

УДК 693.547.3

Применение электродного прогрева при производстве ремонтных бетонных работ в зимний период времени

© Н.Л. Дорофеева, А.А. Дорофеева

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

Аннотация. Рассматриваются варианты использования электрического тока при производстве бетонных работ во время возведения и капитального ремонта зданий при низких температурах, позволяющие получить бетонную кладку нужного качества с наименьшими затратами и в оптимальные сроки. Существует несколько способов формирования подогрева при зимнем бетонировании. Во всех случаях есть свои преимущества и недостатки, но каждая из систем обогрева бетонных смесей подразумевает преобразование электрической энергии в тепловую энергию. В работе проанализированы факторы, влияющие на процесс зимнего бетонирования, и приведены сравнительные параметры различных нагревательных элементов. В каждом методе прогрева бетонной смеси отслеживаются такие параметры, как температура наружного воздуха, температура прогреваемой бетонной смеси и ветровая нагрузка на бетонируемый строительный элемент. Чаще всего в роли преобразователей электрической энергии используются электроды, греющие кабели или калориферы, но они, как правило, не учитывают влияние внешних факторов. Снижение потребления электроэнергии приводит к снижению себестоимости всего процесса производства строительных работ и, следовательно, к уменьшению стоимости возводимого жилья и бетонных работ, производимых в условиях низких температур при капитальном ремонте зданий.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, электродный прогрев, сквозной прогрев, периферийный прогрев

Electrode Heating Usage in the Production of Concrete Repair Work in winter

© Natalia L. Dorofeyeva, Anna A. Dorofeyeva

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

Abstract. The article discusses the options for using electric current in the production of concrete work during the construction and overhaul of buildings at low temperatures, allowing you to obtain concrete masonry of the desired quality at the lowest cost and in the optimal time frame. There are several ways to form heating during winter concreting. In all cases, there are advantages and disadvantages, but each of the heating systems for concrete mixes involves the conversion of electrical energy into thermal energy. The article analyzes the factors affecting the process of winter concreting, and provides comparative parameters of various heating elements. Each method of heating the concrete mix monitors such parameters as the outside air temperature, the temperature of the heated concrete mix and the wind load on the building element being concreted. Most often, electrodes, heating cables or heaters are used as electrical energy converters, but they, as a rule, do not take into account the influence of external factors. Reducing electricity consumption leads to a decrease in the cost of the entire process of construction work and, consequently, to a decrease in the cost of housing being built and concrete work performed in low temperatures during major repairs of buildings.

Keywords: winter concreting, electrode heating, through heating, peripheral heating

Практика показывает, что в зависимости от типа капитального ремонта его срок длится от шести месяцев до года, при этом, естественно, затрагивается и зимний период времени. При капитальном ремонте жилых и общественных зданий и сооружений общий комплекс производственных работ включает в себя в том числе и бетонные работы. В условиях твердения бетона при

температурах меньше 5 °С в результате производства бетонных работ показатели набора прочности изделий резко падают. Все реакции гидратации замедляются. При температуре ниже 0 °С химически несвязанная вода превращается в лед и увеличивается в объеме приблизительно на 9 %. Замерзший бетон обладает высокой прочностью, но только за счет сцепления молекул

льда, которые разрушают структуру бетона в период набора прочностных характеристик. При повышении температурного режима продолжается гидратация бетонной смеси, но разрушенная структура не восстанавливается, что не позволяет затвердевшей смеси набрать нормируемую начальную прочность бетона и значительно снижает прочностные показатели по сравнению с показателями прочности бетона, не подвергнувшегося замораживанию¹.

Экспериментами установлено, что на процесс набора прочности бетона существенно влияют условия твердения. Если бетон до замерзания успевает набрать 30–50 % от проектной прочности, называемой критической прочностью, то дальнейшее воздействие низких температур не оказывает влияния на его результирующие физико-механические характеристики. Класс бетона регламентирует значение нормируемой начальной прочности бетона. При возведении предварительно напряженных конструкций значение нормируемой начальной прочности бетона должно быть тождественно 100 % проектному значению. Если работа бетонных изделий планируется в зоне сезонного оттаивания вечномерзлых грунтов или в условиях переменного оттаивания и замерзания до первого замораживания, необходимо достичь 70 % запроектированного показателя прочности; конструкции, нагруженные во время проведения работ расчетной нагрузкой, замораживать нельзя [1].

Требуемое качество бетонных изделий, изготавливаемых в диапазоне низких температур, возможно только при соблюдении благоприятного режима затвердевания бетона в начальный период времени. Увеличение температурных показателей повышает активность воды, содержащейся в бетонной смеси, ускоряя взаимодействие жидкой фракции с заполнителем и цементом и увеличивая интенсивность формирования кристаллической структуры бетонной массы. Понижение температурных показателей замедляет твердение бетона и резко снижает качество изготавливаемых изделий.

Необходимый температурный режим твердения бетона создаётся различными приемами. Сюда относятся разогрев бетона во время его приготовления, выдерживание

бетона в утепленных опалубках (метод термоса); внесение в бетон химических добавок, снижающих температуру замерзания либо ускоряющих процесс твердения бетона в начальный период выдерживания. Также тепловое воздействие благоприятно влияет на свежееуложенную подогретую бетонную смесь греющих опалубок, на электродный прогрев отвердевающего бетонного элемента или прогрев бетонируемых стыков инфракрасными источниками тепла. Учет особенностей капитального ремонта, условия бетонирования, тип конструктивных элементов, используемая марка бетона и наличие химических противоморозных добавок определяют выбор температурного режима твердения бетона, при этом основными определяющими факторами являются также экономический эффект и энергетические и трудовые затраты [2].

Электродный прогрев в 1931 году был предложен шведскими инженерами А. Брундом и Х. Болином. С физической точки зрения при электродном прогреве бетонной смеси используется тепло, выделяемое самим бетоном, когда через него пропускают электроэнергию. Во время проведения бетонных ремонтных работ в зимних условиях тепловая подпитка тратится на поддержку температурного режима прогреваемого массива и опалубки, компенсируя затраты тепла на границе обогреваемых поверхностей, контактирующих с низкими внешними температурами. Напряжение подводится к бетону при помощи электродов различной конструкции и конфигурации [3–5].

В зависимости от расположения электродов различают два вида прогрева: **сквозной** и **периферийный** прогрев. **Сквозной прогрев** осуществляется тогда, когда электроды расставляются по всему сечению и когда расположенные с разных сторон от сечения электроды подсоединяются к разным фазам, вовлекая в процесс бетонную массу в качестве сопротивления. При сквозном прогреве бетонируемых элементов конструкций используется деревянная или изолируемая опалубка, а **стержневые** электроды делаются из обрезков арматуры малых диаметров, при установке они не должны касаться каркасной арматуры, последующему демонтажу не подлежат.

При **периферийном прогреве** электроды устанавливаются только на наружной поверхности бетонируемого изделия и используются многократно. Чтобы солевые

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

химические добавки не выпадали в осадок, откладываясь в виде накипи на электродах, при прогреве бетонных смесей используется только переменный ток. Отсутствие контакта с каркасной арматурой является общим требованием при производстве электрических работ. Для периферийного прогрева используются:

- *плавающие* электроды (полосовые или в форме петли), которые должны утапливаться в бетон и потом придавливаться опалубкой. Если ремонту и восстановлению подлежат длинноразмерные элементы конструкций типа колонн, балок, прогонов, то к одной из фаз подключается либо стержень рабочей арматуры, либо используются *струнные* электроды, уложенные в центре прогреваемого элемента конструкции;

- *нашивные* электроды, которые крепятся к щитам опалубки с выводом наружу.

Токообмен между лежащими друг против друга разнофазными электродами прогревает весь бетонируемый объем. Если же с разноименными фазами соединить смежные электроды, то прогреваться будет только бетон возле поверхности опалубки, поскольку опалубка граничит с низкими температурами наружного воздуха. Сохранять первоначальное количество тепла в теле бетонной массы будет экзотермическое тепло, выделяемое в результате реакции гидратации цемента.

Для получения высокого качества при изготовлении и ремонте железобетонных изделий необходимо строго соблюдать температурный режим прогрева бетонной смеси, который состоит из трех стадий [6]:

1) разогрев. Скорость подъема температуры бетона составляет 8–15 °С/ч и зависит от массы бетонируемого элемента;

2) изотермический прогрев. Как правило, нормируемая начальная прочность бетона достигается на стадии изотермического прогрева, который длится до достижения этой величины. Время прогрева рассчитывается исходя из марки цемента, наличия и свойств химических добавок и выбранных средств утепления;

3) остывание конструкций. При остывании до 0 °С бетон продолжает набирать прочность. После отключения подачи электричества важно не сразу разбирать опалубку, чтобы не образовались трещины из-за резкой неравномерности распределения температур внутри бетонной смеси, приводящей к появлению больших внутренних напряжений. Это необходимо и для защиты

бетона от негативных внешних воздействий, таких как осадки, ветер, резкие скачки отрицательной температуры.

Несоблюдение температурного режима прогрева бетонной смеси сводит к нулю все затраченные усилия, поскольку в совокупности с экзотермическим выделением тепла приводит к повышению температуры внутри бетона до 80 °С и выше, что влечёт за собой перегрев бетонного изделия. При этом может возникнуть «пережог» бетона, который чреват нарушениями режима набора прочности, а также появлением больших внутренних напряжений и формированием трещин.

Необходимость использования симбиоза нагревательных элементов с многослойным утеплением привела к созданию многослойных щитов многоцветного использования, которые получили название **термоактивной** (греющей) **опалубки**. Утепленная часть щита защищает поверхность бетона от негативного воздействия наружного воздуха, а тепло от нагревательных элементов, проходя через нижнюю часть щита, передается верхнему слою бетонной смеси. Такие структуры, предназначенные для одновременного прогрева и утепления, удобно использовать даже при производстве ремонтных бетонных работ при понижении внешних температур до –40 °С, они наиболее оправданы при ремонте тонкостенных элементов и стыков. Греющие опалубки не только многоцветные, им легко придать любую форму, главное, чтобы теплота от греющих элементов равномерно распределялась по всей площади щита. В качестве нагревательных элементов используются ТЭНы, греющие провода и кабели, гибкие тканевые ленты, а также элементы, изготовленные из нихромовой проволоки; композиции полимерных материалов с токопроводящими элементами, например, с графитом (углеродные ленточные нагреватели).

Трубочатые электронагреватели (**ТЭНы**) производятся на основе нихромовой проволочной спирали, заключенной в стальные, медные или латунные трубки. Для изоляции металлов друг от друга трубки заполняются кристаллическим оксидом магния, который при больших температурах спекается, превращаясь в керамику и запечатывая элемент, который теперь может нагреваться до 300–600 °С. На основе всё той же нихромовой проволоки, которая наматывается на изолирующий стержень и закрывается асбестом, изготавливают *проволочные*

нагревательные элементы. Главный недостаток этих нагревателей состоит в том, что они очень хрупкие и ненадежные. Нагревательные *кабели* изготавливаются из константовой проволоки, размещенной внутри гибкой термостойкой изоляции, из фторопласта с защитным металлическим чулком. Кроме перечисленных нагревательных элементов также используются *сетчатые* греющие элементы, углеродные *ленточные* элементы и токопроводящие *покрытия*. Все они крепятся к щитам со стороны бетонированной массы [7, 8, 9].

При производстве монолитных бетонных работ при капитальном ремонте жилых и общественных зданий в зимний период времени для обогрева подготовок под полы, для восстанавливаемых стыков между сборными конструкциями, для покрытий и оснований дорог применяют термоактивные гибкие покрытия (ТАГП) – легкие, гибкие устройства с углеродными ленточными нагревателями и проводами, обеспечивающими нагрев до 50 °С. Изготавливается такое покрытие путем горячего прессования пакета, состоящего из слоя листовой невулканизированной резины, из армирующих стеклотканевых прокладок, углеродных тка-

невых электронагревателей или проводов и утеплителя. Оно удобно в эксплуатации и мобильно, поскольку легко снимается и компактно складывается.

На строительных площадках города Иркутска, таких как жилищный комплекс «Новая эра» в районе Ново-Ленино и жилой дом, расположенный в микрорайоне «Зелёный» и построенный по заказу министерства обороны РФ, были применены новые нагревательные элементы [10]. На основе технических характеристик, которые необходимы для использования имевшихся у строительной организации модулей управления с соответствующим программным обеспечением, в ООО «Термостат» были разработаны относительно недорогие **толстопленочные резистивные** нагревательные элементы многократного использования, температурные параметры которых меняются в зависимости от изменений внешних метеорологических условий и полностью моделируют оптимальные характеристики терморегулирующего устройства.

В таблице приводятся сравнительные характеристики некоторых способов прогрева бетона и оценка их преимуществ и недостатков.

Сравнительные характеристики способов прогрева бетона

Метод прогрева бетона	Достоинства	Недостатки
Прогрев методом стержневых арматурных электродов	Дешёвые электроды, простота использования	Энергозатратность, сложность в поддержании равномерности прогрева (необходим постоянный контроль)
Прогрев методом резистивных греющих кабелей	Небольшие энергозатраты, простота использования, равномерный прогрев	Дороговизна самого кабеля, необходимость в технически грамотном и аккуратном персонале
Прогрев методом резистивной греющей (термоактивной) опалубки	Небольшие энергозатраты, простота использования, равномерный прогрев, многооборотность, следовательно, быстрая окупаемость	Нет серийного производства, дороговизна изготовления, небольшое число обслуживающего персонала

Для обеспечения процесса производства бетонных работ при капитальном ремонте жилых и общественных зданий в зимний период времени необходимо учитывать, что данная температура наружного воздуха и скорость ветра заданного режима термообработки железобетонной конструкции, характеризующейся ее размерами, задаются классом бетона с известным расходом цемента и температурой уложенного в опалубку бетона. По параметрам имеющихся опалубки и утеплителя, проводов и силового оборудования определяют такие электриче-

ские параметры нагрева бетона, как коэффициент теплопередачи, удельную мощность нагрева бетонной конструкции, линейную электрическую нагрузку, шаг и длину проводов.

В заключение отметим, что снижение энергопотребления на строительных площадках повышает рентабельность всех производимых бетонных работ и, соответственно, приводит к удешевлению всего строительного процесса. Перечисленные методы производства бетонных работ в условиях низких температур можно использовать в

различных комбинациях. Выбор метода или комбинации зависит от массивности изделия, метеорологических условий производства работ, требуемой прочности бетона,

добавок в составе бетонной смеси и от возможности соответствующих энергетических мощностей.

Библиографический список

1. Баженов Ю.М. Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1984. 672 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://dwg.ru/lib/1523> (13.07.2020).

2. Хакютин Ю.Г. Монолитный бетон. Технология производства работ. М.: Стройиздат, 1991. 576 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://bookre.org/reader?file=1502927&pg=1> (13.07.2020).

3. Бетонирование в зимнее время // Arka-green [Электронный ресурс]. URL: <https://arka-green.ru/stati/betonirovanie-v-zimnee-vremya.html> (13.07.2020).

4. Бетонирование при отрицательных температурах: заливка (укладка) бетона, бетонные работы // Бетон [Электронный ресурс]. URL: <https://1beton.info/proizvodstvo/rabota/betonirovanie-pri-otritsatelnyh-temperaturah> (13.07.2020).

5. Метод термоса при бетонировании // АртСтрой [Электронный ресурс]. URL: <https://spb-artstroy.ru/raznoe-2/metod-termosa-pri-betonirovanii-metod-termosa.html> (13.07.2020).

6. Шелехов И.Ю., Смирнов Е.И., Иноземцев В.П. Применение новых технологий элек-

трического нагрева в процессе зимнего бетонирования // Новая наука: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2015. Ч. 2. С. 200–205.

7. Сысоев А.К. Эффективность применения гибких поверхностных нагревательных элементов // Инженерный вестник Дона. 2017. № 1 (44). С. 75. [Электронный ресурс]. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_47_sysoev.pdf_5529d17014.pdf (13.07.2020).

8. Бетонирование в термоактивной опалубке // Cyberpedia [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberpedia.su/3x10d9b.html> (13.07.2020).

9. Искусственный нагрев и прогрев бетона // Intertools [Электронный ресурс]. URL: <http://intertools.com.ua/2020/01/iskusstvennyj-progreiv-i-nagrev-betona/> (13.07.2020).

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

Дорофеева Анна Андреевна, магистрант группы ТГВМ-19-1, Институт архитектуры, строительства и дизайна, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Российская Федерация, e-mail: 101bella6556@gmail.com

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

Anna A. Dorofeyeva, Postgraduate, Institute of Architecture, Construction and Design, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation, e-mail: 101bella6556@gmail.com