

Кугаєвська Т. С.



Сопов В. П.



Шульгін В. В.

**Кугаєвська Т. С.**, кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики, Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, ☎ +38 099-141-82-34; ✉ strelanebo@ukr.net

**Сопов В. П.**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри фізико-хімічної механіки та технології будівельних матеріалів і виробів, Харківський національний університет будівництва та архітектури, ☎ +38066-631-97-72; ✉ vsopov@ukr.net

**Шульгін В. В.**, кандидат технічних наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів, Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, ☎ +38 093-415-23-15; ✉ shwlad17@gmail.com

**T. Kugaevska**, Cand. Sci. (Tech), Associate Professor of the department of heat and gas supply, ventilation and heat engineering, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, ☎ +38 099-141-82-34; ✉ strelanebo@ukr.net

**V. Sopov**, Dr Sci. (Tech), Professor, Head of Department of physical-chemical mechanics and technology of building materials and products,

☎ +38066-631-97-72; ✉ vsopov@ukr.net

**V. Shulgin**, Cand. Sci. (Tech), Associate Professor of technology, of building structures, products and materials, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, ☎ +38 093-415-23-15; ✉ shwlad17@gmail.com

## ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТЕПЛОЇ ОБРОБКИ ПЛИТ БЕТОННИХ ТРОТУАРНИХ

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ ПЛИТ БЕТОННЫХ ТРОТУАРНЫХ

#### SOLAR ENERGY EFFICIENCY FOR THERMAL PROCESSING OF TILES OF CONCRETE

**Анотація.** Здійснено теплову обробку гідроізольованих плит бетонних тротуарних та гідроізольованих бетонних кубів з використанням теплоти гідратації цементу та повітря, нагрітого в колекторі сонячної енергії власної конструкції. Зазначено, що: під час проведення першого досліду нагріте в колекторі сонячної енергії повітря циркулювало в установці 2 год, а під час проведення другого досліду – 3 год, надалі відбувалося термосне твердіння бетону; загальна тривалість твердіння бетону в камері – 24 год. Установлено співвідношення між міцністю бетону на стиск, твердіння якого впродовж першої доби відбувалося в тепловій камері (потім – у повітряних умовах), та міцністю бетону на стиск при його твердінні тільки в повітряних умовах (у віці 1, 3, 7, 14 та 28 діб).

**Ключові слова:** тепла обробка, бетон, колектор сонячної енергії, теплота гідратації цементу.

**Анотация.** Осуществлено тепловую обработку гидроизолированных плит бетонных тротуарных и гидроизолированных бетонных кубов с использованием теплоты гидратации цемента и воздуха, нагретого в коллекторе солнечной энергии собственной конструкции. Указано, что: во время проведения первого исследования нагретый в коллекторе воздух циркулировал в установке 2 часа, а во время проведения второго исследования – 3 часа, потом происходило термосное твердение бетона; общая продолжительность твердения бетона в камере – 24 часа. Установлено соотношение между прочностью на сжатие бетона, твердение которого происходило первые сутки в тепловой камере (потом – в воздушных условиях), и прочностью на сжатие бетона при его твердении только в воздушных условиях (в возрасте 1, 3, 7, 14 и 28 суток).

**Ключевые слова:** тепловая обработка, бетон, солнечная энергия, теплота гидратации цемента.

**Annotation.** Heat treatment of waterproof tiles of concrete pavement and concrete cubes with the use of air heated in a solar collector of own design and heat of hydration of cement has been carried out. It is noted that: during the first experiment heated in the collector of solar energy, the air circulated in the installation for 2 hours, while during the second experiment – 3 hours, further thermosetting of concrete was carried out; total duration of concrete hardening in the chamber – 24 hours. The relationship between the strength of concrete on compression, the hardening of which occurred during the first day in a thermal chamber (then – in air conditions), and the strength of concrete on compression during hardening only in air conditions (at the age of 1, 3, 7, 14 and 28 days).

**Keywords:** heat treatment, concrete, solar energy, heat of hydration of cement.

#### Вступ

Тепловологісна та тепла обробка бетонних і залізобетонних виробів є енергомістким процесом. Використання сонячної енергії для прискорення твердіння цих виробів надає можливість заощаджувати відповідні енергоресурси.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** За майже столітній період пропонуються різні способи геліотермообробки бетонних і залізобетонних виробів [1–13].

Одним із розповсюджених способів використання сонячної енергії при тепловій обробці бетону є використання світлопрозорих покриттів [1, 2, 4, 8].

І. Б. Засідателевим і Н. Т. Даужановим показано [2, 4], що застосування м'яких режимів підйому температури тверднучого в геліоформах бетону призводить до значного зменшення градієнтів температури по перерізу виробу, що покращує структуру бетону.

Процес надходження сонячної енергії – нестационарний. Цей фактор обумовив створення низки комбінованих способів геліотермообробки бетонних і залізобетонних виробів [1–13].

Так, у патенті [11] Л. Б. Аруовою із співавторами показано схему установки (до складу якої входить геліокамера), призначеної для цілорічної комбінованої теплової обробки конструкцій і виробів з різних видів бетонів. У хмарні дні та в зимовий період року передбачено їх електрообігрівання ТЕНами.

Особливості геліотермообробки бетонних і залізобетонних виробів з проміжним теплоносієм в умовах закритих цехів

(із застосуванням дублюючого джерела теплоти) відображено, зокрема, в книгах [4, 12].

І.В. Коц, І.Н. Дудар та О.П. Колісник запропонували за сприятливих погодних умов нагрівати в сонячному колекторі воду і використовувати її в установці з аеродинамічним нагрівачем роторного типу для теплової обробки бетонних і залізобетонних виробів [9]. В.Л. Гарнага і С.В. Яківчук у патенті [10] відображають пакетну установку для термосилової обробки бетонних і залізобетонних виробів, у якій використовується сонячна енергія як додаткове джерело теплоти.

У роботах [5–7] показано спосіб теплової обробки гідроізольованих бетонних і залізобетонних виробів з використанням теплоти гідратації цементу та повітря, нагрітого в колекторі сонячної енергії або в повітронегрівачі.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** У публікаціях [5–7] наведено результати експериментальних досліджень кінетики набору міцності бетоном при тепловій обробці нагрітим повітрям гідроізольованих тротуарних плит і гідроізольованих зразків 10×10×10 см.

Визначення міцності бетону згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [14] потрібно здійснювати з використанням контрольних зразків. Але міцність бетону плит і зразків при досліджуваному способі їх теплової обробки може відрізнятись, оскільки є різними: модулі поверхонь плит і зразків; маса форм плит і зразків; теплофізичні властивості матеріалів цих форм і т. ін.

### Постановка завдання

Мета досліджень:

- здійснити одночасно теплову обробку гідроізолюваних плит бетонних тротуарних та гідроізолюваних бетонних кубів у виробничо-лабораторній установці з використанням повітря, нагрітого в колекторі сонячної енергії;
- встановити співвідношення між міцністю на стиск бетону, твердіння якого впродовж першої доби відбувалося в теплій камері (потім – у повітряних умовах), та міцністю на стиск бетону, твердіння якого відбувалося тільки в повітряних умовах, у віці 1, 3, 7, 14 та 28 діб.

### Основний матеріал і результати

Досліджується теплова обробка гідроізолюваних плит бетонних тротуарних та гідроізолюваних бетонних кубів з використанням повітря, нагрітого в плоскому колекторі сонячної енергії власної конструкції.

### Матеріали та методи дослідження

Послідовність проведення теплової обробки плит і кубів з використанням нагрітого повітря наступна:

1. Формуються плити і куби та завантажуються в теплову камеру, яка є складовою частиною виробничо-лабораторної установки (рис. 1).

Під час завантаження камери здійснюється гідроізоляція плит і кубів та розміщення датчиків температури. Для гідроізоляції плит використано поліетиленову плівку, а для гідроізоляції кубів застосовано кришки (рис. 2).

2. Після закриття камери кришкою включається вентилятор.

Теплоносій (тепле повітря) циркулює в замкнутому контурі установки: нагрівається в колекторі сонячної енергії, потім надходить до камери, де віддає певну частину теплоти бетону, і знову потрапляє до колектора.



Рис. 1. Виробничо-лабораторна установка



Рис. 2. Гідроізоляція плит і кубів

3. Після запланованої тривалості теплової обробки бетону нагрітим повітрям відбувається його термосне твердіння.

Теплова обробка плит і кубів за допомогою нагрітого повітря у відображених дослідах здійснювалася 2 год та 3 год.

Тривалість твердіння плит і кубів у камері – одна доба.

У камері на полицях було розміщено 24 плити (20×10×4 см) і 16 кубів (10×10×10 см). Форми для виготовлення кубів – спарені: в одній формі – два куба.

Вимірювання температур здійснено за допомогою термодатчиків. Також у дослідженнях використано тепловізор «Testo 875-2i».

Склад бетону: 1:1,85:3,45; Ц = 349,1 кг/м<sup>3</sup>; П = 646,8 кг/м<sup>3</sup>; Щ = 1205,3 кг/м<sup>3</sup>; В/Ц = 0,5. У складі бетону – комплексна добавка (суперпластифікатор + прискорювач твердіння). Дозування добавки прийнято з урахуванням рекомендацій виробника: 1 л добавки на 100 кг цементу. Використано портландцемент ПЦ І-500-Н (ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [15]) виробник – АО «Євроцемент-Україна» (місто Балаклія Харківської області).

### Результати досліджень

#### Дослід 1 (тривалість теплової обробки плит і кубів нагрітим повітрям – 2 год).

За допомогою датчиків температури з'ясовано, що: середня початкова температура бетону сформованих плит і кубів дорівнювала 18,8 °С; середня температура бетону плит і кубів після припинення подачі повітря в камеру становила 30,9 °С, а через 24 год знаходження в камері дорівнювала 26,7 °С.

На рис. 3 відображено розподіл температури на поверхні колектора сонячної енергії (визначений за допомогою тепловізора) до початку проведення дослідів.

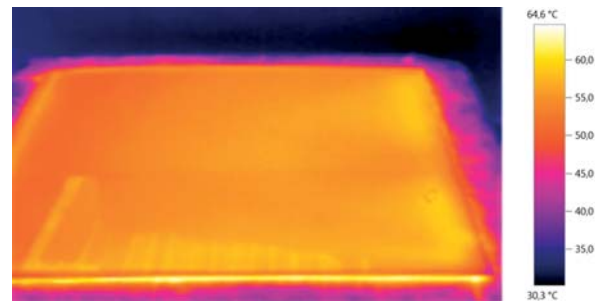


Рис. 3. Розподіл температури на поверхні колектора сонячної енергії до початку теплової обробки плит і кубів

На рис. 4 показано співвідношення між міцністю на стиск бетону, твердіння якого першу добу відбувалося в теплій камері (потім – у повітряних умовах), та міцністю на стиск бетону, твердіння якого відбувалося в повітряних умовах.

Співвідношення між міцністю на стиск бетону плит, твердіння яких відбувалося першу добу в теплій камері (потім – у повітряних умовах), та міцністю на стиск бетону плит, твердіння яких відбувалося в повітряних умовах:

- у віці 1 доби більше, ніж аналогічне співвідношення для кубів, на 1,2%; у віці 3 діб – на 2,9%;
- у віці 7 діб – на 2,5%; у віці 14 діб – на 0,9%; у віці 28 діб не відрізняється від аналогічного співвідношення для кубів

#### Дослід 2 (тривалість теплової обробки плит і кубів нагрітим повітрям – 3 год).

За допомогою датчиків температури з'ясовано, що: середня початкова температура бетону плит і кубів дорівнювала 18,4 °С; середня температура бетону плит і кубів після припинення подачі в камеру нагрітого повітря становила 34,8 °С, а через 24 год знаходження в камері дорівнювала 28,2 °С.



Рис. 4. Співвідношення між міцністю бетону на стиск при його твердінні із застосуванням теплової обробки та без теплової обробки (дослід 1): 1 – для плит; 2 – для кубів



Рис. 5. Співвідношення між міцністю бетону на стиск при його твердінні із застосуванням теплової обробки та без теплової обробки (дослід 2): 1 – для плит; 2 – для кубів

На рис. 5 показано співвідношення між міцністю на стиск бетону, твердіння якого першу добу відбувалося в тепловій камері (потім – у повітряних умовах), та міцністю на стиск бетону, твердіння якого відбувалося в повітряних умовах.

Співвідношення між міцністю на стиск бетону плит, твердіння яких відбувалося першу добу в тепловій камері (потім – у повітряних умовах), та міцністю на стиск бетону плит, твердіння яких відбувалося в повітряних умовах: після розпалублення більше, ніж аналогічне співвідношення для кубів, на 0,9 %; у віці 3 дб – більше на 3,1 %; у віці 7 дб – більше на 3,0 %; у віці 14 дб – більше на 0,8 %; у віці 28 дб – більше на 0,9 %.

## Обговорення результатів досліджень

1. Температура бетону наприкінці загального терміну твердіння в камері (24 год) у досліді 1 і 2 перевищувала температуру зовнішнього повітря, що пояснюється наявністю теплоти гідратації цементу. Крім того, слід враховувати, що: на частину конструкцій камери потрапляла сонячна енергія; температура зовнішнього повітря під час термосного твердіння бетону в досліді 1 була нижчою, ніж в досліді 2 (хоча початкова температура бетону в досліді 1 вища, ніж в досліді 2). Указані фактори є складовою низки факторів, які відповідним чином впливають на теплообмінні процеси, котрі обумовлюють температуру бетону.

Підвищена температура тверднучого в камері бетону зумовлює інтенсифікацію гідратації цементу.

2. Оскільки у проведених експериментах співвідношення між міцністю на стиск бетону плит, твердіння яких відбувалося з використанням теплової обробки та без теплової обробки, не менше, ніж аналогічне співвідношення для контрольних зразків у визначені терміни, то можна зробити висновок: вплив досліджуваного способу теплової обробки на інтенсивність твердіння бетону плит не менший, ніж аналогічний вплив для бетону зразків.

## Висновки

1. Установлено для досліджуваних умов, що тепла обробка гідроізолюваних плит бетонних тротуарних та гідроізолюваних контрольних зразків з використанням теплоти гідратації цементу та повітря, нагрітого в колекторі сонячної енергії, призводить до інтенсифікації процесу твердіння бетону в ранньому віці.

2. Потрібно накопичувати експериментальні дані і розробляти рекомендації стосовно оцінювання співвідношення між інтенсивністю твердіння бетонних виробів і контрольних зразків при вказаному способі теплової обробки.

3. Необхідно досліджувати інтенсивність набору міцності бетоном різного складу при його тепловій обробці з використанням теплоти гідратації цементу та повітря, нагрітого в колекторі сонячної енергії або в повітрянагрівачі, для менших (ніж у відображених досліді) термінів його твердіння в камері.

## Література:

1. Даужанов Н. Т. Гелиополигоны для производства изделий из пенобетона [Текст] / Н. Т. Даужанов, Б. А. Крылов, Л. Б. Аруова // Вестник МГСУ. – М.: НИУ МГСУ, 2014. – № 4. – С. 79-86.
2. Даужанов Н. Т. Тепло и массообмен при различных технологиях гелиотермообработки железобетона / Н. Т. Даужанов, Л. Б. Аруова. – Вестник МГСУ. – М.: НИУ МГСУ, 2011. – № 4. – С.288-292.
3. Дудар І. Н. Використання сонячної енергії для термосилової обробки бетону [Текст] / І. Н. Дудар, В. Л. Гарнага, С. В. Яківчук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – Том 16, № 1. – С. 48-52.
4. Заседателев И. Б. Гелиотермообработка сборного железобетона [Текст] / И. Б. Заседателев, Е. Н. Малинский, Е. С. Темкин. – М.: Стройиздат, 1990. – 312с.
5. Кугаєвська Т. С. Комбіновані способи геліотермообробки бетонних виробів: монографія [Текст] / Т. С. Кугаєвська. – Полтава: ПолтНТУ, 2017. – 308 с. Електронний ресурс: <http://reposit.pntu.edu.ua/handle/PolntNTU/1494>.
6. Кугаєвська Т. С. Метод дослідження процесів теплової обробки бетонних виробів нагрітим повітрям [Текст] / Т. С. Кугаєвська, В. В. Шульгін, В. П. Сопов // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2016. – Вип. 2 (84). – С.245 – 249.
7. Kugaevska T.S. Development of methodology forecasting of intensity solidification concrete products in the alternative methods of heat treatment / T.S. Kugaevska [Text] // Energy, energy saving and rational nature use. – Oradea, Romania: Oradea University Press, 2015. – P. 4-52. – Електронний ресурс: <http://reposit.pntu.edu.ua/handle/PolntNTU/1536>.

8. Nadiradze A. Usage of solar energy in the production of concrete and iron concrete [Electronic resource. Text] / Nadiradze A. – Access mode: [http://www.energyonline.ge/energyonline/images/upload/April%202010/stat-Anzor%20Nadiradze%20\(eng\).pdf](http://www.energyonline.ge/energyonline/images/upload/April%202010/stat-Anzor%20Nadiradze%20(eng).pdf).
9. Пат. № 76923 Україна, МПК (2006. 01) C04B 40/00. Устаткування для виготовлення будівельних виробів [Схема] / І. В. Коц, І. Н. Дудар, О. П. Колісник; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет; заявл. 13.06.12; опубл. 25.01.13, бюл. № 2.
10. Пат. № 107582 Україна, МПК (2016.01). В30В 11/00. Пакетна термосилова установка з енергетичним комплексом [Схема] / В. Л. Гарнага, С. В. Яківчук; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет; заявл. 04.01.16; опубл. 10.06.16, бюл. № 11.
11. Пат. WO2015126231 A1. Установка тепловой обработки бетонных изделий [Схема] / Л. Б. Аруова, Н. Т. Даужанов, К. А. Бисенов, Б. А. Крылов, Б. В. Гусев; заявл. 10.02.14; опубл. 27.08.15.
12. Подгорнов Н. И. Термообработка бетона с использованием солнечной энергии [Текст] / Н. И. Подгорнов. – М.: АСМ, 2010. – 328 с.
13. Шукина Т. В. Ресурсы солнечной энергии ЦЧР для использования при производстве строительных изделий / Т. В. Шукина, А. В. Акопян, Е. Ю. Семёнова // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2015. – № 1 (192). – С. 22- 24.
14. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 43 с.
15. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 25 с.