

Система прогнозирования термической трещиностойкости бетона в монолитных конструкциях

В современных условиях, не смотря на развитие аппаратных решений и систем моделирования, при строительстве массивных бетонных конструкций мало внимания уделяется вопросам контроля и регулирования температурного режима бетонной смеси и твердеющего бетона в строительный период. При этом, в ряде случаев, используются высокоактивные цементы которые выделяют значительное количество тепла в более короткий период времени. При этом возникают неравномерные температурные поля и значительные градиенты температур даже не в массивных конструкциях, которые порождают растягивающие термонапряжения - сначала на поверхности плиты, а затем в ее центральных зонах, являясь основной причиной образования температурных трещин [1].

Исследование термонапряженного состояния и трещиностойкости бетонных массивов в строительный период ранее являлось сложным и трудновыполнимым процессом. В настоящее время, в связи с разработкой соответствующего аппаратного обеспечения не является таковым, и в ряде случаев принятие решений (например о возможности снятия опалубки) может быть автоматизировано.

Целью настоящей работы является создание универсальной расчетной системы и соответствующего ей аппаратного обеспечения для исследования, обработки и прогнозирования трещиностойкости бетона в различных условиях твердения.

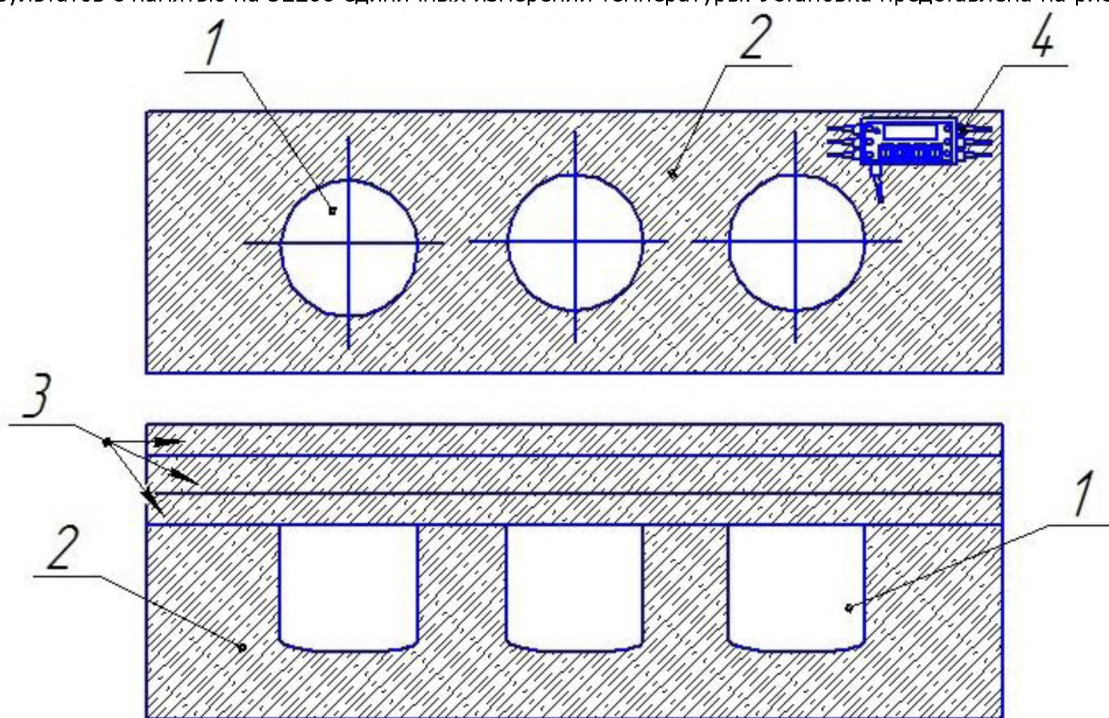
Исследование подобранного состава бетона и расчетное прогнозирование термонапряженного состояния и трещиностойкости бетона для конкретной конструкции необходимо выполнять в 3 взаимосвязанных этапа:

1ЭТАП. Экспериментальные исследования термодинамических характеристик цементной композиции и бетонной смеси в разработанной экспериментальной установке [2].Основной целью данного этапа является исследование кинетики тепловыделения цемента и бетона на его основе с целью выбора его оптимального состава.

Измеряемые тепловые эффекты прямо или косвенно связаны с рядом свойств твердеющих в присутствии добавок цементов и бетонов. Это — сроки схватывания, темп нарастания прочности, сохранность подвижности бетонной смеси, В/Ц и др., регламентируемые нормами EN 206 и EN 934.Данный этап так же используется для корректировки расхода и выбора вида составляющих.

В экспериментальных опытах использовалась недорогая стационарная установка и термосный метод исследования.

Основными элементами установки является каркас стенок и днища, съемная крышка, датчики. Изготовленная из пенопласта она имеет прямоугольную форму (рисунок 1). Каркас установки 2 для уменьшения тепловых потерь сделаны из пенопласта, коэффициент теплопроводности которого составляет $0,04 \text{ Вт/(м*К)}$. В основе проделываются три ячейки 1 для помещения в последующем образцов. Крышка 3 имеет три части, созданных из того же материала. Для получения данных о экзотермии используется микропроцессорный четырех каналный блок 4 считывания и сохранения результатов с памятью на 32200 единичных измерений температуры. Установка представлена на рисунке 1.



1 – ячейки; 2 – основа из пенопласта; 3 – крышка; 4 – датчик.

Рисунок 1 – Разрез установки для исследования тепловыделения составов

Пример получаемой зависимости приведен на рисунке 2.

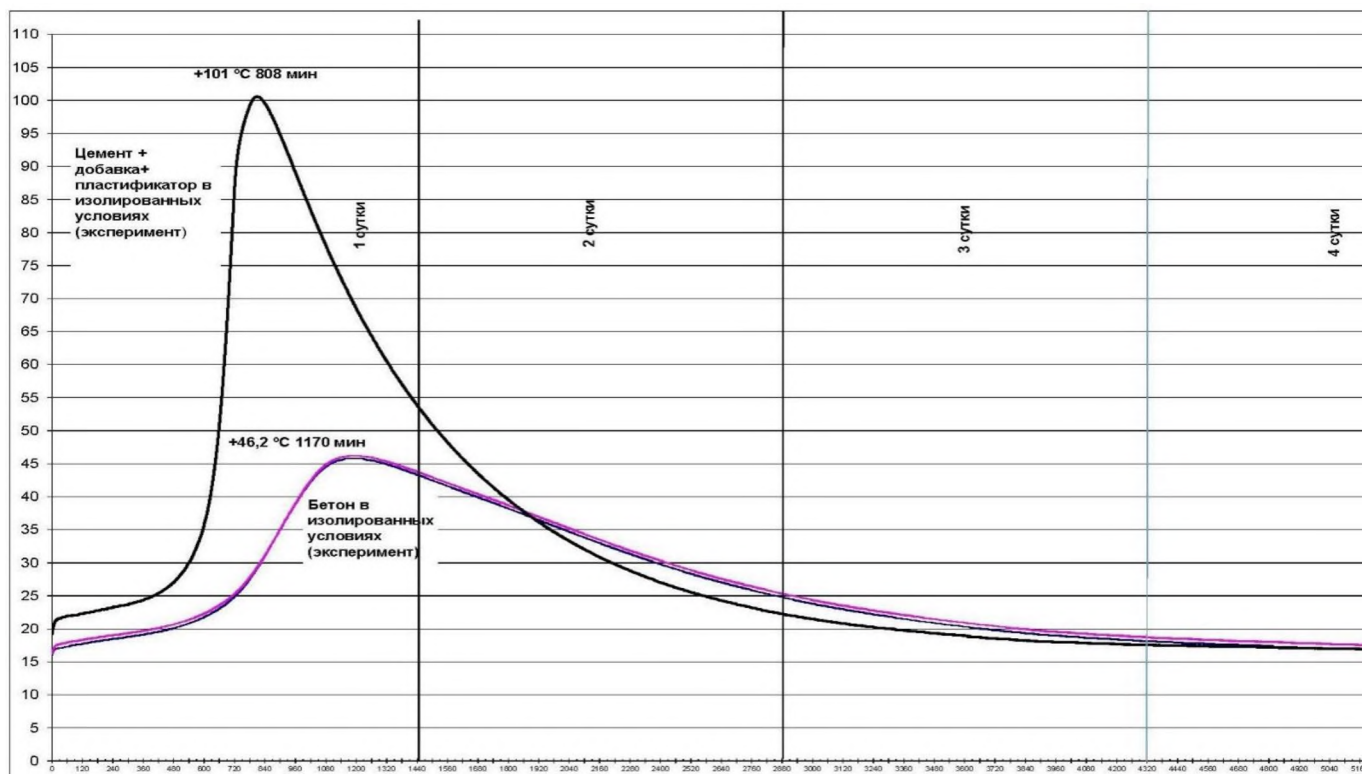


Рисунок 2 – Термокинетические кривые экспериментального твердения цемента и бетона

2ЭТАП. Моделирование термодинамического состояния реальной конструкции при планируемых внешних условиях твердения с прогнозированием трещиностойкости бетона от градиентов температур. На данном этапе определяется разность тепла, выделенного в результате гидратационных процессов (а также привнесенного извне в случае применения нагревателя) и тепла, ушедшего в окружающее пространство и на нагрев арматуры, опалубки, компонентов бетона, что определяет текущую температуру твердеющего бетонного массива. В свою очередь, новое значение температуры (большее или меньшее предыдущей) вызывает и соответствующее изменение скорости гидратации, тепловыделения и т.д. Таким образом, разбив весь временной процесс твердения на достаточно малые отрезки, равные, например, 1 часу, можно постоянно отслеживать изменение температуры бетонного массива, прочности бетона, отражая кинетику твердения в виде графиков. В этом случае достигается существенно большая точность вычислений, поскольку устраняется усреднение внешней температуры за определенный период времени – ее изменение непрерывно учитывается. В модель вводится долгосрочный прогноз погоды. Пример получаемых значений для разных условий твердения ($T_{\text{среды}}$) приведен на рисунке 3

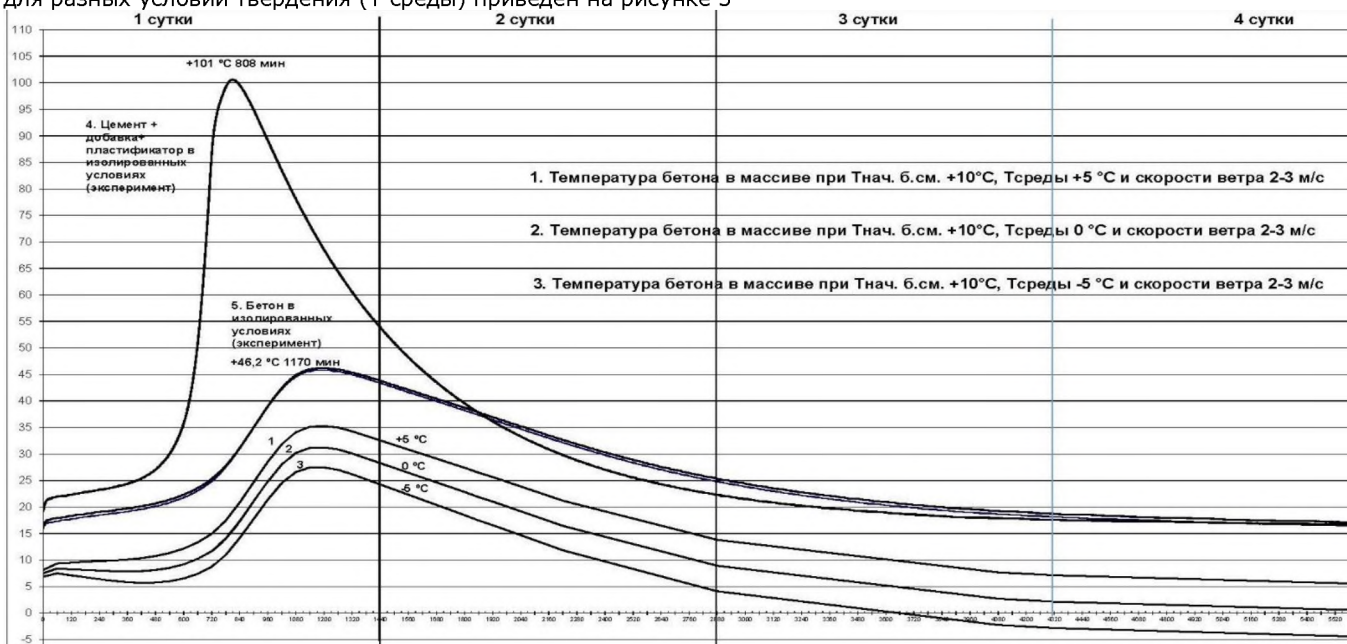


Рисунок 3 – Модельные кривые твердения бетона при различных условиях среды

3ЭТАП. Мониторинг реального распределения температур в бетонируемой конструкции с целью уточнения расчетной модели при повторяемости условий бетонирования. Так же, особенно в холодный период, мониторинг позволяет точно определить момент безопасного снятия опалубки для предотвращения теплового удара.

Модельные и реальные температурные кривые для выбранных условий твердения б.с. в одной из реальных конструкции приведены на рисунке 4.

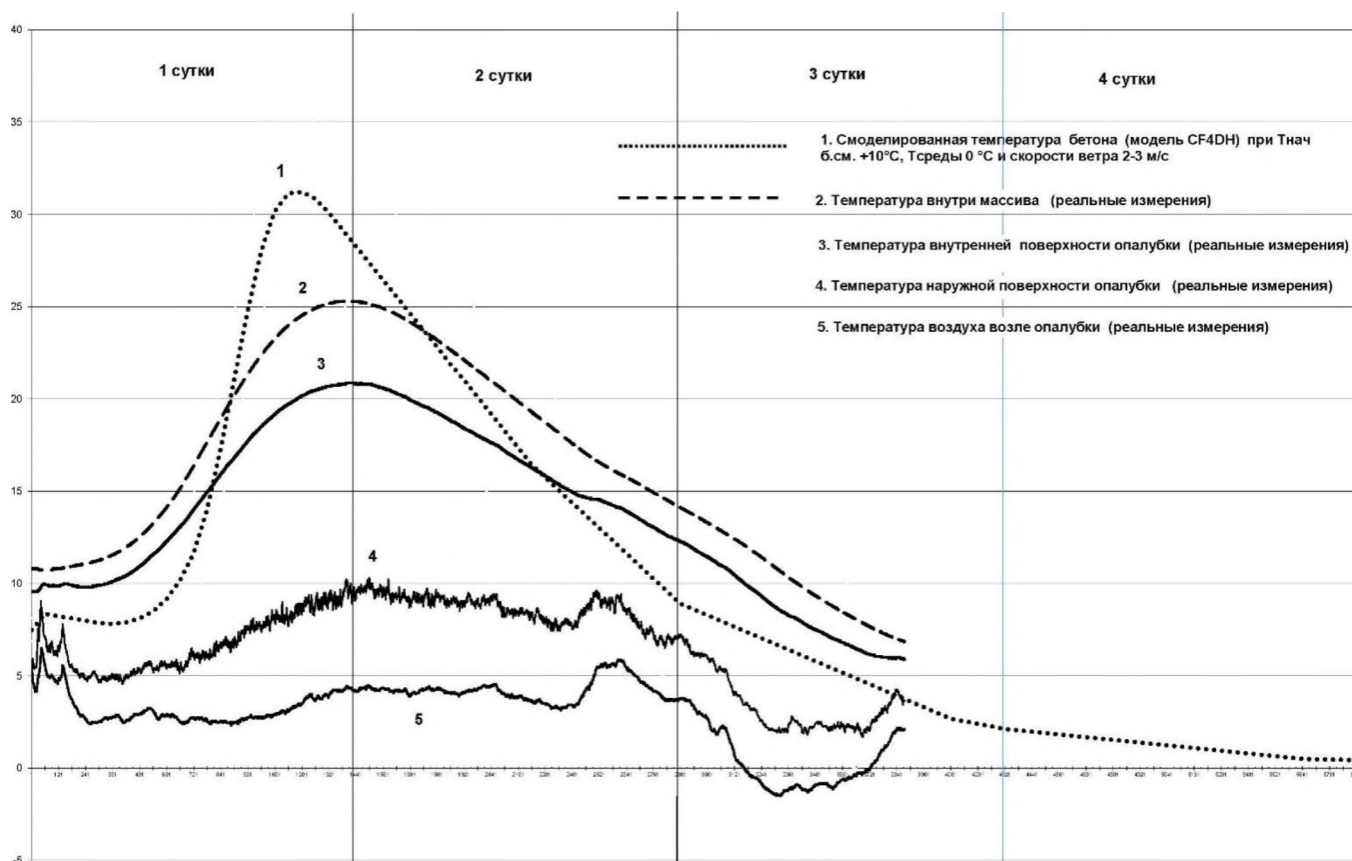


Рисунок 4 Расчетная температура внутри бетона(1), полученные температуры: внутри массива(2), на поверхности (3), температура опалубки (4), воздуха (5).

Результаты. На основании полученных данных было проведено моделирование напряженного термодинамического состояния реальной конструкции при различных внешних условиях твердения с прогнозированием трещиностойкости бетона от градиентов температур. Напряжения в бетоне внутри конструкции определялись с учетом изменяющегося во времени модуля упругости бетона и полученных при моделировании градиентов температур.

Полученные расчетные зависимости были проверены экспериментально при бетонировании, что показало хорошую сходимость теоретических и практических результатов и возможность применения разработанного программно-аппаратного комплекса для повышения качества массивных монолитных конструкций.

Список цитированных источников:

1. Александровский С.В. Расчёт бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учётом ползучести. М.: Стройиздат, 1973. 444 с.
2. Сайт кафедры ТБиСМУО БрГТУ [Электронный ресурс]. – Брест, 2023. – Режим доступа: http://tbsm.bstu.by/?page_id=284 – Дата доступа: 22.02.2023г.