

УДК 504.06:66.046.8

РАДЧЕНКО М.І., Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова,
м. Миколаїв, УкраїнаМАКАРОВА О.В., Миколаївський державний гуманітарний університет ім. Петра Могили, Миколаїв,
Україна

Радченко Микола Іванович – д.т.н., професор Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, НДІ проблем екології та енергозбереження. Коло наукових інтересів: техногенна безпека, енерго-збереження

Макарова Олена Валеріївна – аспірант, Миколаївський державний гуманітарний університет ім. Петра Могили
Коло наукових інтересів: техногенна безпека, енергозбереження

КОТЕЛЬНІ ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНОЇ ІНДУСТРІЇ ЯК ДЖЕРЕЛА АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ

Проаналізовано антропогенний вплив на довкілля котельних підприємств будівельної індустрії та запропоновано методи його зменшення.

The ecological influence of boilers of the building industry enterprises on the environment is analyzed and some methods of the its reduction are proposed.

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

Виробництво будівельних матеріалів належить до найбільш енергоємних галузей, які в той же час відзначаються значними втратами теплоти і, як наслідок, непродуктивними 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 автоклава. При випуску відпрацьованої пари ця теплота втрачається, призводячи до збільшення витрат палива (газу, мазуту, вугілля) на виробництво цієї пари в котельних. виробництва будівельних матеріалів посідають вагоме місце в статті витрат енергоресурсів. Для отримання 1 кг пари необхідно витратити 635 Вт тепла, а з урахуванням теплоти на нагрів води до 100 °С – близько 753 Вт [1]. При цьому слід зважати, що

втрата тепла в самих котельних при спалюванні палива і перетворенні води на пару теж високі: середній ККД котельних не перевищує 0,8. Крім того, мають місце теплові втрати в трубопроводах (до 25%) під час транспортування пари до теплових агрегатів [1]. До того ж через значну кількість шкідливих викидів котельної в атмосферу (окису вуглецю, двоокису азоту, ангідриду сірчистого, ванадію п'ятиокису та сажі при роботі котельної на мазуті; окису вуглецю та окислів азоту при роботі на газі) збільшується екологічне навантаження на довкілля. Накопичення в ґрунті та сільгоспкультурах шкідливих речовин призводить до загального погіршення демографічної ситуації, зокрема підвищення рівня захворюваності та смертності людей [2].

Отже, проблема скорочення токсичних викидів від котельних будівельної галузі шляхом раціонального використання паливних та водних ресурсів вельми актуальна. Впровадження

ресурсозберігаючих технологій сприятиме не тільки підвищенню енергетичної ефективності виробництва завдяки економії палива, але й зменшенню екологічного навантаження на навколишнє природне середовище [1].

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

Сучасні методи очистки шкідливих викидів котельних мають низьку ефективність. До того ж вибір методів очистки залежить від багатьох факторів, основними з яких є такі:

- вихідний вміст шкідливих речовин;
- необхідна ефективність очистки;
- наявність дешевих реагентів;
- капітальні та експлуатаційні витрати [2].

Найбільш ефективні 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 нижча, ніж в електрофільтрах. Апарати сухого типу теж не забезпечують необхідного ступеня очищення, доволі громіздкі, і їхнє включення у тракт відпрацьованих газів потребує додаткових енергетичних витрат на подолання аеродинамічного опору. Очистка димових газів від золи на котельних в основному здійснюється в електрофільтрах, на сьогодні здебільшого морально і фізично застарілих, що вимагає їх заміни або реконструкції. Проблема екологічної безпеки котельних загострюється ще й тим, що заміна недосконалих апаратів вологого золотловлювання і електрофільтрів на сухі сучасні апарати потребує значних матеріальних витрат. Ефективність очистки, що вимагається у відповідності зі встановленими ГДК, повинна становити по золі – 99,4 %; по діоксиду сірки – 90 %; по оксиду вуглецю – 74 %. Проте через недосконале природоохоронне обладнання такий ступінь очистки у більшості випадків є недосяжним. Очевидно, що найбільш ефективним шляхом зменшення негативних наслідків є усунення причин, що до них призводять. Виходячи з цієї посилки, 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].

Шляхи повторного використання відпрацьованої в автоклавах пари для термообробки 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. Теплоту відпрацьованої пари можна також використовувати для нагріву живильної води котлів і води системи опалення заводських приміщень [3, 4].

Аналіз шляхів скорочення шкідливих викидів і споживання палива та води у виробництві будівельних матеріалів свідчить про те, що вони далеко не вичерпують наявних резервів. Зменшення кількості викидів котельні в навколишнє середовище лише шляхом встановлення ефективних пилогазоочисних установок не може усунути повністю **проблеми** 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 котельного господарства виробництва будівельних матеріалів шляхом комплексної утилізації теплоти відпрацьованої пари та відхідних газів.

3. Результати дослідження

У технологічних процесах виробництва будівельних матеріалів споживачами пари, виробленої котельними, є установки для термічної обробки сирцю парою без тиску (пропарювальні камери, касетні установки) або під тиском (автоклави), які відносяться до теплових агрегатів періодичної дії.

Пропарювальні камери ямного типу – це найбільш прості за конструкцією теплові установки для прискорення твердіння, зокрема бетонних виробів. Їх широко використовують в промисловості збірного залізобетону. Коефіцієнт корисного використання теплової енергії камер становить приблизно 28 %. Основні причини значних перевитрат теплоти – недоліки конструкції пропарювальних камер, теплових мереж, а саме – велика інерційність, масивність огорожуючих конструкцій, ненадійність гідравлічних замків, а також недосконалість засобів контролю витрат пари та системи подачі теплоносія [7, 8]. Витрати енергії в найбільш розповсюджених теплових агрегатах – пропарювальних камерах – включають теоретично необхідну, супутню витрату в теплових установках, експлуатаційні та режимні втрати. Супутня витрата енергії в пропарювальних камерах періодичної дії досягає 45 %, безперервної дії – 51 % сумарних витрат теплової

енергії. Експлуатаційні та режимні втрати цих же камер в середньому складають 32 % та 34 % [9]. Таким чином, значна частка в тепловому балансі камер твердіння припадає на експлуатаційні втрати, які обумовлені конструктивними недоліками пропарювальних камер: великою інерційністю та масивністю огорожуючих конструкцій, ненадійністю гідравлічних замків, недосконалістю конструкції системи подачі теплоносія тощо.

Огородження пропарювальних камер, як правило, виготовляють з важкого бетону, коефіцієнт теплопровідності якого достатньо високий і в середньому складає 2,3 Вт/(м К). Тому теплові втрати з поверхні камер досягають 15...22 % загальної витрати тепла. З цієї причини в камерах періодичної дії на компенсацію охолодження огороження камер під час перерв в роботі витрачається приблизно 24 % загальної витрати тепла [7].

Касетні установки використовуються для виготовлення залізобетонних виробів у вертикальному положенні. В них формують та піддають тепловій обробці панелі перекриття, внутрішні стінові панелі, балконні плити тощо. Теплову обробку в касетних установках здійснюють безконтактним способом з передачею теплоти виробам від теплоносія через метал або перегородки. Тепловологісна обробка складається з таких періодів: перший – прогрів, другий – ізоермічна витримка, третій – розпалубка. Тривалість обробки складає 6...8 годин. Витрати пари в касетах складають 150...250 кг на 1 м³.

Дослідження показують, що в касетних установках відбувається великий розкид температур по висоті теплового відсіку. Іноді різниця в верхній та нижніх частинах виробу досягає 35 %, що потребує збільшення часу теплової обробки виробів. Такі обставини призводять до значних втрат теплоти, а отже, до нерационального витрачання природних та енергетичних ресурсів: палива та води [1].

Проаналізуємо ефективність використання пари на прикладі автоклавного виробництва цегли. У процесі термообробки в автоклавах споживання теплової енергії складає 408,1 Мкал на 1 тис. шт. цегли. В стандартний автоклав завантажують 17 вагонеток, в кожній з яких вміщується 942 шт. цегли, що займають об'єм 1,4 м³. З урахуванням об'єму колекторів відводу конденсату та інших втрат об'єм пари в автоклаві діаметром 2 м і довжиною 19 м становить 30 м³, що при тиску 1 МПа відповідає масі 155 кг [4].

При витраті теплової енергії 408,1 Мкал на автоклавну обробку 1 тис. шт. цегли одним автоклавом споживається 6,9 Гкал тепла. На виробництво 1 т пари витрачається 0,7 Гкал тепла [4]. Близько 45 % затраченої теплоти акумулюється будівельним матеріалом (сілікатною цеглою, бетоном) та парюю у вільному об'ємі автоклаву. При випуску відпрацьованої пари з автоклаву в атмосферу ця теплота втрачається. Виходячи з цього, один автоклав споживає за весь цикл термообробки таку кількість пари:

$408,1 \text{ Мкал/тис. шт. цегли} = 6988 \text{ Мкал}$ або $6,9 \text{ Гкал}/0,7 = 9,9 \text{ т}$ пари. При цьому 45 % всієї кількості, тобто 4,5 т пари, може бути використано повторно [4].

Використання відпрацьованої пари здійснюється, як правило, шляхом її перепуску з відпрацьованого автоклава-джерела в завантажений сировиною і підготовлений до роботи автоклав-приймач. Основна кількість пари, яка перепускається (біля 90 %), утворюється під час зниження тиску в результаті випаровування вологи з цегли-сирця. Із автоклаву в автоклав пару перепускають трьома шляхами: в закритий автоклав-приймальник або ж автоклав-приймальник, який сполучається з атмосферним повітрям, за рахунок перепаду тиску; в автоклав-приймальник, попередньо прогрітий відхідними газами; перепуск відпрацьованої пари ежектором.

При першому способі перепуск здійснюється

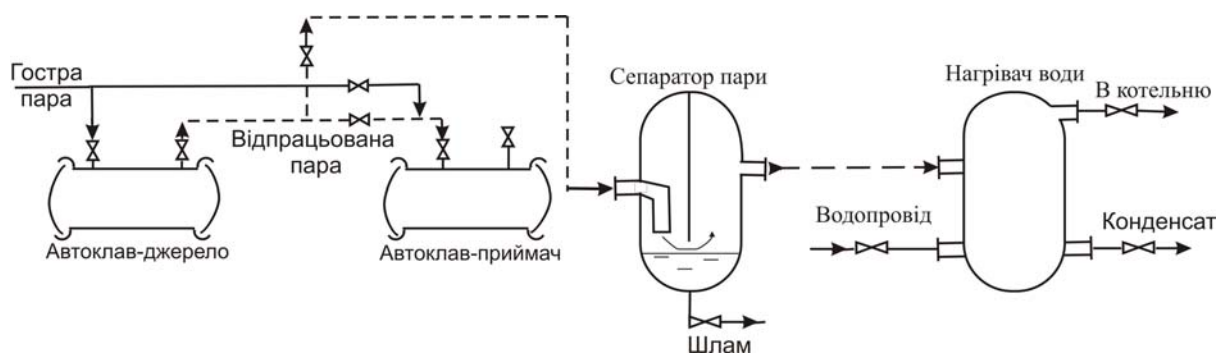


Рис. 1. Перепуск відпрацьованої пари за рахунок перепаду тиску

При перепуску до автоклава-приймальника, що сполучається з атмосферою, хоча тиск у автоклаві-джерелі й знижується майже до атмосферного, та все ж мають місце втрати теплоти з "пролітною" парою, яка викидається в атмосферу з автоклава-приймальника. До того ж майже вся зекономлена теплота йде на прогрів завантаженого сирцем автоклава-приймальника при атмосферному тиску, тобто лише до 100 °С. Цих витрат теплоти можна було б запобігти, якби прогрів здійснювали відхідними газами. Такими газами можуть бути як відхідні гази після випалювання вапна, тобто попереднього етапу технологічного ланцюга, так і продукти згоряння від котельної.

Розроблена технологія автоклавного виробництва, що передбачає застосування перепуску відпрацьованої пари з автоклава-джерела в завантажений сирцем автоклав-приймальник, попередньо прогрітий відхідними газами 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.

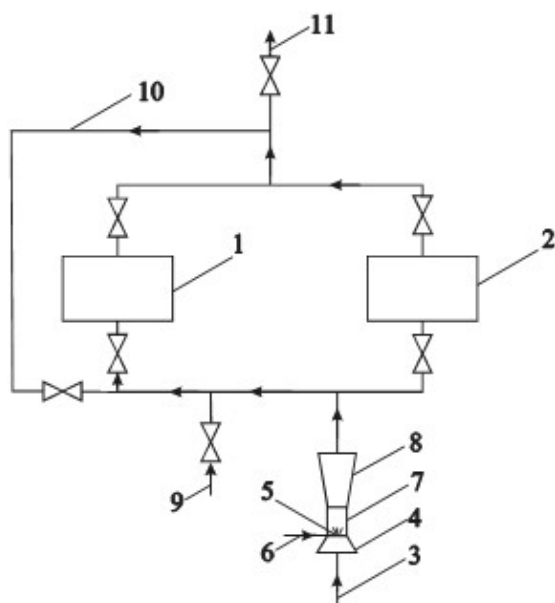
По-друге, у разі перепуску з попереднім газовим прогрівом сирцю теплота від відпрацьованої пари відводиться, починаючи вже з більш високого рівня температур – 90...100 °С. Отже, й інтенсивність конденсації пари, яка залежить від різниці температур пари й сирцю, буде значно меншою.

Потенційну енергію гострої пари високого тиску можна спрацьовувати в струминному апараті-ежекторі, яким підсмоктувати відпрацьовану пару з автоклава-джерела й подавати суміш у автоклав-приймальник [6].

Завдяки підвищенню тиску відпрацьованої пари в дифузорі ежектора перепуск триває навіть при від'ємній різниці тисків у автоклавах, коли тиск в автоклаві-джерелі стає меншим, ніж у приймальнику.

Ефективність теплової обробки відхідними газами можна підвищити, якщо впорскувати дрібнорозпилену воду в гази перед їх подачею в автоклав. Упорскування води необхідно здійснювати форсункою з одночасним дрібним її розпиленням і в спеціальному чином зпрофільований пристрій – так званий термопресор, у конфузурі якого газ прискорюють до швидкості, близької до звукової, але не вище. При випаровуванні дрібнорозпиленої води у прискореному потоці відхідних газів їх тиск підвищується. Таке явище відоме як ефект теплової компресії. Підвищення тиску відхідних газів за рахунок випаровування упорскуваної дрібнорозпиленої води достатнє для подолання аеродинамічного опору їхньому рухові через автоклав-приймальник і дозволяє запобігти додатковим енергетичним витратам, які мали б місце у разі стискання відхідних газів, наприклад у механічному нагнітачі – газодувці з приводом від електродвигуна. Відхідними газами можуть бути продукти згоряння від котельної або печі випалу вапна.

На рис. 2 зображена автоклавна установка, в якій реалізується запропонований спосіб. Робота автоклавної установки здійснюється таким чином. Автоклав-приймальник 1, завантажений сирим матеріалом і сполучений із атмосферою через лінію випуску 11, нагрівають відхідними газами, які підводять лінією подачі відхідних газів 3 до приймальної камери 4 струминного термопресора. В потік відхідних газів розприскувачем води 5 упорскують воду, яку



1 – автоклав-приймальник; 2 – автоклав-джерело; 3 – лінія подачі відхідних газів; 4 – приймальна камера термопресора; 5 – розприскувач води; 6 – лінія подачі води; 7 – камера випаровування термопресора; 8 – дифузор термопресора; 9 – лінія подачі гострої пари; 10 – лінія перепуску відпрацьованої пари; 11 – лінія випуску в атмосферу

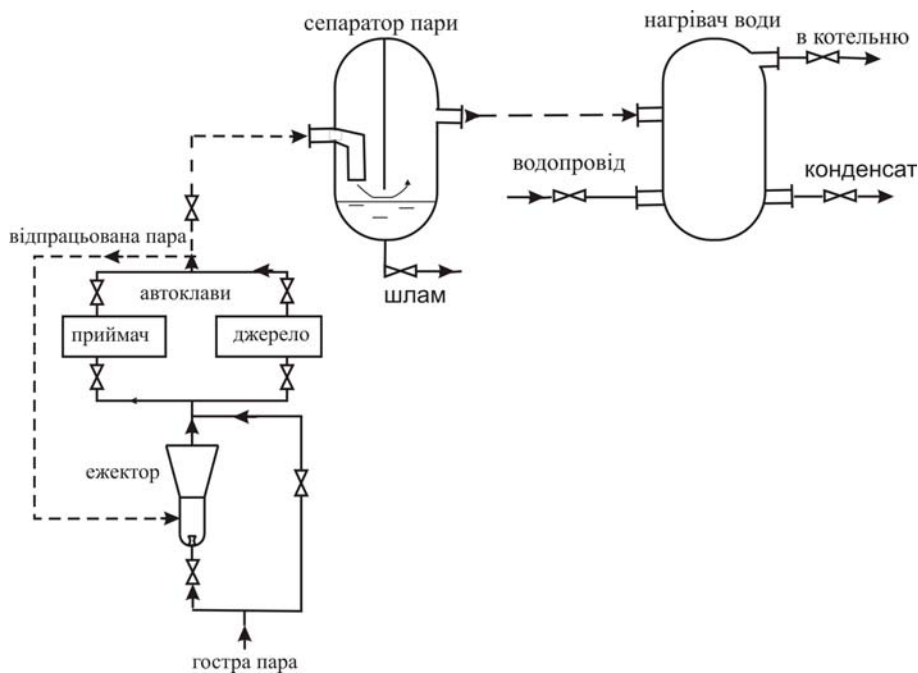
Рис. 2. Перепуск відпрацьованої пари за рахунок попереднього прогріву відхідними газами

Остаточне підвищення тиску газів здійснюють у дифузорі 8 струминного термопресора. Стиснені відхідні гази подають в автоклав-приймальник 1, нагріваючи завантажену в ньому сировину. Після закінчення процесу термообробки в автоклаві-джерелі 2 з нього випускають пару в нагрітій відхідними газами автоклав-приймальник 1, який відключають від лінії подачі відхідних газів 3 і випуску в атмосферу 11. Для цього автоклав-джерело 2 відключають від лінії подачі гострої пари 9 і підключають до лінії перепуску відпрацьованої пари 10. Відпрацьовану в автоклаві-джерелі 2 пару направляють в автоклав-приймальник 1 лінією перепуску відпрацьованої пари 10. Перепуск закінчують, коли тиск в автоклаві-приймальнику 1 підіймається до тиску в автоклаві-джерелі 2. Після цього автоклав-приймальник 1 відключають від лінії перепуску відпрацьованої

пари 10 і підключають до лінії подачі гострої пари 9. За рахунок високого тиску гострої пари підвищують тиск в автоклаві-приймальнику 1 до робочої величини (0,8...1,6 МПа в залежності від тиску в котельні), після чого проводять процес термічної обробки при робочому тиску.

Завдяки нагріву автоклава-приймальника відхідними газами, стисненими у процесі випаровування дрібнорозпиленої води, яку упорскують у потік відхідних газів, скорочуються витрати тепла з паром на нагрів автоклава-приймальника, і як результат – підвищується енергетична ефективність роботи автоклавної установки.

При третьому способі (рис. 3) перепуск відпрацьованої пари здійснюється шляхом її ежектування гострою паром до досягнення в автоклаві-джерелі тиску 0,2...0,3 МПа. Створюваний ежектором напір забезпечує перепуск навіть при від'ємному градієнті тиску,



Автоклавна установка працює таким чином. Після закінчення процесу термообробки в автоклаві-джерелі з нього випускають пару в автоклав-приймач, підготовлений для термообробки. Для цього автоклав-джерело відключають від лінії подачі гострої пари і відкривають лінію випуску відпрацьованої пари. Відпрацьована в автоклаві-джерелі пара підсмоктується з лінії випуску відпрацьованої пари до приймальної камери ежектора. Там вона змішується з гострою паром, яка підводиться до сопла ежектора від котельні. В соплі гостра пара прискорюється у процесі розширення від тиску в котельні до тиску відпрацьованої пари, підсмоктуючи відпрацьовану пару. Суміш відпрацьованої та гострої пари стискується в

дифузорі ежектора й направляється в автоклав-приймальник. Під час заповнення паром автоклава-приймальника його відключають від лінії випуску відпрацьованої пари.

Пару, що залишилась в автоклаві-джерелі, можна застосовувати для нагріву питної води котлів. Кількість цієї пари та її тепловий потенціал значно менші, ніж при звичайному перепуску.

Завдяки більш повному перепуску відпрацьованої пари з автоклава-джерела до автоклава-приймальника шляхом ежектування втрати тепла з відпрацьованою паром з автоклава-джерела в атмосферу зводяться до мінімуму, і як наслідок – енергетична ефективність установки підвищується.

Важливим напрямком скорочення шкідливих викидів на довкілля та використання енергетичних і матеріальних ресурсів у процесах термообробки будівельних матеріалів є використання інших джерел енергії. Так, в районах, що характеризуються інтенсивною сонячною радіацією, питомі витрати енергії на прискорення твердіння бетону можна знизити, використовуючи сонячну енергію [1, 10]. Можливі такі методи використання сонячної енергії: прямий нагрів бетонної суміші сонячною радіацією під покриттям із полімерних плівок, перетворення сонячної енергії в теплову в геліотехнічних установках тощо.

Практичний інтерес становлять низькопотенційні енергетичні установки – геліокамери, в яких шляхом перетворення сонячної енергії в теплову можна отримати температуру до 1000 °С [1]. Використання кліматичних факторів є важливим для зниження енергоємності виробництва збірного залізобетону, його собівартості та підвищення якості продукції [11].

4. Висновки

Рекуперация відпрацьованої пари як теплоносія забезпечує скорочення шкідливих викидів котельної на величину, пропорційну кількості рекуперованої пари, а також витрат

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 // Экологія 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. Радченко М.І, Сирота О.А., Щербак Ю.Г., Макарова О.В. Патент України №71358 А Автоклавна установка термообробки парою під тиском. – Бюлетень. – 2005. – №10.
7. Экономичные ямные камеры для тепловой обработки железобетонных изделий / Прокопович А., Русецкий А., Мовсиков М. – Пром. и жил.-гражд. стр.-во. – Сер. 3. Строит. индустрия: Реф. информ. / Минпромстрой СССР, ЦБНТИ, 1983. – Вып. 7. – С. 13-15.
8. Рекомендации по снижению расхода тепловой энергии в камерах для тепловлажностной обработки железобетонных изделий / ВНИИжелезобетон Минстройматериалов СССР. – М.: Стройиздат, 1984. – 56 с.
9. Малинина Л.А., Фоломеев А.А. Энергоемкость тяжелого бетона для сборных и монолитных конструкций. – М.: Всесоюзный научно-исследовательский институт информации по строительству и архитектуре, 1985. – 49 с. (Строительство и архитектура. – Сер. 8. Строительные конструкции. Обзорная информация. – 1985. – Вып. 1).
10. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1984. – 672 с.
11. Якубов В.А., Заседателев И.Б., Малийский Е.Н. Использование климатических факторов южных районов в производстве железобетонных изделий // Бетон и железобетон. – 1987. – №7. – С. 44-45.