

УДК 666.972

*Т.С. Кугаєвська, к.т.н., доцент*

*В.В. Шульгін, к.т.н., доцент*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ  
ДОЦІЛЬНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ  
ПРОГРІВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО БОКСУ  
ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ЕКЗОТЕРМІЇ ЦЕМЕНТУ**

*Експериментально обґрунтовано доцільність визначення ступеня прогрівання теплоізоляційного боксу, у якому знаходиться бетонний зразок, під час дослідження тепловиділення цементу при гідратації.*

*Ключові слова: бетонний зразок, тепловиділення цементу, експеримент.*

УДК 666.972

*Т.С. Кугаевская, к.т.н., доцент*

*В.В. Шульгин, к.т.н., доцент*

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ  
ПРОГРЕВАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО БОКСА  
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭКЗОТЕРМИИ ЦЕМЕНТА**

*Експериментально обоснована целесобразность определения степени прогревания теплоизоляционного бокса, в котором находится бетонный образец, во время исследования тепловыделения цемента при гидратации.*

*Ключевые слова: бетонный образец, тепловыделение цемента, эксперимент.*

UDC 666.972

*T.S. Kugaevskaya, PhD, Associate Professor*

*V.V. Shulgin, PhD, Associate Professor*

*Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

**EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE EXPEDIENCY  
OF DETERMINATION OF THERMAL INSULATION BOX  
WARMING DEGREE IN THE PROCESS  
OF CEMENT HEAT GENERATION RESEARCH**

*The expediency of determination of warming degree of thermal insulation box (which contains a concrete sample) during the study of cement heat evolution under its hydration is experimentally shown.*

*Keywords: concrete sample, cement heat evolution, experiment.*

**Вступ.** Аналіз інтенсивності твердіння теплоізолюваних бетонних виробів, коли єдиним джерелом теплоти є тепловиділення цементу при його гідратації, потребує зіставлення теплонадходжень, витрат і втрат теплоти в досліджуваних системах.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Напрями використання результатів досліджень тепловиділення цементу при його гідратації обумовлюють певні особливості проведення відповідних експериментів.

Метод визначення питомого тепловиділення цементу в бетоні, що твердне в адіабатичних умовах, наведено в стандарті [1]. Цей метод застосовується при зведенні масивних споруд. Результати досліджень із використанням вищезазначеного методу подано, наприклад, у джерелах [2, 3]. Але процес твердіння теплоізолюваних бетонних виробів та зразків не є адіабатичним.

Для визначення впливу концентрації суперпластифікатора та виду комплексних добавок пластифікуючої дії на температурні залежності твердіння цементу авторами статті [4] використовувався прилад, який має комірки для розміщення зразків усередині теплоізоляційного корпусу. У роботі підкреслюється, що дослідження, виконані з використанням указанного приладу, проводилися на зразках, виготовлених із цементного тіста, цементно-піщаного розчину та з бетонної суміші. Але в статті не розглядаються теплотехнічні аспекти цих випробувань.

У роботах [5–7] подано результати досліджень зміни температури цементного тіста з різними видами хімічних добавок (та без добавок), яке твердне в теплоізолюваних ємностях. У вищезазначених статтях не наведено теплотехнічних особливостей цих досліджень. Крім того, відомо, що інтенсивність тепловиділення цементу обумовлюється температурою виробу (зразка). При твердінні бетону суттєва частка цієї теплоти витрачається на нагрівання заповнювачів. Тому температура тверднучого бетону буде меншою, ніж температура тверднучого цементного тіста, на що слід зважати.

**Виділення не розв'язаних раніше частин проблеми.** При дослідженні процесу твердіння теплоізолюваних бетонних зразків та виробів необхідно враховувати теплотехнічні аспекти цих випробувань.

**Постановка завдання.** Мета статті – аналіз доцільності контролювання ступеня прогрівання теплоізоляційного боксу, в якому знаходиться тверднучий бетонний зразок, при визначенні тепловиділення цементу.

**Основний матеріал і результати.** Дослідження тепловиділення цементу при його взаємодії з водою здійснювалися на зразках із важкого бетону. Розміри зразків – 15×15×15 см. До складу бетонної суміші входив портландцемент ДСТУ Б В.2.7-46:2010 ПЦ І-500-Н, уміст якого в 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші становив 450 кг при В/Ц = 0,65 та В/Ц = 0,45.

Перемішування бетонної суміші здійснювалося в гравітаційному бетонозмішувачі. Кожний бетонний зразок тверднув у теплоізоляційній конструкції (теплоізоляційному боксі). «Відкрита» поверхня кожного зразка, в тому числі контрольного, гідроізолювалася за допомогою поліетиленової плівки. Простір між металевою формою та стінкою боксу заповнювався еластичним пінополіуретаном. Теплоізоляційні бокси виконано з пінополістиролу товщиною 10 см.

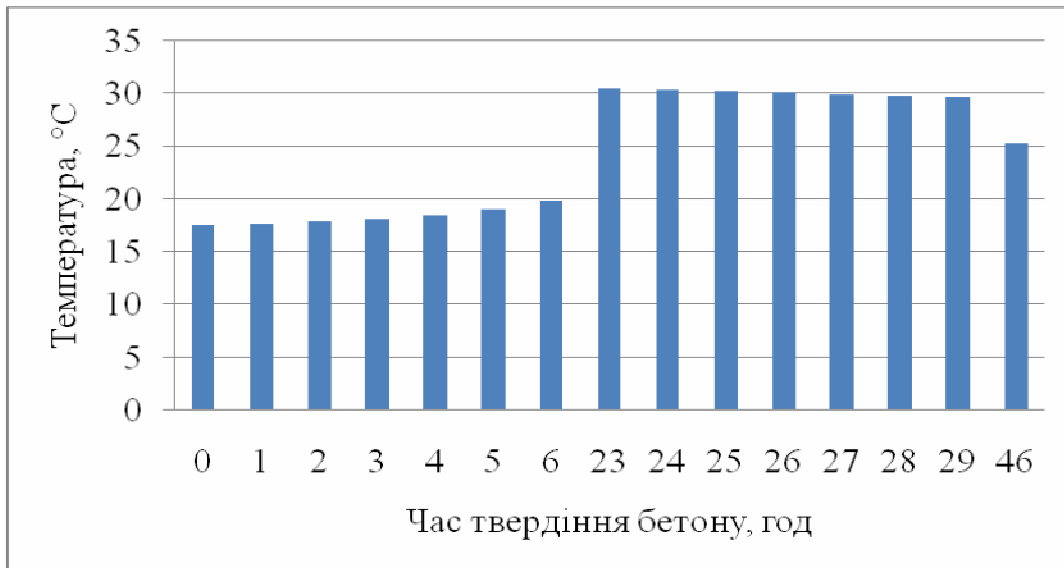
Термін знаходження кожного зразка в теплоізоляційному боксі становив близько двох діб. Упродовж експерименту за допомогою термодатчиків визначалася температура: бетонної суміші (бетону), металевої форми, поверхонь теплоізоляційного боксу, повітря приміщення та ступінь прогрівання теплоізоляційного боксу.

На рисунках 1, 2 зображено зміну температури тверднучих бетонних зразків. Початкова температура, вказана на цих рисунках, відповідає температурі бетонної суміші відразу після розміщення форми із цією сумішшю в теплоізоляційному боксі. Слід підкреслити, що екзотермічні реакції гідратації цементу відбуваються вже під час перемішування бетонної суміші.

Дослідження зміни температури тверднучих теплоізолюваних бетонних зразків, виготовлених на початку й наприкінці робочого дня, дозволили встановити, що термін, упродовж якого збільшується температура зразків, не перевищував 23 год. Наступне поступове зниження температури зразків вірогідно пов'язане зі зменшенням інтенсивності гідратації цементу в досліджуваних умовах, що доцільно враховувати при плануванні подальших експериментів.

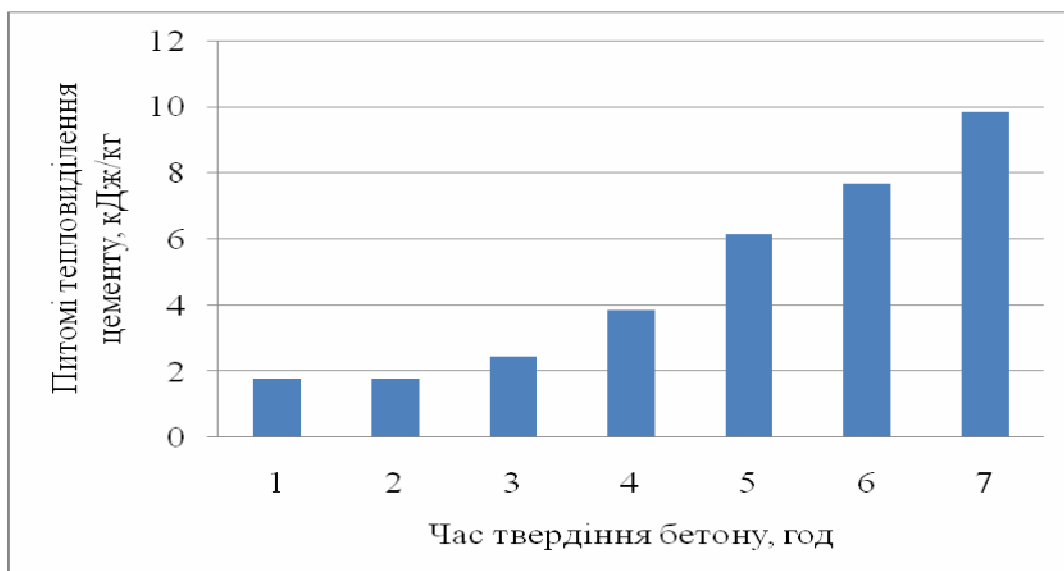


**Рис. 1 – Зміна температури тверднучого в теплоізоляційному боксі важкого бетону (В/Ц = 0,65)**



**Рис. 2 – Зміна температури тверднучого в теплоізоляційному боксі важкого бетону (В/Ц = 0,45)**

На рисунках 3, 4 наведено питомі тепловиділення цементу в тверднучих упродовж перших 7 та 6 годин теплоізольованих бетонних зразках, кДж/кг. Ці показники обчислювалися за допомогою теплових балансів, складених для досліджуваних систем.



**Рис. 3 – Питомі тепловиділення цементу під час гідратації, кДж/кг (В/Ц = 0,65)**



**Рис. 4 – Питомі тепловиділення цементу під час гідратації, кДж/кг (В/Ц = 0,45)**

На рисунках 5, 6 подано сумарні питомі тепловиділення цементу, кДж/кг. При В/Ц = 0,65 тепловиділення цементу у вищевказані терміни більше, ніж при В/Ц = 0,45. Слід підкреслити, що початкова температура бетонної суміші при В/Ц = 0,65 на 0,7°C більше, ніж при В/Ц = 0,45.



**Рис. 5 – Сумарні питомі тепловиділення цементу під час гідратації, кДж/кг (В/Ц = 0,65)**



**Рис. 6 – Сумарні питомі тепловиділення цементу під час гідратації, кДж/кг (В/Ц = 0,45)**

У випадках, які розглядаються, частка теплоти, котра витрачалася на нагрівання теплоізоляційного боксу впродовж перших 7 та 6 годин твердіння бетону (відповідно В/Ц = 0,65, В/Ц = 0,45), не перевищувала 4,2%, а в середньому становила 1,93%. Але внаслідок поступового прогрівання теплоізоляційного боксу температура його зовнішніх поверхонь з певного моменту часу стає більшою, ніж температура повітря приміщення. Сумарна частка витрат теплоти на нагрівання теплоізоляційного боксу і втрат теплоти в навколишнє середовище є суттєвою. Наприклад, упродовж 16-ї години твердіння бетонних зразків (формування яких здійснювалося наприкінці робочого дня) ця частка становила в середньому 15,7%. Таким чином, контролювання ступеню прогрівання теплоізоляційного боксу, в якому знаходиться тверднучий бетонний зразок, є необхідним чинником у дослідженні тепловиділення цементу.

Методику обчислення тепловиділення цементу при гідратації для наведених випадків можна розділити на три етапи:

- *перший етап* – температура компонентів досліджуваної системи збільшується, але втрати теплоти системою в навколишнє середовище відсутні [8];
- *другий етап* – температура компонентів досліджуваної системи збільшується, наявні втрати теплоти системою в навколишнє середовище [8];
- *третій етап*:

а) температура бетону (а за певних обставин – і форми) або збільшується, або не змінюється, а температура інших складових досліджуваної системи зменшується;

б) зменшується температура всіх складових системи; за обґрунтуванням цей етап може бути завершено при остиганні складових системи до температури навколишнього середовища.

Методика розрахунку тепловиділення цементу в період зменшення температури складових досліджуваних систем розробляється.

#### **Висновки:**

1. Експериментально підтверджено необхідність визначення ступеня прогрівання теплоізоляційної конструкції при дослідженні тепловиділення цементу.
2. Необхідно розробити методику обчислення (на основі експериментальних даних) тепловиділення цементу в період зменшення температури складових досліджуваної системи.

#### *Література*

1. ДСТУ Б В. 2.7-225:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Метод визначення тепловиділення при твердненні. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 12 с.
2. Троян, В.В. Термонапружений стан залізобетону як аспект довговічності монолітних конструкцій [Електронний ресурс] / В.В. Троян. – Режим доступу: <http://beton-profi.ru>.
3. Рунова, Р.Ф. Анализ термонапряжённого состояния фундаментной плиты и рекомендации по уходу за ней при бетонировании [Электронный ресурс] / Р.Ф. Рунова, В.В. Троян // Режим доступа: <http://beton-profi.ru>.
4. Температурний моніторинг твердження цементних систем / А.В. Кабусь, Н.Н. Исаенко, Е.А. Мороз, Е.В. Иващенко, Е.Б. Воропаева // Науковий вісник будівництва. – № 65. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. – С. 256 – 265.
5. Павлюк, В.В. Оцінка тепловиділення цементу загальнобудівельного призначення, модифікованого хімічними добавками / В.В. Павлюк, Л.В. Терещенко, К.В. Бондар / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2010. – Вип. 20. – С. 82 – 87.
6. Павлюк, В.В. Оцінка впливу суперпластифікаторів на процеси тепловиділення цементів загальнобудівельного призначення [Електронний ресурс] / В.В. Павлюк, Л.В. Терещенко, К.В. Бондар. – Режим доступу: <http://www.archive.nbuv.gov.ua>.
7. Бибик, М.С. Определение основных периодов трапецидального режима тепловлажностной обработки бетона / М.С. Бибик, В.В. Бабицкий, С.Д. Семенюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2011. – Вип. 22. – С. 22 – 28.
8. Кугаєвська, Т.С. Розроблення методів визначення інтенсивності тепловиділення цементу при його гідратації в повітряних умовах та в теплоізованих зразках / Т.С. Кугаєвська, В.В. Шульгін // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Випуск 5 (35). – Полтава: Полт НТУ, 2012. – С. 166 – 170.

Надійшла до редакції 14.06.2013

© Т.С. Кугаєвська, В.В. Шульгін