УДК 666.97.035.56

Коц І.В.[1],
Гамеляк І.П.[1],
Слободянюк С.А.[1]

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

\
[1]Вінницький національний технічний університет,
[2]Національний транспортний університет

Анотація

У даній роботі проведено дослідження автоклавної камери з рециркуляційним аеродинамічним нагрівачем, призначеної для тепловологісної обробки бетонних виробів. Актуальність теми обумовлена необхідністю підвищення якості та міцності бетону шляхом оптимізації процесів його затвердіння в умовах контролю температури та вологості. В рамках дослідження були розглянуті принципи роботи автоклавної камери, її конструктивні особливості та технологічні параметри, що впливають на ефективність обробки. Особлива увага приділена аналізу рециркуляційного аеродинамічного нагрівача, який забезпечує рівномірний розподіл тепла та вологи в камері, що є критично важливим для досягнення однорідності властивостей бетону.Експериментальна частина роботи включала серію випробувань, які дозволили оцінити вплив різних режимів роботи нагрівача на кінцеві характеристики бетонних виробів. Результати показали значне покращення механічних властивостей бетону при використанні запропонованої системи обробки. Отримані дані можуть бути використані для вдосконалення технологічних процесів у виробництві бетонних виробів, а також для подальших наукових досліджень у галузі матеріалознавства та будівельної інженерії.

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

Abstract

This study examines an autoclave chamber with a recirculation aerodynamic heater designed for the thermal-moisture treatment of concrete products. The relevance of this topic stems from the need to improve the quality and strength of concrete by optimizing its curing processes under controlled temperature and humidity conditions. The research focused on the operating principles of the autoclave chamber, its structural features, and the technological parameters affecting processing efficiency. Special attention was given to analyzing the recirculation aerodynamic heater, which ensures uniform heat and moisture distribution within the chamber—critical for achieving homogeneity in concrete properties. The experimental part of the work included a series of tests assessing the impact of different operating modes of the heater on the final characteristics of concrete products. Results showed a significant improvement in the mechanical properties of concrete when using the proposed treatment system. The obtained data can be used to enhance technological processes in concrete production and for further scientific research in materials science and construction engineering.

Keywords: autoclave steam chamber, recirculation aerodynamic heater, thermal-moisture 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'яжучих речовин з водою при підвищенні температури. У виробництві бетонних та залізобетонних виробів і конструкцій ТВО є найбільшенергоємною 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.

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

Суть дослідження. Враховуючи актуальність проблеми, спільно ВНТУ та НТУ 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 аеродинамічних 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 виробах), 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. 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: 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 виробах 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 вироби значно менша двох інших розмірів (довжини та ширини). Розроблено математичну модель процесів тепло- і масообміну, що протікають в бетонних виробах при їх ТВО в пропарювальних автоклавних камерах в пароповітряної середовищі. 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 виробах, 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 виробах. 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сліпенька О.П., Коц І.В Аналітичне дослідження автоклавних установок із аеродинамічним нагрівом. Вісник Хмельницького національного університету, 2006. № 5. С. 93 – 98.
2. Коц І.В. , Колісник О.П. Тепловологісна обробка бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагрівання : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2013. 114 с.
3. Патент на корисну модель № 40453. МПК С04В 40/00. Пропарювальна камера, Авт.: 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. Авт.: 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.

Коц Іван Васильович **–** *кандидат технічних наук, професор* кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, завідувач науково-дослідної лабораторії гідродинаміки ВНТУ, м. Вінниця. E-mail: *ivan.kots.2014@gmail.com*
Гамеляк Ігор Павлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри системного проєктування об'єктів транспортної інфраструктури та геодезії Національного транспортного університету (м. Київ), E-mail: *gip65n@gmail.com*
Слободянюк Сергій Анатолійович – аспірант кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця. E-mail: *sergford90@gmail.com*

Kots Ivan V. – PhD of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering Systems in Construction of Vinnytsia National Technical University, Head of the Research Laboratory of Hydrodynamics of VNTU, Vinnytsia E-mail: ivan.kots.2014@gmail.com
Gameliak Igor P.– Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of System Design of Transport Infrastructure Facilities and Geodesy of the National Transport University (Kyiv), E-mail: *gip65n@gmail.com*
Slobodianyuk Serhiy A. – Postgraduate Student of the Department of Engineering Systems in Construction of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. E-mail: *sergford90@gmail.com*