

УПРАВЛЕНИЕ ГРАДИЕНТОМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО СЕЧЕНИЮ МАССИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СПОСОБОМ ПОСЛОЙНОЙ УКЛАДКИ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Г.А. Пикус¹, pikusga@susu.ru
К.М. Мозгалёв^{1,2}, mozgalevkm@susu.ru
А.Е. Русанов¹, rusanovae@susu.ru
А.О. Маркелов^{1,3}, 89193565666@mail.ru

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Главное управление государственного строительного надзора Челябинской области, Челябинск, Россия

³ ООО «Специализированный застройщик МФК «ЕХЕ», Челябинск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрен способ укладки бетонной смеси в массивные конструкции, обеспечивающий благоприятное термонапряженное состояние бетона. Оценка термонапряженного состояния производилась по градиенту температуры, возникающему в процессе термосного выдерживания по сечению призматической конструкции с модулем поверхности $3,1 \text{ м}^{-1}$. В работе приводится анализ отечественных и зарубежных источников литературы по величинам предельно допустимых значений градиента температуры, даны рекомендации по учету влияния процента армирования конструкции на значения допустимых градиентов температуры по ее сечению. Даются ссылки на иные способы обеспечения благоприятного термонапряженного состояния бетона, исследованные авторами в своих предыдущих работах. Приведены неудовлетворительные результаты компьютерного моделирования распределения температур без применения послойной укладки бетонной смеси. Показана необходимость применения эффективных добавок замедлителей схватывания для обеспечения послойной укладки бетонной смеси без образования рабочих швов. При этом укладка бетонной смеси отдельными слоями распределит процесс тепловыделения во времени и уменьшит его пиковые значения за счет меньшего количества цемента в каждом слое по сравнению с непрерывной укладкой всего объема.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, градиент температуры, термонапряженное состояние, экзотермия

Для цитирования. Управление градиентом температуры по сечению массивных конструкций способом послойной укладки бетонной смеси / Г.А. Пикус, К.М. Мозгалёв, А.Е. Русанов, А.О. Маркелов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2023. Т. 23, № 4. С. 52–58. DOI: 10.14529/build230406

Original article
DOI: 10.14529/build230406

USING LAYER-BY-LAYER CONCRETE DEPOSITION TO CONTROL THE TEMPERATURE GRADIENT ALONG THE CROSS-SECTION OF MASSIVE STRUCTURES

G.A. Pikus¹, pikusga@susu.ru
K.M. Mozgalev^{1,2}, mozgalevkm@susu.ru
A.E. Rusanov¹, rusanovae@susu.ru
A.O. Markelov^{1,3}, 89193565666@mail.ru

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² Department of State Construction Supervision of the Chelyabinsk Region, Chelyabinsk, Russia

³ LLC Specialized Developer MFC EXE, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The paper considers a method for depositing concrete mixtures into massive structures, which provides a favorable thermo-stressed concrete state. The thermo-stressed state was assessed according to the temperature gradient arising during thermo-curing along the cross-section of a prismatic structure with a surface modulus of 3.1 m^{-1} . The paper analyzes domestic and foreign literature on the maximum allowable values of the temperature gradient and recommends accounting for the influence of the structural reinforcement ratio on allowable temperature gradients along the reinforcement cross-section. It also discusses other means of achieving a favorable thermo-stressed state of concrete studied in previous works. The paper presents the unsatisfactory results of a computer simulation of temperature distribution without concrete mixture layering. These results show the necessity of using effective set retarding

admixes to ensure concrete layering without the formation of construction joints. Layering the concrete distributes the heat release process over time and reduces its peak values due to a smaller amount of cement in each layer compared to continuous layering of the entire volume.

Keywords: winter concreting, temperature gradient, thermo-stressed state, exotherm

For citation. Pikus G.A., Mozgalev K.M., Rusanov A.E., Markelov A.O. Using layer-by-layer concrete deposition to control the temperature gradient along the cross-section of massive structures. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2023;23(4):52–58. (in Russ.). DOI: 10.14529/build230406

Введение

Температурные напряжения в бетонных конструкциях могут возникать либо вследствие ограничения перемещений конструкций из-за имеющихся связей (сами же перемещения вызваны температурными воздействиями на конструкцию – нагрев или остывание), либо вследствие неравномерности распределения температур по сечению бетона или структурных деформаций свежесушеного бетона, подвергнутого тепловой обработке. Такие температурные напряжения называют соответственно вынужденными и собственными [1].

Здесь нужно заметить, что сами температурные напряжения не вызывают изменения объема бетона конструкции. Изменение объема связано только с прямым воздействием температуры на материал. Тем не менее при превышении величин температурных напряжений значений прочности бетона в них могут появиться трещины [2].

Управляя температурным режимом (скоростями нагрева и остывания, максимальной температурой), распределением температур по сечению бетона или перераспределяя усилия, мы тем самым можем управлять формированием собственных температурных напряжений в нем [1, 3–5].

Так, для восприятия собственных напряжений, вызванных структурными деформациями свежесушеного бетона из-за больших скоростей нагрева, можно рекомендовать введение стальной фибры [6]. Сталефибробетоны даже на ранней стадии твердения могут воспринимать в 3...6 раз более высокие температурные напряжения, чем обычные бетоны того же возраста. Это связано с сохранением плотности бетона в процессе нагрева за счет сдерживания фиброй раздвижки его компонентов. Исследования по влиянию состава бетонной смеси и параметров армирования конструкции на распределение температур по сечению бетона приведены в [7].

Эксперименты [8] показывают, что с увеличением градиентов температур ухудшаются физико-механические свойства бетона. Так, при росте температурных градиентов до 0,6 °C/см прочность бетона на сжатие снижается на 1,5 % по сравнению с контрольными образцами, прочность при растяжении – на 1 %, а морозостойкость – на 4 %. При увеличении градиентов температур до 1,4 °C/см прочность при сжатии снижается на 8,6 %, прочность при растяжении – на 7,4 %, а морозостойкость – на 17 %. При этом вероятность появ-

ления трещин в бетонируемой конструкции, особенно наиболее опасных – сквозных трещин, резко увеличивается. В работе [9] для массивных конструкций определено предельное значение градиента температур – 0,1 °C/см. В типовой технологической карте [10] ограничен максимальный перепад температуры по сечению двухветвевой колонны 10 °C, что при учете симметрии распределения температуры и ширины колонны 140 см дает предельный градиент температуры 0,14 °C/см. По данным проф. В.С. Абрамова, при периферийном прогреве массивных конструкций градиент температуры не должен превышать 0,15 °C/см. Во Вьетнаме [11, 12] максимальный градиент температуры ограничен 0,5 °C/см. В Руководстве [13] приведен максимальный градиент температуры в приэлектродной зоне стержневых электродов – 1 °C/см.

В книге [1] приведен максимально допустимый перепад температуры в зависимости от геометрии конструкции, причем он идет в увязке с прочностью бетона. Так, предельные градиенты температуры можно увеличивать на 12...14 % при увеличении класса бетона с В10 до В20. Изменение температурных напряжений в конструкциях из бетонов разных составов рассмотрено также в работе [14].

Однако нужно заметить, что неравномерность температурного поля при небольших градиентах температуры может оказывать благоприятное влияние на термонапряженное состояние бетона за счет эффективного перераспределения напряжений [15]. При этом будет наблюдаться неравномерное распределение прочности по объему конструкции, которое сложно отследить, применяя разрушающие и неразрушающие методы контроля [16].

Для уменьшения собственных напряжений, вызванных неравномерным температурным полем, можно рекомендовать правильный выбор теплофизических характеристик конструкций, ограждающих бетон (опалубки и утеплителя). Такая опалубка совместно с утеплением открытых поверхностей гарантирует от возникновения недопустимых градиентов температур [17].

Еще одним способом борьбы с неравномерным распределением температуры по сечению бетона может быть использование электротермообработки только наружных поверхностей конструкции [18, 19]. В этом случае нагретые периферийные слои останавливают отток тепла из тела бетона, выравнивая температуры.

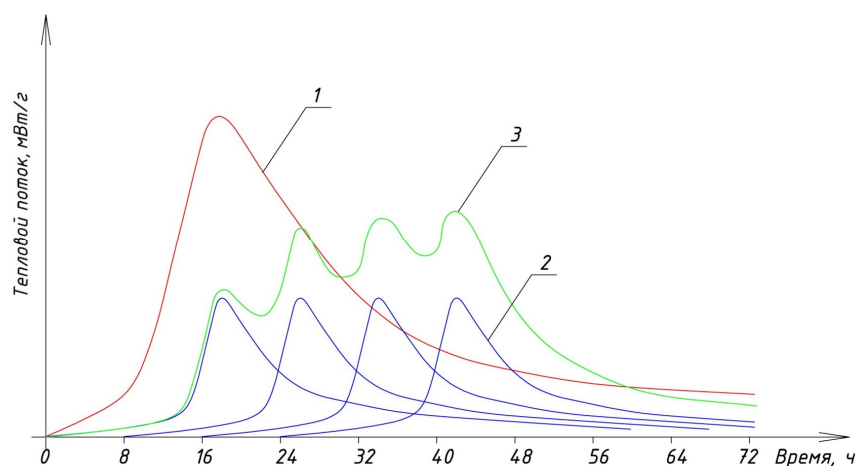


Рис. 1. Тепловыделение в цементе: 1 – при непрерывной укладке бетона; 2 – в каждом слое при послойной укладке бетона; 3 – огибающая эпюра при послойной укладке бетона

Для массивных конструкций с большой, вследствие экзотермии цемента, величиной саморазогрева можно рекомендовать послойную укладку бетонной смеси без образования рабочих швов. Такое решение эффективно в том случае, когда менять состав бетона (снижать активность цемента, его количество на единицу объема) по тем или иным причинам невозможно, а применять термообработку – неэффективно.

Методика проведения исследования

Известно, что в результате экзотермической реакции пик тепловыделения цемента для массивной конструкции, выполненной с непрерывной укладкой бетонной смеси, будет приходиться на некоторый четко определенный промежуток времени (кривая 1 на рис. 1). Суть же рассматриваемого способа состоит в том, что укладка бетонной смеси отдельными слоями распределит процесс тепловыделения во времени (кривая 2 на рис. 1 показывает процесс тепловыделения для каждого слоя с определенным интервалом его укладки) и уменьшит его пиковые значения за счет меньшего количества цемента в каждом слое по сравнению с непрерывной укладкой всего объема (кривая 3 на рис. 1 – огибающая эпюра при послойной укладке бетона).

Здесь одной из технологических задач является увеличение промежутка времени между укладкой каждого очередного слоя бетонной смеси, не допуская при этом образования рабочих швов. Решением этой задачи может являться применение при приготовлении бетонной смеси эффективных добавок замедлителей схватывания (в эксперименте применялась добавка замедлителя схватывания фирмы BASF).

В процессе эксперимента¹ бетонная смесь с добавкой замедлителя схватывания укладывалась

послойно в форму с размерами в плане 2×2 м, выполненную из фанеры. Интервал времени между укладкой слоев – 8 часов (время схватывания смеси – 12 часов). Высота слоев – 150 мм (модуль поверхности каждого слоя – около 13 м^2). Подача смеси в форму осуществлялась по лотку. Высота свободного сбрасывания смеси не превышала 1 м. В результате получилась призма высотой 2,1 м (модуль поверхности всей конструкции – 3 м^2).

Внутри формы располагался арматурный каркас для фиксации хромель-алюмелевых термопар. Спаи на концах термопар изолированы термоусадочной трубкой. Общее количество термопар в блоке – 16 шт. Так как конструкция симметричная, то термопары располагались в пределах одной четверти объема формы (рис. 2). Измерение температуры проводилось при помощи двух регистраторов «Терем 4» производства ООО НПФ «Интерприбор». Интервал измерения температур – 20 минут.

Результаты исследования

Исследование тепловыделения применяемого в эксперименте цемента без добавки и с добавкой замедлителя схватывания были выполнены на кафедре «Строительные материалы и изделия» ЮУрГУ (рис. 3). Видно, что величина пикового значения теплового потока материала с добавкой (кривая 2) уменьшилась, по сравнению с исходным материалом без добавки (кривая 1), за счет увеличения дисперсии распределения, а момент наступления пика сместился во времени на 20 часов позже.

Предварительная оценка саморазогрева бетона при непрерывной укладке бетонной смеси была проведена в программе ELCUT 6.0 в нестационарном режиме с учетом фактического тепловыделения цемента, характеристик опалубки, грунта и окружающего воздуха. В результате моделирования было получено, что температура ядра конструкции поднимается до $96 \text{ }^\circ\text{C}$, что пре-

¹ В проведении эксперимента принимал участие ведущий лабораторией кафедры СПТС М.С. Загоруйко.

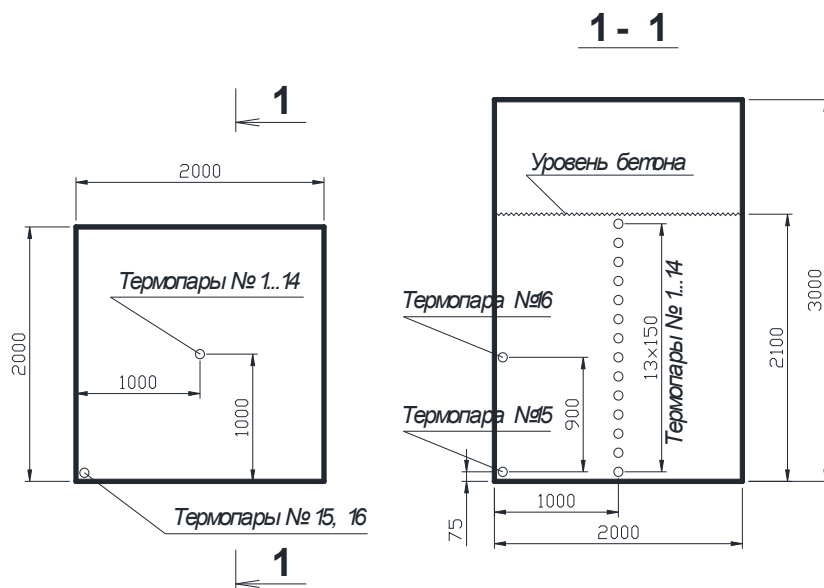


Рис. 2. Расположение термопар в форме

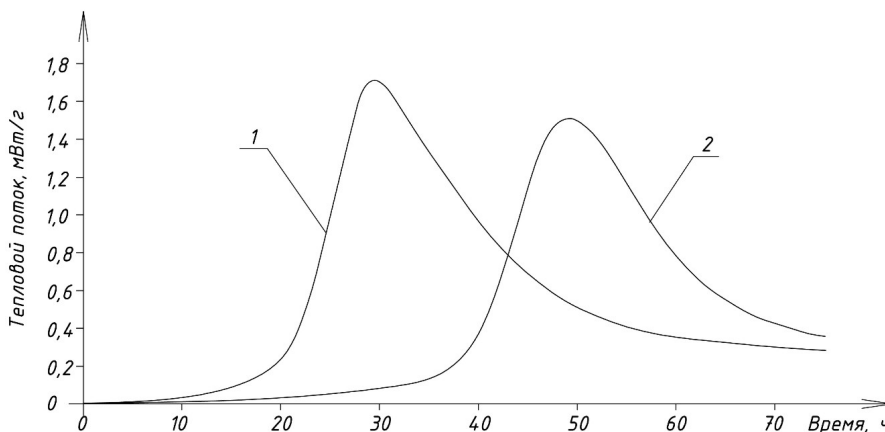


Рис. 3. Тепловыделение цемента: 1 – без добавки;
2 – с добавкой замедлителя схватывания

вышает предельно допустимое значение для бетонов на портландцементе на $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ [20, п. 5.11.16], а градиент температуры составил $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{см}$. Таким образом, полученные предварительные оценочные результаты были признаны неудовлетворительными и далее был проведен лабораторный эксперимент с послойной укладкой бетонной смеси.

Полученные в ходе лабораторного эксперимента результаты изменения температуры во времени в двух характерных точках с наибольшей температурой (точка № 13 – центр, на высоте 187,5 см от низа конструкции) и наименьшей температурой (точка № 16 – угол, на высоте 97,5 см от низа конструкции) приведены на рис. 4.

Из данного графика видно, что наибольшая температура в центре конструкции не превышает $72\text{ }^{\circ}\text{C}$, а наибольшая температура в углу конструкции не превышает $49\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует требованиям п. 5.11.16 [20].

Результаты по двум точкам с наибольшей разницей температуры в данный момент времени (точка № 13 – центр, на высоте 187,5 см от низа конструкции и точка № 15 – угол, на высоте 7,5 см от низа конструкции) приведены на рис. 5. Максимальный перепад температуры составил $41\text{ }^{\circ}\text{C}$. Худший из возможных градиентов температуры составил $0,29\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{см}$.

Для сопоставления полученных результатов с предельными значениями градиентов температур учтем, что указанные выше максимальные градиенты температур даны для неармированного бетона. При наличии в бетоне арматуры последняя будет воспринимать часть температурных напряжений, а значит максимальные перепады температур по сечению бетона могут быть увеличены. Согласно [13] армирование снижает температурные напряжения в бетоне на величину

$$\Delta\sigma_a = 5\mu l + 1,$$

где μ – процент армирования бетона в долях;

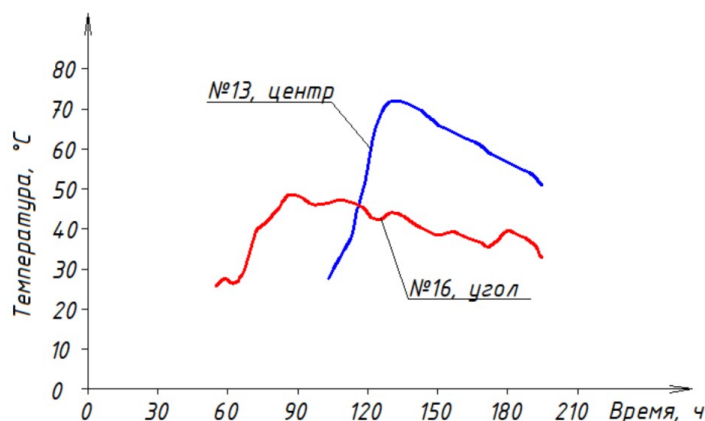


Рис. 4. Изменение температуры бетона в точках с наибольшей и наименьшей температурой

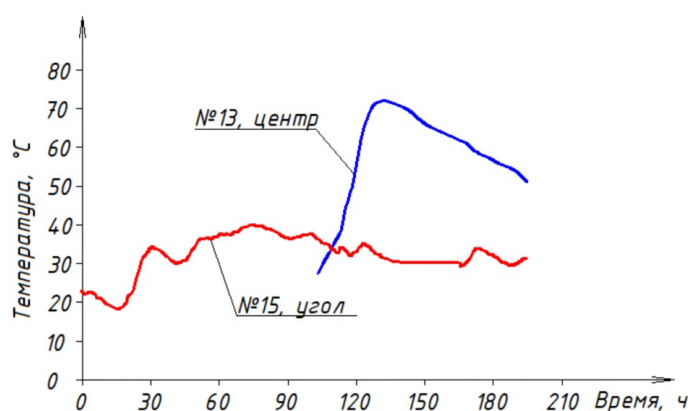


Рис. 5. Изменение температуры бетона в точках с наибольшей разницей температуры в данный момент времени

$n = E_a/E_b$, коэффициент, равный отношению модулей упругости арматуры и бетона.

Тогда можно принять: если для неармированного бетона предельный градиент температуры составляет $0,15\text{ }^\circ\text{C}/\text{см}$, то для железобетонных конструкций с 1% армирования он составит $0,20\text{ }^\circ\text{C}/\text{см}$, с 2% армирования — $0,26\text{ }^\circ\text{C}/\text{см}$, а с 3% армирования — $0,31\text{ }^\circ\text{C}/\text{см}$.

Таким образом, полученный в ходе эксперимента максимальный градиент температуры $0,29\text{ }^\circ\text{C}/\text{см}$ позволяет рекомендовать данную технологию послойной укладки при возведении массивных конструкций с величиной армирования не менее 2,6%.

Выводы

Результаты выполненных исследований показывают, что в процессе производства бетонных работ на массивных конструкциях, укладку бетонной смеси можно вести послойно с интервалом времени между укладкой смежных слоев бетонной смеси 8 часов. Толщина слоев укладываемой бетонной смеси может быть рекомендована 15 см. При данных условиях был получен максимальный градиент температуры $0,29\text{ }^\circ\text{C}/\text{см}$, что обеспечивает необходимое качество монолитных конструкций с процентом армирования не менее 2,6.

Список литературы

1. Епифанов А.П., Сильницкий В.И. Регулирование термонапряженного состояния бетона при строительстве облегченных плотин. М.: Энергоатомиздат, 1983. 104 с.
2. Кучин В.Н. Особенности тепловой обработки монолитных конструкций многоэтажных каркасных зданий // Архитектура, градостроительство и дизайн. 2023. № 2 (36). С. 34–40.
3. Пикус Г.А., Мозгалева К.М. Контроль параметров бетона, выдерживаемого в зимних условиях // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2015. Т. 15, № 1. С. 6–9.
4. Composition calculation and cracking estimation of concrete at early ages / T. Van Lam, C.C. Nguyen, B.I. Bulgakov, P.N. Anh // Magazine of Civil Engineering. 2018. 82(6). P. 136–148. DOI: 10.18720/MCE.82.13
5. Современные строительные технологии: монография / под ред. С.Г. Головнева. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. 268 с.

6. Pikus G.A., Lebed A.R., Bondar A.A. Thermal stresses at the early stage of the hardening of steel-fiber reinforced concrete // Magazine of Civil Engineering. 2022. No. 113(5). P. 11304. DOI: 10.34910/MCE.113.4
7. Assessment of cracking performance in edge restrained RC walls / A. Elwakeel, M. Shehzad, K. El Khoury, R. Vollum, J. Forth, B. Izzuddin et al. // Structural Concrete. 2022. No. 23. P. 1333–1352. DOI: 10.1002/suco.202100688
8. Толкынбаев Т.А., Гендин В.Я. Прогнозирование качества прогреваемого бетона в зимних условиях с применением нового технологического параметра / Интенсификация бетонных работ в строительном производстве: сб. науч. тр. Челябинск: ЧПИ, 1989. С. 92–94.
9. Красновский Б.М. Инженерно-физические основы методов зимнего бетонирования. М.: Изд-во ГАСИС, 2004. 470 с.
10. Типовые технологические карты. Раздел 04. Альбом 04.09. Устройство двухветвевых колонн. М.: Госстрой СССР, 1971.
11. Определение температурного поля и термонапряженного состояния укладываемого бетонного массива методом конечных элементов / Н.А. Анискин, Нгуен Чонг Чык, И.А. Брянский, Дам Хыу Хынг // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 11. С. 1407–1418. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.11.1407-1418
12. Анискин Н.А., Нгуен Чонг Чык. Проблема температурного трещинообразования в бетонных гравитационных плотинах // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 3. С. 380–398. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.380-398
13. Руководство по электротермообработке бетона. М.: Стройиздат, 1974. 255 с.
14. Аминов Э.Х. Климат и бетон. Ташкент: Изд-во «Мехнат», 1988. 184 с.
15. Копылов В.Д. Формирование напряженного состояния бетона в процессе термообработки // Бетон и железобетон. 1998. № 5 (494). С. 6–8.
16. Головнев С.Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999. 156 с.
17. Pikus G.A., Lebed A.R. Warming of Monolithic Structures in Winter // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. 262. P. 012064. DOI: 10.1088/1757-899X/262/1/012064
18. Кучин В.Н. Температурные напряжения в монолитных железобетонных конструкциях при тепловой обработке // Строительство и экология: теория, практика, инновации: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. Челябинск: Издательство «ПИРС», 2015. С. 127–129.
19. Молодцов М.В., Пикус Г.А., Русанов А.Е. Опыт моделирования электропрогрева бетона монолитной фундаментной плиты в зимнее время с помощью ПО «ELCUT» // Наука ЮУрГУ: материалы 67-й научной конференции. Секции технических наук. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. С. 229–234.
20. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. М.: Госстрой, 2012. 203 с.

References

1. Epifanov A.P., Silnitsky V.I. *Regulirovanie termonapryazhennogo sostoyaniya betona pri stroitel'stve oblegchennykh plotin* [Regulating the thermo-stressed state of concrete in the construction of lightweight dams]. Moscow: Energoatomizdat Publ.; 1983. 104 p. (in Russ.)
2. Kuchin V.N. Heat treatment features of monolithic structures multi-storey frame buildings. *Architecture, Urbanism and Design*. 2023;2(36):34–40. (in Russ.)
3. Pikus G.A., Mozgalev K.M. Control for concrete characteristics under winter conditions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2015;15(1):6–9. (in Russ.)
4. Van Lam T., Nguyen C.C., Bulgakov B.I., Anh P.N. Composition calculation and cracking estimation of concrete at early ages. *Magazine of Civil Engineering*. 2018;82(6):136–148. DOI: 10.18720/MCE.82.13
5. *Sovremennye stroitel'nye tekhnologii: monografiya* [Modern building technologies: monograph] edited by S.G. Golovnev. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ., 2010. 268 p. (in Russ.)
6. Pikus G.A., Lebed A.R., Bondar A.A. Thermal stresses at the early stage of the hardening of steel-fiber reinforced concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2022;113(5):11304. DOI: 10.34910/MCE.113.4
7. Elwakeel A., Shehzad M., El Khoury K., Vollum R., Forth J., Izzuddin B. et al. Assessment of cracking performance in edge restrained RC walls. *Structural Concrete*. 2022;23:1333–1352. DOI: 10.1002/suco.202100688
8. Tolkyubaev T.A., Gendin V.Ya. [Predicting the quality of heated concrete in winter conditions using a new technological parameter] In: *Intensifikatsiya betonnykh rabot v stroitel'nom proizvodstve: sbornik nauchnykh trudov* [Intensification of Concrete Operations in the Construction Industry: Proceedings]. Chelyabinsk: ChPI, 1989. P. 92–94. (in Russ.)
9. Krasnovsky B.M. *Inzhenerno-fizicheskie osnovy metodov zimnego betonirovaniya* [Engineering and physical foundations of winter concreting methods]. Moscow: GASIS Publishing House, 2004. 470 p. (in Russ.)
10. *Tipovye tekhnologicheskie karty. Razdel 04. Al'bom 04.09. Ustrojstvo dvuhvetvevykh kolonn* [Process flow charts. Section 04. Album 04.09. Arrangement of two-branch columns]. Moscow: Gosstroy of the USSR, 1971. (in Russ.)

11. Aniskin N.A., Nguyen Trong Chuc, Bryansky I.A., Dam Huu Hyng. Determination of the temperature field and thermal stress state of the massive of stacked concrete by finite element method. *Vestnik MGSU*. 2018;13(11):1407–1418. (in Russ.) DOI: 10.22227/1997-0935.2018.11.1407-1418
12. Aniskin N.A., Nguyen Trong Chuc. The problem of temperature cracking in concrete gravity dams. *Vestnik MGSU*. 2020;15(3):380–398. (in Russ.) DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.380-398
13. *Rukovodstvo po elektrotermoobrabotke betona* [Guidelines for electrical heat treatment of concrete]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1974. 255 p. (in Russ.)
14. Aminov E.Kh. *Klimat i beton* [Climate and concrete]. Tashkent: Mekhnat Publishing House; 1988. 184 p. (in Russ.)
15. Kopylov V.D. [Forming the stress state of concrete during heat treatment]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1998;5(494):6–8. (in Russ.)
16. Golovnev S.G. *Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Optimizatsiya parametrov i vybor metodov* [Winter concreting technology. Optimization of parameters and choice of methods]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ., 1999. 156 p. (in Russ.)
17. Pikus G.A., Lebed A.R. Warming of monolithic structures in winter. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017;262:012064. DOI: 10.1088/1757-899X/262/1/012064
18. Kuchin V.N. [Temperature stresses in monolithic reinforced concrete structures during heat treatment]. In: *Stroitel'stvo i ekologiya: teoriya, praktika, innovatsii: materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Building and Ecology: Theory, Practice, Innovations: Proceedings of the First International Scientific and Practical Conference]. Chelyabinsk: PIRS Publishing House; 2015. P. 127–129. (in Russ.)
19. Molodtsov M.V., Pikus G.A., Rusanov A.E. [Experience in modeling electrical heating of concrete in a monolithic foundation slab in winter using the ELCUT software]. In: *Nauka YuUrGU: materialy 67-y nauchnoy konferentsii. Sektsii tekhnicheskikh nauk* [Science of SUSU: materials of the 67th scientific Conference. Sections of technical Sciences]. Chelyabinsk: SUSU Publishing Center; 2015. P. 229–234. (in Russ.)
20. *SP 70.13330.2012 Nesushchie i ograzhdayushchie konstrukcii* [Set of Rules 70.13330.2012. Bearing and enclosing structures]. Moscow, Gosstroy Publ., 2012. 203 p. (in Russ.)

Информация об авторах:

Пикус Григорий Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; pikusga@susu.ru

Мозгалёв Кирилл Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет, начальник Главного управления государственного строительного надзора Челябинской области, Челябинск, Россия; mozgalevkm@susu.ru

Русанов Алексей Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; rusanovae@susu.ru

Маркелов Андрей Олегович, магистрант кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет, генеральный директор ООО «Специализированный Застройщик МФК «ЕХЕ», Челябинск, Россия; 89193565666@mail.ru

Information about the authors:

Grigory A. Pikus, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Production and Theory of Structures, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; pikusga@susu.ru

Kirill M. Mozgalev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Production and Theory of Structures, South Ural State University, Head of the Main Department of State Construction Supervision of the Chelyabinsk Region, Chelyabinsk, Russia; mozgalevkm@susu.ru

Aleksey E. Rusanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Production and Theory of Structures, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; rusanovae@susu.ru

Andrey O. Markelov, Master's student of the Department of Construction Production and Theory of Structures, South Ural State University, Chelyabinsk, General Director of LLC Specialized Developer MFC EXE, Chelyabinsk, Russia; 89193565666@mail.ru

Статья поступила в редакцию 01.09.2023, принята к публикации 11.09.2023.

The article was submitted 01.09.2023; approved after reviewing 11.09.2023.