

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (МИИТ)**

Кафедра «Строительные материалы и технологии»

Л.М.Добшиц, К.В.Тармосин

**БЕТОНИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ**

Рекомендовано редакционно-издательским советом  
университета в  
качестве учебного пособия  
для студентов специальности 270102  
«Промышленное и гражданское строительство»

Москва - 2010

УДК 69.055.42 (075.8)

Д-17

Добшиц Л.М., Тармосин К.В. Бетонирование строительных конструкций в зимних условиях. Учебное пособие. – М.: МИИТ, 2010. – 68 с.

В учебном пособии рассмотрены процессы, протекающие при твердении бетонной смеси при отрицательных температурах. Рассмотрены методы и способы обеспечения набора критической прочности бетоном до распалубки.

Настоящее учебное пособие может быть использованы для выполнения курсовых и дипломных проектов по возведению зданий и сооружений из монолитного бетона и железобетона в зимних условиях.

Учебное пособие предназначено студентам специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство» всех форм обучения.

Рецензенты: Профессор Мазов Е.П. (ГАСИС)  
Профессор Швидко Я.И. (МИИТ)

© Московский  
государственный университет  
путей сообщения  
(МИИТ), 2010

## **Содержание**

<b>Общая часть.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Особенности технологии бетонирования в зимних условиях.....</b>	<b>5</b>
1.1 Требования к производству работ в зимних условиях.....	5
1.2 Подготовка к бетонированию.....	6
1.3 Приготовление бетонной смеси.....	8
1.4 Транспортирование и подача бетонной смеси.....	10
1.5 Укладка и уплотнение бетонной смеси.....	11
<b>2. Производство работ по бетонированию монолитных конструкций в зимних условиях.....</b>	<b>12</b>
2.1 Методы бетонирования монолитных конструкций с безогревым выдерживанием бетона.....	12
2.2 Методы бетонирования с искусственным прогревом бетона монолитных конструкций в опалубке.....	24
2.3 Производство работ по бетонированию монолитных конструкций и сооружений в объемно-переставной и скользящей опалубках.....	49
2.4 Выбор метода зимнего бетонирования.....	53
2.5 Производство работ по омоноличиванию и термообработке стыков сборных железобетонных конструкций в зимних условиях.....	55
2.6 Особенности производства бетоны и железобетонных работ в зоне вечномерзлых грунтов.....	57
<b>3. Контроль качества приемка бетонных работ.....</b>	<b>61</b>
<b>4. Охрана труда при производстве бетонных и железобетонных работ в зимних условиях и зоне вечномерзлых грунтов.....</b>	<b>64</b>
<b>Литература .....</b>	<b>66</b>

# БЕТОНИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

## Общая часть

Бетонные и железобетонные работы выполняют в соответствии с разработанным проектом производства работ (ППР). Понятие «зимние условия» при производстве бетонных работ отличается от календарного зимнего периода. Принято считать, что зимние условия начинаются, когда среднесуточная температура наружного воздуха ниже 5 °C, а в течение суток наблюдается ее опускание ниже 0 °C.

Активной составляющей современного бетона является вяжущее (портландцемент и другие виды цемента), которое играет основную роль в образовании структуры и получении заданных характеристик бетона. По современным теоретическим представлениям образование и твердение цементного камня последовательно проходит через стадии формирования *коагуляционной и кристаллической* структур. На стадии образования коагуляционной (связной) структуры, имеющей пластические свойства, вода, обволакивая мелкодисперсные частицы цемента, образует вокруг них так называемые сольватные оболочки, которыми частицы связываются друг с другом. По мере гидратации цемента процесс переходит в стадию кристаллизации, а в цементном тесте образуются мельчайшие кристаллы, которые затем превращаются в кристаллическую структуру. Дальнейшая кристаллизация определяет кинетику твердения цементного камня и, следовательно, нарастание прочности бетона.

На процесс твердения и получаемые физико-механические свойства цементного камня оказывают влияние: минералогический состав применяемого цемента; соотношение между цементом и водой; вводимые добавки; плотность укладки бетонной смеси (формирование структуры при изготовлении изделий и конструкций); тепловлажностный режим выдерживания. Для твердения цементного камня наиболее благоприятна температура от 15 до 25 °C, при которой бетон на 28-е сутки достигает марочной прочности. Отрицательная температура приводит к замерзанию воды в свежеуложенном бетоне. При замерзании вода, превращаясь в лед, увеличивается в объеме примерно на 9%.

Силы внутреннего напряжения разрушают кристаллические неокрепшие новообразования между отдельными компонентами бетона, которые в дальнейшем при твердении в благоприятных температурных условиях уже не восстанавливаются полностью, что в итоге снижает

конечную прочность бетона, а в отдельных случаях приводит к разрушению конструкций. Вода начинает замерзать с поверхности засыпанной конструкции, поэтому и разрушение последней под воздействием отрицательной температуры начинается с поверхности, особенно с углов и ребер. Интенсивность замерзания воды зависит от ряда факторов: температуры наружного воздуха и укладываемой смеси, объема пор. Если в больших порах вода начинает превращаться в лед при 0 °С, то в капиллярах она замерзает при более низких температурах. В большинстве случаев наибольшую устойчивость к замораживанию проявляют бетоны с большой плотностью.

Прочностные свойства бетонов ухудшаются тем значительнее, чем раньше после укладки произошло их замерзание. Однако бетон может к моменту замерзания набрать определенную прочность, при которой отрицательное влияние замораживания на его свойства будет невелико, а после оттаивания он может достигнуть проектной прочности. В этом случае силы сцепления в бетоне должны быть значительно больше внутренних напряжений в нем.

Прочность бетона, после достижения которой замораживание уже не вносит необратимых нарушений в структуру цементного камня, а замороженный бетон, оказавшись после оттаивания в нормальных условиях для твердения, набирает проектную прочность, называется *критической прочностью*. Критическая прочность бетона при сжатии еще не определяет готовность материала к полной распалубке и восприятию расчетной или частичной загрузки. Она указывает лишь на то, что при последующем твердении у бетона не обнаружится существенного недобора прочности по сравнению с проектной. Практически распалубку производят после достижения бетоном критической прочности.

## **1. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ**

### **1. 1. Требования к производству бетонных работ в зимних условиях**

Способы производства бетонных и железобетонных работ в зимних условиях должны обеспечивать получение в заданные сроки бетона проектной прочности, требуемых морозостойкости, водонепроницаемости, монолитности и других свойств, указываемых в проекте. Производство работ в зимних условиях определяется СНиП

111-15—76 «Бетонные и железобетонные конструкции монолитные» и ведется по специально разработанным проектам производства работ и технологическим картам.

Прочность к моменту замерзания или охлаждения ниже расчетных температур должна составлять не менее:

а) для бетона без противоморозных добавок:

50 % проектной прочности для бетона В7,5-В10;

40 %      »      »      »      В12,5-В25;

30 %      »      »      »      В30 и выше;

70% — для конструкций, подвергающихся по окончании выдерживания замораживанию и оттаиванию, независимо от проектной марки;

80 % —в преднапряженных конструкциях;

100 %—для конструкций, подвергающихся сразу после окончания выдерживания действию расчетного давления воды, и конструкций, к которым предъявляются специальные требования по морозостойкости и водонепроницаемости.

б) для бетона с противоморозными добавками к моменту его охлаждения до температуры, на которую рассчитано количество добавок:

30 % проектной прочности для бетона В12,5;

25 %      »      »      »      В25;

20 %      »      »      »      В30;

Распалубливание и загружение конструкций производят в соответствии с указаниями проекта производства работ и после испытаний, подтверждающих достижение бетоном необходимой прочности.

## 1.2. Подготовка к бетонированию

При подготовке к зимнему бетонированию на объекте утепляют бетоносмесительные установки, галереи транспортеров и трубопроводов, готовят к работе в зимних условиях подъемно-транспортные средства, оснастку, завозят противоморозные добавки, выполняют комплекс работ по подготовке опалубки, арматуры, поверхностей основания и ранее уложенного бетона, в случае необходимости прокладывают дополнительные электросети.

Для хранения цемента устраивают закрытые помещения, не допускающие попадания внутрь дождя и снега. Заполнители

укладывают в штабеля, имеющие форму, которая обеспечивает наименьшую поверхность при данном объеме (круглую, куполообразную).

Иногда заполнители обрабатывают противоморозными добавками, что предотвращает их смерзание и в отдельных случаях, например, при использовании поташа, способствует повышению прочности бетона, изготовленного с использованием таких добавок.

Состояние оснований, на которые укладывают бетонную смесь, а также метод укладки смеси должны исключать возможность деформации основания из пучинистых грунтов и замерзания бетона в месте контакта с основанием. Углубления ниже проектной отметки заполняют песком и тщательно уплотняют или выправляют бетонной смесью низких марок.

Со скального основания удаляют все выветрившиеся частицы, грязь, битум, масла, снег и лед; мелкие трещины задельивают цементным раствором, крупные трещины заполняют бетонной смесью. О готовности основания под укладку бетонной смеси составляется акт.

Для обеспечения надежного сцепления свежеуложенной бетонной смеси с арматурой ее очищают от грязи, отслаивающейся ржавчины и налипших кусков раствора с помощью пескоструйного аппарата или проволочными щетками. Кроме того, при морозах ниже  $-15^{\circ}\text{C}$  арматуру из стержней диаметром более 25 мм и прокатных профилей отогревают до  $5^{\circ}\text{C}$ , используя мощные тепловые калориферы и газы от снятых с самолетов авиадвигателей, а выступающие за пределы утепленной опалубки металлические элементы после отогрева утепляют на длине не менее 1,5 м от блока.

Опалубку и поддерживающие леса тщательно осматривают и проверяют надежность установки стоек и лесов, а также клиньев под ними, креплений, отсутствие щелей в опалубке, наличие закладных частей и пробок, предусмотренных проектом, что вызвано возможностью деформаций опалубки из-за просадки или вслучивания основания при оттаивании грунта.

Работы по установке и закреплению опалубки и поддерживающих ее конструкций оформляют записью в журнале производства работ. Кроме того, перед укладкой бетонной смеси двусторонним актом на скрытые работы оформляют работы по сооружению конструктивных элементов, закрываемых последующим производством работ,— гидроизоляцию, армирование, установку

закладных элементов и т. д. Места выгрузки и укладки бетонной смеси защищают от ветра и снега брезентовым или фанерным шатром.

### 1.3. Приготовление бетонной смеси

Бетонную смесь приготавливают обычным способом на бетонном узле или заводе. Основной особенностью приготовления бетонной смеси в зимних условиях является необходимость обеспечения установленной расчетом температуры смеси по выходе ее из бетоносмесителя, чтобы после теплопотерь, связанных с транспортировкой смеси от завода к объекту, и неизбежных перегрузок на строительной площадке температура бетонной смеси была не ниже расчетной, необходимой для принятого режима выдерживания бетона.

Для обеспечения заданной температуры бетонной смеси ее составляющие в момент загрузки в бетоносмеситель также должны иметь соответствующую температуру, которая устанавливается теплотехническим расчетом с учетом потерь тепла. В практике строительства воду подогревают до 40—90 °С (преимущественно паром в водонагревателях), оттаянные или подогретые заполнители подогревают дополнительно до температуры 20—60 °С чаще всего в бункерах горячим воздухом, либо в специальных бункерах с паровыми регистрами. На крупных бетонных заводах, в том числе на заводах непрерывного действия, заполнители прогревают во вращающихся сушильных барабанах. Иногда заполнители нагревают путем продувки топочных газов. Цемент и тонкомолотые добавки вводят без подогрева.

Однако при высокой температуре бетонной смеси снижается ее подвижность, что существенно усложняет процессы выгрузки смеси из бетоносмесителя, транспортных средств и ее уплотнения. Поэтому при выходе из смесителя температура бетонной смеси в зависимости от вяжущего не должна превышать следующих максимально допустимых величин:

Шлакопортландцемент марок 200—300.....	45°c
Портландцемент марки 300 и пущолановый	
портландцемент марки 200.....	40°c
Портландцемент марки 400 и выше я пущолановый	
портландцемент марки 300 и выше.....	35°c
Глиноземистый цемент.....	25°c

При всех способах зимнего бетонирования особо ответственных конструкций и стыков, требующих быстрого загружения, для приготовления бетонных смесей отдают предпочтение наиболее эффективным особо быстротвердеющим (ОБТЦ), быстротвердеющим (БТЦ) и высокоалитовым портландцементам с малым количеством (до 10 %) молотых добавок, с продолжительностью хранения не более 2 мес. Шлакопортландцементы и пущолановые портландцементы используются лишь при термосном выдерживании массивных конструкций (с  $M_n < 4$ ) и с эффективным утеплением наружных поверхностей или периферийным электронагревом.

При подборе состава бетонных смесей для укладки в зимних условиях дополнительно обращают внимание на водоцементное отношение (уменьшают при повышении требований по морозостойкости и увеличивают при использовании предварительного электроразогрева бетонной смеси), а также на возможность применения пластификаторов. Чаще всего стремятся к приготовлению менее подвижных бетонных смесей, так как большое количество свободной воды в смеси впоследствии отрицательно сказывается на свойствах бетона. Добавки в виде водных растворов вводят в воду затворения и кратковременно смешивают до загрузки в смеситель остальных компонентов бетонной смеси.

При приготовлении бетонной смеси соблюдают следующую очередность загрузки материалов в бетоносмеситель: одновременно с началом подачи воды загружают щебень или гравий, а после заливки половины требуемого количества воды и перемешивания в течение некоторого времени — песок, цемент и оставшуюся воду. Продолжительность перемешивания бетонной смеси для получения большей однородности в зимнее время увеличивают, как правило, в 1,5 раза по сравнению с летними условиями. Подвижность и температуру бетонной смеси систематически контролируют непосредственно на выходе смеси из бетоносмесителя.

## **1.4. Транспортирование и подача бетонной смеси к месту укладки**

Перевозку бетонных смесей в зимних условиях рекомендуется осуществлять согласно специальным организационно-техническим мероприятиям по предохранению смеси от переохлаждения. Эти мероприятия в основном сводятся к исключению или доведению до минимума перегрузок смеси, сокращению допустимого времени ее транспортирования, утеплению емкостей и кузовов транспортных средств, в которых перевозится смесь, а также использованию отходящих газов для обогрева кузовов автобетоновозов и автосамосвалов.

Как и в обычных условиях, для транспортирования бетонной смеси в зависимости от ее первоначальной подвижности, скорости схватывания применяемого цемента, дальности и температурно-влажностных условий, а также состояния дорог, по которым осуществляются перевозки, применяют: автобетоносмесители, автобетоновозы, автосамосвалы. В отдельных случаях бетонную смесь можно транспортировать в бадьях и бункерах, установленных в кузовах автомашин или прицепов.

Все средства для перевозки бетонной смеси должны обеспечивать максимальное возможное сохранение ее свойств: исключать потери цементного молока или раствора в пути, не нарушать ее однородности, исключать попадание в нее атмосферных осадков с тем, чтобы на месте укладки смесь имела заданную подвижность и однородность, а изготовленная из нее конструкция имела бетон, характеристики которого были не ниже проектных по прочности, морозостойкости, а при необходимости водонепроницаемости, истираемости или другим требующимся характеристикам.

Транспортирование бетонной смеси, предназначеннной для предварительного электроразогрева, а также с противоморозными добавками может производиться в неутепленной таре, защищенной от снега и испарения влаги, если будет обеспечена температура смеси выше  $0^{\circ}\text{C}$  до начала электроразогрева и температура, рекомендуемая для смесей с противоморозными добавками.

С целью обеспечения бесперебойной подачи бетонной смеси непосредственно к месту укладки необходимо правильно подобрать механизмы и емкости. Бадьи и бункеры накрывают деревянными утепленными крышками, а снаружи обшивают. При сильных морозах их периодически прогревают паром. Бетононасосы устанавливают в

отапливаемых помещениях. Перед началом работы бетоновод прогревают горячей водой. Звенья труб магистрального бетоновода при температуре ниже  $-10^{\circ}\text{C}$  заключают в теплоизоляцию вместе с обогревающей трубой трубопровода. При несильных морозах ( $-10\text{--}0^{\circ}\text{C}$ ) звенья бетоновода оборачивают войлоком или шлаковатой. Замковые соединения поверх теплоизоляции покрывают съемными муфтами из мешковины, шлаковаты, что позволяет, сняв муфту, демонтировать и вновь собрать бетоновод, не нарушая утепления труб.

Бетононасос и бетоновод очищают от бетонной смеси, промывая горячей водой. Освобожденные от бетонной смеси звенья бетоновода прочищают скребками, металлическими щетками на длинных рукоятках и протирают пыжами из мешковины. Виброрежима применять нежелательно, так как они обеспечивают подачу бетонной смеси тонким слоем, в связи с чем резко возрастают теплопотери смеси. При порционной подаче бетонной смеси ее температуру контролируют у каждой порции, а при непрерывной — с интервалами не более 30 мин.

## 1.5. Укладка и уплотнение бетонной смеси

Бетонирование конструкций в большинстве случаев стремятся осуществлять непрерывно, небольшими участками по длине и ширине, чтобы каждый уложенный слой быстрее перекрывался последующим и бетон не успевал приобрести температуру ниже предусмотренной расчетом, а также в связи с тем, что подготовка замерзших рабочих швов весьма трудоемка. Для лучшего сохранения тепла толщину укладываемых слоев бетонной смеси принимают максимально допустимой по условиям уплотнения. Укладывать бетонную смесь стремятся круглогодично до окончания бетонирования всего массива или его части — блока. Высоту свободного падения бетонной смеси сокращают до 1...1,5 м.

Все открытые поверхности уложенного бетона после окончательного бетонирования, а при больших площадях поверхности по мере бетонирования отдельных участков, и во время перерывов в бетонировании тщательно укрывают пароизоляционными материалами: полимерной пленкой, толем, рубероидом или утепляют щитами, матами в соответствии с проектом производства работ в зимних условиях и теплотехническим расчетом.

Укладка бетонной смеси при бетонировании монолитных конструкций, а также устройство рабочих швов при прогревных методах выдерживания бетона должны осуществляться в соответствии со СНиП 111-15—76 и исключать возникновение температурных напряжений, превышающих расчетные.

Уплотнению бетонной смеси является основной технологической операцией при бетонировании, от качества которой в основном зависит плотность и однородность бетона, а следовательно, его прочность и долговечность. Бетонную смесь уплотняют обычными способами. Более тщательно ее уплотняют в местах рабочих швов и в углах бетонируемых блоков.

## **2. ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПО БЕТОНИРОВАНИЮ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ**

Существующие методы зимнего бетонирования подразделяют на две основные группы: методы бетонирования с безобогревным выдерживанием бетона и методы бетонирования с искусственным обогревом бетона монолитных конструкций.

К методам зимнего бетонирования с безобогревным выдерживанием бетона относят метод «термоса» и его разновидности: метод «термоса» с применением противоморозных добавок, метод «термоса» с предварительным разогревом бетонной смеси. К методам бетонирования с искусственным прогревом бетона конструкций относят: электротермическую обработку (электропрогрев сквозной и периферийный, индукционный электропрогрев, греющие опалубки), прогрев бетона паром, горячим воздухом и в тепляках, обогрев инфракрасными лучами.

При выборе и проектировании методов зимнего бетонирования исходят из реальных условий, которые существуют или могут быть созданы на конкретном объекте.

### **2.1. Методы бетонирования монолитных конструкций с безобогревным выдерживанием бетона**

Метод «термоса». Этот метод основан на использовании для твердения бетона тепла, выделяемого в процессе гидратации цемента, а также внесенного в бетонную смесь при ее приготовлении (25...45 °C).

Количество тепла в бетоне, полученное при нагреве составляющих и выделенное цементом в период твердения, должно быть не менее количества расходуемого тепла (теплопотерь) при остыании конструкции до получения заданной прочности бетона. Для уменьшения теплопотерь опалубку и бетонируемую конструкцию дополнительно утепляют теплоизоляционными материалами, которые выбирают на основе теплотехнических расчетов и с учетом наличия местных материалов.

Продолжительность твердения бетона и его конечные свойства в значительной степени зависят от температурных условий, в которых выдерживают бетон. По мере повышения температуры увеличивается активность воды, содержащейся в бетонной смеси, ускоряется процесс ее взаимодействия с минералами цементного клинкера, интенсифицируются процессы формирования коагуляционной и кристаллической структуры бетона. При снижении температуры, наоборот, все эти процессы затормаживаются, и твердение бетона замедляется (рис. 1).

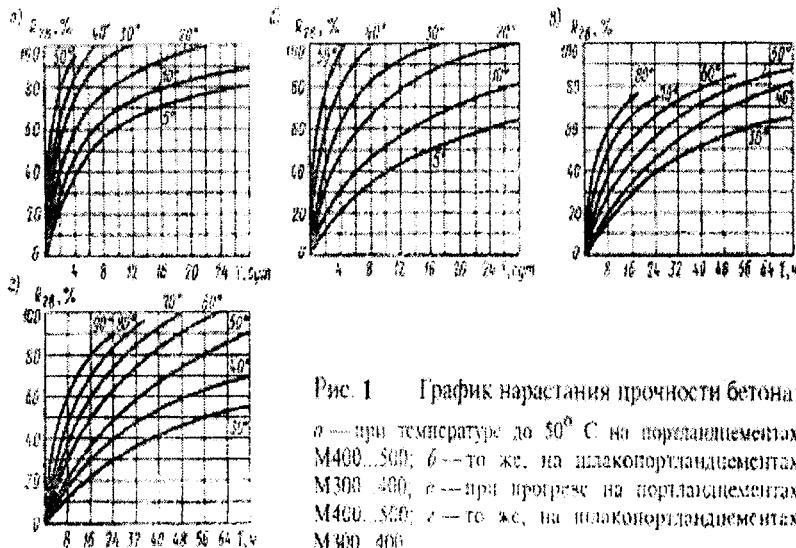


Рис. 1 График нарастания прочности бетона:  
а — при температуре до 30° С на портландцементах  
М400..500; б — то же, на излаконоргандцементах  
М300..400; в — при прогреве на портландцементах  
М400..500; г — то же, на излаконоргандцементах  
М300..400

При проектировании бетонных работ с выдерживанием бетона по методу «термоса» выполняют теплотехнический расчет. Считают, что суммарное количество тепла в бетоне должно быть равно теплопотерям конструкции при ее остывании до  $0^{\circ}\text{C}$  за некоторое время  $t$ . В течение этого времени бетон должен иметь положительную температуру, а прочность его — достичь проектной. Этому условию соответствует формула теплового баланса, предложенная Б. Г. Скрамтаевым

$$Q_6 = c_b \rho \Delta t,$$

где.  $Q_6$  - теплосодержание нагретой бетонной смеси,  $c_b$  - удельная теплоемкость бетона,  $\text{kДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$ ;  $\rho$  - плотность бетона,  $\text{кг}/\text{м}^3$

Таким образом, начальное теплосодержание  $1 \text{ м}^3$  нагретой на  $1^{\circ}\text{C}$  бетонной смеси составляет

$$Q_6 = 1,05 \cdot 2400 \cdot 1 = 2520 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{град}),$$

И наоборот, это же количество теплоты необходимо внести в  $1 \text{ м}^3$  бетона для нагрева на  $1^{\circ}$  независимо от вида и метода передачи ему энергии.

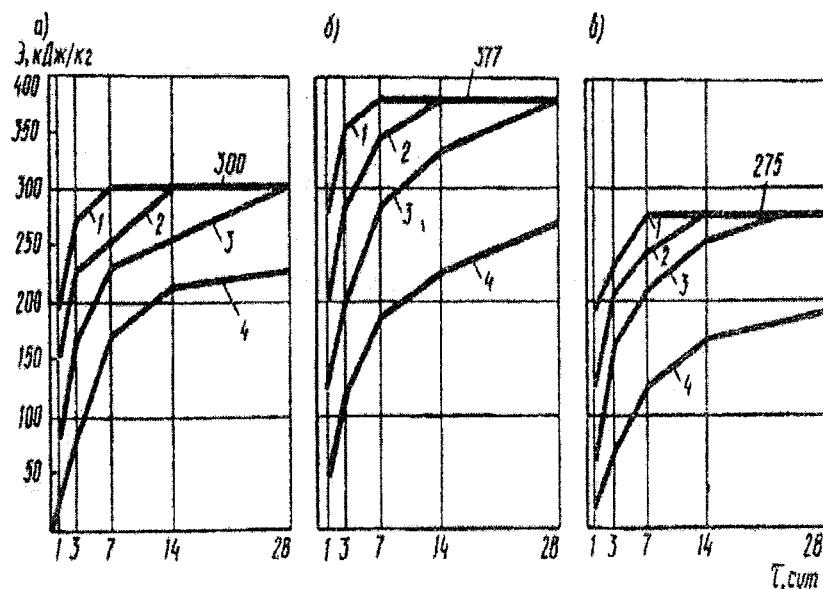


Рис. 2 Интегральное тепловыделение цементов ( $\mathcal{Q}$ ) различных видов и марок в зависимости от температуры и времени твердения:

*a* — портландцемент М300; *б* — то же, М500, 600; *в* — шлакопортландцемент М300; 1 — температура бетона  $60^{\circ}\text{C}$ ; 2 — то же,  $40^{\circ}\text{C}$ ; 3 — то же,  $20^{\circ}\text{C}$ ; 4 — то же,  $5^{\circ}\text{C}$

В процессе твердения бетона выделяется экзотермическая теплота, количественно зависящая от вида применяемого цемента и температуры выдерживания (рис. 2).

Наибольшим экзотермическим тепловыделением обладают высокомарочные и быстротвердеющие портландцементы. Так, при применении бетона на портландцементе М500 (при расходе цемента 300 кг) и твердении при +40°C 1 м<sup>3</sup> бетона получит следующее количество теплоты: через 12 ч —  $167 \cdot 300 = 50\ 100$  кДж, через 1 сут —  $209 \cdot 300 = 81\ 600$  кДж и т. д.

Данное количество теплоты обеспечит экзотермический разогрев 1 м<sup>3</sup> бетона: через 12 ч — на 20°C, через 1 сут — на 25°C, через 2 сут — на 32°C. Таким образом, экзотермия бетона обеспечивает существенный вклад в теплосодержание конструкции, выдерживаемой методом «термоса».

Поэтому при применении метода «термоса» рекомендуется применять бетонную смесь на высокоэкзотермичных портландских и быстротвердеющих цементах, укладывать с повышенной начальной температурой и тщательно утеплять.

Метод тем эффективней, чем массивнее бетонируемая конструкция. Степень массивности конструкций характеризуется модулем ее поверхности, представляющим собой отношение площади охлаждаемых поверхностей конструкции к ее объему:  $M_n = A/V$ . Для колонн, балок и других линейных конструкций  $M_n$  определяют отношением периметра к площади поперечного сечения.

При применении метода «термоса» невозможно активно регулировать процесс остывания выдерживаемой конструкции. Поэтому расчетом следует определять продолжительность этого остывания и строго соблюдать предусмотренные расчетом условия.

Расчет должен показать, что выдерживаемая конструкция при принятых условиях (при данном виде, марке и расходе цемента, утеплении опалубки и открытых поверхностей, начальной температуре бетона и температуре наружного воздуха) будет остывать до 0°C в течение времени, необходимого для приобретения им заданной прочности.

С достаточной для практики точностью продолжительность остывания бетона, ч, можно определить по формуле

$$\tau = [c_6 \rho_b (t_{b,n} - t_{b,k}) + \text{ЦЭ}] / [3,6kM_n(t_{b,sp} - t_{n,b})],$$

где  $\rho_b$  — плотность бетона, кг/м<sup>3</sup>,  $t_{b,n}$  — начальная температура бетона после укладки, °C;  $t_{b,k}$  — температура бетона к концу остывания, °C, в запас прочности для бетонов без противоморозных добавок

принимают +5°C; Ц —расход цемента, кг/м<sup>3</sup>; Э - тепловыделение цемента за время твердения бетона, кДж/кг, приведено в соответствующих справочниках или по данным рис. 3; к — коэффициент теплопередачи опалубки или укрытия неопалубленных поверхностей, Вт/(м<sup>2</sup> °C), определяют по табл.1 или специальным расчетом;  $M_n$  —модуль поверхности конструкции, м<sup>-1</sup>;  $t_{6,sp}$  — средняя температура за время остыния бетона, °С, определяют эмпирической зависимостью

$$t_{6,sp} = t_{6,n} / (1,03 + 0,181 M_n + 0,006 t_{6,n}),$$

$t_{n,v}$  —температура наружного воздуха, °С.

Определив таким образом продолжительность остыния, по графикам набора прочности (см. рис. 1) в зависимости от средней температуры твердения устанавливают прочность, полученную бетоном. Если эта прочность соответствует требуемой прочности к моменту остыния, то заложенные в расчет параметры выдерживания принимают для производства работ.

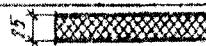
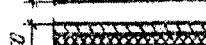
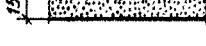
Рассмотренный метод «термоса» (в практике строительства его называют *обычным* или *классическим*) применяют при бетонировании массивных конструкций с  $M_n < 6$  при укладке смесей на портландцементе и  $M_n \leq 10$  на быстротвердеющем портландцементе.

Модификациями метода «термоса», позволяющими расширить область его применения на конструкции с большим  $M_n$ , являются «термос с добавками-ускорителями» и «горячий термос».

**Метод «термоса» с применением противоморозных добавок.** Одной из разновидностей метода «термоса» является бетонирование в зимних условиях с применением бетонов, твердеющих при отрицательных температурах. Этот метод заключается в использовании смесей с химическими добавками, понижающими температуру замерзания жидкой компоненты бетонной смеси, обеспечивающими твердение бетона при температуре ниже 0°C и таким образом увеличивающими время, в течение которого бетон может набирать прочность.

СНиПом в качестве добавок рекомендованы: углекислый калий - поташ ( $K_2CO_3$ ), нитрит натрия ( $NaNO_2$ ), хлорид кальция ( $CaCl_2$ ), хлорид натрия ( $NaCl$ ). Новые противоморозные добавки: нитрит кальция — мочевина ( $HKM$ ), аммиачная вода ( $MH_4OH$ ),

Таблица 1 Коэффициенты теплопередачи опалубок и укрытий неопалубленной поверхности бетона различной конструкции

Нан опал убки	Конструкция опалубки	Материал опалубки	Толщина слоя, мм	Коэффициент $k$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С), при скорости ветра, м/с		
				0	5	15
I		Доска	25	2,44	5,2	6,0
II		»	40	2,03	3,6	3,94
III		»	50	1,8	3	3,25
		Толь	—			
		Доска	25	0,67	0,8	0,82
		»	25			
IV		Пеногласт	30			
		Фанера	4			
V		Доска	60	0,87	1,07	1,1
		Толь	—			
		Вата минеральная	50			
		Фанера	4			
VI		Металл	27	1,02	1,27	1,33
		Вата минеральная	50			
		Фанера	4			
VII		»	25	1,02	1,27	1,33
		Асбест	4			
		Фанера	10	2,44	5,1	5,8
VIII		Толь	100	0,74	0,89	0,9
		Опилки	—			
IX		Толь	150	1,01	1,31	1,37
		Вата минеральная	50			
X		Толь	150	1,27	1,77	1,87
		Шлак	—			

нитрат-нитрит-хлорид кальция — мочевина (ННХКМ), сода — поташ —пластификатор (СПП); в настоящее время они применяются в опытном порядке в соответствии со специальными инструкциями.

Бетоны с противоморозными добавками допускается применять при условии обеспечения набора ими критической прочности до замерзания не менее 5 Мпа, а при повышенных требованиях к морозостойкости и водонепроницаемости бетона ( $M_{р3}>200$  и  $B>4$ ) —не менее 50% проектной прочности.

Бетоны с противоморозными добавками можно использовать только в том случае, если во время выдерживания их до приобретения критической прочности температура бетона не опускается ниже —10 °С при применении  $\text{NaCl}$ , —15 °С — при совместной добавке хлористых солей  $\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$  и  $\text{NaNO}_2$ , —25 °С —при применении поташа, НКМ, СПП. При температурах ниже указанных бетон замерзает, и его твердение практически прекращается.

Составы бетонных смесей, твердеющих при отрицательных температурах, подбирают одним из общепринятых способов, при этом удобоукладываемость и жесткость смеси назначают, как и для обычного бетона, а марку бетона—на основе ориентировочных величин прочности бетонов с противоморозными добавками, приводимых в справочной литературе. В случае острой необходимости получения в более короткие сроки проектной прочности марка бетона может быть увеличена против проектной.

При выборе добавок учитывают, что наиболее дешевыми из них являются хлориды натрия и кальция, наиболее дорогими и дефицитными — нитрит натрия и поташ. Хлорид кальция и в особенности поташ сокращают сроки схватывания цемента, поэтому во избежание резкого ухудшения удобоукладываемости смеси их необходимо применять с пластификатором типа СДБ. Нитрит натрия и комплексное соединение нитрита кальция с мочевиной (НКМ) несколько улучшают удобоукладываемость бетонной смеси. В процессе приготовления бетонных смесей соли вводят в их состав только в виде водных растворов рабочей концентрации, которые приготавливают смешением концентрированного (но исключающего выпадение осадков) раствора солей с водой до введения в бетоносмеситель.

Количество добавок принимают в пределах 3—18 % от массы цемента, и оно зависит от расчетной температуры твердения бетона, которая принимается для конструкций с  $M_{р3}>12$  равной температуре воздуха, а с  $M_{р3}<12$  — равной средней температуре бетона за период

выдерживания до набора им распалубочной прочности, но не менее 5Мпа, а при повышенных требованиях по морозостойкости и водонепроницаемости — 50 % проектной прочности.

Укладку и уплотнение бетонных смесей с противоморозными добавками осуществляют обычными методами. При небольших объемах и невысоких скоростях строительства использование добавок в ряде случаев целесообразно. Однако как основной метод без дополнительного прогрева бетона он неэффективен, особенно при возведении зданий с монолитными перекрытиями и широким шагом несущих стен. Основным недостатком этого метода является низкая скорость набора прочности бетоном и невысокий темп оборачиваемости опалубки. Кроме того, некоторые добавки (например, ускорители твердения — хлористые соли) ухудшают качество поверхности возводимых конструкций из-за появления высолов.

Применение противоморозных добавок имеет значительные ограничения; так, они не допускаются при бетонировании преднапряженных конструкций; конструкций, подвергающихся воздействию динамических нагрузок; конструкций, эксплуатируемых при влажности воздуха более 60 %, при температуре более 60 °С, соприкасающихся с агрессивными водами, находящихся в непосредственной близости (до 100 м) к источникам тока высокого напряжения; монолитных дымовых и вентиляционных труб и градирен.

**«Термос с добавками-ускорителями».** Некоторые химические вещества (хлористый кальций  $\text{CaCl}_2$ , углекислый калий—поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , нитрат натрия  $\text{NaNO}_3$  и др.), введенные в бетон в незначительных количествах (до 2% от массы цемента), оказывают следующее действие на процесс твердения: эти добавки ускоряют процесс твердения в начальный период выдерживания бетона. Так, бетон с добавкой 2%-ного хлористого кальция от массы цемента уже на третий день достигает прочности, в 1,6 раза большей, чем бетон того же состава, но без добавки. Введение в бетон добавок-ускорителей, являющихся одновременно и противоморозными добавками, в указанных количествах понижает температуру замерзания до  $-3^{\circ}\text{C}$ , увеличивая тем самым продолжительность остывания бетона, что также способствует приобретению бетоном большей прочности.

Бетоны с добавками-ускорителями готовят на подогретых заполнителях и горячей воде. При этом температура бетонной смеси на выходе из смесителя колеблется в пределах 25...35°C, снижаясь к моменту укладки до 20°C. Такие бетоны применяют при температуре наружного воздуха —15...—20°C. Укладываются их в утепленную опалубку и закрывают слоем теплоизоляции. Твердение бетона происходит в результате термосного выдерживания в сочетании с положительным воздействием химических добавок. Этот способ является простым и достаточно экономичным, позволяет применять метод «термоса» для конструкций с  $M_n < 8$  (бетоны на обычных портландцементах).

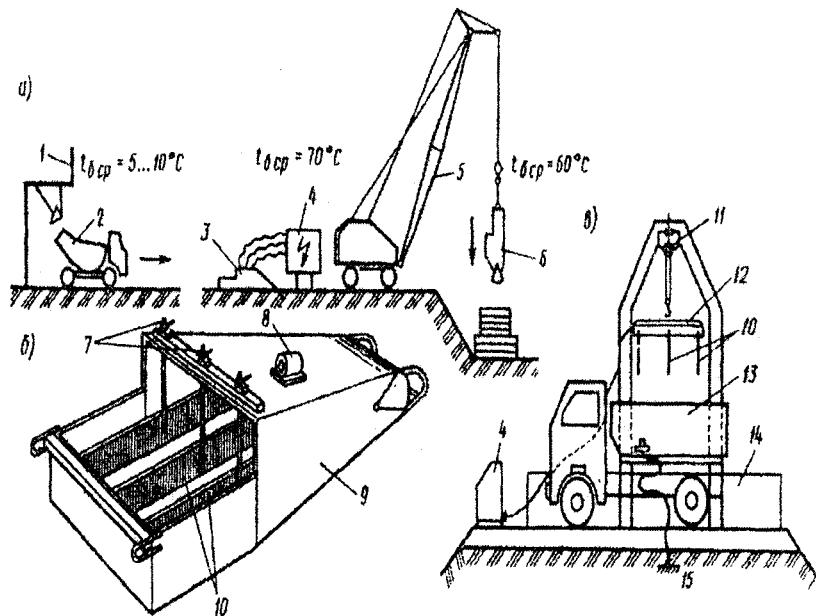


Рис. 3 Электроразогрев бетонной смеси:

а — общая схема бетонирования конструкций; б — схема поворотной бадьи; в — схема электроразогрева в кузовых автосамосвалов; 1 — бетонный завод; 2 — бетоновоз; 3 — электробалда; 4 — пульт управления; 5 — кран; 6 — укладка смеси; 7 — токоподводящие устройства; 8 — вибратор; 9 — корпус бадьи; 10 — электроды; 11 — тельфер на портале; 12 — рама с электродами; 13 — кузов автосамосвала; 14 — ограждение; 15 — заземление

**Метод «горячего термоса».** Этот метод заключается в кратковременном форсированном электроразогреве бетонной смеси непосредственно перед укладкой и последующем выдерживании уложенного бетона без обогрева по методу «термоса». Метод позволяет отказаться от высоких температур заполнителей на бетонном заводе и ограничиться только их оттаиванием, увеличить дальность и длительность транспортирования бетонной смеси на морозе, не опасаясь ее остывания до температуры 5 °С (перед нагревом), обеспечить высокую (до 60—80 °С) начальную температуру бетона  $t_b$ . И при укладке и тем самым применить метод «термоса» для конструкций с  $M_n < 12$ , а в ряде случаев и выше при использовании химических добавок, быстротвердеющих и высокомарочных цементов. Расчет возможности применения метода «горячего термоса» ведут по формулам метода «термоса».

Смесь приготавливают на среднеалюминатном портландцементе с содержанием трехкальциевого алюмината не более 6—7 % и с подвижностью 6—8 см. Смесь в течение 7—15 мин нагревают до температуры 70—80 °С и после этого быстро укладывают в утепленную опалубку. При этом уложенный бетон имеет начальную температуру 60—70 °С и, следовательно, остывает в течение более продолжительного времени и при более высокой средней температуре, что обеспечивает получение более высоких прочностных характеристик бетона к моменту его замерзания.

Для облегчения условий термосного выдерживания бетона, сокращения срока приобретения бетоном критической прочности применяют быстротвердеющие цементы и цементы высоких марок (не ниже 400), которые не только быстро набирают прочность, но и выделяют при твердении повышенное количество тепла; при этом бетонную смесь укладывают с максимально допустимой температурой, а уложенный и уплотненный бетон укрывают.

Электроразогрев бетонной смеси осуществляют при напряжении тока 380 В и реже — 220 В. Для организации электроразогрева на строительной площадке оборудуют пост с трансформатором (напряжение на низкой стороне 380 или 220 В), распределительным щитом и пультом управления.

В условиях строительной площадки разогрев бетонной смеси осуществляют, как правило, электрическим током. Для этого порцию бетонной смеси с помощью электродов включают в электрическую цепь переменного тока в качестве сопротивления (рис. 3).

В результате в бетонной смеси выделяется мощность

$$P = U^2/(R \cdot 1000) = I^2 R / 1000,$$

где  $P$  — выделяемая мощность в порции бетонной смеси, кВт;  $U$  — напряжение на электродах, В;  $I$  — сила тока, А;  $R$  — омическое сопротивление прогреваемой порции бетонной смеси, Ом.

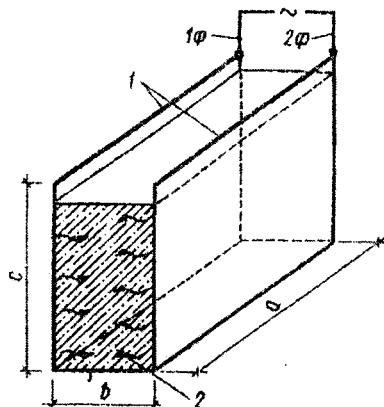


Рис. 4 Схема электроразогрева бетонной смеси:  
1 — электроды; 2 — бетонная смесь

Выделяемая в бетонной смеси мощность за некоторый промежуток времени повышает ее теплосодержание:

$$Q = 3,6(U^2/R)t = 3,6I^2Rt,$$

где  $Q$  — повышение энталпии бетонной смеси (количество выделенной теплоты), кДж;  $t$  — продолжительность воздействия электрического тока на бетонную смесь (продолжительность разогрева), ч.

Таким образом, как выделяемая мощность, так и количество выделяемой за промежуток времени теплоты зависят от подводимого к электродам напряжения (прямая пропорциональность) и омического сопротивления прогреваемой бетонной смеси (обратная пропорциональность).

В свою очередь, омическое сопротивление является функцией геометрических параметров плоских электродов, расстояния между электродами и удельного омического сопротивления бетонной смеси.

Так (для примера, рис.4),

$$R = \rho b / (ac),$$

где  $\rho$  — удельное омическое сопротивление бетонной смеси, Ом • м (в зависимости от минералогического состава цемента и количества воды затворения  $\rho = 6 \dots 9$  Ом • м);  $b$  — расстояние между электродами, м;  $ac = A$  — площадь рабочей части электрода, м<sup>2</sup>.

Если принять объем разогреваемой бетонной смеси 1 м<sup>3</sup> и расстояние между электродами  $b$ , то удельная выделяемая мощность составит

$P_{уд} = U / (\rho b^2 \cdot 1000)$ , а количество выделившейся теплоты за время  $t$

$$Q_{уд} = 3,6(U^2/\rho b^2)t.$$

1 кВт • ч электроэнергии эквивалентен 3600 кДж, что позволяет поднять температуру в 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси на  $3600/2500 = 1,4^\circ\text{C}$ .

Электроразогрев бетонной смеси осуществляют в основном пластинчатыми электродами в бункерах и бадьях или в кузовах автосамосвалов с помощью опускных электролов.

В первом случае приготовленную на бетонном заводе смесь, имеющую температуру 5—15 °С, доставляют автосамосвалами на строительную площадку, выгружают в бадью с вмонтированными электродами, уплотняют кратковременным включением вибраторов. Открытую часть бадьи закрывают крышкой или брезентом. После выхода людей за пределы ограждения поста специально обученный电工 присоединяет к корпусу бадьи заземление, затем провода питающей сети по одному к трем контактным выводам электролов, выходит за пределы ограждения и подает напряжение. После разогрева смеси до 70—80 °С напряжение отключают, бадью подают краном к месту бетонирования и при включенном вибраторе бадью смесь выгружают в опалубку. Мощность, необходимая для электроразогрева бетонной смеси, и расстояние между электродами в бадье для разогрева смеси являются величинами расчетными и определяются по формулам

Во втором случае приготовленную на бетонном заводе смесь доставляют в кузове автосамосвала на строительную площадку. Автосамосвал въезжает на пост разогрева и останавливается в строго определенном положении под рамой с электродами, после чего водитель выходит за пределы ограждения поста. Э电工 присоединяет к кузову провод защитного заземления, при работающем вибраторе рамы опускает электроловы в бетонную смесь и подает напряжение.

После электроразогрева смеси до расчетной температуры напряжение отключают, водитель входит на территорию поста, садится в кабину автосамосвала и выезжает с поста. Транспортирование, выгрузка и укладка смеси в опалубку должны продолжаться не более 10 мин. Разогретую смесь укладывают в опалубку и уплотняют такими же способами, как и обычную, но в максимально короткие сроки во избежание ее загустевания и остывания. Перегрузки разогретой бетонной смеси нежелательны.

Преимущество разогрева бетонной смеси в кузове автосамосвала по сравнению с предыдущим методом состоит в том, что при укладке бетонной смеси в нескольких пунктах в пределах одной стройплощадки нет необходимости организовывать разогрев смеси в каждом из них.

Для разогрева смеси до столь высоких температур за короткий промежуток времени требуется большие электрические мощности. Так, для разогрева 1 м<sup>3</sup> смеси до 60°C за 15 мин требуется 240 кВт, а за 10 мин — 360 кВт установленной мощности.

«Горячий термос» применяют для конструкций с М<sub>n</sub> до 12

## **2.2. Методы бетонирования с искусственным прогревом бетона монолитных конструкций в опалубке**

В случаях, когда безобогревные методы выдерживания бетона в зимних условиях не обеспечивают приобретения бетоном необходимых характеристик в заданные сроки, поставленная цель может быть достигнута применением методов бетонирования с искусственным прогревом бетона конструкций.

Методы бетонирования с искусственным прогревом позволяют не только непрерывно вести работы в зимних условиях, но и интенсифицировать процесс набора прочности бетоном, сократить сроки строительства и увеличить темпы обрачиваемости опалубки. Режим термообработки бетона назначают, пользуясь приведенными в нормативной литературе графиками набора прочности бетона при различных температурах прогрева, однако его всегда должна уточнять строительная лаборатория путем опытного прогрева бетона, приготовленного из соответствующих материалов.

**Электротермообработка бетона.** Метод электротермообработки сыграл большую роль в ликвидации сезонности строительства в годы первых пятилеток. В настоящее время электротермообработка со

всеми ее разновидностями широко применяется наряду с другими методами бетонирования в зимних условиях и используется для предотвращения замораживания бетона и ускорения его твердения при любой температуре наружного воздуха до приобретения прочности, требуемой проектным заданием.

Электротермообработка основана на преобразовании электрической энергии в тепловую непосредственно внутри бетона путем пропускания через него электрического тока с помощью электродов (прогрев) либо в различного рода электронагревательных устройствах, тепло от которых подводится к бетону конвективно, контактно или радиационно (обогрев). В строительстве освоены следующие методы электротермообработки: электродный прогрев (собственно электропрогрев); обогрев в электромагнитном поле (индукционный); обогрев различными электронагревательными устройствами (контактный, конвекционный, в том числе инфракрасного излучения). Существование различных методов электротермообработки позволяет в каждом конкретном случае (для различных конструкций и условий их изготовления) выбрать наиболее эффективный и экономичный. Выбор того или иного способа зависит от размера и конфигурации конструкции, характера армирования, имеющегося на стройплощадке оборудования и других факторов.

Электротермообработку бетона наиболее целесообразно производить до приобретения им прочности, равной 50—60 % от проектной, так как при дальнейшей тепловой обработке интенсивность твердения замедляется и расход электроэнергии соответственно возрастает.

Для получения сразу после прогрева прочности бетона, составляющей 50...70 % от проектной прочности, рекомендуется приготовлять смеси на высокоактивных и быстротвердеющих цементах, применять состав с минимально возможным водоцементным отношением, вводить в бетон добавки — ускорители твердения; в случае необходимости получения сразу после прогрева прочности бетона от 70 до 80 % проектной рекомендуется повышать фактическую марку бетона.

Электротермообработку бетона производят по одному из следующих режимов: 1) разогрев и изотермический прогрев; 2) разогрев, изотермический прогрев и остывание; 3) разогрев и остывание; 4) ступенчатый подъем температуры; 5) саморегулирующийся режим.

**Режимы нагрева бетона.** Качество конструкций, бетонируемых в зимних условиях с применением методов искусственного прогрева, в значительной степени зависит от режимов нагрева бетона. На выбор режимов оказывают влияние многочисленные факторы, характеризующие как состав бетона, так и всю конструкцию в целом, требования к конечной прочности бетона и температура окружающей среды.

В зависимости от перечисленных факторов различают следующие типовые схемы прогрева.

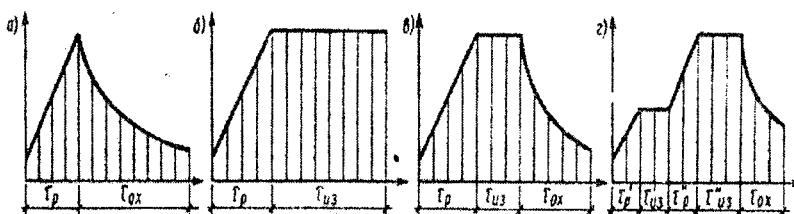


Рис. 5 Графики режимов прогрева бетона:

а — электротермос; б — изотермический режим; в — изотермический режим с остыанием; г — ступенчатый

**Электротермос** (рис. 5а) применяют для довольно массивных конструкций, останавливающих в течение длительного времени  $M_{\Pi} < 8$ . Конструкцию разогревают в течение  $\tau_p$  от начальной температуры  $t_{б.н}$  до максимальной  $t_{\max}$ . Затем она остывает от максимальной до некоторой конечной температуры  $t_{б.к}$  в течение  $\tau_{ост}$ . При этом требуемая прочность бетона достигается при остыании конструкции до температуры  $t_{б.к}$ .

**Изотермический режим** (рис. 5б) применяют для немассивных конструкций с модулем поверхности  $M_{\Pi} > 15$ . Конструкцию разогревают от температуры  $t_{б.н}$  до  $t_{\max}$  и изотермически прогревают при этой температуре. Продолжительность этого периода  $\tau_{из}$  определяют из условий получения требуемой прочности к концу прогрева.

**Изотермический режим с остыанием** (рис. 5в) применяют для прогрева конструкций с  $M_{\Pi} = 8 \dots 15$ . Этот режим представляет собой комбинацию из двух предыдущих режимов.

**Ступенчатый режим** (рис. 5г) применяют для периферийного прогрева массивных конструкций с  $M_{\Pi} \leq 5$ , а также немассивных предварительно напряженных конструкций.

Разогрев — один из наиболее ответственных периодов прогрева. При высоких скоростях разогрева вследствие внутреннего давления в бетоне происходят структурные разрушения за счет быстрого расширения защемленного воздуха и образующихся паров воды, собственных температурных расширений твердых частиц и интенсивного испарения влаги с поверхности бетона при повышенных температурах.

Поэтому нормативными документами установлены следующие максимально допустимые скорости повышения температуры бетона:  $5\dots8^{\circ}\text{C}/\text{ч}$  при модуле поверхности  $M_{\Pi} = 2\dots6$ ; не более  $10^{\circ}\text{C}/\text{ч}$  при  $M_{\Pi} = 6\dots20$ .

Каркасные и тонкостенные конструкции малой протяженности (не более 6 м) можно разогревать со скоростью  $15^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ .

Максимально допустимая температура прогрева бетона не должна превышать значений, указанных в таблице 2, а при прогреве конструкций с жесткой заделкой узлов сопряжений и при периферийном электропрогреве конструкций с  $M_{\Pi}>6$  не должна превышать  $40^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 2  
Максимально допустимая температура прогрева бетона

Цемент	Температура, $^{\circ}\text{C}$ , для конструкций с различными модулями поверхности, равными		
	6...9	10...15	16...20
Шлакопортландцемент и пущолановый портландцемент	80	70	60
Портландцемент и быстротвердеющий портландцемент	70	65	55

Основными параметрами температурных режимов электро-термообработки бетона являются:

- продолжительность предварительного выдерживания бетона;
- скорость подъема температуры;
- температура изотермического прогрева;
- скорость остывания.

Во всех случаях температура бетона является основным параметром, по которому регулируются подача электроэнергии и заданный режим.

Расчет электротермообработки бетона сводится к определению требуемой мощности на нагрев бетона, опалубки и на восполнение теплопотерь в окружающую среду с учетом тепловыделения цемента, а также к определению параметров тока и устройств, обеспечивающих выделение тепла соответственно требуемой мощности (напряжение, сила тока; тип и места размещения электродов или электронагревательных устройств, их характеристики).

При электротермообработке бетона особое внимание уделяют изоляции неопалубленных поверхностей для предотвращения пересушивания бетона, а также теплоизоляции бетонируемой конструкции с целью обеспечения выдерживания заданного режима при минимальном расходе электроэнергии и повышении равномерности температурного поля в бетоне. Изоляцию делают из термоизолирующих материалов.

**Электродный прогрев.** Такой способ термообработки наиболее эффективный и распространенный; он основан на использовании тепла, выделяющегося в бетоне при прохождении по нему электрического тока. Достигается это путем включения свежеуложенной бетонной смеси как сопротивления в цепь переменного тока промышленной частоты с помощью металлических электродов различной конструкции и схем расположения. Благодаря использованию переменного тока явления электролиза в цементном тесте в процессе прогрева практически не происходит.

В целях экономии стали стремятся к расположению электродов на наружной поверхности прогреваемой конструкции, что позволяет снять их после окончания прогрева, в случае же внутренней установки электродов расход стали должен быть минимальным. Использование в качестве электродов арматуры прогреваемой конструкции, как правило, не рекомендуется, так как это приводит к увеличению потребляемой электрической мощности, искажению электрического, а следовательно, и температурного поля в бетоне, пересушиванию примыкающих к электродам слоев бетона и, как следствие,— к уменьшению сцепления арматуры с бетоном.

Интенсивность и количество выделяемой тепловой энергии при прохождении тока зависят от электрической мощности, напряжения и электрического сопротивления бетона. При твердении бетона, сопровождающемся уменьшением количества жидкой компоненты смеси в результате взаимодействия воды с минералами цемента и частичного ее испарения, удельное электрическое сопротивление бетона р меняется (в течение первых 2—5 ч оно снижается до минимальной

величины, а затем начинает возрастать), поэтому напряжение изменяют ступенями с помощью понизительных трансформаторов для сохранения необходимых токовых нагрузок и поддержания режимов прогрева.

Образующаяся теплота расходуется на нагрев бетона и опалубки до заданной температуры и возмещение теплопотерь в окружающую среду, происходящих в процессе выдерживания. Температура бетона при электропрогреве определяется величиной выделяемой в бетоне электрической энергии, которая должна назначаться в зависимости от выбранного режима термообработки и величины теплопотерь, имеющих место при электропрогреве на морозе.

Энергия, требуемая для разогрева конструкции с заданной скоростью, складывается из энергии на разогрев бетона, на разогрев опалубки и для возмещения теплопотерь. Учитывая экзотермическое тепловыделение, которому эквивалентна некоторая энергия, баланс энергий можно записать в виде

$$P = P_1 + P_2 + P_3 - P_4,$$

где  $P$  — требуемая энергия для разогрева конструкции, кВт;  $P_1$  — энергия на разогрев бетона, кВт;  $P_2$  — энергия на разогрев опалубки, кВт;  $P_3$  — энергия на восполнение теплопотерь в окружающую среду, кВт;  $P_4$  — энергия, эквивалентная экзотермическому тепловыделению, кВт.

Удельная энергия, требуемая для разогрева 1 м<sup>3</sup> бетона от начальной температуры  $t_{\text{б.н}}$  до  $t_{\text{max}}$  в течение  $\tau_p$ , т. е. со скоростью разогрева  $v_p = (t_{\text{max}} - t_{\text{б.н}})/\tau_p$ , составит

$$P_1 = c_b \rho_b (t_{\text{max}} - t_{\text{б.н}}) / (\tau_p \cdot 3600) = c_b \rho_b v_p / 3600,$$

где  $c_b$  — удельная теплоемкость бетона, кДж/(кг · °С);  $\rho_b$  — плотность бетона, кг/м<sup>3</sup>.

Если приближенно считать, что за время  $\tau_p$  температура опалубки поднимается на  $t_{\text{max}}/2 - t_{\text{н.в}}$ , то

$$P_2 = c_{\text{оп}} \rho_{\text{оп}} \delta_{\text{оп}} M_n (t_{\text{max}}/2 - t_{\text{н.в}}) / (\tau_p \cdot 3600),$$

где  $c_{\text{оп}}$  — удельная теплоемкость опалубки, кДж/(кг · °С);  $\rho_{\text{оп}}$  — плотность опалубки, кг/м<sup>3</sup>;  $\delta_{\text{оп}}$  — толщина опалубки, м;  $t_{\text{н.в}}$  — температура наружного воздуха, °С.

Удельная энергия, требуемая на возмещение теплопотерь за время  $\tau_p$ , в среднем составит

$$P_3 = k M_n [(t_{\text{max}} + t_{\text{н.в}})/2 - t_{\text{н.в}}] 1000.$$

Удельную энергию  $P_4$ , соответствующую интенсивности тепловыделения при твердении цемента, осредненно принимают равной  $0,8 \text{ кВт}/\text{м}^3$ .

Удельная энергия  $P_{3\text{из}}$ , потребная на период изотермического прогрева, равна

$$P_{\text{из}} = P_{3\text{из}} - P_{4\text{из}}$$

где  $P_{3\text{из}}$  — удельная энергия, затрачиваемая на возмещение теплопотерь при изотермическом прогреве:

$$P_{3\text{из}} = kM_n(t_{\text{из}} - t_{n,b})/1000,$$

где  $t_{\text{из}}$  — температура изотермического прогрева, равная обычно  $t_{\text{max}}$ ;  $P_{4\text{из}}$  — удельная энергия, соответствующая интенсивности тепловыделения при твердении цемента, осредненно принимают  $0,2 \text{ кВт}/\text{м}^3$

При расчете электродного прогрева бетона в качестве расчетного параметра  $p_{\text{расч}}$  ( $\Omega \cdot \text{м}^2$ ) принимают полусумму величин начального и минимального удельного электрического сопротивления:

$$P_{\text{расч}} = (P_{\text{нач}} + P_{\text{мин}})/2.$$

В предварительных расчетах, если  $p_{\text{нач}}$  известно, принимают  $p_{\text{расч}} = 0,5\text{--}0,85 p_{\text{нач}}$ . При достижении бетоном 50...60% проектной прочности прогрев без увлажнения становится нецелесообразным, так как это связано с большим расходом электроэнергии из-за резкого увеличения сопротивления.

В отечественной справочной литературе [2, 6] представлены графики расчета электропрогрева и схемы размещения электродов при термообработке различных конструкций. Графики позволяют:

- по заданному напряжению на электродах  $U$ , расстоянию между разноименными электродами  $b$  и известному (определенному экспериментальным путем) удельному электрическому сопротивлению  $p$  найти величину электрической мощности  $P$ ;
- по заданным величинам электрической мощности  $P$  и напряжению  $U$ , по известному удельному сопротивлению  $p$  найти необходимое расстояние между разноименными электродами  $b$ ;
- по заданным величинам электрической мощности  $P$  и расстоянию между разноименными электродами  $b$ , по известному удельному сопротивлению  $p$  найти требуемое напряжение  $U$ .

Включать ток и начинать прогрев конструкций необходимо с таким расчетом, чтобы температура бетона в любом случае не была ниже 3 °С. Установку и подключение электродов (без подачи напряжения) предпочтительно выполнять до начала бетонирования. В зависимости от расположения электродов и места прохождения электрического тока прогрев подразделяют на *сквозной* и *периферийный*. При сквозном прогреве ток протекает через всю массу бетона и тепловая энергия выделяется в теле конструкции. В случае периферийного прогрева ток протекает через бетон между электродами, установленными по наружной поверхности конструкции, и бетон прогревается при передаче тепловой энергии от периферии во внутрь конструкции, а также за счет экзотермии цемента.

Для осуществления электропрогрева бетона применяют пластинчатые, полосовые (ленточные), стержневые, струнные, а также кольцевые типы электродов. Выдерживание требуемого расстояния между электродами и арматурой достигается применением различных изоляторов — цементных, пластмассовых, текстолитовых, а также деревянных реек, удаляемых по мере укладки бетонной смеси и ее уплотнения.

По месту установки электроды подразделяют на *внутренние* и *поверхностные*. Внутренние электроды, оставляемые в бетоне после прогрева, подразделяются на стержневые, струнные и плавающие. Стержневые электроды представляют собой короткие стержни из круглой стали диаметром 6...12 мм, располагаемые в теле бетона перпендикулярно поверхности конструкции непосредственно через открытые поверхности или через отверстия, просверленные в опалубке (рис. VII.10). Для удобства присоединения электропроводов электроды выпускают из опалубки на 8...15 см. Стержневые электроды применяют при прогреве любых конструкций, особенно сложной конфигурации, со значительной толщиной (в этих случаях применять полосовые или пластинчатые электроды не представляется возможным). Наиболее целесообразно применять стержневые электроды в виде плоских электродных групп, обеспечивающих достаточную равномерность температурного поля. (табл.4)

Чем меньше расстояние между одноименными электродами в плоской группе, тем равномернее температурное поле, но больше расход металла на электроды, больше и трудоемкость их установки и подключения. При прогреве конструкций с весьма густой арматурой,

когда невозможно использовать плоские группы, применяют одиночные стержневые электроды, размещаемые в шахматном порядке на равных расстояниях. Однако такое размещение приводит к значительной неравномерности распределения температурного поля в бетоне.

Недостатком стержневых электродов является то, что после прогрева электроды остаются в бетоне, т. е. появляются безвозвратные потери металла. К стержневым относятся и так называемые «плавающие» электроды — стальные прутки, располагаемые на глубине 3...4 см в бетоне конструкций малой толщины — подливок, подготовок и т. п., либо при периферийном прогреве верхних неопалубленных поверхностей массивных конструкций.

Расчет прогрева конструкций с использованием стержневых и плавающих электродов производится по графикам, приводимым в специальной справочной литературе

*Струнные электроды* имеют вид струн длиной 2,5...3,5 м, выполненных из арматурной стали диаметром 12...16 мм. Устанавливают их в конструкции и натягивают перед бетонированием параллельно продольной оси конструкции отдельными звенями, а концы выводят наружу. Электроды подключают к разным фазам электрической цепи после укладки бетонной смеси

При прогреве конструкций прямоугольного сечения с четырьмя продольными арматурными стержнями в углах струнный электрод, устанавливаемый по оси конструкции, подключают к одной фазе, а арматурный каркас — к другой. Струнные электроды применяют для прогрева протяженных бетонных конструкций (колонны, балки, прогоны и др.), длина которых во много раз больше размеров их поперечного сечения.

При установке электродов тщательно следят за тем, чтобы не допускать их смещения и соприкосновения с арматурой, так как при соприкосновении электродов разных фаз произойдет короткое замыкание. Открытые поверхности по окончании бетонирования и установки электродов укрывают изоляционными материалами, поскольку прогрев бетона с неукрытыми поверхностями не допускается. Способ установки электродов и расстояния между ними указываются в проекте. Расчет прогрева можно производить по графикам, приводимым в специальной технической литературе.

Поверхностные электроды, снимаемые после прогрева бетона конструкций, подразделяют на пластинчатые и полосовые. Пластинчатые электроды представляют собой пластины, которые

располагают снаружи бетона на двух противоположных плоскостях прогреваемой конструкции. Расстояние между ними не должно превышать 40 см. Изготавливают пластинчатые электроды из стали толщиной 3...4 мм. Крепят электроды к опалубке, которую в месте их установки изолируют. В качестве электродов разрешается использовать металлические щиты опалубки. Пластинчатые электроды используют для прогрева неармированных конструкций, а также конструкций с негустой арматурой — колонн, стен, перегородок и т. п.

*Полосовые электроды* также располагают снаружи бетона прогреваемой конструкции, что позволяет исключить бросовые расходы металла. Изготавливают электроды шириной 2...5 см из кровельной или полосовой стали толщиной 1—2 мм. Крепят их к деревянной опалубке на определенном расстоянии друг от друга. Электрический ток проходит между соседними разноименными электродами, главным образом в периферийном слое бетона, толщина которого составляет около половины расстояния между соседними электродами.

Периферийный прогрев конструкций толщиной менее 30 см, как правило, осуществляют полосовыми электродами с односторонним расположением при негустой арматуре; при толщине от 30 до 80 см (ленточные фундаменты, колонны, балки, перекрытия) — полосовыми электродами с двусторонним размещением, а более массивных — с размещением на всех поверхностях конструкций (табл. 3).

При периферийном прогреве массивных конструкций с расположением электродов по периметру соблюдают дополнительные условия:

температура периферийных слоев бетона не должна превышать температуру в ядре конструкции;

температурные градиенты в сечении не должны превышать  $0,15^{\circ}\text{C}/\text{см}$ . При распадубливании этих конструкций учитывают перепады температур между ядром и поверхностью, а также между поверхностью и наружным воздухом.

С целью экономии металла для сквозного прогрева бетона применяют полосовые электроды с двусторонним расположением вместо пластинчатых.

**Таблица 3 Виды электрородов, схемы их расстановки и формулы расчета выделяемой удельной мощности**

N <sub>o</sub>	Электророды	Схема расстановки и подключения электрородов к электрической сети	Формула расчета выделяемой удельной мощности, кВт/м <sup>3</sup>
1	Пластинчатые		$P = \frac{U^2 \cdot 10^{-3}}{\rho B^2}$
2	Полосовые (сквозной прогрев)		$P = \frac{U^2 \cdot 10^{-3}}{\rho B^2 \left( 1 + \frac{\pi b}{\ln \frac{b}{2a}} \right)}$
3	Подосовые (периферийный прогрев)		$P = \frac{1,57 U^2 \cdot 10^{-3}}{\rho B \left( \alpha \ln \frac{4B}{\pi a} + \frac{\pi b}{2B} \right)}$
4	Стержневые (в виде плоских групп)		$P = \frac{3,14 U^2 \cdot 10^{-3}}{\rho b h \left( \alpha \ln \frac{h}{\pi d} + \frac{\pi b}{h} \right)}$
5	Одиночные стержневые		$P = \frac{3,14 U^2 \cdot 10^{-3}}{\rho b B \left( \alpha \ln \frac{B}{\pi d} + \frac{\pi b}{B} \right)}$
6	Струнные		$P = \frac{6,28 U^2 \cdot 10^{-3}}{\rho B^2 \ln \frac{b}{d}}$

*Примечание.*  $\rho$  — расчетное удельное электрическое сопротивление бетона, Ом·м;  $\alpha$  — коэффициент при электропрогреве, равный  $2/3$  при трехфазном и 2 при однополупериодном токе.

Выдерживание температуры бетона в соответствии с заданным режимом электротермообработки осуществляют следующими способами:

изменением величины напряжения, подводимого к электродам;

периодическим включением и отключением напряжения на электродах;

отключением электролов от сети по окончании подъема температуры.

Выдерживание заданного режима может осуществляться автоматически и вручную. Во всех случаях температура бетона является основным параметром, по которому регулируются подача электроэнергии и заданный режим.

Электродный прогрев армированных конструкций производят при пониженных напряжениях тока — 50...127 В, что позволяет обеспечить более точное соблюдение заданного режима выдерживания бетона. Использование напряжения 220 В и максимально допустимого — 380 В разрешается для прогрева ненармированного бетона конструкций при наличии надежного ограждения, установленного на расстоянии не менее 5 м от прогреваемой конструкции. В сырую погоду и во время оттаивания любые виды электропрогрева прекращают.

Область применения электродного прогрева ограничена трудностью обеспечения равномерного температурного поля в густоармированных конструкциях, конструкциях с большим количеством закладных деталей, стыков толщиной менее 50мм и в случае применения металлической опалубки. Этот недостаток удается устранить путем применения индукционного нагрева бетона.

Все работы, связанные с электропрогревом бетона, выполняют в соответствии со СниП 111-4—80 «Техника безопасности в строительстве».

**Индукционный нагрев бетона.** Этот способ нагрева основан на использовании тепла, выделяемого от прохождения вихревых токов в металлической опалубке и арматуре нагреваемой конструкции, находящихся в электромагнитном поле индуктора (многовитковой катушки), через который пропускают переменный ток промышленной частоты напряжением 36...126 В. Тепло от арматуры и металлической опалубки передается бетону и нагревает его (рис 6).

Индукционный нагрев применяют в основном для термообработки бетона конструкций небольшого сечения: колонн, ригелей,

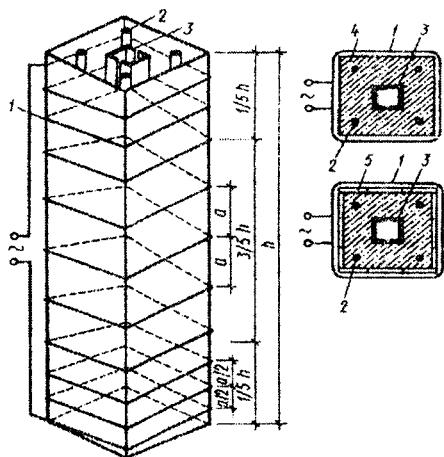


Рис. 6 Схема индукционного нагрева:

1 — индуктор; 2 — стержневая арматура; 3 — жесткая арматура; 4 — металлическая опалубка; 5 — деревянная опалубка;  $\Delta h$  — шаг между витками индуктора;  $h$  — высота индуктора

балок, элементов разных конструкций; стыков конструкций; сооружений, возводимых в скользящей, подъемно-переставной и катучей опалубках. Использование индукционного нагрева позволяет за 12—28 ч получать бетон прочностью 50...70 % от  $R_{28}$  (марочный).

Интенсивность термообработки при индукционном нагреве не зависит от электрофизических свойств бетона, а определяется электрическими и магнитными свойствами источников тепла, т. е. напряженностью магнитного поля и магнитными свойствами арматуры и металлической опалубки.

Расчет параметров индукционного нагрева заключается в определении числа витков  $N$  и силы тока  $I$  в индукторе, которые обеспечивают при заданном напряжении  $V$  соблюдение принятого режима прогрева конструкций и подсчитываются по формулам.

В зависимости от вида и конструктивных особенностей железобетонных конструкций термообработка их индукционным нагревом может осуществляться двумя принципиально отличающимися способами: по схеме индуктивной катушки с железом и по схеме трансформатора с сердечником.

Более широко применяется схема индуктивной катушки с железом. Тепло выделяется стальной опалубкой или арматурой. Скорость подъема температуры бетона в зависимости от модуля поверхности, степени армирования и материала опалубки колеблется от 5 до 15 град/ч. По достижении бетоном расчетной температуры напряжение либо отключают, и бетон выдерживают методом «термоса», либо переходят на изотермическое выдерживание. Для этого индуктор переключают на более низкое напряжение или переводят на импульсный режим работы, т. е. периодически включают и выключают напряжение.

Достоинствами метода индукционного нагрева являются: равномерность нагрева конструкций по длине и сечению; возможность предварительного отогрева арматуры и металлической опалубки (до укладки бетонной смеси в опалубку) без привлечения дополнительных источников тепла; исключение бросовых расходов металла (на электроды). Расход электроэнергии при индукционном нагреве составляет 120...150 кВт\*Ч/м<sup>3</sup> бетона, т. е требует, как правило, увеличения затрат и повышенного расхода электроэнергии по сравнению с другими способами электротермообработки.

Многолетний опыт использования методов прогрева бетона в суровых зимних условиях при большом объеме бетонных работ и повторяющихся конструктивных элементах, значительные трудовые и материальные затраты при штучном монтаже и демонтаже нагревательных элементов привели к созданию целого ряда инвентарных унифицированных греющих и термоактивных опалубок.

**Электрообогрев бетона.** Обогрев бетона можно производить: электронагревателями, установленными в опалубке конструкций,— греющими кабелями или проводами; трубчатыми электронагревателями (ТЭНами); стержневыми типа «стержень с трубой»; коаксиальными; сетчатыми, пластинчатыми или инфракрасными излучателями, размещенными на некотором расстоянии от конструкции, типа ЗС; проволочными спиралью или плоскими нагревателями и др.

Бетон обрабатывают инфракрасными лучами при наличии автоматических устройств, обеспечивающих заданные температурные и временные параметры путем периодического включения-выключения инфракрасных установок.

При индукционном нагреве бетона используют теплоту, выделяемую в арматуре или стальной опалубке, находящихся в электромагнитном поле катушки-индуктора, по которой протекает переменный электрический ток.

Для этого по наружной поверхности опалубки последовательными витками укладывается изолированный провод-индуктор (рис.6). Переменный электрический ток, проходя через индуктор, создает переменное электромагнитное поле. Электромагнитная индукция вызывает в находящемся в этом поле металле (арматуре, стальной опалубке) вихревые токи, в результате чего арматура (стальная опалубка) нагревается и от нее (кондуктивно) нагревается бетон.

Индукционный метод применяют для отогрева ранее выполненных и прогрева возводимых каркасных железобетонных конструкций, бетонируемых в любой опалубке и при любой температуре наружного воздуха. Наиболее эффективен индукционный метод при бетонировании конструкций, густо насыщенных арматурой с  $M_n > 5$ , а также при использовании металлической опалубки.

В качестве индуктора используют изолированные провода с медными или алюминиевыми жилами.

Укладывают бетон после установки индуктора, что позволяет предварительно отогревать арматуру и металлическую опалубку.

При конвективном способе обогрева тепловая энергия бетону передается с помощью нагретой (обычно движущейся) среды — теплым воздухом или паром. В этом случае бетон до приобретения им заданной прочности выдерживают в тепляках, представляющих собой временные ограждающие сооружения. Тепляки могут быть объемными, т. е. охватывающими всю бетонируемую конструкцию, и плоскими или секционными, ограждающими только часть конструкции.

Температура в тепляке поддерживается на уровне 5...10°C, в связи с чем твердение бетона замедляется, а продолжительность приобретения бетоном распалубочной прочности увеличивается.

Бетонирование конструкций в тепляках применяют редко, так как эти работы весьма трудоемки и требуют значительного расхода материалов на устройство тепляков. В современном строительстве тепляки применяют при возведении высотных сооружений в скользящей или подъемно-переставной опалубке. Их применяют также в тех случаях, когда необходимо поддерживать положительные температуры не только для бетонных, но и других работ, выполняемых в период строительства данного сооружения. В настоящее время в качестве тепляков находят применение надувные конструкции из синтетических материалов, которые представляют собой двухстенное ограждение с воздушной прослойкой.

Тепляки обогревают электрическими или паровыми калориферами и в исключительных случаях (например, при возведении отдельно стоящих фундаментов с применением объемных переносных тепляков) — острым паром. Реже применяют огневоздушное калориферное отопление.

Тип нагревателя выбирают в зависимости от конфигурации конструкции, вида опалубки, наличия материалов для изготовления нагревателей.

*Обогрев бетона инфракрасными лучами* заключается в передаче бетону конструкций тепла в виде лучистой энергии.

При прохождении инфракрасных лучей через слой воздуха между излучателем и поверхностью конструкции потери тепла незначительны. Лучи, преобразуясь в тепло, поглощаются поверхностью и распределяются в массе бетона облучаемой конструкции (рис. 7).

Инфракрасные излучатели работают на электроэнергии, газе (природном и сжиженном), мазуте. Наибольшее распространение получили излучатели, работающие на электроэнергии. Следует также отметить значительное (по сравнению с другими видами термообработки) количество энергии, генерируемое излучателями. Источниками инфракрасного излучения служат металлические трубчатые излучатели (ТЭНЫ), стержневые карборундовые излучатели и электрические лампы инфракрасного излучения. ТЭН состоит из металлической трубы диаметром 9—18 мм, внутри которой расположена никромовая спираль, а остальное пространство заполнено периклазом — кристаллической окисью магния. Применяют ТЭНЫ типа НВСМ (нагреватель воздушный сушильный жаростойкий) или НВС (нагреватель воздушный сушильный). Мощность их на 1 м длины колеблется от 0,6 до 1,2 кВт, температура излучающих поверхностей — от 300 до 600 °С, рабочее напряжение — 127, 220 и 380 В. Карборундовые излучатели имеют мощность до 10 кВт, а температуру излучающих поверхностей 1300—1500 °С. Применяемые электрические лампы инфракрасного излучения имеют мощность от 0,2 до 1,0 кВт.

Нагреватели выпускаются отечественной промышленностью серийно и рассчитаны на напряжение от 36 до 380 В. Для создания равномерного лучистого потока, направленного на поверхность бетона, излучатели монтируют в специальные установки, которые иногда изготавливают для конкретных условий производства.

Конструктивно установки представляют собой сферические или трапецидальные отражатели, во внутренней полости которых размещаются излучатели с поддерживающими устройствами. Сферические отражатели применяют при передаче энергии излучением на расстояние до 3 м, а трапецидальные — до 1 м. Обогревать инфракрасными излучателями можно как открытые поверхности бетона, так и опалубленные. Для лучшего поглощения инфракрасного излучения поверхность опалубки покрывают черным матовым лаком, но температура на поверхности бетона в процессе обогрева не должна превышать 80—90 °С. С целью исключить интенсивное испарение влаги из бетона открытые поверхности закрывают полиэтиленовой пленкой, пергамином или рубероидом.

Инфракрасные установки ставят на таком расстоянии друг от друга, чтобы прогреть все участки бетонной поверхности. Процесс обогрева бетона инфракрасными лучами условно делят на три периода: подъем температуры до заданной; изотермический прогрев; остывание. Общую продолжительность обогрева и время отдельных периодов определяют расчетом или по графикам, приводимым в справочной литературе.

Необходимую мощность (в Вт) при применении установок инфракрасного излучения определяют по формуле:

$$Ny = 1.163 (E\phi / K\phi)F, \text{ где}$$

1,163 — коэффициент перевода, ккал / (м<sup>2</sup>ч), Вт/м<sup>2</sup>;

K — коэффициент, учитывающий часть лучистой энергии, генерируемой греющими приспособлениями от общей энергии, подводимой к ним, K < 1;

φ — коэффициент облученности, показывающий, какая доля общей лучистой энергии падает на поверхность нагрева F (максимальное значение Kφ = 0,5)

В построенных условиях установки инфракрасного излучения в виде переносных рам со смонтированными на них несколькими излучателями применяют для термообработки бетона тонкостенных конструкций с большим модулем поверхности (стен, плит), а также стыков, подливок, в том числе под металлические конструктивные элементы, для отогрева замерзшего бетона в рабочих швах и т. п., обеспечивая в течение нескольких часов приобретение бетоном прочности до 70 % проектной прочности.

*Термоактивное покрытие (ТРАП) — легкое, гибкое устройство с углеродными ленточными нагревателями или греющими проводами (рис. 7.61, в), обеспечивающие нагрев до 50°C. Основой покрытия*

является стеклохолст, к которому крепят нагреватели. Для теплоизоляции применяют штапельное стекловолокно с экранированием слоем из фольги. В качестве гидроизоляции используют прорезиненную ткань.

Гибкое покрытие можно изготавливать различного размера. Для крепления отдельных покрытий между собой предусмотрены отверстия для пропуска тесьмы или зажимов. Покрытие можно располагать на вертикальных, горизонтальных и наклонных поверхностях конструкций. По окончании работы с покрытием на одном месте его снимают, очищают и для удобства транспортировки сворачивают в рулон. Наиболее эффективно применять ТРАП при возведении плит перекрытий и покрытий, устройстве подготовок под полы и др. ТРАП изготавливают с удельной электрической мощностью  $0,25\dots 1\text{kVA/m}^2$ .

При инфракрасном нагреве используют способность инфракрасных лучей поглощаться телом и трансформироваться в тепловую энергию, что повышает теплосодержание этого тела.

Генерируют инфракрасное излучение путем нагрева твердых тел.

Теплота от источника инфракрасных лучей к нагреваемому телу передается мгновенно, без участия какого-либо переносчика теплоты. Поглощаясь поверхностями облучения, инфракрасные лучи превращаются в тепловую энергию. От нагретых таким образом поверхностных слоев тело прогревается за счет собственной теплопроводности.

Инфракрасный нагрев применяют при следующих технологических процессах (рис. 6): отогреве арматуры, промороженных оснований и бетонных поверхностей, опалубок и удаления снега и наледей; тепловой защите укладываемого бетона; ускорении твердения бетона при устройстве междуэтажных перекрытий, возведении стен и других элементов в деревянной, металлической или конструктивной опалубке, высотных сооружений в скользящей опалубке (элеваторы, силосы и т. п.).

Электроэнергия для инфракрасных установок поступает обычно от трансформаторной подстанции, от которой к месту производства работ прокладывают низковольтный кабельный фидер, питающий распределительный шкаф. От последнего электроэнергию подают по кабельным линиям к отдельным инфракрасным установкам.

Применение инфракрасных излучателей весьма эффективно и на заводах сборного железобетона, где в стационарных условиях можно обеспечить минимальные потери энергоустановок и резко увеличить оборачиваемость форм за счет сокращения времени

термообработки конструкций в 2—2,5 раза. Ориентировочный расход электроэнергии при инфракрасном обогреве бетона конструкций

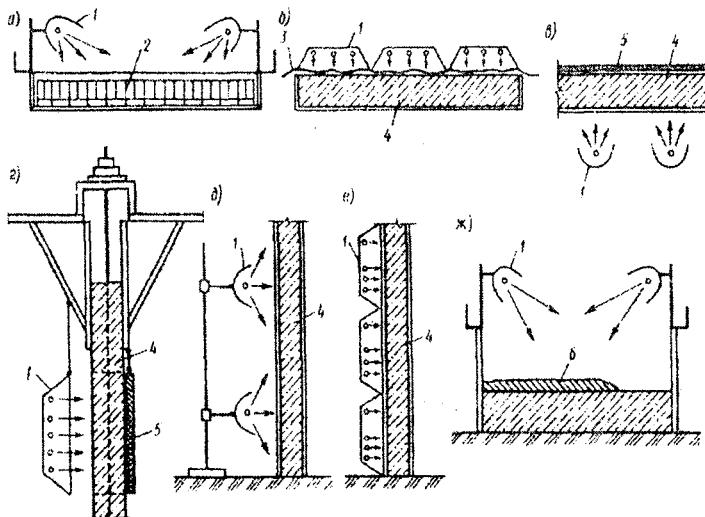


Рис. 7 Схемы инфракрасного нагрева:

*a* — обогрев арматуры плиты; *b*, *c* — термообработка бетона плиты (сверху и снизу); *d* — локальная термообработка бетона при возведении высотных сооружений в скользящей опалубке; *e*, *f* — термообработка бетона стен; *g* — тепловая защита укладываемой бетонной смеси; 1 — инфракрасная установка; 2 — арматура плиты; 3 — синтетическая пленка; 4 — термообрабатываемый бетон; 5 — теплоизолирующий мат; 6 — укладываемая бетонная смесь

составляет 120—200 кВт·ч/м<sup>3</sup>.

При контактном электрообогреве бетона осуществляется непосредственная теплопередача от греющих поверхностей к прогреваемому бетону. Распространение тепла в самом бетоне конструкции происходит преимущественно путем теплопроводности. Контактный электрообогрев применяют для тепловой обработки бетона и защиты его от воздействия низких температур. В настоящее время для контактного электрообогрева применяют различного вида греющие опалубки, которые подразделяются на жесткие (деревянные, металлические) и мягкие (из брезентовой или асбестовой ткани, резиновые, пластиковые и т. п.). Выбор вида греющей опалубки определяется типом и размерами прогреваемой железобетонной конструкции, имеющимися электрическими мощностями и т. п.

Обычно конструкция жесткой греющей опалубки или термоформы (из листовой стали, водостойкой фанеры и т. п.) предусматривает размещение нагревательного элемента (греющий кабель и пр.) и эффективной теплоизоляции (минеральная вата, шлаковата и пр.), которая снаружи должна быть защищена достаточно прочным листовым материалом (фанера, листовая сталь и т. п.), предохраняющим ее от увлажнения и механических повреждений (рис.7).

Устанавливают термоактивную опалубку отдельными щитами вручную либо укрупненными панелями с помощью грузоподъемных кранов. Каждый щит термоактивной опалубки имеет маркировку, в которой указывают, в частности, его электрические параметры (мощность, силу тока и напряжение). Щиты после закрепления подсоединяют к сети. При необходимости перед бетонированием прогревают арматуру и ранее уложенный бетон, для чего блок бетонирования укрывают сверху брезентом или полиэтиленовой пленкой и на определенное время включают термоактивную опалубку. При послойном бетонировании высоких стен и массивных фундаментов под оборудование термоактивную опалубку включают поясно, начиная с нижних щитов. Термоактивные опалубки потребляют электрический ток напряжением 40...220 В. Расход электроэнергии при использовании термоактивной опалубки составляет 100...160 кВт<sup>ч</sup> на 1 м<sup>3</sup> бетона.

В качестве источников тепла в щитах используют стержневые, трубчато-стержневые и уголково-стержневые электронагреватели, полосовые электроды, электроды из проволоки или фольги, запрессованные в электропроводящий состав.

*Стержневые электронагреватели* изготавливают из стержневой арматуры диаметром не менее 8 мм. Нагревательные элементы имеют зигзагообразную форму и прикрепляются с помощью кронштейнов к опалубке. Между нагревателями и опалубкой оставляют зазор.

*Трубчато-стержневой нагреватель* представляет собой арматурный стержень диаметром не менее 8 мм, на который надета труба из ферромагнитного материала. Трубу крепят непосредственно к опалубке, так как на ней отсутствует напряжение.

*Углково-стержневой нагреватель* представляет собой арматурный стержень диаметром не менее 6 мм, установленный внутри стального уголка соосно с ним. Стержень изолируют от уголка

асбестовым шнуром. Воздушный зазор между стержнем и уголком не должен превышать 1...1,5 мм. Отсутствие напряжения на уголке позволяет крепить уголково-стержневые нагреватели непосредственно к опалубке с помощью сварки.

*Греющая опалубка* имеет палубу из металлического листа или водостойкой фанеры, с тыльной стороны которой расположены электрические нагревательные элементы. В современных опалубках в качестве нагревателей применяют греющие провода и кабели, сетчатые нагреватели (рис. 8, а, б), углеродные ленточные нагреватели, токопроводящие покрытия и др. Наиболее эффективно применение кабелей, которые состоят из константановой проволоки диаметром 0,7...0,8 мм, помещенной в термостойкую изоляцию. Поверхность изоляции защищена от механических повреждений металлическим защитным чулком. Для обеспечения равномерного теплового потока кабель размещают на расстоянии 10...15 см ветвь от ветви.

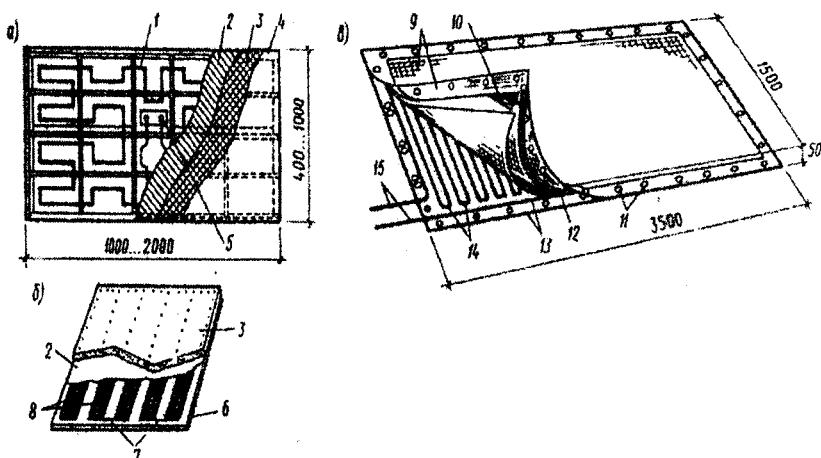


Рис. 8 Технические средства для кондуктивного нагрева бетона:

а — термоактивная опалубка с греющим кабелем; б — то же, с сетчатыми нагревателями; в — термоактивное гибкое покрытие с греющими проводами: 1 — греющий кабель; 2 — асбестовый лист; 3 — минеральная вата; 4 — защитный стальной лист; 5 — клемма; 6 — палуба из фанеры; 7 — разводящие шины; 8 — сетчатые нагреватели; 9 — защитный чехол; 10 — алюминиевая фольга; 11 — отверстия для крепления покрытия; 12 — утеплитель; 13 — листовая резина; 14 — греющий провод; 15 — коммутационные выводы

*Сетчатые нагреватели* (полоса сетки из металла) изолируют от палубы прокладкой асбестового листа, а с тыльной стороны опалубочного щита — также асбестовым листом и покрывают теплоизоляцией. Для создания электрической цепи отдельные полосы сетчатого нагревателя соединяют между собой разводящими шинами.

*Углеродные ленточные нагреватели* наклеивают специальными kleями на палубу щита. Для обеспечения прочного контакта с коммутирующими проводами концы лент подвергают меднению.

В греющую опалубку может быть переоборудована любая инвентарная с палубой из стали или фанеры. В зависимости, от конкретных условий (температура нагрева, температуры окружающей среды, мощности тепловой защиты тыльной части опалубки) потребная удельная мощность может колебаться от 0,5 до 2 кВ · А/м<sup>2</sup>. Греющую опалубку применяют при возведении тонкостенных и среднемассивных конструкций, а также при замоноличивании узлов сборных железобетонных элементов.

*Полосовые электроды* размещают: 1) в пазах, выбранных в стыках внутренней поверхности досок опалубочного щита, скрепленного болтами, пропущенными в отверстия в опалубке, причем болты являются одновременно клеммами для подсоединения к электрической сети; 2) между двумя слоями стеклоткани с обивкой рабочей стороны опалубки листовым железом; 3) в толще древесных опилок, смоченных 5%-ным раствором технической поваренной соли.

Электроды из проволоки или фольги, запрессованные в электропроводящий состав, являются разновидностью элементов, вкладываемых в ячейки опалубки.

В последние годы получили распространение так называемые греющие термоэлектрические маты (ТЭМы) — опалубки и одеяла, которые в зависимости от основы могут быть не только жесткими, но и мягкими; они применяются с металлической опалубкой. Например, используемые на ряде строек мягкие маты размером 2Х1 м представляют собой запрессованную между двумя слоями сырой резины «змейку» из провода с изоляцией из полиэтилена или поливинилхлорида.

*Сетчатые нагреватели* представляют собой полосы тканых сеток определенной ширины, соединенных между собой, как правило, последовательно с помощью медных шин (рис 8). Материалом для изготовления сетчатых нагревателей служат сетки из латуни, жаропрочного железа, нержавеющей стали, никрома. Полосы сеток

изолируют от щитов опалубки (термоформы) с помощью термостойких теплоизоляционных материалов (листовой асбест и пр.).

*Пластинчатые нагреватели* состоят из двух пластин электризационного материала с зигзагообразно уложенной между ними металлической лентой. Ленты нагревателя укладывают на расстоянии 10 см одна от другой, их ширину принимают в зависимости от токовой нагрузки, напряжения и конструктивных особенностей обогреваемой конструкции.

Возможность изготовления в заводских условиях инвентарных греющих опалубок (что обеспечивает более высокое качество их изготовления, чем в построенных условиях), снижение сроков и трудоемкости при их монтаже и подключении, а также значительное увеличение оборачиваемости опалубки обеспечивают в конечном счете снижение трудоемкости и металлоемкости работ при использовании такого способа электротермообработки бетона.

**Обогрев бетона паром, горячим воздухом или в тепляках.** Метод *обогрева бетона паром* заключается в создании вокруг забетонированной конструкции так называемой паровой рубашки, обеспечивающей требуемые температурно-влажностные условия для ускорения твердения бетона. Конструкцию укрывают ограждением (двумя слоями брезента или инвентарными щитами), под которое подают пар. Паровая рубашка представляет собой полость между ограждением и опалубкой или неопалубленным бетоном, наполненную насыщенным паром низкого давления (0,5...0,7 ат) с максимальной температурой (в зависимости от вида цемента) 70...95 °С. Для создания низкого давления пар высокого давления предварительно пропускают через редуктор, понижающий давление пара.

Процесс обогрева бетона паром включает следующие стадии: разогрев до заданной температуры при скорости подъема температуры не более 5—10 град/ч; изотермический прогрев; остывание при скорости понижения температуры 10 град/ч.

Ограждения паровых рубашек должны быть плотными, малотеплопроводными и отстоять от опалубки или бетона не менее чем на 15 см. Пар в рубашку подают по шлангам. Для равномерного распределения пара в рубашке его вводят через парораспределительный короб.

Метод прогрева в паровых рубашках применяют для выдерживания бетона колонн, ригелей, балок, прогонов, ригелей и плит междуэтажных перекрытий с модулем поверхности  $M_n=10...20 \text{ м}^{-1}$ . При обогреве паром ребристых перекрытий паровые рубашки устраивают

снизу и сверху. Верхнюю паровую рубашку устраивают только после укладки бетона в перекрытие. Пар подают в нижнюю паровую рубашку, в которой на каждые 5...8 м<sup>2</sup> поверхности покрытия делают один ввод. Паровую рубашку для колонн, балок, прогонов, ригелей и арок собирают из инвентарных утепленных щитов. Пар выпускают через каждые 2...3 м по длине балки или прогона и через 3...4 м по высоте колонны в отдельные отсеки паровой рубашки. При прогреве перегородок и стен паровую рубашку устраивают только с одной стороны, противоположной бетонированию. По мере укладки бетонной смеси с другой стороны опалубку наращивают и утепляют. Недостаток паровых рубашек— неравномерность прогрева и большой расход пара, сложность отвода конденсата.

Метод прогрева паровыми рубашками целесообразно применять для массивных конструкций при наличии на строительной площадке достаточного количества дешевого пара и при температуре не ниже —15 °С.

Для воздушно-теплового обогрева используют ограждения, применяемые для образования паровых рубашек, и различного рода обогреватели (электрокалориферы, огневые калориферы, топочные газы и др.). Воздушно-тепловой обогрев бетона основан на явлении интенсивного испарения из бетона излишней воды при повышенной температуре и увеличенной влажности окружающего воздуха в замкнутом пространстве, что создает наиболее благоприятные условия для интенсивного твердения бетона.

При разработке ППР по зимнему бетонированию конструкций необходимо учитывать, что схема движения горячего воздуха должна предусматривать рециркуляцию для снижения расхода тепловой энергии и повышения влажности воздуха. Если ограждения обогреваемого пространства не обеспечивают сохранение в нем испаряющейся из бетона влаги, то для повышения относительной влажности воздуха до 70...90 % в камеру помещают открытые емкости с водой.

Максимальную температуру воздуха и продолжительность воздушно-теплового прогрева для достижения бетоном 50 % прочности от проектной можно принять по данным табл. 4. Режимы обогрева бетона воздухом принимают аналогично режимам электротермообработки бетона.

Обогрев бетона горячим воздухом связан с трудностью обеспечения равномерной температуры на поверхности бетона, кроме

того, необходимо учитывать возможный недобор прочности (до 20 %) бетонами, обогретыми горячим воздухом.

Таблица 4

Температура и продолжительность прогрева бетона

Теплотехнические характеристики	Вид цемента					
	Портландцемент			Шлако- и пущолановый портландцементы		
Температура прогрева, °C	40	60	80	40	60	80
Продолжительность прогрева, ч	20	16	12	24	18	14

При обогреве бетона в тепляках используют обычные бетонные смеси. Температурно-влажностные условия, необходимые для выдерживания бетона конструкций со значительными размерами в плане и многоярусных по высоте расположения блоков бетонирования, иногда создают, устраивая специальные замкнутые ограждения-тепляки. Тепляки устраивают над всей конструкцией или над ее частью в виде металлического или деревянного сборно-разборного инвентарного каркаса, укрытого одним-двумя слоями брезента, полимерной пленки или деревянными щитами с применением в необходимых случаях утеплителей. Используют также палатки больших размеров, надувные конструкции, которые можно монтировать и демонтировать в короткий срок и с минимальными затратами труда.

Ограждения обогреваемого пространства должны иметь хорошую теплоизоляцию и не пропускать влагу из бетона, испаряющуюся при обогреве. Для повышения влажности воздуха в обогреваемом пространстве в тепляках помещают сосуды с водой либо засетонированную конструкцию смачивают водой. Внутри тепляков размещают нагревательные приборы: печи, калориферы и пр.

По конструкции тепляки подразделяют на стационарные объемные и плоские, а также подъемные. Объемный тепляк обычно охватывает всю бетонируемую конструкцию. Возводят тепляк до начала бетонирования конструкций, и его размеры в целях экономии тепла и строительных материалов принимают минимальными. Объемные тепляки применяют обычно при бетонировании туннелей, трубопроводов, фундаментов, опор подпорных стенок и других массивных конструкций, загрузить которые необходимо еще в зимний период. В последние годы успешно применяются так называемые *надувные тепляки*. Ограждающие поверхности таких тепляков устраивают из воздухонепроницаемых материалов и поддерживаются они за счет незначительного избыточного давления внутри тепляка.

При возведении железобетонных дымовых труб, силосов и т. п. применяют *подъемные тепляки*. Подъемный тепляк состоит из ограждения рабочей площадки с установленными на нем электрокалорифером и брезентового покрытия. Тепляк поднимают по мере возведения сооружения. Продолжительность обогрева бетона конструкций в тепляке устанавливают в зависимости от температуры воздуха, вида цемента и требуемой прочности бетона.

Режимы обогрева бетона в тепляках в принципе аналогичны режимам электротермообработки бетона.

### **2.3. Производство работ по бетонированию монолитных конструкций и сооружений в объемно-переставной и скользящей опалубках**

В последние годы в нашей стране все большее распространение получает возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона, осуществляющееся с использованием объемно-переставной и скользящей опалубок.

**Бетонирование в объемно-переставной опалубке.** При возведении зданий с использованием объемно-переставной опалубки осуществляется одновременное бетонирование перекрытий и несущих поперечных стен зданий с помощью инвентарных секций объемно-переставной опалубки, переставляемых с этажа на этаж краном.

**Объемно-переставная опалубка**, применяемая при производстве бетонных работ в зимних условиях, представляет собой пространственную рамную конструкцию, состоящую из трех основных элементов, шарнирно соединенных между собой: термоактивной опалубки перекрытия, термоактивной опалубки стен и тележки.

Опалубку оснащают трубчатыми электрическими нагревателями (ТЭНами), греющими кабелями, коаксиальными и плоскими нагревателями с запрессованной в изоляцию проволокой высокого сопротивления. В основном используют ТЭНЫ, так как они весьма надежны в эксплуатации, устойчивы к вибрации, стабильно потребляют электрическую мощность.

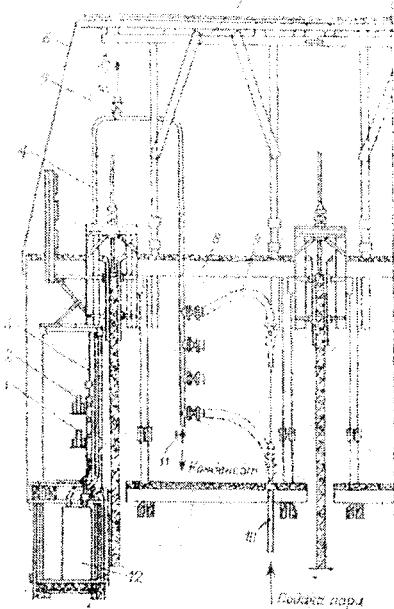
Объемно-переставная опалубка выполняется складной, что обеспечивает удобство ее выкатывания из забетонированной ячейки на монтажные подмости для перестановки краном в новое положение. При возведении зданий и сооружений в объемно-переставной опалубке бетонирование осуществляют поэтажно в такой

технологической последовательности: устанавливают вдоль продольных несущих стен монтажные подмости; монтируют секции термоактивной опалубки стен и перекрытий; устанавливают арматуру стен и перекрытий; укладывают и уплотняют бетонную смесь; осуществляют тепловую обработку уложенного бетона.

Для обогрева бетона перекрытий на них сверху накладывают термоактивные щиты или электрические маты. Конструкция термоактивных щитов аналогична конструкции щитов опалубки.

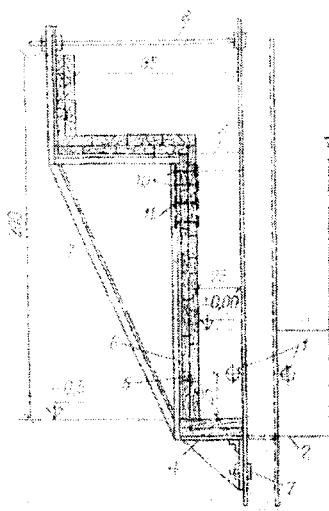
Управление процессом термообработки бетона осуществляют с единого пульта . После его установки соединительные кабели со штепсельными разъемами подключают ко всем щитам опалубки, электрическим матам и датчикам температуры. При включении рубильника напряжение подается одновременно на силовые и сигнальные цепи пульта. Температуру в каждом щите проверяют переключением датчиков, режим прогрева бетона автоматически регулируется по наиболее характерной точке. После окончания прогрева бетона по заданному режиму установка отключается. Термоактивную опалубку обычно снимают через 6...20 ч после начала прогрева уложенной бетонной смеси.

**Бетонирование в скользящей опалубке.** Скользящую опалубку используют для бетонирования высоких сооружений, имеющих постоянное или малоизменяющееся по высоте сечение (высотные здания различного назначения, башни, резервуары, трубы, силосы и пр.). Термообработку бетона часто осуществляют с использованием тепляков и шатров, которые устанавливают над рабочим полом и наружными подмостями скользящей опалубки (рис. 9.1). Ниже подмостей устанавливают фартуки. Зазоры между подмостями и забетонированными стенами уплотняют, а проемы в наружных стенах заделывают. Рабочий пол и настил подмостей также уплотняют. Для подачи бетонной смеси, арматуры и других материалов в тепляке устраивают закрывающиеся люки. Подогревают бетон в основном горячим воздухом, который нагревается калориферами различных систем и подается внутрь тепляка. Кроме того, нагревают щиты опалубки. При необходимости дополнительный прогрев бетона можно осуществлять в термоактивной опалубке с различного рода нагревателями, установленными ниже щитов опалубки. Нагревателями могут быть паровые регистры, инфракрасные излучатели, радиационно-конвективные греющие установки.



**Рис. 9.1** Схема установки нагревательных приборов на скользящей овалубке (паровых регистров на подвесных подмостях)

— изображение; 3 — подвеска труб; 4 — водородная часть горелки; 5 — вентиль для удаления воздуха; 6 — ограждение топкии; 7 — рама топкии; 8 — теплоизоляция рабочего поля; 9 — паропроводный рукав; 10 — теплоизоляция части главного стояка; 11 — вентиль для сброса конденсата; 12 — установка для подачи конденсата



**Рис. 9.2** . Схема опалубочного щита водонепроницаемой опалубки ограждка

1 — паровые трубы Ø 86 мм; 2 — квадратная внутренняя опалубка; 3, 8, 10 — стальные болты; 4 — листовая сталь; 5 — бронзовый; 6 — доски землянойной 6 см; 7 — рисковое; 9 — временная распорка; 11 — нивелир

При выборе системы прогрева бетона в скользящей опалубке предпочтение отдают применению электрических нагревателей ввиду малых затрат на их монтаж и простоты регулирования прогрева, так как паровые нагревательные системы очень неудобны из-за их громоздкости.

Используют также различные комбинированные методы термообработки. При этом принимают меры, исключающие пересушивание бетона, особенно при воздействии лучистой энергии непосредственно на бетон. Для этого бетон закрывают защитными материалами и создают герметично закрытые греющие полости, а

воздух в тепляках увлажняют, пропуская его через увлажнительные камеры.

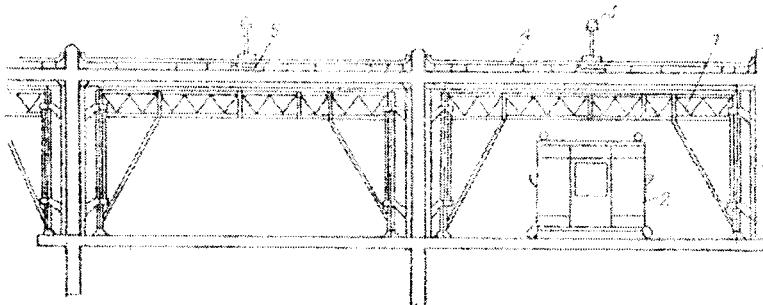


Рис. 10 Схема подключения щитов объемно-переставной опалубки при прогреве бетона

1 — щиты опалубки; 2 — пульт управления; 3 — сигнальные фонари; 4 — электрические ящики; 5 — датчики температуры

Во время бетонирования контролируют температуру, стремясь к тому, чтобы температура укладываемой бетонной смеси была не ниже 10°C; температура воздуха в тепляке была бы в пределах 15...20 °C; температура бетона, выходящего из зоны прогрева, не превышала 20 °C; скорость подъема температуры — 8...10 град/ч, а скорость остывания не более 15 град/ч. Особое внимание обращают на равномерность температуры как внутри тепляка, так и в теле бетона. Для достижения равномерного температурного поля прогрев рекомендуется вести с двух сторон.

Кроме того, при бетонировании конструкций в скользящей опалубке в зимних условиях учитывают некоторые специальные требования к бетонной смеси: для обеспечения необходимой плотности бетона водоцементное отношение должно быть не более 0,5 для районов с суровым климатом; регулирование сроков схватывания бетонной смеси может производиться путем применения ускорителей схватывания или пластифицирующих добавок; консистенция применяемой бетонной смеси должна назначаться в зависимости от методов ее уплотнения; при уплотнении вибраторами желательно, чтобы она имела осадку конуса 7...8 см, при трамбовании вручную — 10...12 см.

Режимы термообработки бетона выбирают с учетом состава бетона, необходимой его прочности и скорости подъема опалубки. Расчетную скорость движения опалубки и режимы прогрева уточняют по результатам лабораторных испытаний.

## **2.4. Выбор метода зимнего бетонирования**

При планировании производства работ применяемый метод зимнего бетонирования выбирают заранее до наступления зимних условий, с тем, чтобы можно было заблаговременно подготовиться к его осуществлению. Для этого уточняют объем и график работ, подлежащих выполнению в зимних условиях, и предварительно намечают метод производства работ по главнейшим сооружениям и конструкциям. Одновременно принимают решение о методах прогрева материалов и утепления бетонного узла или завода. Предварительно определяют потребности в тепле для различных нужд и в топливе (энергии) для бесперебойной работы обогревательных приборов.

Выбор метода зимнего бетонирования зависит от ожидаемых температур наружного воздуха, вида применяемых цементов, наличия на строительстве источников тепла, химических добавок, размеров и назначения конструкций (с учетом возможности изготовления их на заводе или полигоне). В процессе выбора методов должны быть учтены их сравнительная экономичность и простота выполнения. Наряду с требованиями к прочности бетона к моменту загружения конструкций при зимнем производстве работ всегда устанавливают требования по выдерживанию бетона до возможного его замораживания. При выборе методов выдерживания бетона из числа технически возможных в первую очередь рассматривают вероятность использования наиболее экономичного метода «термоса». Если при использовании этого метода невозможно получить требуемую прочность бетона в заданные сроки, последовательно рассматривают целесообразность применения следующих методов: «термоса» с применением противоморозных добавок, «горячего термоса», электротермообработки, обогрева паром, горячим воздухом или в тепляках.

Бетонирование сооружений и конструкций в зимних условиях обычно вызывает дополнительные затраты на мероприятия по созданию надлежащих условий твердения бетона и достижения им необходимых прочностных характеристик. Поэтому необходимость зимнего бетонирования всегда следует экономически обосновывать.

Окончательный выбор метода зимнего бетонирования производят на основе расчета нарастания прочности при конкурирующих методах бетонирования, энергоресурсов, а также экономической эффективности решения, так как многие методы неодинаково эффективны и при использовании опалубок различного типа.

Поскольку производство бетонных и железобетонных работ связано с земляными, каменными, монтажными и другими видами строительно-монтажных работ, то выбор метода бетонирования в зимних условиях должен быть согласован с общей технологией возведения здания или сооружения, и производиться с учетом выполнения других видов работ.

*Критериям оценки эффективности метода зимнего бетонирования являются приведенные к 1 м<sup>3</sup> уложенного бетона затраты по всем имеющимся статьям и экономический эффект от сокращения продолжительности строительства объекта, полученный за счет использования целесообразного способа производства работ.*

Удорожание зимнего производства работ сопоставляют с лимитируемым.

При сравнении вариантов зимнего бетонирования по экономической эффективности учитывают следующее:

- затраты бетонщиков обычно превышают указанные в ЕНИРах, так как темп укладки бетонной смеси при термообработке в большинстве случаев ниже нормируемого и лимитируется энергоемкостью метода, а не возможной выработкой на бетонных работах;
- использование электрической энергии имеет ограничения по времени, что отражается на графике термообработки;
- стремление повысить оборачиваемость опалубки в пределах одного объекта при малых объемах бетонируемых конструкций приводит к значительному увеличению продолжительности производства бетонных работ;
- время выдерживания массивных конструкций в опалубке определяется не только остыванием периферийного слоя бетона до —5°C, но и перераспределением температур по сечению с заданным градиентом, вследствие этого перестановка опалубки выполняется в замедленном ритме.

При расчете приведенных затрат на зимнее бетонирование необходимо учитывать увеличение стоимости работ на каждом из следующих технологических переделов, изменяющихся в вариантах: 1) приготовление бетонной смеси; 2) установка лесов и опалубки; 3) укладка и электролизоляция арматуры; 4) транспорт бетонной смеси; 5) переработка бетона на объекте; 6) термообработка и уход за бетоном в процессе выдерживания; 7) распалубка конструкции; 8) утепление и пароизоляция конструкций после распалубки. Если бетонирование не определяет продолжительности возведения объекта, выбранный по

минимуму затрат метод будет оптимальным.

Когда бетонирование находится на «критическом пути», оценивая целесообразность применения того или иного метода производства работ в зимних условиях, необходимо учитывать, как он влияет на продолжительность строительства объекта. Если метод позволяет сократить сроки производства бетонных работ, экономическая эффективность определяется по формуле

Первый член формулы показывает экономический эффект от сокращения продолжительности строительства по сравнению с эталонным вариантом; второй — удорожание при использовании предлагаемого способа бетонирования по сравнению с эталонным.

Вариант, имеющий максимальный экономический эффект Э<sub>мах</sub>, принимается за окончательный. Когда в различных вариантах Э<sub>мах</sub> одинаков, следует принимать тот способ производства работ, где минимальны приведенные затраты.

## **2.5. Производство работ по омоноличиванию и термообработке стыков сборных железобетонных конструкций в зимних условиях**

Работы по омоноличиванию стыков конструкций, возводимых в зимних условиях, несмотря на их незначительный объем, весьма трудоемки и сложны. Сопряжение стыков сборных железобетонных элементов, имеющих конструктивное значение, в зимних условиях осуществляют путем сварки закладных металлических деталей с последующим омоноличиванием или сварки гибкой арматуры, заполнения стыка бетонной смесью и ее обогревом.

При омоноличивании стыков объем необходимой бетонной смеси или раствора стремятся предусматривать минимальным, а их твердение обеспечивать простыми и экономичными методами

Во всех случаях заделки стыков в зимних условиях необходимо приготавливать бетонные смеси или растворы на быстротвердеющих портландцементах или портландцементах марки 500 и выше. Класс бетона или марка раствора указывается в проекте. Стыки задельвают бетонной смесью или раствором после проверки правильности установки конструкций, приемки сварных соединений и выполнения анткоррозионной защиты. Прочность бетона или раствора в стыках ко времени распалубки должна соответствовать указанной в проекте. Перед загружением стыка расчетной нагрузкой

прочность бетона должна быть не ниже проектной. Все особенности ведения работ по омоноличиванию и термообработке стыков сборных и сборно-монолитных конструкций в зимних условиях указываются в проекте производства работ.

**Безобогревное моноличивание.** Безобогревный метод основан на применении бетонных смесей с противоморозными добавками. Омоноличивать стыки бетонными смесями с противоморозными добавками можно при температуре не ниже -20... -15°C. Этот метод отличается значительной продолжительностью нарастания прочности бетона стыка; его недопустимо применять в зонах буждающих токов и переменных магнитных полей. Кроме того, имеются ограничения по составу бетонных смесей. При омоноличивании стыков сборных железобетонных конструкций не допускается применять бетонные смеси со следующими противоморозными добавками:  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$  — в случае, если имеются выпуски арматуры или металлические закладные части без специальной защиты.

Перед укладкой бетонных смесей с противоморозными добавками поверхности полостей стыков и арматуру очищают от снега и наледи (отогрев не производят). Замораживания бетона стремятся избегать до приобретения им 50 % проектной прочности.

**Омоноличивание стыков с искусственным прогревом.** Технология заделки стыков в зависимости от их конструкции весьма разнообразна. Чтобы обеспечить требуемое сцепление бетона со стыкуемыми элементами и с металлом при омоноличивании стыков сборных и сборно-монолитных конструкций, перед укладкой бетонной смеси поверхности полостей стыков и арматуру очищают от снега и наледи, отогревают до расчетной температуры (но не менее чем до +15 °C) на заданную глубину. Отогревают их электропрогревом, с помощью греющей опалубки, инфракрасными лучами, паропрогревом или др.

Омоноличивать стыки в зимних условиях возможно с применением различных способов электротермообработки (при температуре -25 °C и ниже применяют только электротермообработку бетона в стыках). Омоноличивать стыки при электротермообработке можно при любой температуре, которую можно допустить исходя из требований охраны труда строителей.

Для термообработки стыков применяют трубчатые нагреватели (ТЭНЫ) — источники инфракрасного излучения. ТЭНЫ помещают в короба — металлическую опалубку для заделки стыков. Стенки коробов, окрашенные алюминиевой огнестойкой краской, отражают инфракрасные лучи.

Стыки инфракрасных конструкций (колонны, балки), насыщенные арматурой и закладными деталями, омывают с индукционным прогревом.

Наиболее эффективным по сравнению с другими способами электротермообработки стыков является электродный прогрев бетона с помощью стержневых, плавающих и струнных электродов. Электропрогрев подливок под колонны в стаканах фундаментов, а также в горизонтальных стыках между фундаментами или стеновыми блоками, панелями рекомендуют осуществлять с помощью стержневых электродов без предварительного отогрева промороженных конструкций. Бетонную смесь и раствор укладывают между установленными разно-фазовыми электродами. После уплотнения включают ток и разогревают смесь, при этом отогревается промороженное основание. Температуру поднимают равномерно до 60...80 °C.

Для обогрева стыка плиты перекрытия с балкой предварительно прогревают стыкуемые элементы до температуры 25...30°C. Обогрев производят на глубину не менее 10 см в течение 5 ч при температуре обогреваемой среды от 60 до 80 °C. Отогрев стыков плиты перекрытия с балкой может быть выполнен под укрытием путем продувания полости нагретым воздухом.

Для заделки стыков применяют смеси, обладающие подвижностью 8...10 см. При укладке смеси в стык ее обязательно тщательно уплотняют вибрированием. Температура смеси в момент укладки (кроме смесей с противоморозными добавками) не должна быть ниже 20°C.

## **2.6. Особенности производства бетонных и железобетонных работ в зоне вечномерзлых грунтов**

Производство работ в зоне вечномерзлых грунтов, так же как и в зимних условиях, определяется требованиями СНиП 111-15—76 «Бетонные и железобетонные конструкции монолитные» и ведется по специально разработанным *технологическим картам и схемам*, содержащим дополнительные технические решения по технологии приготовления, транспортирования и укладки бетонной смеси, а также выдерживания бетона.

Производство бетонных работ в зоне вечномерзлых грунтов имеет некоторые особенности по сравнению с производством бетонных работ в зимних условиях. Эти особенности обусловлены:

наличием отрицательных температур в вечномерзлых грунтах, вследствие чего при бетонировании фундаментов и других заглубленных конструкций необходимо обеспечить 100%-ную прочность бетона за время его выдерживания; более длительными периодами стабильных низких отрицательных температур наружного воздуха и возможных сильных ветров.

При этом может иметь место один из двух принципов использования вечномерзлых грунтов в качестве основания зданий и сооружений:

принцип I — грунты основания используются в мерзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации зданий и сооружений;

принцип II — грунты основания используются в оттаивающем или оттаявшем состоянии.

Принцип использования грунтов в качестве основания определяет приемы производства бетонных работ.

Для выдерживания бетона рекомендуется в основном метод «термоса» с химическими добавками — ускорителями твердения бетона. Лишь при пластично-мерзлых грунтах основания в случае использования их по принципу I целесообразно естественное твердение бетона, приготовленного на высокомарочном портландцементе (марок 500...600). Вместе с тем для сокращения сроков восстановления мерзлотного режима основания ускорение твердения бетона должно осуществляться при минимальном внесении тепла.

Применение паропрогрева бетона в вечномерзлых грунтах не допускается, а одностадийный электропрогрев неэкономичен. Так, при электропрогреве бетона свайных фундаментов на всю глубину тела сваи в течение 3 суток при достижении прочности бетона к концу прогрева 70 % марочной появляются значительные затраты электроэнергии и труда, перерасход материалов; в то же время на восстановление естественного состояния грунта вокруг конструкции удлиняется. Метод бетонирования и выдерживания конструкций, соприкасающихся с вечномерзлыми грунтами, выбирают в соответствии с требованиями СНиП П-18—76 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования». При выборе какого-либо из методов выдерживания бетона в вечномерзлых грунтах надо учитывать мерзлотно-грунтовые и климатические условия, а также сроки загружения конструкций проектной нагрузкой, которые зависят от длительности сооружения надземной части строящегося объекта и составляют, в зависимости от этажности, для гражданских сооружений 1,5...4,5 месяца, а для промышленных сооружений - 3...6 месяцев.

Поэтому достижение проектной марки бетона в фундаментах на вечномерзлых грунтах целесообразно назначать к окончанию строительных работ на возведимом сооружении, так как бетон в контакте с вечномерзлым грунтом, имеющим температуру до -2°C, продолжает твердеть и при остывании ниже -5°C.

При выборе вида и назначении дозировок химических добавок учитывают возможность миграции солей из бетона в грунт. При нескальных грунтах в качестве ускорителей твердения бетона рекомендуется применять добавки. Требуемую прочность бетона для подбора составов получают делением заданной проектной марки бетона на технологический коэффициент, величина которого, приводимая в специальной технической литературе, в зависимости от дозировки и вида добавки находится в пределах от 0,6 до 1,1.

Состояние основания, на которое укладывают бетонную смесь, а также способ укладки с последующим выдерживанием бетона методом «термоса» должны исключать возможность замерзания бетона в контакте с основанием и деформации основания.

В зависимости от принятого принципа использования вечномерзлых грунтов в качестве основания в необходимых случаях производят его предпостроечную подготовку в соответствии с ПОР. При использовании грунтов по I-ому принципу промораживают отдельные талые участки и т. п. Для уменьшения протаивания основания допускается устройство теплоизолирующей прослойки по подготовке из сыпучего песка или деревянного бруса хвойных пород.

При использовании грунтов по принципу II может иметь место предпостроечное оттаивание грунтов на определенную глубину. Мерзлые пучинистые грунты и промерзшее бетонное основание рекомендуется отогревать до положительных температур: ранее уложенный бетон — на глубину 300 мм, а грунты — на глубину 500 мм, причем последние надо защищать от промерзания до укладки бетонной смеси.

Отогревание грунтов и ранее уложенного бетона выполняют способами, не вызывающими снижения качества старого бетона в стыке: в тепляках из брезента, полиэтилена, фанеры которые обогреваются электрокалориферами, воздухоподогревателями; электропрогревом при помощи вертикальных или горизонтальных электродов. При этом работы по отогреву оснований на глубину более 300 мм производят по индивидуальному проекту, разрабатываемому проектной организацией, о чём указывают в ППР. В процессе отогревания осуществляют производственный контроль за

температурным режимом основания с помощью проволочных термометров сопротивления, устанавливаемых в скважины в центральной части отогреваемого участка и в одном из его углов.

Подготовленное основание должно отвечать требованиям, предъявляемым к основаниям при производстве бетонных работ в зимних условиях. Приступают к производству бетонных работ в вечномерзлых грунтах лишь при соответствии мерзлотно-грунтовых условий основания проектным.

При устройстве монолитных бетонных фундаментов на вечной мерзлоте независимо от принципа использования грунтов в качестве основания определяют величину *прослойки протаивания*, время замерзания бетона и его прочность к моменту замерзания. Кроме того, при использовании грунтов в качестве основания по принципу I дополнительно определяют время и условия смерзания бетона с грунтом по аналитическим формулам, приводимым в специальной справочной литературе.

Работы по бетонированию конструкций производят с учетом теплового взаимодействия твердеющего бетона с вечномерзлым грунтом, так как непринятие во внимание этого фактора может привести к изменению мерзлотно-грунтовых условий основания и, как результат,— к авариям и повреждениям конструкций.

Бетонирование начинают сразу же после окончания подготовки котлована и стремятся проводить его без перерыва с тщательным виброуплотнением бетонной смеси. Послойную укладку бетонной смеси ведут такими темпами, чтобы время перекрытия каждого слоя не превышало 2,5...3,0 ч. Послойное бетонирование массивных монолитных конструкций по методу «термоса» ведут так, чтобы температура бетона в уложенном слое до перекрытия его последующим не падала ниже предусмотренной по расчету.

При бетонировании свайных фундаментов бетонную смесь в пробуренные и подготовленные скважины в зависимости от их глубины рекомендуется укладывать:

с помощью хобота или виброХобота - для свай с уширенной пятой, а также для буронабивных свай с глубиной заложения до 10 м;

с использованием вибробункера или вертикально перемещающейся трубы диаметром 180... 200 мм - при устройстве свай с глубиной заложения более 10 м.

В осенне-зимний период части свай, выступающие из грунта, рекомендуется подвергать электропропреву.

Бетонные и железобетонные конструкции можно загружать после достижения бетоном проектной прочности, а также после восстановления предусмотренного проектом мерзлотного режима грунта основания. Несущую опалубку разрешается снимать, если фактическая нагрузка на фундамент: выше 70 % нормативной после достижения 100 % проектной прочности бетона; менее 70 % после достижения 80 % проектной прочности бетона. Строительно-монтажные работы разрешается выполнять при прочности бетона 70 % проектной с учетом того, что фактическая нагрузка на фундамент не должна превышать 70 % расчетной.

### **3. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ПРИЕМКА БЕТОННЫХ РАБОТ**

При производстве бетонных и железобетонных работ в зимних условиях контролируют:

1. *Приготовление бетонной смеси.* Проверяют точность дозировки, порядок загрузки в смеситель компонентов бетонной смеси, температуру нагрева воды и заполнителей бетонной смеси, продолжительность перемешивания, подвижность и температуру бетонной смеси при выгрузке из бетоносмесителя (через 2 ч), а также концентрацию рабочих растворов противоморозных добавок. Для контроля прочности бетона изготавливают образцы — кубы. Количество и сроки их испытаний устанавливает строительная лаборатория в соответствии с указаниями СНиП 111-15—76.

2. *Качество основания, опалубки и точность установки арматуры.* Основание должно соответствовать требованиям проекта, на нем не должно быть снега, наледи. В случае необходимости отогрева основания контролируют выполнение этих работ. О готовности основания под укладку бетонной смеси составляют акт. При производстве опалубочных работ контролируют соответствие размеров сечений, длины и ширины всех элементов возводимых конструкций, включая теплоизоляцию, проектным. Отклонения опалубки от проектных размеров при установке не должны превышать допускаемые главой СНиП 111-15—76. Отклонения арматуры при ее установке не должны превышать величины, приведенных также в главе СНиП 111-15—76. При наружном осмотре установленной арматуры сверяют с проектом количество и диаметр стержней, а также правильность их расположения. Правильность положения арматурных

каркасов и их размеров проверяют инструментами. Установленную в проектное положение арматуру принимают по блокам, участкам и т.п., подготовленным для бетонирования. Составляют Акт приемки арматурных работ, где указывают номера рабочих чертежей, по которым выполнялись работы, отмечают все отступления от чертежей, а также дают общую оценку качества работ и разрешение на бетонирование.

3. *Качество бетонной смеси при ее транспортировании и подаче, укладка и уплотнение бетонной смеси.* На крупных объектах, где одновременно ведут укладку различных бетонных смесей, во избежание их пересортицы на каждую доставленную партию смеси необходимо иметь паспорт. В паспорте указывают: марку смеси, ее подвижность, вид цемента, крупность заполнителей и объем. При транспортировании смеси контролируют выполнение мероприятий по укрытию, утеплению и обогреву транспортной и приемной тары — 1 раз в смену. При выгрузке бетонной смеси из транспортных средств контролируют ее температуру и подвижность, в случае предварительного электроразогрева смеси — температуру смеси каждой разогреваемой порции. Особое внимание уделяют послойной укладке и уплотнению бетонной смеси. При бетонировании проверяют температуру уложенного бетона, соответствие гидроизоляции и теплоизоляции ненапалубленных поверхностей требованиям технологических карт. Контроль за уплотнением осуществляют визуально судя по степени осадки смеси, прекращению выхода из нее пузырьков воздуха и появлению цементного молока.

В последние годы для этой цели стали применять плотномеры, основанные на принципе изменения степени поглощения радиоактивного излучения материалами различной плотности, а также приборы, основанные на изменении омического сопротивления бетонной смеси при изменении ее плотности

4. *Выдерживание бетона.* В процессе выдерживания контролируют температуру бетона при применении методов «термоса», предварительного электроразогрева бетонной смеси, с парообогревом в тепляках через каждые 2 ч в первые сутки, не реже 2-х раз в смену в последующие трое суток и 1 раз в сутки — в остальное время выдерживания; при использовании бетона с противоморозными добавками — 3 раза в сутки до приобретения им заданной прочности; при электротермообработке бетона в период подъема температуры со скоростью до  $10^{\circ}\text{C}$  в 1 ч — через 2 ч, в дальнейшем — не реже 2 раз в

смену. По окончании выдерживания бетона и распалубки конструкции до приобретения бетоном требуемой прочности контролируют температуру воздуха не реже 1 раза в смену. По окончании выдерживания бетона и распалубки конструкции до приобретения бетоном требуемой прочности контролируют температуру воздуха не реже 1 раза в смену.

Для измерения температуры бетона применяют дистанционные методы с использованием температурных скважин, термопар термометров сопротивления либо технические термометры. Температуру бетона измеряют на участках, подверженных наибольшему охлаждению (углах, выступающих элементах) или нагреву (у электродов, на контактах с термоактивной опалубкой на глубине 5 см, а также в ядре массивных блоков), в точках, указываемых в технологических картах. Результаты измерений записывают в Журнал ухода за бетоном.

5. *Термообработка бетона.* В процессе электротермообработки бетона контролируют напряжение и силу тока на низкой стороне питающего трансформатора не реже двух раз в смену. Контроль прочности бетона осуществляют в соответствии с указаниями раздела 4 СНиП 111-15—76 и испытанием дополнительного числа образцов, изготовленных у места укладки бетонной смеси, в следующие сроки:

- при выдерживании по методу «термоса», при применении бетона с противоморозными добавками, с предварительным электроразогревом смеси — три образца после снижения температуры бетона до расчетной конечной, три — после достижения бетоном конструкции положительной температуры и 28-суточного выдерживания образцов в нормальных условиях, три — перед загружением конструкции нормативной нагрузкой. Образцы, хранящиеся на морозе, перед испытанием надо выдерживать 2...4 ч для оттаивания при температуре +15...20 °C;

- при обогреве паром и теплым воздухом — три образца по окончании обогрева и три — после 28-суточного выдерживания в нормальных условиях.

При всех методах зимнего бетонирования контроль прочности бетона следует осуществлять неразрушающими методами или испытанием выскрепленных кернов, если контрольные образцы не могут быть выдержаны при режимах, аналогичных режимам выдерживания конструкций.

## **4. ОХРАНА ТРУДА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ И ЗОНЕ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ**

Специфика мероприятий по охране труда при производстве бетонных и железобетонных работ в зимних условиях и зоне вечномерзлых грунтов обусловлена самой технологией производства работ, характеристиками применяемых машин, механизмов, оборудования, инструментов, а также климатическими и метеорологическими условиями.

При производстве бетонных работ в зимних условиях появляются дополнительные факторы, вызванные спецификой производства работ в этих условиях, и представляющие дополнительные источники опасности для труда рабочих.

К ним относят:

- повышенное по сравнению с обычными условиями, напряжение тока, подающегося на строительную площадку к месту бетонирования конструкций (до 380 В);
- использование на строительной площадке пара;
- наличие различных химических добавок в составе бетонной смеси;
- образование снежных заносов на территории строительной площадки и наледей на трапах, лесах и пр.;
- ухудшение видимости на строительной площадке из-за короткого светового дня и при осадках в виде снега;
- низкие температуры воздуха;
- дополнительные нагрузки на леса, подмости из-за образования на них наледей и повышенных ветровых нагрузок.

В целях обеспечения безопасного производства бетонных работ в зимних условиях при разработке проектно-технической документации решают следующие вопросы, учитывающие специфику производства работ; дают обоснование методу выдерживания бетона; делают поверочные расчеты электро- и пароснабжения, необходимые для производства работ; в случае, если заполнители и вода прогреваются на строительной площадке, делают расчет необходимых площадей складов и мощностей соответствующего оборудования. На строигенплане наносят ситуацию, которая должна быть на момент производства железобетонных работ. В технологической карте дают указания по обеспечению безопасных условий производства работ и всех работ, связанных с приемом и укладкой бетонной смеси, утеплением и выдерживанием бетона.

**Опалубочные работы.** Заготовку элементов опалубки из-за погодных условий рекомендуется осуществлять в теплых цехах, с тем чтобы на строящемся объекте производить лишь монтаж этих элементов.

**Арматурные работы.** Изготавливать арматурные каркасы рекомендуется в арматурных цехах, а не на строительной площадке. Из-за низких температур наружного воздуха сборка каркасов на месте работ не оправдана ни с точки зрения экономики, ни с точки зрения техники безопасности. Так как металл хладноломок, то механические методы натяжения арматуры в зимних условиях (при низких температурах) небезопасны, в связи с чем целесообразно использовать электротермический метод натяжения арматурных стержней, соблюдая меры безопасности против ожогов и поражения током.

**Бетонные работы.** При использовании в качестве противоморозной добавки поташа приготавлять и хранить концентрированный раствор следует в деревянных или стальных ёмкостях. Для усиленного воздухообмена в этом помещении должна быть устроена приточно-вытяжная вентиляция. Рабочих, приготавляющих концентрированные растворы поташа, необходимо обеспечить комбинезонами, резиновыми сапогами и перчатками. Запрещается допускать к приготовлению водных растворов поташа рабочих с поврежденным кожным покровом (царапинами, ссадинами и т. п.). Работы по приготовлению, хранению и применению растворов с добавкой поташа следует производить под наблюдением специально назначенного технического работника.

При электроразогреве бетонной смеси корпуса бункеров, бадей и кузовов бетоновозов надо заземлять. Площадки, где осуществляется электроразогрев бетонной смеси, необходимо ограждать. Электропрогрев бетонных и железобетонных конструкций следует производить при напряжении тока не выше 127 В. В случаях прогрева неармированного бетона, а также отдельно стоящих железобетонных конструкций, не связанных общим армированием с соседними участками, можно использовать напряжение 220 В. При применении для электрообогрева внешних электронагревателей при условии невозможности замыкания на арматуру разрешается использовать напряжение тока до 380 В. Пользоваться напряжением тока более 380 В для электропрогрева бетона запрещается.

В пределах зоны электропрогрева нужно устанавливать сигнальные лампочки, загорающиеся при подаче напряжения на линию. Подключение этих ламп должно осуществляться таким образом,

чтобы в случае их перегорания происходило автоматическое отключение подачи напряжения на линию. Незабетонированную арматуру, связанную с прогреваемым участком, необходимо обязательно заземлять. Измерять температуру бетона, находящегося под напряжением, можно только в резиновой обуви и перчатках. При этом замеры рекомендуется делать одной рукой (вторая рука должна быть свободной). Опираться свободной рукой на конструкцию запрещается. При электропрогреве конструкции в термоактивной опалубке прикасаться к пей запрещено.

При применении бетонов с противоморозными добавками следует учитывать их вредное влияние на организм человека и специфические требования при их хранении. Так, добавки нитрата кальция (НК) и нитрит-нитрат-хлорида кальция (ННХК) не требуют специальных мер защиты и могут храниться в металлических емкостях из нелигированной стали. Мочевина имеет температуру вспышки 182°C, хранить ее можно в помещениях с несгораемыми стенами не ниже I степени огнестойкости. При тушении мочевины надо использовать химическую и воздушно-механическую пену, водяной пар и углекислоту.

Нитрит натрия — ядовитое вещество, попадание которого в организм человека приводит к отравлению, опасному для жизни. В помещениях, где находится кристаллический нитрит натрия, не допускаются курение, работы открытым пламенем, хранение кислот и растворов с кислой средой. При взаимодействии с кислотами и растворами, имеющими кислую среду, образуются ядовитые газы окиси и двуокиси азота. Приготовление водных растворов нитрита натрия необходимо производить с соблюдением специально разработанных мер охраны труда. К работе с нитритом натрия и поташом не допускаются лица: моложе 18 лет; не прошедшие медицинского освидетельствования и специального обучения; имеющие поражение кожного покрова, век, глаз, слизистых оболочек. Рабочие снабжаются специальной одеждой. Нитрит натрия вызывает головную боль, боли в конечностях, воспаление на коже кистей рук и стоп с пузырьковыми высыпаниями, трещинами, нагноениями. При отравлении нитритом натрия человека немедленно надо эвакуировать в больницу. До прибытия врача пострадавшего необходимо уложить в проветриваемом помещении и дать выпить два-три стакана чистой воды комнатной температуры. Поташ вызывает раздражение дыхательных путей и желудочно-кишечные заболевания.

## Литература

1. Березовский Б.И. Строительное производство в условиях севера. Л.: Стройиздат, 1982 г.
2. Березовский Б.И., Васьковский А.П. Проектирование и строительство зданий в условиях сурового климата и вечномерзлых грунтов. Л.: Стройиздат, 1977 г.
3. Бессор Я.Р. Методы зимнего бетонирования. М.: Стройиздат, 1976г.
4. Миронов С.А. Зимнее бетонирование и тепловая обработка бетона. М.: Стройиздат, 1975 г.
5. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат. 1975 г.
6. Афанасьев А.А. Технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона М.В.Ш. 1988г.

Св. план 2010 г., поз. 58

Добшиц Лев Михайлович

Тармосин Константин Васильевич

Бетонирование строительных конструкций в зимних условиях

Учебное пособие для выполнения курсового и дипломного

проектирования для студентов специальности 270102

---

Подписано к печати -30.04.10.

Усл.-печ. -4,25

Формат 60\*84\*1/16

Тираж - 150 экз.

Заказ № 304.

---

127994, Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9.

Типография МИИТа