

Кучин В.Н., Серебренникова Е.Н.

РЕЖИМЫ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ МОНОЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

Зимний период в России продолжается в среднем около 5 месяцев. В этот период продолжается строительство зданий, в том числе с конструкциями из монолитного железобетона. Строительные предприятия используют различные методы тепловой обработки монолитных бетонных конструкций, которые позволяют бетону набрать требуемую прочность. Особое внимание следует уделять фундаментным конструкциям, воспринимающим нагрузку от веса всего здания.

Целью исследования является разработка методов тепловой обработки конструкций с параметрами, позволяющими сократить сроки производства работ при обеспечении требуемого качества бетона фундаментных конструкций. Для выполнения поставленной цели необходимо провести математическое моделирование методов тепловой обработки, провести анализ влияния различных факторов на параметры выдерживания бетона в опалубке.

Одними из эффективных методов теплового воздействия на бетон в зимнее время являются использование греющего провода, обогрев в греющей опалубке, электродный прогрев. Создана математическая модель для расчета температурных полей монолитной бетонной конструкции. Модель учитывает влияние таких факторов, как температура наружного воздуха, массивность конструкции, коэффициент теплопередачи опалубки. В результате расчетов определялись температура бетона, прочность бетона в различные моменты времени, температурные перепады по сечению конструкции, растягивающие напряжения в бетоне. Одним из параметров качества бетона считается его термонапряженное состояние. Оно формируется из-за возникновения разницы температур по сечению в процессе тепловой обработки бетона. Благоприятным термонапряженным состоянием считается такое, когда в процессе выдерживания бетона температура в центре конструкции была больше, чем на периферии. Периферийные зоны будут в состоянии сжатия, а значит, не дают раскрываться трещинам, лучше защищают арматуру от коррозии.

Приведены основные результаты расчета технологических параметров метода с использованием греющего провода и метода обогрева в греющей опалубке. Показано, что данные методы позволяют обеспечить относительно небольшое время набора бетоном требуемой прочности, обеспечить хорошее качество бетона монолитных конструкций.

Ключевые слова: конструкции фундаментов, монолитный бетон, режим тепловой обработки, термонапряженное состояние, качество бетона.

Kuchin V.N., Serebrennikova E.N.

HEAT TREATMENT MODES OF MONOLITHIC FOUNDATION STRUCTURES OF MULTI-STORY FRAME BUILDINGS

The winter period in Russia lasts on average about 5 months. During this period, construction of buildings continues, including those made of monolithic reinforced

concrete. Construction companies use various methods of heat treatment of monolithic concrete structures, which allow concrete to gain the required strength. Particular attention should be paid to foundation structures that bear the load from the weight of the entire building.

The purpose of the study is to develop methods of heat treatment of structures with parameters that allow reducing the production time while ensuring the required quality of concrete for foundation structures.

To achieve this goal, it is necessary to conduct mathematical modeling of heat treatment methods, analyze the influence of various factors on the parameters of concrete curing in formwork.

Some of the effective methods of thermal impact on concrete in winter are the use of a heating wire, heating in heating formwork, electrode heating. A mathematical model has been created to calculate the temperature fields of a monolithic concrete structure. The model takes into account the influence of such factors as outside air temperature, massiveness of the structure, and the heat transfer coefficient of the formwork. As a result of calculations, the temperature of concrete, the strength of concrete at different moments of time, temperature differences along the cross-section of the structure, and tensile stresses in concrete were determined. One of the parameters of concrete quality is its thermal stress state. It is formed due to the occurrence of a temperature difference along the cross-section during the heat treatment of concrete. A favorable thermal stress state is considered to be one when, during the curing of concrete, the temperature in the center of the structure was higher than on the periphery. Peripheral zones will be in a state of compression, which means they do not allow cracks to open, and better protect the reinforcement from corrosion. The main results of calculating the process parameters of the method using a heating wire and the heating method in a heating formwork are presented. It is shown that these methods allow for a relatively short time for concrete to gain the required strength, and to ensure good quality of concrete in monolithic structures.

Keywords: foundation structures, monolithic concrete, heat treatment mode, thermal stress state, concrete quality.

Многоэтажные здания каркасного типа возводятся в промышленном и гражданском строительстве для различных целей. Это могут быть жилые здания высотой до 20 этажей и выше. В многоэтажных промышленных зданиях могут размещаться различные производства: машиностроение, приборостроение, легкая, пищевая промышленность и многие другие.

Каркасные здания могут иметь различные конструктивные решения подземной части. В зависимости от нагрузок, характеристик грунтового основания, наличия грунтовых вод фундаменты могут быть запроектированы в виде монолитной фундаментной плиты, отдельно стоящих ступенчатых фундаментов, свайных фундаментов из сборных забивных или монолитных буронабивных свай. Выбор типов и параметров фундаментов является сложной расчетной задачей, при решении которой учитываются многие факторы и параметры.

В качестве конструктивного материала для фундаментов чаще других использует-

ся монолитный или сборный железобетон. Каждый из этих видов бетона имеет свою область применения, преимущества и недостатки. Сборные бетонные и железобетонные конструкции доставляют с заводов транспортом, монтируют в подземную часть здания с помощью башенных и самоходных кранов. Забивные сваи погружают с помощью сваебойных и других установок. К преимуществам сборного железобетона можно отнести высокую степень заводской готовности, хорошее качество бетона, которое в достаточной мере может быть обеспечено в заводских условиях. К недостаткам сборного железобетона по сравнению с монолитным обычно относят более высокие транспортные расходы.

Использование монолитных железобетонных конструкций позволяет во многих случаях возвести нестандартные, не типовые конструкции, повысить их жесткость, снизить расход арматурных изделий, сократить транспортные расходы. Важным условием выступает обеспечение требуемого качества

бетона, гарантированный набор бетоном требуемой прочности, особенно при укладке бетонной смеси в зимних условиях.

Для тепловой обработки монолитного бетона используются такие методы зимнего бетонирования, как термос, предварительный разогрев бетонной смеси, электропрогрев, обогрев в греющей опалубке, использование греющего провода и другие методы. К прочности бетона конструкций нулевого цикла предъявляются высокие требования. От качества проводимых работ зависит надежность и долговечность всего здания. Требуемая прочность монолитного бетона фундаментов задается соответствующим СП, может составлять 70-100 % от проектной прочности бетона в зависимости от конкретных условий [1].

При выполнении бетонных работ в зимнее время смесь, уложенная в опалубку несущих конструкций, проходит тепловую обработку в соответствии с технологическим регламентом. Используемые в настоящее время методы зимнего бетонирования хорошо изучены российскими учеными, широко применяются. Методам зимнего бетонирования посвящены работы А.С. Арбеньева, А.И. Гныри, С.Г. Головнева, В.И. Зубкова, Б.М. Красновского, Б.А. Крылова, С.А. Миронова и других ученых [3, 4, 7-21].

При предварительном выборе метода учитывается массивность конструкции, температура наружного воздуха. Монолитные несущие конструкции подземной части зданий отличаются большим разнообразием, могут иметь значения модуля поверхности от 2 до 10 м⁻¹, относятся к массивным конструкциям и конструкциям средней массивности. Для бетонирования таких конструкций может использоваться метод термоса, метод с использованием греющего провода, предварительный разогрев бетонной смеси, электродный прогрев, обогрев в греющей опалубке.

Ряд исследователей при определении параметров тепловой обработки считали важным учитывать температурные напряжения в бетоне, возникающие в результате неравномерности температурных полей по сечению конструкции при выдерживании в опалубке [12, 15, 16]. Термонапряженное состояние бетонного массива влияет на долговечность конструкции. Оно формируется из-за возникновения разницы температур по сечению в процессе тепловой обработки бетона. Благоприятным термонапряженным состоянием считается такое, когда в процессе выдерживания бетона температура в центре кон-

струкции больше, чем на периферии. В этом случае после прекращения теплового воздействия и остывания бетона до температуры, одинаковой по сечению, центр стремится сжаться больше. Периферия не дает ему этого сделать, и центральные зоны находятся в состоянии растяжения. Периферийные зоны будут в состоянии сжатия, а значит, не дают раскрываться трещинам, лучше защищают арматуру от коррозии. Такое состояние в бетоне создается при использовании предварительного разогрева бетонной смеси [4, 12, 13].

Обеспечение качества монолитных железобетонных конструкций на строительной площадке является важной задачей [6]. Для решения задачи необходимо обоснованно назначать технологические параметры тепловой обработки конструкций.

В качестве примера рассмотрены монолитные конструкции подземной части каркасного здания размером в плане 48x18 м. Высота здания 31,2 м, количество этажей 10. Приняты 2 варианта монолитных конструкций: ступенчатые фундаменты под колонны, фундаментная монолитная плита.

При моделировании были приняты следующие основные геометрические параметры ступенчатых фундаментов. Размер ступени в плане 2,4x2,1 м, высота 0,3 м, размеры подколоники в плане 1,2x0,9 м, высота подколоники 1,8 м. Класс бетона В30. Количество ступенчатых фундаментов под колонны здания 36 штук.

Размеры фундаментной плиты в плане приняты 49,4x19,4 м, средняя толщина плиты от 0,45 до 0,5 м. Класс бетона В30.

Согласно технологической карте, разработанной на устройство рассматриваемых фундаментов, организован поточный метод производства работ, объект разбит на 4 захватки, размер захватки 12x18 м. При производстве работ может быть достигнута четырехкратная оборачиваемость опалубки.

Было рассмотрено применение двух способов тепловой обработки бетона: использование греющего провода и способ обогрева бетона в греющей опалубке.

Способ использования греющего провода является эффективным методом зимнего бетонирования при устройстве монолитных конструкций [2, 19, 20]. Электрический ток проходит через стальную жилу, расположенную в поливинилхлоридной изоляции. Провод закрепляется к арматурным изделиям конструкции с определенным шагом, коммутируется с токоведущими кабелями. При пропускании электрического тока выделяется тепло в проводе, обладающим электри-

ческим сопротивлением. Тепло передается соседним зонам монолитного бетона путем теплопроводности.

Достоинством метода является достаточно равномерное распределение температурных полей по сечению конструкции, возможность задавать тепловые режимы обработки в широком диапазоне [2]. Недостатком метода является расход стали на провод, который остается в теле бетона, а также повышенная трудоемкость раскладки и закрепления провода к арматурным изделиям конструкции.

При использовании греющей опалубки нагревательные элементы многократно оборачиваются, с их помощью проводится пери-

ферийный обогрев конструкции. При расчете параметров с помощью этих двух способов учитывались такие факторы, как температура наружного воздуха, модуль поверхности конструкции, коэффициент теплопередачи опалубки. В результате расчетов определялась температура бетона, время выдерживания бетона в опалубке, прочность бетона, температурные напряжения в бетоне. Некоторые факторы и параметры используемых методов представлены в таблице 1.

Температурные напряжения в бетоне в точке X поперечного сечения конструкции определяли по следующему выражению

$$\sigma_{X,\tau} = \alpha E (t_{cp,\tau} - t_{X,\tau}) / (1 - \nu),$$

Таблица 1

Факторы и параметры	Ступенчатые фундаменты	Фундаментная плита
Количество фундаментов	36	1
Объем бетона, м ³	126	432
Трудоемкость, чел.-см	88,4	94,5
Продолжительность работ, см	14,7	15,8

где $\sigma_{X,\tau}$ – температурное напряжение в бетоне в точке X в момент времени τ , МПа,

α – коэффициент линейного температурного расширения бетона, 1/°С,

E – модуль упругости бетона в момент времени τ , МПа,

$t_{cp,\tau}$ – средняя температура бетона по сечению конструкции в момент времени τ , °С,

$t_{X,\tau}$ – температура бетона в точке с координатой X в момент времени τ , °С

ν – коэффициент Пуассона.

При проведении расчетов значение коэффициента теплопередачи опалубки принималось в диапазоне от 1 до 5 Вт/(м²·°С); значение температуры наружного воздуха – от минус 5 до минус 20 °С; значение удельной мощности нагревателей греющей опалубки – от 100 до 300 Вт/м².

При расчетах определяли технологические параметры: температуру и прочность бетона, температурные напряжения, возникающие по сечению конструкции. Начальная температура бетона в опалубке принималась равной 10 °С, скорость подъема температуры бетона ограничивали в соответствии с требованиями СП 70.13330.2012 [1]. При проведении расчетов проверяли, чтобы растягивающие напряжения в сечениях конструкции не превышали прочность бетона на растяжение, $\sigma_{px} < R_{tx}$.

Свойства упругого тела бетон приобретает при наборе прочности 22–30 % от R_{28} [5].

При этом температуры распределяются по сечению таким образом, при которых напряжения считаются нулевыми. После набора этой прочности в бетоне возникают растягивающие и сжимающие напряжения.

В ходе вычислений было принято допущение, что напряжения в бетоне возникают после начала обогрева, через 1–2 ч после укладки и уплотнения бетонной смеси. Такое допущение идет в запас прочности бетона и его термонапряженного состояния [13, 14].

Скорость подъема температуры бетона для ступенчатого фундамента принималась не более 10 °С/ч, для фундаментной плиты не более 7 °С/ч.

В таблице 2 приведен один из возможных вариантов тепловой обработки конструкций. В таблице 3 приведены некоторые результаты определения перепадов температуры по сечению и величины растягивающих напряжений.

В таблицах 3 и 4 приведены примеры результатов определения параметров. При обогреве ступенчатого фундамента с модулем поверхности 5,8 м¹ с использованием греющей опалубки с мощностью обогревателей 300 Вт/м² перепад температур по сечению конструкции составил 26 °С. Растягивающие напряжения в бетоне периферийной зоны достигают 0,89 МПа. Через 15 часов после начала обогрева перепад температур составил 9 °С, напряжения уменьшились до 0,29 МПа.

При периферийном обогреве фундаментной плиты с модулем поверхности $4,4 \text{ м}^{-1}$ обогрев верхней горизонтальной плиты моделировался с помощью греющих матов и использованием греющих элементов той же мощности, от 100 до 300 Вт/м^2 . Перепад температур по сечению через 5 часов после начала обогрева составил $32 \text{ }^\circ\text{C}$. Растягивающие напряжения достигают при этом наибольшего значения $0,92 \text{ МПа}$. Через 15 часов после начала обогрева перепад температур составил $18 \text{ }^\circ\text{C}$, растягивающие напряжения уменьшились до $0,51 \text{ МПа}$. Снижению величины перепада

температур по сечению конструкции способствует повышение температуры бетона в центральных зонах благодаря экзотермическому теплу, выделяющемуся в результате реакции гидратации цемента.

В таблице 4 приведены некоторые результаты определения параметров при обогреве с помощью греющего провода. Как видно из результатов, температурный перепад по сечению конструкции ступенчатого фундамента не превысил $18 \text{ }^\circ\text{C/ч}$, растягивающие напряжения в периферийной зоне бетона составили $0,62 \text{ МПа}$.

Таблица 2

Вид фундамента	Время подъема температуры бетона, ч	Время изотермического выдерживания, ч	Время остывания, ч
Ступенчатый фундамент	5	42	52
Фундаментная плита	6	34	78

Таблица 3

Вид конструкции	Перепад температур через время, ч, после начала обогрева, $^\circ\text{C}$				Напряжения в периферийной зоне бетона, МПа			
	5	10	15	20	5	10	15	20
Ступенчатый фундамент	26	17	9	5	0,89	0,67	0,29	0,14
Фундаментная плита	32	25	18	12	0,92	0,74	0,51	0,27

Таблица 4

Вид конструкции	Перепад температур через время, ч, после начала обогрева, $^\circ\text{C}$				Напряжения в периферийной зоне бетона, МПа			
	5	10	15	20	5	10	15	20
Ступенчатый фундамент	18	11	7	3	0,62	0,43	0,22	0,08
Фундаментная плита	16	9	6	2	0,46	0,27	0,17	0,05

В соответствие с ранее проведенными исследованиями известно, что температурные напряжения, возникающие в бетоне, можно считать не опасными, если температурный перепад по сечению конструкции не превышает $1 \text{ }^\circ\text{C/см}$ [16]. В проведенных расчетах максимальный градиент температуры по сечению составил $0,76 \text{ }^\circ\text{C/см}$ при обогреве ступенчатого фундамента с модулем поверхности $5,8 \text{ м}^{-1}$ с мощностью нагревателей греющей опалубки 300 Вт/м^2 . Данные приведены для опалубки с величиной коэффициента те-

плопередачи $\alpha_{\text{прив}} = 3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$, температуры наружного воздуха $t_{\text{нв}} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Как видно из результатов расчетного эксперимента, температурный градиент и растягивающие напряжения зависят, в первую очередь от величины удельной мощности нагревателей опалубки. Также на эти параметры в меньшей степени влияет массивность конструкции, величина коэффициента теплопередачи опалубки. При сравнении двух способов меньшие значения температурного перепада и растягивающих напряжений в бе-

тоне наблюдаются у метода греющего провода. Это объясняется расположением провода внутри монолитной конструкции, более быстрой доставкой тепла в центральные зоны фундамента. Греющий провод используется один раз, остается в теле бетона. Также к технологическим особенностям способа можно отнести достаточно большую трудоемкость закрепления провода к арматурным изделиям конструкции.

Метод с использованием греющей опалубки позволяет использовать нагреватели многократно. К назначению технологическим параметров обогрева нужно подходить обоснованно. Для снижения величины температурного перепада можно рекомендовать в период подъема температуры отключать напряжение на нагревателях на 0,3-0,6 часа для более равномерного распределения температуры по сечению конструкции.

При использовании периферийного обогрева с греющей опалубкой можно провести тепловую обработку конструкций подземной

части зданий с оптимальными режимами. Наибольший температурный градиент может возникнуть при включении нагревателей с максимальным значением теплового потока. При уменьшении теплового потока или прерывистом включении нагревателей величины температурного градиента и растягивающих напряжений уменьшаются. Снижаются трудовые затраты по сравнению с методом греющего провода. Уменьшается время выдерживания бетона в опалубке по сравнению с методами термоса, предварительного разогрева бетонной смеси.

Заключение

В результате технико-экономического сравнения способов тепловой обработки установлено, что продолжительность бетонных работ с использованием греющей опалубки может быть снижена на 8-14 % по сравнению с обогревом греющим проводом. Стоимость обогрева в греющей опалубке может быть ниже на 4-6 % по сравнению с методом греющего провода.

Литература

1. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. – М.: Минрегион России, 2012. – 280 с.
2. Алимов, Л.А. Технология бетонных работ / Алимов Л.А., Воронин В.В. – М.: Академия, 2015. – 240 с.
3. Арбенев, А.С. Проектирование технологии бетонных работ в зимних условиях. – Новосибирск, НИСИ, 1979. – 80 с.
4. Арбенев, А.С. Теория и технология бетонирования изделий и конструкций с электроподогревом смеси: автореф. дис. доктора техн. наук. – Новосибирск: НИСИ, 1975. – 33 с.
5. Баженов, Ю.М. Технология бетона: учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1987. – 415 с.
6. Байбурин, А.Х. Качество и безопасность строительных технологий монография / Байбурин А.Х., Головнев С.Г. – Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, 2006. – 453 с.
7. Гныря, А.И. Технология бетонных работ в зимних условиях: учебное пособие / Гныря А.И., Коробков С.В. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2011. – 412 с.
8. Головнев, С.Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов. – Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, 1999. – 156 с.
9. Головнев, С.Г. Технология бетонных работ в зимнее время: текст лекций. – Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, 2004. – 70 с.
10. Головнев, С.Г. Интенсивные методы в технологии бетонных работ зимой: учебное пособие. – Челябинск: Аксиома печати, 2011. – 50 с.
11. Головнев, С.Г. Компьютерное моделирование процессов выдерживания бетона в зимних условиях / Головнев С.Г., Пикус Г.А., Мозгалев К.М. // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений. – Тех. докл. IV Междунар. симпозиума, 19–22 июня 2012. – Челябинск, Южно-Уральский государственный университет. – 39-42 с.
12. Зубков, В.И. Проектирование технологии бетонирования в зимних условиях: учебное пособие / Зубков В.И., Бондаренко П.И., Молодин В.В. – Новосибирск: НИСИ, 1989. – 88 с.

13. Коваль, С.Б. Предварительный электроразогрев шлакощелочных бетонов: автореф. дис. канд. техн. наук. – Новосибирск: НИСИ, 1990. – 23 с.
14. Коваль, С.Б. Методики расчета и прогнозирования прочности бетона / Коваль С.Б., Молодцов М.В. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Строительство и архитектура, 2011, № 16, вып. 12. Челябинск. – 25-29 с.
15. Красновский, Б.М. Развитие теории и совершенствование методов зимнего бетонирования: автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1989. – 40 с.
16. Красновский, Б.М. Инженерно-физические основы методов зимнего бетонирования: М.: Юрайт, 2016, в 2 частях, Ч. 1 – 286 с., Ч. 2 – 231 с.
17. Крылов, Б.А. Вопросы теории и производственного применения электрической энергии для тепловой обработки бетона в различных температурных условиях: автореф. дис. доктора техн. наук. – М.: МИСИ, 1970. – 55 с.
18. Крылов, Б.А. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / Крылов Б.А., Амбарцумян С.А., Звездов А.И. – М.: НИИЖБ, 2005. – 275 с.
19. Миронов, С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с.
20. Стаценко, А.С. Технология бетонных работ: учебное пособие. – Минск: Вышэйшая школа, 2006. – 239 с.
21. Теличенко, В.И. Технология строительных процессов: учебник для вузов по специальности «Промышленное и гражданское строительство» / Теличенко В.И., Терентьев О.М., Лапидус А.А. – М.: Высшая школа, 2006. – 390 с.

References

1. SP 70.13330.2012. Nesushchie i ograbdayushchie konstrukcii. – М.: Minregion Rossii, 2012. – 280 s.
2. Alimov, L.A. Tekhnologiya betonnyh работ / Alimov L.A., Voronin V.V. – М.: Akademiya, 2015. – 240 s.
3. Arben'ev, A.S. Proektirovanie tekhnologii betonnyh работ v zimnih usloviyah. – Novosibirsk, NISI, 1979. – 80 s.
4. Arben'ev, A.S. Teoriya i tekhnologiya betonirovaniya izdelij i konstrukcij s elektropodogrevom smesi: avtoref. dis. doktora tekhn. nauk. – Novosibirsk: NISI, 1975. – 33 s.
5. Bazhenov, YU.M. Tekhnologiya betona: uchebnoe posobie. – М.: Vysshaya shkola, 1987. – 415 s.
6. Bajburin, A.H. Kachestvo i bezopasnost' stroitel'nyh tekhnologij monografiya / Bajburin A.H., Golovnev S.G. – CHelyabinsk, YUzhno-Ural'skij gosudarstvennyj universitet, 2006. – 453 s.
7. Gnyrya, A.I. Tekhnologiya betonnyh работ v zimnih usloviyah: uchebnoe posobie / Gnyrya A.I., Korobkov S.V. – Tomsk: Tomskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2011. – 412 s.
8. Golovnev, S.G. Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Optimizaciya parametrov i vybor metodov. – CHelyabinsk, YUzhno-Ural'skij gosudarstvennyj universitet, 1999. – 156 s.
9. Golovnev, S.G. Tekhnologiya betonnyh работ v zimnee vremya: tekst lekcij. – CHelyabinsk, YUzhno-Ural'skij gosudarstvennyj universitet, 2004. – 70 s.
10. Golovnev, S.G. Intensivnye metody v tekhnologii betonnyh работ zimoj: uchebnoe posobie. – CHelyabinsk: Aksioma pechati, 2011. – 50 s.
11. Golovnev, S.G. Komp'yuternoe modelirovanie processov vyderzhivaniya betona v zimnih usloviyah / Golovnev S.G., Pikus G.A., Mozgalev K.M. // Aktual'nye problemy komp'yuternogo modelirovaniya konstrukcij i sooruzhenij. – Tekh. dokl. IV Mezhdunar. simpoziuma, 19–22 iyunya 2012. – CHelyabinsk, YUzhno-Ural'skij gosudarstvennyj universitet. – 39-42 s.
12. Zubkov, V.I. Proektirovanie tekhnologii betonirovaniya v zimnih usloviyah: uchebnoe posobie / Zubkov V.I., Bondarenko P.I., Molodin V.V. – Novosibirsk: NISI, 1989. – 88 s.
13. Koval', S.B. Predvaritel'nyj elektrorazogrev shlakoshchelochnyh betonov: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. – Novosibirsk: NISI, 1990. – 23 s.
14. Koval', S.B. Metodiki rascheta i prognozirovaniya prochnosti betona / Koval' S.B.,

Molodcov M.V. // Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Stroitel'stvo i arhitektura, 2011, № 16, vyp. 12. Chelyabinsk. – 25-29 s.

15. Krasnovskij, B.M. Razvitiye teorii i sovershenstvovanie metodov zimnego betonirovaniya: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. – M., 1989. – 40 s.

16. Krasnovskij, B.M. Inzhenerno-fizicheskie osnovy metodov zimnego betonirovaniya: M.: YUrajt, 2016. v 2 chastyah, CH. 1 – 286 s., CH. 2 – 231 s.

17. Krylov, B.A. Voprosy teorii i proizvodstvennogo primeneniya elektricheskoy energii dlya teplovoj obrabotki betona v razlichnykh temperaturnykh usloviyakh: avtoref. dis. doktora tekhn. nauk. – M.: MISI, 1970. – 55 s.

18. Krylov, B.A. Rukovodstvo po progrevu monolitnykh konstrukciy / Krylov B.A., Ambarcumyan S.A., Zvezdov A.I. – M.: NIIGB. – 275 s.

19. Mironov, S.A. Teoriya i metody zimnego betonirovaniya. – M.: Strojizdat, 1975. – 700 s.

20. Stacenko, A.S. Tekhnologiya betonnykh rabot: uchebnoe posobie. – Minsk: Vyshejschaya shkola, 2006. – 239 s.

21. Telichenko, V.I. Tekhnologiya stroitel'nykh processov: uchebnyk dlya vuzov po special'nosti «Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo» / Telichenko V.I., Terent'ev O.M., Lapidus A.A. – M.: Vysshaya shkola, 2006. – 390 s.

Кучин В. Н.,

доцент кафедры «Строительное производство и теория сооружений», кандидат технических наук Южно-Уральский государственный университет. E-mail: kuchinvn@susu.ru

Kuchin V. N.,

Docent Department of "Construction Production and Theory Structures", Candidate of Technical Sciences South Ural State University. E-mail: kuchinvn@susu.ru

Серебrenникова Е. Н.,

старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции и сооружения» Южно-Уральский государственный университет. E-mail: serebrennikovaen@susu.ru

Serebrennikova E. N.,

Senior Lecturer, Department of Building Structures and Facilities South Ural State University. E-mail: serebrennikovaen@susu.ru

Поступила в редакцию 29.10.2024