

УДК 693.557

DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-6-187-198

*К.С. ГАУСС, Р.И. МОКШИН, Н.И. КУЛДЫРКАЕВА, Д.И. МОКШИН,
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ*

При бетонировании тонкостенных конструкций и элементов средней массивности, согласно СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01–87», рекомендуется применение такого метода зимнего бетонирования, как электрообогрев. Расчеты, согласно существующим методикам, являются приближением и не учитывают множество факторов в методах выдерживания бетона при зимнем бетонировании. В конечном варианте все приближения и упрощения не дают ясности в распределении температурных полей, характере изменения температуры конструкции во времени. Моделирование с использованием современных программно-вычислительных комплексов способно решить данную проблему.

В работе предложен метод параметрического анализа набора проектной прочности бетона при его электрообогреве с помощью греющего провода. Метод заключается в создании расчетных моделей теплопроводности для трех типов опалубки и с помощью программного комплекса ELCUT вычисления нестационарных температурных полей при различных температурах окружающей среды, при различной скорости ветра и при различном шаге укладки проводов. Анализ неравномерности температурных полей в бетоне с учетом времени выдержки позволяет оценить в процентах набор его проектной прочности.

Установлено, что в наибольшей степени однородное температурное поле из всех исследованных в данной работе наблюдается в VI типе опалубки. Наименее однородное – во II типе опалубки. Наиболее эффективным вариантом для электрообогрева тонкостенной конструкции являются IV и VI типы опалубки с шагом греющего провода, равным 300 мм.

Ключевые слова: зимнее бетонирование; температурные поля; греющий провод; тип опалубки; скорость ветра; ELCUT.

Для цитирования: Гаусс К.С., Мокшин Р.И., Кулдыркаева Н.И., Мокшин Д.И. Исследование влияния параметров электрообогрева на прочность бетона при различных условиях окружающей среды // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 1. С. 187–198.

*K.S. GAUSS, R.I. MOKSHIN, N.I. KULDYRKAeva, D.I. MOKSHIN,
Tomsk State University of Architecture and Building*

CONCRETE STRENGTH IN DIFFERENT ENVIRONMENTAL CONDITIONS DEPENDING ON ELECTRICAL HEATING PARAMETERS

Concreting of thin-walled structures and elements of medium massiveness is performed using the electrical heating method. Approximate calculations according to existing methods do not take into account many factors in concrete curing during winter concreting. All approximations and simplifications do not provide the proper temperature concrete curing in winter, clear

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00674\18.

distribution of temperature fields, the nature of structural temperature changes with time. Modeling with the use of modern software and computer systems can solve this problem.

The paper proposes a method of parametric analysis of the concrete strength generation using a heating cable. The method includes computational models of thermal conductivity for three types of formwork and using the ELCUT software package for calculating non-stationary temperature fields at various ambient temperature, wind speeds and space for laying heating cable. The analysis the temperature fields in concrete with regard to the exposure time, makes it possible to estimate its strength development. It is shown that in formwork 6 the temperature field is the most uniform, while in formwork 2 it is the least uniform. Formworks 4 and 6 with 300 mm space for cable laying provide the most effective electrical heating of thin-wall structures.

Keywords: winter concreting; temperature field, heating cable; formwork; wind speed; ELCUT.

For citation: Gauss K.S., Mokshin R.I., Kuldyrkaeva N.I., Mokshin D.I. Issledovanie vliyaniya parametrov elektroobogreva na prochnost' betona pri razlichnykh usloviyakh okruzhayushchei sredy [Concrete strength in different environmental conditions depending on electrical heating parameters]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2018. V. 20. No. 6. Pp. 187–198.

Введение

В современном строительстве сроки сдачи объектов в эксплуатацию имеют первостепенное значение, поэтому без интенсификации твердения бетона обойтись невозможно. Для нашей страны это особенно важно, поскольку холодное время года в разных районах составляет от 3 до 10 месяцев; при низких же положительных температурах бетон твердеет крайне медленно, а при преждевременном его замораживании качество и долговечность возводимых конструкций резко падают.

Именно поэтому в отечественной и зарубежной практике применяют различные методы ускорения твердения бетона до достижения им требуемых структурных характеристик [1–7].

Согласно СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01–87», выбор наиболее экономичного метода выдерживания бетона при зимнем бетонировании монолитных конструкций зависит от вида конструкций и минимальной температуры наружного воздуха. В настоящей работе представлен электрообогрев монолитной стены с помощью греющего провода, имеющей модуль поверхности $M_n = 10$, что обусловлено приведенным выше сводом правил.

Метод создан на основе выделения тепла проводником при подаче через него электрического тока [8, 9]. В виде электрических нагревателей применяются провода с большим электрическим сопротивлением. В большинстве случаев встречаются провода ПНСВ с электропроводящей жилой из стали 1,2; 1,8; 2,0 и 3,0 мм.

Ориентировочный расход электроэнергии на 1 м³ бетона составляет 80...110 кВт·ч, что делает его более экономичным по сравнению с другими методами: конвективный прогрев (120...200 кВт·ч); индукционный нагрев (110...150 кВт·ч); электропрогрев с помощью низкотемпературных электронагревателей (100...130 кВт·ч); электропрогрев с помощью высокотемпературных нагревателей инфракрасного излучения (120...200 кВт·ч) [10].

Главнейшим параметром регулирования мощности прогрева бетона считается шаг укладки греющего провода и, согласно МДС 12-48.2009 «Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов», составляет 50...150 мм. Выбор шага укладки вычисляется в зависимости от требуемой мощности прогрева на 1 м².

Определение параметров режима термообработки важно при подготовке прогрева конструкции. Выбор площади сечения и длины провода, величина подаваемого напряжения осуществляется методом подбора. Необходимо назначить оптимальные параметры и более экономичный вариант с точки зрения наименьшего расхода энергетических ресурсов. Учитывать все параметры можно только при использовании современных программных комплексов. Программный пакет ELCUT является одним из таких инструментов для решения подобного рода задач, основанных на методе конечных элементов.

Исходные данные

В настоящей работе было проведено исследование влияния типа опалубки и шага греющего провода на прогрев бетонной смеси монолитной стены при различных условиях окружающей среды (скорость ветра $v = 0; 1; 5; 10$ и 15 м/с; коэффициенты конвективного теплообмена со стороны окружающей среды $\alpha_{н,к}$ соответственно 3,78; 6,87; 18,14; 28,58 и 37,29 Вт/(м²·К); температура наружного воздуха $t_{н,в} =$ минус 5, 15, 25 и 35 °С).

В табл. 1 представлены типы опалубки, использованные в расчетах [11].

Таблица 1

Типы опалубки

Тип опалубки	Материал	Толщина слоя, мм	Коэффициент сопротивления теплопередачи, Вт/(м ² ·К)		
			Скорость ветра, м/с		
			0	5	15
II	Доска	40	2,03	3,6	3,94
IV	Доска	25	0,67	0,8	0,82
	Пенопласт Фанера	30 4			
VI	Металл	3	1,02	1,27	1,33
	Вата минеральная Фанера	50 4			

В качестве исследуемой конструкции была выбрана стена размерами 0,2×3,0×6,0 м. Модуль поверхности $M_n = 10$ – тонкостенная конструкция, протекающие экзотермические процессы малы, в связи с чем они в данной работе не учитывались.

Создание расчетных моделей

В рамках исследования было создано для каждого типа опалубки (табл. 1) по три расчетных модели (РМ) с построением сетки конечных элементов (СКЭ), имеющих различный шаг греющего провода (ШГП):

II тип опалубки: 100, 150 и 200 мм;
 IV тип опалубки: 250, 300 и 350 мм;
 VI тип опалубки: 250, 300 и 350 мм.

Потери тепла происходят через боковые поверхности опалубки. Прогрев конструкции осуществляется греющими проводами ПНСВ, углубленными на 30 мм, которые заданы вершинами с мощностью тепловыделения $q = 35$ Вт/м. Бетон класса В30 с начальной температурой бетонной смеси $t_{б.с} = 10$ °С.

Значение $\alpha_{н.к}$ вычислялось по формуле Франка:

$$\alpha_{н.к} = 6,31v^{0,656} + 3,78e^{-1,91v}, \quad (1)$$

где v – скорость ветра, м/с; $e = 2,718$ – основание натуральных логарифмов.

Первый член формулы (1) учитывает вынужденную, а второй – естественную конвекцию.

Теплофизические свойства материалов рассмотренных опалубок (табл. 2) взяты из справочника программного комплекса [12].

Таблица 2

Характеристики материалов

Наименование материала	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Удельная теплоемкость, Дж/(К·кг)	Плотность, кг/м ³
Металл	58	470	7850
Бетон	2,07	1050	2500
Сосна	0,18	2300	500
Пенопласт	0,037	0	100
Фанера	0,17	1700	500
Вата минеральная	0,056	840	125

Выбраны параметры и время прогрева 3 сут. Далее следует решение задачи, которое можно назвать «прикидочным расчетом». Данный расчет производится непосредственно в программе ELCUT. Шаг решения выбирается пользователем. В настоящей работе шаг решения – 2 ч. Используемый программный комплекс производит решение задачи с учетом теплоемкости и теплопроводности всех материалов конструкции в расчетной схеме по пространству и времени. Также принимается во внимание конвективный теплообмен с окружающей средой.

Результаты моделирования

На рис. 1–3 представлены температурные поля (ТП) по сечению конструкции через 72 ч электрообогрева при скорости ветра $v = 10$ м/с и температуре наружного воздуха $t_{н.в} =$ минус 25 °С. Для визуализации были добавлены изотермы с шагом 1 °С.

При ШГП в 100 мм наблюдается относительно однородное ТП с перепадом температур по сечению конструкции 7,7 %. Температура на жиле ГП – 73,2 °С, между жилами в продольном направлении – 66,32 °С, в поперечном – 67,85 °С, в теле бетона – 67,71 °С, на границе с опалубкой – 62,63 °С.

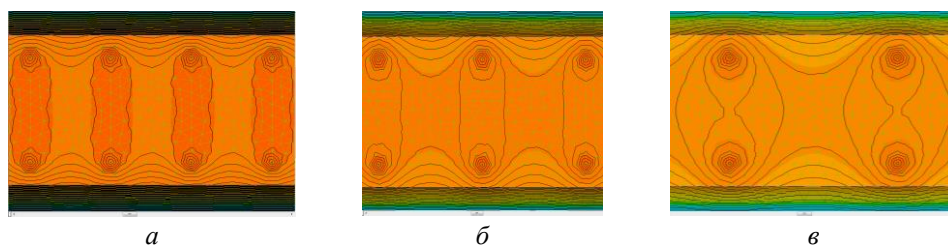


Рис. 1. Температурные поля по сечению конструкции со II типом опалубки через 72 ч электрообогрева при $v = 10$ м/с и $t_{н.в} =$ минус 25 °С:
 а – ШГП 100 мм; б – ШГП 150 мм; в – ШГП 200 мм

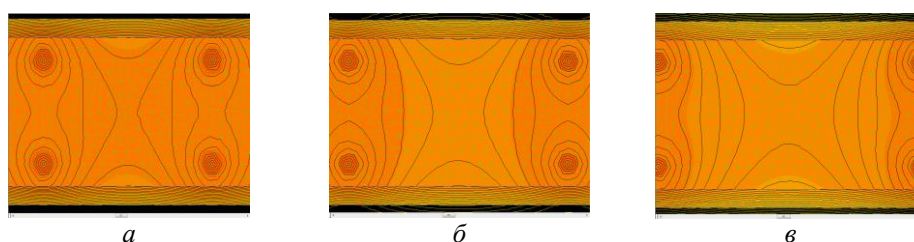


Рис. 2. Температурные поля по сечению конструкции с IV типом опалубки через 72 ч электрообогрева при $v = 10$ м/с и $t_{н.в} =$ минус 25 °С:
 а – ШГП 250 мм; б – ШГП 300 мм; в – ШГП 350 мм

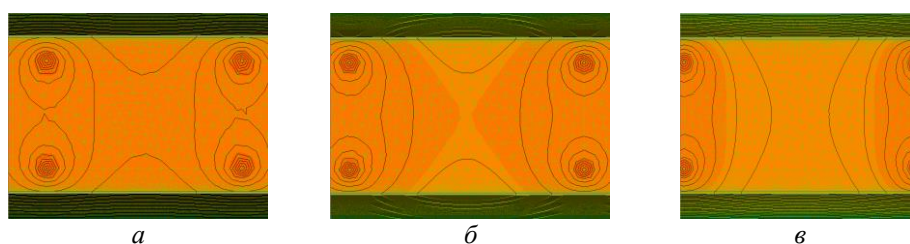


Рис. 3. Температурные поля по сечению конструкции с VI типом опалубки через 72 ч электрообогрева при $v = 10$ м/с и $t_{н.в} =$ минус 25 °С:
 а – ШГП 250 мм; б – ШГП 300 мм; в – ШГП 350 мм

При увеличении ШГП до 150 мм происходит снижение однородности ТП, перепад температур увеличивается до 12,35 %. Температура на жиле ГП – 43,9 °С, между жилами в продольном направлении – 35,58 °С, в поперечном – 37,66 °С, в теле бетона – 37,05 °С, на границе с опалубкой – 33,01 °С.

При дальнейшем увеличении ШГП до 200 мм распределение ТП становится неоднородным, сильно увеличивается площадь бетона, граничащего с опалубкой. Перепад температур по сечению конструкции увеличивается до 19,75 %. Температура на жиле ГП составляет 29,6 °С, между жилами в продольном направлении – 19,94 °С, в поперечном – 22,83 °С, в теле бетона – 21,46 °С, на границе с опалубкой – 18,32 °С.

Дальнейшее увеличение ШГП недопустимо.

При ШГП в 250 мм наблюдается весьма однородное ТП с перепадом температур по сечению конструкции 5,9 %. Температура на жиле ГП –

77,6 °С, между жилами в продольном направлении – 66,75 °С, в поперечном – 69,79 °С, в теле бетона – 67,63 °С, на границе с опалубкой – 65,66 °С.

При увеличении ШГП до 300 мм наблюдается небольшое снижение однородности ТП, перепад температур увеличивается до 8,6 %. Температура на жиле ГП – 64,4 °С, между жилами в продольном направлении – 52,40 °С, в поперечном – 56,51 °С, в теле бетона – 53,3 °С, на границе с опалубкой – 51,65 °С.

При дальнейшем увеличении ШГП до 350 мм неоднородность ТП резко увеличивается, перепад температур по сечению конструкции составляет 11,94 %. Температура на жиле ГП – 55,4 °С, между жилами в продольном направлении – 42,08 °С, в поперечном – 47,24 °С, в теле бетона – 43,03 °С, на границе с опалубкой – 41,6 °С.

Дальнейшее увеличение ШГП возможно, но не рекомендуется.

При ШГП в 250 мм наблюдается весьма однородное ТП с перепадом температур по сечению конструкции 3,8 %. Температура на жиле ГП – 76,2 °С, между жилами в продольном направлении – 66,6 °С, в поперечном – 68,81 °С, в теле бетона – 67,06 °С, на границе с опалубкой – 66,18 °С.

При увеличении ШГП до 300 мм наблюдается незначительное снижение однородности ТП, которое является допустимым, перепад температур увеличивается до 5,5 %. Температура на жиле ГП составляет 62,7 °С, между жилами в продольном направлении – 52,56 °С, в поперечном – 55,29 °С, в теле бетона – 52,96 °С, на границе с опалубкой – 52,24 °С.

При дальнейшем увеличении ШГП до 350 мм однородность ТП не сильно изменяется, перепад температур по сечению конструкции составляет 7,8 %. Температура на жиле ГП – 53,2 °С, между жилами в продольном направлении – 42,5 °С, в поперечном – 45,78 °С, в теле бетона – 42,85 °С, на границе с опалубкой – 42,21 °С.

Возможно и дальнейшее увеличение ШГП.

На рис. 4–6 представлены графики зависимости температуры бетона от скорости ветра через 72 ч электрообогрева при различных температурах наружного воздуха $t_{н.в}$ = минус 5; 15; 25 и 35 °С.

Второй тип опалубки очень восприимчив к перепадам температуры и скорости ветра. Температура в теле бетона при $t_{н.в}$ = минус 25 °С, ШГП = 150 мм и увеличении скорости воздушного потока v от 0 до 15 м/с падает на 54,3 %, а при v = 5 м/с и снижении температуры $t_{н.в}$ от минус 5 до минус 35 °С – снижается на 47,3 %.

Использование II типа опалубки с ШГП = 100 мм рекомендуется только при $t_{н.в}$ ниже минус 15 °С и на открытых площадках. В противном случае произойдет перегрев конструкции.

Модель опалубки с ШГП = 150 мм имеет более широкое применение. Этот вариант применим для всех исследуемых температур наружного воздуха и скоростей ветра, кроме v = 0 м/с (закрытые помещения). В этих условиях электрообогрев применим только при $t_{н.в}$ от минус 25 и ниже.

При устройстве ШГП = 200 мм бетон не наберет проектной прочности через 72 ч прогрева. Рекомендовано использовать данный ШГП в закрытых помещениях.

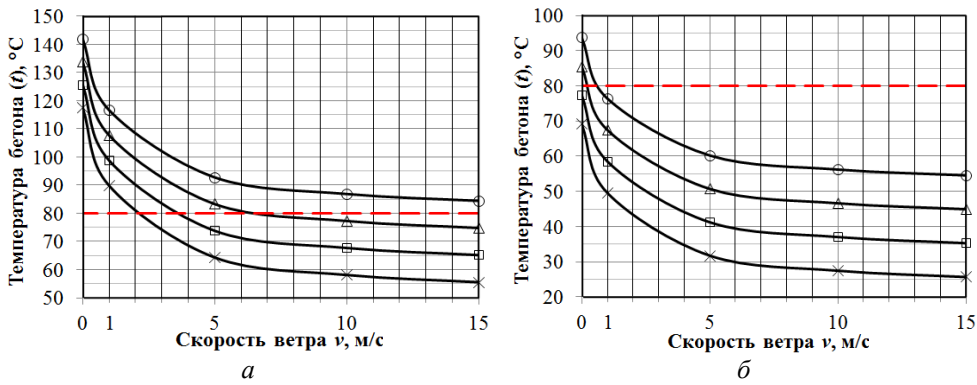


Рис. 4. Зависимость изменения температуры бетона от скорости ветра через 72 ч электрообогрева во II типе опалубки при различных температурах наружного воздуха $t_{н.в} =$ минус 5; 15; 25 и 35 °С: а – ШГП 100 мм; б – ШГП 150 мм; в – ШГП 200 мм; ○ – минус 5 °С; Δ – минус 15 °С; □ – минус 25 °С; × – минус 35 °С; — — ограничение температуры, установленное СП 70.13330.2012; — — начальная температура бетонной смеси

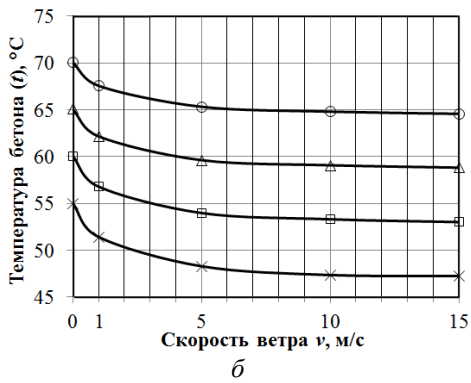
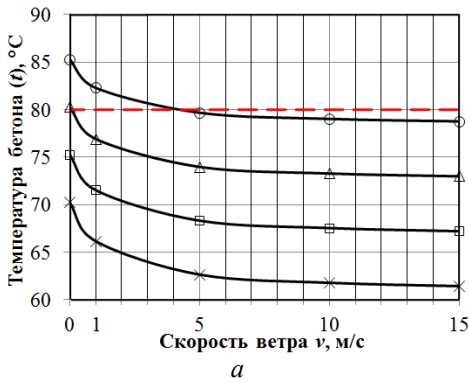
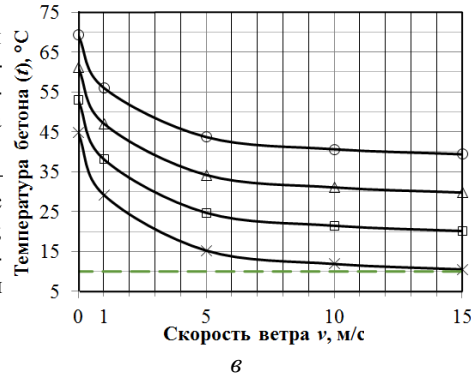
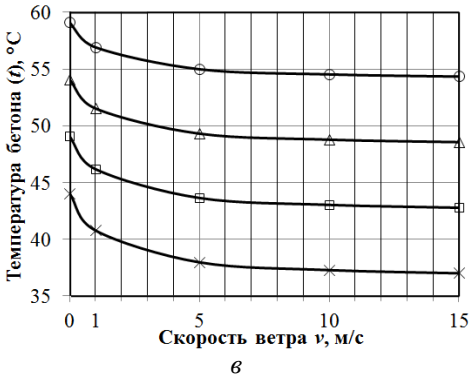


Рис. 5. Зависимость изменения температуры бетона от скорости ветра через 72 ч электрообогрева в IV типе опалубки при различных температурах наружного воздуха $t_{н.в} =$ минус 5; 15; 25 и 35 °С: а – ШГП 100 мм; б – ШГП 150 мм; в – ШГП 200 мм; ○ – минус 5 °С; Δ – минус 15 °С; □ – минус 25 °С; × – минус 35 °С; — — ограничение температуры, установленное СП 70.13330.2012; — — начальная температура бетонной смеси



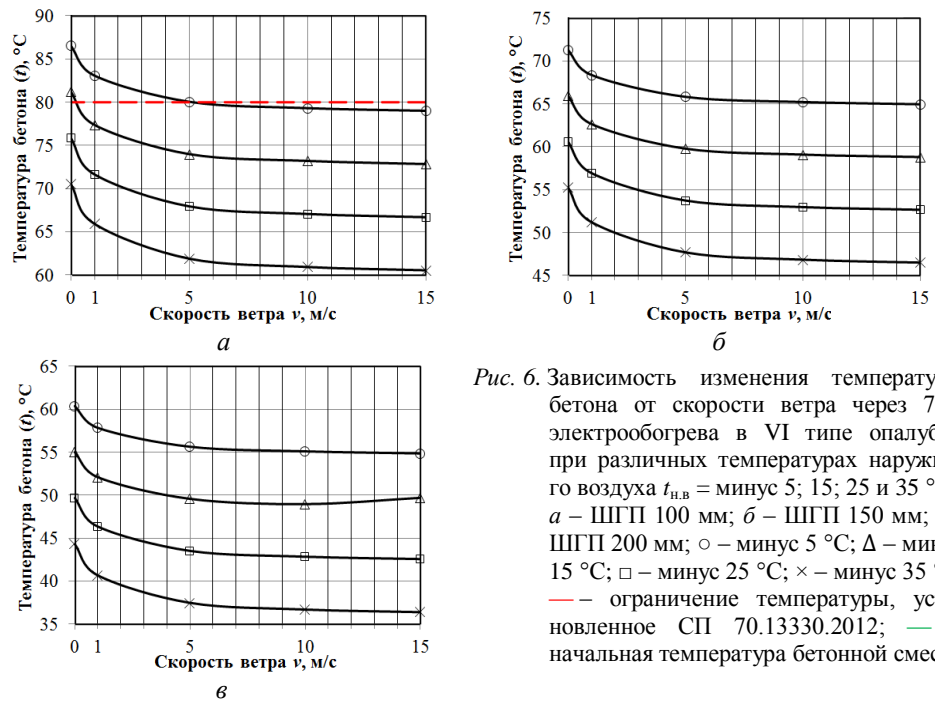


Рис. 6. Зависимость изменения температуры бетона от скорости ветра через 72 ч электрообогрева в VI типе опалубки при различных температурах наружного воздуха $t_{н.в}$ = минус 5; 15; 25 и 35 °С: а – ШГП 100 мм; б – ШГП 150 мм; в – ШГП 200 мм; ○ – минус 5 °С; Δ – минус 15 °С; □ – минус 25 °С; × – минус 35 °С; — — ограничение температуры, установленное СП 70.13330.2012; — — начальная температура бетонной смеси

Четвертый тип опалубки менее восприимчив к перепадам температуры и скорости ветра. Температура в теле бетона при $t_{н.в}$ = минус 25 °С, ШГП = 250 мм и увеличении скорости воздушного потока v от 0 до 15 м/с падает на 11,7 %, а при v = 5 м/с и снижении температуры $t_{н.в}$ от минус 5 до минус 35 °С – снижается на 26,1 %.

Использование IV типа опалубки с ШГП = 250 мм рекомендуется при температуре наружного воздуха $t_{н.в}$ ниже минус 5 °С и всех исследуемых скоростях ветра. Опалубка с ШГП = 300 мм имеет самое широкое применение. Этот вариант лучше всего подходит для всех исследуемых температур наружного воздуха и скоростей ветра. При устройстве опалубки с ШГП = 350 мм бетон не наберет прочность при средних и высоких скоростях ветра и низкой температуре наружного воздуха $t_{н.в}$ = минус 35 °С. В остальных случаях обеспечивается набор нормативной прочности.

Шестой тип опалубки так же восприимчив к перепадам температур, как и четвертый тип, а вот эффект от воздействия скорости ветра несколько выше. Температура в теле бетона при $t_{н.в}$ = минус 25 °С, ШГП = 250 мм и увеличении скорости воздушного потока v от 0 до 15 м/с падает на 13,1 %, а при v = 5 м/с и снижении температуры $t_{н.в}$ от минус 5 до минус 35 °С снижается на 26,1 %.

Особенности увеличения ШГП в данном типе опалубки совпадает с особенностями IV типа опалубки.

Результаты исследования представлены в сводной таблице на рис. 7, по которой удобно определить прочность бетона в зависимости от шага греющего провода, типа опалубки, скорости ветра и температуры наружного воздуха. Прочность для промежуточных значений можно получить, используя интерполяцию.

II тип опалубки													
Скорость ветра, м/с	Шаг греющего провода 100 мм.			Шаг греющего провода 150 мм.			Шаг греющего провода 200 мм.						
	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С		
0	-5	-15	-25	-5	-15	-25	-5	-15	-25	-5	-15	-25	-35
1	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П
5	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П
10	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П
15	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П
IV тип опалубки													
Скорость ветра, м/с	Шаг греющего провода 250 мм.			Шаг греющего провода 300 мм.			Шаг греющего провода 350 мм.						
	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	
0	-5	-15	-25	-5	-15	-25	-5	-15	-25	-5	-15	-25	-35
1	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П
5	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П
10	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П
15	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П
VI тип опалубки													
Скорость ветра, м/с	Шаг греющего провода 250 мм.			Шаг греющего провода 300 мм.			Шаг греющего провода 350 мм.						
	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	
0	-5	-15	-25	-5	-15	-25	-5	-15	-25	-5	-15	-25	-35
1	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П
5	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П
10	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П
15	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П

превышение допустимой температуры (СП 70.13330);
 фактическая прочность в процентах от проектной;
 фактическая прочность в процентах от проектной

Рис. 7. Прочность бетона в зависимости от шага греющего провода, скорости ветра, типа опалубки и температуры наружного воздуха, % от проектной

Прочность бетона в процентах от проектной определялась по средней температуре в теле бетона конструкции за весь период электрообогрева (72 ч) при использовании графиков набора прочности бетона [13]. Для бетона класса В30 (М400) проектная прочность на сжатие составляет 38,35 МПа, согласно ГОСТ 26633–2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия».

На основании полученных данных сделаны следующие выводы:

1. Для II типа опалубки применение шага греющего провода, равного 50 мм, и для IV и VI типов опалубки с шагом греющего провода 50, 100 и 150 мм приводит к перегреву конструкции для всех исследуемых температур наружного воздуха и скоростей ветра, что противоречит требованиям по выдерживанию и уходу за бетоном, согласно СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01–87».

2. При использовании шага греющего провода, равного 250 мм и выше для II типа опалубки, бетон не набирает 70 % от проектной прочности за 72 ч электрообогрева. Допустимо применение шага греющего провода свыше 350 мм для IV и VI типов опалубки.

3. Наиболее однородное температурное поле из всех исследованных в данной работе наблюдается в VI типе опалубки. Наименее однородное – во II типе опалубки.

4. Наиболее эффективным вариантом для электрообогрева тонкостенной конструкции являются IV и VI типы опалубок с шагом греющего провода, равным 300 мм.

5. Результаты исследования занесены в таблицу, позволяющую качественно оценить в процентах набор проектной прочности бетона при его электрообогреве с помощью греющего провода в различных условиях окружающей среды и типах опалубки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крылов Б.А. Некоторые вопросы технологии производства работ при применении монолитного бетона в холодное время года // Технологии бетонов. 2012. № 1–2 (66–67). С. 33–35.
2. Головнев С.Г. Зимнее бетонирование: этапы становления и развития // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31 (50). Ч. 2. С. 529–534.
3. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. М.: Стройиздат, 1975. 700 с.
4. Трембицкий С.М., Беккер Л.Н., Кебадзе П.Г. Условия достижения высоких темпов и качества строительства зданий из монолитного железобетона // Бетон и железобетон. 2008. № 5. С. 8–11.
5. Афанасьев А.А. Технологии возведения сборно-монолитных каркасных зданий при отрицательных температурах // Вестник МГСУ. 2012. № 4. С. 175–180.
6. Ronin V., Jonasson J. E. Investigation of the effective winter concreting with the usage of energetically modified cement (EMC)-material science aspects // Report 1994. 1994. I. 3. 24 p.
7. Yilmaz U.S., Turken H. The effects of various curing materials on the compressive strength characteristic of the concretes produced with multiple chemical admixtures // Scientia Iranica. 2012. V. 19. № 1. P.77–83.
8. Осипов А.М. Бетонирование при низких температурах // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 23. № 4-2 (23). С. 161.
9. Корытов Ю.А. Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов // Механизация строительства. 2010. № 3. С. 14–20.

10. *Красновский, Б.М.* Инженерно-физические основы методов зимнего бетонирования // М.: Изд-во ГАСИС, 2007. 512 с.
11. *Гныря А.И., Бояринцев А.П., Коробков С.В., Тищенко К.Ю.* Сборник задач по технологии бетонных работ в зимних условиях. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. 412 с.
12. *Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М.* Физические величины: справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
13. *Гныря А.И., Коробков С.В.* Технология бетонных работ в зимних условиях. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. – 412 с.

REFERENCES

1. *Krylov V.A.* Nekotorye voprosy tehnologii proizvodstva rabot pri primenenii monolitnogo betona v holodnoe vremja goda [Construction practice in using mass concrete in winter conditions]. *Tekhnologii betonov*. 2012. No. 1–2 (66–67). Pp. 33–35. (rus)
2. *Golovnev S.G.* Zimnee betonirovanie: jetapy stanovlenija i razvitija [Winter concreting: the stages of formation and development]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2013. V. 31 (50). Pp. 529–534. (rus)
3. *Mironov S.A.* Teorija i metody zimnego betonirovanija [Theory and methods of winter concreting]. Moscow: Stroyizdat, 1975. 700 p. (rus)
4. *Trembitsky S.M.* Uslovija dostizhenija vysokih tempov i kachestva stroitel'stva zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona [Conditions for achieving high rates and quality of building construction using mass RF concrete]. *Beton i zhelezobeton*. 2008. No. 5. Pp. 8–11. (rus)
5. *Afanasyev A.A.* Tehnologii vozvedenija sborno-monolitnyh karkasnyh zdaniy pri otricatel'nyh temperaturah [Construction low-temperature technology of prefabricated building system]. *Vestnik MGSU*. 2012. No. 4. Pp. 175–180. (rus)
6. *Ronin V., Jonasson J.E.* Investigation of the effective winter concreting with the usage of energetically modified cement (EMC)-material science aspects. 1994. V. 3. Pp. 24.
7. *Yilmaz U.S., Turken H.* The effects of various curing materials on the compressive strength characteristic of the concretes produced with multiple chemical admixtures. *Scientia Iranica*. 2012. V. 19. No. 1. Pp. 77–83.
8. *Osipov A.M.* Betonirovanie pri nizkih temperaturah [Low temperature concreting]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2012. V. 23. No. 4-2 (23). Pp. 161. (rus)
9. *Korytov Yu.A.* Zimnee betonirovanie s primeneniem nagrevatel'nyh provodov [Winter concreting with the use of heating cables]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*. 2010. No. 3. Pp. 14–20. (rus)
10. *Krasnovsky B.M.* Inzhenerno-fizicheskie osnovy metodov zimnego betonirovanija [Engineering and physical principles of winter concreting methods]. Moscow: GASIS, 2007. 12 p. (rus)
11. *Gnyrya A.I., Boyarintsev A.P., Korobkov S.V., Tishchenko K.Yu.* Sbornik zadach po tehnologii betonnyh rabot v zimnih uslovijah [Collection of tasks for concrete technology in winter conditions]. Tomsk: TSUAB, 2014. 412 p. (rus)
12. *Babichev A.P., Babushkina N.A., Bratkovsky A.M., et al.* Fizicheskie velichiny. Spravochnik [Physical quantities. Reference book]. Moscow Energoatomizdat, 1991. 1232 p. (rus)
13. *Gnyrya A.I., Korobkov S.V.* Tehnologija betonnyh rabot v zimnih uslovijah [Concrete technology in winter conditions]. Tomsk: TSUAB, 2011. 412 p.

Сведения об авторах:

Гаусс Ксения Сергеевна, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, gauss.ksyu@mail.ru

Мокишин Роман Ильич, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, i3ii@bk.ru

Кулдыркаева Наталья Игоревна, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kni@gki.tomsk.ru

Мокишин Дмитрий Ильич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, i2ii@bk.ru

Authors Details

Kseniya S. Gauss, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, gauss.ksyu@mail.ru

Roman I. Mokshin, Graduate Student, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, i3ii@bk.ru

Natal'ya I. Kuldyrkaeva, Graduate Student, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kni@gki.tomsk.ru

Dmitrii I. Mokshin, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, i2ii@bk.ru