

# ТИПОВАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА (ТТК)

## ЭЛЕКТРОПРОГРЕВ БЕТОНА

### 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Типовая технологическая карта разработана на электропрогрев бетона.

1. Электропрогрев применяется при бетонировании конструкций при температуре наружного воздуха ниже  $-5^{\circ}\text{C}$ , а так же при положительных ("плюсовых") температурах наружного воздуха, когда имеется необходимость резко ускорить процесс бетонирования здания или сооружения. Как правило, целью электропрогрева является получение 50% марочной прочности бетона по окончании электропрогрева.

При отрицательных температурах не прореагировавшая с цементом вода переходит в лед и не вступает в химическое соединение с цементом. В результате этого прекращается реакция гидратации и, следовательно, бетон не твердеет. Одновременно в бетоне развиваются значительные силы внутреннего давления, вызванные увеличением (примерно на 9%) объема воды при переходе ее в лед. При раннем замораживании бетона его неокрепшая структура не может противостоять этим силам и нарушается. При последующем оттаивании замерзшая вода вновь превращается в жидкость и процесс гидратации цемента возобновляется, однако разрушенные структурные связи в бетоне полностью не восстанавливаются.

Замораживание свежееуложенного бетона сопровождается также образованием вокруг арматуры и зерен заполнителя ледяных пленок, которые благодаря притоку воды из менее охлажденных зон бетона увеличиваются в объеме и отжимают цементное тесто от арматуры и заполнителя.

Все эти процессы значительно снижают прочность бетона и его сцепление с арматурой, а также уменьшает его плотность, стойкость и долговечность.

Если бетон до замерзания приобретает определенную начальную прочность, то все упомянутые выше процессы не оказывают на него неблагоприятного воздействия. Минимальную прочность, при которой замораживание для бетона не опасно, называют критической.

Величина нормируемой критической прочности зависит от класса бетона, вида и условий эксплуатации конструкции и составляет: для бетонных и железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой-50% проектной прочности для В7,5...В10, 40% для В12,5... В25 и 30% для В 30 и выше; для конструкций с предварительно напрягаемой арматурой -80 % проектной прочности; для конструкций, подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию или расположенных в зоне сезонного оттаивания вечномерзлых фунтов,-70%

проектной прочности; для конструкций, нагружаемых расчетной нагрузкой, -100% проектной прочности.

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).

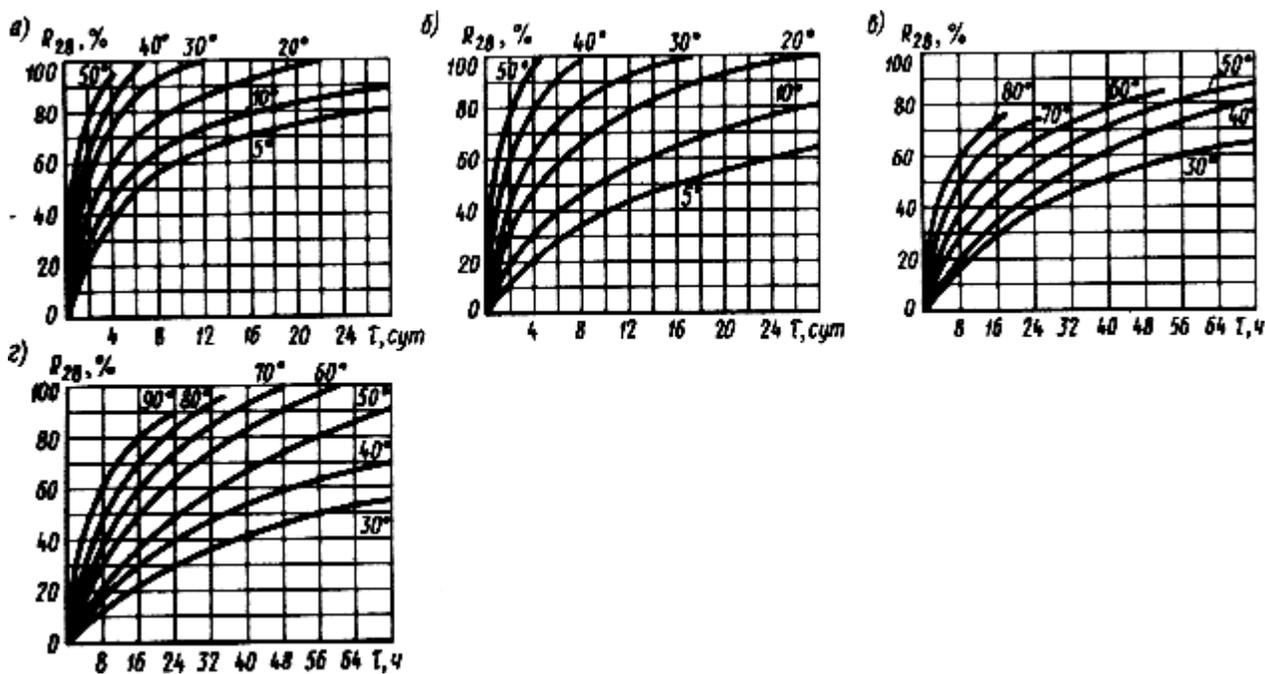


Рис.1. График нарастания прочности бетона:

а - при температуре до 50° С на портландцементях М400...500;

б- то же, на портландцементях М300...400;

в - при прогреве на портландцементях М400...500;

г - то же, на шлакопортландцементях М300...400

Поэтому при бетонировании в зимних условиях необходимо создать и поддерживать такие температурно-влажностные условия, при которых бетон твердеет до приобретения или критической, или заданной прочности в минимальные сроки с наименьшими трудовыми затратами. Для этого применяют специальные способы приготовления, подачи, укладки и

выдерживания бетона.

При приготовлении бетонной смеси в зимних условиях ее температуру повышают до 35... 40 °С путем подогрева заполнителей и воды. Заполнители подогревают до 60°С паровыми регистрами, во вращающихся барабанах, в установках с продувкой дымовых газов через слой заполнителя, горячей водой. Воду подогревают в бойлерах или водогрейных котлах до 90 °С. Подогрев цемента запрещается.

При приготовлении подогретой бетонной смеси применяют иной порядок загрузки составляющих в бетоносмеситель. В летних условиях в барабан смесителя, предварительно заполненного водой, все сухие компоненты загружают одновременно. Зимой во избежание "заваривания" цемента в барабан смесителя вначале заливают воду и загружают крупный заполнитель, а затем после нескольких оборотов барабана - песок и цемент. Общую продолжительность перемешивания в зимних условиях увеличивают в 1,2... 1,5 раза. Бетонную смесь транспортируют в закрытой утепленной и прогретой перед началом работы таре (бадья, кузова машин). Автомшины имеют двойное днище, в полость которого поступают отработанные газы мотора, что предотвращает теплопотери. Бетонную смесь следует транспортировать от места приготовления до места укладки по возможности быстрее и без перегрузок. Места погрузки и выгрузки должны быть защищены от ветра, а средства подачи бетонной смеси в конструкции (хоботы, виброхоботы и др.) утеплены.

Состояние основания, на котором укладывают бетонную смесь, а также способ укладки должны исключать возможность ее замерзания в стыке с основанием и деформации основания при укладке бетона на пучинистые грунты. Для этого основание отогревают до положительных температур и предохраняют от замерзания до приобретения вновь уложенным бетоном требуемой прочности.

Опалубку и арматуру до бетонирования очищают от снега и наледи; арматуру диаметром более 25 мм, а также арматуру из жестких прокатных профилей и крупные металлические закладные детали при температуре ниже -10°С отогревают до положительной температуры.

Бетонирование следует вести непрерывно и высокими темпами, при этом ранее уложенный слой бетона должен быть перекрыт до того, как в нем температура будет ниже предусмотренной.

Строительное производство располагает обширным арсеналом эффективных и экономичных методов выдерживания бетона в зимних условиях, позволяющих обеспечить высокое качество конструкций. Эти методы можно разделить на три группы: метод, предусматривающий использование начального теплосодержания, внесенного в бетонную смесь при ее приготовлении или перед укладкой в конструкцию, и тепловыделение цемента, сопровождающее твердение бетона,- так называемый метод "термоса"; методы, основанные на искусственном прогреве бетона, уложенного в конструкцию,- электропрогрев, контактный, индукционный и инфракрасный нагрев, конвективный обогрев; методы, использующие эффект понижения эвтектической точки воды в бетоне с помощью специальных противоморозных химических добавок.

Указанные методы можно комбинировать. Выбор того или иного метода зависит от вида и массивности конструкции, вида, состава и требуемой прочности бетона, метеорологических

условий производства работ, энергетической оснащенности строительной площадки и т.д.

2. Выбор способа электропрогрева бетона зависит от характера и массивности конструкций, определяемой модулем поверхности МП, равным отношению охлаждаемой поверхности конструкции в  $\text{м}^2$  к ее объему в  $\text{м}^3$ , а так же от сроков работ, вида цемента и утеплителей. Для электропрогрева монолитных конструкций с модулем поверхности выше 6 целесообразно применять электродный метод прогрева.

3. В целях экономии электроэнергии следует проводить электропрогрев в наиболее короткие сроки на максимально-допустимой для данной конструкции температуре и выдерживать бетон под током только до приобретения им 50% проектной прочности.

4. При электродном способе электропрогрева обогреваемый бетон включается в электрическую цепь как сопротивление, при помощи электродов из арматурной или сортовой стали, накладываемых внутрь бетона или располагаемых на его поверхности. Так как постоянный ток вызывает электролиз воды, то для электродного прогрева применим только переменный ток.

5. Для электродного метода прогрева применяется поименное напряжении (49-121 В) обеспечивающее более точное соблюдение заданного режим выдерживания бетона.

В качестве источника электроэнергии используются специальные трансформаторы.

Применение повышенного напряжения (до 220 В) допускается при прогреве неармированного бетона и в исключительных случаях при прогреве малоармированных конструкций, содержащих не более 50 кг. арматуры на  $1 \text{ м}^3$  бетона.

При выполнении строительных работ в зимних условиях приходится применять искусственный прогрев бетона. Для этих целей широко используется электрическая энергия. Электротермообработка бетона оказывается в ряде случаев более выгодной, чем другие способы прогрева (паром, горячим воздухом и т.п.).

Электротермообработка бетона основана на преобразовании электрической энергии в тепловую непосредственно внутри бетона путем пропускания через него переменного электрического тока с помощью электродов (электродный прогрев) либо в различного рода нагревательных устройствах.

Наиболее эффективным и экономичным способом электротермообработки является электродный прогрев. Применение постоянного тока при этом не допускается, так как он вызывает электролиз воды и других компонентов, содержащихся в бетоне.

При электродном прогреве бетон с помощью стальных электродов включается в цепь переменного тока. Одним из основных исходных параметров при расчете электродного прогрева бетона является его удельное электрическое сопротивление.

Величина удельного электрического сопротивления бетона определяется главным образом количеством воды, концентрацией в ней электролитов и температурой. В течение первых 2-5

часов прогрева бетона его начальное удельное электрическое сопротивление  $\rho_{нач}$  снижается до минимального значения  $\rho_{min}$ , а в дальнейшем повышается.

Величина начального удельного электрического сопротивления бетона колеблется в пределах от 400 до 2500 Ом-см (минимального- от 200 до 1800 Ом-см). При расчете электродного прогрева бетона в качестве исходного параметра принимается расчетное удельное сопротивление

$$\rho_{расч} = \rho_{нач} + \rho_{min}/2$$

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

изменением величины напряжения, подводимого к электродам или электронагревательным устройствам;

отключением электродов или электронагревателей от сети по окончании подъема температуры;

периодическими включениями или отключениями напряжения на электродах или электронагревателях.

Перечисленные способы выдерживания заданного режима могут осуществляться как автоматически, так и вручную.

Для электропрогрева бетона используются специальные силовые трансформаторы. В зависимости от требуемой мощности могут применяться как трехфазные, так и однофазные трансформаторы.

Трехфазный трансформатор ТМТ-50 мощностью 50 кВ·А имеет две вторичные обмотки с разным числом витков. При соединении этих обмоток в звезду или треугольник можно соответственно получать напряжения 50,5 или 87,5 В и 64,5 или 106,6 В.

Широко используется трехфазный трансформатор типа ТМОА-50 с алюминиевой обмоткой мощностью 50 кВ·А. В отличие от трансформатора ТМТ-50 регулирование напряжения в нем осуществляется за счет изменения не только схемы соединения вторичной обмотки, но и коэффициента трансформации. При этом вторичное напряжение может изменяться от 49 до 127 В.

Передвижная установка для прогрева бетона помимо трансформатора содержит распределительный щит с коммутационной, защитной и измерительной аппаратурой. Принципиальная электрическая схема такой установки показана на рис.2. Распределительный щит рассчитан на присоединение нескольких отходящих линий к софитам - устройствам, служащим для присоединения электродов.

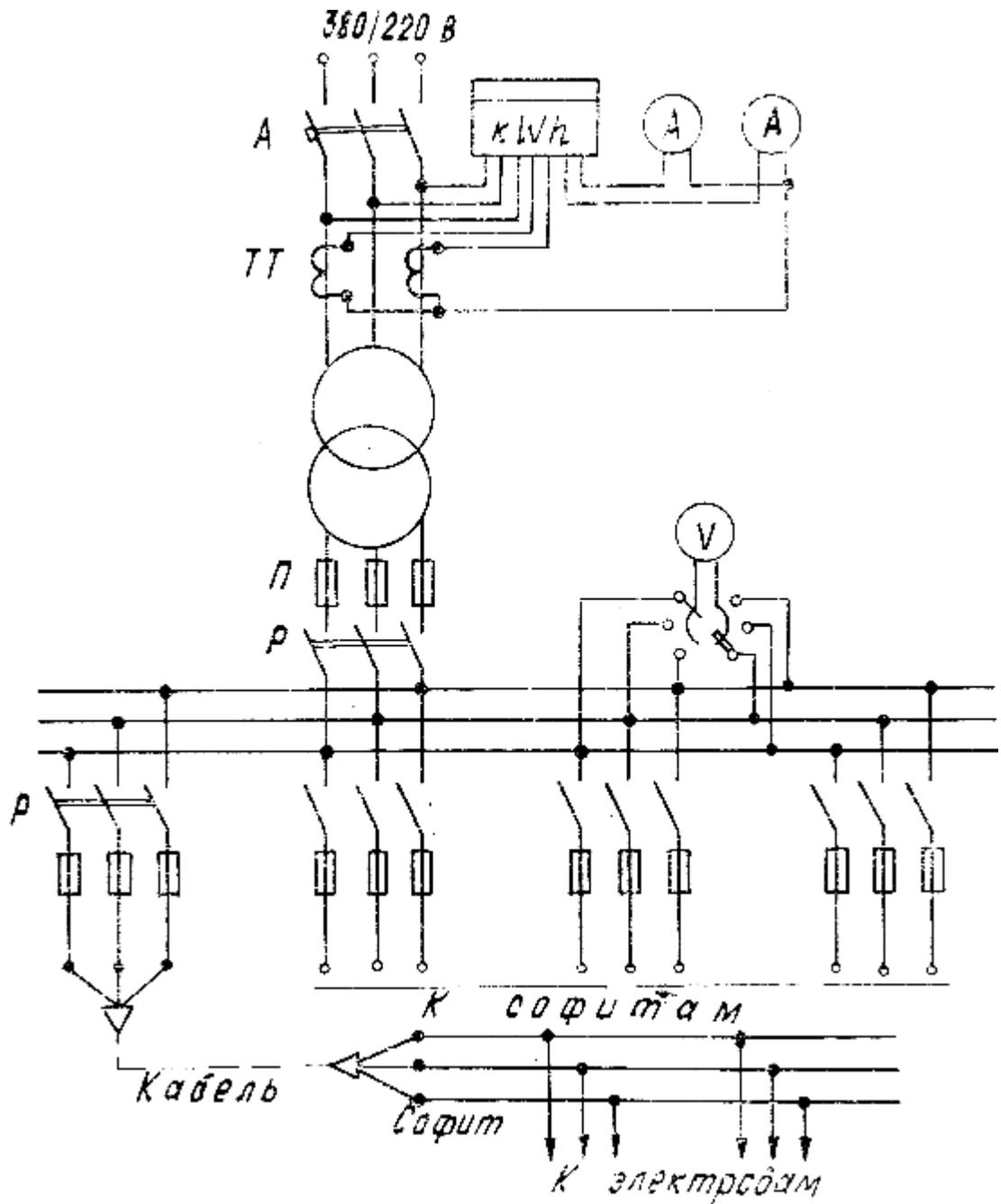


Рис.2. Электрическая схема установки для прогрева бетона с одним трансформатором

Очень часто установки для электропрогрева бетона комплектуются из однофазных трансформаторов ТБ-20 мощностью 20 кВ·А. Он имеет первичную обмотку, предназначенную для включения в сеть напряжением 380 или 220 В, и две вторичных обмотки, соединяя которые последовательно или параллельно, можно получить 102 и 51 В.

Для прогрева бетона могут использоваться также сварочные трансформаторы. При этом

необходимо учитывать, что сварочные трансформаторы рассчитаны на повторно-кратковременный режим работы. Поэтому в длительном режиме прогрева бетона нагрузка на сварочные трансформаторы не должна превышать 60-70% от номинальной.

Для подачи напряжения к софитам рекомендуется применение гибких кабелей с резиновой изоляцией марки КРПТ, что повышает безопасность эксплуатации и простоту прокладки временных линий.

6. При модуле поверхности конструкций в пределах 6-15 электропрогрев должен вестись в трехстадийном режиме

- 1) разогрев;
- 2) изотермический прогрев;
- 3) остывание;

В этом случае заданная прочность бетона будет обеспечена к концу стадии остывания. При этом подъем температуры следует производить возможно быстрее, а изотермический прогрев вести при максимально-допустимой для данной конструкции температуре.

7. Подъем температуры бетона конструкций с-модулем поверхности мене и большой протяженностью не должен превышать 5 °С в час, а при модуле свыше 5 - не более 8 °С в час. Для конструкций небольшой протяженностью (6-8 м) и сильно армированных, а так же для сварного железобетона можно увеличить скорость подъема температуры до 15 °С в час.

Во избежание недопустимо резкого подъема температуры бетона в начале прогрева и для снижения пиковой мощности при прогреве применяют вначале напряжение 50-60 В, увеличивая его по мере твердения бетона.

8. Длительность изотермического прогрева устанавливается строительной лабораторией и зависит от температур наружного воздуха табл.1.

Таблица1

Ориентировочная длительность изотермического прогрева обеспечивающего 50% от R<sup>28</sup>

Средняя температура изотермического прогрева бетона в град.	Длительность прогрева бетоне в час.

	на портландцементе	на шлаке
30	60	
40	39	
50	28	
60	23	
70	18	
80		

8. Скорость остывания бетона по окончании изотермического прогрева, не должна превышать 3° в час для конструкций с модулем до 3-6 °С ; в час - при модуле от 3 до 8; 8° в час - при модуле более 8.

Интенсивность остывания бетона регулируется изменением напряжения, тока или периодическим его включением.

### **Бетонирование в экстремальных условиях**

Зимними считаются условия, когда среднесуточная температура окружающей среды снижается до 5 °С и в течение 1 сут, падает ниже 0 °С.

При отрицательных температурах не прореагировавшая с цементом вода превращается в лед и, как твердое тело, в химическое соединение с цементом не вступает; бетон не твердеет. Одновременно в бетоне развиваются силы внутреннего давления, вызванные увеличением (примерно на 9 %) объема воды при превращении ее в лед. При раннем замораживании бетона его неокрепшая структура не может противостоять этим силам и разрушается. При последующем оттаивании замерзшая вода вновь превращается в жидкость, и реакция твердения возобновляется, однако разрушенные связи в бетоне полностью не восстанавливаются.

Замораживание бетона сопровождается образованием вокруг арматуры и заполнителя

ледяных пленок, которые увеличиваются в объеме и отжимают цементное тесто от арматуры и заполнителя. Эти процессы снижают прочность бетона, его сцепление с арматурой, плотность, стойкость и долговечность.

Если бетон до замерзания приобретает определенную прочность, то упомянутые выше процессы не оказывают на него неблагоприятного воздействия. Минимальная прочность, при которой замораживание для бетона не опасно, называется **критической** и зависит от класса бетона, вида и условий эксплуатации конструкций: для бетонных и железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой - 50% проектной прочности для классов В7,5 - В10, 40 % для классов В12,5 - В25 и 30 % для классов В30 и выше; для конструкций, нагружаемых расчетной нагрузкой - 100 % проектной прочности.

При производстве бетонных работ должны одновременно решаться две взаимосвязанные задачи: **технологическая** (обеспечение необходимого качества бетона к заданному сроку) и **экономическая** (обеспечивание минимального расхода материальных энергетических ресурсов).

Технологическую задачу решают применением соответствующих методов выдерживания бетона. Методы зимнего бетонирования необходимо выбирать на основании технико-экономического анализа.

Существуют следующие методы выдерживания бетона в зимних условиях.

**Выдерживание в искусственных укрытиях** (тепляках) где поддерживается температура, необходимая для нормального твердения бетона. В связи с появлением новых пленочных покрытий этот метод широко применяют за рубежом, поскольку "пленочный эффект" создает комфортные условия для труда и твердения бетона даже без дополнительного обогрева.

**Выдерживание методом термоса** подразумевает укладывание бетона, имеющего температуру 15...20 °С, в утепленную опалубку. За счет начального теплосодержания бетонной смеси теплоты, выделяемой в процессе твердения (явление экзотермии) бетон набирает заданную прочность до того момента, когда в какой-либо части забетонированной конструкции температура снижается до 0 °С.

Применение метода термоса наиболее эффективно для массивных конструкций с модулем поверхности ( $M_{II}$ ) до 6:

$$M_{II} = \sum S / V,$$

где:

$\sum S$  - суммарная площадь поверхности конструкции;

$V$  - объем конструкции.

Этот метод достаточно эффективен и для конструкций с большим модулем поверхности (до 8... 12), если осуществить предварительный электроразогрев бетонной смеси (рис.3)

бункерах перед укладкой в опалубку (способ электротермоса). Бетонная смесь при этом форсированно разогревается в течение 5... 15 мин током промышленной частоты сетевого напряжения 220... 290 В до температуры бетонной смеси  $t_{б.с} = 70... 80 \text{ }^\circ\text{C}$ .

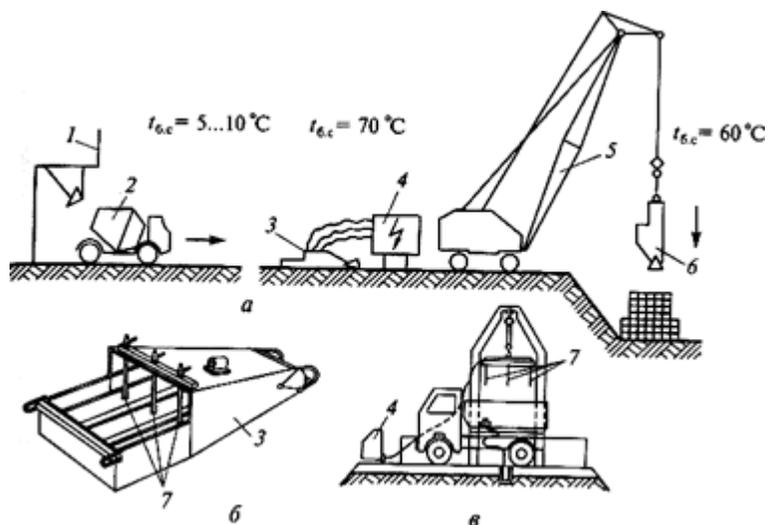


Рис.3. Бетонирование конструкций с предварительным разогревом бетонной смеси:

а - схема бетонирования;

б- разогрев смеси в электробадье:

в- то же в кузове автомашины;

1- БРУ;

2- передвижная бетономешалка;

3 -электробадьи;

4- распределительное устройство;

5 - кран;

6- укладка смеси;

7 - электроды.

Разновидностью метода электротермоса является метод **форсированного электроразогрева бетонной смеси** сразу после ее укладки в опалубку с последующим

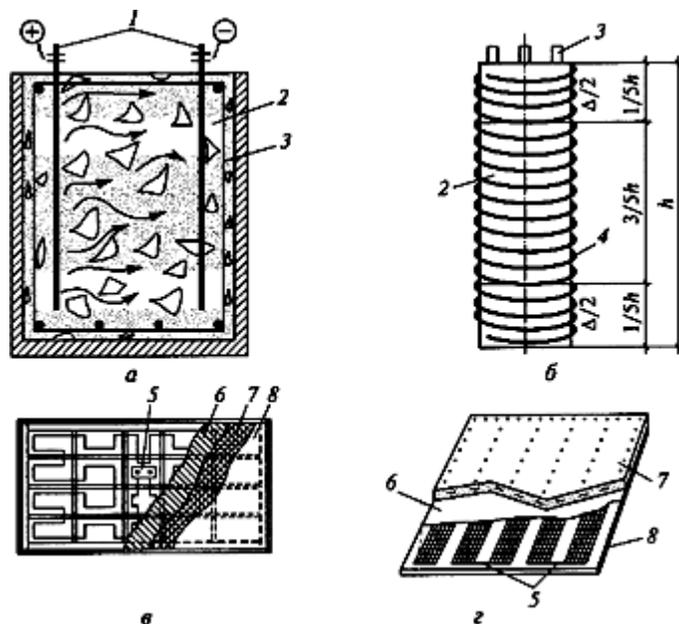
повторным вибрированием. Разогревание смеси непосредственно в опалубке исключает преждевременную потерю подвижности, а повторное вибрирование сводит к минимуму возможность структурных нарушений, возникающих при форсированном разогревании. Этот метод более экономичен, так как требует меньшего расхода электроэнергии.

**Методы электротермообработки бетона** наиболее эффективны для конструкций с  $M \cdot L \geq 6$ . Их можно разделить на три группы: электродный прогрев, индукционный прогрев и электрообогрев с применением различного рода электронагревательных устройств.

**Электродное нагревание** бетонных и железобетонных конструкций основано на превращении электрической энергии в тепловую при прохождении тока через свежележенный бетон, который с помощью электродов включается в электрическую цепь (рис.4, а). Электроды могут быть разных видов (стержневыми, пластинчатыми) и располагаться как внутри, так и снаружи прогреваемой конструкции.

Нагревание бетона в электромагнитном поле (индукционное) (см. рис.39, б) применяется для густо армированных конструкций линейного типа (балки, ригели, трубы, колонны). Вокруг опалубки прогреваемого элемента устраивают спиральную обмотку - индуктор из изолированного провода и включают его в сеть. Под воздействием переменного электромагнитного поля стальная опалубка и арматура, выполняющие роль сердечника (соленоида), нагреваются и передают тепловую энергию бетону.

Электрообогревание осуществляется с помощью электрических отражателей, печей, цилиндрических приборов сопротивления и др. Могут также применяться греющие (термоактивные) опалубки (рис.4, в, г). Их выполняют в виде утепленных щитов с проложенными в их толще нагревательными элементами. Такая опалубка экономична для бетонирования тонкостенных конструкций.



#### Рис.4. Электропрогрев бетона:

*a*- электродный;

*б*- индукционный;

*в, г* -опалубка с греющими кабелями сетчатыми нагревателями;

*h*- высота навивки кабеля;

*1*- электроды;

*2* -нагреваемая конструкция;

*3*- арматура;

*4*- кабель;

*5* - нагреватели;

*6*- асбестоцементный лист;

*7* - утеплитель;

*8*- защитный лист.

**Инфракрасное прогревание**(лампами) применяют в тех случаях, когда применение контактных методов прогревания затруднено.

Иногда применяют безпрогревный метод с введением в состав бетонной смеси химических добавок.

#### **Требования к электродам их расположение в бетоне**

Для подведения электрической энергии к бетону используют различные электроды: пластинчатые, полосовые, стержневые и струнные.

К конструкциям электродов и схемам их размещения предъявляются следующие основные требования: мощность, выделяемая в бетоне при электропрогреве, должна соответствовать мощности, требуемой по тепловому расчету; электрическое и, следовательно, температурное поля должны быть по возможности равномерными; электроды следует располагать по возможности снаружи прогреваемой конструкции для обеспечения минимального расхода металла; установку электродов и присоединение к ним проводов

необходимо производить до начала укладки бетонной смеси (при использовании наружных электродов).

В наибольшей степени удовлетворяют изложенным требованиям пластинчатые электроды.

**Пластинчатые электроды** принадлежат к разряду поверхностных и представляют собой пластины из кровельного железа или стали, нашиваемые на внутреннюю, примыкающую к бетону поверхность опалубки и подключаемые к разноименным фазам питающей сети (табл.2, п. 1). В результате токообмена между противоположными электродами весь объем конструкции нагревается. С помощью пластинчатых электродов прогревают слабоармированные конструкции правильной формы небольших размеров (колонны, балки, стены и др.).

**Полосовые электроды** изготавливают из стальных полос шириной 20... 50 мм и так же, как пластинчатые электроды, нашивают на внутреннюю поверхность опалубки (табл.2, п. 2, 3).

Таблица2

Виды электродов, схемы их расстановки и формулы расчета выделяемой удельной мощности

N	
1	П
2	Полосовые

3	Полосо
4	Стержне
5	Одино
6	

Токообмен зависит от схемы присоединения полосовых электродов к фазам питающей сети. При присоединении противоположащих электродов к разноименным фазам питающей сети (см. табл.2, п. 2) токообмен происходит между противоположными гранями

конструкции и в тепловыделение вовлекается вся масса бетона. При присоединении к разноименным фазам соседних электродов (см. табл.2, п. 3) токообмен происходит между ними. При этом 90% всей подводимой энергии рассеивается в периферийных слоях толщиной, равной половине расстояния между электродами. В результате периферийные слои нагреваются за счет джоулевой теплоты. Центральные же слои (так называемое "ядро" бетона) твердеют за счет начального теплосодержания, экзотермии цемента и частично за счет притока теплоты от нагреваемых периферийных слоев. Первую схему применяют для прогрева слабоармированных конструкций толщиной не более 50 см. Периферийный электропрогрев применяют для конструкций любой массивности.

Полосовые электроды устанавливают по одну сторону конструкции. При этом к разноименным фазам питающей сети присоединяют соседние электроды. В результате реализуется периферийный электропрогрев.

Одностороннее размещение полосовых электродов применяют при электропрогреве плит, стен, полов и других конструкций толщиной не более 20 см.

При сложной конфигурации бетонируемых конструкций применяют стержневые электроды - арматурные прутки диаметром 6... 12 мм, устанавливаемые в тело бетона.

Наиболее целесообразно использовать стержневые электроды в виде плоских электродных групп (табл.2, п. 4). В этом случае обеспечивается более равномерное температурное поле в бетоне.

При электропрогреве бетонных элементов малого сечения и значительной протяженности (например, бетонных стыков шириной до 3... 4 см) применяют одиночные стержневые электроды (табл.2, п. 5).

При бетонировании горизонтально расположенных бетонных или имеющих большой защитный слой железобетонных конструкций используют плавающие электроды - арматурные стержни 6... 12 мм, втапливаемые в поверхность.

Струнные электроды применяют для прогрева конструкций, длина которых во много раз больше размеров их поперечного сечения (колонны, балки, прогоны и т.п.). Струнные электроды устанавливают по центру конструкции и подключают к одной фазе, а металлическую опалубку (или деревянную с обшивкой палубы кровельной сталью) - к другой (табл.2, п. 6). В отдельных случаях в качестве другого электрода может быть использована рабочая арматура.

Количество энергии, выделяемой в бетоне в единицу времени, а следовательно, и температурный режим электропрогрева зависят от вида и размеров электродов, схемы их размещения в конструкции, расстояний между ними и схемы подключения к питающей сети. При этом параметром, допускающим произвольное варьирование, чаще всего является подводимое напряжение. Выделяемая электрическая мощность в зависимости от перечисленных выше параметров рассчитывается по формулам, приведенным в табл.2.

Ток на электроды от источника питания подается через трансформаторы и распределительные устройства.

В качестве магистральных и коммутационных проводов применяют изолированные провода с медной или алюминиевой жилой, сечение которых подбирают из условия пропускания через них расчетной силы тока.

Перед включением напряжения проверяют правильность установки электродов, качество контактов на электродах и отсутствие их замыкания на арматуру.

Электропрогрев ведут на пониженных напряжениях в пределах 50... 127 В. Осредненно удельный расход электроэнергии составляет 60...80 кВт/ч на 1 м<sup>3</sup> железобетона.

## **2. ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ**

Указания по ведению электропрогрева:

1. Перед началом бетонирования строительная лаборатория дает рекомендацию о режиме электропрогрева:

- а) максимально допустимая температура  $t^{\circ}$ /час изотермического прогрева;
- б) допустимая скорость набора температуры  $C^{\circ}$ /час в начале прогрева;
- в) длительность изотермического прогрева в часах.

2. В зависимости от конфигурации нагреваемой конструкции, модуля поверхности МП и расположения арматуры выбирается:

- а) тип электродов (стержневые, нашивные и др.);
- б) сечение электродов;
- в) схема размещения электродов в бетоне, число электродов в группе на одну фазу, расстояние от электродов до арматуры и между электродами разных фаз и одной фазы.

3. Исходя из объема прогреваемого бетона и температурного наружного воздуха по таблице приблизительно определяется необходимая для электропрогрева максимальная мощность в кВт и необходимое число трансформаторов прогрева ТМОБ-63. Необходимо помнить, что мощность трансформатора ТМОБ-63 меняется при переключении витков обмотки В. Н. Рекомендуется в качестве расчетной мощности трансформатора ТМОБ-63 принимать мощность на пониженных ступенях напряжения; применяемого в начале прогрева.

4. На основании схемы размещения и группирования электродов составляется электрическая схема электропрогрева.

При 100 % нагрузке трансформатора ТМОБ-63 сила тока при соединении вторичной

обмотки по схеме достигает 520 А.

Поэтому при больших объемах прогрева бетона, схема прогрева должна быть на 3-5 независимых трехфазных групп, подключаемых к трехфазному трансформатору ТМОБ-63 через дополнительный распределительный шкаф ШР с вводным рубильником на 600А.

5. Для подключения электродов к сети собираются инвентарные софиты, представляющие из себя трехфазную электропроводку, выполненную на легких деревянных рамах.

В качестве магистральных токопроводов на участке от ШР, до софитов должны применяться трехжильный шланговый кабель или провод ПРГ, АПР сеч.35-70 мм<sup>2</sup>.

Софиты для подключения электродов должны выполняться проводом ПРГ или АПР сеч. 25-50мм<sup>2</sup> с ответвлениями для электродов проводом ПРГ сеч.2,5-4мм<sup>2</sup>.

6. Сечение проводов и кабелей выбирается приблизительно, по допустимой плотности тока, исходя из расчетной мощности электропрогрева подключаемых участков бетона.

### **Допускаемая плотность тока**

#### **Голый алюминиевый провод:**

А-25- 105А

А-35-170А

А-50- 215А

А-70- 265А

А-95-320А

А-120-375А

#### **Провод изолированный и кабель с медными жилами**

16 мм<sup>2</sup> -100 А

25 мм<sup>2</sup> -140 А

35мм<sup>2</sup>-170 А

50мм<sup>2</sup>-215 А

70мм<sup>2</sup>-270 А

95мм<sup>2</sup>-330А

### **Провода изолированные и кабель с алюмин. жилами**

16 мм<sup>2</sup>-80 А

25 мм<sup>2</sup>-125 А

35мм<sup>2</sup>-130 А

50мм<sup>2</sup>-155 А

70мм<sup>2</sup>-210 А

95мм<sup>2</sup>-255А

7. Корпуса трансформаторов и распределительного электрошкафа заземляются также, как и остальное электрооборудование площадки, т.е. присоединением нулевого заземляющего провода питающей сети на корпус трансформатора ТМОБ-63 и шкафы. Арматура прогреваемого участка бетона и открытая незабетонированная арматура соседних конструкций, связанная с участком, находящимся под электропрогревом, подлежат заземлению.

Заземление выполняется присоединением арматуры дополнительным заземляющим алюминиевым или медным проводом сечением не менее 25мм<sup>2</sup> к корпусу распределительного шкафа (или трансформатора ТМОБ-63 с одновременным устройством вблизи контура повторного заземления).

8. Электрическое сопротивление сырого холодного бетона имеет величину - 300-500 Ом.см. Это сопротивление существенно меняется в процессе нагревания бетона и его твердения. Прогрев ведется в следующей; последовательности:

а) в начале на бетон подается пробное напряжение 50-70 Вольт и с интервалами в 15-20 мин. с помощью погруженных термометров делают контрольные замеры нарастания температуры.

Если температура растет быстрее, чем это задано лабораторией, то напряжение снижают, и наоборот, если температура растет слишком медленно, то напряжение следует повысить;

б) когда получена необходимая скорость набора температуры ( $t^{\circ}/\text{час}$ ) необходимо продолжать каждые 30-40 мин. контроль подъема температуры и силу тока по амперметрам. Из-за расслоения твердой и жидкой фракции сопротивление разогревавшегося бетона может резко снизиться, что вызовет нежелательное увеличение тока через бетон и перегревы. В этом случае мало на некоторое время снизить на 1-2 ступени напряжение разогрева;

в) после достижения заданной максимальной температуры необходимо перейти к изотермическому режиму, т.е. к прогреву при постоянной температуре.

По мере изотермического прогрева бетон будет твердеть, а сопротивление его будет все более и более возрастать. Поэтому для поддержания постоянной требуемой температуры необходимо постепенно ступенями переключателя повышать напряжение.

г) по истечении заданного времени изотермического прогрева напряжение отключается и начинается процесс остывания бетона. Необходимо следить, чтобы остывание происходило не более, чем  $8^{\circ} t^{\circ}/\text{час}$ , а перепад температуры бетона и окружающего воздуха был не более, чем  $30^{\circ}\text{C}$ .

9. После остывания бетона строительная лаборатория производит испытание образцов бетона на прочность и на основании этих испытаний либо подтверждает ранее выданный режим электропрогрева для последующих конструкций либо вносит в этот режим необходимую корректировку.

Для испытания образцов является обязательным, чтобы они на всем протяжении электропрогрева находились в одинаковых условиях с прогреваемой конструкцией.

10. Во время электропрогрева необходимо следить:

а) по показаниям амперметра на щитке трансформатора ТМОБ-63. Затем чтобы общий ток на стороне Н.Н. не превышал допустимого для данной схемы соединения;

б) с помощью токоизмерительных клещей следить за тем, чтобы ток в проводах схемы не превышал допустимого тока по плотности для данного сечения проводов;

в) не допускать закипания жидкой фракции бетона вблизи электродов; пересыхания и пережога бетона в зоне электродов.

### **3. ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ**

Качество бетонных и железобетонных конструкций определяется как качеством используемых материальных элементов, так и тщательностью соблюдения регламентирующих положений технологии на всех стадиях комплексного процесса.

Для этого необходим контроль и его осуществляют на следующих стадиях: при приемке и хранении всех исходных материалов (цемента, песка, щебня, гравия, арматурной стали, лесоматериалов и др.); при изготовлении и монтаже арматурных элементов и конструкций; при изготовлении и установке элементов опалубки;

при подготовке основания и опалубки к укладке бетонной смеси; при приготовлении и транспортировке бетонной смеси; при уходе за бетоном в процессе его твердения.

Все исходные материалы должны отвечать требованиям ГОСТов. Показатели свойств материалов определяют в соответствии с единой методикой, рекомендованной для строительных лабораторий.

В процессе армирования конструкций контроль осуществляется при приемке стали (наличие заводских марок и бирок, качество арматурной стали); при складировании и транспортировке (правильность складирования по маркам, сортам, размерам, сохранность при перевозках); при изготовлении арматурных элементов и конструкций (правильность формы и размеров, качество сварки, соблюдение технологии сварки). После установки и соединения всех арматурных элементов в блоке бетонирования проводят окончательную проверку правильности размеров и положения арматуры с учетом допускаемых отклонений.

В процессе опалубливания контролируют правильность установки опалубки, креплений, а также плотность стыков в щитах и сопряжениях, взаимное положение опалубочных форм и арматуры (для получения заданной толщины защитного слоя). Правильность положения опалубки в пространстве проверяют привязкой к разбивочным осям и нивелировкой, а размеры - обычными измерениями. Допускаемые отклонения в положении и размерах опалубки приведены в СНиПе (ч. 3) и справочниках.

Перед укладкой бетонной смеси контролируют чистоту рабочей поверхности опалубки и качество ее смазки.

На стадии приготовления бетонной смеси проверяют точность дозирования материалов, продолжительность перемешивания, подвижность и плотность смеси. Подвижность бетонной смеси оценивают не реже двух раз в смену. Подвижность не должна отклоняться от заданной более чем на  $\pm 1$  см, а плотность - более чем на 3%.

При транспортировке бетонной смеси следят за тем, чтобы она не начала схватываться, не распадалась на составляющие, не теряла подвижности из-за потерь воды, цемента или схватывания.

На месте укладки следует обращать внимание на высоту сбрасывания смеси, продолжительность вибрирования и равномерность уплотнения, не допуская расслоения смеси и образования раковин, пустот.

Процесс виброуплотнения контролируют визуально, по степени осадки смеси, прекращению выхода из нее пузырьков воздуха и появлению цементного молока. В некоторых случаях используют радиоизотопные плотномеры, принцип действия которых основан на измерении поглощения бетонной смесью  $\gamma$  - излучения. С помощью

плотномеров определяют степень уплотнения смеси в процессе вибрирования.

При бетонировании больших массивов однородность уплотнения бетона контролируют с помощью электрических преобразователей (датчиков) сопротивления в виде цилиндрических щупов, располагаемых по толщине укладываемого слоя. Принцип действия датчиков основан на свойстве бетона с увеличением плотности снижать сопротивление прохождению тока. Размещают их в зоне действия вибраторов. В момент приобретения бетоном заданной плотности оператор-бетонщик получает световой или звуковой сигнал.

Окончательная оценка качества бетона может быть получена лишь на основании испытания его прочности на сжатие до разрушения образцов-кубиков, изготовляемых из бетона одновременно с его укладкой и выдерживаемых в тех же условиях, в которых твердеет бетон бетонированных блоков. Для испытания на сжатие готовят образцы в виде кубиков с длиной ребра 160 мм. Допускаются и другие размеры кубиков, но с введением поправки на полученный результат при раздавливании образцов на прессе.

Для каждого класса бетона изготавливают серию из трех образцов-близнецов на следующее количество бетона: для крупных фундаментов под конструкции - на каждые  $100 \text{ м}^3$ ; для массивных фундаментов под технологическое оборудование - на каждые  $50 \text{ м}^3$ ; для каркасных и тонкостенных конструкций - на каждые  $20 \text{ м}^3$ .

Для получения более реальной картины прочностных характеристик бетона из тела конструкций выбуривают керны, которые в дальнейшем испытывают на прочность.

Наряду со стандартными лабораторными методами оценки прочности бетона в образцах применяют косвенные неразрушающие методы оценки прочности непосредственно в сооружениях. Такими методами, широко применяемыми в строительстве, являются механический, основанный на использовании зависимости между прочностью бетона на сжатие и его поверхностной твердостью и ультразвуковой импульсный, основанный на измерении скорости распространения в бетоне продольных ультразвуковых волн и степени их затухания.

При *механическом методе* контроля прочности бетона используют эталонный молоток Кашкарова (рис.5, а). Для определения прочности бетона на сжатие молоток Кашкарова устанавливают шариком на бетон и слесарным молотком наносят удар по корпусу эталонного молотка. При этом шарик нижней частью вдавливаются в бетон, а верхней - в эталонный стальной стержень, оставляя и на бетоне и на стержне отпечатки. После измерения диаметров этих отпечатков, находят их отношения и с помощью тарировочных кривых (рис.5, б) определяют прочность поверхностных слоев бетона на сжатие.

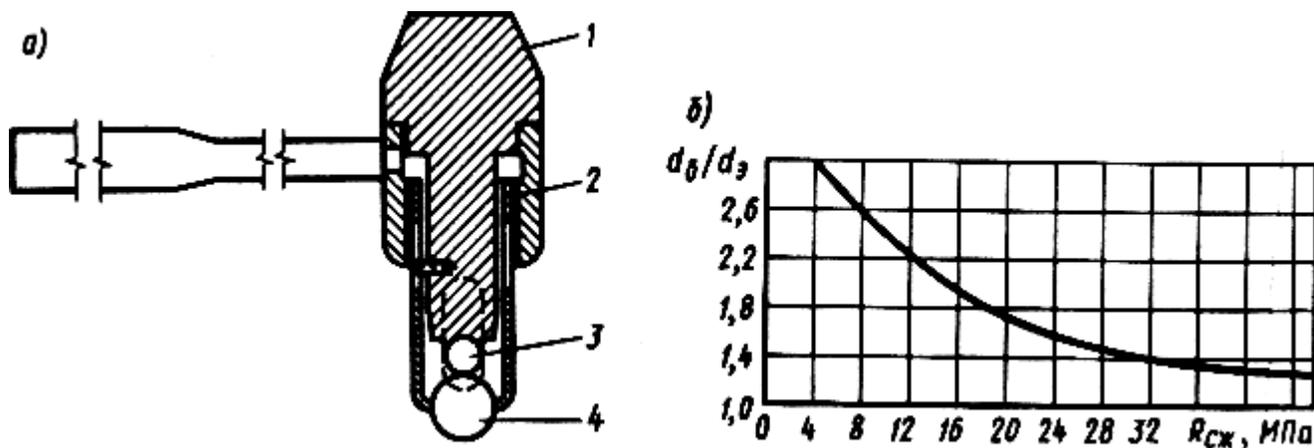


Рис.5. Неразрушающий механический метод контроля прочности бетона:

а- эталонный молоток Кашкарова;

б- градуировочный график для определения прочности бетона;

1 -корпус;

2 -подпружиненный стакан;

3-эталонный стержень;

4 -шарик

При *ультразвуковом импульсном методе* используют специальные ультразвуковые приборы типа УП-4 или УКБ-1, с помощью которых определяют скорость прохождения ультразвука через бетон конструкции. По градуировочным кривым скорости прохождения ультразвука и прочности бетона при сжатии (рис.6) определяют прочность бетона при сжатии в конструкции. При определенных условиях (постоянство технологии, идентичность исходных материалов и т.п.) этот метод обеспечивает вполне приемлемую точность контроля.

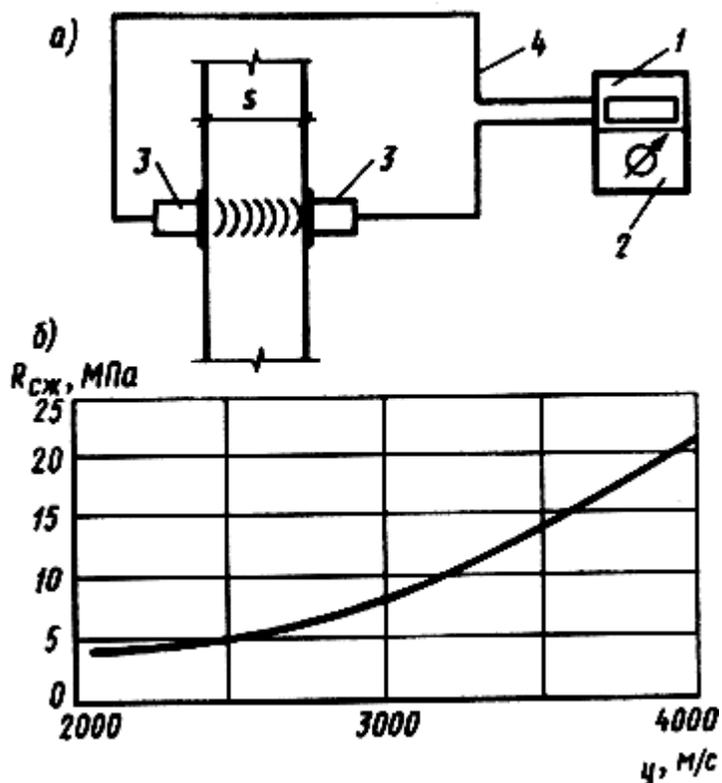


Рис.6. Неразрушающий акустический метод определения прочности бетона:

а- ультразвуковая дефектоскопия;

б- пример градуировочного графика зависимости "прочность бетона -скорость прохождения ультразвука";

1 - усилитель со шкалой цифровой индексации;

2- источник ультразвуковых колебаний;

3-щупы;

4-кабели;

5-толщина прозвучиваемой конструкции

В зимних условиях помимо общих изложенных выше требований осуществляют дополнительный контроль.

В процессе приготовления бетонной смеси контролируют не реже чем через каждые 2 ч: отсутствие льда, снега и смерзшихся комьев в неотогреваемых заполнителях, подаваемых в бетоносмеситель, при приготовлении бетонной смеси с противоморозными добавками; температуру воды и заполнителей перед загрузкой в бетоносмеситель; концентрацию

раствора солей; температуру смеси на выходе из бетоносмесителя.

При транспортировании бетонной смеси один раз в смену проверяют выполнение мероприятий по укрытию, утеплению и обогреву транспортной и приемной тары.

При предварительном электроразогреве смеси контролируют температуру смеси в каждой разогреваемой порции.

Перед укладкой бетонной смеси проверяют отсутствие снега и наледи на поверхности основания, стыкуемых элементов, арматуры и опалубки, следят за соответствием теплоизоляции опалубки требованиям технологической карты, а при необходимости отогрева стыкуемых поверхностей и фунтового основания - за выполнением этих работ.

При укладке смеси контролируют ее температуру во время выгрузки из транспортных средств и температуру уложенной бетонной смеси. Проверяют соответствие гидроизоляции и теплоизоляции неопалубленных поверхностей требованиям технологических карт.

В процессе выдерживания бетона температуру измеряют в следующие сроки: при использовании способов "термоса", предварительного электроразогрева бетонной смеси, обогрева в тепляках - каждые 2 ч в первые сутки, не реже двух раз в смену в последующие трое суток и один раз в сутки в остальное время выдерживания; в случае применения бетона с противоморозными добавками - три раза в сутки до приобретения им заданной прочности; при электропрогреве бетона в период подъема температуры со скоростью до 10 °С/ч - через каждые 2 ч, в дальнейшем - не реже двух раз в смену.

По окончании выдерживания бетона и распалубливания конструкции замеряют температуру воздуха не реже одного раза в смену.

Температуру бетона измеряют дистанционными методами с использованием температурных скважин, термометров сопротивления либо применяют технические термометры.

Температуру бетона контролируют на участках, подверженных наибольшему охлаждению (в углах, выступающих элементах) или нагреву (у электродов, на контактах с термоактивной опалубкой на глубине 5 см, а также в ряде массивных блоков бетонирования). Результаты замеров записывают в ведомость контроля температур.

При электропрогреве бетона не реже двух раз в смену контролируют напряжение и силу тока на низовой стороне питающего трансформатора и замеренные значения фиксируют в специальном журнале.

Прочность бетона контролируют в соответствии с требованиями, изложенными выше, и путем испытания дополнительного количества образцов, изготовленных у места укладки бетонной смеси, в следующие сроки: при выдерживании по способу "термоса" и с предварительным электроразогревом бетонной смеси - три образца после снижения температуры бетона до расчетной конечной, а для бетона с противоморозными добавками - три образца после снижения температуры бетона до температуры, на которую рассчитано количество добавок; три образца после достижения бетоном конструкций положительной температуры и 28-суточного выдерживания образцов в нормальных условиях; три образца

перед загрузкой конструкций нормативной нагрузкой. Образцы, хранящиеся на морозе, перед испытанием выдерживают 2...4 ч для оттаивания при температуре 15...20 °С.

При электропрогреве, обогреве в термоактивной опалубке, инфракрасном и индукционном нагревах бетона выдерживание образцов-кубов в условиях, аналогичных прогреваемым конструкциям, как правило, неосуществимо. В этом случае прочность бетона контролируют, обеспечив соответствие фактического температурного режима заданному.

При всех методах зимней технологии необходимо проверять прочность бетона в конструкции неразрушающими методами или путем испытания высверленных кернов, если контрольные образцы не могут быть выдержаны при режимах выдерживания конструкций.

На все операции по контролю качества выполнения технологических процессов и качества материалов составляют акты проверок (испытаний), которые предъявляют комиссии, принимающей объект. В ходе производства работ оформляют актами приемку основания, приемку блока перед укладкой бетонной смеси и заполняют журналы работ контроля температур по установленной форме.

#### **4. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ**

Наличие электрического потенциала на бетонной проводящей массе, стальной арматуре, участках грунта и трубопроводах создает особо опасные условия для поражения обслуживающего персонала электрическим током.

К работам, связанным с электропрогревом, допускаются только лица из электротехнического персонала, имеющие не ниже III квалификационной группы по технике безопасности.

Величина напряжения, допустимого для электропрогрева, зависит от характера прогреваемой конструкции и определяется правилами техники безопасности. Так, электропрогрев железобетонных конструкций производится от источников с линейным напряжением не выше 110 В. Понижающие трансформаторы установок при этом с первичной стороны должны подключаться к сетям с напряжением не выше 380 В.

Для прогрева неармированного или слабо армированного бетона, кирпичной кладки и грунта допускается непосредственное присоединение электродов к сети напряжением 380 или 220 В с изолированной нейтралью.

Провода, идущие от понизительного трансформатора к прогреваемым конструкциям, укрепляют с помощью изоляторов на опорах высотой 3 м. Если по местным условиям проложить провода по опорам невозможно, применяют деревянные подставки: высотой не менее 0,5 м от земли, а в местах проходов и проездов высотой соответственно 3 и 6 м. Гибкие кабели с резиновой изоляцией разрешается прокладывать по земле.

Поливку прогреваемого бетона необходимо производить только после снятия напряжения

с электродов.

Все работы в зоне электропрогрева должны выполняться в диэлектрических перчатках и инструментом с изолированными ручками. Обслуживающий персонал, контролирующий температуру бетона, должен работать в диэлектрических галошах. Все измерительные работы следует выполнять одной рукой, держа другую руку у туловища.

Открытую, еще не забетонированную арматуру, связанную с участками электропрогрева, необходимо дополнительно заземлять. Запрещается производить бетонирование конструкций, находящихся под напряжением выше 60 В. Бетонные работы в зоне с напряжением до 60 В можно вести только в резиновых галошах или сапогах.

Участок электропрогрева должен быть надежно огражден переносным ограждением высотой не менее 1 м. В темное время суток весь прогреваемый участок освещается. Вдоль ограждений устанавливаются сигнальные лампы, которые загораются одновременно с включением установки электропрогрева. На ограждениях вывешиваются предупредительные плакаты "Стоп - опасно для жизни!". Допуск на огражденный участок лиц, не связанных с электропрогревом, категорически запрещается.

На участке электропрогрева на видном месте вывешиваются правила по оказанию первой помощи пострадавшим от электрического тока.

В случае прогрева мерзлого грунта при напряжении до 10 кВ должна быть полностью исключена возможность попадания людей и животных в зону опасных шаговых напряжений. Для этих целей ограждения опасной зоны электропрогрева располагаются на расстоянии 15 м от крайних рабочих электродов. Ограждение выполняется в виде многоярусного веревочного барьера, укрепленного на деревянных опорах. Концы веревок крепятся к рычагам конечных выключателей, установленных на опорах. Натяжение любой из горизонтальных веревочных преград должно вызывать отключение выключателя в цепи, питающей установку электропрогрева. Кроме того, предусматривается установка фоторелейной защиты, обеспечивающей дополнительное дублирующее ограждение зоны электропрогрева.

Материал подготовил Демьянов А.А.