

## Устройство железобетонных конструкций в условиях низких температур

*М.В. Миронов, М.Б. Демехова*

*Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск*

**Аннотация:** В статье рассматриваются методы зимнего бетонирования, проблемы твердения бетонной смеси при отрицательных температурах, а также виды противоморозных добавок и метод прогрева бетона греющим кабелем.

**Ключевые слова:** зимнее бетонирование, противоморозные добавки, греющий кабель, электропрогрев, прочность.

На сегодняшний день в условиях повышения уровня жизни и благосостояния граждан, а также многочисленных государственных программ по субсидированию приобретения жилья, наблюдается существенный рост потребности в расширении рынка жилой недвижимости. В данных условиях у застройщиков и органов власти возникает необходимость в обеспечении безостановочного круглогодичного производства работ, в том числе бетонных. Монолитные бетонные конструкции находят большое применение в современном строительстве, благодаря таким преимуществам, как прочность, возможность придания любой формы, относительно низкая стоимость. Также к преимуществам железобетона можно отнести сокращение затрат и ресурсов на необходимое усиление или ремонт конструкций, сокращение трудозатрат, а самое главное – сокращение временных затрат. Но, как известно, при понижении температуры и последующей кристаллизации вода, являющаяся неотъемлемой частью бетонной смеси, имеет свойство увеличиваться в объеме порядка 7% [1]. Соответственно, при бетонировании в условиях низких температур, процесс твердения и набора прочности может растянуться или остановиться, кроме того при расширении жидкости в твердеющей смеси могут образоваться пустоты и, как следствие, трещины.

Нормативный срок набора проектной прочности монолитного бетона - 28 суток (СП 63.13330.2018). За указанное время бетон должен набрать

заявленную производителем 100% проектную прочность. Железобетонные конструкции можно нагружать при наборе прочности 70% от проектной. Как правило, время набора 70% прочности в условиях пониженных температур на строительной площадке составляет 3-5 дней [2]. После этого конструкции можно нагружать, например, начинать армирование и опалубочные работы для возведения следующего этажа [3].

Низкая (пониженная) температура (от 0 до +10 С) значительно замедляет процесс взаимодействия цементного вяжущего с водой, что, в свою очередь растягивает срок набора прочности бетона. Повышенная температура, напротив, является катализатором химических процессов, а также процесса гидратации вяжущего вещества с жидкостью. Повышенную температуру можно обеспечить, используя различные методы прогрева бетона, а также безобогревными методами: путем понижения температуры кристаллизации воды. Однако, стоит отметить, что при слишком быстром твердении смеси путем повышения температуры и обильного испарения влаги могут также возникнуть трещины, поэтому температурно-влажностный режим необходимо контролировать [4].

Одним из наиболее популярных методов безобогревного бетонирования можно назвать применение противоморозных добавок. Благодаря применению добавок, можно экономить электроэнергию и тепло при проведении бетонных работ. В настоящее время все существующие добавки можно разделить на две основных группы, в зависимости от их способа действия [4]:

1. Добавки, в основе действия которых лежит понижение температуры кристаллизации жидкой фазы бетонной смеси. Они принадлежат к числу замедлителей твердения цемента, либо числу слабых ускорителей схватывания. К таким добавкам принято относить нитрит натрия и хлорид

натрия, водные растворы аммиака, многоатомные спирты, карбамид, а также неэлектролиты.

2. Добавки, которые ускоряют процесс схватывания и твердения цементного вяжущего с хорошими противоморозными свойствами. Такие добавки изготавливают на основе хлорида кальция [6].

В таблице 1 приведены значения температуры замерзания в зависимости от применяемой добавки и ее концентрации.

Таблица 1

Температура замерзания распространенных водных растворов солей

| NaCl               |                                  | KCl                |                                  | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> |                                  |
|--------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Концентрация,<br>% | Температура<br>замерзания,<br>°C | Концентрация,<br>% | Температура<br>замерзания,<br>°C | Концентрация,<br>%              | Температура<br>замерзания,<br>°C |
| 5                  | -3,1                             | 5                  | -2,4                             | 5,8                             | -2,1                             |
| 10                 | -6,7                             | 10                 | -4,9                             | -                               | -                                |
| 20                 | -16,5                            | 19,7               | -10,6                            | -                               | -                                |

Также стоит отметить, что метод применения противоморозных добавок наиболее эффективен при дополнительном обогреве тепловыми пушками.

Наиболее рациональным способом прогрева бетона признано его выдерживание с помощью электрического греющего провода. Греющий провод ПНСВ (П – провод, Н – нагревательный, С – стальной, В – изоляция) можно проложить в конструкциях любой сложности и объема, не зависимо от частоты армирования.

В состав кабеля для электропрогрева бетона входит стальная жила с сечением 0,6 – 4 мм<sup>2</sup>, диаметром 1,2-3 мм, слой оцинкованной изоляции для снижения воздействия агрессивной среды бетонной смеси, а также слой изоляции из поливинилхлорида. В таком виде кабель является устойчивым к перегибам и истиранию и обладает высоким удельным сопротивлением [7].

Кабель подключается к источнику питания через алюминиевый провод. Питание осуществляется через трехфазную сеть 380 В, от трансформатора тока. Рабочий ток, протекающий по системе, имеет значение примерно 15 А.

Технология прогрева бетона кабелем ПНСВ включает в себя несколько этапов [8]:

На первом этапе разогрев осуществляется со скоростью не более 10°C в час, что обеспечивает равномерное прогревание всего объема.

На втором этапе нагрев при постоянной температуре длится до тех пор, пока бетон не наберет половину проектной прочности. Температура не должна превышать 80°C, а оптимальный показатель - 60°C.

Третий и завершающий этап прогрева — это остывание. Остывание бетона должно происходить со скоростью до 5°C в час, это поможет избежать образования трещин и обеспечит монолитность конструкций.

На всех этапах температура твердеющей смеси контролируется погружными термометрами и тепловизорами. Периодичность обхода – каждые два часа.

При соблюдении указанных технологических требований материал набирает прочность, соответствующую 70% от проектной в течение трех суток [9]. Кабель ПНСВ остается в теле бетона по завершению бетонирования, он служит дополнительным элементом армирования.

Проведем сравнение технико-экономических показателей при бетонировании монолитного железобетонного перекрытия объемом 100 м<sup>3</sup> методом электропрогрева и методом применения противоморозных добавок с дополнительным обогревом тепловыми пушками, работающими на сгораемом топливе (керосин) Результаты технико-экономического сравнения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Технико-экономическое сравнение методов бетонирования при низких температурах

| Метод бетонирования  | Стоимость материалов, руб. | Стоимость работ, руб. | Время набора прочности, дн. |
|--|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Применение противоморозной добавки в сочетании с обогревом тепловыми пушками | 123360                     | ≈10000                | 2                           |
| Метод электропрогрева кабелем ПНСВ   | 218000                     | ≈30000                | 2,5                         |

В графу «стоимость материалов» для первого метода включена стоимость добавки из расчета 5% от веса цемента при цене 30 руб. за 1 кг, а также расход топлива для пушек из расчета 5,5 л/час при цене за литр 60 руб. Для второго метода включена стоимость греющего кабеля при цене примерно 2000 руб./м и стоимость мелких расходных материалов при стоимости примерно 100 руб/м. Необходимый метраж кабеля на 100м<sup>3</sup> бетона – 4000 м.

В графу «стоимость работ» для обоих методов включены круглосуточные дежурства ответственных лиц за работу пушек и электропрогрев. Для второго метода также включена стоимость работ по монтажу ПНСВ (без НДС).

Как видно из таблицы 2, наиболее эффективным является метод добавления противоморозных добавок. Способ довольно прост и не требует большого профессионализма производителей работ, однако стоит заметить, что данный способ во многом зависит от качества бетонной смеси,

приготовленной на бетонном заводе и корректного расчета концентрации добавок [10].

Подводя итоги, стоит обратить внимание, что выбор метода зимнего бетонирования в большой степени зависит от региона строительства, а именно - транспортной доступности, наличия тех или иных материалов, а также температурных значений.

### Литература

1. Афанасьев А.А. Бетонные работы – Москва, «Высшая школа», 1991. – 288 с.
2. Хаютин Ю.Г. Монолитный бетон. Москва, «Стройиздат», 1991. – 576 с.
3. Зотов А.В., Ляпин А.А. К анализу температурных напряжений в бетонных покрытиях // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2083](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2083)
4. Осипов А.М. Бетонирование при низких температурах // Инженерный вестник Дона, 2012, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1306](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1306).
5. Баженов Ю.М. Технология бетонных и железобетонных изделий. Москва, 1984 с. 102.
6. Вавилов, М.В., Совалов И.Г. Зимние строительные работы. - М.: Стройиздат, 1932. - 191 с.
7. Рыжов И.Н. О влиянии свойств бетона на качество и себестоимость строительного объекта // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, №8, 2007 г. С.35.
8. Bennett F. Lawrence Economic evaluation of cold concrete: report on research. - Alaska: Institute of Northern Engineering University of Alaska Fairbanks, 1994.- 95 p.
9. Аленкар Р., Маркон Ж., Хелене П. Экономичное жилье из СУБ // СРІ – Международное бетонное производство, №6, 2010, с. 142-147.

10. Recommended Practice for Winter Concreting. Journal of ACI. Title № 52-60 (vol. 27, № 10). vol. 52, Detroit, June 1956. pp. 1025-1047.

### References

1. Afanas'ev A.A. Betonnye raboty [Concrete works], Moskva, «Vysshaya shkola», 1991, 288 p.
2. Hayutin YU.G. Monolitnyj beton [Monolithic concrete], Moskva, 1990, 576 p.
3. Zotov A.V., Lyapin A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2083](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2083)
4. Osipov A.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1306](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1306).
5. Bazhenov YU.M. Tekhnologiya betonnyh i zhelezobetonnyh izdelij [Technology of concrete and reinforced concrete products]. Moskva, 1984 p. 102.
6. Vavilov, M.V. Sovalov I.G. Zimnie stroitel'nye raboty [Winter building]. M.: Strojizdat, 1932, 191 p.
7. Ryzhov I.N. Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka, №8, 2007, p.35.
8. Bennett F. Lawrence Economic evaluation of cold concrete: report on research Alaska: Institute of Northern Engineering University of Alaska Fairbanks, 1994. 95 p.
9. Alenkar R., Markon ZH., Helene P. CPI – Mezhdunarodnoe betonnoe proizvodstvo, №6, 2010, p. 142-147.
10. Journal of ACI. Title № 52-60 (vol. 27, № 10). vol. 52, Detroit, June 1956. pp. 1025-1047.