

## ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОКЛАВНОЇ КАМЕРИ З РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИМ АЕРОДИНАМІЧНИМ НАГРІВАЧЕМ ДЛЯ ТЕПЛОВОЛОГІСНОЇ ОБРОБКИ БЕТОННИХ ВИРОБІВ

Вінницький національний технічний університет,

### *Анотація*

У даній роботі проведено дослідження автоклавної камери з рециркуляційним аеродинамічним нагрівачем, призначеної для тепловологісної обробки бетонних виробів. Оцінювання відомих установок і запропонованого устаткування з рециркуляційним аеродинамічним нагрівом для тепловологісної обробки бетонних і залізобетонних виробів за тривалістю циклу обробки та показниками їх енергетичної ефективності. Встановлено, що найбільш перспективним методом є автоклавна обробка за допомогою аеродинамічного устаткування рециркуляційного типу, дозволить підвищити якість бетонних виробів, зменшити витрати на енергопостачання та час тепловологісної обробки, що позитивно позначиться на продуктивності виробництва та конкурентоспроможності підприємства.

**Ключові слова:** автоклавна пропарювальна камера, тепловологісна обробка, математична модель, енергетична ефективність, бетонні та залізобетонні вироби.

### *Abstract*

This work studies an autoclave chamber with a recirculating aerodynamic heater designed for the heat and moisture treatment of concrete products. Evaluation of known installations and proposed equipment with recirculating aerodynamic heating for the heat and moisture treatment of concrete and reinforced concrete products by the duration of the treatment cycle and their energy efficiency indicators.

**Keywords:** energy performance, heat- and moist curing, curing chamber, concrete and reinforced concrete products, autoclave steaming camera thermal and humidity treatment, mathematical model, energy efficiency, concrete and reinforced concrete products.

**Мета дослідження:** Дослідити енергоефективну автоклавну камеру з рециркуляційним аеродинамічним нагрівачем для тепловологісної обробки бетонних виробів, яка забезпечує рівномірний розподіл тепла, зниження енергоспоживання та підвищення якості продукції.

### **Вступ**

Енергетична ефективність є одним із основних критеріїв технології виробництва будівельних виробів разом із такими показниками, як собівартість, трудомісткість, матеріаломісткість, а також питомі капіталовкладення. В зв'язку з цим, заходи із зниження енерговитрат при тепловій обробці будівельних виробів є досить актуальною задачею.

Тепловологісна обробка (ТВО) є одним з найпоширеніших методів прискореного твердіння бетону, поряд з використанням хімічних добавок і швидкотверднучих цементів. Теплові методи засновані на збільшенні швидкості реакцій взаємодії в'язучих речовин з водою при підвищенні температури. У виробництві бетонних і залізобетонних виробів і конструкцій ТВО є найбільш енергоємною і тривалою стадією.

При виготовленні будівельних виробів теплова обробка є одним з найбільш енергоємних етапів, при якій споживається близько 60% від загальної кількості енерговитрат. Теоретично на нагрів виробу із бетону і металоформ необхідно всього лише 10-15% теплової енергії, а решта, що витрачається за відомими технологіями, заплановані і незаплановані втрати, які досягають майже 50% від загальної кількості енерговитрат.

Сучасний стан устаткування підприємств з виготовлення будівельних виробів, зокрема із бетону,

потребує проведення подальшої реконструкції і модернізації виробництва з метою збільшення асортименту та якості, а також зниження собівартості продукції в умовах сучасного ринку. При цьому енергетична ефективність нових технологій та ефективна система управління процесом повинні бути одними з головних критеріїв їх вибору.

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.

Лева 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.

Завдяки підбору і оптимізації основних параметрів технологічного процесу та його окремих операцій забезпечується зменшення енерговитрат.

Автоклави енергоефективні завдяки герметичній замкнутій системі, яка дозволяє досягати високих температур (вище 100° С) під тиском, що прискорює процес. Крім того, універсальні моделі пропонують вибір джерела нагріву (газ або електрика), що дозволяє зменшити витрати, мінімізуючи людське втручання та втрати енергії.

**Суть дослідження:** Враховуючи актуальність проблеми, розроблено автоклавну установку для ТВО бетонних виробів з інноваційним рециркуляційним аеродинамічним нагрівачем. Принцип дії аеродинамічного нагрівача роторного типу, полягає в тому, що в результаті рециркуляції повітряного потоку і виникають аеродинамічні втрати тиску в роторному колесі, яке спричиняє нагрів повітряного середовища всередині робочої камери. Потік гарячого повітря, що рециркулює в робочій камері, передає тепло конструктивним елементам робочої камери і рівномірно розігріває бетонні вироби, що розташовані в ній. Необхідний надлишковий тиск у повітряному середовищі в теплоізолюваному корпусі створюється компресором з пневморесивером. Коли всередині бетонних виробів при нагріванні відбуватимуться процеси хімічної чи фізичної модифікації матеріалів, що пов'язані із поглинанням вологи (процеси гідратації цементу у бетонних виробках), то для забезпечення необхідного тепловологісного балансу в повітряному середовищі робочої камери необхідно додатково подавати воду. Для цього над аеродинамічним нагрівачем роторного типу відбувається розбризкування води через форсунки. Вода під дією високої температури перетворюється в пару, яка разом із теплим повітрям рециркулює всередині робочої камери, створюючи відповідне за тиском і температурою пароповітряне середовище, що здійснює подальше нагрівання і зволоження поверхні та внутрішнього об'єму виробу.

Здійснено перевірку адекватності запропонованих моделей на підставі отриманих експериментальних даних. Аналітично та експериментально встановлено взаємозв'язок між температурою, яка створюється всередині робочої камери пропарювальної автоклавної установки та її робочими, конструктивними параметрами і характеристиками, а саме: об'ємом робочої камери, геометричними розмірами нагрівача роторного типу, частоти обертання ротора. Результати експериментальних досліджень підтверджують перетворення кінетичної енергії потоку повітряного середовища в теплову енергію. Внаслідок гальмування швидкості потоку зменшується його кінетична енергія, але вона не зникає, а перетворюється в теплоту, при цьому, загальний запас енергії залишається постійним у відповідності з першим законом термодинаміки.

### **Висновок**

Інвестиції в енергоефективні автоклави – це не лише екологічно відповідальне рішення, а й розумна фінансова стратегія. Зниження енерговитрат та експлуатаційних витрат, покращення якості продукції та скорочення відходів допомагають підприємствам залишатися конкурентоспроможними на ринку з високою чутливістю до витрат.

В результаті проведених досліджень запропоновано ефективні режими та раціональне конструктивне виконання запропонованої пропарювальної автоклавної установки із рециркуляційним аеродинамічним нагрівачем для тепловологісної обробки бетонних і залізобетонних виробів. Вона має суттєві технічні переваги у порівнянні із відомим серійним обладнанням.

### Інформаційна база дослідження

1. Науково-технічна бібліотека України ім. Вернадського (<https://www.nbu.gov.ua/>)
2. Науково-технічна бібліотека Вінницького національного технічного університету (<https://lib.vntu.edu.ua/>)
3. Електронна бібліотека Національного університету "Львівська політехніка" (<http://ena.lp.edu.ua/>)
4. Інформаційно-аналітична система "Державний стандарт України" (<http://online.budstandart.com/>)
5. Система "Український науковий журнал" (<http://www.nbu.gov.ua/e-journals/>)
6. Електронна бібліотека Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" (<http://ela.kpi.ua/>)
7. База даних Scopus - це міжнародна наукова база даних, яка містить більше 22 тисяч наукових журналів, конференційних матеріалів та книг з різних галузей знань, включаючи енергетику та екологію. У базі можна знайти статті, присвячені технологіям автоклавної тепловологісної обробки будівельних бетонних виробів.
8. База даних Web of Science - це ще одна міжнародна наукова база даних, яка містить більше 33 тисяч наукових журналів, конференційних матеріалів та книг з різних галузей знань. У базі можна знайти статті, присвячені технологіям піролізу та переробці деревних відходів.
9. База даних SpringerLink - це наукова база даних, яка містить більше 2 мільйонів наукових статей, книг та конференційних матеріалів з різних галузей знань. У базі можна знайти статті, присвячені технологіям піролізу та переробці деревних відходів.
10. База даних ScienceDirect - це наукова база даних, яка містить більше 16 мільйонів наукових статей, книг та конференційних матеріалів з різних галузей знань. У базі можна знайти статті, присвячені технологіям піролізу та переробці деревних відходів.
11. Budstandart (<http://online.budstandart.com/>)
12. БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України
13. Інтернет-сервіс по роботі з нормативними документами в галузі проектування, будівництва, охорони праці, пожежної безпеки тощо.

Ці інформаційні бази містять наукові статті, технічні звіти, нормативні документи та інші матеріали, що стосуються автоклавної тепловологісної обробки бетонних виробів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Барановський В. Б. Будівельне матеріалознавство /– К. : ЕксОб, 2004. – 704 с. – ISBN 966-7769-35-6.
2. Kalousek G. L. The reactions of cement hidration of elevated temperatures /G. L. Kalousek. // Proc. 3d Intern. Svmp, Chem, Cem.-London, 1952. – P. 334–355.
3. Steln H. N. Loc mecanisme de L'hudration du ileate tricdeigw/ H. N. Steln, L. M. Stevels. // Silikatesindustr. – 1967. – No. 10. – P. 32–34.
4. Швець В. В., Дудар І. Н. Термосиловий вплив, як метод управління структуроутворенням при твердненні бетону / Науковий вісник будівництва. – Харків. : ХДТУБА, 2001. – Вип. 14. – С. 140–143. ISBN 5-274-00381-8
5. Патент UA 18723. МПК B01J 3/04. Автоклавна установка тепловологісної обробки / О. П. Сліпенька, С. Б. Сторожук, І. В. Коц. - № u 200605904; Заявлено 29.05.2006; Опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.
6. Сліпенька О. П., Коц І. В. Аналітичне дослідження автоклавних установок із аеродинамічним нагрівом / Вісник Хмельницького національного університету, 2006. – № 5. – С. 93 – 98.
7. Патент 6545 UA. МПК F26B 3/06 Спосіб сушіння рослинної та іншої сировини / І. В. Коц, Л. В. Скородзієвська. - № 20040907844; Заявлено 27.09.2004; Опубл. 16.05.2005, Бюл. № 5.
8. Патент 10712 UA. МПК F26B 3/06 Спосіб сушіння рослинної сировини / І. В. Коц, І. Г. Мельник. - № 94086490; Заявлено 04.08.1996; Бюл. № 4.

9. Патент 35967. МПК F26B 3/00 Установка для сушіння сировини / І. В. Коц, К. В. Бауман. - № u200805829; Заявлено 05.05.2008; Опубл. 10.10.2008, Бюл. № 19.
10. Колісник О. П. Термоопалубка для теплової обробки бетонних виробів / Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. Збірник наукових праць – Львів: Каменяр.– 2009. – Випуск 8. – С. 458 – 465. ISBN 978-966-607-099-2
11. Колісник О. П. Процеси тепломасобміну при тепловій обробці бетонних виробів / Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2008. – № 38. – С. 82–87.
12. Колісник О. П. Математична модель тепловологісної обробки бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагріву. / О. П. Колісник // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2009. - №45 – С. 16 – ISBN 966-593-286-1
13. Сліпенька О. П. Енергозбереження при автоклавному обробленні будівельних виробів / О. П. Сліпенька. // Вісник ВПІ. – 2007. – № 4. – С. 24–27.
14. Колісник О. П. Перспективи використання автоклавної обробки будівельних виробів / Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : наук.-техн. зб. – 2007. – № 4. – С. 75–78.
15. Колісник О. П., І. В. Коц. Обґрунтування генерації теплової енергії в установках із аеродинамічним нагрівом / Науково-технічний збірник "Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві" – 2008. – № 1. – С. 138 – 143.
16. Завод "ПромГазАпарат". Теплогенератори КРОН [Електронний ресурс]: – Режим доступу: [http://www.pga.com.ua/kron\\_ua.html](http://www.pga.com.ua/kron_ua.html).
17. Посібник до ДБН А.3.1-7-96. Виробництво бетонних та залізобетонних виробів. – Київ: Держкоммістобудування України. 1998. – 141с.
18. ДБН А.3.1-7-96. Виробництво бетонних та залізобетонних виробів. – Київ: Держкоммістобудування України. 1997. – 54с.
19. ДБН А.3.1-8-96. Проектування підприємств з виробництва залізобетонних виробів. – Київ: Укрархбудінформ. 1998. – 47с.
20. Колісник О. П., Коц І.В. Управління процесом тепловологісної обробки будівельних

**Слободянюк Сергій Анатолійович** – аспірант, кафедра інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, E-mail: [sergford90@gmail.com](mailto:sergford90@gmail.com);

**Коц Іван Васильович** – кандидат технічних наук, професор кафедри інженерних систем у будівництві, завідувач і науковий керівник НДЛ гідродинаміки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: [ivan.kots.2014@gmail.com](mailto:ivan.kots.2014@gmail.com)

**Slobodyanyuk Serhii A.** – PhD student, Department of Engineering Systems in Construction, Vinnytsia National Technical University, E-mail: [sergford90@gmail.com](mailto:sergford90@gmail.com);

**Kots Ivan V.** – Ph.D., Professor, Head of the Department of Engineering Systems in Construction, Head and Research Manager of the Research Laboratory of Hydrodynamics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [ivan.kots.2014@gmail.com](mailto:ivan.kots.2014@gmail.com)