

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

Монолитные каркасные здания возводятся в России в летний и зимний период. Большую долю каркасных зданий в настоящее время занимают многоэтажные жилые здания из сборного или монолитного железобетона. Каркас здания состоит, как правило, из сборных или монолитных колонн, монолитных пилонов и плит перекрытий. Сложность возведения таких зданий в зимний период заключается в необходимости проведения тепловой обработки монолитных конструкций, устраиваемых при отрицательных температурах наружного воздуха. Монолитный бетон, уложенный в конструкцию, должен набрать определенную прочность, после достижения которой можно продолжать строительство следующих этажей здания. Зимний период на большей части территории России продолжается около 5 месяцев. В это время строительные предприятия используют пассивные и активные методы тепловой обработки монолитного бетона. Расчет параметров теплового воздействия является актуальной задачей, от решения которой зависят продолжительность выдерживания бетона в опалубке, расход энергетических ресурсов, затраты труда рабочих. Выбор оптимальных методов влияет на продолжительность возведения здания, стоимость работ. Важным параметром является качество монолитных несущих конструкций, от которых зависят надежность и долговечность здания, как строительной системы. Во время тепловой обработки бетона наблюдается неравномерное распределение температур по сечению конструкции. Благоприятное термонапряженное состояние в бетоне создается при использовании методов, при которых температура бетона при твердении в центральной части выше, чем на периферии. Это методы термоса, предварительного разогрева. Современные методы использования греющего провода, греющей опалубки позволяют обеспечить равномерное распределение температур по сечению конструкции. Математическая программа, разработанная на кафедре строительного производства и теории сооружений, дает возможность определить параметры тепловой обработки. В статье предложено использование греющей опалубки как метода активного теплового воздействия на бетон. Данный метод позволяет проводить температурный обогрев бетонной конструкции с мягким режимом и обеспечивать достаточно равномерные температурные перепады по сечению конструкции. Данный метод является эффективным по сравнению с методом использования греющего провода, греющая опалубка может многократно обобщаться. Проведено технико-экономическое сравнение вариантов методов теплового воздействия на бетон. Показано, что могут быть снижены значения таких параметров, как трудоемкость выполнения работ, стоимость бетонных работ при соблюдении требуемого уровня качества конструкций.

Ключевые слова: каркасные здания, монолитный бетон, режим тепловой обработки, термонапряженное состояние.

HEAT TREATMENT FEATURES OF MONOLITHIC STRUCTURES MULTI-STOREY FRAME BUILDINGS

Monolithic frame buildings are erected in Russia during summer and winter. A large number of frame buildings are currently occupied by multi-storey residential buildings made of prefabricated or monolithic reinforced concrete. The frame of the building consists, as a rule, of prefabricated or monolithic columns, monolithic pylons and floor slabs. The complexity of the buildings construction in the winter period lies in the need for heat treatment of monolithic structures arranged at negative outdoor temperatures. Monolithic concrete, laid in the structure, must gain a certain strength, after which it is possible to continue the next floors construction of the building. The winter period in most of the territory of Russia lasts about 5 months. At this time, construction companies use passive and active methods of monolithic concrete heat treatment. The calculation of thermal exposure parameters is an urgent task, the solution of which determines the duration of keeping concrete in the formwork, the energy resources consumption, and the labor costs of workers. The choice of optimal methods affects the duration of the building construction, the cost of work. An important parameter is the quality of monolithic load-bearing structures, which determine the reliability and durability of the building as a building system. During the concrete heat treatment, an uneven temperatures distribution over the structure cross section is observed. A favorable thermal stress state in concrete is created by using methods in which the concrete temperature during hardening in the central part is higher than at the periphery. These are thermos methods, preheating. Modern methods of using a heating wire and heating formwork make it possible to ensure a uniform distribution of temperatures over the structure cross section. The mathematical program developed at the Department of Construction Production and Theory of Structures makes it possible to determine the heat treatment parameters. The article proposes the use of heating formwork as an active thermal action method on concrete. This method makes it possible to carry out temperature of a concrete structure heating with a mild regime and to ensure fairly uniform temperature differences across the structure cross section. This method is effective compared to the heating wire method, the heating formwork can be turned over many times. A technical and economic comparison for methods options on concrete thermal action has been carried out.

It is shown that the values of such parameters as the work complexity, the cost of concrete work can be reduced, while maintaining the required level of structures quality.

Keywords: *frame buildings, monolithic concrete, heat treatment mode, thermally stressed state.*

Строительство многоэтажных жилых зданий каркасного типа является активно развивающимся направлением в жилищном строительстве. Наряду с панельными зданиями каркасные жилые здания пользуются спросом на рынке недвижимости, имеют определенные достоинства. Среди таких объектов могут быть здания, относящиеся к классу повышенной комфортности, здания с апартаментами, здания, являющиеся знаковыми в конкретном городе.

Конструктивные схемы каркасных зданий за последние примерно 10 лет претерпели небольшие изменения. Так, ранее каркас жилых зданий обычно состоял из сборных колонн

и монолитных плит перекрытий. Устойчивость здания обеспечивалась монолитными ядрами жесткости, включающими в себя лестнично-лифтовые узлы. В последнее десятилетие строительные фирмы стали чаще использовать систему монолитных пилонов, находящихся на внутренних и наружных осях планировочной схемы здания. Пилоном является вытянутая в плане железобетонная колонна с вытянутым поперечным сечением. Размеры пилонов могут назначаться по ширине от 200 до 400 мм, по длине от 800 до 1500 мм (ориентировочно). Пилоны, в отличие от колонн, можно более гармонично вписать в планировку помещений, избежать наличия

выступающих углов и граней внутри жилых помещений.

Этажность возводимых в крупных городах жилых зданий за последнее десятилетие продолжает постепенно увеличиваться, примерно с 14-16 этажей в 2010-2012 годах до 16-24 этажей в настоящее время (2023 год). В связи с большими объемами и трудоемкостями работ технология возведения зданий повышенной этажности предусматривает их строительство в летний и зимний период. Продолжительность набора бетоном прочности в несущих конструкциях влияет на скорость производства работ, длительность возведения каркаса здания. Прочность бетона несущих конструкций, при которой возможна разборка опалубки и продолжение следующих процессов, должна указываться в проекте производства работ. Эта прочность зависит от вида конструкций, так, для монолитных плит перекрытий распалубочная прочность задается соответствующим СП [1] и составляет 70-80 % от проектной прочности бетона в зависимости от пролета конструкции. Для пилонов, стен лестнично-лифтового узла распалубочная прочность зависит от номера этажа, на котором находится конструкция, схемы последующего нагружения, температурно-влажностно-го режима твердения бетона.

При производстве бетонных работ в зимнее время бетонная смесь, уложенная в опалубку несущих конструкций, должна подвергаться тепловой обработке в соответствии с технологическим регламентом. Методы зимнего бетонирования, используемые при выдерживании конструкций, хорошо изучены, имеют практическое применение. Предварительный выбор метода зависит от массивности конструкции, характеризующейся модулем поверхности, а также от температуры наружного воздуха. Несущие конструкции монолитных пилонов и плит перекрытий имеют значения модуля поверхности в пределах 7...12 м⁻¹, т.е. относятся к конструкциям со средней массивностью. Для таких конструкций не следует применять метод термоса, могут быть рекомендованы метод с использованием греющего провода, греющей опалубки, греющих матов, их сочетания.

Достаточно важным вопросом при определении параметров тепловой обработки бетона ряд исследователей считали возникновение температурных напряжений в бетоне, возникающих в результате неравномерности тепловых полей. Исследования проводились на кафедре строительного производства и теории сооружений Южно-Уральского государственного университета, и были посвя-

щены изучению влияния различных факторов на параметры тепловой обработки средне-массивных конструкций.

Технологии зимнего бетонирования посвящены работы А.С. Арбеньева, А.И. Гныри, С.Г. Головнева, Б.М. Красновского, С.А. Миронова и других российских ученых [3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18].

К качеству монолитных железобетонных несущих конструкций предъявляются требования, содержащиеся в нормативных документах [1]. Одним из показателей качества является термонапряженное состояние затвердевшей бетонной конструкции. Уровень температурных напряжений, который приобрел бетон при выдерживании конструкции, влияет на её долговечность. Если температура наружных слоев бетона при выдерживании в опалубке была выше, чем в центре, тепловое расширение будет больше. Тогда после остывания конструкции центральная часть будет находиться в сжатом состоянии, а периферийная часть в растянутом. Это является неблагоприятным состоянием для бетона в наружном слое, так как в растянутой наружной зоне присутствует вероятность появления трещин, проникновения влаги, коррозии арматуры и бетонной конструкции. Благоприятным термонапряженным состоянием считается такое, когда бетон в центре конструкции при выдерживании имел температуру выше, чем на периферии. В этом случае периферия после остывания конструкции будет находиться в сжатом состоянии. Такой характер распределения возможен при использовании метода предварительного разогрева бетонной смеси [4, 12, 13].

Обеспечение качества монолитных железобетонных конструкций на строительной площадке является важной задачей [6]. Решение такой задачи возможно путем назначения обоснованных параметров тепловой обработки конструкций.

Одним из современных эффективных методов в зимнее является метод использования греющего провода при прогреве монолитных конструкций [2, 19, 20]. Метод основан на пропускании переменного электрического тока через стальной сердечник в поливинилхлоридной изоляции. С определенным шагом провод закрепляется к арматурным сеткам, стержням внутри конструкции. Стальной провод обладает электрическим сопротивлением, в нем выделяется тепло, которое передается в бетонную конструкцию путем теплопроводности.

К достоинствам метода греющего провода относится достаточно равномерное распределение температур по сечению конструкции, возможность плавного регулирования силы

тока на участках прогрева [2]. К недостаткам можно отнести достаточно большую трудоемкость раскладки и закрепления провода к арматуре внутри конструкции, расход стали на провод, который остается в теле бетона.

Исследования были посвящены разработке технологии обогрева бетона в греющей опалубке, позволяющей достичь требуемого качества бетона. Была разработана математическая модель, позволяющая рассчитать температурные и прочностные поля в бетонных конструкциях, а также температурные напряжения. В программе учитывались различные факторы работ, такие как температура наружного воздуха, модуль поверхности конструкции, коэффициент теплопередачи опалубки. Основными параметрами в расчетах принимались температура бетона, время выдерживания, прочность бетона, температурные напряжения и деформации бетона. Подобные программы расчета были разработаны в более раннее время.

Для вычисления температурных напряжений в точке X поперечного сечения бетонной конструкции пользовались следующим выражением

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

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

α – коэффициент линейного температурного расширения бетона, $1/^\circ\text{C}$,

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

$t_{cp,\tau}$ – средняя температура бетона по сечению конструкции в момент времени τ , $^\circ\text{C}$,

$t_{X,\tau}$ – температура бетона в точке с координатой X в момент времени τ , $^\circ\text{C}$

ν – коэффициент Пуассона.

При проведении расчетов рассматривали влияние следующих факторов: модуль поверхности конструкции – 3, 5, 6, 7, 12 м^{-1} ; коэффициент теплопередачи опалубки от 1 до 5 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; температура наружного воздуха – от минус 5 до минус 25 $^\circ\text{C}$; удельная мощность нагревателей греющей опалубки – от 50 до 300 $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Во время расчетов анализировали изменение технологических параметров: температуры и прочности бетона, напряжений, возникающих по сечению конструкции, уровню напряжений.

Начальную температуру бетона в опалубке принимали равной 10–15 $^\circ\text{C}$, скорость подъема температуры в пределах от 5 до 20 $^\circ\text{C}/\text{ч}$. При проведении расчетов контролировали, чтобы растягивающие напряжения в сечениях конструкции не превышали прочность бетона на растяжение, $\sigma_{px} < R_{tx}$.

Особенностью твердения бетона является то, что 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. С этого момента в бетоне возникают растягивающие и сжимающие напряжения.

В ходе вычислений было принято допущение, что напряжения в бетоне возникают сразу после начала обогрева, через 0,5–1 ч после укладки и уплотнения бетонной смеси. Такое допущение идет в запас прочности бетона и термонапряженного состояния [13, 14].

Ниже приведены результаты расчетов параметров периферийного обогрева для конструкций с модулем поверхности 7 и 12 м^{-1} . Мощность нагревателей опалубки в этих примерах составила 100 и 200 $\text{Вт}/\text{м}^2$.

В таблицах 1 и 2 приведены результаты некоторых вычислений. При обогреве конструкций с модулем поверхности 7 м^{-1} (табл. 1) с мощностью обогревателей 200 $\text{Вт}/\text{м}^2$ температура бетона на периферии через 8 ч после начала обогрева составила 70 $^\circ\text{C}$, температурный перепад между периферией и центром 23 $^\circ\text{C}$. Растягивающие напряжения на поверхности бетона составили 0,85 МПа. Уровень напряжений в этом случае был близок к 0,5 от предельного значения. Такая скорость подъема температуры является допустимой для периферийного обогрева.

При обогреве конструкций с модулем поверхности 12 м^{-1} (табл. 2) температура бетона на поверхности через 8 ч с начала обогрева составила 71 $^\circ\text{C}$. Температурный перепад в этом момент был равен 16 $^\circ\text{C}$, напряжения в наружной зоне бетона составили 0,52 МПа. Уровень напряжений близок к 0,3.

Ранее было известно, что температурные напряжения в бетоне могут считаться не опасными, если температурный перепад по сечению конструкции не превышает 1 $^\circ\text{C}/\text{см}$ [16]. В приведенных расчетах максимальный температурный градиент составил 0,72 $^\circ\text{C}/\text{см}$ при обогреве конструкции с модулем поверхности 5 м^{-1} и мощности нагревателей опалубки 200 $\text{Вт}/\text{м}^2$. Данные приводятся для коэффициента теплопередачи опалубки $\alpha_{прив} = 3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, температуры наружного воздуха $t_{нв} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Наибольшее значение разности температур по сечению конструкции в представленных расчетах составило 23 $^\circ\text{C}$. Эта величина наблюдалась при обогреве конструкции с модулем поверхности 7 м^{-1} обогревателями с мощностью 200 $\text{Вт}/\text{м}^2$. Как видно из результатов, следует обоснованно подходить к на-

Таблица 1

Изменения температуры и напряжений в бетоне при обогреве конструкции с модулем поверхности 5 м²

Время обогрева, ч	Мощность нагревателей, Вт/м ²	Температура бетона на периферии, °С	Температура бетона в центре, °С	Растягивающие напряжения на поверхности, МПа
1	100	13	10	0,09
5	100	28	12	0,50
8	100	34	18	0,50
1	200	22	10	0,38
5	200	56	21	0,56
8	200	70	47	0,85

Таблица 2

Изменения температуры и напряжений в бетоне при обогреве конструкции с модулем поверхности 12 м²

Время обогрева, ч	Мощность нагревателей, Вт/м ²	Температура бетона на периферии, °С	Температура бетона в центре, °С	Растягивающие напряжения на поверхности, МПа
1	100	15	10	0,16
5	100	31	20	0,35
8	100	36	25	0,35
1	200	20	12	0,26
5	200	59	42	0,46
8	200	71	55	0,52

значению мощности нагревателей опалубки. Температурный градиент по сечению конструкции определяется значением мощности нагревателей опалубки. В меньшей степени температурный градиент зависит от массивности конструкции, коэффициента теплопередачи опалубки.

Были проведены технико-экономические расчеты параметров обогрева. Наблюдается увеличение стоимости опалубки за счет закрепления на ней сетчатого нагревателя по сравнению со способом использования греющего провода. В дальнейшем греющая опалубка многократно оборачивается, это выравнивает ее использование по стоимости, так как растут затраты на однократное использование греющего провода, который остается в бетоне после прогрева.

Использование периферийного метода обогрева с использованием греющей опалубки позволяет провести тепловую обработку с мягкими режимами воздействия на бетон. Многократное использование греющей опалубки позволяет уменьшить затраты по сравнению с методом греющего провода. При проведении расчетов получены значения температуры бетона в центральной и периферийной зонах пилонов и перекрытий, температурного градиента по сечению конструкций, прочности бетона на сжатие

и растяжение, уровня напряжений, температурных напряжений в бетоне. Наибольший температурный градиент возникает при интенсивном обогреве конструкции нагревателями с достаточно большим тепловым потоком. При уменьшении теплового потока уменьшаются перепады температур по сечению, температурные напряжения находятся в пределах допустимых значений. Время выдерживания бетона в опалубке уменьшается по сравнению с методами термоса, электропрогрева. Значение трудовых затрат уменьшается по сравнению с методом греющего провода, это связано с исключением процесса закрепления провода к арматурным изделиям до укладки бетонной смеси. Продолжительность бетонных работ становится незначительно меньше, чем при использовании греющего провода.

Технико-экономическое сравнение результатов расчетов показало хорошую эффективность использования метода обогрева бетона в греющей опалубке. Продолжительность укладки и обогрева монолитных конструкций сокращается на 10-15% по сравнению с методом греющего провода. Стоимость обогрева в греющей опалубке оказалась на 5-7% ниже по сравнению с методом греющего провода.

Литература

1. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. – М.: Минрегиор России, 2012. – 280 с.
2. Алимов, Л.А. Технология бетонных работ / Алимов Л.А., Воронин В.В. – М.: Академия, 2015. – 240 с.
3. Арбенъев, А.С. Проектирование технологии бетонных работ в зимних условиях. – Новосибирск, НИСИ, 1979. – 80 с.
4. Арбенъев, 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. Байбурун, А.Х. Качество и безопасность строительных технологий монография / Байбурун 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 Международ. 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: в 2 частях, Ч. 1 – 286 с., Ч. 2 – 231 с. – М.: Юрайт, 2016.
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. Миронов, С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с.
19. Стаценко, А.С. Технология бетонных работ: учебное пособие. – Минск: Вышэйшая школа, 2006. – 239 с.
20. 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 ograzhdayushchie konstrukcii. – М.: Minregior Rossii, 2012. – 280 s.

2. Alimov, L.A. Tekhnologiya betonnyh rabot / Alimov L.A., Voronin V.V. – М.: Akademiya, 2015. – 240 s.
3. Arben'ev, A.S. Proektirovanie tekhnologii betonnyh rabot 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 rabot 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. Optimizatsiya parametrov i vybor metodov. – CHelyabinsk, YUzhno-Ural'skij gosudarstvennyj universitet, 1999. – 156 s.
9. Golovnev, S.G. Tekhnologiya betonnyh rabot v zimnee vremya: tekst lekcij. – CHelyabinsk, YUzhno-Ural'skij gosudarstvennyj universitet, 2004. – 70 s.
10. Golovnev, S.G. Intensivnye metody v tekhnologii betonnyh rabot zimoj: uchebnoe posobie. – CHelyabinsk: Aksioma pečati, 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. Razvitie teorii i sovershenstvovanie metodov zimnego betonirovaniya: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. – М., 1989. – 40 s.
16. Krasnovskij, B.M. Inzhenerno-fizicheskie osnovy metodov zimnego betonirovaniya: v 2 chastyah, CH. 1 – 286 s., CH. 2 – 231 s. – М.: YUrajt, 2016.
17. Krylov, B.A. Voprosy teorii i proizvodstvennogo primeneniya elektricheskoy energii dlya teplovoj obrabotki betona v razlichnyh temperaturnyh usloviyah: avtoref. dis. doktora tekhn. nauk. – М.: MISI, 1970. – 55 s.
18. Mironov, S.A. Teoriya i metody zimnego betonirovaniya. – М.: Strojizdat, 1975. – 700 s.
19. Stacenko, A.S. Tekhnologiya betonnyh rabot: uchebnoe posobie. – Minsk: Vyshejschaya shkola, 2006. – 239 s.
20. Telichenko, V.I. Tekhnologiya stroitel'nyh processov: uchebnik dlya vuzov po special'nosti «Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo» / Telichenko V.I., Terent'ev O.M., Lapidus A.A. – М.: Vysshaya shkola, 2006. – 390 s.

Кучин В. Н.,

доцент кафедры строительного производства и теории сооружений, кандидат технических наук, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: kuchinvn@susu.ru

Kuchin V. N.,

docent, department of construction production and theory structures candidate of technical sciences, South Ural State University, c. Chelyabinsk, Russia. E-mail: kuchinvn@susu.ru

Поступила в редакцию 01.06.2023