

Содержание

Содержание	2
Введение	3
1. Твердение и прочность бетона	3
1.1. Влияние температуры на свойства бетона	3
1.2. Выделение тепла цементом	3
1.3. Замораживание бетона, его прочность	4
1.4. Влияние температуры на твердение бетона	5
1.5. Длительность выдерживания бетона	6
1.6. Факторы, ускоряющие твердение бетона	7
2. Выбор способа выдерживания бетона	7
3. Электропрогрев	8
4. Обогрев бетона с применением греющих проводов	8
4.1. Общие положения	8
4.2. Превращение электрической энергии в тепловую	8
4.3. Выпаривание влаги	9
4.4. Режим прогрева бетона	9
4.5. Мощность, необходимая для прогрева бетона	10
Использованная литература	11

Введение

В настоящий момент в практике строительства существует проблема производства бетонных работ в зимнее время при отрицательных температурах. В результате общего ознакомления с ней, была сформулирована тема: «Методы расчета параметров прогрева бетона при помощи греющих проводов».

Актуальность проблемы и значимость работы:

- а) рост заинтересованности в быстром и недорогом строительстве – использование монолитных конструкций, подъем экономики;
- б) использование наиболее технологичного и безопасного метода с учетом особенностей региона: около 50% времени приходится на низкие температуры;
- в) малая изученность вопроса;

1. Твердение и прочность бетона

1.1. Влияние температуры на свойства бетона

Основные части любого бетона это щебень, песок, цемент и вода. Процесс бетонирования – процесс перехода бетона из жидкой фазы в твердую. Но для успешного перехода необходимы определенные условия. При нормальных условиях (температура +15°C во влажной среде) гидратация зерен цемента начинается с их поверхности, образуя при этом цементный клей в виде водного гидросиликата кальция. Затем реакция переходит на более глубоко расположенные слои зерен цемента вследствие отсасывания ими воды. Гель поверхностных слоев, постепенно обезвоживаясь, все плотнее и крепче стягивается, достигает полной водонепроницаемости и превращается в твердый гель – цементный камень. Таким образом, зерно цемента превращается как бы в орешек, имеющий затвердевшую оболочку и нетронутое ядрышко, которое не участвовало в реакции гидратации.

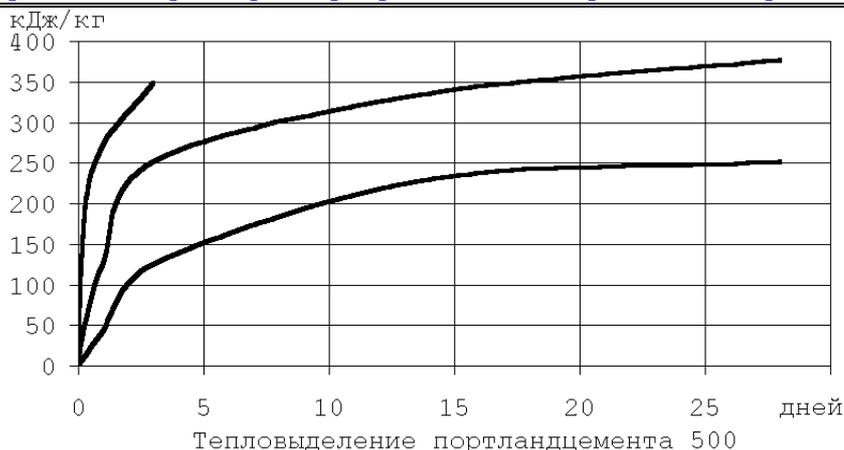
Процесс гидратации экзотермический. В 28-дневном возрасте при нормальной температуре гидратированная часть зерна цемента составляет 12% от всего объема. При повышении температуры большая часть цементного зерна гидратирует, увеличивается скорость гидратации. Заметно повышается прочность бетона, сокращается период времени, за который бетон дойдет до марки. (Марка бетона – это его средняя прочность на сжатие в кг/см², достигнутая за 28 суток при твердении в нормальных условиях). В результате реакции гидратации выделяется большое количество теплоты.

Если по какой либо причине произойдет повышение температуры выше допустимой (выше 80°C), то свободная вода начнет интенсивно испаряться, оставляя поры и снижая плотность бетона. Если же во время этого процесса температура понизится ниже допустимой (ниже 5°C), что возможно в условиях зимнего бетонирования, то несвязанная вода начнет замерзать, т.е. создавать свои структуры и своими связями разрушать связи зерен цемента. И в том, и в другом случае прочностные показатели резко снижаются.

Очевидна необходимость прогрева бетона в период низких температур, а т.к. с ростом температуры реакции растет ее скорость, прогрев бетона может применяться в любое время для скорейшего достижения бетоном марки. Чем быстрее твердеет бетон, тем скорее представляется возможность освободить опалубку, обогревательные приборы, утеплительные приспособления и материалы, а также сократить расход топлива или энергии, перебросить технический персонал и рабочих на другой участок и приступить к работам, ведение которых невозможно до распалубки.

1.2. Выделение тепла цементом

Происходящее при твердении бетона выделение тепла при зимнем бетонировании в некоторых случаях имеет большое практическое значение. В условиях зимнего бетонирования весьма существенным является количество выделяемого тепла, продолжительность тепловыделения и влияние его на повышение температуры бетона. (см. рис. 1)



Все это зависит от:

- химического состава, марки и тонкости помола цемента – чем выше активность цемента, тем больше тепловыделение при его твердении;
- расхода цемента на 1 м^3 бетона – так как тепло выделяется при гидратации цемента, то расход его на 1 м^3 имеет существенное значение;
- степени массивности (размера и формы) конструкции – у массивной конструкции потеря тепла через поверхности меньше, следовательно, выше подъем температуры, остывание продолжительнее; в конструкциях средней массивности выделение бетоном собственного тепла при твердении имеет большое практическое значение, т.к. вместе с другими мероприятиями часто позволяет выдерживать их зимой способом термоса без обогрева;
- температуры бетонной массы (начальной) и окружающей среды;
- водоцементного отношения.

Чаще выделяемой теплоты недостаточно для повышения температуры бетона в зимний период – ее хватает только на замедление процесса остывания. Но эту теплоту необходимо учитывать при обогреве бетона.

1.3. Замораживание бетона, его прочность

Для достижения бетоном проектной прочности необходимо 28 дней выдержки при нормальных условиях. Но выдерживать бетон столь долгий период в зимний период трудно. При замерзании бетона на ранних стадиях (в возрасте до 4 суток) его твердение прерывается, т.к. вся вода переходит в твердую фазу, а твердые тела в химическое соединение почти не вступают. К тому же, свободная вода, замерзнув, расширяется на 10% от первоначального объема, создавая пористую структуру, и образует наледь на зернах щебня или гравия, что препятствует дальнейшему повышению прочности после размораживания. Это является главной причиной понижения прочности бетона при его раннем замерзании.

В зависимости от водоцементного отношения, по достижению бетоном возраста 6-7 суток при нормальных условиях почти вся вода гидратирует, да и к тому же прочность бетона к этому моменту составляет 40% от R_{28} . После размораживания такого бетона его твердение возобновится и по достижению бетоном 28-дневного возраста (без учета времени заморозки) его прочность составит 95-100% (в зависимости от марки) от прочности такого же не подвергшегося замораживанию бетона. (см. рис. 2) При зимних работах следует предохранять бетон от замерзания на срок, обеспечивающий при данной температуре выдерживания бетона получение им прочности, позволяющей распалубить и загрузить конструкцию нагрузками, которые она должна воспринимать зимой, до возобновления нарастания в бетоне прочности.

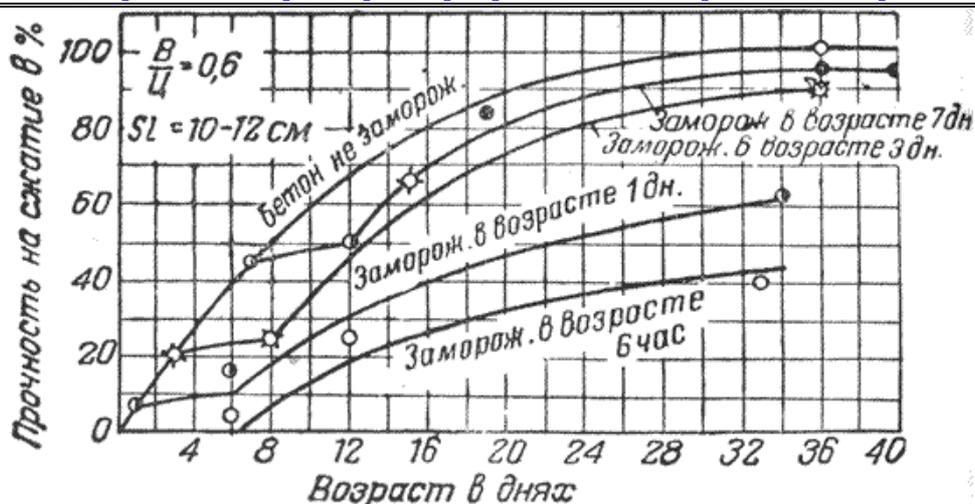


Рис. 2. Потеря прочности бетоном, в зависимости от его возраста в момент замораживания

1.4. Влияние температуры на твердение бетона

Интенсивность процессов растворения и соединения веществ в воде при изменении температуры меняется. Уже говорилось о том, что при увеличении температуры скорость гидратации также увеличивается, при уменьшении температуры – замедляется. Продолжительность схватывания цементного теста в значительной мере зависит от температуры. Сроки наступления начала и конца схватывания цемента с повышением температуры ускоряются, а с понижением – замедляются. (см. рис. 3)

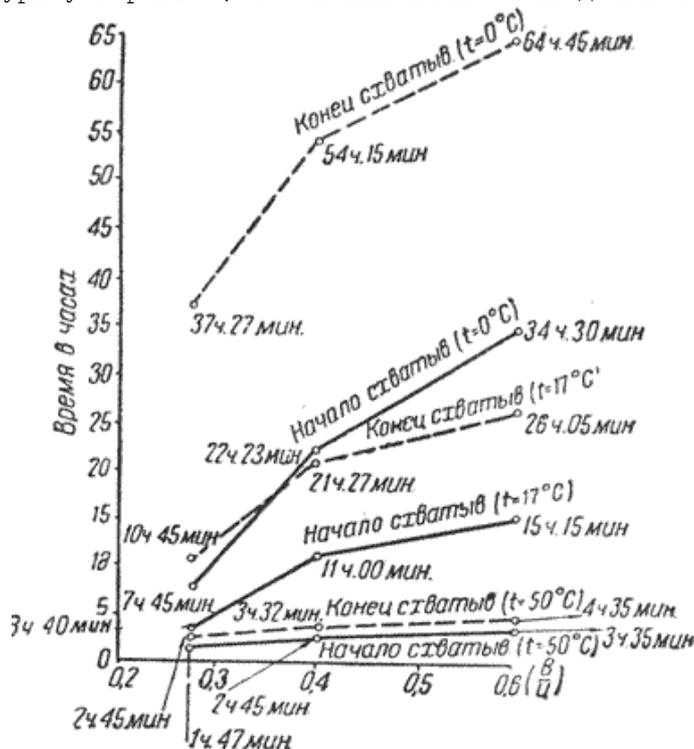


Рис. 3. Влияние водоцементного фактора на сроки схватывания портландцемента 500 при температурах 0°, +17°, +50°

Т.к. при повышении температуры увеличивается гидратируемая часть цементного зерна, то количество воды, необходимое для получения теста нормальной консистенции, возрастает с повышением его температуры. Нельзя допускать сильного испарения с поверхности бетона, что приведет к его пересушиванию, значительная часть останется невовлеченной в твердение. Наоборот, необходимо дополнительно увлажнять бетон, что позволит даже несколько приобрести в качестве.

1.5. Длительность выдерживания бетона

Не существует прямой зависимости между затраченными на твердение градусо-часами и получаемой при этом прочностью бетона при различных температурах. Нарастание прочности бетонов при различных температурах и сроках твердения ориентировочно может определяться по рис. 4 и 5.

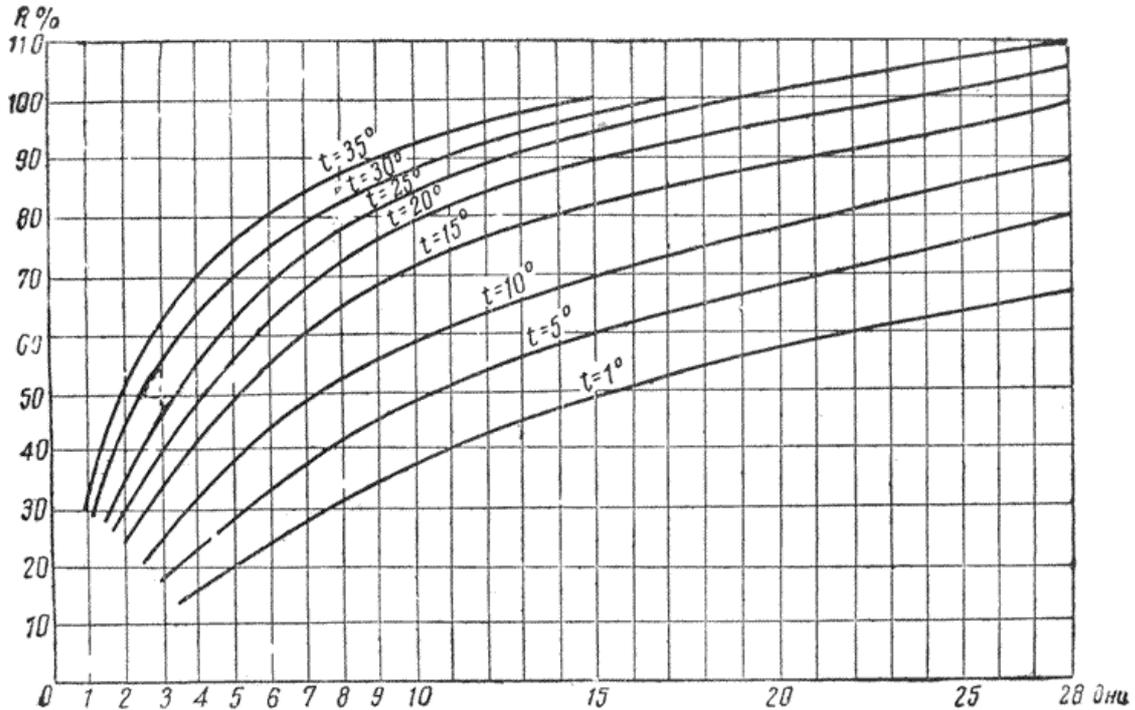


Рис. 4. Твердение бетона на портландцементе при температурах от $+1^\circ$ до $+35^\circ$

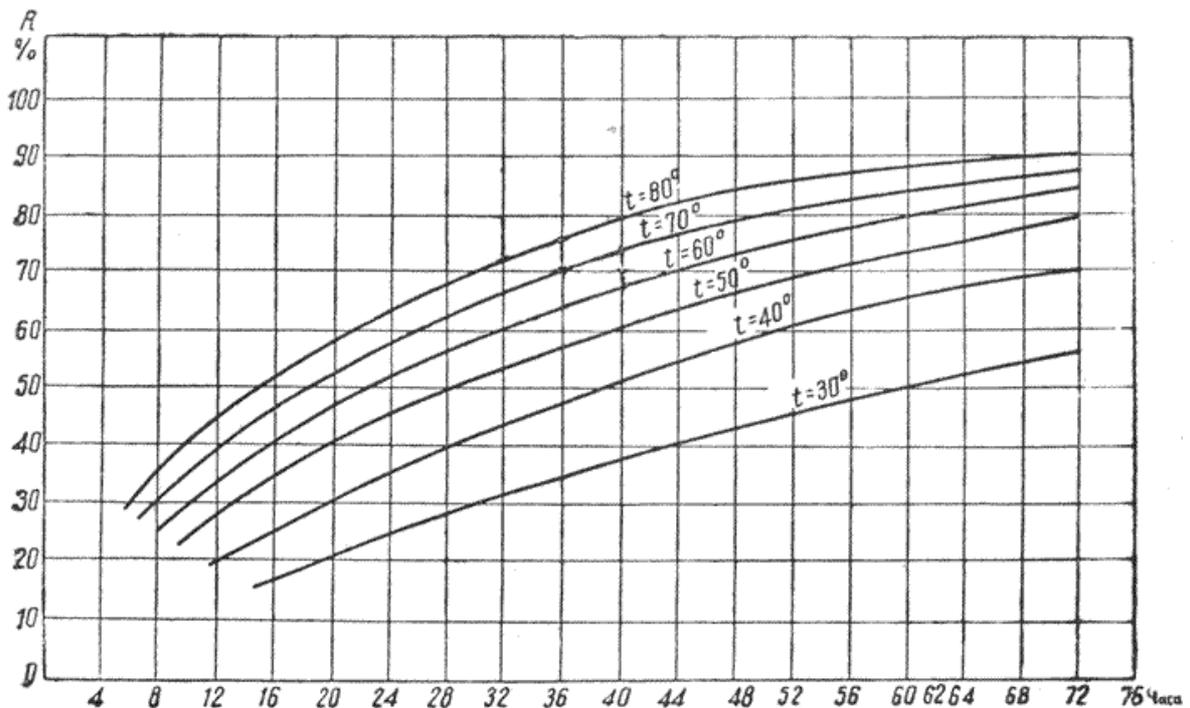


Рис. 5. Зависимость между прочностью бетона температурой и длительностью прогрева

Определить длительности выдерживания бетона, твердевшего при различных температурах, приближенно можно по рис. 6, показывающему во сколько раз больше или меньше длительность выдерживания бетона при данной температуре до той же степени прочности длительности при $+15^\circ\text{C}$.

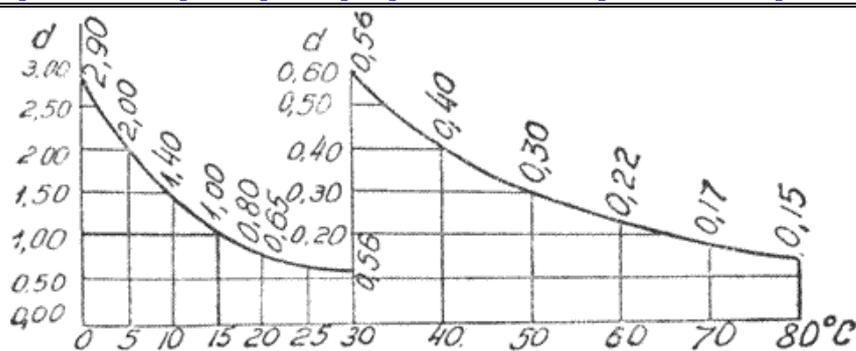


Рис. 6. График переводных коэффициентов

1.6. Факторы, ускоряющие твердение бетона

Существует множество факторов, способных влиять на скорость твердения бетона, но большинство из них относятся к характеристикам составных частей бетона и способу его приготовления, а т.к. исполнитель работ получает уже готовую смесь, он не может на них влиять. Рассмотрим лишь те, которые зависят от исполнителя работ.

Это, во-первых, увеличение времени перемешивания бетона. С увеличением времени перемешивания повышаются прочность бетона, его однородность, удобоукладываемость и водонепроницаемость. Хотя по техническим условиям продолжительность перемешивания бетона зимой увеличивается против норм летнего времени в 1,5 раза, этот фактор также можно опустить, т.к. в условиях большого города для доставки бетона на объект применяются миксера, увеличивающие время перемешивания до 40 минут.

Во-вторых, это вибрирование бетона в конструкции. Применение вибрирования дает возможность укладывать бетон более жесткой консистенции, т.е. с меньшим водоцементным соотношением, что способствует ускорению твердения. При хорошем вибрировании частицы бетона располагаются наиболее компактно, при этом из бетона вытесняются пузырьки воздуха и излишняя вода, что придает ему однородную структуру и весьма большую плотность. Последняя же является одним из главных качеств бетона, от которого зависят морозостойкость, водонепроницаемость и пр.

2. Выбор способа выдерживания бетона

Основной задачей при выборе способа выдерживания бетона в зимних условиях является обеспечение в кратчайший срок и наиболее экономично возможности распалубки, а при необходимости и полной загрузки выполняемой зимой конструкции.

В зависимости от массивности и рода бетонируемой конструкции, наличия на строительной площадке теплового хозяйства и теплоизоляционных материалов, объемов и сроков работ, метеорологических условий, а также экономических показателей выбирается способ выдерживания бетона: 1) способом термоса; 2) паропрогревом; 3) электропрогревом; 4) в тепляках (с использованием теплоты грунта), а также комбинированием указанных способов.

Способ термоса сводится только к утеплению конструкции. Твердение бетона происходит медленно при температуре, установившейся при гидратации цемента и его твердении, и поэтому зимой может применяться только в массивных конструкциях. Использование способа термоса при летнем бетонировании не имеет смысла.

Паропрогрев сложен в применении. Для паропрогрева необходим мощный источник пара, велики затраты топлива или электроэнергии, необходим источник воды на объекте. Также необходимо сооружать дополнительные конструкции на поверхности или закладывать трубы или каналы внутрь бетона, по которым будет идти пар. Трубы навсегда остаются запечатанными в конструкции. Резко возрастает стоимость работ, да и эффективность пропаривания портландцемента мала.

Сооружение тепляков также затруднительно и дорого. Для сооружения тепляка появляется необходимость в предварительном проектировании тепляка, дополнительной рабочей силе, пиломатериалах. Прогрев же сводится либо к паропрогреву или электропрогреву, либо к установке печей. Большое количество времени уходит на сборку и разборку тепляков.

3. Электропрогрев

Пожалуй, наиболее быстрым и эффективным является метод электропрогрева. Обогрев бетона с использованием электроэнергии может осуществляться: а) пуском тока непосредственно через свежий бетон с применением электродов и использованием выделяющегося при этом джоулева тепла; б) с применением греющих проводов, проложенных в бетоне; в) с применением греющей опалубки.

Применение обогрева бетона, осуществляемое пуском тока через свежий бетон, имеет большой недостаток – оно возможно только на ранних стадиях твердения бетона, т.к. по достижению бетоном 50% от R_{28} почти вся имеющаяся вода вступает в реакцию с цементом, что приводит к полной потере электропроводности бетоном и невозможности дальнейшего прогрева. Также возрастает вероятность пересушивания бетона в электродных зонах. Использование греющей опалубки дорого и не позволяет равномерно прогревать даже не очень массивные конструкции. Способ обогрева с применением греющих проводов тоже имеет свои недостатки, но он является самым предпочтительным из всех вышеперечисленных.

4. Обогрев бетона с применением греющих проводов

4.1. Общие положения

Сущность метода заключается в том, что в бетон укладываются провода со стальной жилой диаметром 1,1 – 1,8 мм в полиэтиленовой или поливинилхлоридной изоляции, которые при прохождении по ним сильного тока, за счет сопротивления выделяют тепло. Т.к. провода в изоляции, электропроводность бетона не играет никакой роли в процессе обогрева. Арматура, в отличие от метода, когда ток проходит через бетон, также не влияет на ход прогрева.

Электропрогрев следует применять для конструкций, как правило, с модулем поверхности $M_n \geq 5$ ($M_n = S_{\text{пов}}/V$). Обогрев бетона нагревательными проводами позволяет при температуре наружного воздуха до -40°C возводить монолитные фундаменты, стены, колонны и т.п., заделывать стыки сборных железобетонных элементов и пр.

Нагревательные провода размещаются в соответствии с технологическими картами после установки арматуры, закладных деталей и завершения электросварки арматуры. В монолитных железобетонных конструкциях они навиваются на арматурный каркас без натяжения, в бетонных – на инвентарные шаблоны. Нагревательные провода размещаются в один или несколько рядов. Греющие провода должны размещаться в теле бетона, иначе они сторят. Они не должны касаться опалубки или соприкасаться с деревянными закладными деталями. Выводы греющих элементов из бетона должны быть увеличены в сечении провода в 2-3 раза подсоединением кусков медных проводов с изоляцией места подсоединения. Подключение выводов греющих элементов к инвентарным соединениям питающей сети необходимо производить только после проверки их сопротивления мегомметром. Необходимо обеспечить равномерную загрузку фаз низкой стороны подстанции.

Усредненные значения расхода нагревательного провода на 1 м^3 бетона – 60 м, трудоемкости – 0,6 чел/ч, расхода электроэнергии – 4,8 кВт/ч.

4.2. Превращение электрической энергии в тепловую

Метод осуществляется при пониженных (от 50 до 110 В) напряжениях и высокой силе тока. Возможно применение как постоянного, так и переменного тока. Применяются однофазный или трехфазный переменный ток нормальной частоты (50 Гц). Для использования низкого напряжения необходимы понизительные трансформаторы типа ТМОБ-63 или КТПТО-80.

В расчетах необходимо учитывать, что при расходе электроэнергии в 1 кВт/ч выделяется 864 ккал тепла. Удельная теплоемкость бетона – 620 ккал/м³ на градус. Между превращением электрической энергии в тепловую существует зависимость:

$$Q = 864 Pt = 864 IUt = 864 I^2Rt = 864 U^2t/R \text{ кал,}$$

где Q – выделившееся тепло,

P – мощность,

t – время в часах,

I – сила тока,

U – напряжение,
R – сопротивление проводника.

Отсюда следует, что количество выделяемого током в бетоне тепла прямо пропорционально квадрату напряжения тока и обратно пропорционально сопротивлению прогреваемого элемента. Таким образом, температура прогрева бетона находится в непосредственной зависимости от его сопротивления и напряжения тока.

4.3. Выпаривание влаги

Нельзя допускать резких местных перегревов, вызывающих вредное для бетона интенсивное испарение влаги. Причиной выпаривания влаги являются разность парциальных давлений паров в бетоне и окружающей среде и малая влажность последней. Интенсивность выпаривания зависит от температуры и длительности прогрева, M_n элемента, степени армирования, плотности бетона (чем она меньше, тем выпаривание больше) и, наконец, от способа утепления. При неблагоприятных значениях указанных факторов выпаривание может оказаться настолько большим, что бетон получится пересохший. Этого можно избежать, если бетон тщательно провибрировать после укладки, укрыть матами, досками и применять умеренные температуры прогрева для легких конструкций. Увлажнение бетона, частично предохраняющее его от высыхания, является крайне желательным, но практически часто трудно осуществимо.

В зимнее время обязательно устройство легкого шатра, защищающего место работы от ветра и снега. Такой шатер повышает производительность труда, уменьшает потери через рабочий настил и предохраняет укладываемый бетон от непосредственного воздействия мороза.

4.4. Режим прогрева бетона

Электропрогрев можно начинать только после завершения укладки бетона и размещения всех греющих элементов и нижней части выводов в бетоне, выполнения указаний охраны труда и техники безопасности. В конструкциях необходимо сделать скважины для замера температуры.

Включать ток следует не позднее чем через 1,5 – 2 часа после укладки бетона при температуре в нем не ниже $+5^{\circ}\text{C}$. При этом чем ниже температура бетона в момент включения тока, тем больше расход энергии. Интенсивность подъема и понижения температуры в обычных железобетонных конструкциях должна не превышать значения коэффициента модуля поверхности M_n и не быть выше 15°C в час при подъеме и 10°C в час при понижении.

С помощью токоизмерительных клещей измерить пусковую силу тока во всех греющих элементах. При значениях показаний, превышающих допустимые в момент пуска, необходимо понизить напряжение в сети.

Предельная температура изотермического прогрева бетона не должна превышать 70°C во избежании пересушивания бетона. Температура в разных точках прогреваемого элемента не должна отличаться по длине его более чем на 15°C и по сечению – более чем на 10°C . Колебания температуры в элементе в период изотермического прогрева не должны превышать 10°C . В целях экономии расхода электроэнергии бетон в процессе прогрева должен быть защищен от излишней потери тепла и влаги.

В пределах зоны работ на видном месте должны быть установлены сигнальные лампочки, зажигающиеся при пуске тока в линию.

4.5. Мощность, необходимая для прогрева бетона

Удельная мощность, необходимая в период подъема температуры бетона для последующего прогрева при 80°C, находится по таблице:

Скорость подъема температуры бетона, °С/ч	Температура воздуха, °С	Удельная мощность, кВт/м ³ , при температуре последующего прогрева в 80°C и модуле поверхности			
		6	10	15	20
5	-10	3,8	4,6	5,6	6,5
	-20	4	4,9	6	7,1
	-30	4,2	5,07	6,4	7,6
10	-10	7,6	8,6	9,7	10,9
	-20	7,8	8,7	10,1	11,5
	-30	7,9	9,1	10,6	12
15	-10	11,4	12,5	13,9	15,3
	-20	11,7	12,8	14,3	15,9
	-30	11,7	13,1	14,7	16,4

Удельная мощность, необходимая в период изотермического прогрева бетона при температуре 80°C, находится по таблице:

Температура воздуха, °С	Удельная мощность, кВт/м ³ , при температуре прогрева 80°C и модуле поверхности			
	6	10	15	20
-10	1,4	2,4	3,6	4,8
-20	1,6	2,7	3,4	5,3
-30	1,8	2,9	4,4	5,9

Установочная мощность в подстанциях зависит от напряжения при обогреве бетона и определяется по таблице:

ТМОВ-63	Сила тока, А	520			301		
	Напряжение, В	49	60	70	85	103	121
	Установочная мощность, кВт	45,5	53,5	63	45,5	53,6	63
КТПТО-80	Сила тока, А	520			471		
	Напряжение, В	55	65	75	85	95	
	Установочная мощность, кВт	49,5	58,5	61	69,3	77,4	

В зависимости от планируемых суточных объемов укладки бетона и требуемой для электропрогрева электрической мощности необходимо определить количество требуемых подстанций.

Характеристика греющих проводов определяется их длиной, диаметром, электрическим сопротивлением стальной жилы провода. Зная необходимую для прогрева мощность, находим необходимую длину греющих проводов.

Использованная литература

1. «Строительные работы в зимнее время», Стройиздат, Москва, 1948 г.
2. «Основы научных исследований», Высшая школа, Москва, 1989 г.
3. «Строительство тепловых и атомных электростанции II», Стройиздат, Москва, 1985 г.
4. СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции», Москва, 1998 г.
5. «Подстанция трансформаторная комплектная для термообработки бетона и грунта КТПТО-80-86УІ. Техническое описание и инструкция по эксплуатации»