

22. Ilichev V. A., Kolchunov V. I., Gordon V. A., Kormina A. A. Statisticheskie zavisimosti pokazatelei blagopriyatnoi sredi zhiznedeятельности bio-sferosovместимого города [Statistical dependencies of indicators of a favorable living environment in a biosphere-compatible city]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of MGSU]. 2021, vol. 16, no. 5, pp. 545–556. DOI 10.22227/1997-0935.2021.5.545-556.

23. Ilichev V. A., Bakaeva N. V., Gordon V. A., et al. Statistical dependencies of indicators of physical well-being of the population of a biosphere-compatible city. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023, vol. 15, no. 4, pp. 430–445. DOI 10.12731/2658-6649-2023-15-4-430-445.

24. Ilichev V. A. Blagopoluchie i protsvetanie cheloveka i goroda cherez simbioz s biosferoi [Well-being and prosperity of the individual and the city through symbiosis with the biosphere]. *Biosfernaya sovместimost: chelovek, region, tekhnologii* [Biosphere Compatibility: Human, Region, Technologies]. 2025, no. 4 (52), pp. 6–11. DOI 10.22227/2311-1518.2025.4.6-11.

© О. О. Коренькова

Ссылка для цитирования:

Коренькова О. О. Реализация принципов биосферной совместимости города Симферополя на примере застройки середины XX века // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 3 (57). С. 42–50.

УДК 691.32

DOI 10.52684/2312-3702-2026-57-3-50-57

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ

А. А. Николаев, С. А. Логинова

Николаев Артем Алексеевич, аспирант, Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: + 7 (915) 821-61-49; e-mail: nikolaev.mladshiy02@mail.ru;

Логинова Светлана Андреевна, кандидат технических наук, доцент института инженеров строительства и транспорта, Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: + 7 (906) 617-12-27; e-mail: sl79066171227@yandex.ru

Объектом исследования являлись методы зимнего бетонирования, применяемые в климатических условиях Ярославской области. Актуальность исследования заключается в выявлении наиболее рациональных технологий, которые обеспечивают достижение критической прочности бетона при отрицательных температурах с минимальными затратами. Методологически исследование заключалось в анализе технико-экономической эффективности и исследовании ключевых подходов к термической обработке бетонной смеси: применение нагревательного провода ПНСВ; технология «термоса»; введение противоморозных добавок. По срокам выполнения работ наиболее эффективным оказался метод прогрева бетона проводом ПНСВ, но отличающийся высокой стоимостью (49 661,48 руб./м²). Наиболее экономичным и наименее трудозатратным вариантом зимнего бетонирования показал себя метод применения химических противоморозных добавок (17 420,38 руб./м²). В результате исследования были сделаны выводы о возможности обеспечения высокого качества железобетонных работ при одновременном снижении себестоимости и соблюдении сроков строительства в зимний период за счет применения рекомендованных методов.

Ключевые слова: бетон, зимнее бетонирование, противоморозные добавки, монолитные конструкции, технология бетонных работ, технико-экономическое сравнение.

TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF WINTER CONCRETING METHODS IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE YAROSLAVL REGION

A. A. Nikolaev, S. A. Loginova

Nikolaev Artem Alekseyevich, postgraduate student, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: + 7 (915) 821-61-49; e-mail: nikolaev.mladshiy02@mail.ru;

Loginova Svetlana Andreyevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Institute of Civil and Transport Engineers, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: + 7 (906) 617-12-27; e-mail: sl79066171227@yandex.ru

The study focused on winter concreting methods used in the climatic conditions of the Yaroslavl region. The research aimed to identify the most rational technologies for achieving critical concrete strength at sub-zero temperatures while minimizing costs. Methodologically, the study involved analyzing the technical and economic efficiency of key approaches to the thermal treatment of concrete mixes: the use of PNSV heating wires, the "thermos" method, and the addition of anti-freeze admixtures. In terms of scheduling, the PNSV wire heating method proved most effective, though it entailed high costs (49,661.48 rub/m²). The use of chemical anti-freeze admixtures emerged as the most economical and least labor-intensive winter concreting option (17,420.38 rub/m²). The study concluded that employing the recommended methods makes it possible to ensure high-quality reinforced concrete work while simultaneously reducing costs and adhering to construction schedules during the winter season.

Keywords: concrete, winter concreting, anti-freeze admixtures, cast-in-place structures, concrete placement technology, technical and economic comparison.

Введение

Последнее столетие бетон является основным конструкционным материалом, отвечающим основным необходимым требованиям по прочности и долговечности [1–3]. В настоящее время актуальным вопросом для регионов с суровыми климатическими условиями, таких как, например, Ярославская область, является стойкость бетона к воздействию отрицательных температур [4]. Для Ярославской области характерен продолжительный зимний период – до 5–6 месяцев. Температурный режим: начиная с ноября и вплоть до марта среднесуточная температура стабильно удерживается ниже отметки +5 °С, что является порогом для нормального протекания реакций гидратации цемента, а отрицательные значения становятся фоновыми на протяжении всей зимы [6].

Таким образом, возведение монолитных объектов в данных широтах перестает быть стандартной задачей и это обстоятельство обуславливает переход к специальным технологическим регламентам зимнего бетонирования, без соблюдения которых невозможно обеспечить проектную прочность и конструктивную надежность [2–5].

Положения нормативной документации (СП 70.13330 «Несущие и ограждающие конструкции») регламентируют производство бетонных работ при температуре ниже +5 °С без применения специальных технологий не допускается.

Исследования показывают, что природные циклы замораживания и оттаивания могут привести к уменьшению прочности. При замораживании вода, содержащаяся в порах бетона, образуют кристаллы льда, которые занимают большее пространство, чем вода в жидком состоянии. Это приводит к повышению внутреннего давления на стенки пор и может вызывать процесс трещинообразования [7–10]. Соответственно циклические процессы замораживания и оттаивания могут усиливать этот эффект, приводя к деградации бетонного материала из-за повторной нагрузки на его структуру.

Постановка задачи

Целью исследования является сравнительный анализ наиболее распространенных методов зимнего бетонирования по технико-экономическим показателям. Объектом исследования являлось монолитное перекрытие объекта, расположенного по улице Менделеева в г. Ярославле.

Задачи исследования:

1) провести сравнительную технико-экономическую оценку (по срокам, экономичности, трудозатратности) методов зимнего бетонирования монолитной железобетонной плиты перекрытия (провод ПНСВ, метод термоса, противоморозные добавки) при температуре наружного воздуха равной – 15 °С;

2) сформулировать практические рекомендации для проектировщиков и строителей: какой метод или их комбинация наиболее целесообразны в применении, учитывая климатические условия Ярославской области.

Методы

Для достижения поставленной цели использовался комплексный подход, включающий следующие методы:

1) анализ нормативно-технической документации и научной литературы [11–13]. Систематизация требований к срокам набора прочности, допустимым температурным режимам, расходу материалов и энергоресурсов для каждого метода (провод ПНСВ, метод термоса, противоморозные добавки);

2) технико-экономическое моделирование. Построение расчетных моделей для сравнения затрат на материалы, электроэнергию, аренду оборудования, оплату труда при реализации каждого из рассматриваемых методов (ПНСВ, термос, противоморозные добавки) в условиях температуры наружного воздуха –15 °С. Оценка сроков набора критической и проектной прочности бетона с учетом реальных климатических условий и технологических ограничений [14–16].

Результаты и обсуждение

В рамках исследования проводилось сравнение трех наиболее распространенных методов зимнего бетонирования:

1. Прогрев бетона проводом ПНСВ

Интеграция нагревательного провода (ПНСВ) в тело монолитной конструкции является основным методом ее термической обработки. Схема укладки греющих элементов определяется технологией арматурных работ и может выполняться как синхронно с армированием, так и по его завершении.

Реализация данного метода требует выполнения комплекса подготовительных операций [17–19]:

- монтаж опалубки и сборка пространственного арматурного каркаса;
- прокладка греющего элемента: внутри каркаса, на уровне верхней и нижней сеток;
- подготовка основания: тщательное обеспыливание и очищение рабочей поверхности ото льда, снега и прочего строительного мусора;
- обустройство энергетического узла: размещение и подготовка к работе комплектной трансформаторной подстанции (КТП);
- создание инфраструктуры питания: предварительно собирают инвентарные секции шинопроводов, после чего прокладывают их вдоль всей захватки;
- формирование периметра безопасности: установка защитных ограждения рабочей зоны, организация временного освещения и системы предупреждающей сигнализации;

- проверка всей системы управления: выполнение пробного пуска КТП без нагрузки и тестирование корректности ее работы [15–16].

2. Метод термоса

Данный метод зимнего бетонирования основывается на создании для укладываемой бетонной смеси замкнутого, теплоизолированного пространства. В опалубку сначала помещается подогретый бетон, после чего он набирает прочность под воздействием тепла (внешнего и выделяемого цементом в процессе гидратации) [14, 15].

При этом существует важный технологический предел: чтобы не спровоцировать преждевременную потерю подвижности смеси из-за ускоренного схватывания, температура бетона на выходе из смесителя должна контролироваться в диапазоне 35–45 °С [15]. Превышение этого порога может привести к потере удобоукладываемости и снижению итоговых прочностных характеристик. На рисунке 1 приведена схема устройства монолитной железобетонной плиты перекрытия при методе термоса.

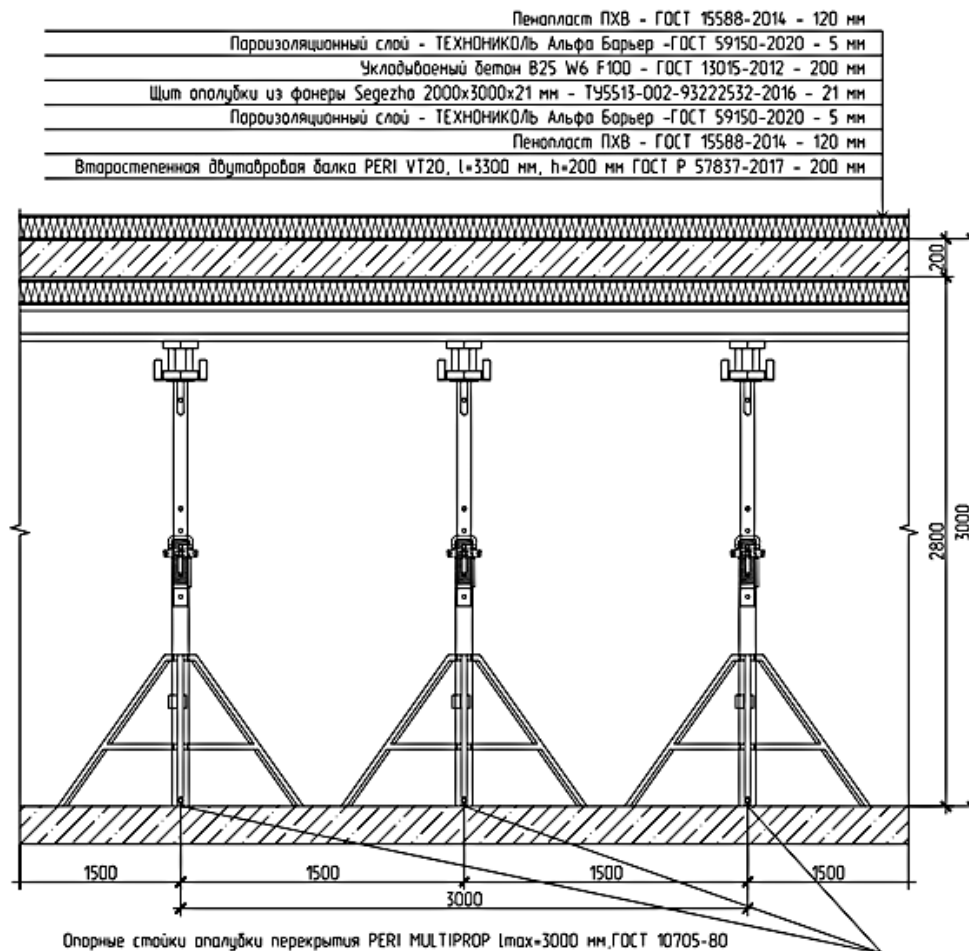


Рис. 1. Схема устройства монолитной железобетонной плиты перекрытия при методе термоса (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Scheme of the construction of a monolithic reinforced concrete floor slab using the thermos method (illustration by the authors)

3. Использование химических противоморозных добавок

Противоморозные компоненты – это химические катализаторы гидратации, которые интегрируются в бетонную смесь для обеспечения ее минерализации в условиях криогенных температур [16, 17].

Современный рынок строительных полимеров предлагает колоссальную номенклатуру – около 800 наименований модификаторов. Каждый из них представляет собой узкоспециализированный инструмент с уникальным механиз-

мом действия: от чистых антифризов до комплексных пластификаторов-ускорителей [15]. В настоящее время часто применяется комбинированный подход, объединяющий действие нескольких компонентов. Производители предлагают широкий спектр противоморозных добавок в бетон [19], основой которых являются неорганические соли [17, 18, 21]:

- галит (NaCl) и хлорид кальция (CaCl₂) – эффективные, но коррозионно-активные;

- нитрит натрия (NaNO_2), натриевая и кальциевая селитры – эффективные ускорители твердения;

- карбонатные компоненты: поташ (K_2CO_3) – одна из самых сильных добавок, позволяющих работать при очень низких температурах, и карбонат натрия (Na_2CO_3) – преимущественно ускоритель схватывания;

- органические соли и соединения: формиат натрия (HCOONa) – мягкий активатор, часто используемый в комплексных добавках, и мочевины (карбамид) – действует как замедлитель схватывания.

В рамках исследования была проведена сравнительная технико-экономическая оценка методов зимнего бетонирования монолитной железобетонной плиты перекрытия объекта, расположенного по улице Менделеева в г. Яро-

славле для двух расчетных температур наружного воздуха: при температуре наружного воздуха равной -15°C . Температура бетонной смеси к началу электрообогрева для расчетов была принята $+5^\circ\text{C}$.

Затраты на прогрев проводом ПНСВ [18, 24]

Максимальная температура изотермического обогрева составила $+50^\circ\text{C}$. Опалубка принята балочно-стоечная с палубой из фанеры Segezha $2000 \times 3000 \times 21$ мм, толщиной 21 мм. Электрообогрев бетона плиты выполнялся при помощи греющего провода марки ПНСВ с диаметром жилы 1,2 мм, который укладывался в нижнем и верхнем сечении плиты. Погонная нагрузка на провод принималась 35–40 Вт/п.м. Шаг раскладки греющего провода был принят. Срок выдержки бетона – трое суток до распалубки.

Структура затрат прогрева бетона проводом ПНСВ представлена на рисунке 2.

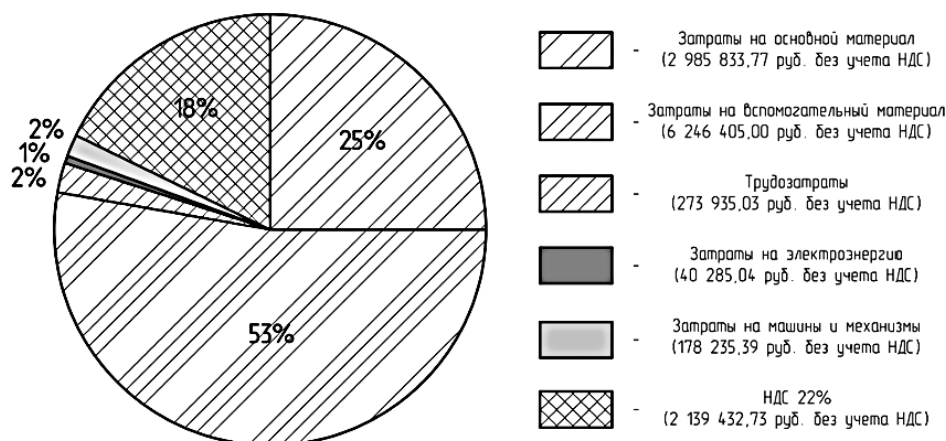


Рис. 2. Структура затрат прогрева бетона проводом ПНСВ (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Cost structure of concrete heating with PNSV wire (illustration by the authors)

Затраты на прогрев методом термоса

Температура бетонной смеси к началу электрообогрева была принята $+5^\circ\text{C}$. При толщине железобетонной конструкции 200 мм, температуре наружного воздуха -15°C и средней скорости ветра 5 м/с, опалубка выполнялась из пенопласта

ПХВ толщиной 120 мм, а также с внутренней стороны опалубки монтировался пароизоляционный слой. Срок выдержки бетона – семеро суток до распалубки. Структура затрат прогрева бетона методом термоса представлена на рисунке 3.

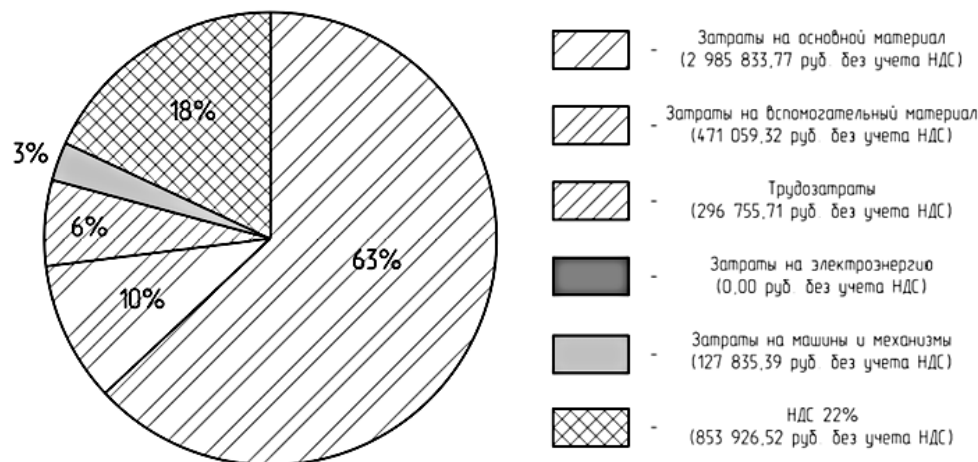


Рис. 3. Структура затрат прогрева бетона методом термоса (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Cost structure of concrete heating using the thermos method (illustration by the authors)

Затраты на бетонирование с противоморозными добавками

Исходя из условий окружающей среды и требований влияния химических противоморозных добавок на железобетонную конструкцию принимался Нитрит-нитрат-хлорид кальция с мочевиной. Данный выбор обусловлен минимальным

влиянием на образование высолов на поверхности бетона, а также дешевой стоимостью [22–24]. Срок выдержки бетона – семеро суток до распалубки (рис. 4).

В таблице 1 представлены результаты сравнительного анализа основных технико-экономических показателей зимнего бетонирования.

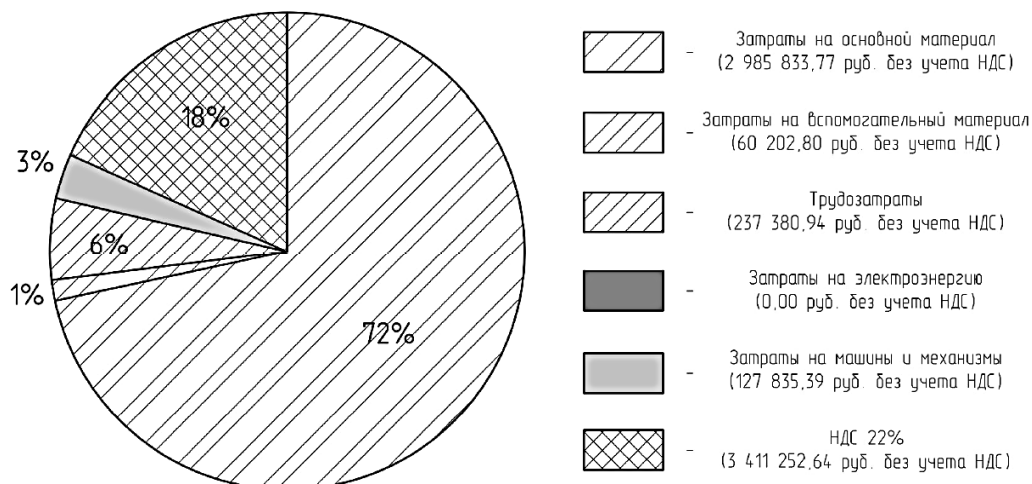


Рис. 4. Структура затрат бетонирования с противоморозными добавками (иллюстрация авторов)

Fig. 4. Cost structure for concreting with anti-freeze admixtures (illustration by the authors)

Таблица 1

Основные технико-экономические показатели методов зимнего бетонирования

Table 1

Key technical and economic indicators of winter concreting methods

№ п/п	Параметр	Провод ПНСВ	Метод термоса	ПМД
	1	2	3	4
1	Затраты на основной материал, руб.	2 985 833,77	2 985 833,77	2 985 833,77
2	Затраты на вспомогательный материал, руб.	6 246 405,00	471 059,32	60 202,80
3	Трудозатраты, руб.	273 935,03	296 755,71	237 380,94
4	Затраты на электроэнергию, руб.	40 285,04	0,00	0,00
5	Затраты на машины и механизмы, руб.	178 235,39	127 835,39	127 835,39
6	Общая стоимость с учетом НДС, руб.	11 864 126,96	4 735 410,72	4 161 728,54
7	Удельная стоимость за м ² , руб.	49 661,48	19 821,73	17 420,38
8	Удельная трудоемкость за м ² , руб.	1 146,65	1 242,18	993,64
9	Срок выдержки бетона до распалубки, дн.	3	7	7

Выводы

По результатам исследования были сделаны следующие выводы:

1. Наиболее экономичным и наименее трудозатратным вариантом зимнего бетонирования монолитной железобетонной плиты перекрытия в климатических условиях Ярославской области при отрицательной температуре наружного воздуха –15 °С со средней скоростью ветра 5 м/с показался метод использования химических противоморозных добавок (17420,38 руб./м²). По срокам выполнения работ наиболее лучшим оказался метод прогрева бетона проводом ПНСВ (сроком выдержки – три дня), но отличающийся высокой стоимостью (49 661,48 руб./м²).

2. Для большинства строительных объектов в климатических условиях Ярославской области при температуре наружного воздуха –15 °С рекомендуется использовать химические противоморозные добавки как основной метод зимнего бетонирования, обеспечивающий оптимальное соотношение стоимости, трудозатрат и качества конструкции при условии правильного подбора состава и строгого соблюдения технологии. Применение метода прогрева проводом ПНСВ целесообразно только при сжатых сроках строительства или повышенных требованиях к темпам ввода объекта в эксплуатацию, несмотря на высокую стоимость и трудоемкость.

Список литературы

1. Купчикова Н. В. Техничко-экономическая эффективность устройства фундаментов из свай с одно- и многоступенчатыми уширениями для строительства в Арктической зоне / Н. В. Купчикова, П. Д. Никулина // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2025. – № 1 (51). – С. 61–66. – DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-61-66.
2. Купчикова Н. В. особенности возведения фундаментов из свай с уширениями на мерзлых грунтах / Н. В. Купчикова, В. С. Федоров // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2025. – № 1 (51). – С. 79–86. – DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-79-86.
3. Раззаков С. Р. Моделирование стадийности строительства, эксплуатации и конструктивной безопасности большепролетных уникальных зданий // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2024. – № 4 (70). – С. 83–94. – DOI: 10.48612/NewsKSUA/70.8.
4. Imaykin D. G. Perfecting technology of winter concreting of cast - in - situ column / D. G. Imaykin, R. A. Ibragimov, Yu. V. Evstigneeva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – № 687. – P. 044013. – DOI: 10.1088/1757-899X/687/4/044013.
5. Zhuravlyov E. G. Review and analysis of winter concreting methods, used on construction sites in Russia / E. G. Zhuravlyov // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. – 2017. – № 880 (1). – P. 012029. – DOI:10.1088/1757-899X/880/1/012029.
6. Batyuk M. I. Influence of Preliminary Electric Curing Parameters on Physical and Mechanical Properties of Concrete / M. I. Batyuk, B. S. Vodnev, K. S. Gauss, A. I. Gnyrya // Proceedings of the 8th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. – 2025. – № 565. – P. 187–196. – DOI:10.1007/978-3-031-80482-3_19.
7. Ho V. Ha. Bond strength of a steel bar in concrete reinforcing with shape memory alloy fibers / V. Ha. Ho, V. M. Ngo, V. T. Vu // Science Journal of Transportation. – 2024. – № 3 (19). – P. 44–57.
8. Xiao J. Experimental study on mechanical behavior of thermally damaged grouted sleeve splice under cyclic loading / J. Xiao, L. Liu, T. Ding, Q. Xie // Structural Concrete. – 2020. – № 6 (21). – P. 2494–2514. – <https://doi.org/> DOI: 10.1002/suco.202000092.
9. Молодин В. В. Метод группового анализа дифференциальных уравнений для прогнозирования температурных режимов забетонированных конструкций / В. В. Молодин, Ю. А. Чиркунов, Е. В. Гармс, К. Е. Горшкова // Наука и инновационные технологии. – 2020. – № 1 (14). – С. 166–176. – DOI: 10.33942/sit.nes029.
10. Филатов С. В. Применение нелинейных уравнений в методах расчета температурных полей внутри монолитных конструкций при зимнем бетонировании / С. В. Филатов // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). – 2023. – № 4 (90). – С. 84–91. – DOI: 10.32683/1815-5987-2023-26-90-4-84-91.
11. Шишкин В. В. Совершенствование метода зимнего бетонирования с применением нагревательных проводов / В. В. Шишкин // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 6. – С. 51–58. – DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.51-58.
12. Румянцев Е. В. Технологические параметры качества самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей для зимнего бетонирования стыков / Е. В. Румянцев, А. Х. Байбуринов, В. Г. Соловьев, Р. М. Ахмедьянов, С. В. Бессонов // Строительные материалы. – 2021. – № 5. – С. 4–14. – DOI: 10.31659/0585-430X-2021-791-5-4-14.
13. Tyuryukhanov K. Yu. Impact of the surface of particles of moulding sand on the structural formation of asphalt concrete / K. Yu. Tyuryukhanov, K. G. Pugin // Izvestiya vuzov Investitsii Stroitelstvo Nedvizhimost. – 2019. – № 9(3). – P. 566–577. – DOI:10.21285/2227-2917-2019-3-566-577.
14. Жоробаев С. С. Эффективный способ конвективного прогрева монолитных железобетонных конструкций при зимнем бетонировании / С. С. Жоробаев, И. С. Кузнецова // Бетон и железобетон. – 2022. – № 3 (611). – С. 23–29. – DOI: 10.31659/0005-9889-2022-611-3-23-29.
15. Чиркунов Ю. А. Моделирование тепловых процессов при зимнем бетонировании плиты перекрытия / Ю. А. Чиркунов, В. В. Молодин, Е. В. Березин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2025. – № 3 (795). – С. 77–86. – DOI: 10.32683/0536-1052-2025-795-3-77-86.
16. Singhal S. Precast reinforced concrete shear walls: State of the art review / S. Singhal, A. Chourasia, S. Chellappa, J. Parashar // Structural Concrete. – 2019. – № 3 (20). – P. 886–898. – DOI 10.1002/suco.201800129.
17. Batyuk M. Improvement of Equipment for Heating Concrete Mixture / M. Batyuk, B. Vodnev, A. Gnyrya // Industrial and Civil Construction. – 2022. – № 436. – P. 67–73. – DOI 10.1007/978-3-031-44432-6_9.
18. Lazarev A. A. The technology of winter concreting of monolithic frame structures with substantiation of heat treatment modes by solutions of the differential equation of thermal conductivity obtained by the method of group analysis / A. A. Lazarev // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2021. – № 4 (17). – P. 115–122. – DOI 10.22337/2587-9618-2021-17-4-115-122.
19. Тараканов О. В. Перспективы применения бетонов нового поколения в технологии зимнего бетонирования / О. В. Тараканов, Т. К. Акчуринов, И. В. Ерофеева, Я. А. Санягина, О. В. Душко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2024. – № 1 (94). – С. 81–90. – DOI: 10.35211/18154360_2024_1_81.
20. Тамразян А. Г. Аппроксимация теплофизических свойств бетона для решения нелинейной задачи теплопроводности железобетонных конструкций в условиях пожара / А. Г. Тамразян, В. Р. Мешков, В. С. Геращенко, А. С. Гришин // Вестник МГСУ. – 2025. – № 20 (8). – С. 1135–1153. – DOI: 10.22227/1997-0935.2025.8.1135-1153.
21. Sokolov A. M. Increased frequency alternating current systems for the electrothermal processing of composite materials / A. M. Sokolov, T. E. Shadrnikov // International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – 2020. – P. 449–453. – DOI: 10.1109/UralCon49858.2020.9216268.

22. Leontev S. V. Control system of parameters of electrical curing of cast-in-situ reinforced concrete structures / S. V. Leontev, A. A. Taleyko // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2023. – № 1 (19). – P. 85–96. – DOI: 10.22337/2587-9618-2023-19-1-85-96.
23. Banerjee D. K. A review of models for heat transfer in steel and concrete members during fire / D. K. Banerjee // Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. – 2021. – № 126. – P. 126030. – DOI 10.6028/jres.126.30.
24. Лебедева И. В. Анализ современных подходов к оценке надежности в строительстве / И. В. Лебедева, Т. А. Петрова // Вестник НИЦ «Строительство». – 2023. – № 3 (38). – С. 20–36. – DOI 10.37538/2224-9494-2023-3.
25. Kanareykin A. Distribution of the temperature field in the rod, taking into account the correction for heat loss through its side surface / A. Kanareykin // E3S Web of Conferences. – 2023. – № 376. – P. 01078. – DOI 10.1051/e3sconf/202337601078.

References

1. Kupchikova N. V., Nikulina P. D. Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost ustroystva fundamentov iz svai s odno- i mnogomestnymi ushirennyami dlya stroitelstva v Arkticheskoi zone [Technical and economic efficiency of foundations made of piles with single and multiple widenings for construction in the Arctic zone]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Pri-kaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2025, no. 1 (51), pp. 61–66. (In Russ.). DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-61-66.
2. Kupchikova N. V., Fedorov V. S. Osobennosti vozvedeniya fundamentov iz svay s ushirennyami na merzlykh grun-takh [Features of constructing pile foundations with widenings on frozen soils]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Pri-kaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2025, no. 1 (51), pp. 79–86. (In Russ.). DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-79-86.
3. Razzakov S. R. Modelirovanie stadiinosti stroitelstva, ekspluatatsii i konstruktivnoi bezopasnosti bolshepro-letnikh unikalnikh zdaniy [Modeling the stages of construction, operation, and structural safety of unique long-span buildings]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [News of the Kazan State Uni-versity of Architecture and Engineering]. 2024, no. 4 (70), pp. 83–94. DOI: 10.48612/NewsKSUA/70.8.
4. Imaykin D. G., Ibragimov R. A., Yevstigneyeva Yu. V. Perfecting technology of winter concreting of cast - in - situ column. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, vol. 687, pp. 044013. DOI 10.1088/1757-899X/687/4/044013.
5. Zhuravlyov E. G. Review and analysis of winter concreting methods, used on construction sites in Russia. *IOP Confer-ence Series: Materials Science and Engineering*. 2017, vol. 880 (1), pp. 012029. DOI 10.1088/1757-899X/880/1/012029.
6. Batyuk M. I., Vodnev B. S., Gauss K. S., Gnyrya A. I. Influence of Preliminary Electric Curing Parameters on Physical and Mechanical Properties of Concrete. *Proceedings of the 8th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety*. 2025, vol. 565, pp. 187–196. DOI 10.1007/978-3-031-80482-3_19.
7. Ho V. Ha., Ngo V. M., Vu V. T. Bond strength of a steel bar in concrete reinforcing with shape memory alloy fibers. *Science Journal of Transportation*. 2024, no. 3 (19), pp. 44–57.
8. Xiao J., Liu L., Ding T., Xie Q. Experimental study on mechanical behavior of thermally damaged grouted sleeve splice under cyclic loading. *Structural Concrete*. 2020, no. 6 (21), pp. 2494–2514. DOI 10.1002/suco.202000092.
9. Molodin V. V., Chirkunov Yu. A., Garms Ye. V., Gorshkov K. Ye. Metod gruppovogo analiza differentsialnikh uravne-nii dlya prognozirovaniya temperaturnikh rezhimov zabetonirovannikh konstruktsiy [Group analysis method for dif-ferential equations to predict temperature regimes of concreted structures]. *Nauka i innovatsionnie tekhnologii* [Science and Innovative Technologies]. 2020, no. 1 (14), pp. 166–176. DOI 10.33942/sit.nes029.
10. Filatov S. V. Primenenie nelineinikh uravnenii v metodakh rascheta temperaturnikh polei vnutri monolitnikh kon-struktsii pri zimnem betonirovanii [Application of nonlinear equations in methods for calculating temperature fields within monolithic structures during winter concreting]. *Trudi Novosibirskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta (Sibstrin)* [Proceedings of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)]. 2023, no. 4 (90), pp. 84–91. DOI 10.32683/1815-5987-2023-26-90-4-84-91.
11. Shishkin V. V. Sovershenstvovanie metoda zimnego betonirovaniya s primeneniem nagrevatelnykh provodov [Im-provement of the winter concreting method using heating wires]. *Promishlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2019, no. 6, pp. 51–58. DOI 10.33622/0869-7019.2019.06.51-58.
12. Remyantsev Ye. V., Baiburin A. Kh., Solov'yev V. G., Akhmedyanov R. M., Bessonov S. V. Tekhnologicheskie para-metri kachestva samouplotnyayushchihsya melkozemnistikh betonnykh smesei dlya zimnego betonirovaniya stikov [Technological quality parameters of self-compacting fine-grained concrete mixtures for winter concreting of joints]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2021, no. 5, pp. 4–14. DOI 10.31659/0585-430X-2021-791-5-4-14.
13. Tyuryukhanov K. Yu., Pugin K. G. Impact of the surface of particles of moulding sand on the structural formation of asphalt concrete. *Izvestiya vuzov Investitsii Stroitel'stvo Nedvizhimost.* 2019, no.9(3), pp. 566–577. DOI:10.21285/2227-2917-2019-3-566-577
14. Zhorobaev S.S., Kuznetsova I.S. Effektivnyy sposob konvektivnogo progrevaniya monolitnykh zhelezobetonnykh kon-struktsii pri zimnem betonirovanii [An effective method for convective heating of cast-in-place reinforced concrete structures during winter concreting]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022, no. 3 (611), pp. 23–29. DOI: 10.31659/0005-9889-2022-611-3-23-29
15. Chirkunov Yu.A., Molodin V.V., Berezin E.V. Modelirovanie teplovykh processov pri zimnem betonirovanii plity perekrytiya [Modeling of thermal processes during winter concreting of a floor slab]. *Izvestiya vysshikh uchebnikh zavedenii. Stroitel'stvo*. [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2025, no. 3 (795), pp. 77–86. DOI 10.32683/0536-1052-2025-795-3-77-86.
16. Singhal S., Chourasia A., Chellappa S., Parashar J. Precast reinforced concrete shear walls: State of the art review. *Structural Concrete*. 2019, no. 3 (20), pp. 886–898. DOI 10.1002/suco.201800129.

17. Batyuk M., Vodnev B., Gnyrya A. Improvement of Equipment for Heating Concrete Mixture. *Industrial and Civil Construction*. 2022, vol. 436, pp. 67–73. DOI 10.1007/978-3-031-44432-6_9.
18. Lazarev A. A. The technology of winter concreting of monolithic frame structures with substantiation of heat treatment modes by solutions of the differential equation of thermal conductivity obtained by the method of group analysis. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021, no. 4 (17), pp. 115–122. DOI 10.22337/2587-9618-2021-17-4-115-122.
19. Tarakanov O. V., Akchurin T. K., Erofeeva I. V., Sanyagina Ya. A., Dushko O. V. Perspektivno primeneniya betonov novogo pokoleniya v tekhnologii zimnego betonirovaniya [Prospects for the use of new-generation concretes in winter concreting technology]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]. 2024, no. 1 (94), pp. 81–90. DOI 10.35211/18154360_2024_1_81.
20. Tamrazyan A. G., Meshkov V. R., Gerashchenko V. S., Grishin A. S. Approksimatsiya teplofizicheskikh svoystv betona dlya resheniya nelineinoi zadachi teploprovodnosti zhelezobetonnykh konstruksii v usloviyakh pozhara [Approximation of the thermophysical properties of concrete for solving the nonlinear heat conduction problem in reinforced concrete structures under fire conditions]. *Vestnik MGSU* [Vestnik MGSU]. 2025, no. 20 (8), pp. 1135–1153. DOI 10.22227/1997-0935.2025.8.1135-1153.
21. Sokolov A. M., Shadrikov T. E. Increased frequency alternating current systems for the electrothermal processing of composite materials. *International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*. 2020, pp. 449–453. DOI 10.1109/UralCon49858.2020.9216268.
22. Leontev S. V., Taleiko A. A. Control system of parameters of electrical curing of cast-in-situ reinforced concrete structures. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2023, no. 1 (19), pp. 85–96. DOI 10.22337/2587-9618-2023-19-1-85-96.
23. Banerjee D. K. A review of models for heat transfer in steel and concrete members during fire. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 2021, no. 126, p. 126030. DOI 10.6028/jres.126.30.
24. Lebedeva I. V., Petrova T. A. Analiz sovremennikh podkhodov k otsenke nadezhnosti v stroitel'stve [Analysis of modern approaches to reliability assessment in construction]. *Vestnik NIC «Stroitel'stvo»* [Bulletin of the Research Center "Construction"]. 2023, no. 3 (38), pp. 20–36. DOI 10.37538/2224-9494-2023-3.
25. Kanareikin A. Distribution of the temperature field in the rod, taking into account the correction for heat loss through its side surface. *E3S Web of Conferences*. 2023, vol. 376, p. 01078. DOI 10.1051/e3sconf/202337601078.

© А. А. Николаев, С. А. Логинова

Ссылка для цитирования:

Николаев А. А., Логинова С. А. Технико-экономическая эффективность методов зимнего бетонирования в климатических условиях Ярославской области // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский гос. архит.-строит. университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 3 (57). С. 50–57.

УДК 624.139:624.154.3:004.94
DOI 10.52684/2312-3702-2026-57-3-57-66

МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОТОВЫХ СВАЙ С НЕСКОЛЬКИМИ УШИРЕНИЯМИ НА СТВОЛЕ В МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, Е. Е. Купчиков

Федоров Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции, здания и сооружения», Российский университет транспорта (МИИТ); руководитель научно-исследовательской работы № 3.1.1.15, Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-0906-716X; e-mail: fvs_skzs@mail.ru;

Купчикова Наталья Викторовна, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения», Российский университет транспорта (МИИТ); доктор технических наук, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; исполнитель научно-исследовательской работы № 3.1.1.15, Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-2986-4190; e-mail: kupchikova79@mail.ru;

Купчиков Евгений Евгеньевич, студент, Российский университет транспорта (МИИТ); исполнитель научно-исследовательской работы № 3.1.1.15, Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Российская Федерация

Развитие транспортной инфраструктуры в Арктической зоне требует применения свайных фундаментов, способных воспринимать значительные нагрузки в условиях многолетнемерзлых грунтов. Сваи с множественными уширениями на стволе являются эффективным конструктивным решением, однако методика подготовки их экспериментальных исследований в мерзлых грунтах недостаточно проработана. Цель работы – разработать