

УДК 666.972

*Т.С. Кугаєвська, к.т.н., доцент
В.В. Шульгін, к.т.н., доцент*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕРМІНІВ НАБОРУ МІЦНОСТІ БЕТОННИМИ ВИРОБАМИ ПРИ ЇХ ТВЕРДНЕННІ БЕЗ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОНОСІЯ

Подано основні положення методу прогнозування набору міцності тепло- і гідроізованими бетонними виробами, тверднення яких відбувається без використання теплоносія. Запропоновано дослідження здійснювати у два етапи. Наведено експериментальні дані, отримані відповідно до положень першого етапу досліджень.

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

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКОВ НАБОРА ПРОЧНОСТИ БЕТОННЫМИ ИЗДЕЛИЯМИ ПРИ ИХ ТВЕРДЕНИИ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Представлены основные положения метода прогнозирования набора прочности тепло- и гидроизолированными бетонными изделиями, твердение которых происходит без использования теплоносителя. Предложено исследования выполнять в два этапа. Показаны экспериментальные данные, полученные в соответствии с положениями первого этапа исследований.

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

SUMMARY OF FORECASTING METHOD OF CONCRETE PRODUCTS MATURING TERMS UNDER THEIR CURING WITHOUT HEAT CARRYING AGENT USE

Summary of forecasting method of heat insulated and moisture tight concrete products which maturing develops without heat carrying agent use is presented. Two stages of research carrying out are proposed. Experimental data of the first research stage are shown.

Keywords: concrete sample, cement heat evolution, experiment.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Одним із напрямів енергозбереження при виготовленні бетонних виробів є забезпечення їх теплової обробки з використанням лише теплоти, яка

виділяється при взаємодії цементу з водою. У цьому випадку доцільно застосовувати теплоізоляцію тверднучих у камері бетонних виробів та гідроізолювати їх «відкрити» поверхню.

Відсутність теплоносія при твердненні бетонних виробів у переважній більшості випадків буде призводити до збільшення термінів набору бетоном необхідної міцності. Разом з тим за певних обставин здійснення теплової обробки бетонних виробів із використанням лише теплоти, яка виділяється при гідратації цементу, може бути доцільним.

Для аналізу факторів, що забезпечать можливість застосування зазначеного способу теплової обробки бетонних виробів, необхідна наявність методу прогнозування термінів набору міцності бетоном за досліджуваних умов тверднення.

Аналіз останніх публікацій, в яких започатковане розв'язання цієї проблеми і на які спираються автори, виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Вивченню питань, пов'язаних з тепловиділенням цементу та інших в'язучих при їх твердненні, присвячено багато досліджень.

У джерелі [1] наведено, наприклад, взаємозв'язок між показниками тепловиділення в'язучих і міцністю бетонів залежно від основності; підхід до оцінювання тепловиділення при твердненні цементів у неізотермічних умовах, які програмуються; кінетику тепловиділення на ранніх стадіях гідратації цементів, котрі розширюються; швидкість тепловиділення цементу при підвищених температурах.

У статті [2] наведено принципи моделювання набору міцності бетоном при гідратації цементу і наголошується, що запропонована модель може бути використаною для фіксованих значень температур бетону. Необхідно підкреслити, що зміна температури бетонних виробів при їх тепловій обробці з використанням лише теплоти, яка виділяється при гідратації цементу, попередньо невідома.

У роботах [3, 4] викладено, зокрема, результати досліджень у сфері моделювання тепловиділення бетону масивних монолітних конструкцій. У роботі [3] показано, що при моделюванні цього процесу використовувалися значення тепловиділення цементу при гідратації, отримані за допомогою адіабатичного калориметра. Слід підкреслити, що аналіз ефективності застосування теплової обробки бетонних виробів без використання теплоносія необхідно здійснювати з урахуванням співвідношення між надходженнями теплоти внаслідок екзотермії цементу при гідратації та втратами і витратами теплоти досліджуваною системою.

У джерелах [5, 6] проаналізовано переваги та недоліки запропонованої авторами моделі прогнозування характеристик бетону. У статті [7] показано основні можливості «напівадіабатичної» калориметрії для розв'язання проблем, пов'язаних з багатокомпонентністю бетонів. У роботі [8] наведено результати досліджень зміни температури цементного

тіста з хімічними добавками й без них. У джерелі [9] за допомогою адіабатичного мікрокалориметра проаналізовано циклічність процесу тепловиділення цементу при його гідратації та твердненні.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Міцність бетонних виробів обумовлюється багатьма факторами, серед яких умови їх тверднення.

Під час тепловологої або теплової обробки бетонних виробів за допомогою певного теплоносія створюється необхідна температура й вологість цих виробів. Якщо теплоносій відсутній, то надходження теплоти в камеру обумовлюється наявністю екзотермічних реакцій гідратації цементу. Інтенсивність тепловиділення цементу залежить, зокрема, від температури тверднучого бетону, В/Ц, виду цементу та хімічних добавок. Температура тверднучого бетону у свою чергу залежить від співвідношення між складовими теплового балансу досліджуваної системи.

Завдання прогнозування термінів набору необхідної міцності бетонними виробами, які тверднуть у досліджуваних умовах, базується на прогнозуванні зміни їх температури та вологості.

Мета роботи – представити основні положення методу прогнозування набору міцності тепло- і гідроізолюваними бетонними виробами, які тверднуть без використання теплоносія.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Прогнозування термінів набору міцності на стиск тепло- та гідроізолюваними бетонними виробами, під час тверднення яких використовується тільки теплота, що виділяється при гідратації цементу, запропоновано здійснювати у два етапи.

Призначення етапів досліджень:

- першого етапу – орієнтовне прогнозування термінів набору міцності на стиск бетонними виробами в досліджуваних умовах; другого – більш точно прогнозування зазначеного чинника;
- встановлення закономірностей, які обумовлюють особливості процесу тверднення бетону в досліджуваних умовах.

Сутність *першого етапу* досліджень:

- бетонні зразки тверднуть у теплоізоляційному боксі; «відкрита» поверхня зразків гідроізолюється;
- для попередніх досліджень допускається розміщення в теплоізоляційному боксі одного зразка-куба; у цьому випадку необхідно виконати кілька випробовувань при однаковій початковій температурі досліджуваної системи й однакових параметрах повітря лабораторії; при аналізі експериментальних даних слід ураховувати ймовірну різницю значень указаних температур;

– упродовж терміну тверднення бетонних зразків (зразка) визначається зміна температури складових досліджуваної системи та встановлюється кінетика тепловиділення цементу на основі теплових балансів цієї системи; зазначені теплові баланси складаються для певних проміжків часу тверднення бетонних зразків (зразка); варто дослідити зміну міцності бетонних зразків залежно від початкових температур досліджуваної системи;

– після завершення вибраного терміну тверднення бетонних зразків (зразка) у теплоізоляційному боксі визначається їх міцність на стиск; цей чинник може бути встановлено руйнівним методом в один із термінів, обумовлених відповідним стандартом; для з'ясування кінетики набору міцності бетонними зразками можна використати, наприклад, неруйнівний метод (рис. 1); при аналізі експериментальних даних доцільно зважати на зміну вологості бетонних зразків;



Рис. 1 – Визначення міцності на стиск за допомогою приладу ИПС-МГ- 4.03

– на основі показників інтенсивності тепловиділення цементу складаються теплові баланси виробничої установи для вибраних проміжків часу; за допомогою цих балансів визначається орієнтовна зміна температури тепло- і гідроізольованих бетонних виробів упродовж вибраного терміну тверднення; такі розрахунки доцільно провести для кількох варіантів з різними початковими температурами системи;

– здійснюється аналіз розрахункової зміни температури тверднучих у виробничій установці бетонних виробів:

а) якщо інтенсивність зміни розрахункової температури бетонних виробів незначно відрізняється від експериментальних даних, то, вірогідно, і міцність на стиск бетону виробів за досліджуваний період буде незначно відрізнятися від експериментальних даних;

б) якщо інтенсивність збільшення розрахункової температури бетонних виробів значно менша, ніж під час лабораторних експериментів, то, вірогідно, й інтенсивність набору міцності на стиск бетону виробів буде значно меншою;

– на основі аналізу розрахункової зміни температури тверднучих у виробничій камері бетонних виробів може бути запропоновано здійснення додаткових заходів для збереження теплоти, яка виділяється внаслідок гідратації цементу; слід зважити на те, що виріб, розташований у нижній формі, знаходиться в найгірших умовах з точки зору втрат теплоти в навколишнє середовище, і передбачити засоби для зменшення цих втрат.

Основна відмінність *другого етапу* досліджень від першого полягає в тому, що при моделюванні в лабораторній установці процесу тверднення тепло- та гідроізованих бетонних виробів необхідно зберегти співвідношення між втратами і витратами теплоти досліджуваних систем. Тобто завдання *другого етапу* досліджень – відтворити для бетонних зразків, які тверднуть у лабораторній установці, зміну температури та вологості бетонних виробів, котрі тверднуть у виробничій камері (згідно з вибраними початковими умовами). Таке моделювання ґрунтується на теплових балансах, складених для досліджуваних систем. Слід зазначити, що вологість гідроізованих бетонних зразків та виробів змінюється внаслідок гідратації цементу. Додаткових досліджень потребують випадки, коли на виробництві використовуються способи і режими ущільнення бетону, які відрізняються від лабораторних.

Далі наведено експериментальні дані, отримані відповідно до положень першого етапу досліджень.

В експериментах, які проводилися з тепло- і гідроізованими зразками-кубами з важкого бетону (15×15×15 см), використовувався портландцемент ДСТУ Б В.2.7-46:2010 ПЦ І-500-Н. У теплоізоляційному боксі розташовувався один зразок. «Відкрита» поверхня кожного зразка була гідроізованою.

На рис. 2, 3 зображено зміну температури тверднучого впродовж 48 годин у теплоізоляційному боксі зразка із важкого бетону ($\rho = 250 \text{ кг/м}^3$, $V/\rho = 0,8$). Відлік часу, відображений на рисунках 2, 3 та на наступних рисунках, здійснювався після розташування зразка в теплоізоляційному боксі. Упродовж перших 7 годин тверднення бетонного зразка його температура змінилася з 15 до 16,9°C ($\Delta t = 1,9^\circ\text{C}$), а через 23 години становила 22,1°C ($\Delta t = 7,1^\circ\text{C}$). Потім температура зразка поступово знижувалась і через 48 годин дорівнювала 18,2°C.

Міцність на стиск тепло- і гідроізованих бетонних зразків цього складу після їх розпалублення в середньому на 28,2% перевищувала міцність на стиск гідроізованих бетонних зразків, які тверднули в повітряних умовах, а через 4 години після їх розпалублення різниця цих показників становила 26,5%.

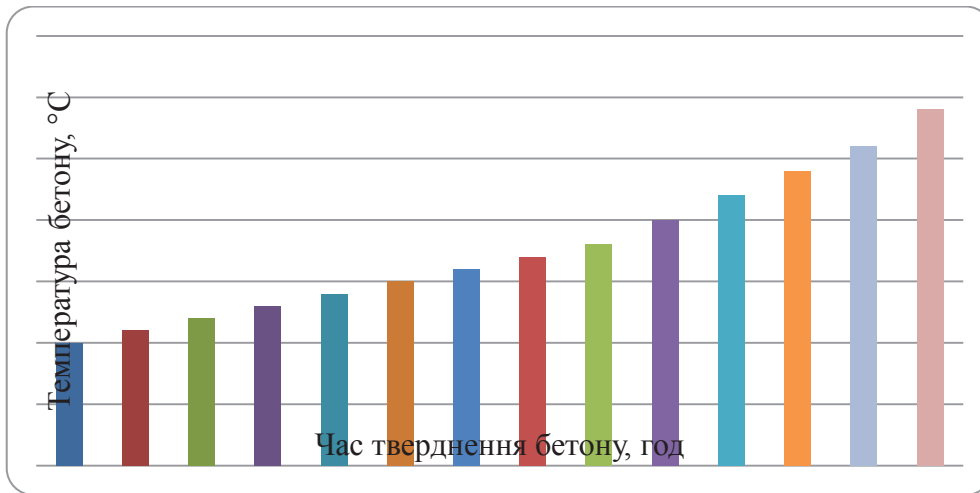


Рис. 2 – Зміна температури зразка з важкого бетону ($\rho = 250 \text{ кг/м}^3$, В/Ц = 0,8) впродовж перших 7 годин тверднення в теплоізоляційному боксі

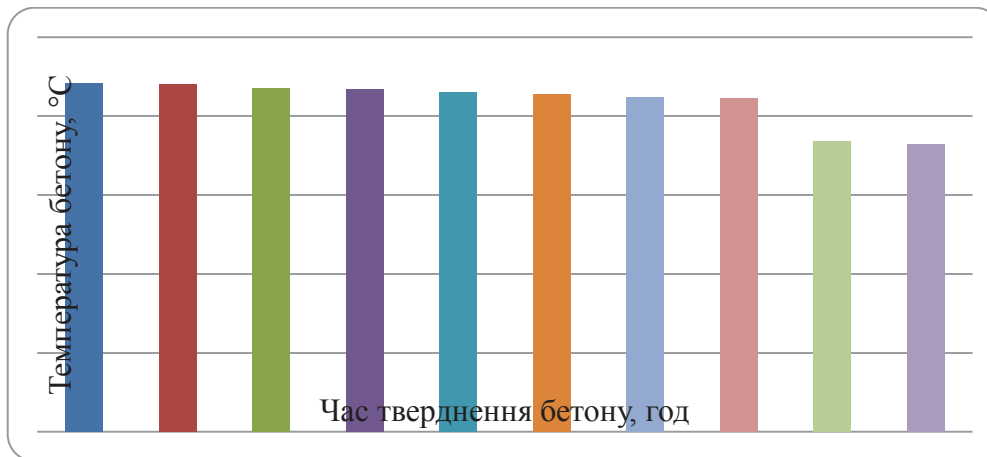


Рис. 3 – Зміна температури зразка з важкого бетону ($\rho = 250 \text{ кг/м}^3$, В/Ц = 0,8) з 23-ї до 48-ї години тверднення в теплоізоляційному боксі

У нічні години вимірювання температури складових досліджуваної системи не здійснювалось. Тому для більш точного з'ясування інтенсивності зміни температури тверднучих бетонних зразків їх виготовлення відбувалося не лише на початку робочого дня, а також і в другій його половині.

На рис. 4 показано зміну температури тверднучого впродовж 46 годин в теплоізоляційному боксі зразка з важкого бетону ($\rho = 450 \text{ кг/м}^3$, В/Ц = 0,65), виготовленого наприкінці робочого дня. Температура зразка впродовж 15 годин тверднення змінилася з 19,0 до 31,6°C ($\Delta t = 12,6^\circ\text{C}$) і через 21 годину становила 33,1°C ($\Delta t = 14,1^\circ\text{C}$). Температура зразка 33,1°C трималася й упродовж 22-ї години тверднення в теплоізоляційному боксі, а надалі почала поступово знижуватися та через 46 годин дорівнювала 27,5°C.

Міцність на стиск тепло- і гідроізольованих бетонних зразків цього складу після їх розпалублення в середньому на 34,5% перевищувала міцність на стиск гідроізольованих бетонних зразків, які тверднули в повітряних умовах.

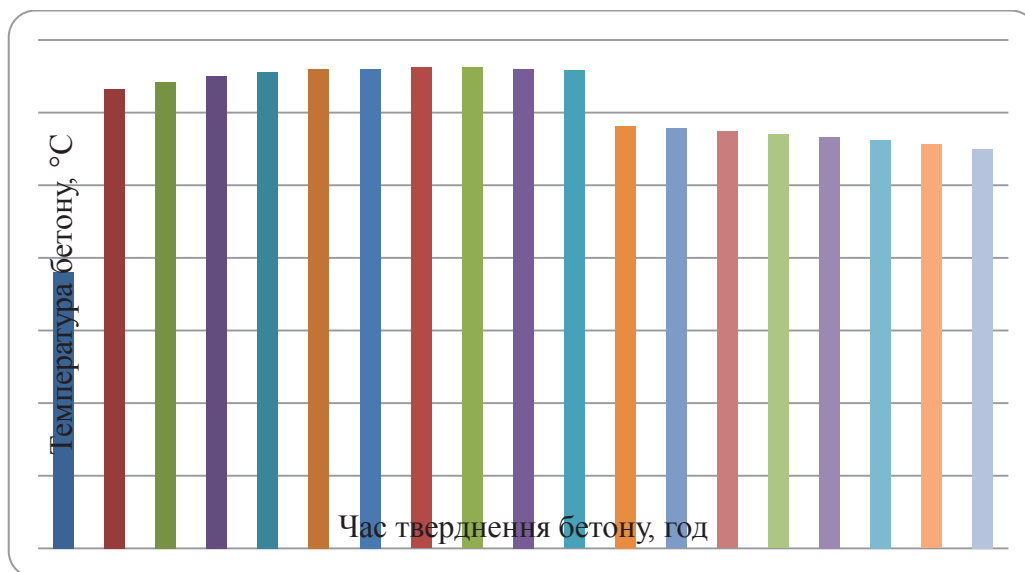


Рис. 4 – Зміна температури тверднучого в теплоізоляційному боксі зразка з важкого бетону ($\rho = 450 \text{ кг/м}^3$, $V/C = 0,65$)

На рис. 5 показано зміну температури тверднучого впродовж 42 годин в теплоізоляційному боксі зразка з важкого бетону ($\rho = 450 \text{ кг/м}^3$, $V/C = 0,45$, добавка – суперпластифікатор). Температура бетонного зразка упродовж 17 годин тверднення в теплоізоляційному боксі змінилася з 18,5 до 29,6°C ($\Delta t = 11,1^\circ\text{C}$). Через 20 годин температура зразка становила 30,1°C ($\Delta t = 11,6^\circ\text{C}$) і не змінювалась упродовж 21-ї, 22-ї та 23-ї годин перебування його в теплоізоляційному боксі. Надалі температура зразка знижувалась і через 42 години дорівнювала 26,0 °C.

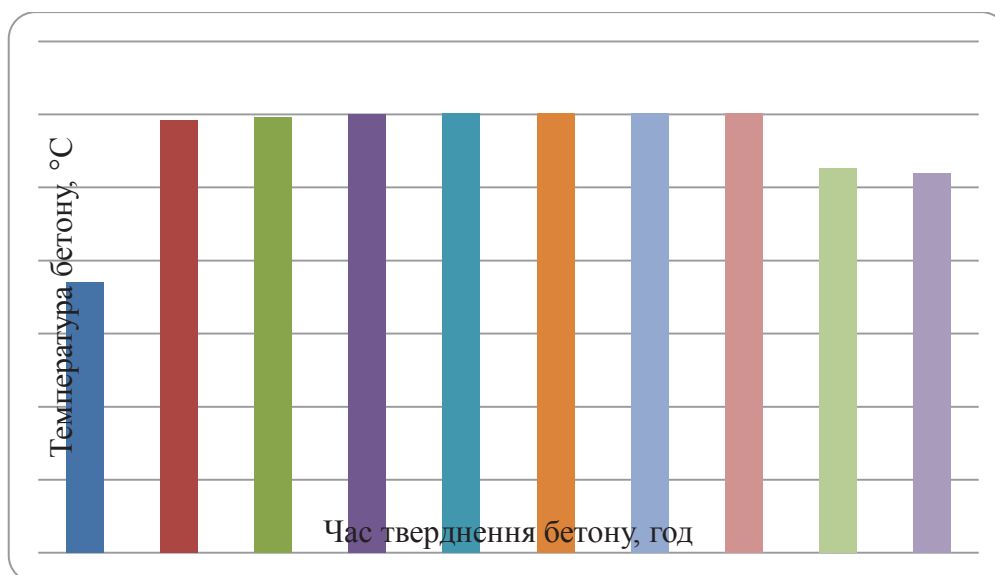


Рис. 5 – Зміна температури тверднучого в теплоізоляційному боксі зразка з важкого бетону ($\rho = 450 \text{ кг/м}^3$, $V/C = 0,45$, добавка – суперпластифікатор)

Міцність на стиск тепло- і гідроізольованих бетонних зразків цього складу після їх розпалублення в середньому на 42,9% перевищувала

міцність на стиск гідроізолюваних бетонних зразків, які тверднули в повітряних умовах, а через 4 години після їх розпалублення різниця цих показників становила 41,6%.

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі. Наведено основні положення методу прогнозування термінів набору міцності тепло- і гідроізолюваними бетонними виробами, які тверднуть без використання теплоносія.

Запропоновано дослідження здійснювати у два етапи.

Наведено експериментальні дані, отримані згідно з положеннями першого етапу досліджень. Установлено, що міцність на стиск гідроізолюваних зразків з важкого бетону, які тверднуть у теплоізоляційному боксі впродовж:

– 48 годин, після їх розпалублення в середньому на 28,2% перевищувала міцність на стиск гідроізолюваних бетонних зразків, що тверднули в повітряних умовах, а через 4 години після їх розпалублення різниця цих показників становила 26,5% ($\rho = 250 \text{ кг/м}^3$, $V/\rho = 0,8$);

– 46 годин, після їх розпалублення в середньому на 34,5% перевищувала міцність на стиск гідроізолюваних бетонних зразків, які тверднули в повітряних умовах ($\rho = 450 \text{ кг/м}^3$, $V/\rho = 0,65$);

– 42 годин, після їх розпалублення в середньому на 42,9% перевищувала міцність на стиск гідроізолюваних бетонних зразків, що тверднули в повітряних умовах, а через 4 години після їх розпалублення різниця цих показників становила 41,6% ($\rho = 450 \text{ кг/м}^3$, $V/\rho = 0,45$, добавка – суперпластифікатор).

У процесі подальших досліджень необхідно виконати експерименти стосовно прогнозування кінетики набору міцності тепло- і гідроізолюваними бетонними виробами при їх твердненні без використання теплоносія для конкретних виробничих умов.

Література

1. Ушеров-Маршак, А.В. Калориметрия цемента и бетона: избранные труды / А.В. Ушеров-Маршак. – Х.: Факт, 2002. – 183 с.
2. Моделирование набора прочности бетоном при гидратации цемента / С.В. Федосов, В.И. Бобылев, А.М. Ибрагимов, В.К. Козлова, А.М. Соколов // Строительные материалы. – 2011. – № 11. – С. 38 – 41.
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/matmod.pdf>.
4. Троян, В.В. Термонапряжённый стан залізобетону як аспект довговічності монолітних конструкцій [Електронний ресурс] / В.В. Троян. – Режим доступу: <http://beton-profi.ru/papers/14.pdf>.
5. Бабицкий, В.В. Прогнозирование характеристик твердеющего тяжёлого бетона / В.В. Бабицкий, С.Д. Семенюк, М.С. Бибик / Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: НУВГП, 2009. – Вип. 18. – С. 3 – 12.

6. Бибик, М.С. Определение основных периодов трапецеидального режима тепловлажностной обработки бетона / М.С. Бибик, В.В. Бабицкий, С.Д. Семенюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: НУВГП, 2011. – Вип. 22. – С. 22 – 28.

7. Температурный мониторинг твердения цементных 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.

8. 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. – Рівне: НУВГП, 2010. – Вип. 20. – С. 82 – 87.

9. Лотов, В.А. Тепловыделение в системе «цемент-вода» при гидратации и твердении / В.А. Лотов, Е.А. Сударев, Ю.А. Иванов // Строительные материалы. – 2011. – № 11. – С. 35 – 37.

Надійшла до редакції 29.01.2014
©Т.С. Кугаєвська, В.В. Шульгін