

СКОРОЧЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД КОТЕЛЬНИХ АВТОКЛАВНОГО ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ШЛЯХОМ НАГРІВУ КОТЕЛЬНОЇ ВОДИ

Проаналізовано антропогенний вплив на довкілля котельних автоклавного виробництва будівельних матеріалів та запропоновано метод його зменшення шляхом нагріву котельної води.

***Ключові слова:** автоклавне виробництво будівельних матеріалів, антропогенне навантаження, котельня, шкідливі викиди, метод нагріву котельної води.*

Проанализировано антропогенное влияние на окружающую среду котельных автоклавного производства строительных материалов и предложен метод уменьшения их влияния путем нагрева котельной воды.

***Ключевые слова:** автоклавное производство строительных материалов, антропогенная нагрузка, котельная, вредные выбросы, метод нагрева котельной воды.*

The ecological influence of boilers of the autoclaving production of building materials enterprises on the environment is analyzed and the method of the its reduction by heating of boiler's water are proposed.

***Keywords:** autoclaving production of building materials, ecological influence, boiler, harmful wastes, method of the heating of boiler's water.*

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

Автоклавне виробництво будівельних матеріалів належить до вельми енергоємних процесів, які характеризуються значними втратами теплоти і, як наслідок, нераціональними витратами паливних і водних ресурсів. Так, у автоклавному виробництві близько 45 % витраченої теплоти акумулюється будівельним матеріалом (силікатною цеглою, бетоном) та парою у вільному об'ємі автоклаву. При випуску відпрацьованої пари в атмосферу має місце значна втрата теплоти, що призводить до збільшення витрат палива (газу, мазуту, вугілля) на виробництво пари в котельних. Вагоме місце в статті витрат енергоресурсів у виробництві займають котельні. Крім витрат тепла для виробництва пари та нагріву води до 100 °С, важливе місце займають втрати тепла в котельних. При цьому втрати тепла в 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 також під час транспортування пари в трубопроводах до теплових агрегатів (до 25 %) [1].

Антропогенне навантаження котельних виробництва на довкілля при цьому вельми зростає

через викиди значної кількості шкідливих речовин з продуктами згоряння в атмосферу (окси вуглецю, двоокису азоту, ангідриду сірчистого, ванадію п'ятиокису та сажі при роботі котельних на мазуті; окису вуглецю та окислів азоту при роботі на газі).

Таким чином, проблема скорочення токсичних викидів від котельних автоклавного виробництва будівельних матеріалів шляхом раціонального використання паливних та водних ресурсів вельми актуальна. Зменшення антропогенного навантаження від котельних пов'язано з важливими науковими та практичними завданнями. По-перше, вирішення проблеми скорочення шкідливих викидів від котельних автоклавного виробництва будівельних матеріалів потребує розробки екологічно безпечних та енергоресурсозберігаючих технологій використання вторинних енергетичних і сировинних ресурсів виробництва. По-друге, впровадження таких технологій сприятиме не тільки підвищенню енергетичної ефективності виробництва, завдяки економії палива і раціональному використанню водних ресурсів, але й зменшенню його екологічного навантаження на довкілля завдяки скороченню шкідливих викидів від котельних [1].

2. Аналіз останніх досліджень із проблеми. Виділення невирішених завдань у загальній проблемі, постановка мети дослідження

Аналіз сучасних методів очищення шкідливих викидів від котельних свідчить про їх низьку ефективність [2]. Найбільш ефективні вологі методи очищення відхідних газів (зрошенням водою) 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, використання яких потребує додаткових енергетичних витрат на подолання аеродинамічного опору. Очистка димових газів від золи на котельних в електрофільтрах, що на сьогодні здебільше морально і фізично застарілі, вимагає їх заміни або реконструкції. Проблема підвищення екологічної безпеки котельних ускладнюється значними матеріальними витратами внаслідок заміни недосконалих апаратів вологого золотловлювання і електрофільтрів на сухі сучасні апарати. До того ж, необхідний ступінь очищення в більшості випадків через недосконале природоохоронне обладнання є недосяжним.

Таким чином, найбільш ефективним шляхом зменшення антропогенного навантаження від котельних є усунення причин, що до них призводять. Так, пошук резервів скорочення токсичних викидів від котельної слід здійснювати саме в скороченні витрат палива, що в ній спалюється, тобто самих джерел цих викидів. Вирішення проблеми таким чином, пов'язане передусім із раціональним використанням теплоти в технологічних процесах, а значить, і паливних та водних ресурсів [2].

Шляхи повторного використання відпрацьованої пари в автоклавах 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 котельної. Однак при цьому не забезпечується повне використання наявних теплових резервів.

Так, вирішення проблеми скорочення шкідливих викидів від котельних у довкілля лише шляхом встановлення ефективних пилогазоочисних установок не може усунути повністю проблему забруднення атмосфери. До того ж, розроблені стандартні (традиційні) методи використання вторинних енергетичних ресурсів виробництва не забезпечують повного використання наявних теплових резервів. Розв'язання проблеми повинно здійснюватись у комплексі шляхом розробки енергоресурсозберігаючих технологій автоклавного виробництва будівельних матеріалів, метою яких є пошук шляхів максимально можливого використання теплових резервів виробництва. Впровадження таких енергоресурсозберігаючих технологій у виробництво сприяло б не тільки підвищенню його енергетичної ефективності (скороченню витрат пари і, як наслідок, зменшенню непродуктивних витрат палива та води), але й підвищенню екологічної безпеки (скороченню токсичних викидів від котельних у довкілля).

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

3. Результати дослідження

Процес термічної обробки будівельного матеріалу (сирцю) у автоклавах відзначається значними енергетичними втратами. Так, біля 45 % витраченої теплової енергії акумулюється цеглою або бетоном і вільним об'ємом автоклаву. Ця теплота може бути використана повторно шляхом утилізації відпрацьованої пари. Остання, до того ж, утримує значну кількість домішок (вапно, гідросилікати, пісок та ін.), так званої «пушонки», викид яких призводить до значного забруднення навколишнього середовища. Використання відпрацьованої пари для підігріву води, що живить парові котли для опалення та інших комунальних потреб, потребує її попередньої очистки від шкідливих домішок. Так, на поверхні теплообмінників утворюються відклади від домішок, що різко збільшує їх термічний опір і, як наслідок, зменшується ефект від утилізації.

Розроблена система утилізації тепла передбачає попереднє очищення відпрацьованої пари від домішок, так званої «пушонки» (вапно, гідросилікати, пісок і т. ін.), у сепараторі і наступний відвід тепла в теплообмінник – підігрівач води.

Аналіз існуючих способів очистки пари від домішок у рідкому вигляді показав, що достатньо ефективним є спосіб барботування пари через шар води. Оскільки домішки затримуються водою, то необхідна заміна насиченої домішками води чистою від домішок порцією, тобто потрібний постійний водообмін. Працюючі за такою схемою сепаратори використовуються для відокремлення вологи від пари, що виробляється парогенераторами.

Очищена в сепараторі пара подається на підігрівач води, що подається в осінньо-зимовий сезон на опалення житлових або адміністративних будівель. У весняно-літній сезон у водопідігрівач може подаватися живильна вода, яка подається в котельню, скорочуючи, тим самим, витрати на виробництво пари.

Сконцентрована в підігрівачі пара у вигляді конденсату, що віддала частину свого тепла на підігрів води опалювальної системи, зливається в теплий ящик.

Схема системи утилізації тепла відпрацьованої пари з автоклавів шляхом нагріву котельної води наведена на рис. 1. Система включає в себе сепаратор пари вертикальний (СПВ), підігрівач мережевої води (ПМВ), теплий ящик (ТЯ), циркуляційний насос (ЦН) і відстійник.

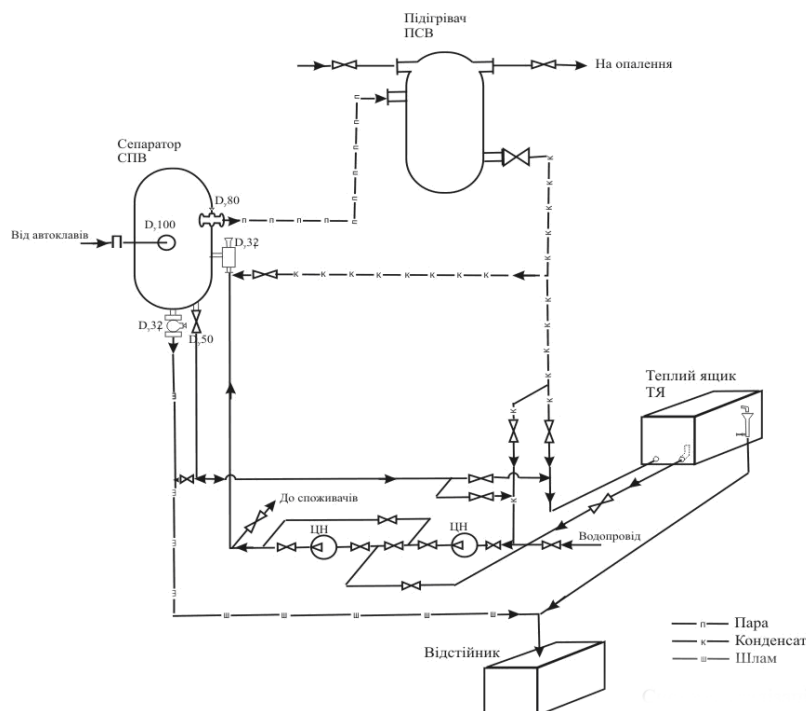


Рис. 1. Система утилізації тепла відпрацьованої пари шляхом нагріву котельної води

Відпрацьована (м'ята) пара автоклавів подається на сепаратор пари, звідки очищена від «пушонки» (домішок), пара спрямовується в підігрівач мережевої води, де віддає тепло воді опалювальної системи. Охолоджений конденсат зливається з підігрівача в теплий ящик. У теплий ящик зливається також насичена «пушонкою» вода барботажного шару з сепаратору пари. Заміна води барботажного шару в сепараторі може здійснюватися наступними шляхами: з водопроводу, з теплового ящика, конденсатом з підігрівача води, що можливо при установці підігрівача вище сепаратору пари, щоб забезпечити самоплив. Видалення з сепаратору шламу, що осідає в його нижній частині, здійснюється продувкою з відводом шламу в відстійник, куди зливається також вода з теплового ящика через переливну трубу.

Можливі варіанти роботи системи утилізації тепла відпрацьованої пари шляхом нагріву котельної води, такі як:

- 1) подача в сепаратор СПВ води насосами ЦН з теплового ящика ТЯ при створеному сумарному напорі $\sim 8 \text{ кг/см}^2$;
- 2) подача в сепаратор СПВ конденсату насосом ЦН з підігрівача ПМВ;
- 3) подача в сепаратор СПВ насосом ЦН одночасно конденсату з підігрівача ПМВ і води з теплового ящика ТЯ; В 1-3 варіантах злив насиченою «пушонкою» води з сепаратору СПВ проводиться в теплий ящик ТЯ, що можливе при слабкому насиченні барботажного шару «пушонкою»;
- 4) рециркуляція через сепаратор води насосом ЦН, минаючи теплий ящик ТЯ, що можливе при слабкому насиченні барботажного шару «пушонкою»;
- 5) підживлення з водопроводу на всмоктування насосом ЦН;
- 6) подача водопровідної води безпосередньо в сепаратор СПВ, що можливо при високому тиску в водопроводі і низькому – у сепараторі СПВ;
- 7) при низькому тиску в сепараторі СПВ можлива подача конденсату з підігрівачу ПМВ безпосередньо в сепаратор за рахунок різниці рівнів рідини в ПМВ і СПВ, для чого необхідна установка ПМВ та СПВ;
- 8) при відключеній подачі пари з автоклавів на сепаратор СПВ і високій температурі води в теплому ящику ТЯ можлива рециркуляція води з теплового ящика через підігрівач ПМВ, для чого необхідно відключити по парі ПМВ від СПВ і в трубопровід подачі пари в ПМВ подавати воду з ТЯ.

Розглянемо енергетичну ефективність та екологічну безпеку системи утилізації тепла відпрацьованої пари від автоклавів шляхом нагріву котельної води.

На підприємстві встановлені 6 автоклавів коміркового бетону (діаметром 3,6 і довжиною 27 м) і 10 автоклавів цегли (діаметром 2 м і довжиною 19 м).

Після завантаження сировиною тиск у комірковому автоклаві піднімають до 11 кг/см^2 , цегляному – 10 кг/см^2 (табл. 1). Швидкість підйому тиску відповідає підвищенню температури до $100 \text{ }^\circ\text{C}$ зі швидкістю $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ на хвилину, понад $100 \text{ }^\circ\text{C}$ – $1 \text{ }^\circ\text{C/хв}$. При різкому підвищенні тиску утворюється велика кількість конденсату, який не встигає відводитися з автоклава, що призводить до розмивання цегли. Після витримки автоклава при високому тиску протягом певного часу при наявності підготовленого (завантаженого сировиною) іншого автоклава в останній перепускають протягом 30-45 хв. Відпрацьовану пару від першого автоклаву перепускають до пониження в ньому тиску до 5 кг/см^2 . При цьому тиск у завантаженому автоклаві зростає орієнтовно до 4 кг/см^2 . Подальше підвищення тиску здійснюється подачею гострої пари від котельної. Пара, що залишилася в першому автоклаві, скидається в атмосферу. Якщо до моменту пониження тиску немає готового (завантаженого сировиною) іншого автоклава, то в атмосферу викидається вся кількість відпрацьованої – м'ятої пари, що призводить до великих енергетичних втрат.

Режим роботи автоклавів

Періоди роботи автоклавів	коміркового бетону	цегляного
1. Підйом тиску до 10-11 кг/см ² (включаючи перепуск 30-45 хв)	2-3 год	1-1,5 год
2. Витримка при 10-11 кг/см ²	9 год	6 год
3. Випуск пари	2,5-3 год	1-1,5 год

Завантаження сировини і розвантаження бетону займають по 1,2 год.

Протягом доби з інтервалом приблизно 1 год відбувається випуск відпрацьованої (м'ятої) пари з кожного автоклаву впродовж 1,5-3 год. Випуск відпрацьованої пари відбувається через один трубопровід $D_y = 100$ мм.

У процесі термообробки в автоклавах споживання теплової енергії складає: 408,1 Мкал на 1 тис. штук цегли і 459,8 Мкал на 1 м³ коміркового бетону.

Об'єм коміркового бетону в автоклаві складає 108 м³. З урахуванням об'ємів, що займають колектори відводу конденсату, та інших втрат корисного об'єму приймаємо об'єм пари в автоклаві діаметром 3,6 м і довжиною 27 м рівним 120 м³. При 10 кг/см² питомий об'єм пари складає 0,1943 м³/кг. Маса 120 м³ пари при 11 кг/см² дорівнює 672 кг.

$459,8 \text{ Мкал/м}^3 \cdot 108 \text{ м}^3 = 49658 \text{ Мкал} \approx 50 \text{ Гкал} \rightarrow 50 \text{ Гкал} / 0,7 \text{ Гкал/т} = 71 \text{ т}$ пари. На виробництво 1 т пари витрачається 0,7 Гкал.

У цегляний автоклав завантажують 17 вагонеток, у кожній з яких вміщується 942 шт. цегли, що займають об'єм рівний 1,4 м³. З урахуванням об'єму колекторів відводу конденсату та інших втрат приймаємо об'єм пари в автоклаві діаметром 2 м і довжиною 19 м рівним 30 м³, що при тиску 10 кг/см² відповідає масі 155 кг.

$408,1 \text{ Мкал/тис. шт} \cdot 17 \text{ тис.} = 6988 \text{ Нкал} \approx 6,9 \text{ Гкал} / 0,7 \text{ Гкал/т} = 9,9 \text{ т}$

Від кожного з комірчастих і цегляних автоклавів викидається в атмосферу відповідно 672 і 155 кг пари, без урахування кількості пари, що утворюється в результаті випаровування вологи з бетону (цегли) при зниженні тиску (а це 90 % всієї кількості, тобто дійсна кількість в ~ 10 разів більше). При добовому скиді пари від 6 комірчастих і 10 цегляних автоклавів сумарна кількість пари, що викидається в атмосферу, складає 5 582 кг, округляємо до 5 500 кг.

Розрахуємо енергетичну ефективність системи утилізації тепла відпрацьованої пари від автоклавів шляхом нагріву котельної води.

1. Добові втрати тепла через викид пари в атмосферу складають:

$$Q_c = G \cdot r = 5500 \cdot 2200 = 12,1 \cdot 10^6 \text{ кДж/добу},$$

де $r = 2200$ кДж/кг.

2. При конденсації пари в підігрівачі мережевої води середньогодинний відвід тепла до води від пари, що конденсується:

$$Q = Q_c / 24 = 0,5 \cdot 10^6 \text{ кДж/год.}$$

3. Якщо прийняти нагрів води в підігрівачі $\Delta t = 20$ °С, чому сприяє приріст ентальпії $\Delta i = 85$ кДж/кг, середня витрата води через підігрівач складе:

$$G = Q / \Delta i = 0,5 \cdot 10^6 / 85 = 5880 \text{ кг/год} \approx 6 \text{ т/год.}$$

4. Максимальний відвід прихованого тепла конденсації пари має місце при критичній витраті $G_{кр} = 1,07$ т/год протягом 15 хв.:

$$Q_{max} = G_{кр} \cdot r = 1070 \cdot 2200 = 2,4 \cdot 10^6 \text{ кДж/год.}$$

5. Максимальна витрата води через підігрівач, що забезпечує відвід тепла:

$$G_{max} = Q_{max} / \Delta i = 2,4 \cdot 10^6 / 85 = 28 \cdot 10^3 \text{ кг/год} = 28 \text{ т/год.}$$

Витрата води на підігрівач повинна знаходитись в інтервалі 6-28 т/год.

Продуктивність насосу для циркуляції води барботажного шару в сепараторі пари згідно з рекомендаціями для живильного насосу парогенератора повинна в 2-3 рази перевищувати витрату пари. При максимальній (критичній) витраті пари 1 т/год. продуктивність циркуляційного насосу повинна бути 2-3 м³/год. при напорі 8-10 кг/см² (якщо всмоктування відбувається з теплового ящика).

Оскільки насоси з таким великим напором промисловістю, як правило, не випускаються, то пропонується послідовне підключення двох насосів з помірними напорами. Наприклад, два електронасоси АКН 10/40 (продуктивність 10 м³/год, напір 4 кг/см²), або ще меншою продуктивністю. Якщо ж в наявності немає двох насосів, то можлива робота з одним насосом при заборі конденсату з підігрівача мережевої води, а не з теплового ящика (варіант 2 роботи системи).

Швидкість подачі води в трубопроводі в сепаратор пари (діаметр патрубку на сепараторі дорівнює 50 мм) складає:

$$W = V_{щ} \cdot 4 / (\pi d^2 \rho_w) = 0,83 \cdot 4 / (3,14 \cdot 25 \cdot 10^{-4} \cdot 10^3) = 0,42 \text{ м/с,}$$

де $V_{щ} = 3 \text{ м}^3/\text{год} = 0,83 \text{ кг/с.}$

При кількості подачі пари на підігрівач мережевої води на протязі доби 5,5 т можна прийняти (з урахуванням майже 5-добового запасу) ємність теплового ящика 25 м³.

Енергетична ефективність системи утилізації тепла відпрацьованої пари від автоклавів шляхом нагріву котельної води складає близько 20 % [4]. **Завдяки економії пари і, відповідно, палива та води скорочуються шкідливі викиди від котельної в довкілля (рис. 2).** Таким чином, суттєво підвищується екологічна безпека виробництва – шкідливі викиди скорочуються на величину, пропорційну зменшенню витрат пари, енергетичних та природних ресурсів для її виробництва.

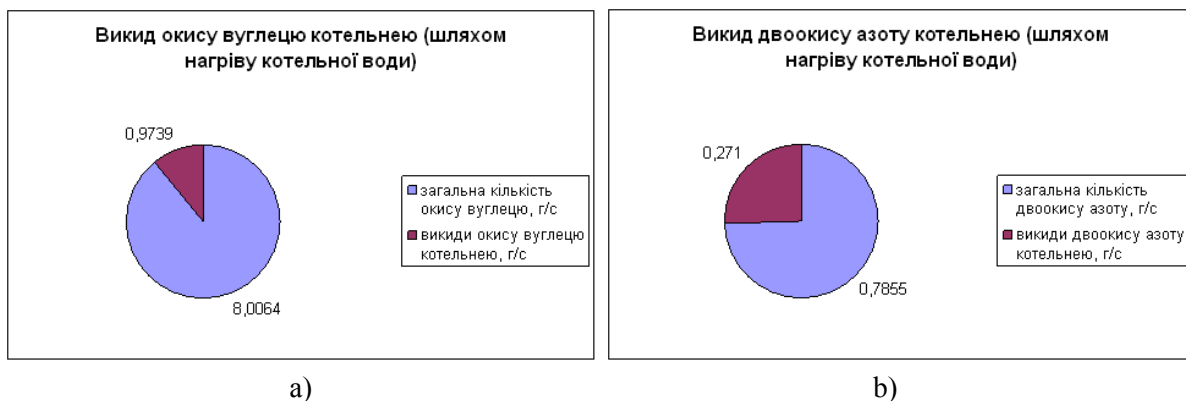


Рис. 2. Частка викидів забруднюючих речовин котельнею на мазуті при повторному використанні пари шляхом нагріву котельної води (на прикладі АТ «Олександрівський завод силікатної цегли» (Миколаївська обл.)) (а, б)

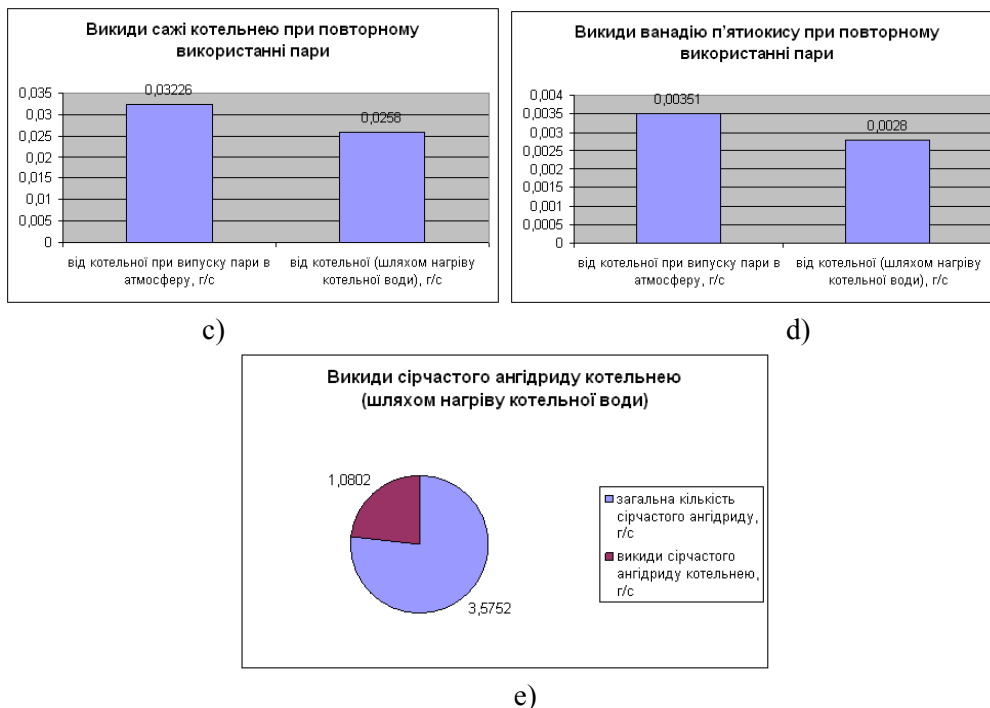


Рис. 2. Частка викидів забруднюючих речовин котельнею на мазуті при повторному використанні пари шляхом нагріву котельної води (на прикладі АТ «Олександрівський завод силікатної цегли» (Миколаївська обл.)) (с, d, e)

4. Висновки

Розглянута система утилізації тепла відпрацьованої пари від автоклавів шляхом нагріву котельної води забезпечує зменшення:

- шкідливих і токсичних викидів від котельних на величину, пропорційну кількості рекуперованої пари;
- витрат пари на термообробку будівельного матеріалу в автоклавах на 20 %;
- витрат палива та води на 20 % на виробництво пари в котельних.

Утилізація тепла відпрацьованої пари від автоклавів шляхом нагріву котельної води як традиційний метод економії енергетичних та сировинних ресурсів дозволяє скоротити антропогенне навантаження від котельних на довкілля та підвищити 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 теплоэлектростанций // Экология та виробництво. – 2002. – Вересень. – С. 16-18.
3. Вахнин М.П., Анищенко А.А. Производство силикатного кирпича. – М.: Высшая школа, 1989 г. – 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.

Рецензенти: д.т.н., професор Білека Б.Д.,
к.т.н., доцент Трушляков Е.И.