

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ БЕТОННИХ ВИРОБІВ ПРИ ЇХ ТВЕРДІННІ БЕЗ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОНОСІЯ В ТЕПЛІЙ ПЕРІОД РОКУ

Представлено аналіз можливості експериментального прогнозування зміни температури бетонних виробів при їх твердінні без використання теплоносія в теплий період року. Джерелом надходження теплоти в цьому процесі є тепловиділення цементу при гідратації.

Ключові слова: бетонні виробы, екзотермія цементу.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Відомо, що тепловолога обробка бетону – «один из основных технологических процессов, обеспечивающих в кратчайшие сроки получение бетонных и железобетонных конструкций с должным качеством»[1]. Разом з тим цей процес енергомісткий.

У джерелі [2] наголошується, що «высокая экзотермия портландцемента значительно снижает энергозатраты за счёт существенного вклада теплоты гидратации в энергетический баланс твердения». Доцільно поряд з пошуком шляхів зменшення витрат теплоносія при тепловологій і тепловій обробці бетонних та залізобетонних виробів досліджувати фактори, які забезпечують прискорене твердіння цих виробів без використання теплоносія. У таких дослідженнях важливе значення має прогнозування строків набору виробами необхідної міцності, яке нерозривно пов'язане з прогнозуванням температурного режиму цього процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання цієї проблеми й на які спираються автори, виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У висновках до статті [3] зазначено, зокрема, що «получена система расчётов изменяющихся во времени температуры и прочности бетона на сжатие... Разработана компьютерная программа для оперативного прогнозирования изменения температуры и прочности бетона твердеющих конструкций». Водночас ці дослідники у статті [1] підкреслюють таке: «Казалось бы, получена идеальная математическая модель. Но, к сожалению, в её основу заложены пусть и многочисленные, но всё же некие усреднённые влияющие факторы, почерпнутые из справочников, монографий, статей, нормативных документов, анализа

результатов экспериментов». Тому автори вказаної роботи наголошують на значимості експериментальних досліджень у заводських лабораторіях.

У статті [4] наводяться дані стосовно моделювання тепловиділення бетону масивних монолітних конструкцій: «Об'єктом моделювання була масивна плита, що вільно лежить на бетонній основі ... При моделюванні приймався найгірший варіант, при якому ... температура контактуючих з повітрям поверхонь утеплювача (бетону) дорівнює температурі навколишнього середовища». Разом з тим при моделюванні процесу твердіння теплоізованих бетонних виробів без використання теплоносія необхідно брати до уваги наявність витрат теплоти на нагрівання складових системи, що досліджується, та можливих утрат теплоти системою.

У статті [5] представлено моделювання набору міцності бетоном. У цій праці зазначається, що «формула и расчёт изменения во времени прочности бетона на её основе справедливы для фиксированного значения температуры представляется целесообразным дальнейшее развитие предложенной модели с учётом параметров тепловой обработки». Але при твердінні теплоізованих бетонних виробів без використання теплоносія заздалегідь невідома зміна їх температури в цьому процесі.

Загальна мета досліджень – розроблення методології прогнозування строків набору міцності бетонними та залізобетонними виробами при їх твердінні без використання теплоносія. На цьому етапі досліджень розглядається частина цієї методології, яка стосується прогнозування зміни температури бетонних виробів при їх твердінні без використання теплоносія в теплий період року.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). У статті аналізується можливість експериментального прогнозування зміни температури бетонних виробів при їх твердінні без використання теплоносія в теплий період року. Джерело надходження теплоти – екзотермічні реакції при взаємодії цементу з водою.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Розглядається можливість відтворення в лабораторній установці зміни температури, яка відбувається в бетонних виробках при їх твердінні без використання теплоносія в теплий період року. Передбачається, що бетонні вироби на підприємстві будуть накриватися теплоізоляційним «кожухом». Відповідно теплоізолуються і бетонні зразки в лабораторній установці.

Складемо тепловий баланс виробничої установки для певного проміжку часу. Попередньо розглянемо спрощуючі передумови.

У досліджуваній системі будуть наявні повітряні прошарки. Витрати теплоти на нагрівання цих прошарків порівняно з витратами теплоти на нагрівання виробів і форм незначні. Разом з тим вплив процесів масообміну між відкритою поверхнею виробів та повітрям прошарків на

процес твердіння бетону в умовах, які розглядаються, потребує додаткових експериментів. На цьому етапі досліджень приймаємо, що вироби накриваються гідроізоляційним матеріалом (поліетиленом), тоді масообмін між поверхнею виробів і повітрям прошарків відсутній.

Припустимо, що впродовж твердіння бетонних виробів шар теплоізоляційного матеріалу прогривається не повністю, а частково. Для того, щоб цей фактор був наявний в установці, доцільно виконати попередні лабораторні дослідження згідно з методом «теплоізоляційного зразка».

Припустимо, що підлога камери виконана з однорідного матеріалу.

З урахуванням наведених вище умов кількість теплоти $Q_{ЕК}$, Дж, що виділяється при взаємодії цементу з водою за певний проміжок часу в теплий період року, дорівнює

$$Q_{ЕК} = Q_B + Q_\Phi + Q_{ЧТ} + Q_{ПД} + Q_{П}, \quad (1)$$

або

$$Q_{ЕК} = c_B \cdot m_B \cdot (t_{БК} - t_{БП}) + c_M \cdot m_\Phi \cdot (t_{\Phi К} - t_{\Phi П}) + c_T \cdot m_{ЧТ} \cdot (t_{ЧТ К} - t_{ЧТ П}) + c_{ПД} \cdot m_{ПД} \cdot (t_{ПД К} - t_{ПД П}) + c_{П} \cdot m_{П} \cdot (t_{П К} - t_{П П}), \quad (2)$$

де Q_B – кількість теплоти, що витрачається на нагрівання бетонної суміші (бетону) в установці за вибраний інтервал часу, Дж;

Q_Φ – кількість теплоти, що витрачається на нагрівання форм за вибраний інтервал часу, Дж;

$Q_{ЧТ}$ – кількість теплоти, що витрачається на нагрівання частини теплоізоляційного матеріалу за вибраний інтервал часу, Дж;

$Q_{ПД}$ – кількість теплоти, що витрачається на нагрівання частини підлоги камери за вибраний інтервал часу, Дж; якщо в процесі, котрий досліджується, підлога прогривається по товщині та прогривається частина ґрунту, то це необхідно врахувати в тепловому балансі;

$Q_{П}$ – кількість теплоти, що витрачається на нагрівання повітря прошарків за вибраний інтервал часу, Дж (ця складова представленого теплового балансу в порівнянні з іншими складовими рівняння має невелике значення, і нею можна знехтувати);

$c_B, c_M, c_T, c_{ПД}, c_{П}$ – питома масова теплоємність відповідно бетонної суміші (бетону), металу форм, теплоізоляційного матеріалу, матеріалу підлоги камери, повітря, Дж/(кг · °С);

$t_{БП}, t_{БК}$ – температура бетонної суміші (бетону) відповідно на початку і наприкінці вибраного інтервалу часу, °С; $t_{\Phi П}, t_{\Phi К}$ – температура форм відповідно на початку й наприкінці вибраного інтервалу часу, °С; $t_{ЧТ П}, t_{ЧТ К}$ – температура нагрітої частини теплоізоляційного матеріалу відповідно на початку і наприкінці вибраного інтервалу часу, °С; $t_{ПД П},$

$t_{ПД К}$ – температура нагрітої частини підлоги відповідно на початку і наприкінці вибраного інтервалу часу, °С;

$t_{П П}, t_{П К}$ – температура повітря прошарків відповідно на початку і наприкінці вибраного інтервалу часу, °С;

$m_B, m_\Phi, m_{\text{ЧТ}}, m_{\text{ПД}}, m_{\text{П}}$ – маса відповідно бетонної суміші (бетону), форм, нагрітої частини теплоізоляційного матеріалу, нагрітої частини підлоги, повітря, кг.

Температура бетонної суміші (бетону) наприкінці довільного проміжку часу дорівнює

$$t_{BK} = t_{BP} + \frac{Q_{EK} - c_M \cdot m_\Phi \cdot (t_{\Phi K} - t_{\Phi П}) - c_T \cdot m_{\text{ЧТ}} \cdot (t_{\text{ЧТК}} - t_{\text{ЧТП}})}{c_B \cdot m_B} + \frac{-c_{\text{ПД}} \cdot m_{\text{ПД}} \cdot (t_{\text{ПДК}} - t_{\text{ПДП}}) - c_{\text{П}} \cdot m_{\text{П}} \cdot (t_{\text{ПК}} - t_{\text{ПП}})}{c_B \cdot m_B}. \quad (3)$$

Якщо чисельник і знаменник двох останніх складових цього рівняння зменшити в кілька разів (наприклад – у κ_m разів), то результат обчислень за формулою (3) не зміниться.

За інших рівних обставин:

– якщо зменшити в κ_m разів масу бетонної суміші (бетону), то:

а) кількість теплоти Q_{EK} , що виділяється при взаємодії цементу з водою за певний проміжок часу, зменшиться в κ_m разів, оскільки зменшиться кількість цементу при сталому В/Ц; слід підкреслити, що інтенсивність екзотермії цементу під час гідратації залежить від температури, при якій здійснюється цей процес, тому передбачається, що температурний режим твердіння бетону буде збережений унаслідок заходів, які перелічуються;

б) кількість теплоти Q_B , що витрачається на нагрівання бетонної суміші (бетону) в установці за вибраний інтервал часу, зменшиться в κ_m разів;

– кількість теплоти Q_Φ , що витрачається на нагрівання форм в установці за вибраний інтервал часу, зменшиться в κ_m разів, якщо зменшити в κ_m разів масу форм;

– кількість теплоти, що витрачається на нагрівання частини теплоізоляційного матеріалу $Q_{\text{ЧТ}}$ та частини підлоги $Q_{\text{ПД}}$ за вибраний інтервал часу, зменшиться в κ_m разів, за умови зменшення в κ_m разів об'ємів нагрітих частин цих матеріалів; як зазначалось раніше, за час твердіння бетонних виробів може бути повністю прогріта по товщині підлога та частково прогрітий ґрунт, що необхідно враховувати в дослідженнях;

– кількість теплоти $Q_{\text{П}}$, що витрачається на нагрівання повітря прошарків за вибраний інтервал часу, зменшиться в κ_m разів, якщо зменшити в κ_m разів об'єм повітряного простору в установці.

Таким чином, температурний режим твердіння зразків у лабораторній установці буде наближеним до температурного режиму твердіння виробів у виробничій установці, якщо надходження і витрати теплоти цих систем будуть пропорційними, а початкові температури складових систем – однакові.

Для більш точного моделювання зазначеного температурного режиму необхідно виконати таке положення теорії подібності: подібні явища відбуваються в геометрично подібних системах. У випадку, що розглядається, геометрично подібними повинні бути розміри зразків і виробів, а також – розміри лабораторної та виробничої установок. Ця умова може бути виконаною, якщо бетонні вироби мають невеликі розміри. Але у випадках, коли бетонні вироби мають великі розміри, виготовити геометрично подібні їм зразки для випробовування в лабораторній установці не виявляється можливим. Зазначений чинник слід урахувати при аналізі експериментальних досліджень.

Для планування експериментів, які здійснюються в лабораторній установці, доцільно виконати попередні випробовування зразків згідно з «методом теплоізолюваного зразка».

Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі

Представлено принципи експериментального методу прогнозування зміни температури бетонних виробів при їх твердінні без використання теплоносія в теплий період року. Цей метод може бути застосовано і для холодного періоду року з унесенням відповідних корегувань.

Прогнозування вказаного температурного режиму є складовою частиною прогнозування строків набору міцності бетонними виробами.

На цьому етапі досліджень приймається, що бетонні вироби накриваються не тільки теплоізоляційним кожухом, але й гідроізоляційним матеріалом. Масообмін між поверхнею виробів і повітрям прошарків відсутній. У подальших дослідженнях цей фактор необхідно вивчати.

Література

1. 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. – Вып. 22. – С. 22 – 28.
2. Взаимосвязь кинетики тепловыделения и прочности при твердении вяжущих веществ и бетонов // Калориметрия цемента и бетона: избранные труды / А.В. Ушеров-Маршак. – Х.: Факт, 2002. – С. 54 – 57.
3. Бабицкий В.В. Прогнозирование характеристик твердеющего тяжёлого бетона / В.В. Бабицкий, С.Д. Семенюк, М.С. Бибик / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2009. – Вып. 18. – С. 3 – 12.
4. Троян В.В. Термонапружений стан залізобетону як аспект довговічності монолітних конструкцій / В.В. Троян // Науково-технічний збірник «Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка». – 2010. – Вып. 35. – Київ: Товариство «Знання» України. – С.119 – 124.

5. Федосов С.В. 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.

Надійшла до редакції 20.11.2012

© Т. С. Кугаєвська, В. В. Шульгін

УДК 666.972

*Т. С. Кугаевская, к.т.н., доц.,
В. В. Шульгин, к.т.н., доц.*

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ИХ ТВЕРДЕНИИ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЁПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Представлен анализ возможности экспериментального прогнозирования изменения температуры бетонных изделий при их твердении без использования теплоносителя в тёплый период года. Источником поступления теплоты в этом процессе является тепловыделение цемента при гидратации.

Ключевые слова: бетонные изделия, экзотермия цемента.

UDC 666.972

*T. S. Kugaevskaya, Ph. D., Associate Professor,
V. V. Shulgin, Ph. D., Associate Professor
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*

ANALYSES OF CHANGES OF CONCRETE PRODUCTS TEMPERATURE FORECASTING POSSIBILITY WHEN CURING WITHOUT HEAT CARRYING AGENT USE IN THE WARM SEASON

The analyses of changes of concrete products temperature forecasting possibility when curing without heat carrying agent use in the warm season is presented. The source of heat income in this process is cement heat liberation during hydration.

Keywords: concrete products, cement heat generation.