

УДК 691.3

Троян В.В., кандидат технических наук, доцент,
Кривенко П.В., доктор технических наук, профессор
КНУСА, НИИВМ
Воздухофлотский пр-т, 31, 03680, Киев,
тел. 067-8822861, e-mail: s_troy@ukr.net

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МОНОЛИТНОГО ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО БЕТОНА ТВЕРДЕЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА

Методом конечных элементов смоделирована трещиностойкость монолитного шлакощелочного бетона в условиях жаркого климата.

Ключевые слова: шлакощелочной бетон, трещиностойкость, моделирование

Введение

Важнейшее значение для обеспечения долговечности массивных сооружений возводимых из монолитного бетона имеет их трещиностойкость [1]. Трещинообразование в массивном монолитном бетоне носит обычно термический характер. Саморазогрев бетонных конструкций при твердении приводит к образованию в их центральной части почти адиабатических условий, в то время как поверхностные слои бетона за счет охлаждения воздухом и испарения воды находятся в частично адиабатических условиях и характеризуются более низкой температурой. В результате градиентов температуры и влажности в бетоне возникают деформации, которые при наличии пространственных ограничений приводят в одной части конструкции к сжимающим усилиям, а в другой - к растягивающим. Если эти усилия превышают предел прочности при растяжении, тогда на поверхности конструкции будут образовываться и распространяться трещины. При этом для обеспечения трещиностойкости монолитного бетона большое значение имеет как тепловыделение и температура бетона в момент его укладки, так и процесс ухода за ним.

Целью настоящей работы является моделирование трещиностойкости монолитного бетона на основе шлакощелочных цементов с различным тепловыделением твердеющего в условиях жаркого климата.

Методика исследований и материалы

Составы исследуемых шлакощелочных бетонов отличающихся расходом шлакощелочного цемента, видом щелочного компонента и содержанием золы уноса представлены в таблице 1.

Таблица 1

Составы шлакощелочных бетонов

	№ 1	№ 2	№ 3
Шлак	352	317	352
ПЦ I -500	8	8	8
Зола	-	70	-
Песок	670	670	670
Щебень 5-20 мм	1150	1115	1150
Вода	148.3	152	160
Na ₂ CO ₃	16	16	8
Na ₂ SiO ₃ ·5H ₂ O	24	24	32
Пластификатор	3	3	3
Плотность, кг/м ³	2390	2400	2400

Объектом моделирования была выбрана монолитная стена шириной 3 м, высотой 7 м и длиной более 100 м, бетонируемая в условиях жаркого климата. При моделировании рассматривали контрольные точки в соответствии со схемой (рис. 1).

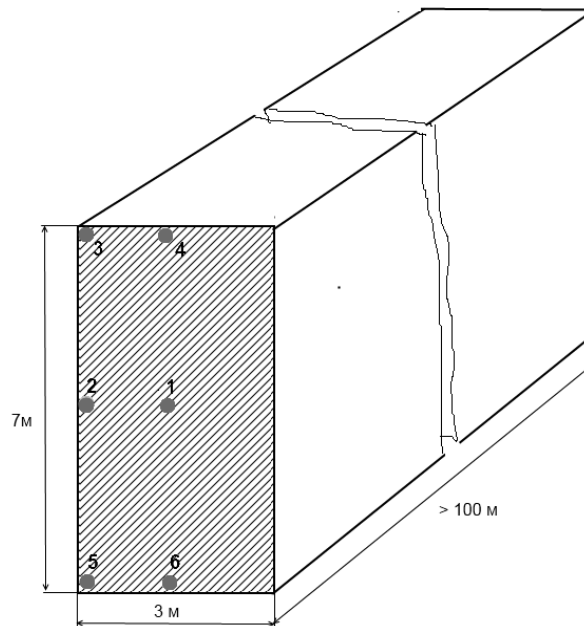


Рисунок 1. Контрольные точки по сечению стены

Моделирование трещиностойкости бетона выполняли в условиях, когда температура свежесушеного бетона и температура окружающего воздуха составляет 30°C. Для минимизации риска трещинообразования были приняты следующие допущения:

- допустимая величина непродолжительного раскрытия трещин - до 0,25 мм, продолжительного - до 0,2 мм;

- допустимая разница температуры между ядром и боковой поверхностью конструкции составляет 18 °С, между ядром верхней и нижней поверхностями – 16 °С;

- скорость охлаждения бетона в конструкции не должна превышать 1°C/сут.

Исследование тепловыделения бетона различных составов выполняли в адиабатическом калориметре. Для моделирования тепловыделения использовалась формула:

$$Q(\tau) = Q \cdot \left(1 - e^{-k_Q \cdot \tau^{n_Q}} \right)$$

Уравнение 1 – формула, применяемая для моделирования тепловыделения

где:

Q – интегральное тепловыделение бетона;

τ – время;

k_Q и n_Q – безразмерные коэффициенты, определенные по методу Монте-Карло.

Математическое моделирование трещиностойкости бетона осуществляли с использованием профессионального программного комплекса «Elcut» [2].

Обсуждение и результаты исследований

Исследование в адиабатическом калориметре разогрева различных бетонов (рис.2) свидетельствует, что разогрев шлакощелочных бетонов на ранних сроках твердения в 2 раза ниже

разогрева бетонов того же класса по прочности на основе вяжущих содержащих клинкер. На поздних сроках твердения, когда температура вяжущих содержащих клинкер стабилизируется, рост температуры шлакощелочных вяжущих продолжается со скоростью 0,5-1°С/сутки.

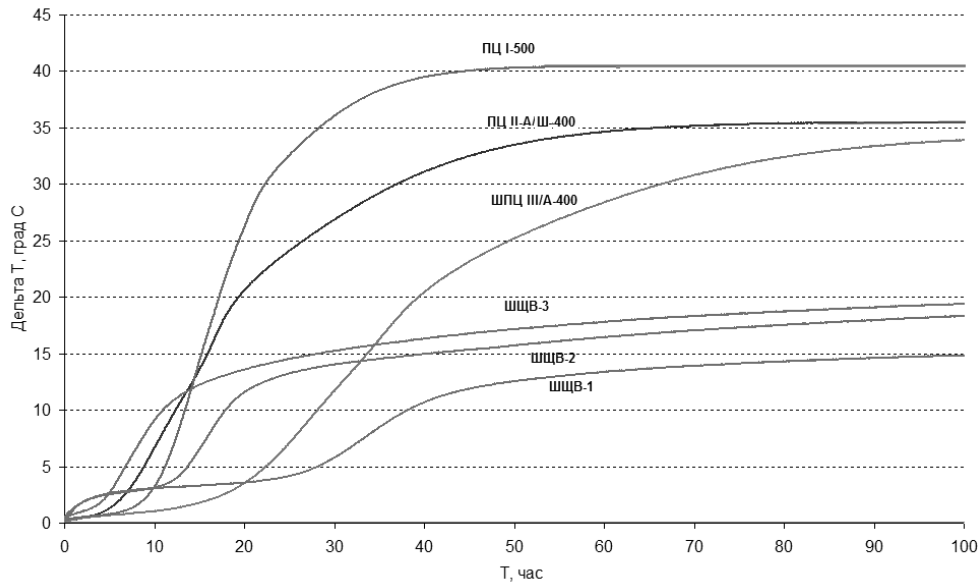


Рисунок 2. Развитие температуры бетонов на основе различных цементов

Для моделирования распределения температур по сечению стены выбран состав бетона №3, как менее благоприятный с точки зрения тепловыделения, но имеющий ускоренный набор прочности. Результаты моделирования приведены на рис.3-4.

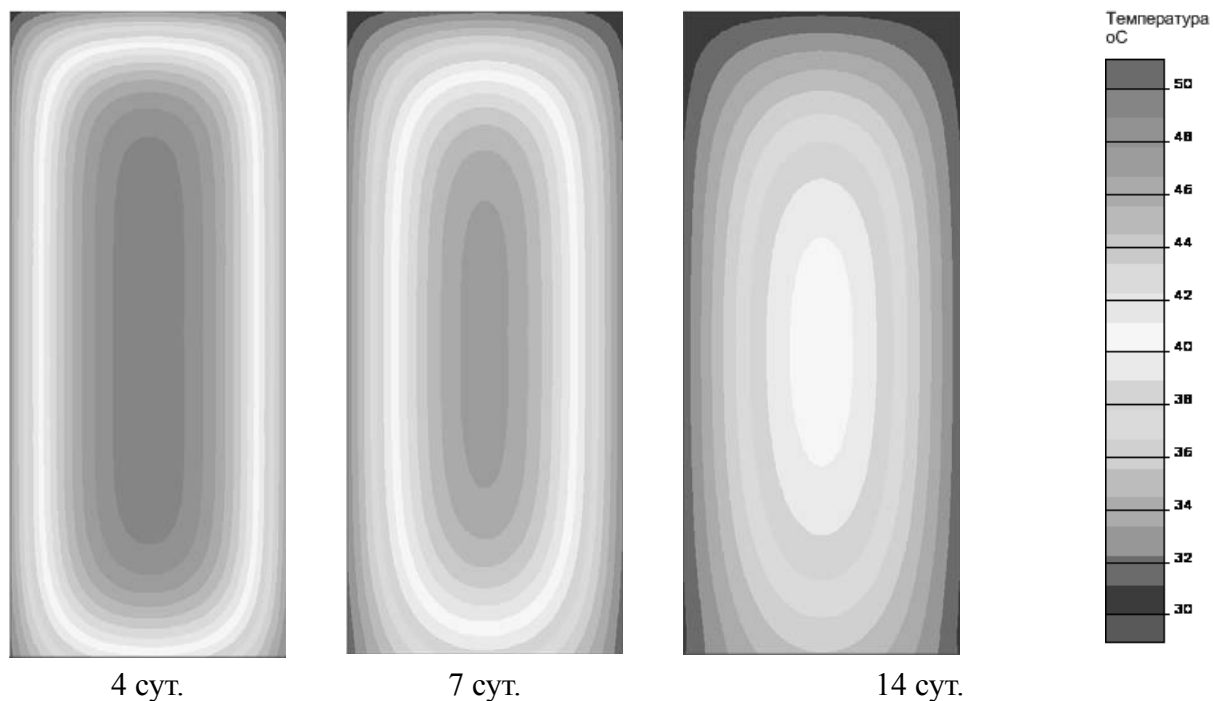


Рисунок 3. Температурные поля в сечении стены на разных сроках твердения

По результатам анализа рис. 4 видно, что во всех точках кроме точки 3, разница температур остается в допустимых пределах, а именно: между ядром (1) и точкой 2: $\Delta \sim 15^\circ\text{C}$; между ядром (1) и точкой 3: $\Delta \sim 19^\circ\text{C}$; между ядром (1) и точкой 4: $\Delta \sim 16^\circ\text{C}$; между ядром (1) и точкой 5: $\Delta \sim 18^\circ\text{C}$; между ядром (1) и точкой 6: $\Delta \sim 10^\circ\text{C}$. Максимальная температура в ядре конструкции не превышает 50°C , а скорость охлаждения не превышает $1^\circ\text{C}/\text{сут}$. Максимальное растягивающее напряжение на поверхности стены вследствие внутренних ограничений может достигать на 4 сутки – 4,3 МПа, на 7 сутки – 3,6 МПа и на 14 сутки – 2,2 МПа, что фактически на уровне прочности бетона на растяжение.

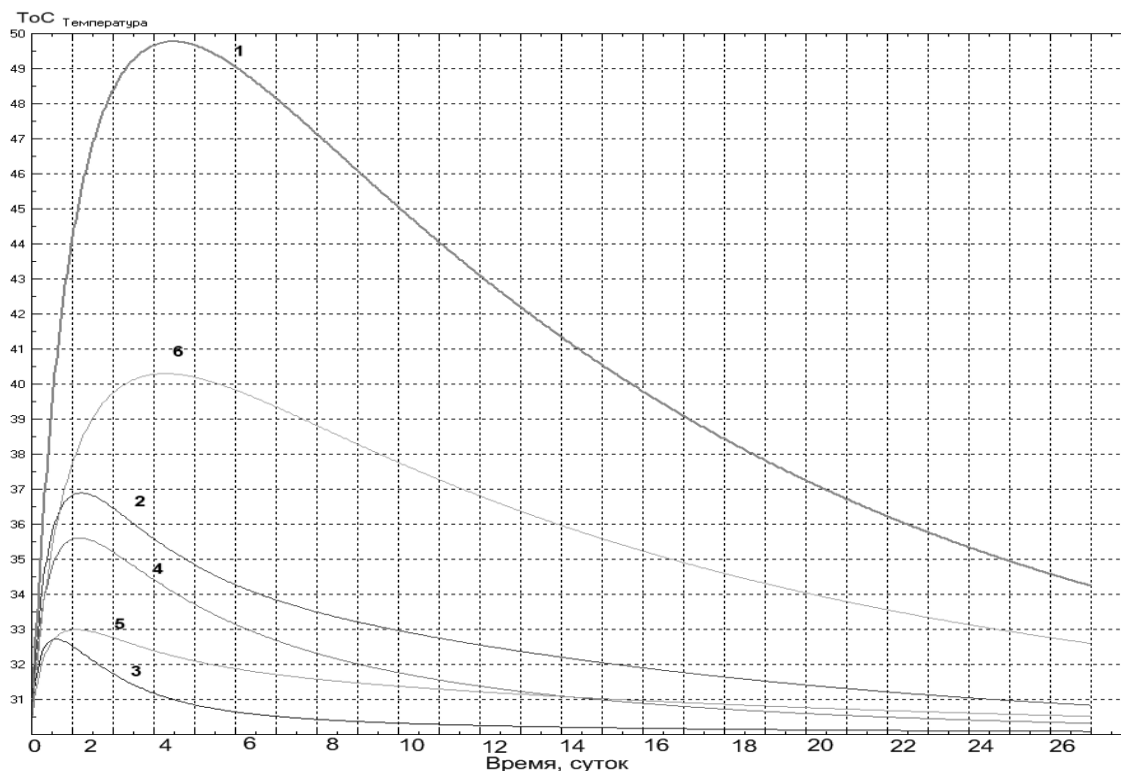


Рисунок 4. Изменение во времени температуры по модели в сечении бетонной стены в контрольных точках 1..6 (рис.1)

Анализ сингулярности напряжений в вершинах трещин в наиболее напряженных частях сечения стены свидетельствует, что критические значения коэффициента интенсивности напряжений (КИН) [3] не достигаются, таким образом, трещинообразование при таком разогреве бетонной конструкции является маловероятным.

Хотя шлакощелочные бетоны характеризуются усадочными деформациями на уровне портландцементных бетонов [4], однако их меньший разогрев в условиях жаркого климата в меньшей мере вызывает диффузию паров воды в окружающую среду и, соответственно, меньше ускоряет процессы усадки бетона. Так, в случае шлакощелочных бетонов при разнице температуры бетона и окружающей среды 20°C , скорость диффузии воды в окружающую среду, в соответствии с законом Фика [5], может увеличиться в 12 раз. В то же время при использовании бетона на основе портландцемента, при разнице температуры бетона и окружающей среды 40°C , скорость диффузии воды может увеличиться более чем в 38 раз.

Вероятные параметры глубины и ширины трещинообразования вследствие усадки в условиях внутренних ограничений, определенные путем оптимизации моделей бетонов [6] по критерию КИН в вершине трещины, приведены на рис.5-6. Как видно из рис.5, при условии шага армирования до 0,125м и при глубине трещины более 30 мм, КИН в вершине трещины не превышает критического для бетона, а ширина раскрытия трещин при таких условиях не будет превышать 0,02 мм (рис.6). Вследствие усадочных деформаций бетона, при условии шага

армирования 0,25м, возможно образование трещин глубиной до 80 мм (рис.5-6). При этом ширина раскрытия таких трещин не будет превышать 0,035 мм (рис.6). При шаге трещинообразования до 0,5 м, вследствие усадочных деформаций бетона, возможно образование трещин глубиной до 140 мм при ширине их раскрытия до 0,060 мм (рис.5-6).

В соответствии с законом Фика, приведенные выше параметры трещинообразования вероятны, в случае твердения бетона в условиях жаркого климата без надлежащего ухода за поверхностью массивных конструкций из портландцементного бетона - в течение 3 суток, из шлакощелочного бетона - в течении 10 суток.

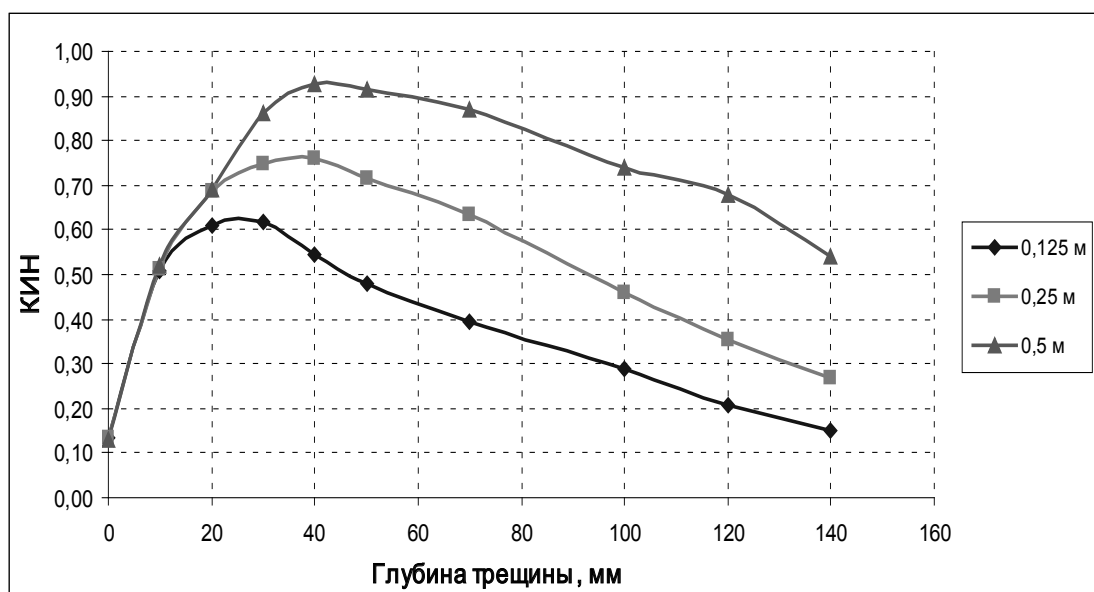


Рисунок 5. Значение КИН у вершины трещины в зависимости от шага армирования и глубины усадочных трещин

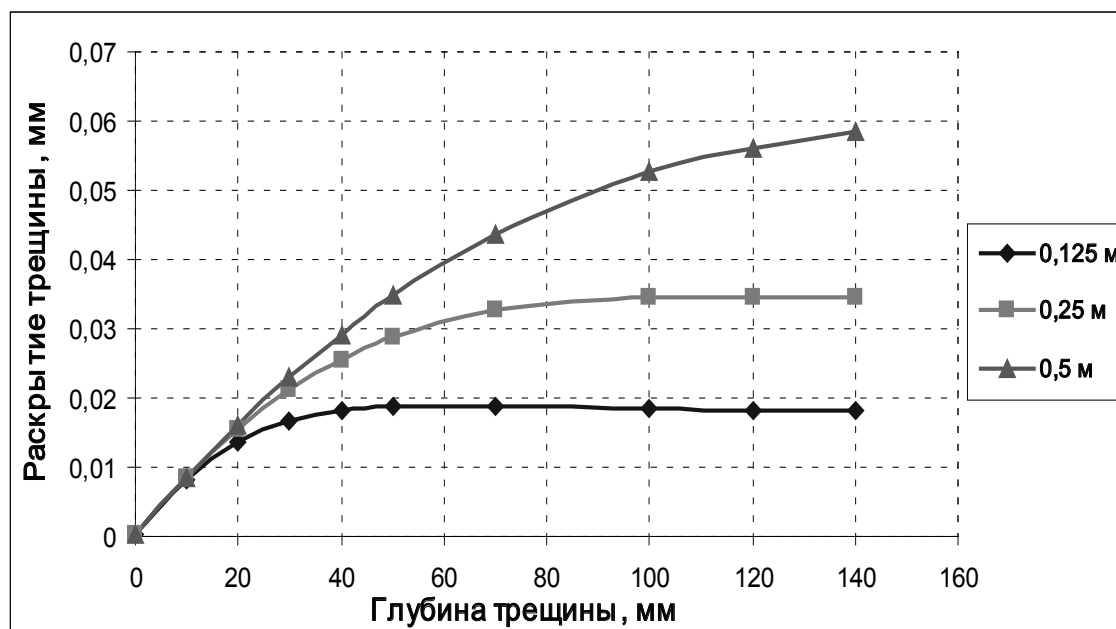


Рисунок 6. Раскрытие трещин в зависимости от шага армирования и глубины усадочных трещин

Висновки.

1. Поскільки, в отличіи від портландцементного бетону, шлакощелочної бетон за 7 суток розігрівається не більше 20 °С від початкової температури бетонної суміші, але зростання його температури зі швидкістю 0,5-1°С/сутки продовжується і після 7 суток твердіння, з метою мінімізації температури розігріву шлакощелочного бетону цілесообразно забезпечити його твердіння без утеплителя.

2. Твердіння шлакощелочного бетону без утеплителя може здійснюватися при умові, що початкова температура бетонної суміші нижче температури оточуючого повітря, для забезпечення допустимої різниці температур між ядром і поверхнею бетону і швидкості охолодження менше 1°С/сутки.

3. Не зважаючи на низький розігрів шлакощелочного бетону, при твердінні в умовах жаркого клімату для запобігання пересушування свіжеуложеної бетонної суміші цілесообразно одразу ж після укладки і ущільнення організувати її укриття поліетиленовою плівкою з високим коефіцієнтом відбиття сонячної радіації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Штарк Й. Цемент і вапно / Й. Штарк, Б. Віхт. Київ, 2008. - С. 480.
2. <http://elcut.ru/>
3. Солодкий С. Й. Наукові засади підвищення тріщиностійкості дорожнього цементного бетону : Дис на здоб. наук. ступеня д-ра наук: 05.23.05 - 2009.
4. Долговечность шлакощелочного бетону / П.В. Кривенко, Е.К. Пушкарева. - К.: Будівельник, 1993. - 224 с.
5. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. / Долговечность железобетона в агрессивных средах: Совм. изд. СССР - ЧССР - ФРГ - М.: Стройиздат, 1990. - 320 с.
6. Троян В.В. Прогнозування параметрів тріщиноутворення бетонів для монолітних конструкцій. / Збірник Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка.—2012.—№46.— С. 35-41.

MODELING OF CRACK RESISTANCE ALKALI ACTIVATED SLAG CEMENT CAST-IN-SITU CONCRETE CURING IN HOT CLIMATE CONDITIONS

© Troyan Vyacheslav, Kryvenko Pavlo

By the finite element method alkali activated slag cement cast-in-situ concretes of crack resistance in hot climates modeled.

Keywords: Alkali activated slag cement concrete, cracking, modeling

МОДЕЛЮВАННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ МОНОЛІТНОГО ШЛАКОЛУЖНОГО БЕТОНУ, ЩО ТВЕРДНЕ В УМОВАХ ЖАРКОГО КЛІМАТУ

© Троян Вячеслав Васильович, Кривенко Павло Васильович

Методом кінцевих елементів змодельовано тріщиностійкість монолітного шлаколужного бетону в умовах жаркого клімату.

Ключові слова: Шлаколушний бетон, тріщиностійкість, моделювання.