

УДК 693.547.3

## Методы производства бетонных работ в условиях низких температур

© Н.Л. Дорофеева, У.Д. Коршунова

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Российская Федерация*

**Аннотация.** В работе проанализированы факторы, которые влияют на процесс зимнего бетонирования, и рассмотрены различные методы производства бетонных работ в условиях отрицательных температур во время возведения и капитального ремонта жилых и общественных зданий и сооружений. В зимний период времени должны создаваться и поддерживаться такие температурно-влажностные условия, которые позволят получить бетонную кладку нужного качества с наименьшими затратами и в оптимальные сроки. В зависимости от массивности изделия, метеорологических условий производства работ, от необходимой прочности бетона, от добавляемых к бетонной смеси химических добавок и от возможностей соответствующих энергетических мощностей выбирается тот или иной метод или комбинация методов производства бетонных работ в условиях низких температур. При изготовлении бетонных изделий в условиях низких температур должны учитываться температура наружного воздуха, ветровая нагрузка на бетонированный элемент и температура прогрева бетонной смеси. Свои преимущества и недостатки имеют все способы формирования и прогрева бетона, призванные сохранять его физико-механические свойства, но необходимо учитывать себестоимость производства работ, напрямую зависящую от количества потребляемой электроэнергии.

**Ключевые слова:** зимнее бетонирование, метод термоса, принудительный прогрев бетона, электродный прогрев, инфракрасный прогрев, индукционный прогрев

## Methods for Concrete Work in Low Temperature Conditions

© Natalia L. Dorofeyeva, Ulyana D. Korshunova

*Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russian Federation*

**Abstract.** The article analyzes the factors that affect the process of winter concreting, and discusses various methods of producing concrete work in conditions of negative temperatures during the construction and overhaul of residential and public buildings and structures. In the winter period of time, such temperature and humidity conditions should be created and maintained that will make it possible to obtain concrete masonry of the required quality at the lowest cost and in the optimal time frame. Depending on the massiveness of the product, on the meteorological conditions of the work, on the required strength of the concrete, on the chemical additives added to the concrete mixture and on the capabilities of the corresponding power capacities one or another method or combination of methods for producing concrete work in low temperatures is selected. When manufacturing concrete products at low temperatures, the outside air temperature, wind load on the element to be concreted and the temperature of heating the concrete mixture must be taken into account. All methods of forming and heating concrete have their own advantages and disadvantages, designed to preserve its physical and mechanical properties, but it is necessary to take into account the cost of work, which directly depends on the amount of electricity consumed.

**Keywords:** winter concreting, thermos method, forced heating of concrete, electrode heating, infrared heating, induction heating

Практика показывает, что проблема выполнения бетонных работ в зимний период времени без замораживания, с нормируемыми показателями прочности бетона на выходе и без нарушения его структуры весьма актуальна. Рассмотрим методы, позволяющие замедлять скорость твердения бетона и соблюдать необходимый температурный режим его твердения.

**Метод термоса** впервые был применён в 1910 году русским профессором

И.А. Киреенко. Данный метод является наиболее простым и экономичным методом зимнего бетонирования. В результате химических реакций, происходящих при твердении цементного раствора, выделяется экзотермическая теплота. Таким образом, за счет начального прогрева бетона, применения утепленной опалубки и выделения экзотермической теплоты в растворе удастся обеспечить положительную температуру смеси в условиях зимнего бетонирования.

Выделение экзотермической теплоты при отвердевании раствора зависит от марки и свойств цемента. Для зимнего бетонирования методом термоса применяют высокомарочные быстротвердеющие цементы и портландцементы. Например, при расходе 300 кг портландцемента марки М 500 на 1 м<sup>3</sup> бетона выделится количество теплоты, которого будет достаточно для разогрева этого объема бетона на 20° за 12 часов. Применение метода термоса допускается при условии выполнения теплового расчета, подтверждающего выделение достаточного количества теплоты. Используют также метод горячего термоса, когда перед укладкой бетонную смесь предварительно разогревают до температуры 60–80 °С.

Наиболее эффективно применять метод термоса при зимнем бетонировании массивных конструкций. В этом случае площадь контактной поверхности бетона с опалубкой минимальна, что приводит к меньшему количеству тепловых потерь<sup>1</sup>.

Для повышения эффективности метода термоса в состав бетона добавляют **противоморозные добавки**. Это хлористый кальций, поташ или нитрат натрия, но не более 2 %, а также хлорид натрия, карбонат калия и ряд более сложных соединений. Эти добавки снижают температуру замерзания бетона и ускоряют процесс набора прочности бетона, поскольку порог замерзания раствора понижается, вода в таком растворе находится в жидкой фазе и взаимодействует с цементом даже в зимних условиях [1, 2]. Сочетание химических добавок с предварительным подогревом ингредиентов бетонной смеси и воды, используемых при приготовлении бетона, позволяет вести бетонные работы в зимний период времени при температуре от –15 до –20 °С.

В климатических условиях зимнего бетонирования города Иркутска активно используется поташ, ускоряющий процесс затвердевания цемента и понижающий точку замерзания еще не связанной цементом воды. Хлориды кальция и натрия являются наименее дорогими добавками, хотя использование поташа приводит к образованию так называемых «высолов», что понижает показатели внешнего вида получаемых изделий.

При производстве бетонных работ в условиях низких температур наиболее рас-

пространенной мерой является **предварительный подогрев** фракций заполнения до 60 °С, прогреваемых водяным паром или продуктами горения, пропускаемыми сквозь барабан с наполнителем и нагревом воды почти до кипения. Поскольку греть цемент категорически запрещается, температура бетонной смеси перед непосредственно бетонированием составляет 35–40 °С. В отличие от лета, когда в смеситель сначала заливают воду, а потом загружают все фракции заполнителя и цемент, при зимнем производстве бетонных работ в нагретую воду сначала загружают крупную фракцию заполнителя и только после предварительного перемешивания добавляют песок и цемент, что предотвращает эффект «заваривания» цемента. Кроме того, при производстве бетонных работ в условиях низких температур в полтора раза увеличивают время замешивания бетонной смеси. При укладке бетонной смеси необходимо учесть возможность замерзания смеси на стыках с ремонтируемыми поверхностями. Уложенный бетон предохраняют от замерзания до приобретения требуемой прочности. Опалубку и арматуру до начала бетонных работ надо освободить от снега, арматуру отогреть до положительных температур. Ранее уложенные слои бетона не должны остывать до конца производства бетонных работ, после чего бетон должен быть закрыт и утеплен.

Бетонирование **«горячий термос»** заключается в кратковременном разогреве бетонной смеси до температуры от 60 до 80 °С, уплотнении ее в горячем состоянии и термосном выдерживании или выдерживании с дополнительным обогревом. Метод горячего термоса с предварительным разогревом бетонной смеси предложен в 1962 году русским профессором А.С. Арбеневым [3].

При производстве бетонных работ в условиях низких температур можно производить дополнительный разогрев уложенной бетонной смеси с помощью электрического тока. При этом бетон, используемый как сопротивление, соединяется с помощью электродов в электрическую цепь переменного тока.

Выделяемая мощность прямо пропорционально зависит от напряжения на электродах, она обратно пропорциональна сопротивлению подключенной к цепи бетонной смеси. Количество выделяемого на поверхности бетона тепла, в свою очередь, прямо пропорционально выделяемой в определенный промежуток времени мощности, а

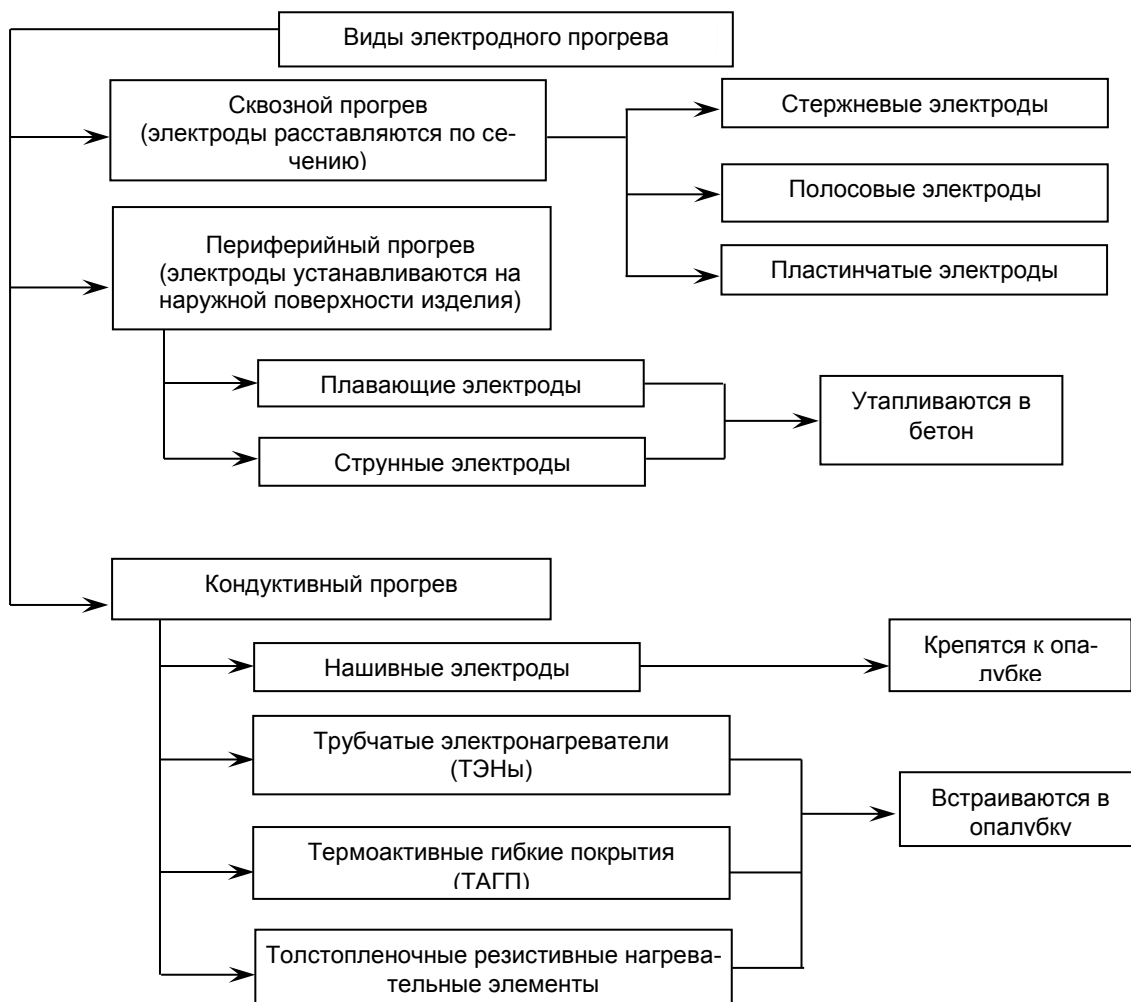
<sup>1</sup>Варгафтик Н.Б. Теплофизические свойства веществ: справочник. М.: Техноэнергоиздат, 1956. 357 с.

поскольку омическое сопротивление бетонной смеси – это функция геометрических параметров плоских электродов, количество выделяемого на поверхности бетона тепла зависит от расстояния между электродами [4].

**Принудительный прогрев бетона.** Метод термоса не всегда обеспечивает выделение необходимого количества теплоты, а тепляки чаще всего изготавливать экономически нецелесообразно. В этих случаях бетон прогревают в процессе твердения в опалубке после укладки. В качестве источника энергии для прогрева бетона используется электричество. Электрическое поле нагревает бетон или арматуру и обеспечивает нужную температуру конструкции [5].

В наше время широко используются различные виды **электродного прогрева**, при которых при прохождении через бетон электроэнергии сам бетон выделяет тепло, поэтому затраты энергии в основном расходуются на поддержку температурного режима на границе обогреваемой поверхности [6].

Следует отметить, что переизбыток тепла, возникающий при нарушении температурного режима прогрева бетонной смеси, также опасен, так как приводит к появлению больших внутренних напряжений в бетонируемом изделии и к формированию трещин. На рисунке показаны виды электродного прогрева и используемые типы электродов и покрытий.



Виды электродного прогрева и используемых электродов

При контактном (кондуктивном) прогреве используется тепло, выделяемое проводником при подключении к электрическому току, это тепло при контакте нагревает бетонируемые поверхности, передаваясь за счет

теплопроводности вглубь бетона. Греющая опалубка используется при производстве зимнего бетонирования слабо армированных элементов конструкций небольших размеров [7].

**Инфракрасный прогрев.** Первым разработчиком способа инфракрасного обогрева бетона был профессор Данилов Н.Н., предложивший использовать энергию инфракрасного излучения, направленного на открытые поверхности бетона или поверхность неутепленной стальной опалубки [8].

При поглощении телом инфракрасного облучения, видоизменяющегося в тепловую энергию внутри него, твердые тела мгновенно нагреваются, для переноса тепла не требуется промежуточных составляющих. Процесс перехода инфракрасных лучей в тепловую энергию происходит за счет собственной теплопроводности облучаемой поверхности. Обычно используют инфракрасное излучение с длиной волны до 6 мкм, которое выделяют тела с поверхностью, нагретой до температуры от 300 до 2200 °С.

Для производства ремонтных бетонных работ инфракрасное излучение генерируют металлические и кварцевые трубчатые излучатели либо алюминиевые рефлекторы, имеющие плоскую или параболическую форму. При помощи инфракрасного облучения при производстве монолитных бетонных работ во время капитального ремонта жилых и общественных зданий в зимний период времени осуществляется предварительный отогрев и прогрев тех элементов конструкций, которые нуждаются в ремонте.

При **индукционном прогреве** бетона используют теплоту, выделяемую в армату-

ре или стальной опалубке, находящейся в электромагнитном поле катушки-индуктора, по которой протекает переменный электрический ток. Для этого по наружной поверхности опалубки последовательными витками укладывается изолированный провод-индуктор. Переменный электрический ток, проходя через индуктор, создает переменное электромагнитное поле. Электромагнитная индукция вызывает в находящемся в этом поле металла (арматуре или стальной опалубке) вихревые токи, в результате чего арматура (стальная опалубка) нагревается и от нее (индуктивно) нагревается бетон [9].

В заключение отметим, что снижение энергопотребления на строительных площадках повышает рентабельность всех производимых бетонных работ и, соответственно, приводит к удешевлению всего строительного процесса [10]. Перечисленные методы производства бетонных работ в зимний период времени можно использовать в различных комбинациях. В зависимости от массивности изделия, метеорологических условий, в которых производятся работы, от необходимой прочности бетона, от добавляемых к бетонной смеси химических добавок и от возможностей соответствующих энергетических мощностей выбирается тот или иной метод или комбинация методов производства бетонных работ в условиях низких температур.

### Библиографический список

1. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1984. 672 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://dwg.ru/lib/1523> (22.09.2020).
2. Хаяутин Ю.Г. Монолитный бетон. Технология производства работ. М.: Стройиздат, 1991. 576 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://dwg.ru/dnl/8340> (22.09.2020).
3. Арбенев А.С. Технология бетонирования с электрообогревом смеси. М.: Стройиздат, 1975. 107 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006906498> (22.09.2020).
4. Вегенер Р.В. Электропрогрев бетонных и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1953. С. 71–119. [Электронный ресурс]. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01005768000> (22.09.2020).
5. Головнев С.Г. Оптимизация методов зимнего бетонирования. Л.: Стройиздат, 1983. 232 с.
6. Искусственный нагрев и прогрев пола // Intertools [Электронный ресурс]. URL: <http://intertools.com.ua/2020/01/iskusstvennyj-progreiv-i-nagrev-betona/> (22.09.2020).
7. Сысоев А.К. Эффективность применения гибких поверхностных нагревательных элементов // Инженерный вестник Дона. 2017. № 1 (44). С. 75. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-primeneniya-gibkih-poverhnostnyh-nagrevatelnyh-elementov/viewer> (22.09.2020).
8. Шелехов И.Ю., Смирнов Е.И., Иноземцев В.П. Применение новых технологий электрического нагрева в процессе зимнего бетонирования // Новая наука: проблемы и перспективы. 2015. № 6-2. С. 200–205.
9. Технология бетонных работ в зимних условиях // СтройРубрика.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://stroyrubrika.ru/concreat/winter.php> (22.09.2020).
10. Шелехов И.Ю., Смирнов Е.И., Пакулов С.А., Главинская М.М. Анализ производства строительных работ в зимний период времени // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 6. С. 99–102.

Сведения об авторах / Information about the Authors

**Дорофеева Наталья Леонидовна,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры механики  
и сопротивления материалов,  
Институт архитектуры, строительства  
и дизайна,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
e-mail: dorofeeva@istu.edu

**Коршунова Ульяна Дмитриевна,**  
студентка группы ДСб-18-1,  
Институт архитектуры, строительства  
и дизайна,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
e-mail: ulya.meow@mail.ru

**Natalia L. Dorofeyeva,**  
Cand. Sci. (Technics),  
Associate Professor of Mechanics  
and Strength of Materials Department,  
Institute of Architecture, Construction  
and Design,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074,  
Russian Federation,  
e-mail: dorofeeva@istu.edu

**Ulyana D. Korshunova,**  
Student,  
Institute of Architecture, Construction  
and Design,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074,  
Russian Federation,  
e-mail: ulya.meow@mail.ru