



Имитационное моделирование зимнего бетонирования стеновой конструкции

М.В. Комаринский ^{1*}, Р.В. Онисковец ²

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

doi: 10.18720/CUBS.58.2

ИСТОРИЯ

Подана в редакцию 06.03.2017

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Бетонная смесь;
густоармированная конструкция;
стенная конструкция;
зимнее бетонирование;
греющие провода;
программа ELCUT;
термодинамическая задача;
прогрев бетона.

АННОТАЦИЯ

Существует много технологий зимнего бетонирования, как в отечественной, так и зарубежной практике. При большом выборе вариантов прогрева бетона, применяемой для различных конструктивных систем и условий внешней среды, в настоящее время наиболее распространен метод прогрева проводами. Анализ современных методов термообработки бетона показывает, что использование греющих проводов позволяет обеспечить подвод тепла непосредственно к бетону в необходимом объеме на каждом этапе его выдерживания. Это способствует оптимизации процесса электропрогрева, а также оказывает влияние на скорость подъема температуры и остывания бетона. В данной статье рассматривается моделирование с использованием современных программно-вычислительных комплексов способных решить задачу прогрева бетона на этапах его выдерживания. Одним из комплексов, призванных решать такие задачи методом конечных элементов, является программный пакет ELCUT. Он вместе с надстройкой WinConcret способен рассчитать температурные поля, строить график набора прочности бетона и рассчитать температурные деформации от прогрева строительных конструкций. В рамках работы выполнено моделирование задачи прогрева бетона монолитной стены греющим проводом. Решена задача о распределении температурных полей по сечению конструкции монолитной стены и набора прочности бетона. С целью ускорения твердения бетона предложено использовать, например, быстросхватывающийся цемент или греющую опалубку.

Содержание

1.	Введение	19
2.	Методика и исходные данные	20
3.	Результаты и обсуждение	22
4.	Заключение	25

Контактная информация:

- ¹ * +7(812)297-59-49, komarin@cef.spbstu.ru (Комаринский Михаил Викторович, канд. техн. наук, доцент)
² +7(960)281-60-91, romaonis@gmail.com (Онисковец Роман Владимирович, студент)

1. Введение

Одним из важнейших направлений развития современного строительства является применение монолитного бетона при возведении зданий и сооружений. Одним из недостатков монолитного строительства являются сложности в производстве работ при отрицательных температурах. Из за проведенных исследований и накопленному за десятилетия производственному опыту, подобные работы в зимних условиях выполняются круглогодично [1].

Например, применение литых и самоуплотняющихся бетонных смесей [2–5], бетононасосов и автобетоносмесителей [6–11], термоопалубочных форм и других передовых технологий [12–14] значительно повысило интенсивности укладки бетонных смесей и сделало возможным сокращение риска замораживания бетонной смеси до начала обогрева [15].

В свою очередь, появление быстротвердеющих цементов и повышение их технических характеристик позволило лимитировать применение, как противоморозных добавок, так и режимов подогрева бетонной смеси [16–23]. Кроме того, появились различные теплоизоляционные материалы, технологии предварительного разогрева бетонной смеси [24].

Существует много способов зимнего бетонирования, как в зарубежной, так и в отечественной практике. Одним из наиболее значимых способов бетонирования конструкций зимой является предварительный электроразогрев бетонной смеси. Тем не менее, этот способ технически сложно реализуем. Способы прогревания конструкций «греющий провод» и электродный прогрев, которые также часто используются в строительстве, имеют свои преимущества, так и недостатки. При большом выборе вариантов прогрева бетонной смеси, применяемой для различных конструктивных систем и условий внешней среды, в настоящее время наиболее распространен способ прогревания проводами. Это прокладка греющего провода в колонны, стены и перекрытия. Анализ современных методов термообработки бетона показывает, что использование греющих проводов позволяет обеспечить подвод тепла непосредственно к бетону в необходимом объеме на каждом этапе его выдерживания. Это способствует оптимизации процесса электропрогрева, а также оказывает влияние на скорость подъема температуры и остывания бетона.

Метод прогрева с применением греющего провода, уложенного в тело бетона, имеет ряд преимуществ:

- тепло от провода с большим электрическим сопротивлением выделяется непосредственно в бетон;
- прогрев бетона можно осуществлять сразу после укладки смеси;
- данный метод позволяет производить контроль температуры, регулирование процесса нагрева и остывания бетона;
- прогрев проводом не задерживает производства работ, бетон набирает марочную прочность за несколько дней.

Таким образом, способ обогрева с применением греющих проводов хоть и имеет свои недостатки, но является самым предпочтительным. Он также рекомендуется для тонкостенных конструкций.

Суть способа состоит в прокладке провода с большим электрическим сопротивлением в конструкцию перед заливкой бетонной смеси. Провода подсоединяются к станциям прогревания бетонной смеси или трансформаторам. Под действием электрического тока провода нагреваются и являются источником тепла для железобетонных конструкций.

Моделирование предварительного расчета и последующий контроль температуры являются важными составляющими зимнего бетонирования [25–29]. Предварительный расчет температуры выдерживания и решение задачи термодинамики являются необходимыми условиями получения качественной монолитной строительной конструкции.

Существующие ручные расчеты приблизительны и не учитывают всех факторов, влияющих на температуру. Моделирование с использованием современных программных комплексов способно решить данную задачу [22, 28, 29]. Одним из программных комплексов, призванных решать такие задачи методом конечных элементов, является программный пакет ELCUT [23, 30]. Он совместно с надстройкой WinConcret способен рассчитать температурные поля, строить график набора прочности бетона и рассчитать температурные деформации от обогрева строительных железобетонных конструкций.

Почему выбран вышеназванный программный пакет:

- 1) Это невероятно простой в освоении и использовании инструмент, который не требует обучения, при этом его функционала достаточно для решения основной массы задач;
- 2) Он имеет исключительно нетребовательность к ресурсам и высокую скорость решения, и достоверность аналогичную тяжелым пакетам;
- 3) Универсальный расчетный пакет, который не ограничивается вопросами выдерживания бетона. Имея его под рукой можно решать широкий круг других задач по электромагнетизму, теплу и механике. Еще один немаловажный плюс – это финансовая доступность этого пакета.

Специфические вопросы реализует специализированная надстройка Winconcret. Средствами основной программы решается обычная задача, т.е. делается прикидочный расчет, затем вызывается специализированная надстройка, вносим в нее некоторые специфические данные, после чего эта надстройка решает уже самостоятельно серию последовательно связанных задач, то есть уточняет расчет в соответствии с заданной спецификой и получает некоторые недостающие параметры.

Программа ELCUT рассчитывает температурные поля в плоскости сечения конструкции, решая стационарную задачу в качестве начальных условий, а затем решает нестационарные задачи с построением температурных полей с заданным шагом интегрирования. В программе имеется ресурс задания различных источников тепла, условий окружающей среды, материалов. В надстройке WinConcret реализован ресурс учета тепла от реакции гидратации цемента. Итогом решения задачи является большое количество температурных полей в различное время прогрева, программа строит график прогрева отдельных участков, а также график набора прочности бетона.

В рамках работы выполнено имитационное моделирование задачи прогрева бетонной смеси монолитной стены прогревающим проводом.

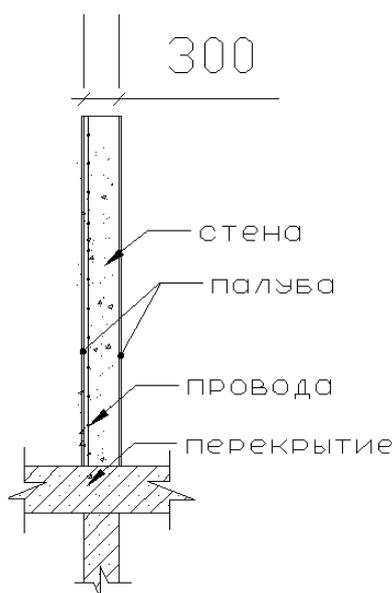


Рисунок 1. Поперечное сечение моделируемой стены.

2. Методика и исходные данные

В качестве объекта исследования выбрана захватка стены (рис. 1) 10000 x 3000 x 300 мм.

Надо построить модель стеновой конструкции с построением сетки конечных элементов и решить задачу о распределении температурных полей по сечению конструкции монолитной стены и набора прочности бетона.

Стена имеет толщину 300 мм, бетонирование ведется при отрицательной температуре воздуха -10°C. Скорость ветрового потока 4 м/с, длительность расчетного периода выдерживания 3 суток. Бетонная смесь с температурой +10°C укладывается на замороженное с температурой -5°C основание – перекрытие. Подогрев ведется проводом, уложенным в стену на арматуру, с шагом 100 мм. В качестве опалубки щиты ламинированной палубы толщиной 20 мм.

Потери тепла в конструкции происходят через опалубку сбоку и сверху, через отвердевший и замерший бетон снизу.

Здесь мы решаем две задачи, основную в которой находимся для определения температурных распределений и режимов выдерживания – т.е. задачу нестационарной теплопередачи, а так же связанную задачу, т.е. задачу стационарной теплопередачи.

Перекрытие – бетон старый, здесь тепловыделение равно нулю.

Отметим греющий провод, характеристика у него 40 Вт на погонный метр. Здесь также есть одно ограничение, связанное с температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) проводников. Стальные нагревательные провода, которые закладывают в бетон конструкции, могут увеличивать при подогреве сопротивление до 40 % относительно первоначального значения. В связи с этим, требуется изменение мощности ресурса тепла, в корреляции от переменной температуры. Программный комплекс ELCUT учитывает изменение мощности только с переменной времени. В связи с этим ТКС нагревательных проводов мы здесь не учитываем. Ребра условий среды, температура – -10°C , коэффициент отдачи конвективной среды равен $23 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}^2$, что равно скорости ветра 4 м/сек.

Итак, в анализируемой модели применены физические параметры и их термодинамические характеристики материалов.

Начальные характеристики:

- класс бетона – В30;
- источник тепла – провод ПНСВ;

Исходные условия:

- температура укладываемого бетона $+10^{\circ}\text{C}$;
- температура арматурной стали -5°C ;
- температура окружающей воздуха -10°C ;
- скорость ветрового потока 4 м/с (коэффициент передачи теплоты конвекцией со стороны окружающего воздушного потока 23 Вт/К м^2);
- мощность прогрева 40 Вт/п.м. провода (при последующем расчете принимается во внимание температурный коэффициент сопротивления $0,0046 \text{ град}^{-1}$).

Свойства материалов и их характеристики

Арматурная сталь:

- теплопроводность – 58 Вт/К м ;
- удельная теплоемкость – 470 Дж/кг К ;
- плотность – 7850 кг/м^3

Бетон:

- теплопроводность – $2,07 \text{ Вт/К м}$;
- переменная объемной плотности тепловыделения, показатели излучения и тепловыделения рассчитывается в WinConcret автоматически в зависимости от температуры и временного интервала;
- удельная начальная теплоемкость – 1050 Дж/кг К ;
- объемная плотность – 2500 кг/м^3 .

Характеристики теплоемкости, теплопроводности, плотности материалов взяты из справочника программного комплекса. Греющие провода заданы вершинами с определенной мощностью тепловыделения.

3. Результаты и обсуждение

Программный комплекс ELCUT вместе с надстройкой WinConcret решают строительные задачи, связанные с подогревом бетона. Данная программа основана на методе конечных элементов (МКЭ). Имитационное моделирование базируется на основных принципах термодинамики и процессах теплопередаче. Программный пакет ELCUT выполняет решение задач методом конечных элементов двухмерных тепловых и механических полей.

Выполнение решения построена на преобразовании исходной задачи и решении серии таких преобразованных последовательно связанных задач. При этом твердеющая бетонная смесь разбивается прямоугольной сеткой дискретизации на блоки, в которых могут быть заданы различные характеристики, постоянные в пределах конкретного блока и на временном шаге, а временной шаг преобразования свойств в блоках равняется шагу решения отдельной связанной задачи.

Подпрограмма WinConcret дает возможность уточнить расчет путем добавления новых переменных и поправки физических и механических свойств материалов в связи с модифицированием температуры, твердением бетонной смеси и течением времени. Группа последовательных задач решается с исходными начальными данными на определенное время подогрева с выбранным временным интервалом. Исходные данные для каждой задачи изменяются, подпрограмма WinConcret учитывает данные расчета предыдущей задачи. Первоначальной задачей является нулевое время подогрева, этап бетонирования конструкции. Следующие задачи решаются с избранным интервалом в 2 часа, принимая во внимание следующие изменяемые во времени характеристики:

а) собственное тепловыделение бетонной смеси, получившееся при гидратации цемента, зависящее от двух основных переменных – времени и температуры твердения бетонной смеси;

б) термический коэффициент сопротивления проводов (энергоисточников тепла), зависящий от переменной - температуры; сопротивление проводника при нагреве увеличивается до 40 % относительно обозначенного значения и увеличивается мощность прогрева, требуется регулировка расположения и мощности источников тепла;

в) регулировка выдерживания бетонной смеси на различных технологических этапах, связанное с включением/отключением подогрева, устройством/демонтажем утеплителя или опалубки;

г) механопрочность бетона одновременно с температурой, градиентами, напряжениями и деформациями.

Для задавшейся цели была реализована расчетная модель в конечных элементах в программе ELCUT с соблюдением геометрических размеров, физических и механических свойств материалов.

Расчетная модель с построением сетки конечных элементов показана на рисунке 2.

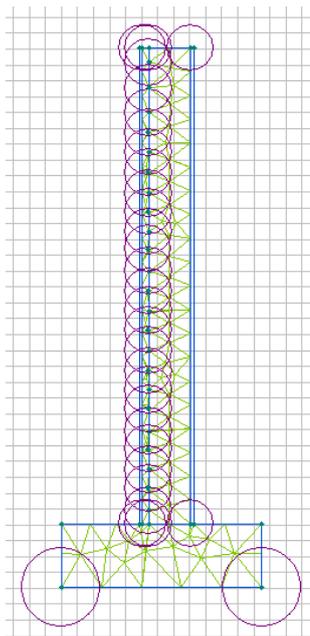


Рисунок 2. Расчетная модель с построением сетки конечных элементов

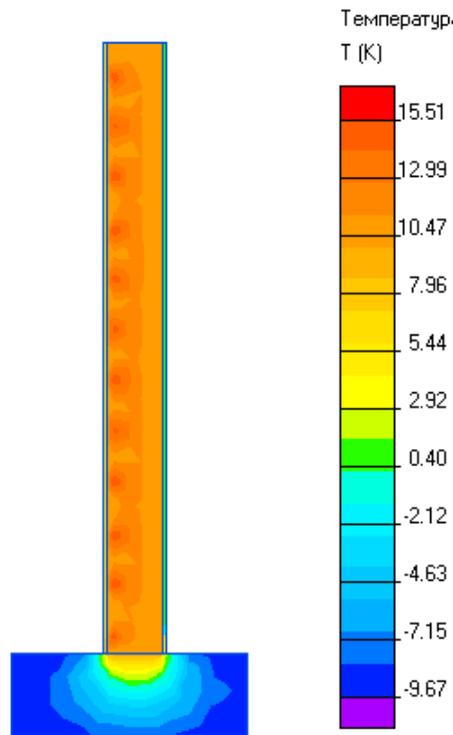


Рисунок 3. Температурное поле конструкции после решения задачи в ELCUT

Задано время прогрева бетонной смеси – 3 суток. Затем создается температурное выдерживание с остыванием бетонной смеси в течение 24 часов. Подогрев стеновой конструкции осуществляется греющим проводом. Производится решение задачи, так именуемый «прикидочный расчет». Расчет осуществляется в программном комплексе ELCUT. Шаг решения задачи выбирается 2 часа. Программа осуществляет решение задачи с учетом теплоемкости и теплопроводности всех материалов конструкции по расчетной схеме. Спустя 2 часа после начала подогрева наблюдаются характерные точки прогрева. Полученные данные расчета показаны на рисунке 3.

Как следует из температурных полей, замерзания бетонной смеси в первые часы процесса не происходит, конструкция стены с боков надежно защищена опалубкой.

Оживленная графика показывает распространение тепла в бетонной смеси, также можно доказательно увидеть места теплопотерь, а также изменять параметры прогрева в зависимости от полученных данных. Из полученных температурных полей бетонной смеси, можно сделать заключение, что прогрев осуществляется стабильно равномерно, стабилизация температуры происходит равномерно. Локальные участки возле проводов прогреваются быстрее, а в местах потерь температуры медленнее.

Итоговые решения примерного «прикидочного расчета» показаны на рис.4. По зонам повышенной температуры можно определить расположение сечения греющих проводов.

Данный расчет является предварительным, он не учитывает реакцию экзотермии гидратации бетонной смеси. После работы подпрограммы WinConcret можно уточнить расчет и получить интегральный график распределения температуры твердения бетонной смеси, а также график набора прочности бетона. Количество тепловой энергии, выделяемого смесью при твердении, зависит от содержания цемента в бетонной смеси. Более того, программный комплекс делит стеновую конструкцию на отдельные блоки, и потенциальный пользователь получает возможность определить прочность бетона в различных блоках конструкции в разные моменты времени. По полученным графикам можно определить моменты подогрева с наибольшим градиентом температуры. При неравномерном подогреве возникают температурные перепады, а вследствие деформации и напряжения. Зная прочность бетона в любой момент времени, можно определить, насколько рискованны возникающие напряжения из-за перепада, то есть разных температур конструкции.

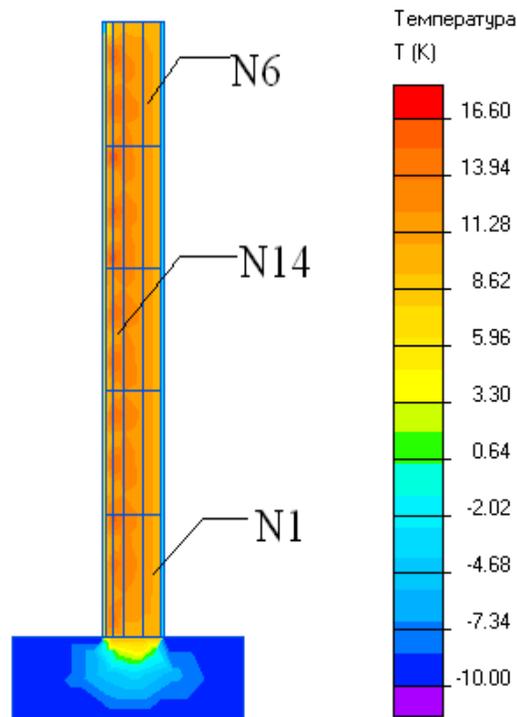


Рисунок 4. Температурное поле стеновой конструкции через 72 часов прогрева, где N 1, N 6, N 14 – блоки конструкции

В программном комплексе также реализована возможность выбора начала снятия утеплителя, расчета набора прочности бетона после отключения подогрева на оставшемся тепле. Трещиностойкость стеновой конструкции обеспечивается плавным снижением температуры бетонной смеси и снятием утеплителя только через сутки после завершения подогрева, когда бетон набрал прочность около 70 % от марочной прочности бетона. Этого набора прочности можно достичь в более ранние сроки используя специальные технологические решения. Например, использование быстротвердеющего цемента в бетонной смеси, позволяет произвести набор прочности бетона в 70% от марочной, в более ранние сроки. Также следует отметить применение греющей (термоопалубки) опалубки, в которой бетонная смесь твердеет при более высоких температурах, а значит быстрее.

Конструкция стены была автоматически поделена на 20 температурных блоков с разбиением по сетке конечных элементов. Каждому блоку присвоен номер от 1 до 20 так, что участки № 1, 6 оказались возле крайними по высоте стены, а блок №14 – в центре стены. Блок № 21 – это объединенность всех участков, данные по этому блоку есть усредненные характеристики для стеновой конструкции. Подпрограмма WinConcret позволяет получить графики распределения температуры по разным блокам и график набора прочности бетона на различных участках (блоках). Данные в программе оформляются в графическом и табличном режимах. На рисунках 5, 6 представлены интегральные графики температуры и набора прочности бетона для температурных блоков № 1, 6, 14.

Надстройка WinConcret отображает средние данные прочности для всей конструкции. Посмотрим температуру и достигнутую прочность в характерных точках нашей конструкции, для этого перейдем к модифицированной модели. На графиках видно, что режим выдерживания вполне приемлемый, кроме этих данных нам доступны параметры, например градиенты температур при распалубке или прогреве, а также протекающие токи при прогреве, выделенная мощность.

Рассчитанные графики температуры бетонной смеси образуют температурно-временную интерпретацию по всей стеновой конструкции в целом и по каждому выделенному блоку в отдельности. На основе этой информации и экспериментальных данных о кинетике твердения бетонной смеси при различной температуре выдерживания программный комплекс анализирует прочность бетона в процессе прогрева в течение времени. В программном комплексе содержатся графики твердения, набора прочности разных по составу бетонов при определенных неизменных температурах выдерживания. Также существуют графические данные о кинетике тепловыделения при экзотермии бетонной смеси. Сопоставляя графики существующей температуры подогрева и экспериментальных данных о наборе прочности при температурном выдерживании, программа выдает график набора прочности бетона в процентах от марочной прочности.

Марочная прочность бетона (R_m – прочность на сжатие), наступающая через 28 суток с обеспеченностью 0,95, для бетонного образца стандартной формы, твердеющего в нормальных условиях. Данная прочность зависит от класса бетона: чем выше класс, тем большую прочность может набрать бетонная смесь. Благодаря подогреву бетонной смеси происходит нарастание набора прочности. На рисунке 6 показана интегральная прочность разных блоков бетона R в процентном соотношении от марочной прочности ($\%R_m$).

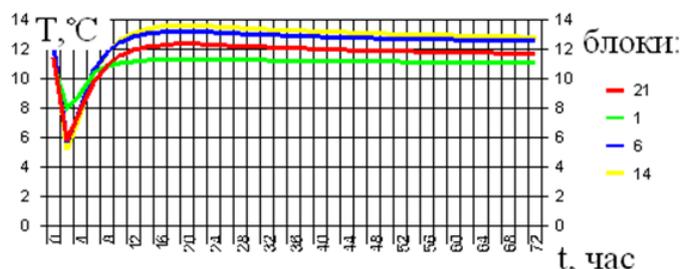


Рисунок 5. Интегральная температура блоков бетона T , °C

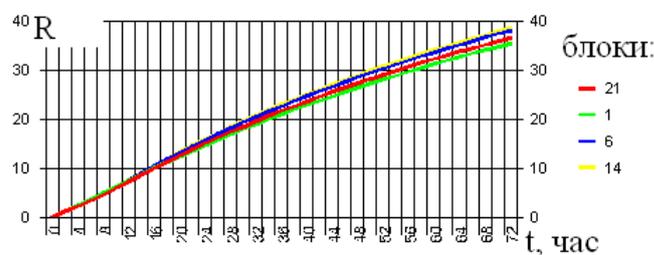


Рисунок 6. Интегральная прочность блоков бетона R , $\%R_m$

Данные графики показывают скорость набора прочности бетона в некоторых блоках стены. Проанализировав результаты компьютерного расчета, можно сделать вывод, что выбранный метод прогрева в целом является эффективным.

ELCUT – это программный пакет разработанный в Санкт-Петербурге фирмой ООО “ТОР”. В периодической печати мало статей написано по моделированию зимнего бетонирования, в основном вся информация на сайтах фирмы www.Elcut.ru и www.WinConcret.ru. Одним из разработчиков [23] этого программного комплекса обсуждаются преимущества этой программы и приводится пример численного моделирования температурно-прочностного состояния бетона в конструкциях на ранних сроках его твердения на примере проектирования технологии выдерживания рамного фундамента Уренгойской ГЭС.

Другие авторы [30] в качестве объекта исследования выбрали монолитное перекрытие по профлисту на стальных балках. Перекрытие окружено кирпичными стенами, что характерно для объектов реконструкции в Санкт-Петербурге. В этой статье также обсуждаются две методики МДС 12-48.2009 “Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов” и ТСН 12-336-2007 “Производство бетонных работ при отрицательных температурах среды на территории Республики Саха (Якутия)”, можно получить различные параметры прогрева в связи с тем, что используются различные формулы и принципы расчета.

В настоящей статье объектом моделирования является стандартная захватка монолитной стены, которую ещё никто не исследовал.

4. Заключение

В рамках работы произведены следующие расчеты и сделаны выводы.

1. Построена расчетная модель с построением сетки конечных элементов.
2. Решена задача о распределении температурных полей по сечению конструкции монолитной стены и набора прочности бетона.
3. Проанализированы полученные данные. С целью ускорения твердения бетона предложено использовать, например, быстросхватывающийся цемент или греющую опалубку.

Для обоснования полученных результатов требуются натурные испытания и дальнейшие исследования.

Литература

- [1]. Головнев С.Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. 1999. 148 с.
- [2]. Комаринский М.В., Смирнов С.И., Бурцева Д.Е. Литые и самоуплотняющиеся бетонные смеси // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 11(38). С. 106–118.

- [3]. Ватин Н.И., Барабанщиков Ю.Г., Комаринский М.В., Смирнов С.И. Модификация литой бетонной смеси воздухововлекающей добавкой // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 4(56). С. 3–10.
- [4]. Varabanshchikov Yu., Komarinskiy M. Effect of air-entraining agent Ihd on the technological properties of concrete mix containing superplasticizer s-3 // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 725–726. Pp. 419–424.
- [5]. Барабанщиков Ю.Г., Комаринский М.В. Суперпластификатор С-3 и его влияние на технологические свойства бетонных смесей // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 6(21). С. 58–69.
- [6]. Комаринский М.В., Червова Н.А. Транспорт бетонной смеси при строительстве уникальных зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 1(28). С. 6–31.
- [7]. Телешев В.И., Данилов В.М., Комаринский М.В. Перспективы применения бетононасосного транспорта в гидротехническом строительстве // Гидротехническое строительство. 1986. № 6. С. 34–38.
- [8]. Комаринский М.В. Возведение железобетонных гидротехнических сооружений с применением бетононасосной технологии. Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. // Ленинградский политехнический институт им. М. И. Калинина. Ленинград, 1989. 40 с.
- [9]. Телешев В.И., Комаринский М.В., Данилов В.М., Рыжов В.А. Исследования и опыт применения бетононасосного транспорта на строительстве Шульбинской ГЭС // Гидротехническое строительство. 1990. № 10. С. 38–43.
- [10]. Галузин В.М., Комаринский М.В., Телешев В.И. Выбор машин и оборудования для производства бетонных работ. Санкт-Петербург, 1995. С. 47
- [11]. Комаринский М.В. Производительность поршневого бетононасоса // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 6(11). С. 43–49.
- [12]. The European guidelines for self-compacting concrete: specification, production and use. UK, 2005. 21 p.
- [13]. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete // Advanced Concrete Technology. 2003. № 1. Pp. 5–15.
- [14]. Kitamura H., Nishizaki T., Ito, H., Chikamatsu R., Kamada F., Okudate M. Construction of prestressed concrete outer tank for LNG storage using high-strength self-compacting concrete // Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete. 1999. Pp. 262–291.
- [15]. Шувалов Н.А., Байбурин А.Х. Исследование отклонений технологических параметров зимнего бетонирования (на примере монолитных конструкций колонн) // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2013. С. 18–20
- [16]. Zach J., Sedlmajer M., Hroudova J., Nevařil A. Technology of concrete with low generation of hydration heat // Procedia Engineering. 2013. No. 65. Pp. 296–301.
- [17]. Essam A.K., Doaa A.A., Maha R.M., Rehab N. Effect of calcium chloride on the hydration characteristics of ground clay bricks cement pastes // Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. 2013. № 2. Pp. 20–30.
- [18]. Paulik P. The effect of curing conditions (In Situ vs. Laboratory) on compressive strength development of High strength concrete // Procedia Engineering № 65, 2013. Pp. 113–119.
- [19]. Karagöl F., Demirboğa R., Kaygusuz M.A., Yadollahi M.M., Polat R. The influence of calcium nitrate as antifreeze admixture on the compressive strength of concrete exposed to low temperatures // Cold Regions Science and Technology. № 89. 2013. P. 30–35.
- [20]. Demirboğa R., Karagöl F., Polat R., Kaygusuz M.A. The effects of urea on strength gaining of fresh concrete under the cold weather // Construction and Building Materials. № 64. 2014. Pp. 114–120.
- [21]. Bofang Z. Construction of mass concrete in winter // Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete. 2014. Pp. 425–430.
- [22]. Беркович Л.А. Организационно-технологическое обеспечение процессов зимнего бетонирования гражданских зданий. Автореферат // Издательство рекламного агентства «Каре», библиотека ЮУрГУ. 2007.

- [23]. Зиневич Л.В. Применение численного моделирования при проектировании технологии обогрева и выдерживания бетона монолитных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 2. С. 24–28.
- [24]. Семенов К.В., Барабанщиков Ю.Г. Термическая трещиностойкость массивных бетонных фундаментных плит и ее обеспечение в строительный период зимой // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 2(17). С. 125–135.
- [25]. Bofang Z. Construction of mass concrete in winter // Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete. Butterworth-Heinemann: Tshingua University Press, 2014. Pp. 425–430.
- [26]. Bofang Z. Temperature control of concrete dam in cold region // Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete. Butterworth-Heinemann: Tshingua University Press, 2014. Pp. 431–438
- [27]. Nassif A.Y., Petrou M.F. Influence of cold weather during casting and curing on the stiffness and strength of concrete // Construction and Building Materials. 2013. № 44. Pp. 161–167.
- [28]. Головнев С.Г., Пикус Г.А., Мозгалёв К.М., Савинов С.А. Компьютерный контроль и регулирование процессов выдерживания бетона в зимних условиях // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2010. № 2. С. 75–78.
- [29]. Дудин М.О., Ватин Н.И., Барабанщиков Ю.Г. Моделирование набора прочности бетона в программе ELCUT при прогреве монолитных конструкций проводом // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 2. С. 33–45.

Simulation modeling of winter concreting of wall construction

M.V. Komarinskiy^{1*}, R.V. Oniskovets²

¹⁻² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info	Article history	Keywords
scientific article	Received 06.03.2017	Concrete mix; thick-reinforced construction; wall construction; winter concreting; heating wires; ELCUT program; thermodynamic task; concrete heating.
doi: 10.18720/CUBS.58.2		

ABSTRACT

There are many technologies of winter concreting, both in domestic and foreign practice. With a large selection of options for warming concrete, used for various design systems and environmental conditions, the method of heating by wires is currently the most common. Analysis of modern methods of heat treatment of concrete shows that the use of heating wires allows the supply of heat directly to concrete in the required volume at each stage of its maintenance. This helps to optimize the process of electric heating, and also affects the rate of temperature rise and cooling of concrete. In this paper, modeling is considered with the use of modern software-computational complexes capable of solving the problem of heating concrete at the stages of its aging. One of the complexes designed to solve such problems by the finite element method is the ELCUT software package. It, together with the WinConcret add-in, is able to calculate temperature fields, build a timetable for the strength of concrete and calculate the temperature deformation from the heating of building structures. In the framework of the work, modeling of the problem of warming concrete of a monolithic wall with a heating wire was carried out. The problem of the distribution of temperature fields over the section of the monolithic wall structure and the strength of concrete has been solved. In order to accelerate the hardening of concrete, it is suggested to use, for example, a quick-setting cement or a heating casing.

Contact information:

- ¹ * +7(812)297-59-49, komarin@cef.spbstu.ru (Mikhail Komarinskiy, PhD, Associate Professor)
² +7(960)281-60-91, romaonis@gmail.com (Roman Oniskovets, Student)

References

- [1]. Golovnev S.G. Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Optimizatsiya parametrov i vybor metodov [Winter concreting technology. Optimization of parameters and method choice]. Izd-vo YuURGU. 1999. Pp. 148. (rus)
- [2]. Komarinskiy M.V., Smirnov S.I., Burtseva D.Ye. Liquid concrete and self-compacting concrete. Construction of Unique Buildings and Structures. 2015. No. 11(38). Pp. 106–118. (rus)
- [3]. Vatin N.I., Barabanshchikov Yu.G., Komarinskiy M.V., Smirnov S.I. Modification of the cast concrete mixture by air-entraining agents. Magazine of Civil Engineering. 2015. No. 4(56). Pp. 3–10. (rus)
- [4]. Barabanshchikov Yu., Komarinskiy M. Effect of air-entraining agent Ihd on the technological properties of concrete mix containing superplasticizer s-3. Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 725–726. Pp. 419–424.
- [5]. Barabanshchikov Yu.G., Komarinskiy M.V. Superplasticized technological properties of concrete mixtures. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. No. 6(21). Pp. 58–69. (rus)
- [6]. Komarinskiy M.V., Chervova N.A. Concrete mixes transportation in construction of unique buildings and structures. Construction of Unique Buildings and Structures. 2015. No. 1(28). Pp. 6–31. (rus)
- [7]. Teleshev V.I., Danilov V.M., Komarinskiy M.V. Perspektivy primeneniya betononasosnogo transporta v gidrotekhnicheskom stroitelstve [Prospects for the use of concrete pump in hydrotechnical construction]. Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo. 1986. No. 6. Pp. 34–38. (rus)
- [8]. Komarinskiy M.V. Vozvedeniye zhelezobetonnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy s primeneniym betononasosnoy tekhnologii [Construction of reinforced concrete hydraulic structures using concrete pump technology]. Abstract of PhD Thesis. Leningradskiy politekhnicheskii institut im. M. I. Kalinina. Leningrad, 1989. 40 p. (rus)
- [9]. Teleshev V.I., Komarinskiy M.V., Danilov V.M., Ryzhov V.A. Issledovaniya i opyt primeneniya betononasosnogo transporta na stroitelstve Shulbinskoy GES [Research and experience in the use of concrete pump transport in the construction of Shulbinskaya HPP]. Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo. 1990. No. 10. Pp. 38–43. (rus)
- [10]. Galuzin V.M., Komarinskiy M.V., Teleshev V.I. Vybor mashin i oborudovaniya dlya proizvodstva betonnykh rabot [Selection of machines and equipment for the production of concrete work]. Saint-Petersburg, 1995. 47 p. (rus)
- [11]. Komarinskiy M.V. A productivity of reciprocating concrete pump. Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. No. 6(11). Pp. 43–49. (rus)
- [12]. The European guidelines for self-compacting concrete: specification, production and use. UK, 2005. 21 p.
- [13]. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete. Advanced Concrete Technology. 2003. No. 1. Pp. 5–15.
- [14]. Kitamura H., Nishizaki T., Ito H., Chikamatsu R., Kamada F., Okudate M. Construction of prestressed concrete outer tank for LNG storage using high-strength self-compacting concrete. Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete. 1999. Pp. 262–291.
- [15]. Shuvalov N.A., Bayburin A.Kh. Issledovaniye otkloneniye tekhnologicheskikh parametrov zimnego betonirovaniya (na primere monolitnykh konstruktsiy kolonn) [Research of divergence of winter concreting technological parameters (on an example of monolithic constructions of columns)]. Vestnik YuURGU. Seriya «Stroitelstvo i arkhitektura». 2013. Pp. 18–20. (rus)
- [16]. Zach J., Sedlmajer M., Hroudova J., Nevařil A. Technology of concrete with low generation of hydration heat. Procedia Engineering. 2013. No. 65. Pp. 296–301.
- [17]. Essam A.K., Doaa A.A., Maha R.M., Rehab N. Effect of calcium chloride on the hydration characteristics of ground clay bricks cement pastes. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. 2013. No. 2. Pp. 20–30.
- [18]. Paulik P. The Effect of Curing Conditions (In Situ vs. Laboratory) on compressive strength development of High strength concrete. Procedia Engineering. 2013. No. 65. Pp. 113–119.

- [19]. Karagöl F., Demirboğa R., Kaygusuz M.A., Yadollahi M.M., Polat R. The influence of calcium nitrate as antifreeze admixture on the compressive strength of concrete exposed to low temperatures. *Cold Regions Science and Technology*. 2013. No. 89. Pp. 30–35.
- [20]. Demirboğa R., Karagöl F., Polat R., Kaygusuz M.A. The effects of urea on strength gaining of fresh concrete under the cold weather. *Construction and Building Materials*. 2014. No. 64. Pp. 114–120.
- [21]. Bofang Z. Construction of mass concrete in winter. *Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete*. 2014. Pp. 425–430.
- [22]. Berkovich L.A. Organizatsionno-tekhnologicheskoye obespecheniye protsessov zimnego betonirovaniya grazhdanskikh zdaniy [Organizational and technological support of the winter concreting processes of civil buildings.]. Avtoref. Iz-vo reklamnogo agentstva «Kare», biblioteka YuURGU. 2007. (rus)
- [23]. Zinevich L.V. Application of numerical modeling at technology designing of heating and solidification of concrete in monolithic structures. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 2. Pp. 24–28. (rus)
- [24]. Semenov K.V., Barabanshchikov Yu.G. Maintenance of thermal cracking resistance in massive concrete base slabs during winter concreting. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. No. 2(17). Pp. 125–135. (rus)
- [25]. Bofang Z. Construction of mass concrete in winter. *Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete*. Butterworth-Heinemann: Tshingua University Press, 2014. Pp. 425–430.
- [26]. Bofang Z. Temperature control of concrete dam in cold region. *Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete*. Butterworth-Heinemann: Tshingua University Press, 2014. Pp. 431–438
- [27]. Nassif A.Y., Petrou M.F. Influence of cold weather during casting and curing on the stiffness and strength of concrete. *Construction and Building Materials*. 2013. No. 44. Pp. 161–167.
- [28]. Golovnev S.G., Pikus G.A., Mozgalev K M., Savinov C.A. Kompyuternyy kontrol i regulirovaniye protsessov vyderzhivaniya betona v zimnikh usloviyakh [Computer control and regulation of the processes of holding concrete in winter conditions]. *Akademicheskyy vestnik UralNIIProyekt RAASN*. 2010. No. 2. Pp. 75–78. (rus)
- [29]. Dudin M.O., Vatin N.I., Barabanshchikov Yu.G. Modeling a set of concrete strength in the program ELCUT at warming of monolithic structures by wire. *Magazine of Civil Engineering*. 2015. No.2. Pp. 33–45. (rus)

Комаринский М.В., Онисковец Р.В. Имитационное моделирование зимнего бетонирования стеновой конструкции, 2017, №7 (58). С. 18-31.

Komarinskiy M.V., Oniskovets R.V. Simulation modeling of winter concreting of wall construction. 2017. 7(58). Pp. 18-31. (rus)