

## ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОКЛАВНОЇ КАМЕРИ З АЕРОДИНАМІЧНИМ НАГРІВАЧЕМ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНОГО ТИПУ ДЛЯ ТЕПЛОВОЛОГОЇ ОБРОБКИ БЕТОННИХ ВИРОБІВ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Виконане порівнювальне оцінювання відомих установок і запропонованого устаткування з рециркуляційним аеродинамічним нагрівом для тепловології обробки бетонних і залізобетонних виробів за тривалістю циклу обробки та показниками їх енергетичної ефективності. Показані результати математичного моделювання на підставі складання рівнянь теплового балансу для пропарювальної автоклавної камери та встановлені напрямки підвищення її енергетичної ефективності.*

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

### Abstract

*A comparative evaluation of the known installations and the proposed equipment with recirculating aerodynamic heating for heat and moisture treatment of concrete and reinforced concrete products by the duration of the treatment cycle and their energy efficiency. The results of mathematical modeling based on the compilation of heat balance equations for the steaming autoclave chamber and the directions of increasing its energy efficiency are shown.*

**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.

### Вступ

Одним з найпоширеніших методів прискореного твердіння бетону є тепловологісна обробка (ТВО) 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 та залізобетонних виробів і конструкцій ТВО є найбільш енергоємною і тривалою стадією [1, 2].

При виготовленні будівельних виробів тепла 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 [1, 2].

В НДІ гідродинаміки ВНТУ розроблена пропарювальна автоклавна установка для тепловологісної обробки бетонних виробів з рециркуляційним аеродинамічним нагрівом [3,4]. 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 теплоізольованому 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 розбрикування 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. В разі потреби дотримання необхідного за технологічними вимогами тепловологісного режиму процеси подачі води періодично повторюються.

Як відомо, режими обробки бетонів в пропарювальних камерах призначаються за нормативними рекомендаціями з обов'язковою експериментальною перевіркою та уточненнями, а методики розрахунку режимів, що виключають експеримент, відсутні. Нами проведено математичне моделювання процесу тепловологісної обробки бетонних виробів. При цьому розглядається пропарювальна камера як складна система, в якій її складові частини взаємодіють між собою: пароповітряний об'єм, вироби, форми виробів, корпус камери. При створенні математичної моделі динаміки робочого процесу тепловологісної обробки будівельних виробів в пропарювальній камері із аеродинамічним нагрівом було прийнято наступні припущення [2]: пароповітряний об'єм камери є об'єктом із зосередженими параметрами; термічний опір, який створює плівка конденсату при конденсації пари нескінченно малий порівняно з опором дифузійного шару пароповітряної суміші, наявність плівки конденсату та її товщина не впливає на процеси тепломасообміну; тепло у виробі поширюється в основному за рахунок теплопровідності, причому, кількість теплоти, яка віддається нагрітими тілами стікаючому конденсату, є нескінченно малою порівняно з теплом, яке віддається пароповітряним середовищем; виріб – однорідне та капілярно-пористе тіло: арматура і грубодисперсні заповнювачі не впливають на розповсюдження тепла за просторовими координатами; деформація об'єму виробу, що пов'язана зі зміною температури, є досить незначною в порівнянні з вихідним об'ємом; закономірності процесу розповсюдження тепла є однаковими для всіх виробів: бетонний виріб являє собою необмежену пластину, тобто товщина виробу значно менша двох інших розмірів (довжини та ширини). Розроблено математичну модель процесів тепло- і масообміну, що протікають в бетонних виробі при їх ТВО в пропарювальних автоклавних камерах в пароповітряній середовищі [3]. Для встановлення напруженого стану, який виникатиме у бетонному виробі окремо розглянута також математична модель напруженого стану бетонного виробу в процесі його тепловологісної обробки в пропарювальній камері у пароповітряному середовищі, яка відрізняється від відомих особливостями передачі теплової енергії та зміни вологовмісту в робочих камерах запропонованого типу, що надає можливість встановити раціональні режими зміни сумарних напружень у виробі, які сприятимуть оптимальному проходженню процесу гідратації та тужавіння суміші. Запропоновані алгоритми числового розв'язання методом скінчених різниць математичних моделей процесів тепло- і масообміну та напруженого стану у бетонних виробі. 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**

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, як такою, що має суттєві технічні переваги у порівнянні із відомим серійним обладнанням. На підставі проведеного математичного моделювання розроблено науково обґрунтовану методику для проектування пропарювальних автоклавних установок різних типорозмірів з відповідними технологічними параметрами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сліпенька О.П. Аналітичне дослідження автоклавних установок із аеродинамічним нагрівом / О.П. Сліпенька, І.В. Коц // Вісник Хмельницького національного університету, 2006. – № 5. – С. 93 – 98.
2. Коц І.В. Тепловологісна обробка бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагрівання: монографія / І.В. Коц, О. П. Колісник. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 114 с.
3. Патент на корисну модель № 40453. МПК С04В 40/00. Пропарювальна камера/ Колісник О. П., Коц І. В.; заявник та власник патенту Вінницький національний технічний університет. - № u200812905; Заявлено 05.11.2008; Опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.
4. Патент на корисну модель № 40455. МПК С04В 40/00. Спосіб тепловологісної обробки будівельних виробів/ Колісник О. П., Коц І. В.; заявник та власник патенту Вінницький національний технічний університет -№ u200812911; Заявлено 05.11.2008; Опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.

**Слободянюк Сергій Анатолійович** – аспірант кафедри інженерних систем у будівництві, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: sergford90@gmail.com

**Коц Іван Васильович**, кандидат технічних наук, професор кафедри інженерних систем у будівництві, Факультет цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: jvan.kots.2014@gmail.com

**Slobodyanyuk Serhii A.** – post graduate student, Department of Engineering Systems in Construction, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia city, E-mail: sergford90@gmail.com

**Kots Ivan V.**, PhD, professor of of the Department of Engineering Systems in Construction, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia city, email: ivan.kots.2014@gmail.com