

УДК 624.05:693.5

А. С. КРИВЕНЦЕВ, магистрант кафедры организации строительства;
Р. В. МОТЫЛЕВ, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой организации строительства

ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ МЕТОДОМ ГРЕЮЩИХ ПРОВОДОВ СОВМЕСТНО С ХИМИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Тел.: (812) 575-05-34; факс: (812) 316-32-61; эл. почта: alecskriventsev2029@mail.ru; motylev@yandex.ru

Ключевые слова: зимнее бетонирование, греющие провода, химические добавки, продолжительность прогрева, суперпластификатор.

Поскольку Российская Федерация занимает первое место по площади среди всех стран мира и внушительная ее часть находится в зонах с высокой отрицательной температурой, а строительство идет круглый год, важно создать условия схватывания бетонной смеси и набора прочности бетона независимо от климатических условий. Так как существует множество методов зимнего бетонирования, следует выбрать оптимальные методы для отдельного вида конструкций и изучить их возможное комбинирование. Объектом исследования являются технологии зимнего бетонирования с использованием греющих проводов и химических добавок.

Цель работы – оценка эффективности комбинирования методов зимнего бетонирования. В результате исследования были поставлены следующие задачи: расчет параметров греющих проводов и продолжительности изотермической выдержки, исследование влияния суперпластификатора Реламикс Т-2 на набор прочности бетона, сравнение сроков набора прочности бетона при комбинированном методе зимнего бетонирования и в нормальных условиях твердения.

Во время проведения монолитных работ при отрицательных температурах может произойти замерзание бетонной смеси. На раннем этапе твердения это может привести к ряду отрицательных последствий: понижение заявленной прочности более чем на 50 %, негативное влияние на долговечность, замедление или остановка гидратации цемента, что может привести к невозможности твердения.

Зимним бетонированием монолитных конструкций считается бетонирование, осуществляемое при ожидаемой среднесуточной температуре наружного воздуха ниже +5 °С и минимальной суточной температуре ниже 0 °С.

В своих трудах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14], авторы изучали и предлагали различные способы зимнего бетонирования, такие как: синэргобетонирование, предварительный электроразогрев бетонной смеси, химические добавки, метод термоса, греющие провода, электродный прогрев и другие. В рамках данного исследования на основании изученных технологий



хотим предложить одно из возможных комбинирований – метод греющие провода совместно с химическими добавками.

Исходные данные для оценки эффективности

Плита перекрытия в средней общеобразовательной школе в городе Санкт-Петербурге, с размерами $A \times B \times C$ (45 400 × 18 400 × 220 мм), объемом $V = 160,4 \text{ м}^3$, площадью $S = 729,03 \text{ м}^2$.

Модуль поверхности охлаждения перекрытия $M_{\text{п}}$ равен:

$$M_{\text{п}} = \frac{F}{V} = \frac{729,03}{160,4} \approx 5,0 \text{ м}^{-1}. \quad (1)$$

Бетон класса В25, расход цемента 400 кг/м³; опалубка – ламинированная фанера толщиной 20 мм. Открытая поверхность перекрытия утепляется минераловатными плитами толщиной 80 мм, термоактивными гибкими покрытиями (ТАГП).

Условия бетонирования, следующие:

- температура бетонной смеси, уложенной в опалубку, +10 °С;
- температура изотермического выдерживания бетона +45 °С;
- температура наружного воздуха: днем –16 °С, ночью –20 °С;
- скорость ветра 3 м/с.

Способ прогрева – греющие провода ПНСВ.

Химические добавки – суперпластификатор Реламикс Т-2.

Поскольку открытая верхняя поверхность перекрытия надежно укрыта теплоизоляционным материалом, потери теплоты через нее не учитываются.

Расчет греющих проводов

Данный расчет произведен по формулам (2, 3, 4, 5) и номограммам рис. 1 и рис. 3 согласно рекомендациям [13].

Рассчитываем коэффициент теплопередачи K опалубки по формуле (2)

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\lambda}} + \frac{\sum \delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\kappa}}} = \frac{1}{\frac{1}{2,8} + \frac{0,020}{0,4} + \frac{1}{25}} = 2,24 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \text{°С}, \quad (2)$$

где $\alpha_{\lambda} = 2,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ – коэффициент передачи теплоты от опалубки излучением; $\delta_i = 0,020 \text{ м}$ – толщина ламинированной фанеры; $\lambda_i = 0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ – коэффициент теплопроводности ламинированной фанеры; $\alpha_{\kappa} = 25,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ – коэффициент передачи теплоты конвекцией при скорости ветра 3,0 м/с.

Определяем ΔT – разницу температур нагретого бетона (45 °С) и средней температуры наружного воздуха в течение суток (–18 °С)

$$\Delta T = 45 - (-18) = 63 \text{ °С}. \quad (3)$$

По номограмме рис. 1 находим необходимую удельную мощность нагрева бетона $P_{\text{уд}}$.

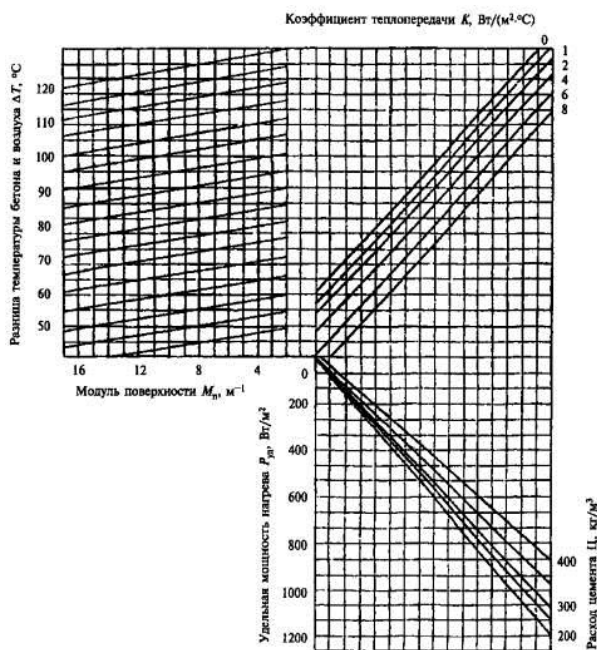


Рис. 1. Номограмма для определения удельной мощности нагрева бетона

Следует найти точку пересечения прямой $\Delta T = 63 \text{ }^\circ\text{C}$ с ординатой $M_n = 5,0 \text{ м}^{-1}$ модуля поверхности перекрытия, далее проводится горизонталь из этой точки до пересечения с прямой коэффициента теплопередачи, равной $K = 2,24 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Перпендикуляр из этой точки опускаем на прямую расхода цемента $\text{Ц} = 400 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Проекция полученной точки на ординату удельной мощности нагрева показывает $P_{уд} = 220 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Определяем шаг нагревательных проводов b по формуле (4)

$$b = \frac{1}{\frac{P_{уд}}{p} + 1} = \frac{1}{\frac{220}{30} + 1} = 0,12 \text{ м}, \quad (4)$$

где $p = 34 \text{ Вт}/\text{м}$ – удельная нагрузка на провод $d = 1,1\text{--}1,4$ из рекомендуемого интервала $p = 30\text{--}35 \text{ Вт}/\text{м}$ для армированных конструкций. Для удобства принимаем шаг $0,1 \text{ м}$.

Длина провода L (5), требуемого для укладки в нижнем уровне арматуры по схеме рис. 2б с шагом 100 мм , равна

$$L = B \times \left(\frac{A}{b} + 1 \right) + A = 18,4 \times \left(\frac{45,4}{0,1} + 1 \right) + 45,4 \approx 8420 \text{ м}. \quad (5)$$

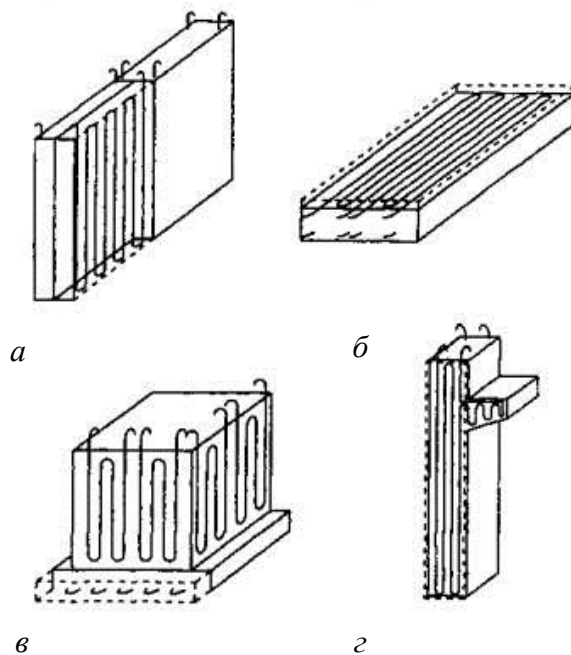


Рис. 2. Навивка нагревательных проводов в типовых конструкциях

Затем по номограмме рис. 3 необходимо подобрать длину нагревателя, ближайшую кратной длине провода, и рабочее напряжение.

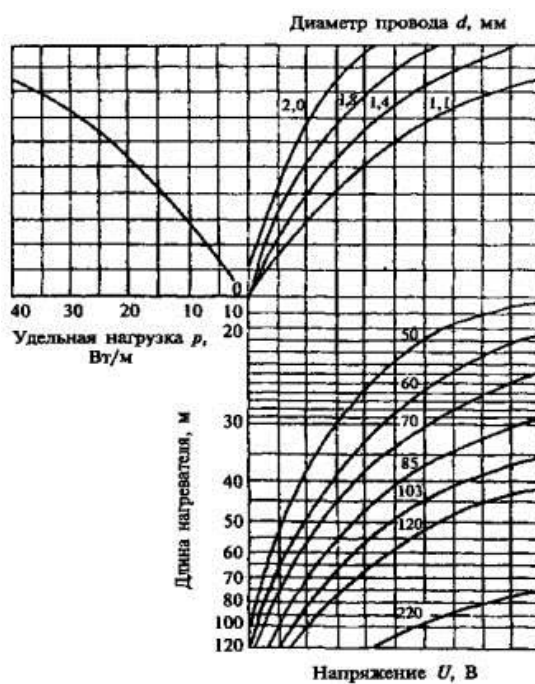


Рис. 3. Номограмма для определения длины нагревателей

Визуально проводим кривую, равную $d = 1,2$ мм, в промежутке между кривыми 1,1 и 1,4 мм диаметра провода d .

Проводим ординату из точки на абсциссе удельной нагрузки $p = 34$ Вт/м до точки пересечения с кривой. Из этой точки по горизонтали ищем точку пересечения с кривой $d = 1,2$ мм. Перпендикуляр из этой точки опускаем на кривые рабочего напряжения U, B . Подбор длины нагревателя происходит путем проецирования точек пересечения на ординату длины нагревателя. Ближайшее значение длины нагревателя составляет 22 м при рабочем напряжении $U = 55$ В.

Следовательно, в перекрытие раскладывается 383 нагревателя длиной по 22 м каждый.

Удельный расход провода (на 1 м^3 бетона) составит $8420/160,4 \approx 52,5$ м.

Режим термообработки бетона определяется с учетом рекомендаций раздела 5.2 [13] и при условии, что прочность бетона составит не менее 70 % R_{28} для плиты перекрытия.

Продолжительность нагрева при скорости нагрева $4,0$ °С/ч составляет не менее 9 часов, изотермическая выдержка при $+45$ °С по графику рис. 4 – 48 часов. Остывание до нуля при скорости остывания $2,0$ °С/ч – не менее 22 часов.

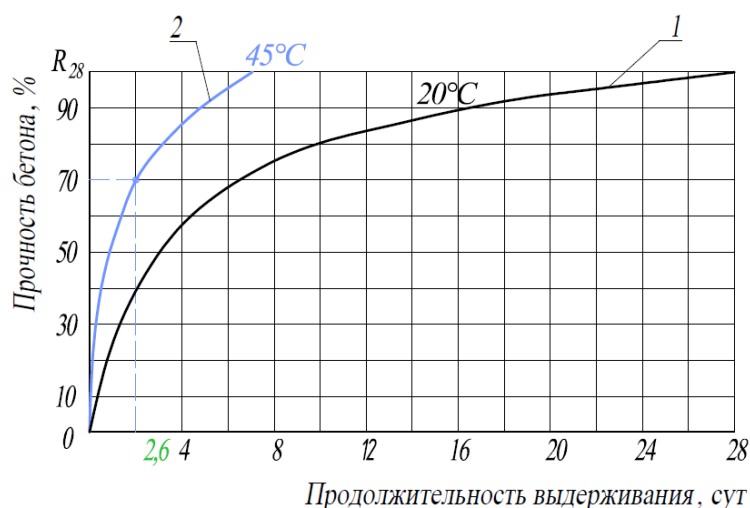


Рис. 4. Прочность бетона в зависимости от температуры и продолжительности выдерживания: 1 – набор прочности в нормальных условиях твердения; 2 – набор прочности при прогреве греющими проводами ПНСВ

Из графика видно, что достижение прочности до 70 % R_{28} при температуре $+45$ °С произойдет за двое суток (за 48 часов).

Влияние на набор прочности бетона суперпластификатора Реламикс Т–2.

Реламикс Т–2 является комплексной добавкой, относящейся к классу суперпластификаторов и ускорителей твердения, которая уплотняет структуру бетона и обеспечивает повышение его морозостойкости и водонепроницаемости.

При этом она не оказывает коррозионного воздействия на арматуру [12].

Применение данной добавки в количестве 1 % от массы цемента позволяет:

- сократить время на достижение распалубочной прочности;
- снизить расход цемента в равноподвижных смесях на 20 %;
- увеличить прочностные характеристики бетона на 25 %, которые представлены в табл. 1.

Введем добавку Реламикс Т–2 в количестве 1 % от массы цемента.

$$T_{\text{доб}} = \frac{Q_{\text{ц}} \cdot C}{100\%} = \frac{400 \cdot 1}{100} = 4,0 \text{ кг}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{ц}}=400$ – расход цемента, C – процент от массы цемента.

Таблица 1

Влияние суперпластифицирующей добавки Реламикс Т–2 на свойства бетона

Добавка		Бетонная смесь				Рсж.бет., Мпа, в возрасте, сут.			
Состав	Дозировка, %	В/Ц	Расход цемента, кг/м ³	ОК	Плотность, кг/м ³	1	2	7	28
Без добавки	-	0,5	358	3	2395	5,7	13,6	26,8	39,6
Реламикс Т–2	1	0,44	352	3	2390	10,3	23,8	44,2	51,5

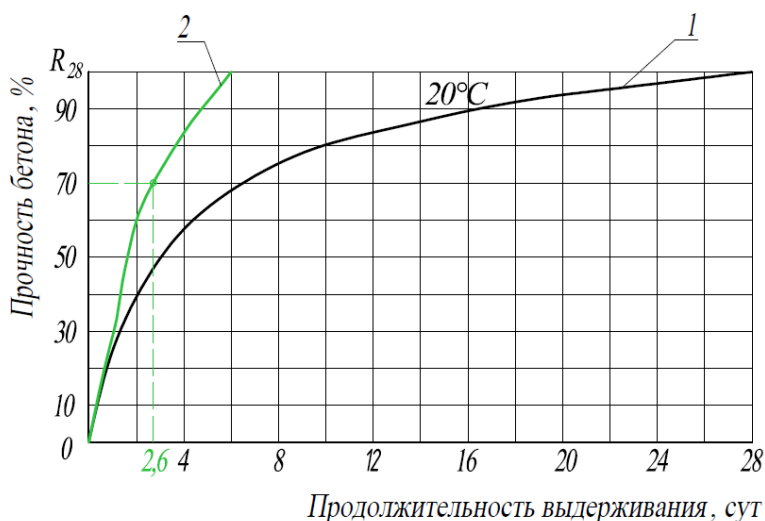


Рис. 5. Прочность бетона в зависимости от температуры и продолжительности выдерживания: 1 – набор прочности в нормальных условиях твердения; 2 – набор прочности с химической добавкой Реламикс Т–2

Из графика видно, что достижение прочности до 70 % R_{28} с добавкой Реламикс Т–2 произойдет за 2,6 суток (за 63 часа).

Сравнение сроков набора прочности бетона при комбинированном методе зимнего бетонирования и в нормальных условиях твердения

В нормальных условиях твердения бетонной смеси, без добавок и прогрева, бетон набирает прочность 70 % R_{28} за 7 суток, представленную в часах в табл. 2.

При комбинировании греющих проводов ПНСВ и суперпластификатора Реламикс Т–2 получен следующий график прочности бетона в зависимости от температуры и продолжительности выдерживания (рис. 6).

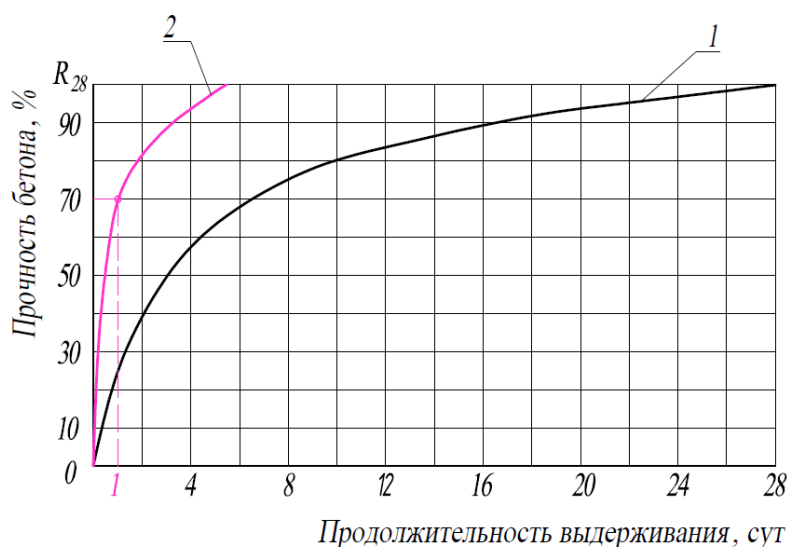


Рис. 6. Прочность бетона в зависимости от температуры и продолжительности выдерживания: 1 – набор прочности в нормальных условиях твердения; 2 – комбинирование греющих проводов ПНСВ с суперпластификатором Реламикс Т–2

Таблица 2

Набор распалубочной прочности в зависимости от метода зимнего бетонирования

Метод зимнего бетонирования	Время набора распалубочной прочности 70 % R_{28} , часы
В нормальных условиях твердения	168
При прогреве греющими проводами	48
При использовании суперпластификатора «Реламикс Т–2»	62,5
При комбинировании греющие провода + суперпластификатор «Реламикс Т–2»	24

Вывод: комбинирование методов зимнего бетонирования с использованием греющих проводов и химических добавок позволяет набрать бетону распалубочную прочность 70 % R_{28} за 24 часа, что:

– на 144 часа быстрее, чем набор прочности 70 % R_{28} в нормальных условиях;

– на 24 часа быстрее, чем набор прочности 70 % R_{28} при прогреве только греющими проводами при температуре 45 °С;

– на 38,5 часов быстрее, чем набор прочности 70 % R_{28} с применением только суперпластификатора «Реламикс Т–2».

Данное комбинирование даст возможность сократить сроки проведения работ по бетонированию плитных конструкций с подобным модулем поверхности при отрицательных температурах, позволит сократить сроки строительства в целом – сдвинет сроки всех последующих работ в календарном графике, позволит сэкономить на аренде механизмов, применяемых при проведении монолитных работ.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арбенъев, А. С. От электротермоса к синэргобетонированию / А. С. Арбенъев ; Владимирский государственный технический университет. – Владимир : ВГТУ, 1996. – 272 с. : ил. – ISBN 5-89368-001-4. – Текст : непосредственный.
2. Арбенъев, А. С. Технология бетонирования с электроразогревом бетонной смеси / А. С. Арбенъев. – Москва : Стройиздат, 1975. – 107 с. – Текст : непосредственный.
3. Головнев, С. Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов / С. Г. Головнев. – Челябинск : ЮУрГУ, 1999. – 156 с. – ISBN 5696011470. – Текст : непосредственный.
4. Головнев, С. Г. Производство бетонных работ в зимних условиях. Обеспечение качества и эффективность / С. Г. Головнев, Ю. М. Красный, Д. Ю. Красный. – Москва : Инфра-Инженерия, 2012. – 336 с. – ISBN 978-5-9729-0049-7. – Текст : непосредственный.
5. Дроздов, А. Д. Разогрев бетонной смеси в установке непрерывного действия / А. Д. Дроздов, Л. М. Колчеданцев. – Текст : непосредственный // Механизация и автоматизация технологических процессов на предприятиях стройиндустрии и строительных материалов : тезисы докладов, 21-22 сентября. – Челябинск : УДНТП. – 1987. – С. 55–57.
6. Дроздов, А. Д. Возведение монолитных конструкций с использованием установок форсированного непрерывного электроразогрева бетонной смеси / А. Д. Дроздов. – Текст : непосредственный // Пути повышения технического уровня строительства в Тюменской области : областная научно-практическая конференция, 29-30 мая 1987 г. : тезисы докладов / Тюменский инженерно-строительный институт. – Тюмень, 1987. – С. 127–128.
7. Кармаза, М. В. Технологии применения противоморозных добавок при зимнем бетонировании / М. В. Кармаза, Р. В. Мотылев. – Текст : непосредственный // Journal of Technical and Natural Sciences. – 2018. – № 9. – С. 8–14.
8. Технологические основы монолитного бетона. Зимнее бетонирование : монография / Л. М. Колчеданцев, А. П. Васин, И. Г. Осипенкова, О. Г. Ступакова / под редакцией Л. М. Колчеданцева. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 280 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-2182-4. – Текст : непосредственный.
9. Колчеданцев, Л. М. Бетонирование сборных и монолитных конструкций с термовиброобработкой смесей / Л. М. Колчеданцев. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 1999. – № 1. – С. 9-10.
10. Колчеданцев, Л. М. Совершенствование методики расчета режима выдерживания бетона в зимнее время методом «термоса»/ Л. М. Колчеданцев, А. Д. Егозаров. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 4 (51). – С. 95–99.
11. Копылов, В. Д. Устройство монолитных конструкций при отрицательных температурах среды : монография / В. Д. Копылов. – Москва : АСВ, 2014. – 184 с. – (Технологии строительства). – ISBN 978-5-4323-0051-5. – Текст : непосредственный.
12. Круглый стол : товарные бетоны, составы, добавки функциональные - пластификаторы, способы получения, заводы, инновационные направления развития. – Текст : непосредственный // Технологии бетонов. – 2016. – № 11-12 (124-125). – С. 17–25.
13. МДС 12-48.2009. Рекомендации по электрообогреву монолитного бетона и железобетона нагревательными проводами / ЦНИИОМТП Госстроя СССР. – Москва, 1989. – 20 с. – Текст : непосредственный.



14. Хвостова, А. Г. Использование греющей опалубки при зимнем бетонировании строительных конструкций / А. Г. Хвостова, Р. В. Мотылев. – Текст : непосредственный // Научные технологии и инновации (XXV научные чтения) : Международная научно-практическая конференция, Белгород, 23 ноября 2023 г. : сборник докладов / Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. – Белгород, 2023. – С. 233–237.

KRIVENTSEV Aleksandr Sergeevich, undergraduate student of the chair of construction organization; MOTYLYOV Roman Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of construction organization

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF COMBINING THE TECHNOLOGY OF WINTER CONCRETING OF THE FLOOR SLAB BY THE METHOD OF HEATING WIRES TOGETHER WITH CHEMICAL ADDITIVES

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
4, 2nd Krasnoarmeyskaya St., Saint-Petersburg, 190005, Russia. Tel.: +7 (812) 575-05-34;
fax: +7 (812) 316-32-61;
e-mail: aleckskriventsev2029@mail.ru; motylev@yandex.ru

Key words: winter concreting, heating wires, chemical additives, heating duration, superplasticizer.

Since the Russian Federation occupies the first place in terms of area among all countries of the world, and an impressive part of it is located in areas with high negative temperatures, and construction is underway all year round, it is important to create conditions for setting the concrete mixture and gaining concrete strength, regardless of climatic conditions. Since there are many methods of winter concreting, it is necessary to choose the best methods for a particular type of structure and study their possible combination. The object of the study is the technology of winter concreting using heating wires and chemical additives. The purpose of the work is to evaluate the effectiveness of combining winter concreting methods. As a result of the study, the following tasks were set: calculation of the parameters of the heating wires and the duration of the isothermal exposure, investigation of the effect of the Relamix T-2 superplasticizer on concrete strength gain, comparison of the terms of concrete strength gain with the combined method of winter concreting and under normal hardening conditions.

REFERENCES

1. Arbenev A. S. Ot elektrotermosa k sinergobetonirovaniyu [From electrothermosis to synergobetonning]. Vladimir. gos. tekhnich. un-t. Vladimir, VGTU. 1996. 272 p. : il. – ISBN 5-89368-001-4.
2. Arbenev A. S. Tekhnologiya betonirovaniya s elektrorazogrevom betonnoy smesi [Technology of concreting with electric heating of concrete mixture]. – Moscow : Stroyizdat, 1975. 107 p.
3. Golovnyov S. G. Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Optimizatsiya parametrov i izbor metodov [Technology of winter concreting. Optimization of parameters and choice of methods] // Chelyabinsk : YuUrGU, 1999. – 156 p. – ISBN 5696011470.
4. Golovnyov S. G., Krasny Yu. M., Krasny D. Yu. Proizvodstvo betonnykh rabot v zimnikh usloviyakh. Obespechenie kachestva i effektivnost [Production of concrete works in winter conditions. Ensuring quality and effectiveness]



winter conditions. Quality assurance and efficiency]. Moscow : Infra-Enzheneriya, 2012. 336 p. – ISBN 978-5-9729-0049-7.

5. Drozdov A. D., Kolchedantsev L. M. Razogrev betonnoy smesi v ustanovke nepreryvnogo deystviya [Heating of concrete mix in a continuous-action installation] // Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov na predpriyatiyakh stroyindustrii i stroitelnykh materialov [Mechanization and automation of technological processes at enterprises of the construction industry and building materials] : tezisy dokladov, 21-22 sentyabrya. – Chelyabinsk : UDNTF. – 1987. – P. 55–57.

6. Drozdov A. D. Vozvedenie monolitnykh konstruksiy s ispolzovaniem ustanovok forsirovannogo nepreryvnogo elektrorazogreva betonnoy smesi [Construction of monolithic structures using installations of forced continuous electric heating of concrete mix] // Puti povysheniya tekhnicheskogo urovnya stroitelstva v Tyumenskoy oblasti [Ways to improve the technical level of construction in the Tyumen region] : oblastnaya nauchno-praktich. konf., 29-30 maya 1987 g. : tezisy dokladov / Tyumen. inzhener.-stroit. in-t. – Tyumen, 1987. – P. 127–128.

7. Karmaza M. V., Motylyov R. V. Tekhnologii primeneniya protivomoroznykh dobavok pti zimnem betonirovanii [Technologies for the use of antifreeze additives in winter concreting] / Journal of Technical and Natural Sciences. – 2018. – № 9. – P. 8–14.

8. Kolchedantsev L. M., Vasin A. P., Osipenkova I. G., Stupakova O. G. Tekhnologicheskie osnovy monolitnogo betona. Zimnee betonirovanie [Technological foundations of monolithic concrete. Winter concreting] : monografiya / pod red. L. M. Kolchedantseva. Saint-Petersburg : Lan, 2016. 280 p. – (Uchebniki dlya vuzov. Spetsialnaya literatura). – ISBN 978-5-8114-2182-4.

9. Kolchedantsev L. M. Betonirovanie sbornykh i monolitnykh konstruksiy s termovibroobrabotkoy smesey [Concreting prefabricated and monolithic structures with thermal vibration treatment of mixtures] // Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. – 1999. – № 1. – P. 9–10.

10. Kolchedantsev L. M., Egozarov A. D. Sovershenstvovanie metodiki raschyota rezhima vyderzhivaniya betona v zimnee vremya metodom “termosa” [Improvement of the methodology for calculating the concrete holding regime in winter by the thermos method] / Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. – 2015. – № 4(51). – P. 95–99.

11. Kopylov V. D. Ustroystvo monolitnykh konstruksiy pri otritsatelnykh temperaturakh sredy [Arrangement of monolithic structures at negative ambient temperatures] : monografiya. – Moscow : ASV, 2014. – 184 p. – (Tekhnologii stroitelstva). – ISBN 978-5-4323-0051-5.

12. Krugly stol : tovarnye betony, sostavy, dobavki funktsionalnye - plastifikatory, sposoby polucheniya, zavody, innovatsionnye napravleniya razvitiya [Round table: commercial concretes, compositions, functional additives – plasticizers, production methods, plants, innovative development directions] // Tekhnologii betonov [Concrete technologies]. – 2016. – № 11-12(124-125). – P. 17–25.

13. MDS 12-48.2009. Rekomendatsii po elektroobogrevu monolitnogo betona i zhelezobetona nagrevatelnyimi provodami [Recommendations on electric heating of monolithic concrete and reinforced concrete with heating wires] / TsNIIOMTP Gosstroya SSSR. – Moscow, 1989. – 20 p.

14. Khvostova A. G., Motylyov R. V. Ispolzovanie greyushchey opalubki pri zimnem betonirovanii stroitelnykh konstruksiy [The use of heating formwork during the winter concreting of building structures] / Naukoyomkie tekhnologii i innovatsii (XXV nauchnye chteniya) [High-tech technologies and innovations (XXV scientific readings)] : Mezhdunarodnaya nauchno-praktich. konf., Belgorod, 23 noyabrya 2023 g. : sbornik dokladov : Belgorod. gos. tekhnolog. un-t im. V. G. Shukhova. – Belgorod, 2023. – P. 233–237.

© А. С. Кривенцев, Р. В. Мотылев, 2024

Получено: 11.04.2024 г.