

1. Прочность бетона при армировании короткими нитями (фибрами) зависит от соотношения модулей упругости бетонной матрицы и фибр.

2. Прочность дисперсно армированного бетона зависит от диаметра армирующих волокон и повышается при уменьшении диаметра волокон.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Крылов Б. А. и др. / Кн: Фибробетон и его применение в строительстве. М.: НИИЖБ, 1979. - с 4 – 12.
2. Астанін В. В. Основи розрахунків на міцність. Харків: «Регіон-інформ», 2001. - 209 с.
3. Гвоздев А. А. состояние и задачи исследования сцепления арматуры с бетоном // Б и Ж. Б., 1968. - № 12. - с. 1 – 4.
4. Оатул А. А Сцепление арматуры с бетоном // Изв. ВУЗов, сер. стр. и арх., 1977. - №5. - с.3-16.
5. Холмянский М.М. Теория сцепления арматуры с бетоном. // Б и Ж.Б., 1968. - №12. - с.10-18
6. Соколов П.Н. Технология асбестоцементных изделий. М.: Госстройиздат, 1960. - 395 с.
7. Тобольский Г.Ф., Цепенюк И.Ф. Пространственное армирование песчаных бетонов проволокой малых диаметров. // Изв. ВУЗов, сер. стр. и арх., №7. – 1964. - с.42-49.
8. Костюк Т.А., Деденева Е.Б., Вандоловский С.С. Совершенствование технологии гомогенизации бетонных смесей с мелкозернистыми наполнителями. / Вісник Одеської держ. ак. буд. та арх., вип. №60. – 2015. - с.149-153.

УДК 666.972

Кугаєвська Т.С., Шульгін В.В.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Сопов В.П.

Харківський національний університет будівництва і архітектури

МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ БЕТОННИХ ВИРОБІВ НАГРІТИМ ПОВІТРЯМ

Вступ. Застосування сонячної енергії при тепловій обробці гідроізолюваних бетонних та залізобетонних виробів нагрітим в колекторі сонячної енергії повітрям дозволяє заощаджувати відповідні енерговитрати. Техніко-економічне обґрунтування умов, за яких доцільно використання цього процесу, здійснюється з урахуванням результатів експериментально-розрахункових досліджень.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Одним із розповсюджених методів використання сонячної енергії при виробництві бетонних виробів є їх нагрівання під світлопрозорим покриттям ([1, 2] та ін.). У книзі [1] зазначено, що прогрівання радіаційним потоком в геліоформах під СВІТАП бетонних зразків і виробів товщиною до 300 – 400 мм здійснюється при м'яких режимах, а саме: швидкість підйому температури бетону складає

5–7°С/год; тривалість ізотермічного витримування при максимальній температурі 60 – 70°С відбувається впродовж 5 – 7 год; остигання до температури 35 – 50°С здійснюється зі швидкістю 1,5 – 2,5°С/год (залежно від масивності виробів, марки бетону температури навколишнього середовища і т. ін.). Структура і властивості цих бетонів кращі, ніж у пропарених по традиційним режимам, і наближаються до бетонів нормального твердіння [1]. У статті [3] відображено спосіб прискорення твердіння бетонних і залізобетонних виробів у сонячному колекторі (в якому розміщено виріб). У темний період доби колектор закрито теплоізоляційною конструкцією.

У патенті [4] показано установку для цілорічної комбінованої теплової обробки конструкцій і виробів із різних видів бе-

тону (залізобетону, полістиролбетону, пінобетону). В установці використовується сонячна енергія, електроенергія та їх комбінації. Геліоформа (металева форма з герметичною кришкою із двошарового світлопрозорого матеріалу) розміщується в геліокамері.

У джерелах [2, 5] та ін. відображено особливості геліотермообробки з проміжним теплоносієм в умовах закритих цехів (із застосуванням дублюючого джерела теплоти).

У статті [6] зазначено, що всі бетони, прискорення твердіння яких відбувалося за допомогою комбінованого способу геліотермообробки, мають міцність при стиску і розтягу вищу, ніж міцність пропарених бетонів.

У статті [7] перелічено переваги використання сонячної енергії для прискорення твердіння бетонних виробів.

У статті [8] показано основні принципи теплопостачання камер для теплової обробки гідроізольованих бетонних і залізобетонних виробів із використанням нагрітого в колекторі сонячної енергії повітря.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. У статті [9] відображено методика проведення лабораторних досліджень теплової обробки гідроізольованих бетонних зразків нагрітим в колекторі сонячної енергії повітрям. У статтях [10, 11] показано основні залежності, які використовуються при математичному моделюванні процесів теплової обробки гідроізольованих бетонних та залізобетонних виробів повітрям, нагрітим в колекторі сонячної енергії або в повітронагрівачі. Але у цих статтях не сформульовано положення методу експериментально-розрахункового дослідження вказаних процесів.

Постановка завдання. Мета роботи – розроблення методу експериментально-розрахункового дослідження процесів теплової обробки бетонних та залізобетонних виробів нагрітим в колекторі сонячної енергії повітрям.

Основний матеріал і результати. Розглядаються процеси теплової обробки гідроізольованих бетонних та залізобетон-

них виробів повітрям, нагрітим в колекторі сонячної енергії або в повітронагрівачі. Запропоновано експериментально-розрахункове дослідження цих процесів здійснювати в два етапи.

Послідовність проведення першого етапу досліджень наступна.

1. Здійснюється попередній підбір складу бетону.

2. Визначається тепловиділення цементу при гідратації.

Запропоновано при математичному моделюванні досліджуваного процесу використовувати значення тепловиділення цементу при гідратації, встановлене згідно з методом ізотермічної калориметрії. Слід підкреслити, що кінетика тепловиділення цементу в період теплової обробки гідроізольованих бетонних виробів нагрітим повітрям буде в певній мірі відрізнятися від кінетики тепловиділення цементу в ізотермічних умовах.

3. Здійснюється математичне моделювання процесу теплової обробки гідроізольованих бетонних або залізобетонних виробів нагрітим повітрям.

Метою цього моделювання є:

– обчислення зміни температури бетонних виробів в указаному процесі та зміни температури повітря, котре циркулює в установці;

– вибір оптимальних конструктивних рішень установки, в тому числі: розмірів складових колектора сонячної енергії; конструкцій, що огорожують камеру (якщо камера проектується); додаткової внутрішньої теплоізоляції камери (якщо існуюча камера переобладнується і такі заходи потрібні); утеплювача для повітропроводів; оптимальної кількості повітря, що циркулює в установці, і т. ін.

4. Відтворюється в лабораторній установці інтенсивність зміни температури бетонних зразків, обчислена при математичному моделюванні досліджуваного процесу.

Нагрівання гідроізольованих бетонних зразків та корегування їх температури в процесі теплової обробки в лабораторній установці можна здійснити:

– з використанням колектора сонячної енергії; у цьому випадку орієнтовне відтворення розрахункової зміни температури

бетону може бути реалізовано внаслідок зміни площі прозорої поверхні колектора в процесі проведення експерименту;

- за допомогою інфрачервоного обігрівача (який в певній мірі відтворює процес нагрівання повітря в колекторі в теплий період року); інтенсивність надходження теплоти від інфрачервоного обігрівача до колектора в лабораторних дослідженнях можна регулювати: за допомогою відповідного пристрою; зміною відстані між обігрівачем та прозорою поверхнею колектора;

- з використанням електричного повітрянагрівача.

Для того, щоб інтенсивність термосного остигання бетонних зразків у лабораторній установці наближено відповідала інтенсивності термосного остигання бетонних виробів у промисловій камері, необхідно, щоб співвідношення між надходженнями теплоти та витратами і втратами теплоти в цих камерах були однаковими.

5. Після завершення теплової обробки бетонних зразків (який включає і період термосного витримування) здійснюється визначення їх міцності при стиску в необхідні терміни.

6. За результатами аналізу експериментальних даних можливе корегування: складу бетону; інтенсивності теплової обробки бетонних виробів; конструктивних особливостей установки.

Послідовність другого етапу досліджень наступна.

1. Створюється лабораторна установка, в якій з використанням бетонних зразків відбувається моделювання процесів теплової обробки бетонних виробів нагрітим повітрям.

При моделюванні процесів теплообміну необхідно:

- створити геометричну подібність лабораторної камери до виробничої камери, бетонних зразків до бетонних виробів, лабораторного колектора сонячної енергії до виробничого колектора; врахувати особливості розміщення повітропроводів;

слід підкреслити, що виконати умови геометричної подібності лабораторних

зразків до виробів не завжди можливо (внаслідок особливостей співвідношення між їх розмірами); крім того, визначення міцності бетону при стиску здійснюється руйнівним методом на зразках певної форми ([12]) (визначення міцності бетону може здійснюватися й іншими методами); тому рішення про форму і розміри зразків приймається для кожного випадку окремо з урахуванням того, що в лабораторній та у виробничій камерах повинно бути однакове співвідношення між масою бетону і масою форм та однакове співвідношення між площею поверхонь теплообміну;

- відтворити в лабораторній установці такі ж значення критеріїв подібності (що характеризують досліджуваний процес), як і у виробничій установці; врахувати особливості процесів теплообміну в повітропроводах;

- врахувати теплотехнічні особливості установки.

У результаті вказаних заходів в лабораторній установці буде створено максимально наближене до виробничої установки співвідношення між надходженнями теплоти та втратами і витратами теплоти.

При моделюванні процесів конвективного теплообміну в колекторі сонячної енергії враховуються значення критеріїв Рейнольдса, Нуссельта та Прандтля. Критерій Рейнольдса дорівнює

$$Re_{\pi} = \frac{\omega d_{ек}}{\nu_{\pi}}, \quad (1)$$

де ω – швидкість руху повітря в колекторі, м/с; $d_{ек}$ – еквівалентний внутрішній діаметр колектора, м; ν_{π} – кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря, м²/с; фізичні властивості повітря визначаються при температурі основного потоку.

Критерій Нуссельта при турбулентному режимі руху повітря дорівнює

$$\overline{Nu}_{\pi} = 0,021 Re_{\pi}^{0,8} Pr_{\pi}^{0,43} \epsilon_l, \quad (2)$$

де Pr – критерій Прандтля.

Моделювання здійснюється з урахуванням променевого теплообміну.

При фізичному моделюванні процесів теплообміну в лабораторній камері необхідно, щоб не тільки значення критеріїв Рейнольдса, Нуссельта та Прандтля для лабораторної та виробничої камер були однаковими, а також – значення критерію

Біо та критерію Фур'є. Для виробів, які мають форму пластини, критерій Біо дорівнює $Bi = \frac{\alpha \delta}{\lambda}$; (3)

критерій Фур'є дорівнює $Fo = \frac{a\tau}{\delta^2}$, (4)

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·°C); δ – напівтовщина пластини, м; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м·°C); a – коефіцієнт температуропровідності матеріалу, м²/с; τ – проміжок часу, с.

2. Проводяться лабораторні дослідження процесу теплової обробки гідроізованих бетонних зразків нагрітим повітрям.

3, 4 – ці дії аналогічні 5-й та 6-й діям першого етапу досліджень.

Якщо нагрівання повітря здійснюється не в колекторі сонячної енергії, а в повітронагрівачі, то в дослідження вносяться відповідні корегування.

Нижче відображено результати обчислення зміни температури гідроізованих блоків бетонних тротуарних плиток упродовж першої години їх теплової обробки повітрям, нагрітим в колекторі сонячної енергії. Прийнято:

– сумарна маса бетону в камері дорівнює 496,8 кг;

– початкова температура складових гідроізованих блоків бетонних виробів $t_{бсп}$ дорівнює 20°С;

– кількість повітря, що циркулює в установці, становить $L = 1880$ м³/год;

– у колекторі сонячної енергії бокові сторони теплоізовано; їх внутрішні поверхні – металеві; площа світлопрозорого покриття $F = 1,5$ м²;

Таблиця 1 – Результати обчислення зміни температури гідроізованих блоків бетонних виробів упродовж першої години праці установки

$\sum \Delta\tau$, год	$t_{бсп}$, °С	$t_{бск}$, °С	$t_{бск} - t_{бсп}$, °С		$t_{пп}$, °С	$t_{пк}$, °С	$t_{пп} - t_{пк}$, °С	$t_{п}$, °С
			для $\Delta\tau$, год	для $\sum \Delta\tau$, год				
0,25	20	21,64	1,64	1,64	21,98	23,46	1,48	22,72
0,50	21,64	23,25	1,61	3,25	23,54	25,04	1,50	24,29
0,75	23,25	24,82	1,57	4,82	25,01	26,52	1,51	25,765
1,00	24,82	26,35	1,53	6,35	26,21	27,73	1,52	26,97

У табл. 1 також відображено:

– зміну температури складових гідроізованих блоків бетонних виробів впродовж кожного проміжку часу ($t_{бск} - t_{бсп}$);

– зміною температури в теплоізованих повітропроводах, які з'єднують колектор сонячної енергії та камеру для теплової обробки бетонних виробів, нехтують; тобто нехтують: витратами теплоти на нагрівання теплоізованих повітропроводів при рухові в них повітря та можливими втратами теплоти в навколишнє середовище; надходженнями теплоти до поверхонь тієї частини теплоізованих повітропроводів, на які потрапляє сонячна енергія;

тоді: середня за кожний проміжок часу температура повітря $t_{пв}$, котре видаляється з колектора сонячної енергії, дорівнює середній за цей проміжок часу температурі повітря $t_{пп}$, котре надходить до теплової камери; середня за кожний проміжок часу температура повітря $t_{пк}$, котре видаляється з камери, дорівнює середній за цей проміжок часу температурі повітря, котре надходить до колектора сонячної енергії $t_{пп}$;

– внаслідок порівняно невеликої продуктивності камери в ній не розміщуються повітропроводи для подачі та відбору повітря.

Визначено методом ітерацій за допомогою програми Excel:

– середню температуру гідроізованих блоків бетонних виробів $t_{бск}$ наприкінці 15 хв, 30 хв, 45 хв та 60 хв праці установки ($\Delta\tau = 0,25$ год);

– середню за кожний проміжок часу температуру повітря $t_{пк}$, котре видаляється з камери (табл. 1).

– середню за кожний проміжок часу зміну температури повітря в тепловій камері ($t_{пп} - t_{пк}$);

– середню за кожний проміжок часу температуру повітря в камері тп.

Обчислення показали, що впродовж першої години теплової обробки середня температура гідроізованих блоків бетонних виробів підвищується на 6,35 °С. Витрата електричної енергії становить 0,01% витрат теплоти на нагрівання гідроізованих блоків бетонних виробів.

Висновки. Розроблено метод експериментально-розрахункового дослідження процесів теплової обробки гідроізованих бетонних та залізобетонних виробів повітрям, нагрітим в колекторі сонячної енергії або в повітронагрівачі.

Надалі необхідно розглянути вплив процесів теплообміну в теплоізованих повітропроводах на зміну температури повітря, що циркулює в установці.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Заседателев, И.Б. Гелиотермообработка сборного железобетона / И.Б. Заседателев, Е.Н. Малинский, Е.С. Темкин. – М.: Стройиздат, 1990. – 312 с.
2. Подгорнов, Н.И. Термообработка бетона с использованием солнечной энергии / Н.И. Подгорнов. – М.: Издательство «АСВ», 2010. – 328 с.
3. Щукина, Т.В. Гелиотермообработка с использованием средств повышения энергооблученности строительных изделий [Электронный ресурс] / Т.В. Щукина, Семенова Е.Ю. – Режим доступа: http://www.rusnauka.com/28_NII_2012/Tecnic/5_118020.doc.htm.
4. Пат. WO2015126231 A1. Установка тепловой обработки бетонных изделий [Электронный ресурс] / Л.Б. Аруова, Н.Т. Даужанов, Бисенов К.А., Крылов Б.А., Гусев Б.В.; заявитель и патентообладатель: Республиканское государственное предприятие на правах хозяйственного ведения «Кызылординский государственный университет имени Коркыт Ата»; заяв. 10.02. 2014; опубл. 27.08. 2015. – Режим доступа: <http://www.google.com/patents/WO2015126231A1?cl=ru&hl=ru>.
5. The technology of production of precast concrete by using Solar energy in Kazakhstan [Electronic resource] / Aruova Lyazat, Bisenov Kylyshbay Aldabergenovich, Dauzhanov Nabi, Utkelbaeva Aizhan, Baitasov Kamalbek, Karshyga Galymzhan, Karshygaev Rakhimzhan. – Access mode:

- <http://www.globalilluminators.org/wp-content/uploads/2015/05/MI-BEST-15-186.pdf>.
6. Крылов, Б.А. Комбинированная гелиотермообработка железобетонных изделий в Республике Казахстан / Б.А. Крылов, Л.Б. Аруова // Бетон и железобетон. – 2007. – № 4 – С.11–13.
7. Aumenov Zh. Helio-technical systems and prospects of their use for heat treatment of slag-alkali concrete [Electronic resource] / Zh. Aumenov. – Access mode: <http://ite.ug.kz/sites/default/files/files/02032012.pdf>.
8. Кугаєвська, Т.С. Принципи теплопостачання камер для теплової обробки бетонних і залізобетонних виробів із використанням нагрітого в колекторі сонячної енергії теплоносія / Т.С. Кугаєвська, В.В. Шульгін, О.В. Свінін // Науковий вісник будівництва. Випуск 72. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2013. – С. 319 – 324.
9. Кугаєвська, Т.С. Лабораторні дослідження теплової обробки бетонних зразків нагрітим повітрям / Т.С. Кугаєвська, В.В. Шульгін // Науковий вісник будівництва. Випуск 4 (78). – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2014. – С. 276 – 283.
10. Кугаєвська, Т.С. Процеси теплообміну в камері для теплової обробки бетонних виробів нагрітим повітрям / Т.С. Кугаєвська, В.В. Шульгін // Науковий вісник будівництва. Випуск 4 (82). – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – С.177 – 182.
11. Кугаєвська, Т.С. Процеси теплообміну в плоскому колекторі сонячної енергії / Т.С. Кугаєвська, В.В. Шульгін, М.О. Юрченко // Збірник наукових праць (Галузеве машинобудування. Будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Випуск 3 (45). – Полтава, ПолтНТУ, 2015. – С.257 – 264.
12. ДСТУ Б В. 2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 43 с.