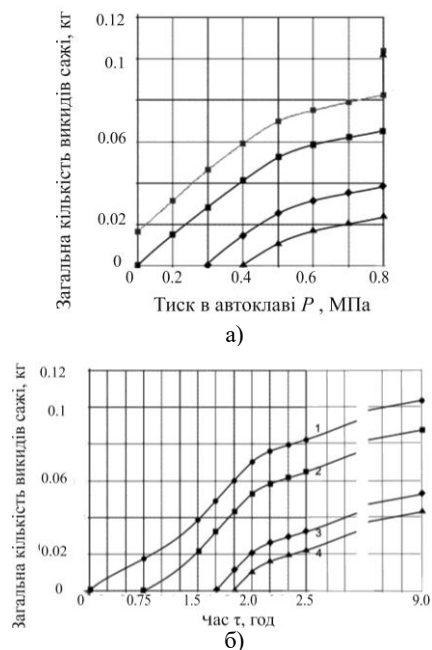


Рисунок 12 – Загальна кількість викидів сажі, кг від початку запарювання та перепуску пари з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля в залежності від тиску P в автоклаві (а) та часу τ (б): 1 – з урахуванням теплової інерційності системи та 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

Як видно на рис. 8–12, що динаміка кількості викидів CO , NO_2 , від початку запарювання та при перепуску пари з урахуванням теплової інерційності системи та втрат теплоти на нагрів автоклаву, вагонеток і в доквілля суттєво різна. Кількість викидів CO , NO_2 , SO_2 , V_2O_5 та сажі при розглянутих перепусках значно скорочується в порівнянні з динамікою кількості викидів від початку запарювання. Таким чином, перепуск пари забезпечує скорочення витрат палива в котельні, що працюють на мазуті, і відповідне зменшення токсичних викидів. Завдяки повторному використанню пари заощаджуються також водні ресурси.

ВИСНОВКИ. Розглянуті в статті шляхи комплексної утилізації теплоти відпрацьованої пари та відхідних газів забезпечують зменшення антропогенного навантаження на довкілля мазутних котельних підприємств автоклавного виробництва будівельних матеріалів.

Повторне використання відпрацьованої пари як теплоносія вище розглянутими способами забезпечує скорочення витрат пари на теплову обробку будівельного матеріалу у автоклавах, а саме:

- прогрів сирцю відхідними газами до тиску в автоклаві-приймальнику 0,1 МПа забезпечує скорочення витрат пари на термообробку будівельного матеріалу у автоклавах на 40 %;
- перепуск пари до тиску в автоклаві-приймальнику 0,3 МПа забезпечує скорочення витрат пари на термообробку будівельного матеріалу у автоклавах на 23 %;
- ежекторний перепуск пари до тиску тиску в автоклаві-приймальнику 0,4 МПа забезпечує скорочення витрат пари на термообробку будівельного матеріалу у автоклавах на 30 %;
- повторне використання відпрацьованої пари як теплоносія вище розглянутими способами також забезпечує скорочення шкідливих викидів газової котельної, а саме викидів CO , NO_2 на величину, пропорційну кількості рекуперованої пари, а також витрат водних ресурсів на її виробництво. Розглянуті методи зниження антропогенного навантаження на довкілля котельної, що працює на мазуті, забезпечують скорочення шкідливих викидів в цілому на 50 % завдяки відповідного зменшення споживання пари у процесах автоклавного виробництва будівельних матеріалів. При цьому суттєво підвищується енергетична ефективність та екологічна безпека автоклавного виробництва будівельних матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Требования к качеству питательной воды для питания паровых и водогрейных котлов. Характеристика природных вод. – Доступний з: http://www.sergey-osetrov.narod.ru/Projects/Boiler/WATER_FOR_BOILER.htm
2. Крылов Б.А. Эффективное ресурсосбережение. (На примере железобетонных конструкций) – М.: Знание, 1989. – 64 с.
3. Сталинский Д.В. Защита окружающей среды от загрязнений дымовыми газами теплоэлектростанций // Экология та виробництво. – 2002. – Вересень. – С. 16–18.

4. Грудаков А.А., Егоров Ю.А., Куклин В.Е. АЭС, ТЭС и окружающая среда // Известия Южного федерального университета. – 1999. – № 4 – С. 52–53.
 5. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
 6. Пыриков А.Н., Черноусов П.И., Мартынов Н.Н. Инженерная защита окружающей среды и экологическая безопасность: монография в 2 книгах: Книга 2 – М.: ЦИТ, 2012. – 192 с.
 7. Basu P., Kefa C., Jestin L. Boilers and Burners: Design and Theory – New York: Springer-Verlag, 2000. – 366 p.

8. Rayaprolu K. Boilers for power and process – CRC Press., 2009. – 245p.
 9. Вахнин М.П. Производство силикатного кирпича. – М.: Высшая школа, 1989. – 200 с.
 10. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. – М.: Стройиздат, 1982. – 384 с.
 11. Зейфман М.И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов. – М.: Стройиздат, 1990. – 184 с.

REDUCTION OF THE WATER RESOURCES USAGE BY THE GAS BOILERS OF THE COMPANIES WITH AUTOCLAVE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS

N. Radchenko

National University of Shipbuilding

prosp. Geroev Stalingrada, 9, Nikolaev, 54000, Ukraine. E-mail: andrad69@mail.ru

L. Makarova

Petro Mohyla Black Sea State University

vul. 68-th Desantnikov, 10, Nikolaev, 54000, Ukraine. E-mail: l.mackarowa2012@yandex.ru

The application of new techniques to reduce emissions of gas boiler autoclave production of building materials is considered.

It was analyzed the impact of anthropogenic gas boiler autoclave production of building materials on humans and the environment, as well as considered the urgency of solving the issue in connection with the problem of water scarcity.

The study have found that the proposed methods of integrated waste heat recovery steam and exhaust gases provide a significant reduction not only of emissions of gas boilers with the thermal inertia of the system and the loss of heat to the heating of the autoclave, trolleys and the environment, but also the cost of water. The use of exhaust steam as a coolant according to proposed methods can reduce the steam consumption during heat treatment of construction materials. By reusing the pair it also provided savings of water resources in its production.

Overall reviewed methods increase energy efficiency and environmental safety of autoclave production of building materials. The research results can be applied to the development of energy-saving technologies for the construction materials industry enterprises. References 11, figures 12.

Key words: ecological influence, gas boiler rooms, the autoclaving production, building materials enterprises, water resources, reduction methods.

REFERENCES

1. "Trebovanija k kachestvu pitatel'noj vody dlja pitanija parovyh i vodogrejnyh kot-lov. *Harakteristika prirodnyh vod*" [Requirements for the quality of feed water to supply steam and hot water boilers. Characteristics of natural waters.], available at: http://www.sergeyosrov.narod.ru/Projects/Boiler/WATER_FOR_BOILER.htm (assessed June 21, 2015).
 2. Krylov, B.A. (1989), *Jeffektivnoe resursosbrerezhenie* [Effective resource saving.], Znanie, Moscow, Russia.
 3. Stalinskiy, D.V. (2002), "Environmental protection from muddy flue gas power plants", *Ekologija ta virobništvo*, pp. 16–18.
 4. Grudakov, A.A. Egorov, Y.A., Kuklin, V.E. (1999), "Nuclear power plants, thermal power plants and the environment", *Izvestija Juzhnogo federal'nogo universiteta*, no. 4, pp. 52–53.
 5. Kotler, V.R. (1987), *Oksidy azota v dymovyh gazah kotlov* [Nitrogen oxides in the flue gas boilers], Energoatomizdat, Moscow, Russia.

6. Pyrikov, A.N., Chernousov, P.I., Martynov, N. (2012), *Inzhenernaja zashhita okruzhajushhej sredy i jekologicheskaja bezopasnost'* [Engineering protection of environ-dy and environmental safety], CIT, Moscow, Russia.
 7. Basu, P., Kefa, C., Jestin, L. (2000), *Boilers and Burners: Design and Theory*, Springer-Verlag, New York, USA.
 8. Rayaprolu, K. (2009), *Boilers for power and process*, CRC Press., Boca Raton, Florida, USA.
 9. Vakhnin, M.P. (1989), *Proizvodstvo silikatnogo kirpicha* [Production of silica brick], Vysshaja shkola, Moscow, Russia.
 10. Hawkin, L.M., (1982), *Tehnologija silikatnogo kirpicha* [Technology of silicate bricks], Stroyizdat, Moscow, Russia.
 11. Zeifman, M.I. (1990), *Izgotovlenie silikatnogo kirpicha i sili-katnyh jacheistyh materialov* [Production of silicate bricks and silicate cellular materials], Stroyizdat, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 3.08.2015.