693.5
Р85

ЦНИИОМТП
Госстроя СССР

Руководство

по производству бетонных работ в зимних условиях, районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера

Москва 1982

gost.e-ecolog.ru

Центральный научно-исследовательский
и проектно-экспериментальный
институт организации, механизации
и технической помощи строительству
(ЦНИИОМТП) Госстроя СССР

РУКОВОДСТВО

ПО ПРОИЗВОДСТВУ БЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ, РАЙОНАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА, СИБИРИ И КРАЙНЕГО СЕВЕРА



Москва Стройиздат 1982

УДК 693.54«324»

Рекомендовано к изданию решением секции технологии и механизации строительного производства НТС ЦНИИОМТП Госстроя СССР.

Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях, районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера/ЦНИИОМТП Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1982.— 213 с.

Приведены способы приготовления и транспортирования бетонной смеси, режимы тепловой обработки бетона. Рассмотрены вопросы выдерживания бетона способом термоса, предварительного электроразогрева бетонной смеси, электропрогрева бетона, обогрева бетона в греющей опалубке, индукционного нагрева бетона, бетонирования в тепляках, паропрогрева бетона, замоноличивания стыков. Освещены особенности производства бетонных работ в районах Северной климатической зоны, электрооборудования, контроль за производством работ и качеством бетона, дано экономическое обоснование выбора способа зимнего бетонирования.

Для инженерно-технических работников строительных организаций.

Табл. 89, ил. 83.

Р $\frac{3205000000-248}{047(01)-82}$ Инструкт.-нормат., I вып.—62—81.

© Стройиздат, 1982

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее Руководство разработано к главе СНиП III-15-76 «Бетонные и железобетонные конструкции монолитные».

Руководство разработано впервые и включает как основные положения ранее изданных инструктивных документов по отдельным способам зимнего бетонирования — по электротермообработке бетона, по термосному выдерживанию бетона, по электропрогреву бетонов, содержащих противоморозные добавки, по бетонированию в термоактивной опалубке, по применению бетонов с противоморозными добавками, так и результаты научных исследований последних лет в области зимнего бетонирования, конструкторских разработок и передовой производственный опыт.

В Руководстве приведены материалы по всем способам зимнего бетонирования, применяемым в нашей стране, как безобогревным способом, так и с прогревом бетона, прежде всего по способам электротермообработки, которые обусловливают меньшие затраты топливно-энергетических ресурсов на 1 м³ бетона, чем другие виды тепловой обработки. Впервые изложены данные по бетонированию в тепляках; тепловой обработке с применением нагревательных элементов, размещенных в бетоне; по замоноличиванию стыков с разными способами выдерживания бетона; по технологическим особенностям бетонных работ в условиях Крайнего Севера и приведены данные для обоснованного выбора на основе технико-экономических критериев оптимального способа зимнего бетонирования в конкретных условиях строительства.

В Руководстве рассмотрены вопросы механизации и автоматизации операций при зимнем бетонировании и снижения их трудоемкости, а также снижения расхода энергии на тепловую обработку бетонов.

Разработано Руководство ЦНИИОМТП Госстроя СССР при участии НИИЖБ Госстроя СССР, МИСИ, ЧПИ и МАДИ Министерства высшего и среднего специального образования, Красноярского Промстройниипроекта Минтяжстроя СССР, СибЗНИИЭП Гражданстроя СССР, ВНИПИ Теплопроекта Минмонтажспецстроя СССР, ВНИИСТ Министерства строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности СССР, Норильского горно-металлургического комбината им. А. П. Завенягина.

Материал подготовлен:

раздел 1, 2, 3 — инж. И. В. Коротковым с участием по разд. 2 инж. В. И. Остромогольского;

раздел 4 — канд. техн. наук В. Я. Гендиным (ЦНИИОМТП) с участием д-ра техн. наук Б. А. Крылова (НИИЖБ), канд. техн. наук А. И. Замощика, инж. Т. Н. Кондратьевой (Красноярский Промстройниипроект);

раздел 5 — докторами техн. наук Б. А. Крыловым, С. А. Мироновым, канд. техн. наук О. С. Ивановой, инж. С. И. Пчелкиным (НИИЖБ) с участием д-ра техн. наук И. Б. Заседателева, кандидатов техн. наук В. Г. Петрова-Денисова, С. А. Шифрина, инж. И. В. Дудникова (Теплопроект Минмонтажспецстроя);

раздел 6 — канд. техн. наук А. В. Лагойдой (НИИЖБ) и инж.

Л. С. Гончаровой (ЦНИИОМТП) с участием д-ра техн. наук Б. А. Крылова, кандидатов техн. наук Г. П. Апостоловой и О. П. Лариной (НИИЖБ), канд. хим. наук Т. И. Розенберг (ВНИИСТ), канд. техн. наук В. Д. Смелик (СибЗНИИЭП);

раздел 7 — д-ром техн. наук Б. А. Крыловым, канд. техн. наук А. И. Ли, инж. Р. А. Лукичевым (НИИЖБ) с участием инж. В. В. Прохорова (НИИЖБ), д-ра техн. наук А. С. Арбеньева (НИСИ), кандидатов техн. наук А. П. Шешукова и А. И. Гмыри (ТИСИ);

раздел 8 — канд. техн. наук В Я. Гендиным (ЦНИИОМТП) с участием канд. техн. наук А. Н. Архангельского (Уральский Промстройниипроект);

раздел 9 — кандидатами техн. наук В. Д. Топчием, Н. И. Евдокимовым, В. В. Шишкиным, инж. М. М. Поляковой (ЦНИИОМТП) с участием д-ра техн. наук И. Б. Заседателева, канд. техн. наук С. А. Шифрина (Теплопроект Минмонтажспецстроя), кандидатов техн. наук Ю. Е. Гавриша, А. И. Замощика, инженеров Т. Н. Зиновьевой, В. А. Самодеева (Красноярский Промстройниипроект);

раздел 10 — канд. техн. наук Б. М. Красновским (МИСИ);

раздел 11 — д-ром техн. наук Н. Н. Даниловым и канд. техн. наук В. С. Абрамовым (МИСИ);

раздел 12 — канд. техн. наук В. Я. Гендиным (ЦНИИОМТП);

раздел 13 — канд. техн. наук В. Я Гендиным, инж. Л. С. Гончаровой (ЦНИИОМТП), канд. техн. наук В. Ф. Смелик (СибЗНИИЭП);

раздел 14 — канд. техн. наук Б. И. Березовским (ЦНИИОМТП) с участием канд. техн. наук Д. А. Могильникова, инженеров Ю. А. Егорова и Е. В. Коротова (Норильский горно-металлургический комбинат), д-ра техн. наук С. А. Миронова и канд. техн. наук О. С. Ивановой (НИИЖБ);

раздел 15 — канд. техн. наук В. Я. Гендиным с участием инж. В. И. Нарских (ЦНИИОМТП) с использованием материалов авторов других разделов;

раздел 16 — канд. техн. наук В. Я. Гендиным (ЦНИИОМТП);

раздел 17 — канд. техн. наук С. Г. Головневым и Н. В. Юнусовым (ЧПИ) с участием инж. Л. И. Бланка (ЦНИИОМТП); нормирование энергоресурсов — кандидатами техн. наук С. Н. Коротковым (ВНИИКТЭП), В. Я. Гендиным (ЦНИИОМТП);

раздел 18 — канд. техн. наук В. Я. Гендиным (ЦНИИОМТП) с использованием материалов авторов других разделов.

Общая редакция Руководства осуществлена канд. техн. наук В. Д. Топчием, д-ром техн. наук Б. А. Крыловым, канд. техн. наук В. Я. Гендиным, инж. И. В. Коротковым.

Замечания и предложения по содержанию настоящего Руководства просим направлять в ЦНИИОМТП Госстроя СССР по адресу: 127434, Дмитровское шоссе, 9.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях, районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера содержит рекомендации по особенностям технологии приготовления, транспортирования и укладки бетонной смеси, по выбору наиболее эффективного способа выдерживания бетона и методике его осуществления в зимних условиях, а также в сложных природных условиях Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера.

1.2. Положения настоящего Руководства должны выполняться, согласно главе СНиП III-15-76 «Бетонные и железобетонные конструкции монолитные», в период производства бетонных работ при ожидаемой среднесуточной температуре наружного воздуха ниже 5° С или минимальной суточной температуре ниже 0° С, а также при бетонировании конструкций на вечномерзлых грунтах.

Продолжительность зимнего периода, расчетная температура и скорость ветра для различных пунктов территории СССР по месяцам приведены в прил. 1.

1.3. Бетонирование конструкций в зимних условиях следует производить, согласно п. 5.1 главы СНиП III-15-76, только по специально разработанным технологическим картам, в которых должны быть приведены:

а) особенности технологии приготовления и транспортирования бетонной смеси, обеспечивающие получение заданной температуры этой смеси при выгрузке из бетоносмесителя и у места ее укладки в конструкцию;

б) требуемая прочность бетона к концу выдерживания и моменту распалубливания;

в) способы и температурно-влажностные режимы выдерживания бетона;

г) данные о материале опалубки с указанием теплоизоляционных показателей, о пароизоляционных и теплоизоляционных материалах для укрытия неопалубленных поверхностей бетона и при необходимости опалубки;

д) потребность энергии, воды, пара, оборудования и специальных материалов;

е) схема размещения скважин и наименования устройств для измерения температуры бетона;

ж) при применении электротермообработки бетона дополнительно указывается схема размещения и подключения электродов или электронагревателей, требуемые электрическая мощность, напряжение и сила тока, тип понижающего трансформатора, сечение и длина проводов;

з) сроки и порядок распалубливания и загружения конструкций;

и) особенности техники безопасности при производстве работ.

1.4. До наступления отрицательных температур необходимо подготовить к эксплуатации в зимних условиях:

бетонные и растворные узлы;

устройства для подогрева воды и заполнителей;

склады материалов;

автотранспорт для перевозки бетонной смеси;

механизмы и инвентарь для подачи, распределения и уплотнения бетонной смеси;

понижающие трансформаторы для электротермообработки бетона.

1.5. Прочность бетона (называемая критической) [1] монолитных конструкций и монолитной части сборно-монолитных конструкций к моменту возможного замерзания или охлаждения ниже расчетных температур должна быть указана в проекте производства работ или в технологической карте и составлять в соответствии с требованиями главы СНиП III-15-76:

а) для бетона без противоморозных добавок 50, 40, 30% проектной прочности при марках соответственно М 150, М 200—М 300, М 400—М 500;

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

в) 80% для преднапряженных конструкций;

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

д) для бетона с противоморозными добавками к моменту его охлаждения ниже температуры, на которую рассчитано количество добавок — 30, 25 и 20% проектной прочности при марках соответственно до М 200, М 300 и М 400.

Если бетон замерзает, не достигнув критической прочности, то под влиянием внутреннего давления при образовании льда происходит частичное разрушение цементного камня и нарушение его сцепления с заполнителями, которые при дальнейшем твердении в условиях положительных температур восстанавливаются не полностью, в результате чего конечная прочность бетона снижается.

Бетон, достигший к моменту замерзания критической прочности, проектную прочность приобретает только после оттаивания и выдерживания при положительной температуре в течение не менее 28 сут.

В тех случаях, когда конструкции подлежат загружению нормативной нагрузкой до наступления устойчивых положительных температур, требуется обеспечить приобретение бетоном предусмотренной проектом прочности до его загружения.

Условия и период, по истечении которого допускается замерзание бетона в транспортных и массивных гидротехнических сооружениях, должны уточняться в проекте производства работ с учетом требований на проектирование и возведение этих сооружений.

1.6. Температурно-влажностное выдерживание бетона в зимних условиях может производиться: способом термоса; с применением противоморозных добавок; электротермообработкой бетона (предварительным электроразогревом смеси, электродным прогревом; обогревом в греющей опалубке, инфракрасным обогревом и индукционным нагревом); обогревом бетона паром, горячим воздухом и в тепляках.

Для предварительного выбора способа зимнего бетонирования в зависимости от массивности конструкции ($M_п$) и температуры наружного воздуха следует пользоваться табл. 1, а окончательное решение принимать на основе теплотехнических расчетов и установле-

[1] Критической прочностью называется прочность бетона в % от R_{28}, после достижения которой бетон может быть заморожен без снижения его прочности и других показателей в процессе последующего твердения после оттаивания.

Таблица 1

Конструкции	Модуль поверхности[1]	Рекомендуемый способ
Массивные бетонные и железобетонные фундаменты	До 3	Способ термоса, способ термоса с применением ускорителей твердения бетона при температуре наружного воздуха ниже минус 20° С. Бетон с противоморозными добавками при более низких температурах
Фундаменты под конструкции зданий и оборудование, массивные стены и т. п.	3—6	Способ термоса, способ термоса с применением ускорителей твердения. Бетон с противоморозными добавками. При необходимости получения заданной прочности бетона в короткие сроки или при температуре наружного воздуха ниже минус 15° С — предварительный электроразогрев бетонной смеси либо периферийный электропрогрев, либо применение греющей опалубки
Колонны, балки, прогоны, элементы рамных конструкций, свайные ростверки, стены, перекрытия и т. п.	6—10	Бетон с противоморозными добавками. Предварительный электроразогрев бетонной смеси, электродный прогрев, электрообогрев с применением греющих опалубок, покрывал и щитов
Полы, перегородки, плиты перекрытий, тонкостенные конструкции	10—20	Электродный прогрев, обогрев с помощью греющей опалубки. Бетон с противоморозными добавками (для полов)
Стыки, подливки	20—100	Электродный прогрев, индукционный нагрев, применение добавки поташа или нитрита натрия

[1] Модуль поверхности конструкции ($M_п$) равен отношению суммы площадей охлаждаемых поверхностей конструкции (ΣF) к ее объему (V), т. е. $M_п = \Sigma F/V$.

ния экономической эффективности того или иного способа применительно к местным условиям.

В зависимости от принятого способа выдерживания бетона, охлаждения смеси при транспортировании и укладке назначается температура бетонной смеси по выходе из бетоносмесителя и температура подогрева составляющих бетон материалов.

1.7. Распалубливание несущих бетонных и железобетонных конструкций следует производить после достижения бетоном прочности, приведенной в табл. 2, или в указаниях проекта производства работ.

Таблица 2

Конструкции	Прочность бетона (% проектной) при фактической нагрузке	
	свыше 70 % расчетной	менее 70% расчетной
С напрягаемой арматурой	100	80
Находящиеся в мерзлом грунте	100	70—85*
Несущие длиной менее 6 м	100	70
Несущие длиной 6 м и более	100	80
Плиты пролетов до 3 м	100	70

* При отсутствии в бетоне добавок — ускорителей твердения и противоморозных.

Примечание. При невозможности обеспечить требуемую прочность бетона к моменту загрузки конструкции нормативной нагрузкой допускается при соответствующем технико-экономическом обосновании применение марки бетона, увеличенной на одну ступень.

Допускается снятие опалубки, воспринимающей массу бетона конструкций, армированных несущими сварными каркасами, а также боковых элементов, не несущих нагрузки от массы конструкций, после достижения бетоном критической прочности согласно требованиям п. 1.5 настоящего Руководства.

1.8. Прочность бетона перед распалубливанием должна быть подтверждена испытаниями в соответствии с п. 16.21 настоящего Руководства.

1.9. Распалубливание массивных конструкций (с $M_п<2$), в том числе гидротехнических блоков, следует производить с учетом заданных проектом производства работ наибольших допустимых температурных перепадов между ядром блока и его поверхностью, а также между поверхностью блока и наружным воздухом.

1.10. Снятие теплозащиты и опалубки с конструкций, выдержанных по методу термоса, следует производить не ранее остывания бетона в наружных слоях до расчетной конечной температуры, не допуская примерзания к бетону; при электротермообработке бетона — не ранее остывания до температуры, предусмотренной расчетом, а при применении бетонов с противоморозными добавками — по достижении прочности, указанной в п. 1.5. настоящего раздела.

Не допускается снятие теплоизоляции, если температура в центре конструкции продолжает повышаться. Кроме того, снятие теплозащиты и опалубки следует производить не ранее момента, когда разность температур поверхностного слоя бетона и наружного воздуха составит не более 20° С для конструкций с модулем поверхности от 2 до 5 и не более 30° С для конструкции с $M_п$=5 и выше. При большей разности указанных температур распалубленные конструкции должны быть после распалубки укрыты.

1.11. Загружение распалубленных конструкций полной расчетной нагрузкой допускается только после приобретения бетоном проектной прочности.

Распалубка и частичная загрузка могут быть допущены при меньшей, чем указано в табл. 2, прочности бетона при условии проверки расчетом прочности конструкции под действием фактических нагрузок.

1.12. Скорость остывания бетона при всех способах зимнего бетонирования не должна превышать для конструкций с модулем поверхности: более 10 —10° С в час и от 6 до 10 —5° С в час; 5 и менее — величины, определяемой расчетом и исключающей появление трещин в поверхностных слоях бетона.

2. ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ

2.1. В зимних условиях наиболее эффективно применение цементов в зависимости от способа выдерживания бетона и $M_п$ конструкций, приведенных в табл. 3.

2.2. Заполнители при зимнем бетонировании должны удовлетворять всем требованиям, которые предъявляются для бетонов, укладываемых в летних условиях. Кроме того, заполнители для бетонов перед загрузкой в смеситель не должны содержать смерзшихся комьев, кусков льда, наледи на зернах и снега. В связи с этим для уменьшения или исключения возможностей смешения заполнителей со снегом и обледенения необходимо складировать их высокими штабелями на сухих и возвышенных местах, защищенных от снежных заносов.

Оттаивание и подогрев заполнителей может производиться (с помощью дымовых газов и горячего воздуха) в открытых штабелях, закрытых бункерах, сушильных барабанах и других устройствах. Подогрев воды для бетонной смеси наиболее просто и эффективно осуществлять посредством пуска в нее пара.

2.3. Подбор составов бетона для зимней укладки осуществляется любыми проверенными на практике и принятыми для летних условий способами.

Наряду с этим рекомендуется:

а) учитывать, что бетоны, подвергнутые электротермообработке при жестких режимах, недостаточной защите от влагопотерь, отсутствии добавок и т. п., к 28-суточному возрасту после прогрева могут иметь недобор прочности до 10% R_{28}. В случае необходимости получения проектной прочности бетона в установленный срок допускается увеличивать марку бетона против проектной на одну ступень или применять другие способы выдерживания;

б) назначать водоцементное отношение ($В/Ц$) бетонной смеси не более 0,65, а для бетонов с повышенными требованиями по морозостойкости (Мрз$>$50) — не более 0,5.

Таблица 3

Рекомендуемые цементы для зимнего бетонирования (знак «плюс» означает «рекомендуется»; знак «минус» — «не допускается»)

Вид цементов	Способы выдерживания бетона				
	термос конструкции с $M_п$		термос с предварительным электроразогревом бетонной смеси	бетон с противоморозными добавками	тепловая обработка бетона в конструкциях
	3 и более	менее 3			
Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ)	+	—	+ с примеч. 1	+ с примеч. 2	+
Портландцементы марок 400 и выше, высокоалитовые (C_3 более 55%) с содержанием молотых добавок до 10%, сроком хранения до 2 мес.	+	—	То же	То же	+
Портландцементы высокомарочные (400 и выше), алитовые (C_3 не менее 50%) с содержанием C_3A не более 8%, с активными кремнеземистыми добавками до 10%	+	—	»	»	+ с примеч. 3
Портландцементы марок М 400 и выше с содержанием C_3A:					
до 10% при добавках хлоридов натрия и кальция	—	—	—	»	—

до 5% при добавке нитрита натрия	—	—	—	»	—
до 8% при добавке НКМ	—	—	—	»	—
более 8% при добавке поташа	—	—	—	»	—
Глиноземистый цемент	+ с примеч. 4	—	—	—	—
Шлакопортландцемент	—	+ с примеч. 5	+ с $M_п>3$	—	+ с примеч. 6
Пуццолановый портландцемент	+ с примеч. 7	То же	—	—	+ с примеч. 7

Примечания: 1. При подтверждении лабораторной проверкой требуемой подвижности смеси.

2. Низкоалюминатные портландцементы, шлакопортландцементы и особенно пуццолановые портландцементы применять не рекомендуется ввиду замедленного их твердения при температуре ниже 0° С.

3. При C_3A более 8% бетон не приобретает высокой относительной прочности и в 28-суточном возрасте бетон не добирает 15—20% марочной прочности.

4. При технико-экономическом обосновании с $M_п$ конструкций от 6 до 12 и учете понижающих защитных свойств по отношению к арматуре.

5. При эффективном утеплении наружных поверхностей или периферийном электропрогреве.

6. Допускается только при отсутствии повышенных требований к морозостойкости и с учетом длительных сроков тепловой обработки.

7. Если предусмотрено проектом

2.4. Основными особенностями приготовления бетонной смеси в зимних условиях в отличие от летних являются обеспечение расчетной температуры смеси на выходе ее из бетоносмесителя, осуществление подогрева воды, отогрева или подогрева составляющих заполнителей, а также отопление бетоносмесительного узла, дозаторного и бункерных отделений.

Расчетная температура бетонной смеси по выходе из бетоносмесителя ($t_{см}$) и температура предварительного электроразогрева смеси определяется по формуле

$$t_{см} = \frac{t_{б.н} - t_{н.в}\,\Sigma\Delta t_{тр}}{1 - \Sigma\Delta t_{тр}}, \qquad (1)$$

где $t_{б.н}$ — начальная средняя температура бетона после укладки в опалубку, уплотнения и укрытия (назначается в зависимости от способа выдерживания бетона), град;

$t_{н.в}$ — температура наружного воздуха, град;

$\Sigma\Delta t_{тр}$ — суммарное относительное снижение температуры бетонной смеси при всех операциях — от приемки из бетоносмесителя до укладки и укрытия в конструкции;

$\Delta t_{тр}$ — относительное снижение температуры бетонной смеси на каждой операции (при транспортировании, перегрузке, укладке и уплотнении) при перепаде между температурой наружного воздуха и температурой бетонной смеси 1° С.

Расчеты по формуле (1) можно производить при температуре наружного воздуха ниже 0° С.

Пооперационные относительные величины снижения температуры бетонной смеси $\Delta t_{тр}$ определяются по формуле

$$\Delta t_{тр} = \Delta \bar{t}'_{тр}\,\tau, \qquad (2)$$

где τ — время транспортирования (укладки, уплотнения, перегрузки) бетонной смеси, мин;

$\Delta \bar{t}'_{тр}$ — относительное снижение средней температуры бетонной смеси, град/(град·мин), при транспортировке (укладке, уплотнении, перегрузке) в течение 1 мин и перепаде температуры бетонной смеси и окружающего воздуха 1° С.

Значения $\Delta t_{тр}$ при транспортировании смеси даны в табл. 4, а при укладке и уплотнении составляют:

$\Delta t_{у}$	Толщина конструкции, мм
0,03	60
0,018	100
0,012	150
0,009	200
0,007	300
0,005	400
0,004	500
0,003	600

При погрузке и перегрузке на каждую операцию можно принимать $\Delta t_{тр.п} = 0{,}032$; при перемещении башенным краном — $\Delta t_{тр} = 0{,}0022\,H$, где H — высота подъема, м; при перемещении смеси шахтным подъемником (в утепленной шахте) — $t_{тр.ш} = 0{,}001\,H$.

Таблица 4

Способ транспортирования	Марка или конструкция транспортного устройства	Объем перевозимой бетонной смеси, м³	Град/град·мин
Автосамосвалами	ГАЗ-93	1,4	0,0037
	ЗИЛ-ММЗ-555	2	0,003
	МАЗ-503	3,2	0,0025
Автобетоновозами	Кузов с двойной обшивкой, с пространством между ними 50—60 мм и крышкой	3,2	0,00022
Автобадьевозами	Бадья опрокидная с шарнирно-роликовыми затворами	1,6	0,0009

Примечания: 1. При других емкостях транспортных устройств значения следует брать по интерполяции.

2. Расчетное значение коэффициента теплоотдачи ограждения принято, кВт/(м²·°С): автосамосвалов — 14; бункеров — 13.

Вместе с этим температура бетонной смеси и температура подогрева воды не должна быть выше значений, указанных в табл. 5.

Таблица 5

Цементы	Наибольшая допустимая температура, °С	
	подогрева воды	бетонной смеси при выходе из смесителя
1. Портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент марок ниже 600	80	35
2. Быстротвердеющий портландцемент и портландцемент марки 600 и выше	60	30
3. Глиноземистый	40	25

2.5. Температура воды и заполнителей при загрузке их в бетоносмеситель должна обеспечивать получение расчетной температуры бетонной смеси при выходе ее из бетоносмесителя. Для этого в зависимости от состояния материалов, особенно заполнителей, условий приготовления и транспортирования (методов укладки и выдерживания в зимнее время) приходится оттаивать заполнители, подогревать воду, а иногда и заполнители.

Температура подогрева составляющих подобранного состава бетона в зависимости от требуемой (заданной) температуры бетонной смеси ($t_{см}$) при выдаче из бетоносмесителя определяется расчетом по формуле

$$t_{см} = \frac{0{,}84\,(q_ц\,t_ц + q_п\,t_п + q_{к.з}\,t_{к.з}) + 4{,}2q_в\,t_в + \\ + 4{,}2\,(i_п\,q_п\,t_п + i_{к.з}\,q_{к.з}\,t_{к.з})}{0{,}84\,(q_ц + q_п + q_{к.з}) + 4{,}2q_{в.о}}, \quad (3)$$

а теплопотребность для нагрева составляющих бетонной смеси Q, кДж, от начальной температуры до температуры, установленной расчетом по формулам:

а) для нагрева воды

$$Q_в = 4{,}2V\gamma_в\,(t_{в.к} - t_{в.н}); \quad (4)$$

б) для нагрева песка

$$Q_п = V\gamma_п\,[0{,}84\,(t_{п.к} - t_{п.н}) + i_п\,(4{,}2t_{п.к} - 2{,}1t_{п.н} + 336)]; \quad (5)$$

в) для нагрева крупного заполнителя

$$Q_{к.з} = V\gamma_{к.з}\,[0{,}84\,(t_{к.к.з} - t_{н.к.з}) + i_{к.з}\,(4{,}2t_{к.к.з} - 2{,}1t_{н.к.з} + 336)], \quad (6)$$

где $i_п$, $i_{к.з}$ — относительная влажность соответственно песка и крупного заполнителя по массе, %;

$q_п$, $q_{к.з}$, $q_ц$, $q_{в.о}$ — соответственно масса песка, крупного заполнителя, цемента и воды в 1 м³ бетонной смеси, кг (в расчете на сухие заполнители);

$q_в$—$q_{в.о}$ — за вычетом количества воды, содержащейся в заполнителях;

$t_п$, $t_{к.з}$, $t_в$ — соответственно температура песка, крупного заполнителя и воды при загрузке в смеситель, °С;

0,84 — удельная теплоемкость песка, крупного заполнителя и цемента, кДж/(кг·°С);

4,2 — удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·°С);

V — объем подогреваемого материала;

$t_{к.з.н}$, $t_{к.з.к}$, $t_{п.н}$, $t_{п.к}$ — соответственно температура начальная и конечная крупного заполнителя и песка;

$\gamma_в$, $\gamma_п$, $\gamma_{к.з}$ — объемная масса соответственно воды, песка и крупного заполнителя.

Зная весовой состав бетонной смеси по массе и влажность заполнителей, расчетом по формуле (3) определяется температура любого из четырех составляющих ($t_{см}$, $t_в$, $t_п$, $t_{к.з}$), задаваясь значениями остальных трех.

Как правило, $t_{см}$ устанавливается расчетом по формуле (1).

Температуру воды принимают максимально возможной в зависимости от применяемого цемента по табл. 5. Температура песка и крупного заполнителя определяется в зависимости от $t_{см}$, $t_в$ и производственных возможностей подогрева.

2.6. Продолжительность перемешивания бетонной смеси должна быть на 25% больше, чем в летних условиях, и не менее величин, приведенных в табл. 6.

Продолжительность перемешивания допускается не увеличивать против летних условий, если применяются подогретая вода, оттаянные или подогретые заполнители.

Таблица 6

Объем готового замеса смесителя, л	Наименьшая продолжительность перемешивания бетонной смеси в смесителях			
	гравитационных для смеси с осадкой конуса, см			принудительного перемешивания
	менее 2	2—6	более 6	
500 и менее	125	95	75	75
Более 500	190	150	115	75

При применении только подогретой воды в смеситель одновременно с началом ее подачи загружают крупный заполнитель, а после заливки половины требуемого количества воды и нескольких оборотов барабана (чаши) смесителя — песок, остальную воду и цемент.

2.7. Применяемые средства и продолжительность транспортирования бетонной смеси в зимних условиях должны исключать возможность охлаждения ее более установленного технологическим расчетом (согласно п. 2.4 настоящего Руководства) нарушения однородности и снижения заданной подвижности на месте укладки.

В целях обеспечения вышеизложенных требований рекомендуется:

транспортировать бетонную смесь без задержки при погрузке, перевозке и выгрузке, как правило, в утепленной и укрытой транспортной таре, предохраняющей смесь от попадания осадков;

при температуре наружного воздуха ниже минус 15° С и температуре смеси выше 20° С, как правило, предварительно перед загрузкой смеси прогревать бадьи и обогревать кузова бетоновозов и автосамосвалов выхлопными газами двигателя;

максимально сокращать количество перегрузочных операций и по возможности осуществлять разгрузку смеси непосредственно в опалубку бетонируемой конструкции или бетоноукладочное оборудование;

пункты (места) перегрузок (если они неизбежны) бетонной смеси следует защищать от ветра и попадания снега. Перегрузочные бункера должны утепляться, а при длительном пребывании в них смеси — обогреваться горячим воздухом, паром или электропечами. Температура стенок бункеров должна быть не выше 40° С;

утепление, укрытие и обогрев транспортной тары следует производить так, чтобы теплопотери бетонной смеси при транспортировании не превышали 4° С за 1 ч;

время транспортирования бетонной смеси исходя из условий сохранения удобоукладываемости не должно превышать 30 мин при температуре смеси $t_{см}$=40° С, 45 мин при $t_{см}$=20—30° С и 120 мин при $t_{см}$=5—10° С. Увеличить допускаемую продолжительность транспортирования смеси можно за счет применения замедляющих или пластифицирующих добавок, приготовления смеси пониженной, в допустимых пределах, температуры и подогрева ее у места укладки, при сильных морозах — введения в бетонную смесь противоморозных добавок.

Емкости, в которых перевозится бетонная смесь, следует очищать после каждой рабочей смены и перед длительными (более 1 ч) перерывами в транспортировании.

2.8. Транспортирование бетонной смеси в зимних условиях следует производить автобетоновозами, при их отсутствии — автосамосвалами или в бадьях (бункерах), установленных на автомашинах (автобадьевозах).

Автобетоновозы имеют высокие кузова с крышками и двойную обшивку днища и бортов с пространством между ее листами, которые позволяют утеплить кузов термоизолятором или осуществить обогрев кузова выхлопными газами.

В автосамосвалах для зимней перевозки бетонной смеси следует устраивать термоизоляцию кузова (от переохлаждения смеси) или оборудовать его для обогрева выхлопными газами, кузова для укрытия смеси снабжать деревянными щитами, брезентом или одеялами из шлаковаты, упакованной в полиэтиленовую пленку.

Автобадьевозы предназначаются для перевозки готовых смесей в отдельных специальных, утепленных и снабженных крышками бадьях, которые ставятся и снимаются с рамы автобадьевоза с помощью крана. С помощью бадьевоза бетонную смесь можно доставлять мелкими порциями в любую точку строительной площадки.

Транспортирование бетонной смеси, предназначенной для предварительного электроразогрева, а также с противоморозными добавками, может производиться и в неутепленной таре, но с защитой от снега и испарения влаги при условии обеспечения температуры смеси выше 0° С до начала электроразогрева и не менее чем на 5° С выше температуры замерзания раствора солей затворения после укладки и уплотнения с противоморозными добавками.

2.9. Предельная продолжительность и дальность транспортирования бетонной смеси устанавливается строительной лабораторией из условий сохранения первоначальной ее удобоукладываемости, однородности и заданной температуры на месте укладки в зависимости от имеющихся транспортных средств, объема бетонной смеси и темпа его укладки, температуры бетонной смеси по выходе из бетоносмесителя и температуры наружного воздуха, состояния дорог и допустимого расчетом охлаждения смеси в пути.

3. УКЛАДКА БЕТОННОЙ СМЕСИ

3.1. Подготовку основания и укладку бетонной смеси в зимних условиях следует производить в соответствии с правилами производства этих работ в летний период и рекомендациями настоящего раздела.

3.2. Состояние основания, на которое укладывается бетонная смесь, а также способ укладки и последующее выдерживание бетона должны исключать возможность деформации основания и замерзания бетона в контакте с основанием до приобретения им требуемой прочности.

3.3. Мерзлые основания из пучинистых грунтов перед укладкой бетонной смеси для предотвращения их деформации и преждевременного замерзания бетона в контакте с основанием должны быть отогреты до положительной температуры на глубину не менее 500 мм. Промерзшие бетонные, скальные или сезонно-мерзлые непу-

чинистые основания, как правило, рекомендуется отогревать до положительной температуры на глубину, определяемую теплотехническим расчетом (примерно на 300 мм), вечномерзлые скальные основания — на глубину 500 мм. Отогретые основания должны быть тщательно защищены от промерзания до укладки бетона.

В вечномерзлых грунтах производство бетонных работ можно начинать в том случае, когда мерзлотно-грунтовые условия основания соответствуют данным проекта. Подготовленное под бетонирование основание должно быть защищено от оттаивания летом и промерзания зимой.

3.4. Отогревание грунтовых, скальных и бетонных оснований и стыкуемых поверхностей может выполняться:

в местных тепляках из брезента, полиэтилена, фанеры, обогреваемых электропечами сопротивления или электрообогревателями, работающими на любом топливе. Температура воздуха в тепляках на поверхности отогреваемого основания следует поддерживать в пределах 10—35° С;

электропрогревом при помощи вертикальных или горизонтальных электродов;

прогревом плоскими жидкостно-топливными нагревателями или кострами (кроме бетонных оснований).

Способы отогрева не должны вызывать снижения качества старого бетона (скалы).

Не допускается оттаивание мерзлых грунтов оснований с помощью пара либо поливкой горячей водой, либо растворами хлористых и других солей.

Способ отогрева основания выбирается с учетом имеющегося оборудования, источника тепла, температуры наружного воздуха, размеров конструкций, глубины отогрева и утеплителя.

3.5. При выдерживании бетона в конструкции по способу термоса или с предварительным разогревом бетонной смеси, а также при применении бетона с противоморозными добавками допускается укладывать смесь на неотогретое мерзлое непучинистое основание или старый бетон, очищенные от снега и наледи, если в зоне контакта на протяжении всего расчетного периода выдерживания будет обеспечиваться незамерзаемость бетона. Это возможно, например, при бетонировании массивных конструкций с $M_п$ не более 3 и при условии, что температура наружного воздуха не ниже минус 15° С и температура укладываемой смеси более 15° С, что при этом открытые поверхности старого бетона или грунта вокруг бетонируемой конструкции укрываются теплоизоляционным материалом с коэффициентом общей теплопередачи K не более 2,32 Вт/(м²·°С).

3.6. Укладка бетонной смеси с последующей тепловой обработкой бетона в конструкции допускается на мерзлые неотогретые непучинистые основания, старый бетон, очищенные от снега и наледи, при условии, что к началу прогрева бетона его температура в месте контакта с основанием будет обеспечиваться не ниже 2° С; при этом поверхность основания шириной не менее 1 м по контуру конструкции следует укрывать теплоизоляционным материалом с коэффициентом общей теплопроводности K не более 2,32 Вт/(м²·°С). Для предотвращения замерзания бетона до начала прогрева допускается введение в бетонную смесь при ее приготовлении нитрита натрия до 10% массы цемента.

3.7. Опалубка и арматура перед бетонированием должны быть очищены от снега и наледи, например, струей горячего воздуха под

брезентовым или полиэтиленовым укрытием с высушиванием поверхностей. Не допускается снимать наледь с помощью пара или горячей воды.

При температуре воздуха ниже минус 10° С арматуру диаметром более 25 мм, а также арматуру прокатных профилей и крупные закладные металлические детали следует отогревать до положительной температуры струей горячего воздуха под колпаком и с помощью устройств для индукционного или инфракрасного обогрева, если они используются для электротермообработки бетона. Арматура и закладные части могут не отогреваться, если температура уложенного бетона с противоморозными добавками на 5° С выше температуры замерзания рабочего раствора солей.

Все выступающие закладные части и выпуски должны быть дополнительно утеплены.

Стойки, поддерживающие опалубку, следует опирать на готовые конструкции, а при их отсутствии — на лежни или подкладки, уложенные на непучинистое грунтовое основание.

При устройстве опалубки из железобетонных плит, оболочек и бетонных блоков указанные элементы, как правило, должны иметь с наружной стороны надежно прикрепленное утепление и устанавливаться насухо.

3.8. Укладку бетонной смеси следует вести непрерывно, без перевалок, средствами механизации, обеспечивающими минимальное охлаждение смеси при ее подаче, распределении и уплотнении, например кранами с помощью утепленных бункеров (бадей), бетононасосами, пневмонагнетателями, ленточными бетоноукладчиками.

3.9. При использовании бетононасосов для перекачивания и укладки бетонных смесей в зимних условиях требования к составу смесей должны быть такими же, как в летнее время.

3.10. При использовании бетононасосов для транспортирования и укладки бетонной смеси необходимо обеспечить работу их масляных и водяных систем при температуре ниже 0° С с помощью утепленных кожухов с обогревом отходящими газами двигателя (для автобетононасосных установок) или с применением электронагревательных приборов.

Утепление и обогрев должны исключать контакт холодного воздуха с транспортными масляными цилиндрами, баками для воды и масла, маслопроводами и другими узлами, в которых при остановке бетононасоса может замерзнуть жидкость. Приемный бункер для бетонной смеси должен быть утеплен и оборудован утепленной крышкой.

3.11. По неутепленным трубопроводам бетонную смесь без противоморозных добавок можно транспортировать при температуре воздуха от минус 5 до минус 20° С соответственно на расстояние от 250 до 100 м, с противоморозными добавками — при температуре воздуха, равной расчетной температуре применения добавки заданной концентрации (см. п. 6.8 данного Руководства), на расстояние до 250 м. Во избежание коррозии бетононасоса и трубопроводов перекачивание бетонных смесей с добавками хлористых солей допускается только при введении в смесь ингибиторов коррозии стали, например нитрита натрия, нитрита кальция.

3.12. По утепленным трубопроводам транспортирование бетонной смеси, в том числе предварительно разогретых до 40—80° С, возможно при температуре воздуха до минус 40° С на такое же расстояние, как в летних условиях.

3.13. Перерывы в перекачивании бетонной смеси без противоморозных добавок в связи с неисправностями или перебоями в подаче смеси в приемный бункер не должны превышать ориентировочно 15 мин для неутепленных трубопроводов и 30 мин — для утепленных. В случае перекачивания предварительно разогретой смеси продолжительность перерыва не должна вызывать недопустимого загустевания бетонной смеси. Методика расчета необходимого утепления трубопроводов и допустимой продолжительности перерывов в перекачивании смеси изложена в «Руководстве по укладке бетонных смесей бетононасосными установками» (М., Стройиздат, 1978).

По истечении допустимой продолжительности перерыва в перекачивании бетонная смесь должна быть удалена из трубопровода.

3.14. Прогрев трубопровода перед началом перекачивания смеси, очистку приемного бункера, бетононасоса и трубопровода по окончании перекачивания следует производить горячей водой. После очистки воду из трубопровода необходимо полностью удалить во избежание ее замерзания.

3.15. Послойное бетонирование массивных конструкций необходимо вести так, чтобы температура бетона в уложенном слое до перекрытия его следующим слоем не опускалась ниже предусмотренной расчетом. Кроме того, допустимая продолжительность перекрытия слоев бетона должна назначаться строительной лабораторией в зависимости от температуры укладываемой бетонной смеси и начала схватывания цемента.

Толщина укладываемого слоя бетонной смеси назначается в зависимости от средств уплотнения, обычно в пределах 30—50 см.

3.16. Температура бетонной смеси, уложенной в опалубку, к началу выдерживания или прогрева (обогрева), или предварительного разогрева должна быть не ниже:

температуры, установленной расчетом, при выдерживании бетона по способу термоса; температуры замерзания рабочего раствора солей, увеличенной на 5° С, при применении бетона с противоморозными добавками; 0° С в наиболее охлажденных зонах перед началом предварительного электроразогрева бетонной смеси или форсированного электроразогрева ее в конструкциях; 2° С при применении других способов выдерживания.

3.17. Открытые поверхности бетона после окончания бетонирования, а при больших поверхностях по мере бетонирования отдельных участков должны без промедления тщательно укрываться пароизоляционным материалом и утепляться в соответствии с теплотехническим расчетом. В случае перерыва в бетонировании поверхности бетона следует укрыть, а при необходимости — обогревать.

3.18. Бетонирование монолитных железобетонных конструкций при выдерживании с применением методов прогрева бетона следует производить с соблюдением следующих требований:

а) железобетонные балки, свободно опирающиеся на массивные ранее забетонированные конструкции, в целях возможности перемещения по опорам при прогреве должны быть отделены от конструкций прокладками из металлических листов;

б) если мероприятие подпункта «а» не может быть осуществлено и дополнительные температурные напряжения в балках не учтены расчетом, следует бетонировать и прогревать балки участками с разрывом в каждом пролете длиной $^1/_8$ пролета, но не менее 0,7 м, а заполнение разрывов бетонной смесью и прогрев бетона в разрывах производить после остывания бетона балок до 15° С.

в) бетонирование и прогрев неразрезных балок, не связанных с опорами, должны производиться одновременно на участках длиной не более 20 м;

г) бетонирование и прогрев неразрезных ригелей многопролетных рам при отношении высоты стойки рамы к высоте ее сечения (в плоскости рамы) до 15 м должны также производиться в порядке, изложенном в подпункте «б» с разрывами через два пролета при пролетах рам до 8 м и через пролет при большей величине пролетов;

д) бетонирование и прогрев колонн, связанных массивными ригелями малых пролетов, должны производиться с оставлением разрывов в ригелях между колоннами, аналогичных указанным в подпункте «б»;

е) при прогреве балок, расположенных параллельно друг другу и жестко связанных между собой, должны обеспечиваться возможно близкие температурные условия их прогрева и остывания;

ж) бетонирование и прогрев железобетонных ребристых перекрытий должны производиться участками, имеющими разрывы в продольном и поперечном направлениях, расстояние между которыми определяются в соответствии с указаниями, приведенными в подпунктах «б», «г»;

з) бетонирование и прогрев балок ребристых перекрытий должны производиться одновременно с бетонированием и прогревом плиты.

4. РЕЖИМЫ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ БЕТОНА И ТРЕБУЕМАЯ МОЩНОСТЬ

4.1. Режим тепловой обработки бетона должен обеспечить достижение им заданной прочности и других показателей, указанных в рабочих чертежах конструкций. Режим назначается с учетом вида и марки цемента, вида заполнителя (плотный или пористый), *В/Ц*, массивности конструкции, ее армирования (при электропрогреве и индукционном нагреве), типа электродов и т. п. При назначении режима следует учитывать необходимость экономии энергетических ресурсов, расходуемых на тепловую обработку бетона.

4.2. Тепловую обработку бетона целесообразно применять для достижения бетоном на портландцементах прочности до 70% R_{28}. сразу после ее окончания. Бетоны на шлакопортландцементах и бетоны на пористых заполнителях могут достигать по окончании тепловой обработки 75—85% R_{28}.

При необходимости получения более высокой прочности следует выдерживать бетон при температурах до 40° С (что значительно увеличивает необходимую продолжительность его тепловой обработки по сравнению с прогревом при температурах 60° С и выше) либо повысить марку бетона.

4.3. Температурные режимы тепловой обработки бетона включают следующие периоды:

предварительное выдерживание от момента окончания укладки бетонной смеси до начала прогрева;

подъем температуры;

изотермический прогрев;

остывание.

4.4. Применяются следующие режимы тепловой обработки:

а) подъем температуры и изотермический прогрев (рис. 1, *а*) — заданная прочность достигается бетоном по окончании изотермиче-

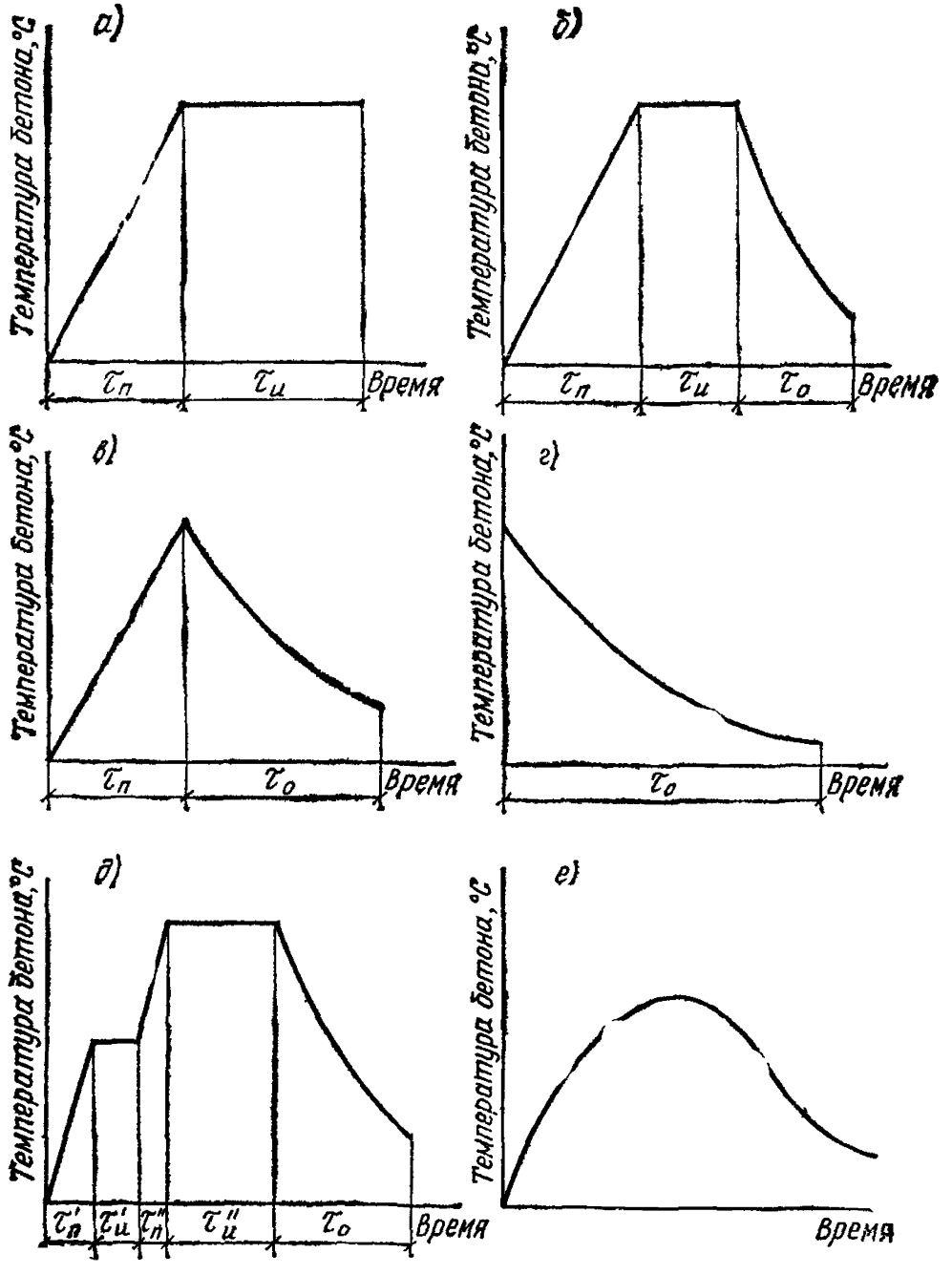


Рис. 1. Температурные режимы тепловой обработки бетона

а — подъем температуры и изотермический прогрев; *б* — подъем температуры, изотермический прогрев и остывание; *в* — подъем температуры и остывание; *г* — остывание; *д* — ступенчатый подъем температуры; *е* — саморегулирующийся; $\tau_и \tau_а \tau_о$ — продолжительность соответственно подъема температуры, изотермического прогрева и остывания

ского прогрева. Режим применяется при тепловой обработке немассивных конструкций (с $M_п > 10$), при быстром остывании которых прирост прочности незначителен и не учитывается;

б) подъем температуры, изотермический прогрев и остывание (см. рис. 1, *б*) — бетон приобретает заданную прочность по окончании остывания. Режим применяется при тепловой обработке конструкций с $M_п = 4—10$;

в) подъем температуры и остывание (см. рис. 1, *в*) — бетон приобретает заданную прочность по окончании остывания. Режим применяется для конструкций с $M_п$ до 4;

г) остывание (см. рис. 1, *г*), по окончании которого бетон приобретает заданную прочность; применяется при бетонировании с предварительным электроразогревом бетонной смеси или при форсированном разогреве бетона в конструкции с повторным ее вибрированием;

д) ступенчатый подъем температуры (см. рис. 1, *д*), при котором вначале поднимают температуру бетона до 40—50° С, поддерживают эту температуру в течение 1—3 ч, затем быстрый (со скоростью не более 40° С в час) подъем до максимально допустимой температуры изотермического прогрева. Заданная прочность достигается к концу изотермического прогрева или к концу остывания в зависимости от модуля поверхности. Применяется главным образом для предварительно напряженных конструкций;

е) саморегулирующийся; используется только при электродном прогреве с постоянной величиной напряжения на электродах, изменение температуры бетона при этом обратно пропорционально изменению удельного электрического сопротивления бетона, температура вначале повышается, достигает максимальной величины, затем медленно снижается (см. рис. 1, *г*). Режим применяется при электропрогреве бетона большого числа одинаковых конструкций, например стыков, включаемых под напряжение постоянной величины по мере окончания их бетонирования; саморегулирующийся режим характерен определенной максимальной температурой бетона для каждой величины скорости подъема температуры применительно к конкретной конструкции.

4.5. В режимы, перечисленные в п. 4.4, не включен период предварительного выдерживания бетона. Он рекомендуется при всех (кроме п. 4.4 «*г*») температурных режимах тепловой обработки бетона со скоростью подъема температуры более 8° С в час; его продолжительность 2—6 ч. Однако предварительное выдерживание не всегда осуществимо из-за опасности замерзания бетона в наиболее быстро остывающих зонах конструкции. В связи с этим решение о предварительном выдерживании бетона следует принимать с учетом в каждом конкретном случае температуры бетона после укладки, температуры наружного воздуха, коэффициента теплопередачи, опалубки и укрытия неопалубленных поверхностей бетона.

4.6. Подъем температуры бетона в конструкции или бетонной смеси при ее предварительном электроразогреве в бункерах (бадьях) либо в кузовах автосамосвалов следует начинать при значениях температуры в наиболее охлажденных зонах, приведенных в п. 3.16.

4.7. Скорость подъема температуры бетона в наиболее быстро нагреваемых зонах не должна превышать 5° С в час для конструкций с $M_п$ от 2 до 4; 8° С в час для конструкций с $M_п$ от 4 до 6; 10° С в час для конструкций с $M_п$ от 6 до 10; 15° С в час для конструкций с $M_п > 10$ длиной до 6 м и конструкций, бетонируемых в скользящей опалубке; 20° С в час для бетона (раствора) замоноличивания в стыках.

4.8. Температура изотермического прогрева бетона в наиболее

нагретых зонах не должна превышать 80° С при использовании портландцементов и 90° С при использовании шлакопортландцементов.

4.9. При периферийном прогреве (электропрогреве, обогреве в термоактивной опалубке, индукционном нагреве в металлической опалубке, инфракрасном обогреве, паропрогреве) бетона конструкций с модулем поверхности менее 5 температура наружных слоев не должна превышать 40° С.

4.10. Продолжительность изотермического прогрева бетона для достижения заданной прочности необходимо принимать по величине температуры в наименее нагретых зонах конструкции. При этом прочность бетона в более нагретых зонах будет больше заданной.

4.11. Продолжительность изотермического прогрева бетонов на плотных заполнителях в зависимости от заданной прочности по окончании выдерживания следует определять, пользуясь графиками на рис. 2 и 3, на которых приведены кривые твердения бетона при постоянной температуре. Далее приводятся примеры определения с помощью этих графиков режимов с переменной температурой бетона в процессе тепловой обработки.

Пример 1. Определить продолжительность изотермического прогрева бетона при температуре 70° С в конструкции с $M_п = 4$ на портландцементе марки 400 до приобретения прочности 70% R_{28} к концу остывания до 5° С. Начальная температура бетона 10° С. Скорость подъема температуры 10° в час, скорость ветра 15 м/с. Опалубка деревянная толщиной 25 мм.

Решение. Определяем величину относительной прочности за период подъема температуры. Продолжительность подъема температуры $\frac{70-10}{10} = 6$ при средней температуре $\frac{70+10}{2} = 40°$ С.

Для этого из точки A (см. рис. 2, *б*) проводим перпендикуляр до пересечения с кривой прочности при 40° С (точка $Б$). Величина прочности за время подъема температуры определяется проекцией точки $Б$ на ось ординат (точка $В$) и составляет 15%.

Определяем величину относительной прочности бетона при остывании. Используя формулу (12) и пренебрегая тепловыделением цемента, которое по окончании изотермического прогрева незначительно, определяем продолжительность остывания бетона:

$$\tau = \frac{1{,}05 \cdot 2400\,(70-5)}{3{,}6 \cdot 5{,}98 \cdot 4[35{,}3-(-30)]} = 12 \text{ ч.}$$

При этом значения удельной теплоемкости бетона, его объемной массы и коэффициент теплопередачи опалубки принимаем по данным раздела 5, а среднюю температуру остывания определяем

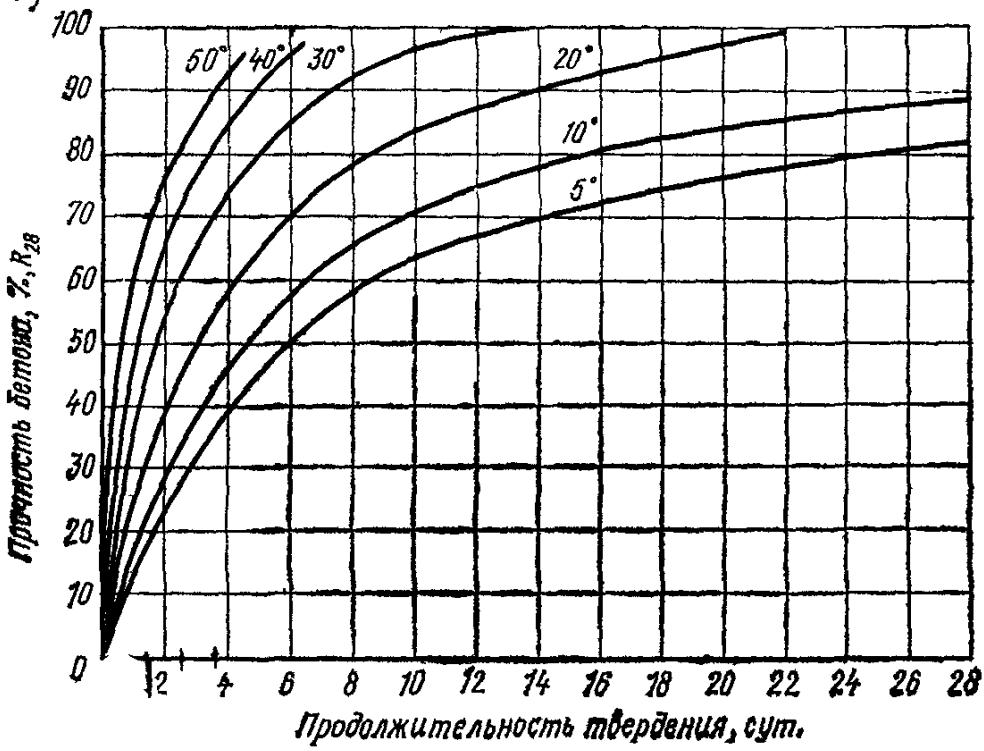
$$t_{б.ср} = t_{б.к} + \frac{t_{б.н} - t_{б.к}}{1{,}03 + 0{,}181 M_п + 0{,}006\,(t_{б.н} - t_{б.к})}. \qquad (7)$$

Подставляя исходные данные для нашего примера, получим

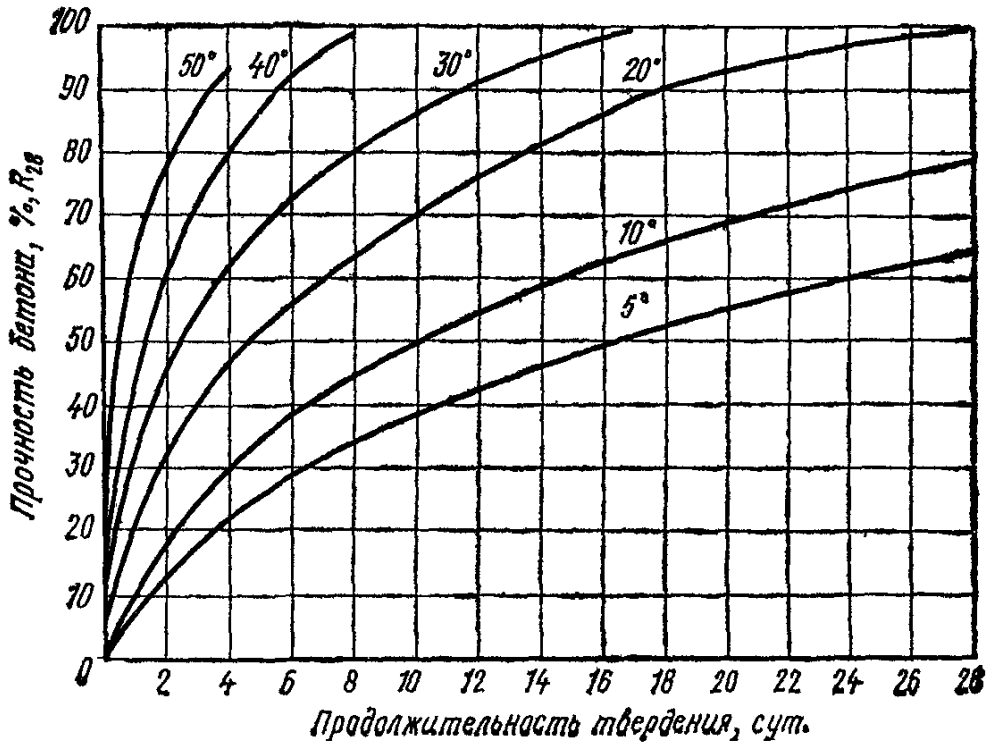
$$t_{б.ср} = 5 + \frac{70-5}{1{,}03 + 0{,}181 \cdot 4 + 0{,}006\,(70-5)} = 36° \text{ С.}$$

Определим прочность бетона, приобретенную в процессе остывания. Из точки $Г$, находящейся на пересечении прямой, соответствую-

а)


Прочность бетона, %, R_{28}
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
50°
40°
30°
20°
10°
5°
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
Продолжительность твердения, сут.

в)


Прочность бетона, %, R_{28}
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
50°
40°
30°
20°
10°
5°
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
Продолжительность твердения, сут.

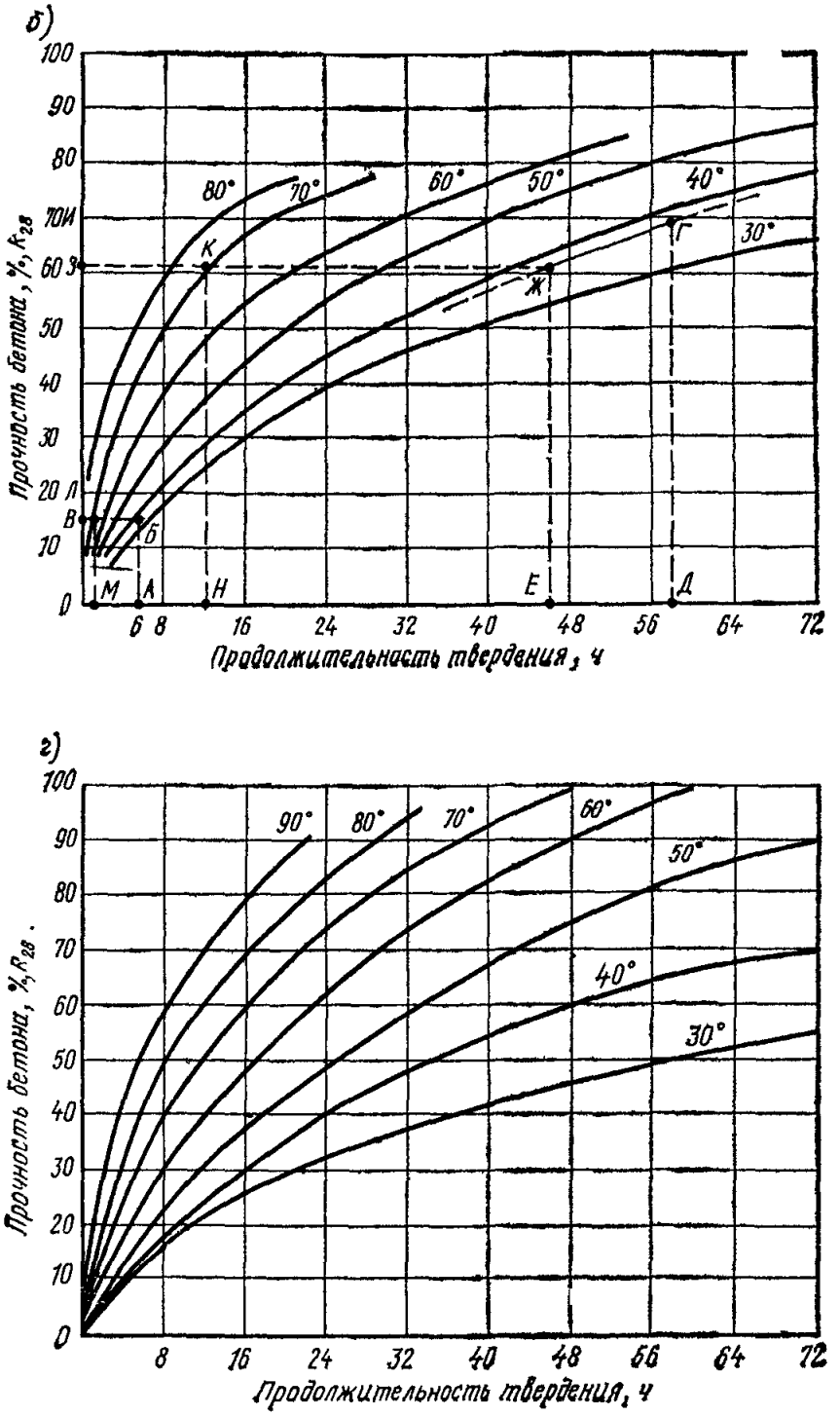


Рис. 2. Графики нарастания прочности бетона марки М 200 при разных температурах твердения

а, б — на портландцементе марки 400, 500; *в, г* — на шлакопортландцементе марки 400

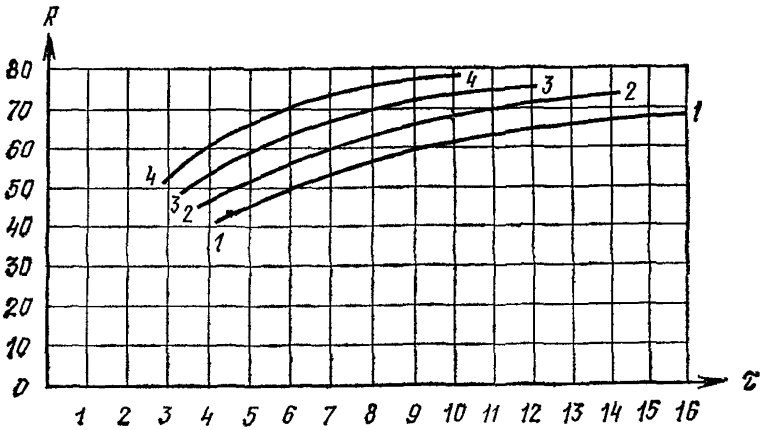


Рис. 3. Графики нарастания прочности бетона разных марок на портландцементе при температуре изотермического прогрева 80° С

1, 2, 3, 4 — бетон соответственно марок М 200, М 300, М 400, М 500

щей 70% R_{28}, с кривой прочности при 36° С, опускаем перпендикуляр на ось абсцисс (точка *Д*), откладываем влево от точки *Д* отрезок, соответствующий продолжительности остывания 12 ч (точки *Е*), и проводим из точки *Е* перпендикуляр к оси абсцисс до пересечения с кривой прочности при 36° С (точка *Ж*). Проекция отрезка *ГЖ* на ось ординат характеризует прочность бетона, приобретенную в процессе остывания (точки *З—И*), и составляет 9% R_{28}.

Определяем продолжительность изотермического прогрева как проекцию отрезка *КЛ* кривой прочности при 70° С на ось абсцисс (отрезок *МН*), которая составляет 12 ч.

Пример 2. Определить прочность бетона в конструкции с $M_п=4$ на портландцементе марки 400 при скорости подъема температуры 10° С в час, температуре изотермического прогрева 70° С, его продолжительности 12 ч и остывании со скоростью 5° С в час до конечной температуры 8° С.

Решение. Определяем величину относительной прочности бетона за период подъема температуры, как и в примере 1. Она составляет 15% R_{28} (точка *В* на оси ординат рис. 2, *б*).

Определяем прирост относительной прочности при изотермическом прогреве за 12 ч как проекцию участка (точки *Л, К*) кривой прочности при 70° С (отрезок *ВЗ*), что соответствует 46% R_{28}.

Определяем прирост прочности бетона за 12 ч остывания по кривой прочности при 38° С как проекцию участка *ЖГ* на ось ординат. Отрезок *ЗИ* соответствует 9% R_{28}.

За весь цикл термообработки бетон приобретает прочность 15+ +46+9=70% R_{28}.

Для каждого конкретного состава бетона строительной лабораторией должен быть уточнен на опытных образцах-кубах оптимальный режим выдерживания.

4.12. Продолжительность изотермического прогрева бетонов на пористых заполнителях с объемной массой 1600 кг/м³ и более следует определять по тем же графикам как бетонов на плотных заполнителях.

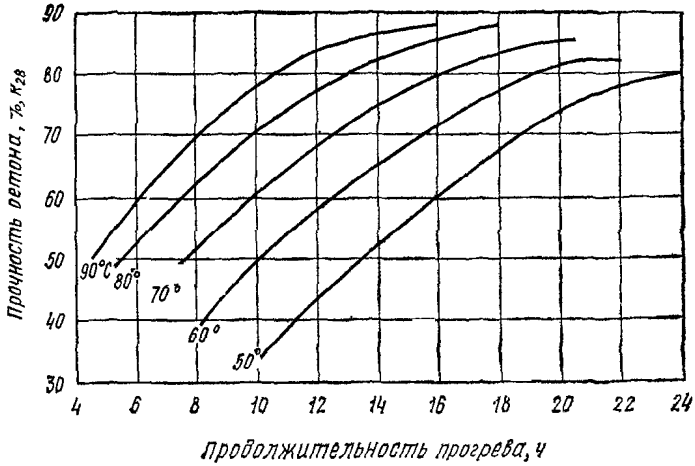


Рис. 4. Графики нарастания прочности керамзитобетона марок М 50—1000 на портландцементе при различных температурах изотермического прогрева

Продолжительность изотермического прогрева бетонов на пористых заполнителях с объемной массой менее 1600 кг/м³ для достижения заданной прочности уменьшается со снижением объемной массы бетонов и должна определяться по графикам на рис. 4.

4.13. На рис. 2—4 приведены усредненные графики нарастания прочности бетона с использованием которых продолжительность изотермического прогрева бетона определяется ориентировочно на стадии предварительных расчетов.

Окончательный режим тепловой обработки бетона конкретного состава устанавливается строительной лабораторией по результатам опытных прогревов образцов.

4.14. Для значительного сокращения продолжительности тепловой обработки и существенного уменьшения расхода энергии следует вводить в бетон добавку ННХК в количестве 3% массы цемента. При температуре изотермического прогрева 40° С, продолжительности изотермического прогрева 4, 6, 8 ч и остывании в течение 2 ч бетон на портландцементе достигает прочности соответственно 50, 55 57% R_{28}. Введение добавки ННХК не допускается в случаях, указанных в табл. 32.

4.15. При тепловой обработке бетона необходимо стремиться к обеспечению возможно большей равномерности температуры в объеме конструкции, что приводит к сокращению продолжительности тепловой обработки и соответствующему снижению расхода энергии, а также к повышению однородности бетона.

4.16. Предельно допустимую скорость остывания бетона монолитных конструкций по окончании тепловой обработки следует принимать согласно п. 1.12 данного Руководства.

4.17. Скорость остывания бетона стыков в первые 1—2 ч после окончания прогрева допускается до 20° С в час, по мере остывания бетона скорость уменьшается.

4.18. Бетоны, замороженные после тепловой обработки по режи-

мам с рекомендованными выше параметрами, в случае выполнения технологических требований, указанных в данном Руководстве, приобретают после оттаивания и выдерживания при температуре выше 0° С около 100% R_{28}, а бетоны на шлакопортландцементах и бетоны, приготовленные на пористых заполнителях, — 100—110% R_{28}.

4.19. Для осуществления назначенного режима тепловой обработки бетона необходимо затратить определенное количество тепла в единицу времени или при электротермообработке бетона — определенную электрическую мощность. Требуемая мощность устанавливается теплотехническим расчетом отдельно для периода подъема температуры и для периода изотермического прогрева.

4.20. В период подъема температуры требуемая удельная тепловая мощность определяется по формуле

$$P_{\text{п}} = P_1 + P_2 + P_3 - P_4 = \frac{C_{\text{б}}\,\gamma_{\text{б}}}{3600}\;p\;\frac{\Sigma C_{\text{оп}i}\,\gamma_{\text{оп}i}\,\delta_{\text{оп}i}\,M_{\text{оп}i}}{3600} \times$$

$$\times\,\frac{P}{2} + \frac{KM\,(t_{\text{и}} - t_{\text{н.в}})}{1000} - 0{,}8, \qquad (8)$$

где $P_{\text{п}}$ — требуемая удельная электрическая мощность, кВт/м³;

P_1, P_2, P_3 — удельные мощности, необходимые соответственно для нагревания самого бетона, опалубки и для восполнения теплопотерь в окружающую среду, кВт/м³;

P_4 — удельная мощность, соответствующая интенсивности тепловыделения при твердении цемента, осредненно принятая равной 0,8 кВт/м³;

$t_{\text{и}}$ — температура изотермического прогрева бетона, °С;

p — скорость подъема температуры бетона (средняя по объему конструкции), °С, ч;

$t_{\text{н.в}}$ — температура наружного воздуха, °С;

$C_{\text{б}}$ — удельная теплоемкость бетона, принимается равной 1,05 кДж/(кг·°С);

$C_{\text{оп}}$ — удельная теплоемкость материала опалубки или укрытия неопалубленных поверхностей, кДж/(кг·°С);

$\gamma_{\text{б}}$ — плотность бетона, кг/м³;

$\gamma_{\text{оп}}$ — плотность материала опалубки или укрытия неопалубленных поверхностей, кг/м³;

$\delta_{\text{оп}}$ — толщина материала опалубки, м;

K — коэффициент теплопередачи опалубки или укрытия неопалубленных поверхностей, Вт/(м²·°С) (см. п. 5.12);

$M_{\text{оп}i}$ — модуль опалубленной поверхности, для которой показатели опалубки равны: $C_{\text{оп}i}$, $\gamma_{\text{оп}i}$, $\delta_{\text{оп}i}$ $M_{\text{оп}i} = F_{\text{оп}i}/V$,

где $F_{\text{оп}i}$ — площадь указанной поверхности, м²;

V — объем бетона конструкции, м³.

При периферийном электропрогреве бетона (см. разд. 8) величину P_1 необходимо умножить на коэффициент C, равный при одностороннем прогреве конструкции толщиной до 0,2 м и 0,2—0,3 м соответственно 1 и 0,95, а при двухстороннем прогреве конструкций толщиной до 0,4; 0,4—0,6; 0,6—0,8 и 0,8—1 м — соответственно 0,97; 0,9; 0,82 и 0,75. Скорость подъема температуры опалубки в формуле (8) приближенно принимается равной половине скорости подъема температуры бетона.

Требуемая мощность (P_4) для нагрева арматуры в бетоне в формуле (8) не учитывается в связи с ее незначительной величиной.

Таблица 7

Требуемая удельная тепловая мощность в период подъема температуры бетона в деревянной опалубке толщиной 40 мм

Температура наружного воздуха, °С	Скорость подъема температуры бетона, °С/ч	Мощность, кВт/м³, при модуле поверхности														
		4			6			10			15			20		
		Температура изотермического прогрева, °С														
		40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80
0	5	3,33	3,61	3,9	3,61	4,05	1,48	4,19	4,91	5,69	4,86	5,99	7,07	6,63	7,07	8,51
	10	6,88	7,16	7,45	7,16	7,6	8,03	7,74	8,46	9,18	8,46	9,54	10,62	9,18	10,62	12,06
	15	10,43	10,71	11	10,71	11,15	11,58	11,29	12,01	12,71	12,01	13,09	14,17	12,73	14,17	15,61
	20	13,98	14,26	14,55	12,26	14,7	15,13	14,84	15,56	16,28	15,56	16,64	17,72	16,28	17,72	19,16
—10	5	3,47	3,76	4,05	3,83	4,26	4,69	4,55	5,27	5,99	5,45	6,53	7,61	6,35	7,79	9,23
	10	7,02	7,31	7,6	7,38	7,81	8,24	8,1	8,82	9,54	9	10,08	11,16	9,9	11,34	12,78
	15	10,57	10,86	1,15	10,93	11,36	11,79	11,35	12,37	13,09	12,55	13,63	14,71	13,45	14,89	16,53
	20	14,12	14,41	14,7	14,48	14,91	15,34	15,2	15,98	16,64	16,1	17,18	18,26	17	18,44	19,88
—20	5	3,61	3,9	4,19	4,05	4,48	4,91	4,91	5,63	6,35	5,99	7,07	8,15	7,07	8,51	9,95
	10	7,16	7,45	7,74	7,6	9,03	8,46	8,46	9,18	9,9	9,54	10,62	11,7	10,62	12,06	13,5
	15	10,71	11	11,29	11,15	11,58	12,01	12,01	12,71	13,45	13,09	14,17	15,25	14,17	15,61	17,05
	20	14,26	14,55	14,84	14,7	15,13	15,56	15,56	16,28	17	16,4	17,72	18,8	17,72	19,16	20,6
—30	5	3,76	4,05	4,33	4,26	4,69	5,13	5,27	5,99	6,71	6,53	7,61	8,69	7,79	9,23	10,67
	10	7,34	7,6	7,88	7,81	8,24	8,68	8,82	9,54	10,26	10,08	11,16	12,24	11,34	12,78	14,22
	15	10,86	11,15	11,43	11,36	11,79	12,23	12,37	13,09	13,81	13,63	14,71	15,79	14,89	16,33	17,77
	20	14,44	14,7	14,98	14,91	15,34	15,78	15,92	16,64	17,36	17,18	18,26	19,34	18,44	19,88	21,32
—40	5	3,90	4,19	4,48	4,48	4,91	5,34	5,63	6,35	7,07	7,07	8,15	9,23	8,51	9,95	10,39
	10	7,45	7,74	8,03	8,03	8,46	8,89	9,18	9,9	10,62	10,62	11,7	12,78	12,06	13,5	14,94
	15	11	11,29	11,58	11,58	12,01	12,44	12,73	13,45	14,17	14,17	15,22	16,33	15,61	17,05	18,49
	20	14,45	14,84	15,13	15,13	15,56	15,99	16,28	17	17,72	17,72	18,8	20,28	19,16	20,6	21,04

Таблица 8

Требуемая удельная тепловая мощность в период подъема температуры бетона в деревянной опалубке толщиной 25 мм

Температура наружного воздуха, °С	Скорость подъема температуры бетона, °С/ч	Мощность, кВт/м³, при модуле поверхности														
		4			6			10			15			20		
		Температура изотермического прогрева, °С														
		40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80
0	5	3,6	3,98	4,4	3,98	4,61	5,23	4,82	5,86	6,91	5,86	7,43	8,99	6,91	8,99	11,08
	10	7,1	7,52	7,94	7,52	8,16	8,77	8,36	9,4	10,45	9,4	10,97	12,53	10,45	12,53	14,62
	15	10,63	11,05	11,47	11,05	11,68	12,3	11,89	12,93	13,98	12,93	14,5	16,06	13,98	16,06	18,15
	20	14,17	14,59	15	14,59	15,22	15,83	15,43	16,47	17,52	16,47	18,04	19,6	17,52	19,6	21,69
—10	5	3,77	4,17	4,61	4,3	4,93	5,55	5,34	6,38	7,43	6,64	8,21	9,77	7,95	10,04	12,12
	10	7,32	7,74	8,16	7,85	8,48	9,1	8,89	9,93	10,98	10,19	11,76	13,32	11,5	13,59	15,67
	15	10,84	11,26	11,68	11,57	12	12,62	12,41	13,45	14,5	13,71	15,28	16,84	15,02	17,11	19,19
	20	14,38	14,8	15,22	14,91	15,54	16,16	15,95	16,99	17,74	17,25	18,82	20,38	18,58	20,65	22,73
—20	5	3,98	4,4	4,82	4,61	5,23	5,84	5,84	6,91	7,95	7,43	8,99	10,56	8,99	11,08	13,17
	10	7,53	7,95	8,37	8,16	8,78	9,41	9,41	10,46	11,5	10,98	12,54	14,1	12,54	14,63	16,72
	15	11,05	11,47	11,89	11,68	12,3	12,93	12,93	13,98	15,02	15,5	16,06	17,63	16,06	18,15	20,24
	20	14,59	15	15,43	15,22	15,84	16,47	16,47	17,52	18,56	18,04	19,6	21,17	19,6	21,69	23,78
—30	5	4,19	4,61	5,03	4,93	5,55	6,17	6,38	7,43	8,47	7,21	9,77	11,34	10,04	12,12	14,21
	10	7,73	8,16	8,58	8,48	9,1	9,72	9,93	10,98	12,02	11,76	13,32	14,89	14,89	15,67	17,76
	15	11,26	11,68	12,1	12	12,62	13,24	13,45	14,5	15,54	15,28	16,84	18,41	17,11	19,19	20,28
	20	14,8	15,21	15,67	15,57	15,16	16,78	16,99	18,04	18,82	18,82	20,38	21,95	20,65	22,73	24,82
—40	5	4,4	4,81	5,23	5,23	5,86	6,49	6,91	7,95	8,99	8,99	10,56	12,13	11,08	13,17	15,26
	10	7,95	8,37	8,78	8,78	9,41	10,04	10,46	11,5	12,54	12,54	14,11	15,68	14,63	16,72	18,81
	15	11,47	11,89	12,3	12,3	12,93	13,56	13,98	15,02	16,06	16,06	17,63	19,2	18,15	20,24	22,33
	20	15	15,43	15,84	15,84	16,37	17,1	17,52	18,56	19,6	19,6	21,17	22,74	21,69	23,78	25,84

Таблица 9

Требуемая удельная тепловая мощность в период подъема температуры бетона в металлической опалубке толщиной 3 мм с утеплением минеральной ватой толщиной 50 мм и защитным слоем толщиной 4 мм

Температура наружного воздуха, °С	Скорость подъема температуры бетона, °С/ч	Мощность, кВт/м³, при модуле поверхности														
		4			6			10			15			20		
		Температура изотермического прогрева, °С														
		40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80
0	5	2,93	3,03	3,13	3,03	3,18	3,33	3,23	3,49	3,74	3,49	3,87	4,26	3,74	4,25	4,77
	10	6,46	6,56	6,66	6,56	6,71	6,86	6,76	7,02	7,27	7,02	7,4	7,79	7,27	7,78	8,3
	15	9,98	10,08	10,18	10,08	10,23	10,38	10,28	10,54	10,79	10,54	10,92	11,31	10,79	11,3	11,82
	20	13,51	13,61	13,71	13,61	13,76	13,91	13,81	14,07	14,32	14,07	14,45	14,84	14,32	14,83	15,35
—10	5	2,98	3,08	3,18	3,1	3,26	3,41	3,36	3,62	3,97	3,68	4,06	4,45	4	4,51	5,02
	10	6,51	6,61	6,71	6,63	6,79	6,94	6,89	7,15	7,4	7,21	7,59	7,98	7,53	8,04	8,55
	15	10,03	10,13	10,23	10,15	10,31	10,46	10,41	10,67	10,92	10,73	11,11	11,50	11,05	11,56	12,07
	20	13,56	13,66	13,76	13,68	13,84	13,99	13,94	14,2	14,45	14,26	14,64	15,03	14,58	15,09	15,6
—20	5	3,03	3,13	3,23	3,18	3,33	3,49	3,49	3,74	4	3,87	4,26	4,64	4,25	4,77	5,28
	10	6,56	6,66	6,76	6,71	6,86	7,02	7,02	7,27	7,53	7,4	7,79	8,17	7,78	8,3	8,81
	15	10,08	10,18	10,28	10,23	10,38	10,54	10,54	10,79	11,05	10,92	11,31	11,69	11,3	11,82	12,33
	20	13,61	13,71	13,81	13,76	13,91	14,07	14,32	14,58	14,45	14,84	15,22	14,83	15,35	15,86	15,92
—30	5	3,08	3,18	3,28	3,26	3,41	3,56	3,62	3,87	4,13	4,06	4,45	4,83	4,51	5,02	5,54
	10	6,61	6,71	6,81	6,79	6,94	7,09	7,15	7,4	7,66	7,59	7,98	8,36	9,04	8,55	9,07
	15	10,13	10,23	10,33	10,31	10,46	10,61	10,67	10,92	11,18	11,11	11,5	11,88	11,56	12,07	12,59
	20	13,66	13,76	13,86	13,74	13,99	14,14	14,20	14,45	14,71	14,64	15,09	15,41	15,09	15,5	16,12
—40	5	3,13	3,23	3,33	3,33	3,49	3,64	3,74	4	4,26	4,26	4,64	5,02	4,79	5,26	5,79
	10	6,66	6,76	6,86	6,86	7,02	7,17	7,27	7,53	7,79	7,79	8,17	8,55	8,3	8,81	9,32
	15	10,18	10,28	10,38	10,38	10,54	10,69	10,79	11,05	11,31	11,31	11,69	12,07	11,82	12,33	12,84
	20	13,71	13,81	13,91	13,91	14,07	14,22	14,32	14,58	14,84	14,84	15,22	15,60	15,35	15,86	16,37

Таблица 10

Удельная тепловая мощность для подъема температуры бетонов на пористых заполнителях

Температура воздуха, °С	Скорость подъема температуры бетона °С/ч	Мощность, кВт/м³, при модуле поверхности											
		6			10			15			20		
		Объемная масса бетона, кг/м³											
		800	1200	1600	800	1200	1600	800	1200	1600	800	1200	1600
20	5	1,1	1,7	2,2	1,5	2,1	2,6	2	2,6	3,1	2,5	3,1	3,6
	10	2,4	3,6	4,8	3	4,1	5,4	3,8	5	6,2	4,5	5,7	6,9
	15	3,9	5,7	7,5	4,7	6,5	8,2	5,7	7,5	9,3	6,6	8,4	10,2
	20	5,4	7,8	10,1	6,3	8,7	11,0	7,5	9,9	12,2	8,7	11,1	13,4
10	5	1,2	1,8	2,3	1,8	2,3	2,9	2,5	3,1	3,6	3,1	3,7	4,2
	10	2,5	3,8	5	3,3	4,5	5,7	4,2	5,4	6,6	5,1	6,3	7,5
	15	4	5,8	7,6	4,7	6,5	8,3	6,1	7,9	9,7	7,2	9	10,8
	20	5,5	7,8	10,2	6,6	8,2	11,3	8	10,3	12,7	9,3	11,6	14
0	5	1,4	2	2,5	2,1	2,6	3,1	2,9	3,5	4	3,7	4,3	4,8
	10	2,7	3,9	5,1	3,3	4,8	6	4,6	5,8	7	5,7	6,9	8,1
	15	4,2	5,9	7,8	5,2	7	8,8	6,5	7,8	10,1	7,8	9,6	1,4
	20	5,7	8	10,4	6,9	9,2	11,6	8,4	10,7	13,1	9,9	12,2	14,6

—10	5	1,5	2,1	2,6	2,3	2,9	3,4	3,3	3,9	4,4	4,2	4,8	5,3
	10	2,9	4,1	5,3	3,9	5,1	6,3	5	6,2	7,4	6,2	7,4	8,6
	15	4,4	6,2	8	5,5	7,3	9,1	6,9	8,7	10,5	8,3	10,1	11,9
	20	5,9	8,2	10,5	7,2	9,5	11,9	8,8	11,1	13,5	10,4	12,7	15,1
—20	5	1,7	2,3	2,8	2,6	3,2	3,7	3,7	4,3	4,8	4,8	5,4	5,9
	10	3,1	4,3	5,5	4	5,2	6,4	5,4	6,6	7,8	6,8	8	9,2
	15	4,7	6,5	8,3	5,8	7,6	9,4	7,3	9,1	10,9	8,9	10,7	12,5
	20	6	8,3	10,6	7,4	9,7	12	9,2	11,5	13,9	10,9	13,4	15,8
—30	5	1,9	2,5	3	2,8	3,3	3,8	4,1	4,7	5,2	5,3	5,9	6,4
	10	3,2	4,4	5,6	4,4	5,6	6,8	5,9	7,1	8,3	7,3	8,5	9,7
	15	5	6,5	8,3	6,1	7,9	9,7	7,7	9,5	11,3	9,4	11,2	13
	20	6,2	8,5	10,7	7,7	10	12,4	9,6	11,9	14,3	11,4	13,8	16,3
—40	5	2,1	2,7	3,2	3	3,5	4	4,5	5,1	5,6	5,8	6,4	6,9
	10	3,4	4,7	5,8	4,5	5,8	7	6,4	7,1	8,7	7,8	9	10,2
	15	5,2	6,8	8,6	6,4	8,2	10	8,1	9,9	11,7	10	11,7	13,5
	20	6,4	8,7	10,9	8,1	10,3	12,7	10	12,3	14,7	11,9	14,4	16,9

Примечание. Таблица составлена для прогрева бетона в опалубке с коэффициентом теплопередачи K=3,3 Вт/(м²·°С). Деревянная опалубка толщиной 40 мм, металлическая опалубка с утеплением минеральной ватой и т. п. при температуре изотермического прогрева 80° С.

Таблица 11

Удельная тепловая мощность в период изотермического прогрева бетона в деревянной опалубке толщиной 40 мм

Температура наружного воздуха, °С	Мощность, кВт/м³, при модуле поверхности														
	4			6			10			15			20		
	Температура изотермического прогрева, °С														
	40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80
0	0,58	1,86	1,15	0,86	1,3	1,73	1,44	2,16	2,88	2,16	3,24	4,32	2,88	4,32	5,76
—10	0,72	1,01	1,3	1,08	1,51	1,94	1,8	2,52	3,24	2,7	3,78	4,86	3,6	5,04	6,48
—20	0,86	1,15	1,44	1,3	1,73	2,16	2,16	2,88	3,6	3,24	4,32	5,4	4,32	5,76	7,2
—30	1,01	1,3	1,58	1,51	1,94	2,38	2,52	3,24	3,96	3,78	4,86	5,94	5,04	6,48	7,92
—40	1,15	1,44	1,73	1,73	2,16	2,59	2,88	3,6	4,32	4,32	5,4	6,48	5,76	7,2	8,64

Таблица 12

Удельная тепловая мощность в период изотермического прогрева бетона в деревянной опалубке толщиной 25 мм

Температура наружного воздуха, °С	Мощность, кВт/м³, при модуле поверхности														
	4			6			10			15			20		
	Температура изотермического прогрева, °С														
	40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80
0	0,83	1,25	1,67	1,25	1,88	2,5	2,09	3,13	4,18	3,13	4,7	6,26	4,18	6,26	8,35
—10	1,04	1,46	1,88	1,57	2,2	2,82	2,61	3,65	4,7	3,91	5,48	7,04	5,28	7,31	9,39

—20	1,25	1,67	2,09	1,88	2,5	3,13	3,13	4,18	5,22	4,7	6,26	7,83	6,26	8,35	10,44
—30	1,46	1,88	2,3	2,2	2,82	3,44	3,65	4,70	5,74	5,48	7,04	8,61	7,31	9,39	11,48
—40	1,67	2,09	2,5	2,5	3,13	3,76	4,18	5,22	6,26	6,26	7,83	9,4	8,35	10,44	12,53

Таблица 13

Удельная тепловая мощность в период изотермического прогрева бетона в металлической опалубке толщиной 3 мм с утеплением минеральной ватой толщиной 50 мм и защитным слоем толщиной 4 мм

Температура наружного воздуха, °С	Мощность, кВт/м³, при модуле поверхности														
	4			6			10			15			20		
	Температура изотермического прогрева, °С														
	40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80
0	0,21	0,31	0,41	0,31	0,46	0,61	0,51	0,77	1,02	0,77	1,15	1,54	1,02	1,53	2,05
—10	0,26	0,36	0,46	0,38	0,54	0,69	0,64	0,9	1,15	0,96	1,34	1,73	1,28	1,79	2,3
—20	0,31	0,41	0,51	0,46	0,61	0,77	0,77	1,02	1,28	1,15	1,54	1,92	1,53	2,05	2,56
—30	0,36	0,46	0,56	0,54	0,69	0,84	0,9	1,15	1,41	1,34	1,73	2,11	1,79	2,3	2,82
—40	0,41	0,51	0,61	0,61	0,77	0,92	1,02	1,28	1,54	1,51	1,92	2,3	2,05	2,56	3,07

4.21. Величины требуемой удельной тепловой мощности при подъеме температуры бетонов на плотных заполнителях с объемной массой 2400 кг/м³ при разной скорости подъема, утеплении опалубки, температуре наружного воздуха и модуле поверхности конструкции при скорости ветра 5 м/с приведены в табл. 7—9.

4.22. Требуемая удельная тепловая мощность в период подъема температуры бетонов на пористых заполнителях можно определять по формуле

$$P_{\text{п.п}} = P_{\text{п}} (2520 - 1{,}05\gamma_{\text{л.б}}) \frac{P}{3630}, \qquad (9)$$

где $P_{\text{п.п}}$ — требуемая мощность при подъеме температуры бетонов на пористых заполнителях, кВт/м³;
$P_{\text{п}}$ — требуемая мощность для подъема температуры бетона на плотных заполнителях (по табл. 7—9), кВт/м³;
$\gamma_{\text{л.б}}$ — объемная масса легкого бетона на пористых заполнителях, кг/м³.

4.23. Величины требуемой тепловой мощности при подъеме температуры бетонов на пористых заполнителях в деревянной опалубке при скорости ветра 5 м/с приведены в табл. 10.

4.24. Требуемая тепловая мощность в период изотермического прогрева бетона ($P_{\text{и}}$) определяется по формуле

$$P_{\text{и}} = 1{,}16 \cdot 10^{-3} KM (t_{\text{и}} - t_{\text{н.в}}). \qquad (10)$$

Величины требуемой мощности в период изотермического прогрева бетонов не зависят от их объемной массы. Они приведены в табл. 11—13. Скорость ветра принята 5 м/с.

4.25. Удельный расход электроэнергии при электротермообработке бетона определяется по формуле

$$W = P_{\text{п}} \tau_{\text{п}} + P_{\text{и}} \tau_{\text{и}}, \qquad (11)$$

где W — расход электроэнергии, кВт·ч/м³;
$\tau_{\text{п}}$ и $\tau_{\text{и}}$ — соответственно продолжительность подъема температуры и изотермического прогрева, ч.

Удельный расход электроэнергии при электротермообработке бетона монолитных конструкций можно ориентировочно принимать в пределах от 45 до 120 кВт·ч/м³ для конструкций с модулем соответственно от 3 до 15.

5. ВЫДЕРЖИВАНИЕ БЕТОНА СПОСОБОМ ТЕРМОСА

5.1. Способ термоса основан на принципе использования тепла, введенного в бетон до укладки его в опалубку, и тепла, выделяемого цементом в процессе твердения бетона, и является наиболее простым и, как правило, экономичным способом выдерживания бетона.

Общий запас тепла в бетоне должен соответствовать его потерям при остывании конструкции (при соответствующем утеплении) до набора бетоном заданной прочности.

5.2. Возможность применения термосного выдерживания бетона определяется массивностью бетонируемой конструкции, активностью и тепловыделением цемента, температурой уложенного бетона и температурой наружного воздуха, скоростью ветра и возможностью по-

лучения заданной прочности бетона в установленные сроки. Сочетание этих факторов устанавливает область применения способа термоса, за пределами которой либо невозможно обеспечить заданную проектом прочность бетона к моменту его распалубки или замерзания, либо другие методы выдерживания бетона окажутся более экономичными и эффективными.

Целесообразность применения способа термоса устанавливается теплотехническим и технико-экономическим расчетом.

5.3. Выдерживание бетона способом термоса наиболее целесообразно производить при бетонировании массивных конструкций с $M_п$ до 8, а также в тех случаях, когда к бетону предъявляются повышенные требования по морозостойкости, водонепроницаемости и трещиностойкости, так как применение этого метода позволяет получать наиболее благоприятное термонапряженное состояние бетона в конструкциях.

Способ термоса рекомендуется использовать как элемент комбинированных способов зимнего бетонирования, например предварительным электроразогревом бетонной смеси перед укладкой ее в опалубку с применением химических добавок-ускорителей и противоморозных, а также в отдельных случаях целесообразно сочетать термос с электрообогревом конструкций (табл. 14). Комбинированные способы с использованием термоса в этом случае могут применяться для выдерживания бетона в конструкциях с $M_п$ до 12.

5.4. При подготовке технической документации к производству работ в зимнее время расчетные месячные температуры наружного воздуха ($t_{н.в}$) и скорость ветра следует принимать по прил. 1 или по главе СНиП II-А.6-72 «Строительная климатология и геофизика».

Наружный слой тепловой изоляции опалубки или засыпки должен выполняться из непродуваемого, водоотталкивающего материала. Конструкция опалубки должна исключать возможность образования продуваемых ветром зазоров между опалубкой и покровным слоем.

Температурный режим и прочность бетона в конструкции определяются по контрольной точке, расположенной на глубине 50 мм в центре охлаждаемой поверхности бетона.

5.5. При решении вопроса о сроках снятия опалубки или тепловой защиты бетонируемых конструкций необходимо руководствоваться указаниями пп. 1.7—1.9 настоящего Руководства. Кроме того, при температурах наружного воздуха минус 20° С и ниже необходимо выдерживать бетон в опалубке вплоть до появления в контрольной точке соответствующих отрицательных температур (п. 1.10), несмотря на получение к моменту остывания до 5° С заданной прочности. После снижения температуры бетона до 5° С дальнейшее выдерживание бетона рекомендуется производить либо в этой же, отодвинутой от бетона опалубке, либо под непродуваемым теплоизолирующим покрытием, например брезентом. В обоих случаях должна быть исключена возможность непосредственного контакта поверхности бетона с окружающей средой (продуваемые щели, неплотности и т. п.).

5.6. Для приготовления бетонных смесей при выдерживании конструкций способом термоса рекомендуется применять цементы согласно указаниям п. 2.1 и табл. 14 настоящего Руководства.

5.7. При производстве работ способом термоса для ускорения твердения бетона особенно при низких положительных температурах наружного воздуха в соответствии с «Руководством по применению

Рекомендации по применению способа термоса и комбинированных от массивности конструкции и

Наименование конструкции	$M_п$	$t_{н.в}$, °С	с температурой $t_{б.н}$
			способ выдерживания бетона
Массивные фундаменты, гидротехнические сооружения	До 2	До —20	Термос
То же		От —21 до —40	Термос с противоморозными добавками [1]
Фундаменты зданий и технологического оборудования, плиты и стены толщиной 40—50 см, балки высотой 90 см	3—5	До —20	Термос, термос с добавками — ускорителями твердения
То же		От —21 до —40	Термос с противоморозными добавками [1]
Фундаменты под колонны и оборудование, колонны сечением 50—70 см и балки высотой 50—70 см, стены и плиты толщиной 30—40 см	6—8	До —20	Термос с добавками—ускорителями твердения или с противоморозными добавками [1]
То же		От —21 до —40	Термос в сочетании с греющей опалубкой
Рамные конструкции, колонны сечением 30—40 см, плиты и стены толщиной 20—25 см, балки высотой 30—40 см, покрытие дорог	8—12	До —20	Термос с противоморозными добавками или греющая опалубка с термосным выдерживанием

Таблица 14

способов зимнего бетонирования в зависимости температуры наружного воздуха

При укладке бетонной смеси				
до 25—30 °С		предварительно разогретой до $t_{б.н}$=50 °С		
цемент	марка цемента	способ выдерживания	цемент	марка цемента
Шлакопортландцемент Портландцемент	300—400 300	Термос с укладкой разогретой бетонной смеси в ядро конструкции	Шлакопортландцемент Портландцемент	300—400 300
Портландцемент Шлакопортландцемент	400 500	То же	Шлакопортландцемент Портландцемент	400—500 400
Портландцемент Шлакопортландцемент	400 500	Термос	Шлакопортландцемент Портландцемент	400 300
Портландцемент	500—600	Термос с добавками — ускорителями твердения	Портландцемент	500
То же	500—600	То же	Шлакопортландцемент Портландцемент	400—500
		Термос с добавками — ускорителями твердения нитритом натрия	Портландцемент	400—600
Портландцемент	500—600	Термос с добавками — ускорителями твердения и нитритом натрия	Портландцемент	500—600

Наименование конструкции	$M_п$	$t_{н.в}$, °С	с температурой $t_{б.н}$
			способ выдержив ания бетона
То же	8—12	От —21 до —40	Не рекомендуется

[1] Термическое сопротивление опалубки должно обеспечивать рых назначается количество противоморозной добавки.

химических добавок к бетону» (М., Стройиздат, 1975) рекомендуется применять следующие добавки — ускорители твердения в количестве 0,5—2% массы вяжущего: хлорид кальция (ХК), нитрат кальция (НК), нитрит-нитрат кальция (ННК), нитрит-нитрат хлорида кальция (ННХК), нитрит натрия (НН) и сочетание последнего с хлоридом натрия (ХН) или хлоридом кальция (ХК); пластифицирующие добавки — СДБ, ССБ и др. в количестве 0,1—0,3%, а также воздухововлекающие добавки СНВ, СПД и др. в количестве 0,01—0,025% массы вяжущего.

При применении портландцементов марки ниже 400 и шлакопортландцементов в случае бетонирования неармированных конструкций или армированных конструктивной арматурой добавка хлористых солей может быть увеличена до 3%.

5.8. С целью обеспечения условий термосного твердения бетона при отрицательных температурах в бетонную смесь рекомендуется вводить противоморозные добавки, снижающие температуру замерзания жидкой фазы: хлорид кальция и хлорид натрия (ХК+ХН), нитрит натрия (НН) и нитрат натрия (НН) и др. в количестве, указанном в табл. 15.

Таблица 15

Температура твердения бетона, °С	Количество безводной соли, % массы цемента		
	хлористый натрий+хлористый кальций (ХН+ХК)[1]	нитрит натрия ($НН_1$), нитрат натрия ($НН_2$)	нитрит-нитрат хлорида кальция (ННХК)
От 0 до —5	2+1	4	3
От —6 до —10	3,5+1,5	6	6
От —11 до —15	3+4,5	8	9

[1] Для неармированного бетона.

Продолжение табл. 14

При укладке бетонной смеси				
до 25—30 °С		предварительно разогретой до $t_{б.н}$=50 °С		
цемент	марка цемента	способ выдерживания	цемент	марка цемента
—	—	Термос в сочетании с греющей опалубкой	Портландцемент	500—600

принятые расчетные температуры твердения бетона, исходя из кото-

Перечисленные добавки должны отвечать требованиям соответствующих ГОСТов.

Допускаемые области применения добавок приведены в разд. 6 (табл. 32).

Оптимальное количество добавки (в указанных пределах) уточняется строительной лабораторией.

5.9. При зимнем бетонировании водоцементное отношение следует снижать до минимально возможного, и оно не должно превышать величин, приведенных в табл. 16.

Таблица 16

Зависимость между проектной маркой бетона, маркой цемента и водоцементным отношением

Проектная марка бетона	Водоцементное отношение при марке цемента		
	300	400	500
М150	0,65	—	—
М200	0,55	0,65	—
М300	0,38	0,45	0,5
М400	—	0,38	0,4
М500	—	—	0,38

5.10. Для ускорения твердения бетона в начальные сроки при термосном его выдерживании расход воды в бетонной смеси должен быть минимальным. Для обеспечения требуемой удобоукладываемости смеси в нее при приготовлении следует вводить пластифицирующие добавки.

При введении пластификаторов и воздухововлекающих ПАВ расход воды и соответственно цемента в бетонной смеси уменьшается примерно на 10%, а при использовании суперпластификаторов — до 20%.

Таблица 17

Портландцемент марки 400, конечная прочность 40% от R_{28}

Модуль поверхности, $м^{-1}$	Марка бетона	Расход цемента, кг/м³	Начальная температура бетона, °С: 25 — Температура среды, °С: 0	—10	—20	—30	—40	Начальная температура бетона, °С: 50 — Температура среды, °С: 0	—10	—20	—30	—40
2	М200	226	0,073 6 72	0,15 5 63	0,228 5 60	0,304 5 59	0,36 5 58	0,038 5 59	0,081 5 46	0,114 5 41	0,137 5 39	0,183 5 38
		400	0,043 6,5 74	0,098 6 63	0,155 5 59	0,197 5 57	0,24 5 55	0,028 6 56	0,048 5 44	0,078 5 38	0,103 5 35	0,12 5 33
	М300	300	0,052 6 74	0,115 5 62	0,181 5 57	0,242 5 55	0,302 5 55	0,029 5 58	0,069 5 45	0,095 5 39	0,121 5 37	0,146 5 35
		500	0,04 7 68	0,087 7 64	0,129 5 59	0,183 5 57	0,206 5 55	0,026 6 56	0,051 5 43	0,0778 8 37	0,095 5 34	0,112 5 32
		226	0,138 5 59	0,242 5 54	0,35 5 52	0,405 5 51	0,56 5 50	0,078 6 46	0,124 5 37	0,161 5 35	0,198 5 34	0,233 5 32,5

4	M200	400	0,09 5 56	0,172 5 52	0,241 5 50,5	0,309 5 49	0,366 5 48	0,06 8 44	0,102 5 35	0,121 5 32	0,149 5 31	0,176 5 30
	M300	300	0,104 5 58	0,206 5 53	0,284 5 51	0,378 5 50	0,466 5 49	0,071 8 45	0,106 5 36	0,138 5 33,5	0,183 5 32	0,198 5 31
		500	0,081 6 55	0,206 5 51	0,204 5 50	0,258 5 48	0,318 5 47	0,43 5 43	0 083 5 35	0,112 10 31,5	0,129 5 30,5	0,155 5 29
10	M200	226	0,346 5 53	0,62 7 49	0,815 5 47,5	1,01 5 47	1,24 6 46,5	0,191 5 36	0,287 5 29	0,344 5 28	0,405 5 27	0,474 5 26
		400	0,249 5 51	0,413 5 47	0,557 5 45	0,705 5 44	0,86 5 43	0,155 5 33	0,221 5 26,5	0,273 5 25.5	0,305 5 24,5	0,344 5 23,5
	M300	300	0,288 5 52	0,48 5 48	0,645 5 46	0,84 5 45	1,02 5 44	0,163 5 34	0,232 5 28	0,292 5 26	0,354 5 25,5	0,404 5 25
		500	0,215 5 50	0,358 5 46	0,495 5 44	0,67 5 43	0,8 5 42	0,132 5 32	0,21 5 25	0,253 5 24,5	0,266 5 24	0,31 5 23

Таблица 17а

Портландцемент марки 400, конечная прочность 70% от R_{28}

Модуль поверхности, $м^{-1}$	Марка бетона	Расход цемента, кг/м³	Начальная температура бетона, °С									
			25					50				
			Температура среды, °С									
			0	—10	—20	—30	—40	0	—10	—20	—30	—40
2	М200	226	0,192 5 180	0,344 5 158	0,48 5 150	0,618 5 148	0,72 5 143	0,109 5 139	0,198 5 120	0,258 5 111	0,318 5 106	0,378 5 106
		400	0,12 5 161	0,206 5 135	0,275 5 124	0,353 5 120	0,412 5 116	0,086 8 126	0,122 5 98	0,147 5 80	0,176 5 74	0,206 5 68
	М300	300	0,152 5 167	0,258 5 144	0,344 5 135	0,455 5 132	0,55 5 129	0,088 5 132	0,146 5 102	0,198 5 95	0,215 5 79	0,249 5 74
		500	0,103 5 153	0,184 5 127	0,223 5 117	0,318 5 114	0,397 5 111	0,07 5 124	0,103 5 92	0,129 2 77	0,155 5 70	0,181 5 66
		226	0,37 5 152	0,617 5 139	0,81 5 130	1 5 126	1,18 5 123	0,197 5 100	0,27 5 80	0,336 5 73	0,404 5 71	0,482 5 71

4	M200	400	0,252 5 132	0,353 5 110	0,452 5 100	0,55 5 96	0,653 5 94	0,138 5 84	0,184 5 67	0,232 5 63	0,293 5 61	0,31 5 56
	M300	300	0,294 5 138	0,438 5 125	0,575 5 117	0,73 5 114	0,86 5 113	0,181 5 90	0,206 5 73	0,282 5 67	0,344 5 65	0,37 5 61
		500	0,198 5 117	0,284 5 98	0,361 5 91	0,446 5 88	0,525 5 87	0,119 5 82	0,161 5 63	0,189 5 57	0,232 5 55	0,262 5 52
10	M200	226	0,875 5 136	1,48 5 125	1,91 5 122	2,49 5 119	2,72 5 117	0,432 5 84	0,6 5 74	0,755 5 64	0,87 5 60	1,04 5 59
		400	0,603 5 110	0,86 5 100	1,11 5 95	1,14 5 93	1,53 5 91	0,31 5 71	0,43 5 58	0,517 5 52	0,593 5 50	0,69 5 49
	M300	300	0,735 5 128	1,09 5 113	1,4 5 109	1,7 5 107	2,02 5 104	0,388 5 77	0,5 5 64	0,62 5 58	0,73 5 56	0,81 5 55
		500	0,507 5 106	0,69 5 94	0,86 5 88	1,03 5 85	1,2 5 83	0,284 5 62	0,37 5 52	0,42 5 46	0,49 5 45	0,557 5 44

Таблица 176

Портландцемент марки 400, конечная прочность 100% от R_{28}

Модуль поверхности, $м^{-1}$	Марка бетона	Расход цемента, кг/м³	Начальная температура бетона, °С									
			25					50				
			Температура среды, °С									
			0	—10	—20	—30	—40	0	—10	—20	—30	—40
2	М200	226	0,73 5 599	1,02 5 497	1,43 5 474	1,73 5 450	2,04 5 439	0,28 5 334	0,48 5 282	0,58 2 258	0,69 5 238	0,77 5 235
		400	0,36 5 398	0,48 5 332	0,64 5 320	0,73 5 294	0,83 5 287	0,22 5 284	0,36 5 212	0,46 5 195	0,56 5 180	0,63 5 174
	М300	300	0,55 5 451	0,75 5 378	0,9 5 367	1,14 5 355	1,29 5 347	0,24 5 306	0,41 5 257	0,49 5 237	0,58 5 216	0,67 5 210
		500	0,25 5 338	0,38 5 293	0,54 5 276	0,63 5 265	0,73 5 258	0,19 5 256	0,32 5 198	0,42 5 178	0,48 5 170	0,55 5 165
		226	1,46 5 576	1,95 5 465	2,31 5 410	2,75 5 395	3,2 5 388	0,65 5 290	0,76 5 242	1 5 230	1,18 5 228	1,38 5 220

4	M200	400	0,69 5 372	1,09 5 328	1,44 5 312	1,84 5 294	2,1 5 290	0,55 5 228	0,66 5 190	0,81 5 178	0,99 5 173	1,19 5 158
	M300	300	0,89 5 425	1,36 5 372	1,73 5 358	2,06 5 350	2,45 5 340	0,59 5 280	0,68 5 216	0,88 5 196	1,06 5 190	1,26 5 186
		500	0,59 5 317	0,85 5 275	1,13 5 266	1,36 5 260	1,69 5 252	0,54 5 220	0,63 5 178	0,78 5 164	0,94 5 159	1,12 5 150
10	M200	226	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	2,58 5 320	3,1 5 260	3,52 5 240	4,16 5 230	4,8 5 220
		400	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	1,18 5 235	1,68 5 190	1,81 5 175	2,2 5 165	2,58 5 160
	M300	300	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	1,89 5 270	2,24 5 210	2,62 5 194	3,15 5 183	3,53 5 179
		500	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	1,05 5 214	1,48 5 177	1,7 5 165	2,1 5 155	2,45 5 147

Таблица 18

Портландцемент марки 500, конечная прочность 40% от R_{28}

Модуль поверхности, $м^{-1}$	Марка бетона	Расход цемента, $кг/м^3$	Начальная температура бетона, °С									
			25					50				
			Температура среды, °С									
			0	—10	—20	—30	—40	0	—10	—20	—30	—40
2	М400	450	0,04 5 71	0,076 5 58	0,112 7 54	0,146 5 52	0,163 5 50	0,023 5 65	0,046 5 43	0,065 5 35	0,082 5 31	0,097 5 28
4	М400	450	0,09 6 50	— — —	0,168 5 43	0,213 5 42	0,232 5 40	0,043 5 43	0,061 5 35	0,085 5 30	0,115 5 27	0,124 5 25
6	М400	450	— — —	0,169 5 42	0,228 5 38	0,281 5 36	0,302 5 35	0,066 5 33	0,095 5 26	0,119 5 24	0,137 5 22	0,171 5 20
10	М400	450	0,179 5 42	0,292 5 37	0,344 5 34	0,43 5 32	0,507 5 30	0,106 5 26	0,158 5 23	0,185 5 21	0,222 5 20	0,253 5 18

Таблица 18а

Портландцемент марки 500, конечная прочность 70% от R_{28}

Модуль поверхности м⁻¹	Марка бетона	Расход цемента, кг/м³	Начальная температура бетона, °С									
			25					50				
			Температура среды, °С									
			0	—10	—20	—30	—40	0	—10	—20	—30	—40
2	М400	450	0,083 5 137	0,136 5 109	0,181 5 99	0,229 5 94	0,266 5 88	0,056 5 120	0,092 5 88	0,106 5 75	0,131 5 73	0,159 5 70
4	М400	450	0,163 5 97	0,223 5 82	0,282 5 75	0,357 5 73	0,43 5 71	0,095 5 69	0,13 5 59	0,172 5 52	0,206 5 51	0,232 5 48
6	М400	450	0,258 5 93	0,326 5 78	0,422 5 73	0,498 5 70	0,567 5 67	0,155 5 61	0,189 5 53	0,241 5 47	0,289 5 45	0,327 5 42
10	М400	450	0,395 5 84	0,527 5 72	0,689 5 68	0,816 5 67	0,937 5 64	0,256 5 58	0,328 5 48	0,387 5 44	0,46 5 42	0,525 5 41

Таблица 18б

Портландцемент марки 500, конечная прочность 100% от R_{28}

Модуль поверхности, м$^{-1}$	Марка бетона	Расход цемента, кг/м^3	Начальная температура бетона, °С									
			25					50				
			Температура среды, °С									
			0	—10	—20	—30	—40	0	—10	—20	—30	—40
2	М400	450	0,238 5 350	0,361 5 266	0,49 5 250	0,535 5 241	0,62 5 226	0,17 5 210	0,218 5 190	0,24 5 180	0,304 5 175	0,844 5 170
4	М400	450	0,5 5 280	0,635 5 230	0,765 5 215	0,86 5 210	0,939 5 195	0,304 5 184	0,42 5 161	0,448 5 152	0,52 5 142	0,605 5 138
6	М400	450	0,7 5 265	0,925 5 215	1,12 5 205	1,32 5 200	1,52 5 190	0,555 5 176	0,645 5 156	0,765 5 147	0,85 5 138	0,95 5 135
10	М400	450	0,895 5 250	1,4 5 200	1,8 5 196	2,2 5 190	2,58 5 180	0,689 5 167	0,9 5 154	1,14 5 143	1,35 5 134	1,54 5 130

Таблица 19

Шлакопортландцемент марки 400, конечная прочность 40% от R_{28}

Модуль поверхности, $м^{-1}$	Марка бетона	Расход цемента, кг/м³	Начальная температура бетона, °С									
			25					50				
			Температура среды, °С									
			0	—10	—20	—30	—40	0	—10	—20	—30	—40
2	М300	390	0,0945 5 129	0,206 13 68	0,274 5 98	0,326 5 94	0,404 5 93	0,94 13 46	0,091 5 66	0,116 5 59	0,151 5 55	0,18 5 53
4	М300	390	0,17 8 109	0,36 6 82	0,43 5 82	0,53 5 77	0,624 5 75	— — —	0,14 5 51	0,19 5 45	0,215 5 42	0,24 5 38
6	М300	390	0,33 5 104	— — —	0,516 5 75	0,697 5 73	0,89 5 70	0,21 11 37	0,2 5 45	0,26 5 42	0,31 5 39	0,361 5 38
10	М300	390	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	0,342 6 40	0,336 5 43	0,414 5 39	0,499 5 38	0,57 5 36

Таблица 19а

Шлакопортландцемент марки 400, конечная прочность 70% от R_{28}

Модуль поверхности, $м^{-1}$	Марка бетона	Расход цемента, $кг/м^3$	Начальная температура бетона, °С									
			25					50				
			Температура среды, °С									
			0	—10	—20	—30	—40	0	—10	—20	—30	—40
2	М300	390	0,24 5 269	0,38 7 200	0,472 5 211	0,618 5 204	0,722 5 198	0,13 15 186	0,196 17 97	0,23 5 123	0,284 5 116	0,315 5 106
4	М300	390	0,463 5 230	— — —	0,86 5 184	1 5 174	1,19 5 164	0,238 5 133	— — —	0,37 5 95	0,377 5 89	0,46 5 83
6	М300	390	0,68 5 210	0,995 8 165	1,3 5 177	1,55 5 168	1,8 5 166	0,43 5 130	— — —	0,52 5 88	0,63 5 81	0,68 5 79
10	М300	390	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	0,55 5 115	— — —	0,84 5 82	0,96 5 77	1,12 5 73

Таблица 19б

Шлакопортландцемент марки 400, конечная прочность 100% от R_{28}

Модуль поверхности, м⁻¹	Марка бетона	Расход цемента, кг/м³	Начальная температура бетона, °С									
			25					50				
			Температура среды, °С									
			0	—10	—20	—30	—40	0	—10	—20	—30	—40
2	М300	390	0,679 5 568	0,85 5 505	1 5 461	1,29 5 441	1,55 5 440	0,236 5 400	0,284 5 290	0,449 5 280	0,516 5 275	0,62 5 219
4	М300	390	1,21 5 553	1,62 5 480	2,04 5 430	2,37 5 404	2,53 5 391	0,567 5 320	0,79 5 258	1,03 5 250	1,2 5 249	1,44 5 238
6	М300	390	1,84 5 548	2,4 5 444	2,99 5 414	3,48 5 391	3,99 5 377	0,84 5 290	1,28 5 272	1,56 5 256	1,95 5 264	2,15 5 256
10	М300	390	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	1,45 5 285	2,16 5 285	2,66 5 263	3,08 5 254	3,6 5 252

5.11. При расчете термосного выдерживания бетона необходимо решить одну из двух задач: определение продолжительности остывания бетона и величины набранной им за это время прочности при заданном термическом сопротивлении термоограждающих конструкций или определение величины термического сопротивления термоограждающей конструкции, требуемой для достижения бетоном заданной прочности в установленные сроки.

5.12. Расчет термосного выдерживания бетона следует производить по табл. 17—19, при составлении которых приняты оптимальные значения термического сопротивления опалубки и начальной температуры бетонной смеси *. Приведенные в таблицах параметры позволяют к моменту достижения заданной прочности бетона получить разность температур бетона и наружного воздуха, допускающую распалубливание конструкции.

В случаях когда исходные параметры бетонирования существенно отличаются от приведенных в табл. 17—19, допускается выполнять ориентировочный расчет продолжительности остывания бетона в конструкциях с $M_п$ от 3** до 8 по формуле (12) (Б. Г. Скрамтаева), которая дает наилучшую сходимость с фактической продолжительностью остывания при $M_п$ от 4 до 6:

$$\tau = \frac{C_б \gamma_б (t_{б.н} - t_{б.к}) + ЦЭ}{3{,}6KM_п (t_{б.ср} - t_{н.в})}, \qquad (12)$$

где $C_б$ — удельная теплоемкость бетона, принимается равной 1,05 кДж/(кг·°С);

$\gamma_б$ — плотность бетона, кг/м³;

$Э$ — тепловыделение цемента, кДж/кг, за время твердения бетона принимается по табл. 20;

$t_{н.в}$ — температура наружного воздуха; принимается средняя за время остывания бетона, град;

$t_{б.к}$ — температура бетона к концу остывания; для бетонов без противоморозных добавок рекомендуется принимать не ниже 5° С;

$Ц$ — расход цемента в бетоне, кг/м³;

K — коэффициент теплопередачи опалубки или укрытия неопалубленных поверхностей, Вт/(м²·°С), определяется по формуле (13) или по табл. 21;

$t_{б.н}$ — начальная температура бетона после укладки, °С;

$t_{б.ср}$ — средняя температура за время остывания бетона, °С; определяется по формуле (7) или приближенно может быть принята равной: $(t_{б.н}+5) : 2$ для конструкций с $M_п \leqslant 4$; $t_{б.н} : 2$ при $M_п$ от 5 до 8; $t_{б.н} : 3$ при $M_п$ от 9 до 12.

Для повышения точности расчета по формуле (12) рекомендуется продолжительность остывания определять в несколько этапов, принимая остывание бетона на каждом этапе примерно на 5° С, при

---

* В табл. 17—19 для каждого расхода цемента приведены значения трех параметров: верхняя строка — термическое сопротивление опалубки, м²·°С/Вт; средняя строка — температура окончания выдерживания бетона, °С; нижняя строка — время выдерживания, ч.

** Для конструкций с $M_п$ до 3 режим термосного выдерживания рассчитывается по методу проф. В. С. Лукьянова (см. «Руководство по зимнему бетонированию с применением метода термоса». М., Стройиздат, 1975).

Таблица 20

Тепловыделение цементов (Э) различных видов и марок в зависимости от температуры твердения и времени твердения

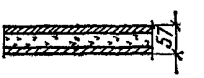
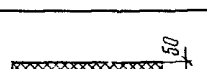
Вид и марка цемента	Температура, °С	Тепловыделение цементов, кДж/кг, при времени их твердения, сут							
		0,25	0,5	1	2	3	7	14	28
Портландцемент 300	5	—	—	25	58	84	167	209	230
	10	8	25	42	84	126	188	230	272
	20	25	42	75	126	167	230	251	293
	40	50	84	147	188	230	251	293	—
	60	83	147	188	230	272	298	—	—
Портландцемент 400	5	—	—	29	63	109	188	209	251
	10	12	25	50	105	146	209	251	293
	20	42	67	105	167	209	272	314	335
	40	84	134	188	230	272	314	335	—
	60	130	188	230	272	314	335	—	—
Портландцемент 500, 600	5	12	25	42	89	125	188	230	272
	10	25	42	63	105	167	251	393	314
	20	42	84	125	188	251	292	335	377
	40	105	167	209	272	293	356	377	—
	60	188	230	272	314	356	377	—	—
Портландцемент быстротвердеющий 600	5	25	33	50	105	147	209	251	314
	10	33	50	75	125	167	372	335	377
	20	63	105	147	209	293	335	377	419
	40	117	188	230	293	335	377	419	—
	60	209	251	293	335	377	419	—	—
Шлакопортландцемент и пуццолановый портландцемент 300	5	—	12	25	42	63	126	167	188
	10	—	25	33	63	105	167	209	230
	20	—	33	62	125	147	209	251	272
	40	42	75	117	167	209	251	272	—
	60	63	105	147	209	230	272	—	—

Таблица 21

Коэффициенты теплопередачи опалубок и укрытий неопалубленной поверхности бетона различной конструкции

Тип опалубки	Конструкция опалубки	Материал опалубки	Толщина слоя, мм	Коэффициент K, Вт/(м²·°С), при скорости ветра, м/с		
				0	5	15
I		Доска	25	2,44	5,2	5,98

Продолжение табл. 21

Тип опалубки	Конструкция опалубки	Материал опалубки	Толщина слоя, мм	Коэффициент K, Вт/(м².°С), при скорости ветра, м/с		
				0	5	15
II		Доска	40	2,03	3,6	3,94
III		Доска Толь Доска	25 — 25	1,8	3	3,25
IV		Доска Пенопласт Фанера	25 30 4	0,67	0,8	0,82
V		Доска Толь Вата минеральная Фанера	25 — 50 4	0,87	1,07	1,1
VI		Металл Вата минеральная Фанера	3 50 4	1,02	1,27	1,33
VII		Фанера Асбест Фанера	10 4 10	2,44	5,1	5,8
VIII		Толь Опилки	— 100	0,74	0,89	0,9
IX		Толь Шлак	— 150	1,27	1,77	1,87
X		Толь Вата минеральная	— 50	1,01	1,31	1,37

неизменных величинах K и $t_{н.в}$ (например, от 20 до 15° С, от 15 до 10° С и т. д.).

При расчете термосного выдерживания бетонов из предварительно разогретых смесей расчет в несколько этапов является обязательным. При этом необходимо тепловыделение цемента определять согласно прил. 2.

5.13. Коэффициент теплопередачи опалубки или утеплителя укрытия неопалубленных поверхностей определяется по формуле

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \qquad (13)$$

где λ_i — коэффициент теплопроводности материала каждого слоя ограждения, Вт/(м²·°С), принимается по табл. 22;

α — коэффициент теплопередачи у наружной поверхности ограждения, Вт/(м²·°С);

δ_i — толщина каждого слоя ограждения, м.

В зависимости от скорости ветра α имеет значения:

Скорость ветра, м/с	α, Вт/(м²·°С)	Скорость ветра, м/с	α, Вт/(м·°С)
0	3,77	5	26,56
1	3,88	10	33,18
3	14,96	15	43,15

Если коэффициенты теплопередачи бетона в окружающую среду через ограждения с разным утеплением (например, через деревянную опалубку или неопалубленную поверхность, укрытую толем и минераловатными матами) существенно различаются между собой, можно суммировать теплопотери через все поверхности или пользоваться приведенным коэффициентом теплопередачи

$$K = \frac{F_1 K_1 + F_2 K_2 + \ldots + F_n K_n}{F_1 + F_2 + \ldots + F_n}, \qquad (14)$$

где K_1, K_2, ..., K_n — коэффициенты теплопередачи через разные поверхности конструкции, Вт/(м²·°С);

F_1, F_2, ..., F_n — площади соответствующих поверхностей, м².

Величина коэффициента теплопередачи наиболее часто применяемых конструкций опалубки и укрытий неопалубленной поверхности бетона приведена в табл. 21.

5.14. Прочность бетона за период остывания τ при $t_{б.ср}$ определяется согласно указаниям, изложенным в п. 5.19, или по графикам рис. 2 и должна быть не менее установленной проектом производства работ. Если прочность окажется ниже требуемой, то следует увеличить продолжительность остывания до набора бетоном заданной прочности за счет снижения величины K и повышения $t_{б.н}$.

Пример подбора конструкции опалубки при термостном остывании бетона дан в прил. 3.

Таблица 22

Величины теплофизических характеристик строительных и теплоизоляционных материалов

№ п.п.	Материал	Объемная масса в сухом состоянии, кг/м³	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии λ_0, Вт/(м·°С)	Расчетная величина коэффициента теплопроводности λ_w, Вт/(м·°С)	Удельная теплоемкость в сухом состоянии C, кДж/(кг·°С)	Стоимость, руб/м³	Оборачиваемость утеплителя
1	Железобетон ($W_б$=3%)	2500	1,68	2,03	0,84	—	—
2	Бетон на гравии или щебне из природного камня ($W_б$=3%)	2400	1,56	1,86	0,84	—	—
3	Шлакобетон на топливных (котельных) шлаках и бетон на аглопорите ($W_б$=8%)	1800	0,7	0,93	0,84	—	—
4	То же	800	0,23	0,35	0,84	—	—
5	Шлакобетон на доменных гранулированных шлаках	1800	0,58	0,81	0,84	—	—
6	То же	1000	0,29	0,41	0,84	—	—
7	Керамзитобетон ($W_б$=10%)	1600	0,52	0,75	0,84	—	—
8	То же	600	0,16	0,23	0,84	—	—
9	Шлак	600	0,14	0,29	—	7	—
		800	0,17	0,34	—	7,5	—
10	Бетон на вулканическом шлаке ($W_б$=10%)	1200	0,32	0,45	0,97	—	—
11	То же	800	0,2	0,29	0,97	—	—
12	Вата минеральная ($W_б$=5%)	100	0,04	0,49	0,76	9,3	—
13	То же	150	0,049	0,055	0,76	—	—
14	Плиты мягкие, полужесткие и жесткие минераловатные на синтетическом связующем ($W_б$=5%)	100	0,046	0,052	0,76	24,3	5 (10)
15	То же	175	0,051	0,06	0,76	26	5 (10)
16	Плиты мягкие и полужесткие минераловатные на битумном связующем ($W_б$=5%)	100	0,046	0,052	0,92	15	5 (10)
17	То же	200	0,058	0,067	0,92	31	5 (10)
18	»	300	0,069	0,081	0,92	29,5	5 (10)

Продолжение табл. 22

№ п.п.	Материал	Объемная масса в сухом состоянии, кг/м³	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии λ_0, Вт/(м·°С)	Расчетная величина коэффициента теплопроводности λ_0, Вт/(м·°С)	Удельная теплоемкость в сухом состоянии, C, кДж/(кг·°С)	Стоимость, руб/м³	Оборачиваемость утеплителя
19	Маты минераловатные прошивные (МРТУ 7-19-68)	100	0,044	0,048	0,76	33,9	5 (10)
20	То же	200	0,053	0,06	0,76	35,2	5 (10)
21	Маты минераловатные, рулонированные, на синтетическом связующем, ТУ 36-917-67 ММСС СССР ($W_б$=5%)	50	0,039	0,046	0,75	—	—
22	То же	75	0,043	0,049	0,76	—	—
23	Маты и полосы из стеклянного волокна ($W_б$=5%)	175	0,049	0,056	0,84	—	—
24	Хвойные породы (поперек волокон) $W_б$=20%)	50	0,093	0,17	2,52	30—40	—
25	Лиственные породы (поперек волокон)	700	0,104	0,23	2,52	—	—
26	Фанера клееная ($W_б$=13%)	600	0,116	0,17	2,52	178	—
27	Плиты древесноволокнистые и древесностружечные ($W_б$=12%)	1000	0,15	0,29	2,1	—	—
28	То же	600	0,104	0,16	2,1	—	—
29	»	400	0,081	0,14	2,1	—	—
30	»	200	0,058	0,08	2,1	—	—
31	Опилки	250	0,069	0,24	—	2,91	2
32	Оргалит	300	0,064	0,16	—	—	—
33	Пенопласт плиточный ($W_б$=10%)	200	0,049	0,147	—	—	—
34	То же ($W_б$=10%)	100	0,041	0,043	1,34	41,2	10 (20)
35	То же ($W_б$=5%)	150	0,46	0,49	1,34	52,1	10 (20)
36	То же	200	0,58	0,6	1,34	55,1	10 (20)
37	Мипора ($W_б$=30%)	15	0,041	0,052	1,34	—	—
38	Пенопласт плиточный ПХВ-1 · ($W_б$=10%)	100	0,046	0,05	1,26	—	—
39	То же	125	0,058	0,062	1,26	—	—
40	Пенопласт плиточный ($W_б$=10%)	75	0,041	0,044	1,26	—	—
41	То же	125	0,046	0,05	1,26	—	—
42	Картон строительный многослойный «Эпсонит»	650	0,12	0,17	1,34	—	—

Продолжение табл. 22

№ п.п.	Материал	Объемная масса в сухом состоянии, кг/м³	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии λ_0, Вт/(м·°С)	Расчетная величина коэффициента теплопроводности $\lambda_б$, Вт/(м·°С)	Удельная теплоемкость в сухом состоянии C, кДж/(кг·°С)	Стоимость, руб/м³	Оборачиваемость утеплителя
43	Рубероид, пергамин кровельный, толь кровельный	600	0,17	0,17	1,47	0,12	2 (5)
44	Сталь	7600	52	—	—	—	—
45	Снег рыхлый, сухой	300	0,29	—	2,1	—	—

Примечания: 1. $W_б$ — влажность материала, соответствующая нормативным и влажностным условиям эксплуатации.

2. Стоимость рубероида, пергамина, толя, руб/м².

3. Оборачиваемость, приведенная в скобке, дана для утеплителя, закрепленного в опалубочных щитах.

5.15. При расчете длительности остывания бетона коэффициент теплоограждения укрытия поверхностей без опалубки рекомендуется принимать равным термическому сопротивлению опалубки и изоляции.

Угловые выступающие части, металлические закладные детали и другие элементы, остывающие быстрее основной части конструкций, необходимо утеплять дополнительно для обеспечения одинаковых условий остывания всей конструкции. Термическое сопротивление тепловой изоляции этих элементов должно быть в 2 раза выше, чем термическое сопротивление опалубки с изоляцией.

5.16. Термическое сопротивление опалубки и время выдерживания бетона до приобретения требуемой прочности рекомендуется определять по табл. 17 и 18.

Табличный метод расчета позволяет решать задачу термосного выдерживания бетона М 200, М 300 и М 400 на портландцементах марок 400 и 500, а также бетона марки М 300 на шлакопортландцементе марки 400 для конструкций с $2 \leqslant M_п \leqslant 10$.

Расчет выдерживания бетона основан на использовании таблиц основных параметров (табл. 17, 18), а также номограммы на рис. 5. В таблицах основных параметров для каждого сочетания модуля поверхности, расхода цемента, начальной температуры бетона и температуры среды даны значения трех параметров, расположенных по вертикали один под другим. Верхнее — полное термосопротивление опалубки, среднее — температура окончания выдерживания бетона, нижнее — время выдерживания. В ряде случаев для получения 40 и 70% от R_{28} для одной и той же температуры среды дается ряд таких комплексов.

5.17. Таблицы 17 и 18 получены расчетным путем для тел классической формы (неограниченный цилиндр, неограниченная пластина, шар).

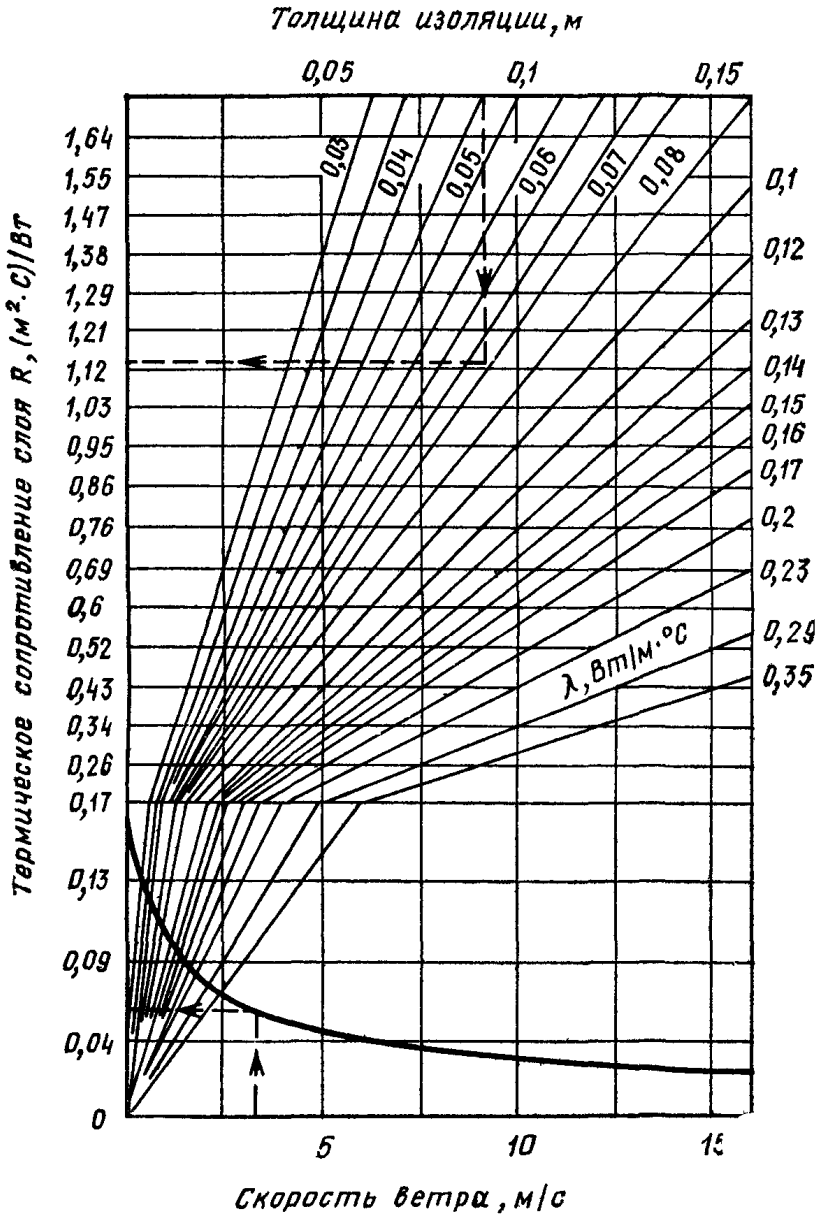


Рис. 5. Номограмма для определения термического сопротивления опалубки в зависимости от скорости ветра и термических сопротивлений слоев опалубки

Геометрия конструкции в таблицах в явном виде не фигурирует, а учитывается при подсчете модуля поверхности.

5.18. Полное термосопротивление опалубки ($R_т$) складывается из термосопротивления собственно опалубки ($R_{оп}$), термосопротивления слоев тепловой изоляции и сопротивления теплоотдаче на границе опалубка — внешняя среда ($R_{в.в}$):

$$R_т = R_{оп} + \sum_{1}^{n} R^i_{из} + R_{н.в} \qquad (15)$$

где $R^i_{из}$ — *термосопротивление i-го слоя изоляции определяется по* формуле

$$R^i_{из} = \delta_i/\lambda_i, \qquad (15а)$$

где δ_i и λ_i — соответственно толщина и коэффициент теплопроводности i-го слоя изоляции. В качестве слоя изоляции может рассматриваться замкнутая воздушная прослойка. Величина термосопротивления воздушной прослойки в среднем для толщин от 0,01 до 0,05 м составит от 0,12 до 0,165 м² град/Вт.

Для поверхностей бетонируемой конструкции, примыкающих к углам и ребрам на расстоянии до 1 м (для конструкций с наименьшим размером более 5 м — на расстоянии до 2 м), толщина тепловой изоляции удваивается по сравнению с ее расчетным значением, полученным для основной поверхности.

5.19. При назначении температурного режима выдерживания бетона по способу термоса с целью получения заданной прочности в требуемые сроки следует руководствоваться данными табл. 23—27, устанавливающими прочность бетона на цементах различных видов и марок в зависимости от температуры бетона (в пределах от 0 до 60° С) и продолжительности твердения.

5.20. Таблицы нарастания прочности составлены для бетона с подвижностью, соответствующей осадке конуса бетонной смеси 1—3 см. При применении более подвижных смесей темп нарастания прочности замедляется на 10—20%.

5.21. Учитывая, что интенсивность твердения бетона при различных температурах неодинакова, рекомендуется устанавливать сред-

Таблица 23

Нарастание прочности бетона марок М 200—М 300 на портландцементе марки 400 (% от R_{28})

Возраст бетона, сут	Средняя температура твердения бетона, °С							
	0	5	10	20	30	40	50	60
1/2	—	4	5	12	17	28	38	50
1	—	9	12	23	35	45	55	63
2	—	19	25	40	55	65	75	80
3	—	27	37	50	65	77	85	—
5	—	38	50	65	78	90	—	—
7	35	48	58	75	87	98	—	—
14	50	62	72	87	100	—	—	—
28	65	77	85	100	—	—	—	—

Таблица 24

Нарастание прочности бетона марки М 200 на портландцементе марки 300 (% от R_{28})

Возраст бетона, сут	Температура бетона, °С							
	0	5	10	20	30	40	50	60
1/2	—	2	5	8	15	20	—	—
1	—	6	10	18	27	36	45	52
2	—	12	18	30	43	55	65	72
3	—	20	25	40	52	65	75	—
5	—	30	40	55	65	78	—	—
7	—	38	48	64	74	85	—	—
14	40	52	64	80	90	100	—	—
28	55	68	80	100	—	—	—	—

нюю температуру по отдельным интервалам остывания бетона. За максимальную продолжительность интервала следует принимать время, необходимое для изменения температуры бетона примерно на 5° С (см. п. 5.12).

5.22. В случае применения портландцементов с содержанием C_3A 8% и более темп нарастания прочности увеличивается на 5—10% (табл. 28).

5.23. Для бетона на глиноземистом цементе оптимальной температурой твердения является 15—25° С. Повышение температуры не ускоряет твердения в начальные сроки и приводит к снижению конечной прочности.

Таблица 25

Нарастание прочности бетона марки М 400 на портландцементе марки 500 (% от R_{28})

Возраст бетона, сут	Температура бетона, °С							
	0	5	10	20	30	40	50	60
1	—	12	18	28	40	55	65	70
2	—	22	32	50	63	75	85	90
3	—	32	45	60	74	85	92	98
5	32	45	58	74	85	96	—	—
7	40	55	66	82	92	100	—	—
14	57	70	80	92	100	—	—	—
28	70	90	90	100	—	—	—	—

5.24. Нарастание прочности легкого бетона марки М 200 на керамзитовом гравии и аглопоритовом щебне приведено в табл. 29. При температурах от 0 до 10° С прочность легкого и тяжелого бетона растет примерно одинаково, а при температурах выше 20° С нарастание прочности легкого бетона происходит более интенсивно.

Дальнейшее (после 28 сут) нарастание прочности легкого бетона продолжается более длительное время.

Таблица 26

Нарастание прочности бетона марок М 200—М 300 на шлакопортландцементе марки 400 (% от R_{28})

Возраст бетона, сут	Температура бетона, °С							
	0	5	10	20	30	40	50	60
1/2	—	2	4	7	20	25	32	42
1	—		10	16	30	40	50	65
2	—	12	18	30	40	60	75	90
3	—	18	25	40	55	70	90	—
5	—	27	35	55	65	85	—	—
7	—	34	43	65	70	92	—	—
14	35	50	60	80	96	100	—	—
28	45	65	80	100	—	—	—	—

Таблица 27

Нарастание прочности бетона марки М 500 на портландцементе марки 600 (% от R_{28})

Возраст бетона, сут	Температура бетона, °С					
	0	5	10	20	30	40
1	8	13	21	32	45	59
2	17	25	36	52	65	75
3	23	35	46	62	74	83
7	42	57	68	83	90	98
14	58	73	82	94	100	—
28	71	83	92	100	—	—

Таблица 28

Нарастание прочности бетона марок М 200—М 300 на портландцементе марки 400 Белгородского (содержание C_3A 4%) и Воскресенского заводов (C_3A 8%)

Возраст бетона, сут	Температура бетона, °С											
	0		5		10		20		30		40	
	А[1]	Б[2]	А[1]	Б[2]	А[1]	Б[2]	А[1]	Б[2]	А[1]	Б[2]	А[1]	Б[2]
1/2	2	2	4	4	6	6	10	14	15	25	25	30
1	5	6	9	12	12	14	22	28	41	48	53	55
2	10	14	18	24	26	30	40	48	53	63	70	70
3	18	22	25	32	35	40	50	60	69	75	85	90
5	28	35	38	46	50	55	65	70	81	85	98	98
7	37	43	48	53	56	60	75	80	91	95	100	102
14	51	59	67	72	72	70	87	92	104	105	—	—
28	70	75	84	85	93	93	100	100	—	—	—	—

[1] Портландцемент Белгородского завода.
[2] Портландцемент Воскресенского завода.

Таблица 29

Нарастание прочности легкого бетона марки М 200 на портландцементе марки 400

Возраст бетона, сут	Средняя температура бетона в конструкции, °С											
	0		5		10		20		30		40	
	Керамзитобетон	Аглопоритобетон	Керамзитобетон	Аглопоритобетон	Керамзитобетон	Аглопоритобетон	Керамзитобетон	Аглопоритобетон	Керамзитобетон	Аглопоритобетон	Керамзитобетон	Аглопоритобетон
1	3	3	5	6	10	10	25	24	50	48	61	61
2	9	11	14	13	24	26	50	50	63	65	75	76
3	18	20	23	24	37	40	63	62	73	75	85	86
7	35	37	48	45	58	53	80	80	91	91	97	97
28	65	67	79	73	83	82	100	100	—	—	—	—

5.25. Следует учитывать, что твердение бетона на морозе может продолжаться, однако темп его в большей степени зависит от температуры наружного воздуха (или окружающей среды) и прочности бетона до замерзания. Увеличение прочности бетона на морозе приведено в табл. 30.

Таблица 30

Нарастание прочности бетона при отрицательной температуре в зависимости от температуры и прочности бетона к моменту замораживания

Прочность бетона до замораживания, % R_{28}	Прирост прочности бетона, %, за 28 сут пребывания при температуре, °С					
	0	—2	—3	—5	—10	—20
40—50	30—40	20	20	20	15	10
70—80	15	15	10—15	10—15	5—10	—

5.26. Для ускорения твердения бетона в его состав рекомендуется вводить добавки — ускорители твердения бетона:

сульфат натрия — СН* (ГОСТ 6318—77, ТУ 38-10742-78);

хлорид кальция — ХК (ГОСТ 450—77);

нитрат кальция — НК (ТУ 6-03-367-79);

нитрит-нитрат хлорида кальция — ННХК (ТУ 6-18-194-76).

Оптимальное количество добавок должно устанавливаться строительной лабораторией. При этом их количество не должно превышать от массы цемента: СН — 2%; НК и ННХК — 4%; ХК в бетоне армированных конструкций — 2%, а в бетоне неармированных конструкций — 3%.

Указанные добавки следует применять в соответствии с указаниями разд. 6 настоящего Руководства.

* Условное сокращенное название добавки.

Коэффициенты увеличения прочности бетона на портландцементе и шлакопортландцементе для добавок ускорителей твердения приведены в табл. 31.

Таблица 31

Возраст бетона, сут	Коэффициент увеличения прочности бетона при температуре 0—20°С					
	на портландцементе			на шлакопортландцементе		
	ХК, ННХК	СН	НК	ХК, ННХК	СН	НК
2	1,65	1,4	1,2	2	1,55	1,4
3	1,5	1,3	1,15	1,7	1,45	1,3
5	1,3	1,2	1,1	1,4	1,3	1,2
7	1,2	1,1	1,05	1,25	1,2	1,1
28	1,1	1,05	1	1,15	1,1	1,05

Примечания: 1. Приведенные коэффициенты для бетона с $В/Ц=0{,}35—0{,}55$.

2. Приведенные коэффициенты должны быть уточнены экспериментальным путем для каждого конкретного состава бетона и конкретной добавки.

5.27. При бетонировании плитных конструкций на мерзлом основании следует руководствоваться общими требованиями глава СНиП III-15-76, положениями разд. 1—3 настоящего Руководства и дополнительными рекомендациями и правилами, вытекающими из специфики условий бетонирования:

а) при возведении таких конструкций рекомендуется применять метод термоса, сочетая его при необходимости с предварительным разогревом бетонной смеси, с форсированным разогревом уложенного бетона или с кратковременным поверхностным обогревом конструкции;

б) при наличии в мерзлом основании в пределах глубины протаивания неустойчивых при оттаивании грунтов следует устраивать подсыпку из талого песчаного грунта толщиной не менее максимальной глубины протаивания основания под бетонируемой конструкцией;

в) в качестве утеплителя рекомендуется применять специальные теплоизоляционные плиты и маты, помещенные во влагонепроницаемые чехлы и дополнительно насыпные теплоизоляционные материалы и рыхлый снег;

г) для кратковременного поверхностного электрообогрева конструкции с последующим термосным выдерживанием под слоем тепловой изоляции рекомендуется использовать гибкие греющие покрывала со слоем теплогидроизоляции.

5.28. Параметры выдерживания бетона в конструкции должны назначаться при проектировании производства работ по следующим исходным данным: ожидаемая температура ($t_г$) и влажность (W) приповерхностного слоя грунта (до глубины 0,5 м), температура воздуха $t_в$, состав бетона.

5.29. Основными тепловыми параметрами выдерживания являются: температура бетонной смеси после укладки ($t_{б.н}$), длитель-

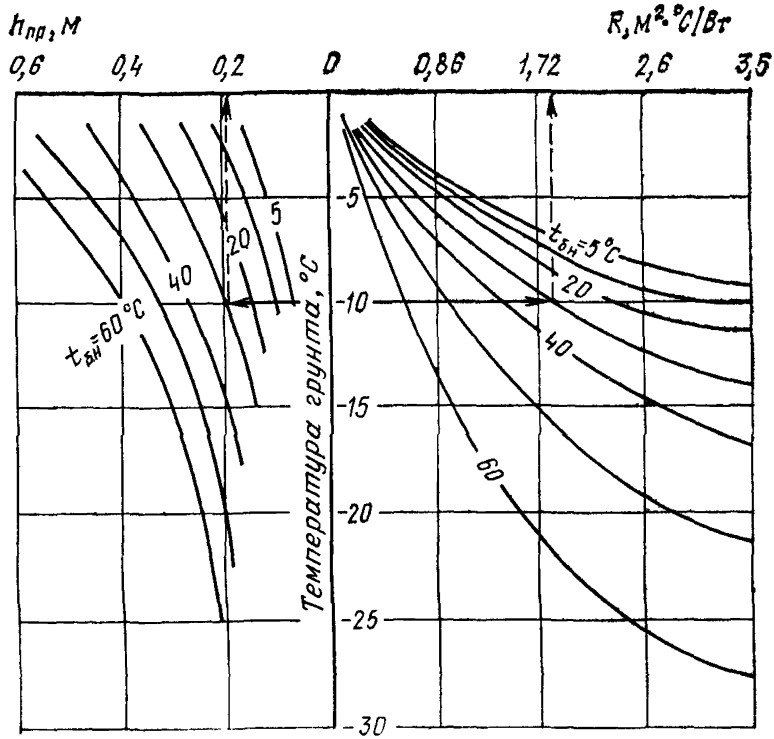


Рис. 6. График для определения глубины протаивания ($h_{пр}$) и термического сопротивления изоляции ($R_{из}$) при бетонировании монолитной плиты на мерзлом песчаном основании с влажностью 5% при наборе бетоном прочности до замерзания 50% R_{28} ($t_{б.н}$ — начальная температура бетона)

ность остывания конструкции до 0° С ($\tau_{ост}$), средняя температура бетона за этот период ($t_{б.ср}$), требуемое термическое сопротивление тепловой изоляции (R), а также максимальная глубина протаивания ($h_{пр}$) основания под забетонированной конструкцией.

5.30. Перечисленные в п. 5.29 параметры определены теплотехническим расчетом для конструкций типа плиты толщиной 0,15—0,30 м и представлены на рис. 6—11.

При этом принято:

прочность бетона 50 и 70% R_{28};

весовая влажность грунта W 5 и 10%;

температура грунта и воздуха от 5 до 30° С;

бетон на портландцементе марки 400 с расходом 330 кг/м³.

5.31. Термическое сопротивление тепловой изоляции (R), обеспечивающей получение требуемой прочности бетона к моменту его замерзания, и максимальная глубина протаивания грунта под бетонируемой конструкцией ($h_{пр}$) определяется по графикам рис. 6, 8, 10 для соответствующих заданных значений влажности грунта и тре-

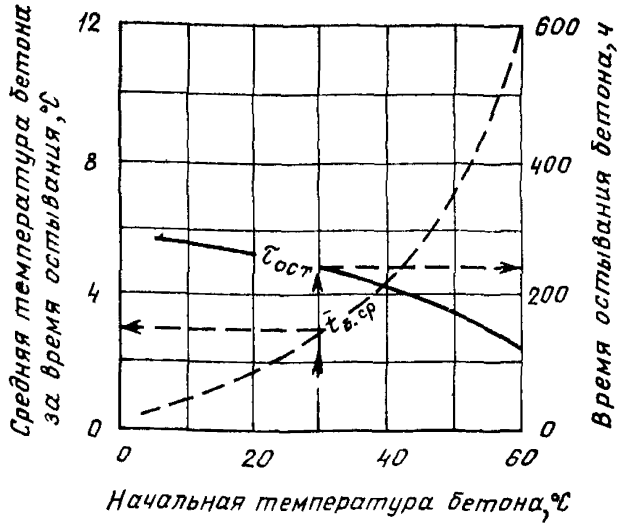


Рис. 7. Время остывания бетона до 0° С ($\tau_{ост}$) и средняя температура бетона ($t_{б.ср.}$) за это время в зависимости от начальной температуры бетона

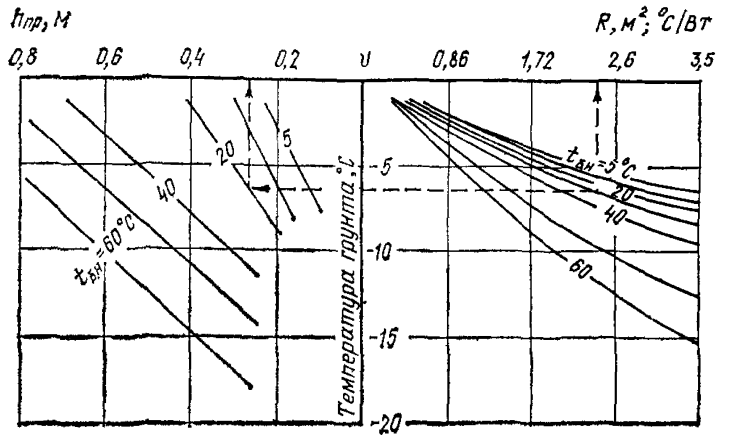


Рис. 8. График для определения параметров бетонирования монолитной плиты на мерзлом песчаном основании с влажностью 5% при наборе бетоном прочности до замерзания 70% R_{28} ($t_{б.н.}$ — начальная температура бетона)

буемой прочности бетона следующим образом: на оси ординат находится точка, соответствующая заданному значению температуры грунта, и через нее восстанавливается перпендикуляр вправо и влево до пересечения с кривой, соответствующей заданному значению начальной температуры уложенного бетона $t_{б\,н}$; в правой части графика абсцисса точки пересечения равна требуемой величине термического сопротивления изоляции, а в левой — максимальной глубине протаивания грунта под бетонируемой конструкцией.

Найденная таким образом величина термического сопротивления R является искомой, когда начальная температура грунта отличает-

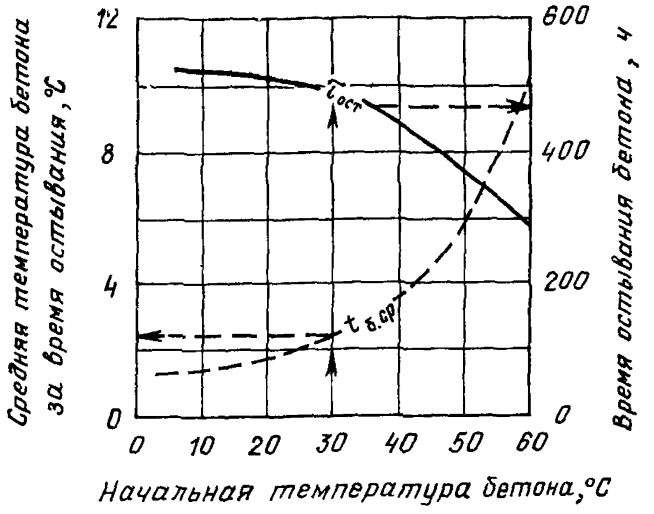


Рис. 9. Время остывания бетона до 0° С ($\tau_{ост}$) и средняя температура бетона ($t_{б.ср.}$) за это время в зависимости от начальной температуры бетона

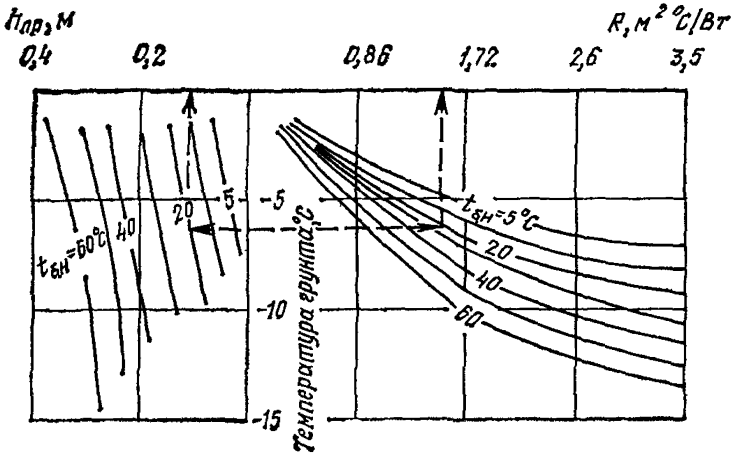


Рис. 10. График для определения параметров бетонирования монолитной плиты на мерзлом песчаном основании с влажностью 10% при наборе бетоном прочности до замерзания 50% R_{28} ($t_{б.н.}$ — начальная температура бетона после укладки)

ся от температуры воздуха не более чем на 2 град. Когда это отличие более 2 град, необходимое термическое сопротивление тепловой изоляции (R') рассчитывается по формуле

$$R' = R\frac{t_{б.ср} - t_в}{t_{б.ср} - t_{гр}}. \qquad (16)$$

Пример расчета по графикам приведен в прил. 4.

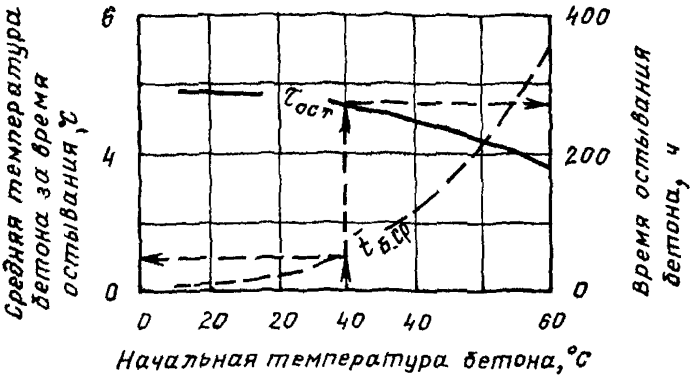


Рис. 11. Время остывания бетона до 0° С ($\tau_{ост}$) и средняя температура бетона ($t_{б.ср}$) за это время в зависимости от начальной температуры бетона

6. ПРИМЕНЕНИЕ БЕТОНОВ С ПРОТИВОМОРОЗНЫМИ ДОБАВКАМИ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

6.1. Введение противоморозных добавок обеспечивает сохранение жидкой фазы в бетоне и твердение его при отрицательных температурах.

Бетоны с противоморозными добавками применяются при возведении в зимних условиях монолитных бетонных и железобетонных конструкций, монолитных частей сборно-монолитных конструкций, замоноличивании стыков сборных конструкций.

6.2. В качестве противоморозных рекомендуется использовать следующие добавки:

поташ П[1] (ГОСТ 10690—73*);

нитрит натрия НН (ГОСТ 19906—74, ТУ 38-10274-79);

нитрат кальция НК (ТУ 6-03-367-79) с мочевиной М (ГОСТ 2081—75*);

соединение нитрата кальция с мочевиной НКМ (ТУ 6-03-349-73);

нитрит-нитрат кальция ННК (ТУ 6-03-7-04-74) с мочевиной М;

хлорид кальция ХК (ГОСТ 450—77) с хлоридом натрия ХН (ГОСТ 13830—68; ТУ 6-12-26-69; ТУ 6-01-540-70);

хлорид кальция ХК с нитритом натрия НН;

нитрит-нитрат хлорида кальция ННХК (ТУ 6-18-194-76);

нитрит-нитрат хлорида кальция ННХК с мочевиной М.

6.3. Противоморозные добавки, указанные в п. 6.2, рекомендуется вводить в состав конструкционных бетонов (марка М 150 и более) на плотных и пористых заполнителях в соответствии с рекомендациями, приведенными табл. 32.

---

[1] Условное сокращенное наименование добавки.

Таблица 32

Область применения бетонов с противоморозными добавками и ускорителями твердения (знак «плюс» означает «допускается», знак «плюс в скобках» означает «допускается введение только ускорителя твердения бетона», знак «минус» — «не допускается»)

Тип конструкций и условия их эксплуатации	Добавки						
	СН	ХК, ХК+ХН	НК, НКМ, НК+М, ННК+М	ХК+ННФ*	ННХК, ННХК+М	НН	П
1. Предварительно напряженные конструкции, кроме указанных в поз. 2, стыки (каналы) сборно-монолитных и сборных конструкций с напрягаемой арматурой	+	—	(+)	—	—	+	—
2. Предварительно напряженные конструкции, армированные сталью классов Ат-IV, Ат-V, Ат-VI, А-IV и А-V	+	—	—	—	—	—	—
3. Железобетонные конструкции с ненапрягаемой рабочей арматурой диаметром, мм:							
а) более 5	+	(+)	+	+	+	+	+
б) 5 и менее	+	—	+	—	(+)	+	+
4. Железобетонные конструкции, а также стыки без напрягаемой арматуры сборно-монолитных и сборных конструкций, имеющие выпуски арматуры или закладные детали:							
а) без специальной защиты стали	+	—	+	—	—	+	+
б) с цинковыми покрытиями по стали	—	—	—	—	—	+	—
в) с алюминиевыми покрытиями по стали	—	—	(+)	—	(+)	—	—

Продолжение табл. 32

Тип конструкций и условия их эксплуатации	Добавки						
	СН	ХК, ХК+ +ХН	НК, НКМ, НК+М, ННК+М	ХК+НН*	ННХК, НЬХК+ +М	НН	П
г) с комбинированными покрытиями (щелочестойкими лакокрасочными или другими по металлизационному подслою), также стыки без закладных деталей и расчетной арматуры	+	(+)	+	—	(+)	+	+
5. Сборно-монолитные конструкции из контурирующих блоков толщиной 30 см и более с монолитным ядром	+	—	+	+	+	+	+
6. Железобетонные конструкции, предназначенные для эксплуатации:							
а) в неагрессивных газовых средах	+	(+)	+	+	+	+	+
б) в агрессивных газовых средах	+	—	+	(+)	(+)	+	+**
в) в неагрессивных и агрессивных водных средах, кроме указанных в поз. 6 «г»	+	+	+	+	+	+	+**
г) в агрессивных сульфатных водах и в растворах солей и едких щелочей при наличии испаряющих поверхностей	+	—	—	—	—	+	—
д) в зоне переменного уровня воды	+	—	+	—	—	+	—
е) в водных и газовых средах при относительной влажности более 60% при наличии в заполнителе включений реакционноспособного кремнезема	—	—***	+	—	+	—	—

Продолжение табл. 32

Тип конструкций и условия их эксплуатации	Добавки						
	СН	НК, ХК+ +ХН	НК, НКМ, НК+М, ННК+М *	ХК+НН*	ННХК, ННХК+ +М	НН	П
ж) в зонах действия блуждающих токов постоянного напряжения от посторонних источников	+	—	+	—	—	+	+
7. Железобетонные конструкции для электрифицированного транспорта и промышленных предприятий, потребляющих электрический ток постоянного напряжения	—	—	—	—	—	—	—

* При соотношении компонентов 1 : 1 по массе в расчете на сухое вещество.

** Допускается в сочетании с добавками, указанными в п. 6.6 «в» настоящего раздела.

*** Не допускается, за исключением ХК в бетонных конструкциях.

Примечания: 1. Возможность применения добавок по поз. 1—4 настоящей таблицы должна уточняться с учетом требований поз. 6, а по поз. 1—3 при наличии защитного покрытия по стали — с требованиями поз. 4.

2. Ограничения по применению бетонов с добавками по поз. 4 и поз. 6 «г», «е», а также для бетона с добавкой поташа по поз. 6 «д» настоящей таблицы распространяются и на бетонные конструкции.

3. По поз. 6 «б» настоящей таблицы в среде, содержащей хлор или хлористый водород, добавки, за исключением нитрита натрия, допускаются при наличии специального обоснования.

4. Показатели агрессивности среды устанавливаются по главе СНиП II-28-73 «Защита строительных конструкций от коррозии», наличие блуждающих токов постоянного напряжения от посторонних источников — по СН 65-76 «Инструкция по защите железобетонных конструкций от коррозии, вызываемой блуждающими токами» (М., Стройиздат, 1977), включения реакционноспособного кремнезема в заполнителях — по ГОСТ 8735—75 «Песок для строительных работ. Методы испытаний».

5. Конструкции, периодически увлажняющиеся водой, конденсатом или технологическими жидкостями, приравниваются к эксплуатируемым при относительной влажности воздуха более 60%.

6. При изготовлении массивных конструкций следует предусматривать мероприятия, понижающие температуру внутренних слоев бетона и предотвращающие растрескивание конструкций.

7. Применению бетонов с противоморозными добавками на конкретных материалах должны предшествовать испытания:

а) на коррозионное воздействие на бетон добавок по методике, приведенной в прил. 5;

б) на образование высолов по методике, приведенной в прил. 6, если поверхности конструкции предназначены для последующей отделки (малярные и другие работы) или к ним предъявляются архитектурные требования;

в) влияния добавок на скорость твердения бетона, а также на другие свойства бетона в соответствии с требованиями проекта (прочность на растяжение при изгибе, морозостойкость, водопроницаемость и т. п.) по стандартным методикам.

Таблица 33

Модуль поверхности конструкций, $M_п$	Наименование конструкции	Средняя температура воздуха за период выдерживания, °С	Метод выдерживания бетона до набора им прочности, % проектной				
			20—30	50—70, в сроки		80—100, в сроки	
				28 сут и менее	более 28 сут	28 сут и менее	более 28 сут
4—8	Фундаменты под здания, колонны и оборудование, колонны сечением 50—70 см, балки высотой 50—70 см, стены и плиты толщиной 25—50 см	До —25 Ниже —25	1 1; 2	1; 2 2; 3	1; 2 2	2 2; 3	1; 2 2
8—12	Рамные конструкции, колонны сечением 30—40 см, балки высотой 30—40 см, стены и плиты толщиной 20—25 см, дорожные и другие наземные покрытия толщиной 20—25 см	До —25 Ниже —25	1; 2 2; 3	1; 2 2; 3	1; 2 2	2; 3 3	1; 2 2
12—16	Монолитные участки сборно-монолитных конструкций, стыки сборных конструкций, наземные покрытия толщиной 10—15 см	До —25 Ниже —25	1; 2; 3 2; 3	2; 3 3	1; 2 2	2; 3 3	1; 2 —
Свыше 16	Стыки сборных конструкций	До —25 Ниже —25	1; 2; 3 3	2; 3 3	1; 2 —	3 3	1; 2 —

Примечание. Цифрами обозначены следующие методы выдерживания бетона: 1 — без специального утепления; 2 — в сочетании с методом термоса; 3 — в сочетании с электропрогревом или обогревом.

6.4. Бетоны с противоморозными добавками допускается применять при условии обеспечения требований п. 1.5 настоящего Руководства.

6.5. Бетон с противоморозными добавками рекомендуется применять для конструкций с модулем поверхности $M_п > 3$, если он удовлетворяет требованиям проекта, и применение его экономически целесообразно по сравнению с выдерживанием по методу термоса.

При несоответствии темпа твердения бетона, допускаемому графиком производства работ, рекомендуется рассмотреть целесообразность применения бетона с противоморозными добавками в сочетании с утеплением конструкций, а также с электропрогревом (обогревом) уложенной смеси. Рекомендуемый вид конструкций из бетонов с противоморозными добавками и метод выдерживания бетона приведены в табл. 33.

ВЫБОР ПРОТИВОМОРОЗНЫХ ДОБАВОК И НАЗНАЧЕНИЕ ИХ КОЛИЧЕСТВА

6.6. Противоморозные добавки следует выбирать в зависимости от типа и условий эксплуатации конструкции (см. табл. 32), темпа-

Таблица 34

Ориентировочные величины прочности бетона с противоморозными добавками на портландцементах

Добавка	Расчетная температура твердения бетона, °С	Прочность, % проектной, при твердении на морозе за период, сут			
		7	14	28	90
ХК+ХН	—5	35	65	80	100
	—10	25	35	45	70
	—15	15	25	35	50
	—20	10	15	20	40
НН	—5	30	50	70	90
НКМ	—10	20	35	50	70
НК+М	—15	15	25	35	60
ННК+М	—20	10	20	30	50
ННХК	—5	40	60	80	100
ННХК+М	—10	25	40	50	80
ХК+НН	—15	20	35	45	70
	—20	15	30	40	60
	—25	10	15	25	40
П	—5	50	65	75	100
	—10	30	50	70	90
	—15	25	40	65	80
	—20	25	40	55	70
	—25	20	30	50	60

строительства, температуры наружного воздуха (табл. 34) и технико-экономических показателей.

Кроме того, необходимо учитывать следующие положения:

а) бетон с противоморозными добавками допускается применять, если по прогнозу во время выдерживания до приобретения прочности не менее критической температура бетона с максимально допустимыми дозировками добавок не опустится ниже значений, приведенных в табл. 34;

б) прочность бетона в зависимости от добавки, продолжительности твердения и расчетной температуры ориентировочно достигает значений, приведенных в табл. 34, а после 28-суточного выдерживания при температурах выше 0° С бетон, как правило, приобретает проектную прочность. Данные табл. 34 должны уточняться в лаборатории применительно к используемому цементу согласно п. 6.3;

в) бетонные смеси с добавками НН и ХК+НН характеризуются обычными сроками загустевания; бетонные смеси с добавками НКМ, НК+М, ННК, ХК+ХН, ННХК, ННХК+М и особенно П характеризуются ускоренными сроками загустевания, поэтому одновременно с указанными противоморозными добавками в состав бетонной смеси необходимо вводить добавку сульфитно-дрожжевой бражки СДБ; эффективным замедлителем загустевания бетонной смеси с добавкой поташа является тетраборат натрия ТН, тринатрийфосфат ТНФ или жидкое стекло ЖС в сочетании с пластификатором адипиновым щелочным ПАЩ-1.

6.7. Расчетная температура твердения бетона для конструкций с $M_п$ более 16 принимается равной:

минимальной температуре наружного воздуха до приобретения бетоном критической прочности, если в течение этого периода температура наружного воздуха ожидается ниже среднемесячной, определяемой по табл. прил. 10.

среднемесячной температуре наружного воздуха, если за период выдерживания бетона до набора им критической прочности минимальная температура воздуха ожидается выше среднемесячной.

Температура твердения бетона для конструкций с $M_п$ до 16 определяется расчетом. Продолжительность остывания бетона (τ, сут) до предельно допустимой температуры для выбранной к производству работ добавки (см. п. 6.6 «а») определяется по формуле

$$\tau = \frac{C_б \gamma_б (t_{б.н} - t_{б.к}) + \alpha Ц Э R}{86{,}4 K M_п (t_{б.ср} - t_{н.в})}, \qquad (17)$$

где значения $C_б$, $\gamma_б$, $t_{б.н}$, $t_{б.к}$, $t_{б.ср}$, $t_{н.в}$, K, $M_п$, $Ц$, $Э$ — аналогичны значениям в формуле (12);

$t_{б.ср}$ — определяется по формуле (7), приведенной в разд. 4;

α — коэффициент интенсивности тепловыделения, 1/%, принимается по табл. 35.

Таблица 35

$t_{б.н}$ $t_{б.к}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
α	0,01	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019

Таблица 36

Расчетная температура бетона, °С		Количество безводных добавок, % массы цемента						
от	до	НН	ХН+ХН	НКМ НК+М*	ННК+М, НК+М	НХХК ХК+НН*	ННХК+М	П
0	—5	4—6	(0+3) ÷ (2+3)	3—5	(3+1) ÷ (4+1,5)	3—5	(2+1) ÷ (4+1)	5—6
—6	—10	6—8	(3,5+3,5) ÷ (2,5+4)	6—9	(5+1,5) ÷ (7+2,5)	6—9	(4,5+1,5) ÷ (7+2,5)	7—8
—11	—15	8—10	(4,5+3) ÷ (5+3,5)	7—10	(6+2) ÷ (8+3)	7—10	(6+2) ÷ (8+3)	8—10
—16	—20	9—10	(6+2,5) ÷ (7+3)	9—12	(7+3) ÷ (9+4)	8—12	(7+2) ÷ (9+4)	10—12
—21	—25	—	—	—	—	10—14	(8+3) ÷ (10+4)	12—15

* При соотношении компонентов 1 : 1 по массе в расчете на сухое вещество.

Примечания: 1. Оптимальное количество добавок при дачной температуре твердения бетона при использовании холодных материалов назначается в зависимости от водоцементного отношения, а при применении подогретых материалов — от вида цемента и его минералогического состава:

а) при работе на холодных материалах в бетоны с $В/Ц < 0{,}5$ следует назначать меньшее из указанных пределов количество добавки, а с $В/Ц \geqslant 0{,}5$ — большее;

б) при работе на подогретых заполнителях меньшее количество ХК+ХН, НК+М, ННК+М, ННХК+М, П следует вводить в бетоны на портландцементах, содержащих 6% и более трехкальцевого алюмината C_3A; меньшее количество НН и ХК+НН следует вводить при изготовлении бетона на портландцементах с содержанием C_3A до 6%.

2. Концентрация раствора затворения (с учетом влажности заполнителей) не должна превышать: 30% для П; 26% для НКМ; НК+М, ННК+М, ННХК, ННХК+М, ХК+ХН, ХК+НН и 20% для НН.

3. При температурах бетона выше минус 5° С вместо ХН возможно применение ХК в количестве до 3% массы цемента.

4. С целью увеличения удобоукладываемости и сроков схватывания бетонных смесей целесообразно вводить добавки НКМ, ННХКМ, НН+ХК в количествах: при средней температуре наружного воздуха до минус 5° С — 2—4%, до минус 10° С — 4—6%, до минус 35° С — 6—9% массы цемента в сочетании с предварительным твердением под слоем утеплителя до набора бетоном требуемой прочности. Вид и толщину утеплителя назначают в соответствии с данными теплотехнического расчета (см. разд. 5).

5. При температурах наружного воздуха до минус 10° С возможно применение мочевины в количестве до 10% массы цемента.

R — прочность[1], набираемая бетоном за время τ, % от марочной (см. табл. 34).

Найденное по расчету время остывания бетона сопоставляется с опытными данными, полученными в соответствии с рекомендациями п. 6.3 «в». При этом сравнивается прочность бетона, принятая в расчете R, с прочностью бетона R_o, полученной на основании опытных данных. Последняя находится по экспериментальному графику при температуре твердения $t_{б.ср}$.

При сравнении расчетной R и опытной R_o прочности бетона за время τ могут представиться три случая.

1. При R, большей R_o, когда бетон достигает расчетной прочности раньше, чем достигнет расчетной температуры $t_{б.к}$, следует повторить расчет, приняв более высокие значения температуры $t_{б.к}$ и уменьшив таким образом количество вводимой добавки.

2. При R, равной R_o, количество добавки следует назначить по принятой в расчете температуре $t_{б.к}$.

3. При R, меньшей R_o, необходимо утеплять конструкцию, чтобы получить требуемую прочность к моменту замерзания бетона. С этой целью, задаваясь τ по формуле (17), определяют требуемое значение K, которое позволит свести решение задачи ко второму случаю. Пример расчета см. в прил. 7.

6.8. Количество противоморозных добавок в зависимости от расчетной температуры твердения бетона следует назначать по табл. 36.

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ

6.9. Цементы для бетонов с противоморозными добавками рекомендуется применять согласно указаниям табл. 3. Кроме того, допускается применение быстротвердеющего шлакопортландцемента и шлакопортландцемента марки М400—М500, как правило, в сочетании с электропрогревом (обогревом) бетона.

При предъявлении к бетону требований по морозостойкости Мрз 100 и более следует применять только портландцементы с содержанием C_3A до 6%, если в проекте нет специальных указаний по виду применяемого цемента.

6.10. Допускается введение противоморозных добавок в бетоны, приготовленные с использованием сульфатостойких цементов, но следует учитывать замедленное твердение бетона на этих цементах, особенно при температурах ниже —10° С.

6.11. Для бетонов с противоморозными добавками не допускается использование цементов без точного указания завода-изготовителя.

6.12. Заполнители для бетонов с противоморозными добавками должны удовлетворять требованиям п. 2.2 настоящего Руководства.

6.13. Заполнители, предназначенные для приготовления бетонов с добавками НН, П, ХК+ХН или ХК+НН, не должны содержать включений реакционноспособного кремнезема (опал, халцедон и др.).

Определение содержания включений реакционноспособного кремнезема в заполнителях следует производить по методикам, изложен-

[1] Расчет обязательно выполняется при значении R, равном критической прочности бетона (см. п. 1.5), а при необходимости — и и при более высоких значениях прочности.

ным в ГОСТ 8735—75, при получении результатов, требующих дополнительной проверки, производить ее по методике, изложенной в прил. 8.

ПОДБОР СОСТАВА БЕТОНА

6.14. Марка бетона назначается в соответствии с указанием проекта с учетом фактических данных по нарастанию прочности бетона с противоморозными добавками (см. табл. 34) по прогнозируемому температурному режиму с выбранной к производству работ противоморозной добавкой.

При невозможности получения бетоном заданной прочности в установленный срок допускается при соответствующем технико-экономическом обосновании повышение марки бетона против предусмотренной проектом.

6.15. Если бетонная смесь с противоморозной добавкой теряет подвижность и удобоукладываемость ранее 30 мин, то независимо от продолжительности ее укладки в состав смеси одновременно с противоморозной следует вводить добавку замедлителя схватывания. При применении поташа количество указанных добавок рекомендуется назначать по данным табл. 37, а при применении остальных противоморозных добавок, кроме НН, использовать СДБ в количестве до 0,5% массы цемента. ТН эффективен при содержании C_3A в цементе до 5%, а ТНФ — до 10%.

Таблица 37

Дозировка поташа, % массы цемента	Количество замедлителей схватывания, % массы цемента		
	СДБ	ТН или ТНФ	ЖС+ПАЩ–1*
5—6	0,5—0,75	1—1,2	0,8—1,2
6—8	0,5—1	1,2—1,6	1—1,6
8—10	0,75—1	1,6—2	1,2—2
10—12	1—1,25	2—2,4	1,6—2,6
12—15	1—1,25	2,4—3	1,8—3,2

* При соотношении компонентов 1 : 1 по массе в расчете на сухое вещество.

6.16. В бетоны с проектными требованиями по морозостойкости Мрз 200 и выше следует предусматривать введение воздухововлекающих добавок — смолы нейтрализованной воздухововлекающей СНВ или синтетической поверхностно-активной добавки СПД; газообразующих добавок — полигидросилоксана ГКЖ-94 или сесквиоксана ПГЭН в соответствии с табл. 38.

Добавки СНВ, СПД, ГКЖ-94 и ПГЭН следует применять для повышения морозостойкости бетона, если она не может быть получена на применяемых материалах.

6.17. При подборе состава бетона следует руководствоваться п. 2.3 настоящего Руководства.

6.18. В бетонную смесь подобранного состава вводится установленное в соответствии с рекомендациями п. 6.8 количество противоморозной добавки и на контрольных замесах, приготовленных в ус-

Таблица 38

Добавки	Количество в расчете на сухое вещество (% массы цемента) при расходе его, кг/м³		
	до 300	300—400	более 400
СНВ, СПД	0,005—0,015	0,01—0,02	0,015—0,025
ГКЖ-94, ПГЭН	0,06—0,08	0,05—0,07	0,03—0,05

Примечание. Дозировка ГКЖ-94 дана в расчете на вещество 100%-ной концентрации.

ловиях, наиболее близких к производственным, проверяются подвижность смеси и время ее сохранения, на образцах из этих же замесов — нарастание прочности бетона.

При необходимости корректировки сроков схватывания смеси производятся повторные испытания с введением в бетонную смесь добавки замедлителя в соответствии с рекомендациями п. 6.15 начиная с минимальных дозировок; при пластификации смеси за счет введения добавок (НН, СДБ, ПАШ-1) уменьшается расход воды до получения смеси заданной подвижности к моменту укладки.

ПРИМЕР ПОДБОРА СОСТАВА БЕТОНА С ДОБАВКАМИ

Требуется подобрать состав бетона марки М 200 на неотогретых заполнителях. Расход материалов на 1 м³ бетона, применявшегося в летних условиях при подвижности бетонной смеси 2—3 см, составляет: портландцемента 310 кг, песка 620 кг, щебня 1315 кг, воды 155 л. Расчетная температура твердения бетона минус 10° С. В качестве противоморозной добавки приняты хлорид кальция с нитритом натрия.

При использовании неотогретых заполнителей для бетона с $В/Ц=0{,}5$ и при температуре твердения минус 10° С по табл. 36 назначаем добавки в количестве 9% (ХК+НН) при соотношении по массе 1 : 1.

Количество добавок с расходом 4,5% ХК+4,5% НН от массы цемента составляет:

ХК—310·0,045=13,9 кг;
НН—310·0,045=13,9 кг.

По табл. 80 находим, что в 1 л концентрированного раствора хлорида кальция с плотностью 1,293 г/см³ при 20° С содержится 0,401 кг $CaCl_2$, а в 1 л концентрированного раствора нитрита натрия с плотностью 1,183 г/см³ при 20° С —0,308 кг $NaNO_2$.

Следовательно, для введения в бетон необходимого количества концентрированных растворов солей на 1 м³ смеси требуется:

ХК—13,9 : 0,401=34,7 л;
НН—13,9 : 0,308=45,1 л.

В найденных количествах растворов солей воды содержится:

1,293·34,7—13,9=31,1 л;
1,183·45,1—13,9=39,6 л;
31,1+39,6=70,7 л.

Учитывая влажность имеющихся материалов (песка 3%, щебня 1,5%), количество воды следует уменьшить еще на

$$620 \cdot 0{,}03 + 1315 \cdot 0{,}015 = 38{,}3 \text{ л}.$$

Тогда количество воды для затворения 1 м³ бетонной смеси уменьшится до

$$155 - 70{,}7 - 38{,}3 = 46 \text{ л},$$

а расход материалов на 1 м³ бетона с добавками ХК+НН (в расчете на влажные материалы) составит:

цемента — 310 кг;	раствора ХК — 34,7 л;
песка (620·1,03)—638,6 кг;	раствора НН — 45,1 л;
щебня (1315·1,015)—1334,7 кг;	воды — 46 л.

Устанавливается соотношение смешения концентрированных растворов ХК, НН и воды для получения раствора рабочей концентрации:

$$\text{ХК:НН:}H_2O = \frac{34{,}7}{34{,}7} : \frac{45{,}1}{34{,}7} : \frac{46}{34{,}7} = 1:1{,}3:1{,}33.$$

Определяется процентное содержание в растворе:

$$\text{ХК или НН} = \frac{13{,}9 \cdot 100}{34{,}7 \cdot 1{,}293 + 45{,}1 \cdot 1{,}183 + 46} = 9{,}7\%.$$

Находится по табл. 80 температура замерзания раствора ХК при концентрации 9,7% (—5,6° С) и НН при той же концентрации (—4,7° С). Температура замерзания раствора комплексной добавки (—5,6°) + (—4,7° С) = —10,3° С.

Устанавливается, что температура бетонной смеси после укладки и уплотнения не должна быть ниже (—10,3° С) + 5° С = —5,3° С.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ДОБАВОК

6.19. Для правильного дозирования и равномерного распределения противоморозные добавки следует вводить в состав бетонной смеси в виде водного раствора рабочей концентрации, который приготовляется смешением максимально концентрированного (но исключающего выпадение осадка) раствора соли с водой до введения в бетоносмеситель.

6.20. При приготовлении растворов противоморозных добавок для повышения скорости растворения пастообразных и твердых продуктов рекомендуется подогревать воду до 40—80° С и перемешивать растворы, а твердые продукты при необходимости предварительно дробить. Для растворов, содержащих мочевину, температура подогрева не должна превышать 40° С из-за разложения мочевины при более высоких температурах.

6.21. Добавки СДБ и ЖС+ПАЩ-1 рекомендуется готовить и подавать в дозатор воды в виде растворов концентрации не более 10%, а добавки СНВ, СПД — в виде растворов концентрации не более 5%, чтобы уменьшить ошибки при дозировании.

6.22. В случае применения СДБ для замедления схватывания бетонной смеси с добавкой ХК+НН из-за требований техники безопасности обязателен следующий порядок приготовления раствора: сначала смешиваются концентрированные растворы солей с необхо-

димым количеством воды, а в этот раствор затем подается раствор СДБ не более чем 10%-ной концентрации.

6.23. ТН из-за плохой растворимости в воде рекомендуется растворять в растворе поташа.

6.24. Приготовлять растворы добавок следует при положительных температурах в тщательно очищенных и промытых емкостях, защищенных от попадания в них атмосферных осадков.

Металлические емкости, предназначенные для приготовления и хранения растворов ХК, ХН, ХК+ХН, следует защищать от коррозии слоем битума марки III либо другим покрытием, стойким в растворах указанных солей.

Объемы емкостей должны позволять готовить раствор не менее чем для работы одной смены. Схемы технологического процесса и расчеты при приготовлении растворов добавок рабочей концентрации приведены в прил. 9.

6.25. Добавки ГКЖ-94 ПГЭН вводятся в дозатор воды в виде водных эмульсий или суспензий соответственно 50%-ной и 30%-ной концентрации.

Приготовлять эмульсию или суспензию следует в соответствии с рекомендациями «Руководства по получению и применению коррозионно-стойких бетонов с кремнийорганическими добавками, в том числе при гидротермальной обработке» (М., НИИЖБ Госстроя СССР, 1974).

6.26. Растворы противоморозных добавок могут храниться при отрицательных температурах. Минимальная температура, при которой допустимо хранение раствора, может быть определена по таблицам прил. 10 в зависимости от его концентрации (плотности).

Растворы, эмульсию или суспензию остальных рекомендуемых добавок СДБ, ЖС+ПАЩ-1, СНВ, СПД, ГКЖ-94, ПГЭН следует хранить при положительных температурах.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ

6.27. При приготовлении бетонной смеси с противоморозными добавками следует руководствоваться разд. 2 настоящего Руководства и дополнительно учитывать:

а) при работе на холодных материалах загрузку их в бетоносмеситель рекомендуется производить в следующем порядке: сначала загружаются заполнители и раствор добавки рабочей концентрации, после их перемешивания в течение 1,5—2 мин загружается цемент и смесь перемешивается еще в течение 4—5 мин;

б) в случае быстрого схватывания бетонной смеси и небольших объемов укладываемого бетона целесообразно применять раздельный способ приготовления: сухая смесь (цемент+песок+щебень) на строительном объекте перемешивается в течение 3—3,5 мин с раствором добавки рабочей концентрации;

в) бетонную смесь с добавкой ХК+ХН или ННХК рекомендуется приготовлять с температурой при выходе из смесителя не выше 15° С, с добавкой НН, ХК+НН, НКМ, НК+М, ННК+М или ННХК+М — с температурой не выше 35° С; температура бетонной смеси с добавкой П должна назначаться от 15° С и ниже с таким расчетом, чтобы во время схватывания и начального затвердевания бетон имел отрицательную температуру.

6.28. Для предотвращения замораживания бетона непосредственно после укладки необходимо, чтобы температура уложенной бе-

тонной смеси с учетом потерь тепла на отогрев арматуры, опалубки, теплоизоляции и грунта («старого» бетона) превышала температуру замерзания применяемого раствора затворения не менее чем на 5° С.

Температура уложенной бетонной смеси $t_{б.н}$ с учетом указанных потерь тепла определяется по формуле

$$t_{б.н} = \frac{V_1 \gamma_1 C_1 t_1 + (V_2 \gamma_2 C_2 + V_3 \gamma_3 C_3 + V_4 \gamma_4 C_4 + V_5 \gamma_5 C_5) t_2}{V_1 \gamma_1 C_1 + V_2 \gamma_2 C_2 + V_3 \gamma_3 C_3 + V_4 \gamma_4 C_4 + V_5 \gamma_5 C_5}, \quad (18)$$

где t_1 — температура бетонной смеси после укладки, °С;

t_2 — температура воздуха в период укладки бетона, °С;

$V_1, ..., V_5$ — объемы соответственно бетона, опалубки, теплоизоляции, арматуры, соприкасающегося с бетоном грунта («старого» бетона), м³;

$\gamma_1, ..., \gamma_5$ — объемные массы указанных материалов соответственно, кг/м³;

$C_1, ..., C_5$ — удельные теплоемкости материалов, кДж/(кг·°С).

Объем грунта («старого» бетона) определяется по формуле

$$V = Fh, \quad (19)$$

где F — площадь грунта (бетона), соприкасающегося с укладываемым бетоном, м²;

h — глубина отогрева грунта (бетона), принимаемая 0,2 м.

6.29. Для получения бетонной смеси с заданной температурой допускается подогревать воду не более чем до 40° С при применении добавки, содержащей мочевину, до 60° С при использовании быстротвердеющего портландцемента или портландцемента марки М 600 и не более чем до 80° С в остальных случаях. Если подогрев воды не обеспечивает получение требуемой температуры бетонной смеси, то подогревают песок и при необходимости щебень.

Температура подогрева составляющих подобранного состава бетона в зависимости от требуемой температуры бетонной смеси определяется по формуле (3).

ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И УКЛАДКА БЕТОННОЙ СМЕСИ

6.30. Транспортирование и укладку бетонной смеси с противоморозными добавками следует производить, руководствуясь данными разд. 2 и 3 настоящего Руководства.

ВЫДЕРЖИВАНИЕ БЕТОНА И УХОД ЗА НИМ

6.31. Выдерживание монолитных бетонных и железобетонных конструкций, возводимых из бетонов с противоморозными добавками, необходимо производить с соблюдением следующих указаний:

а) поверхности бетона, не защищенные опалубкой, во избежание потери влаги или повышенного увлажнения за счет атмосферных осадков следует по окончании бетонирования немедленно укрывать слоем гидроизоляционного материала (полиэтиленовая пленка, прорезиненная ткань, рубероид и др.); поверхности бетона, не предназначенные в дальнейшем для монолитной связи с бетоном или раствором, могут покрываться пленкообразующими составами или защитными пленками (битумно-этинолевым, этинолевым лаком и др.);

б) при непредвиденном понижении температуры бетона ниже расчетной (см. п. 6.7) конструкцию необходимо утеплять или обогревать до набора бетоном критической прочности.

6.32. Распалубливание и загружение конструкций, снятие гидроизоляционных и теплоизоляционных укрытий должно производиться с соблюдением требований разд. 1 настоящего Руководства.

7. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОРАЗОГРЕВ БЕТОННОЙ СМЕСИ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

7.1. Возведение монолитных конструкций с использованием предварительного электроразогрева заключается в приготовлении и доставке бетонной смеси на строительную площадку, форсированном ее разогреве до заданной температуры электрическим током, укладке разогретой смеси в подготовленную опалубку и последующем выдерживании бетона в последней в течение заданного времени, не допуская остывания конструкции в целом ниже расчетной температуры.

7.2. Предварительный электроразогрев бетонных смесей является технологическим приемом повышения начальной температуры свежеуложенного бетона. Применение его позволяет интенсифицировать процессы твердения бетона в ранние сроки, увеличивать сроки остывания забетонированной конструкции, а следовательно, и получить более высокую прочность бетона к моменту его замерзания по сравнению со способом обычного термоса.

7.3. Электроразогрев бетонных смесей осуществляется непосредственно перед их укладкой с помощью системы пластинчатых электродов, подключаемых к источнику переменного электрического тока промышленной частоты на рабочее напряжение, как правило, 380 В.

7.4. Уплотнение разогретой бетонной смеси в процессе ее укладки обеспечивает высокое качество бетона, так как при этом практически исключается остаточное тепловое расширение, которое обычно имеет место при других способах тепловой обработки.

7.5. Применение предварительного электроразогрева при зимнем бетонировании монолитных конструкций позволяет отказаться от подогрева до высоких температур заполнителей, ограничиваясь только их оттаиванием, увеличить допустимую продолжительность транспортирования бетонной смеси с бетоносмесительного узла на строительную площадку, исключить активную тепловую обработку бетона непосредственно в конструкции и сократить сроки достижения заданной прочности по сравнению с методом термоса.

7.6. Учитывая большие потребности в установочных электрических мощностях и необходимость экономии энергетических ресурсов, предварительный электроразогрев бетонных смесей рекомендуется применять в случаях:

когда способ термоса, в том числе и в сочетании с противоморозными добавками, не обеспечивает в данных конкретных погодно-климатических условиях достижение требуемой прочности или заданного срока достижения этой прочности;

когда применение способа термоса трудно осуществимо или экономически нецелесообразно из-за значительных материальных и

трудовых затрат, отсутствия необходимых эффективных теплоизоляционных материалов и других причин, что должно быть подтверждено технико-экономическим обоснованием;

когда отсутствуют противоморозные добавки или их применение не допускается для данных конструкций.

7.7. Предварительный электроразогрев бетонных смесей наиболее эффективно применять для бетонирования монолитных конструкций с модулем поверхности менее 12 $м^{-1}$.

7.8. Продолжительность форсированного электроразогрева бетонной смеси до заданного температурного уровня определяется наличием электрических мощностей, темпом бетонирования, интенсивностью загустевания смеси и другими факторами и должна находиться в пределах 5—20 мин. При разогреве в течение менее 5 мин значительно возрастает требуемая электрическая мощность и наблюдается отставание нагрева крупного заполнителя, а разогрев в течение более 20 мин может привести к недопустимому загустеванию смеси.

7.9. Максимальная температура разогрева бетонной смеси назначается в зависимости от вида и минералогического состава применяемого цемента, требуемых сроков достижения заданной прочности, интенсивности загустевания смеси и ряда других факторов и, как правило, не превышает 80° С.

7.10. Разогретая бетонная смесь быстро теряет свои формовочные свойства. Поэтому транспортировать ее к месту укладки целесообразно по возможности без перегрузок в промежуточные емкости, а укладку ее в опалубку производить немедленно, в минимально короткие сроки. Время от момента окончания разогрева до окончания виброуплотнения не должно, как правило, превышать 15 мин.

Обеспечение в течение заданного срока требуемых формовочных свойств разогретой смеси может быть достигнуто введением при приготовлении бетонной смеси пластифицирующих или замедляющих схватывание добавок, в частности сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ), винсоловой смолы (СНВ), омыленного древесного пека, ГКЖ-10, малонафта, суперпластификаторов и других. Эффективность добавок в разогретых смесях и ее дозировка должны быть проверены опытным путем построечной лабораторией применительно к конкретным местным материалам.

7.11. Разогретая бетонная смесь укладывается в конструкцию (подготовленную опалубку) и уплотняется обычными способами. Сразу после уплотнения неопалубленная поверхность бетона укрывается влаго- и теплозащитой расчетной толщины, обеспечивающей последующее остывание монолитной конструкции по заданному температурному режиму. В отдельных случаях, когда термосное выдерживание уложенного разогретого бетона не обеспечивает заданную скорость остывания и возникает опасность, что к моменту замерзания жидкой фазы в бетоне или к расчетному сроку бетон не достигнет требуемой прочности (из-за резкого понижения температуры окружающей среды, недостаточности или отсутствия теплоизоляции и ряда других причин), следует осуществлять дополнительный обогрев конструкции.

7.12. Защита поверхности уложенного разогретого бетона от влагопотерь может быть достигнута либо укрытием ее пленкообразующими материалами, либо нанесением на нее пленкообразующих составов.

Для защиты бетона от теплопотерь могут быть использованы любые теплоизоляционные материалы, применяемые обычно при

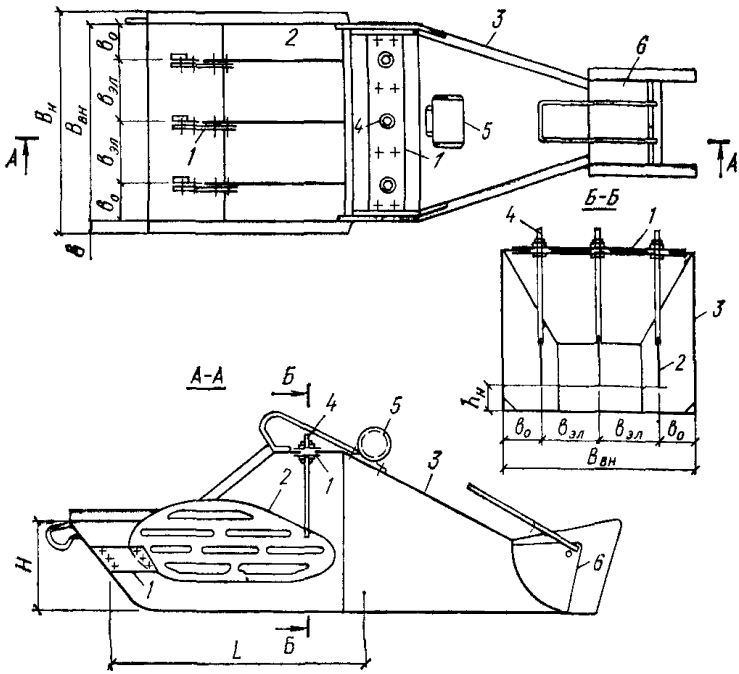


Рис. 12. Принципиальная схема бункера для электроразогрева бетонной смеси
1 — электроизолированное крепление электрода; *2* — электрод; *3* — корпус бункера; *4* — контактная шпилька; *5* — вибратор; *6* — затвор

выдерживании бетона способом термоса,— минеральная вата, опилки, техническая пена и т. п.

В качестве тепло- и влагоизоляции могут быть использованы и специальные тепловлагоизоляционные покрывала, в том числе и с электронагревательными элементами.

7.13. Длительность остывания бетона и прочность его к моменту замерзания жидкой фазы в нем или к любому заданному сроку определяется приближенно расчетом как при способе обычного термоса (п. 5.12 настоящего Руководства).

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАЗОГРЕВА БЕТОННОЙ СМЕСИ

7.14. Предварительный электроразогрев бетонной смеси осуществляется вблизи места ее укладки на специально оборудованном для этого посту в поворотных бункерах (бадьях), оснащенных пластинчатыми электродами, или непосредственно в кузовах автосамосвала с помощью системы опускных пластинчатых электродов.

7.15. Бункера для электроразогрева бетонной смеси могут быть выполнены с различной емкостью, зависящей от темпа бетонирования, типа и емкости кузова автосамосвала или другой бетоновозной машины, грузоподъемности крана, наличия электрических мощностей. В большинстве случаев емкость бункера не превышает 2 м^3.

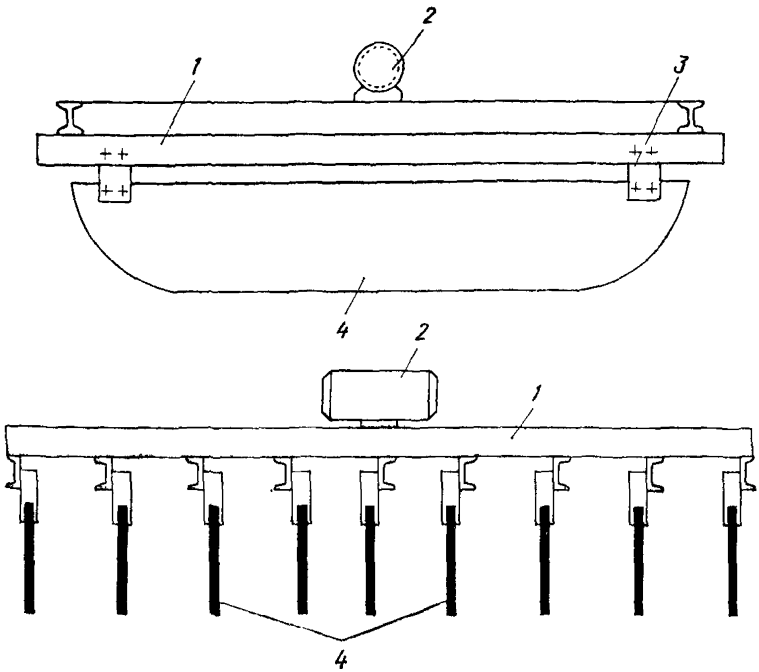


Рис. 13. Принципиальная схема опускного устройства для электроразогрева бетонной смеси в кузовах автосамосвала

1 — рама; *2* — вибратор; *3* — электроизолированные крепления электродов; *4* — пластинчатые крепления электродов

7.16. Бункер для электроразогрева (рис. 12) состоит из корпуса, выполненного, как правило, из листовой стали толщиной не менее 4 мм, 3—6 пластинчатых электродов, токоподключающего устройства и затвора выгрузочного отверстия.

Поворотный бункер для электроразогрева должен быть оборудован вибратором, а в месте, где начинается сужение бункера, следует предусматривать порожек, ограничивающий растекание смеси при ее загрузке.

7.17. Установка с опускными электродами (рис. 13) для электроразогрева бетонных смесей непосредственно в кузовах автосамосвалов представляет собой раму со смонтированными на ней электроизолированными пластинчатыми электродами, имеющими форму, соответствующую конфигурации кузова. Подъем и опускание рамы с электродами осуществляется электроталью или любым другим подъемным механизмом.

Для обеспечения погружения электродов в бетонную смесь и их извлечения на раме смонтирован вибратор.

7.18. Электроды следует выполнять с закругленными углами. Чтобы предотвратить повышенную плотность тока на кромках электродов, рекомендуется изолировать днище бункера листовой резиной (в этом случае расстояние между днищем и электродами должно составлять 0,6 расстояния между электродами).

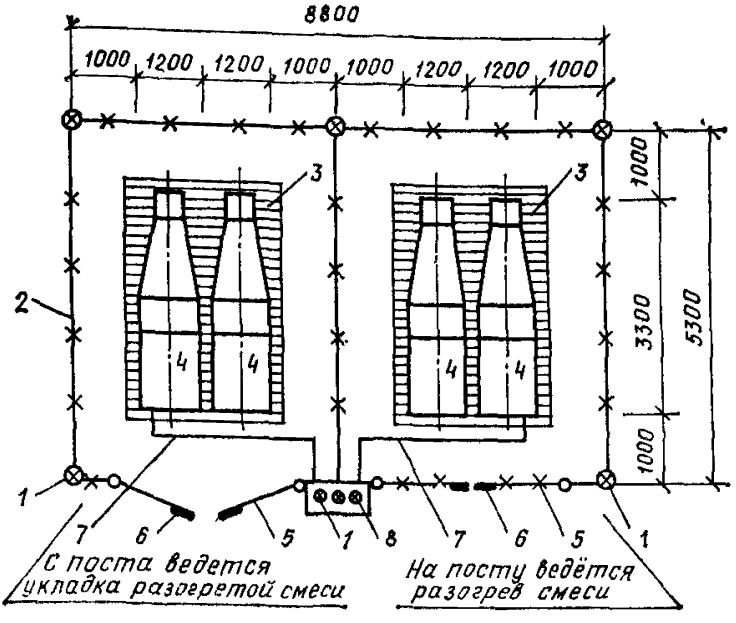


Рис. 14. Схема площадки электроразогрева бетонной смеси в бункерах

1 — сигнальные лампы; *2* — ограждение; *3* — деревянный настил; *4* — бункера разогрева; *5* — ворота; *6* — концевые выключатели; *7* — токоподводящий кабель; *8* — пульт управления

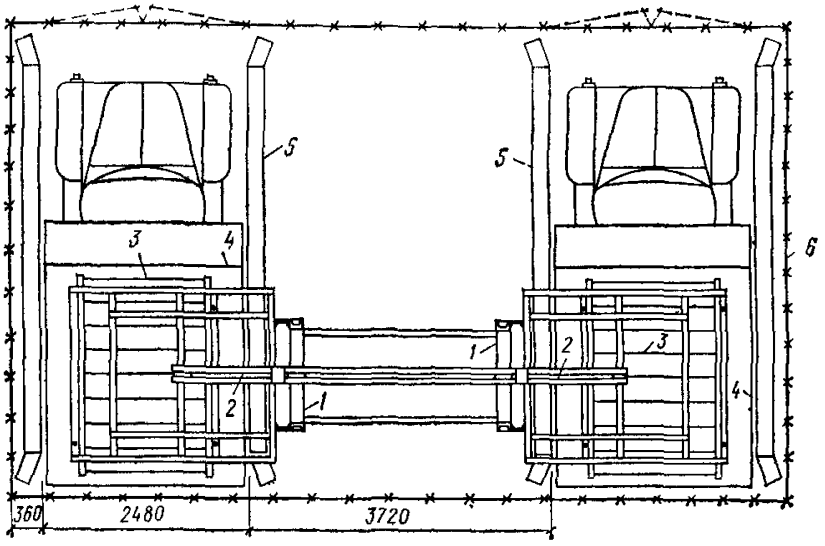


Рис. 15. Схема площадки для электроразогрева бетонной смеси в кузовах автосамосвалов

1 — направляющая рама; *2* — механизм подъема системы электродов; *3* — система опускных электродов; *4* — кузов автосамосвала; *5* — направляющие для автосамосвала; *6* — ограждение

7.19. В целях уменьшения контактного сопротивления рекомендуется в электродах в продольном направлении делать горизонтальные вырезы шириной 50 мм через каждые 50 мм с расположением их по высоте в шахматном порядке.

7.20. Крепление электродов к корпусу бункера осуществляется болтами на изоляторах из текстолита или другого электроизоляционного материала.

7.21. Подключение электродов к источнику электрического тока осуществляется кабелями с помощью быстродействующих контактных устройств — конусно-штепсельного разъема, ножевого устройства и др.

7.22. Пост электроразогрева представляет собой площадку с деревянными настилом и сетчатым, желательно инвентарным ограждением, оборудованную силовым трансформатором соответствующей мощности и пультом управления. Пульт управления размещается вне ограждения, а ворота для въезда автосамосвалов и калитка в ограждении для прохода обслуживающего персонала должны быть сблокированы системой сигнализации и подачи напряжения на электроды.

7.23. Для непрерывной работы автотранспорта, бесперебойной подачи разогретой смеси в опалубку и максимального использования электрооборудования во времени пост электроразогрева целесообразно устраивать из двух ячеек, подключенных к одному пульту управления и работающих поочередно, причем каждая ячейка должна быть рассчитана на прием бетонной смеси из одного самосвала. Принципиальные схемы двухячейковых постов электроразогрева в бункерах и в кузовах автосамосвалов приведены на рис. 14 и 15.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭЛЕКТРОРАЗОГРЕВА БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

7.24. Необходимая электрическая мощность для разогрева бетонной смеси определяется теплотехническим расчетом по формуле

$$P = \frac{C\gamma\,(t_р - t_{тр})\,1{,}16K \cdot 60V_б}{10^3 \cdot 4{,}18K_{эр}\,T_р} = \frac{19{,}28 \cdot 10^{-3}\,C\gamma\,(t_р - t_{тр})\,V_б}{T_р}, \quad (20)$$

где С — удельная теплоемкость бетонной смеси, кДж/(кг·°С) (принимается по таблицам или определяется расчетным или опытным путем);

γ — объемная масса бетонной смеси, кг/м^3;

$t_р$ — конечная температура разогрева бетонной смеси, °С;

$t_{тр}$ — температура после транспортирования бетонной смеси, °С;

$V_б$ — объем одновременно разогреваемой порции бетонной смеси, м^3;

K — коэффициент, учитывающий потери тепла в процессе разогрева (принимается равным 1,1);

$K_{эр}$ — коэффициент использования электроэнергии (при электроразогреве бетонной смеси принимается равным 0,95);

$T_р$ — время разогрева бетонной смеси, мин.

7.25. Расстояние между электродами $B_{эл}$ в метрах рассчитывается по формуле

$$B_{эл} = 31{,}62 \cdot 10^{-3}\,U\sqrt{\frac{V_б}{\rho_б P}}, \quad (21)$$

где U — напряжение на электродах, В;

$\rho_б$ — расчетное удельное сопротивление бетонной смеси, Ом·м.

7.26. Расчетное удельное электрическое сопротивление бетонной смеси зависит от состава бетона, вида применяемого цемента, и в каждом конкретном случае должен определяться экспериментальным путем по методике, приведенной в прил. 13.

7.27. При заземленном стальном корпусе («смешанная» схема подключения) расстояние от стенки бункера кузова (автосамосвала) до крайнего электрода B_0 принимается равным $B_{эл}/\sqrt{3}$, а расстояние от нижней кромки электрода до дна разогревательного устройства составляет $0{,}52B_{эл}$.

Далее, варьируя продолжительностью разогрева смеси в пределах, указанных в п. 7.8, и напряжением на электродах 380 или 220 В, можно подобрать такое расстояние между электродами, которое обеспечивает размещение по ширине разогревательного устройства необходимого для равномерной загрузки фаз трансформатора количества электродов.

7.28. Зная расстояние между электродами, определяется площадь одного электрода по формуле

$$S \geqslant \frac{V_б}{nB_{эл}} \text{ м}^2, \tag{22}$$

где n — количество электродов, подбираемое с учетом равномерной загрузки всех фаз трансформатора и конструктивных размеров емкости для разогрева (как правило, n кратно 3).

Площадь электрода принимается больше расчетной по конструктивным соображениям, чтобы вся смесь с учетом угла естественного откоса находилась между электродами.

7.29. Размеры электродов вычисляются по формулам:

$$h_{эл} = H - h_н - h_в; \tag{23}$$

$$l_{эл} = S/h_{эл}, \tag{24}$$

где H — высота бункера (кузова автосамосвала), м;

$h_н$ — расстояние от нижней кромки электрода до дна устройства, м;

$h_в$ — расстояние от верхней кромки электрода до свободной поверхности бетонной смеси, м (принимается в пределах 0—0,025).

7.30. Максимальная электрическая мощность для разогрева бетонной смеси определяется по формуле

$$P_{max} = \frac{10^{-3} U^2 V_б}{B_{эл}^2 \rho_{min}} \text{ кВт}, \tag{25}$$

где ρ_{min} — минимальное удельное электрическое сопротивление бетонной смеси в процессе разогрева, Ом·м, определяемое по методике, приведенной в прил. 13.

7.31. По величине P_{max} определяется расчетная мощность потребного трансформатора

$$P_{расч} = \frac{P_{max}}{\eta \cos\varphi K_{кп}} \text{ кВт}, \tag{26}$$

где η и $\cos\varphi$ — соответственно к. п. д. и коэффициент мощности трансформатора (обычно $\eta \cos\varphi = 0{,}9$);

$K_{к.п}$ — коэффициент кратковременной допустимой перегрузки трансформатора (принимается равным 1,3—1,5).

7.32. Выбор типа трансформатора производится по расчетной мощности, соблюдая условие

$$P_{\text{ном}} \geqslant P_{\text{расч}},$$

где $P_{\text{ном}}$ — номинальная (паспортная) мощность выбранного трансформатора, кВт.

7.33. Максимальная сила тока для выбора типа и сечения подводящих кабелей определяется по формуле

$$I_{\text{л}} = \frac{UV_{\text{б}}}{\sqrt{3}\rho_{\min} B_{\text{эл}}^2} A. \qquad (27)$$

7.34. Ориентировочное значение потребной удельной электрической мощности на разогрев 1 м³ бетонной смеси в зависимости от

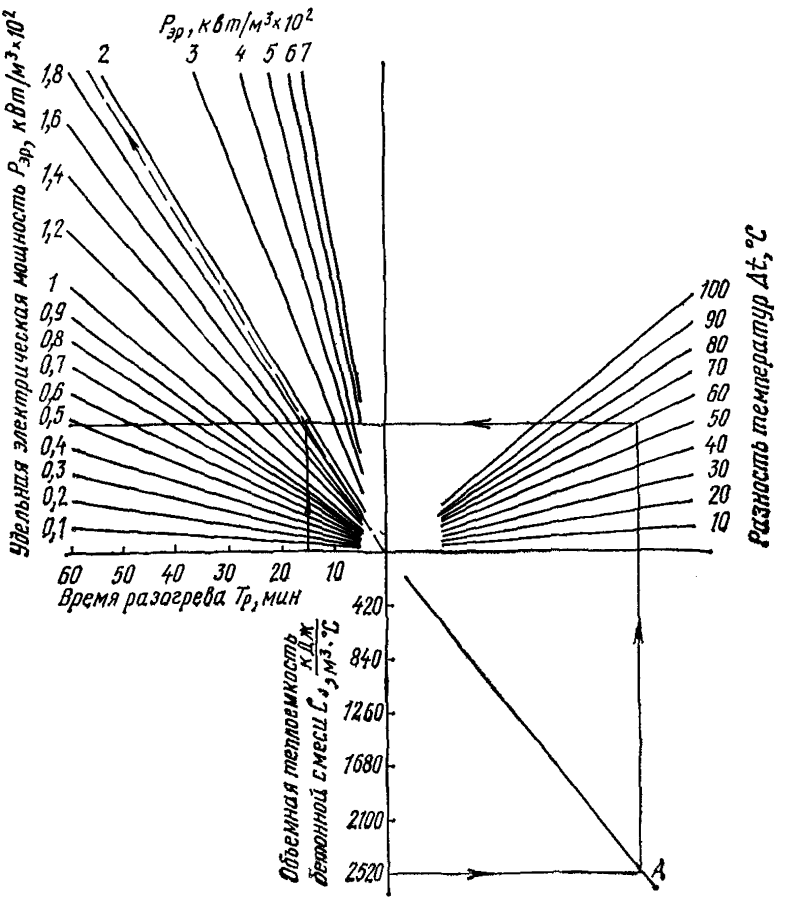


Рис. 16. Номограмма для расчета удельной электрической мощности и удельного расхода электроэнергии при предварительном электроразогреве бетонной смеси

различных факторов может определяться по номограмме, представленной на рис. 16, или приниматься по данным табл. 39 с последующим уточнением в производственных условиях.

Таблица 39

Время разогрева, мин	5	10	15	20
Потребная мощность для разогрева смеси на $\Delta t = 60°$ С	625	315	215	160

7.35. Расход электрической энергии на разогрев 1 м³ бетонной смеси зависит от начальной температуры смеси, конечной температуры разогрева, условий окружающей среды и других факторов. Ориентировочно он может быть определен по формуле

$$W = \frac{P_{\text{ном}} T_{\text{р}}}{60 V_{\text{б}}} \text{ кВт·ч}, \qquad (28)$$

или принят равным 0,9 кВт·ч на каждый градус разогрева.

7.36. Количество бункеров для разогрева подбирается исходя из суточного потока бетонной смеси, емкости кузова бетоновозной машины, грузоподъемности крана и других производственных факторов. Общая емкость устанавливаемых в одной ячейке поста электроразогрева бункеров должна соответствовать емкости кузова транспортного средства, которым доставляется бетонная смесь с завода.

Для используемых на практике самосвалов потребность в бункерах различной емкости в расчете на 1 ячейку поста электроразогрева может приниматься согласно данным табл. 40.

Таблица 40

Тип автосамосвала для транспортировки бетонной смеси	Грузоподъемность автосамосвала, т	Емкость кузова, м³ смеси	Число бункеров емкостью, м³			
			0,5	0,75	1,2	1,5
ГАЗ-93	2,5	1	2	2	—	—
ЗИЛ-585	3,5	1,45	3	2	2	1
ЗИЛ-555	5	2	—	3	2	2
МАЗ-205	6	2,5	—	—	2	2

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ

7.37. Бетонная смесь должна приготовляться с начальной температурой, обеспечивающей с учетом потерь тепла при транспортировке температуру к моменту разогрева в наиболее охлаждаемых зонах не ниже 2° С при разогреве в бункерах и не ниже 0° С при разогреве в кузовах автосамосвалов.

Максимально допустимая температура бетонной смеси на выходе из бетоносмесительного узла должна определяться при подборе состава в зависимости от вида и минералогического состава приме-

няемого цемента, условий и ожидаемой продолжительности транспортирования и назначаться такой, чтобы исключить возможность преждевременного загустевания смеси.

7.38. Состав бетонной смеси, подвергаемой электроразогреву, должен подбираться расчетно-экспериментальным путем любым известным методом с учетом условий транспортирования и продолжительности основных технологических операций.

Подобранный состав должен обеспечить потребную для данных уплотняющих устройств виброобрабатываемость разогретой смеси в период укладки и проектную прочность в 28-суточном возрасте нормально-влажностного твердения при минимальном расходе вяжущего.

7.39. Виброобрабатываемость бетонных смесей после электроразогрева рекомендуется определять по методике, изложенной в прил. 11.

7.40. Приготовленная бетонная смесь транспортируется на строительную площадку любыми транспортными средствами (автосамосвалами, автобетоновозами, автобетоносмесителями и др.). При использовании автосамосвалов смесь в кузовах должна быть укрыта брезентом для исключения излишнего охлаждения открытой поверхности и попадания в нее атмосферных осадков.

7.41. Для сокращения расхода электроэнергии при разогреве бетонной смеси рекомендуется последнюю перевозить в утепленных или подогреваемых выхлопными газами кузовах автомашин. Однако при этом необходимо следить, чтобы температура смеси на контакте с обогреваемым кузовом с учетом дальности перевозок не превышала расчетную во избежание преждевременного загустевания смеси.

7.42. Электроразогрев бетонной смеси в бункерах осуществляется в следующей последовательности:

очищенные бункера устанавливаются на посту электроразогрева;

машина с бетонной смесью заезжает в одну из свободных ячеек поста электроразогрева, выгружает смесь в бункера и выезжает;

бетонная смесь равномерно распределяется между электродами бункера путем кратковременного вибрирования установленного на корпусе бункера вибратора, после чего в смесь устанавливают термометры или термодатчики;

в случае необходимости защиты от атмосферных осадков открытая часть бункера закрывается крышкой или брезентом;

после выхода людей за пределы ограждения специально обученный электрик, предварительно убедившись в отсутствии напряжения на проводах, предназначенных для питания электродов, присоединяет к корпусу одного из бункеров провод от защитного заземления, соединяет провода от питающей сети к контактным выводам электродов и выходит за пределы ограждения, закрывая калитку и ворота;

производится подача напряжения на электроды. При этом необходимо убедиться в работе сигнализации;

после достижения в бетонной смеси расчетной температуры напряжение отключается. После этого обслуживающий пост электрик, убедившись в отсутствии напряжения на контактных выводах, входит в пределы ограждения и при открытой калитке отключает токоподводящий провод и провод от защитного заземления;

из бункера снимаются защитный брезент, термометры (термодатчики) и бункер с разогретой смесью подается краном к месту укладки.

7.43. В случае электроразогрева бетонной смеси непосредственно в кузове автосамосвала технологические операции по разогреву должны выполняться в следующей последовательности:

машина с бетонной смесью въезжает в одну из свободных ячеек поста электроразогрева и останавливается в строго определенном положении под рамой с электродами;

заглушив двигатель и поставив машину на тормоза, водитель выходит из кабины и покидает пределы ограждения;

обслуживающий пост разогрева электрик закрывает въезды и входы на пост и присоединяет провода от защитного заземления к кузову машины;

проверив отсутствие людей в пределах ограждения, электрик опускает раму с электродами и погружает последние в бетонную смесь при одновременном включении вибратора. При этом необходимо строго следить, чтобы рама с электродами устанавливались в заданном положении, без перекосов;

на электроды подается напряжение и производится электроразогрев бетонной смеси до заданной температуры;

по окончании электроразогрева напряжение отключается, извлекаются электроды, снимается заземление кузова;

открываются ворота в ограждении, водитель садится в кабину, выезжает с поста разогрева и доставляет разогретую смесь к месту укладки.

7.44. Равномерное распределение бетонной смеси между электродами позволяет избежать перекоса фаз питающей сети и обеспечивает минимальный разброс температур по разогреваемому объему бетонной смеси.

7.45. Разогретая бетонная смесь без дополнительных перегрузок должна быть немедленно (в течение не более 15 мин) уложена в подготовленную опалубку. В целях снижения потерь тепла при последующем выдерживании целесообразно использовать утепленную опалубку.

В случае длительной задержки с укладкой разогретой смеси (свыше 15 мин) последняя должна быть выгружена из бункера разогрева во избежание ее схватывания.

7.46. Перерывов в укладке бетона в конструкцию следует избегать. При неизбежности перерывов поверхность бетона до возобновления бетонирования необходимо тщательно укрывать и утеплять.

7.47. При длительных перерывах в бетонировании и по окончании рабочей смены бункера для электроразогрева и опускные электроды должны очищаться от остатков бетона.

7.48. Для периодической (1—2 раза в 1 мес) и капитальной (1 раз в 1—2 мес) очистки устройств для разогрева смеси следует применять механические и химические способы очистки.

7.49. Химическая очистка может выполняться жидким раствором или густой пастой.

Жидкий раствор состоит из:

10%-ной соляной кислоты	—60—70%;
поваренной соли	—20—40%;
ингибитора	—0,1—2%;

Пасту готовят перемешиванием двух составов:

I состав:

соляная кислота (уд. вес 1,19)	—33,4%;
ингибитор (уротропин или формалин)	—1%;
волокнистый заполнитель (распущенная бума-	—4%;

га, солома, камыш)
вода —34,1%;
поваренная соль —5%;
II состав:
жидкое стекло (уд. вес 1,4—1,5) —7,5%;
вода —15%;

7.50. Если устройство порционного или непрерывного разогрева можно наполнить жидким раствором, очистку выполняют, не разбирая оборудования. В противном случае загрязненные узлы помещают в специальные ванны с жидким раствором. Очистка производится в течение 25 мин при перемешивании раствора (включением вибратора, с помощью сжатого воздуха и т. п.). Затем раствор сливают в специальную емкость и 5—10 мин его нейтрализуют 10%-ным раствором кальцинированной соды равного объема. После этого раствор сливают в промышленную канализацию. Таким же образом нейтрализуют остатки очищающего раствора в установке, после чего установку промывают 5%-ным раствором соды, а затем струей воды.

При использовании очищающей пасты ее наносят на загрязненную поверхность шпателем. Время воздействия пасты на слой цементного камня толщиной до 2—3 мм составляет около 25 мин. После очистки пасту смывают струей воды, а очищенную поверхность нейтрализуют так же, как и при применении жидкого очищающего раствора.

8. ЭЛЕКТРОПРОГРЕВ БЕТОНА

8.1. При электропрогреве электрический ток пропускают через бетон как через омическое сопротивление, при этом в бетоне выделяется тепло. Напряжение к бетону подводят с помощью стальных электродов.

Для электропрогрева бетона монолитных конструкций используют переменный ток промышленной частоты.

Преимуществом электропрогрева по сравнению с другими способами электротермообработки является выделение тепла непосредственно в бетоне, что обусловливает более равномерное температурное поле в бетонной конструкции и более высокий коэффициент использования электроэнергии.

8.2. Электропрогрев бетона может быть применен при любой температуре наружного воздуха для конструкций любого типа и конфигурации.

8.3. Выбор параметров температурного режима электропрогрева бетона и расчет требуемой мощности следует производить в соответствии с данными, приведенными в разд. 4 данного Руководства.

8.4. Электрический расчет электропрогрева бетона заключается в определении расстояния между электродами и необходимого напряжения по ранее установленной расчетом требуемой мощности и определенной экспериментальной величине удельного электрического сопротивления бетона.

УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

8.5. Удельное электрическое сопротивление ρ является физическим свойством бетона. Его величина определяется главным образом составом и концентрацией ионов в жидкой фазе (вода с раство-

ренными в ней твердыми веществами) бетона, ее количеством в единице объема бетона и температурой.

8.6. На состав и концентрацию ионов в жидкой фазе бетона (без добавок-электролитов) доминирующее влияние оказывает содержание в цементе водорастворимых щелочных окислов Na_2O и K_2O, которые начинают растворяться в жидкой фазе сразу после затворения цемента водой. Разница в величинах ρ бетонов, приготовленных на портландцементах различных заводов-изготовителей, близких по минералогическому составу, но с разным содержанием водорастворимых щелочных окислов, может достигать 8 раз. Ориентировочные данные о величинах ρ в процессе электропрогрева бетонов одинакового состава, приготовленных на цементах разных заводов, приведены в прил. 12.

Удельное электрическое сопротивление бетонов одинакового состава на шлакопортландцементах заметно выше, чем на портландцементах с аналогичным содержанием водорастворимых щелочных окислов, что объясняется адсорбцией ионов на поверхности тонкодисперсных частиц шлака и меньшим содержанием клинкера в шлакопортландцементах.

8.7. Увеличение или уменьшение количества воды затворения вызывает существенное снижение или повышение удельного электрического сопротивления бетона. Например, с увеличением начального водосодержания с 135 до 225 л/м³ ρ снижается в 2,4—2,6 раза.

Увеличение или уменьшение расхода цемента вызывает незначительное снижение или повышение ρ. Например, рост расхода цемента с 220 до 485 кг/м³ снижает ρ в 1,25—1,45 раза.

8.8. Введение в бетон химических добавок-электролитов (кроме Al_2SO_4 и Fe_2SO_4 существенно снижает величину ρ (табл. 41).

Пластифицирующие добавки и замедлители схватывания практически не влияют на ρ бетона.

Удельное электрическое сопротивление бетона в результате введения добавок-электролитов снижается тем в большей степени, чем выше величина ρ бетона без добавок, в связи с чем влияние добавки на ρ бетона каждого конкретного состава необходимо определять экспериментальным путем (прил. 13).

8.9. С повышением температуры бетона его удельное электрическое сопротивление пропорционально снижается. Замерзший бетон без добавок практически не проводит электрического тока и не может быть подвергнут электропрогреву.

8.10. Удельное электрическое сопротивление бетонов на пористых заполнителях зависит от тех же факторов, что и бетонов на плотных заполнителях. Однако величина ρ бетонов на пористых заполнителях с таким же расходом воды и цемента выше, чем на плотных заполнителях вследствие отсоса части жидкой фазы из межзернового пространства в поры заполнителей. В процессе подъема температуры бетона жидкая фаза постепенно вытесняется из пор заполнителя расширяющимся воздухом в межзерновое пространство, что увеличивает интенсивность снижения ρ.

8.11. При твердении бетона ρ изменяется вследствие протекания в нем химических, физико-химических и физических процессов. От начальной величины $\rho_{нач}$ перед прогревом оно снижается благодаря растворению в жидкой фазе водорастворимых щелочных окислов цементного клинкера и продуктов новообразований, главным образом извести. Снижение ρ замедляется главным образом в связи с

Таблица 41

Наименование добавки	Снижение удельного электрического сопротивления бетона при количестве добавки, % массы воды затворения											
	1	0,5	1	1,5	2	3	6	10	12	15	20	25
Хлористый натрий	1	0,8	0,6	0,5	0,45	0,3	0,24	—	—	—	—	—
Хлористый кальций	1	0,85	0,7	0,6	0,5	0,4	—	—	—	—	—	—
Хлористый натрий плюс хлористый кальций	1	—	—	—	—	—	—	0,21	—	0,18	—	—
Азотистокислый натрий (нитрит натрия)	1	0,84	0,69	0,58	0,49	0,39	—	0,23	—	—	0,2	—
Азотнокислый натрий (нитрат натрия)	1	0,86	0,72	0,63	0,54	0,48	—	—	—	—	—	—
Хлористый кальций плюс азотистокислый натрий (нитрит натрия)	1	—	—	—	—	—	0,25	—	0,22	—	—	0,11
ННХК	1	—	—	—	—	—	0,36	—	0,3	—	—	0,23

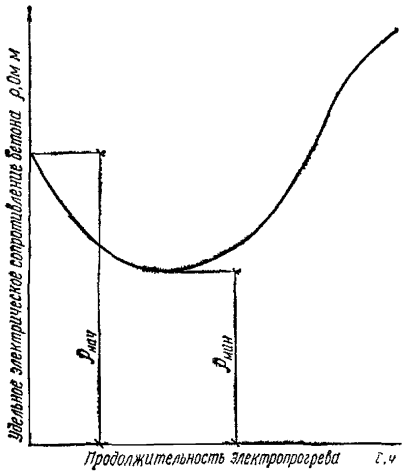


Рис. 17. Изменение удельного электрического сопротивления бетона в процессе электропрогрева

физическим связыванием воды затворения по мере адсорбционного связывания воды образующейся коллоидной фазой новообразований, а также в связи с замедлением растворения электролитов в жидкой фазе по мере ее насыщения. Удельное электрическое сопротивление достигает минимальной величины $\rho_{мин}$, после чего оно начинает возрастать вследствие химического и физического связывания воды, испарения влаги из бетона, образования замкнутых пор в структуре цементного камня. Примерный характер кривой изменения ρ бетона в процессе его электропрогрева показан на рис. 17.

8.12. Увеличение продолжительности предварительного выдерживания бетона незначительно снижает $\rho_{нач}$ и практически не изменяет $\rho_{мин}$. Скорость подъема температуры бетона в пределах до 30° С в час почти не влияет на $\rho_{мин}$, при этом величина $\rho_{мин}$ наступает при температуре бетона 50—60° С. Повышение температуры изотермического прогрева и его продолжительности приводит к увеличению ρ бетона.

8.13. С учетом влияния всех упомянутых факторов при электропрогреве бетонов без добавок $\rho_{нач}$ может находиться в пределах от 4 до 25 Ом·м, $\rho_{мин}$ — от 2 до 20 Ом·м. Влияние добавок электролитов можно определять по данным, приведенным в табл. 41.

Расчет необходимого напряжения на электродах в период подъема температуры бетона следует осуществлять по расчетной величине удельного электрического сопротивления

$$\rho_{расч} = \frac{\rho_{нач} + \rho_{мин}}{2}. \qquad (29)$$

Величины $\rho_{нач}$ и $\rho_{мин}$ необходимо определять экспериментально (см. методику в прил. 13) для каждого конкретного состава бетона.

Для предварительных расчетов при известной величине $\rho_{нач}$ рекомендуется принимать $\rho_{расч}=0{,}85\rho_{нач}$ в случае электропрогрева бетонов на плотных заполнителях и $\rho_{расч}=0{,}8\,\rho_{нач}$ — на пористых заполнителях.

8.14. Электроды и их размещение в бетоне должны удовлетворять следующим требованиям:

а) мощность электрического тока, проходящего через бетон, должна соответствовать мощности, требуемой по тепловому расчету;

б) электрическое поле в бетоне и соответственно температурное поле должны быть по возможности равномерными, что обеспечивает снижение расхода электроэнергии при прогреве;

в) электроды должны по возможности располагаться снаружи прогреваемой конструкции для обеспечения их оборачиваемости;

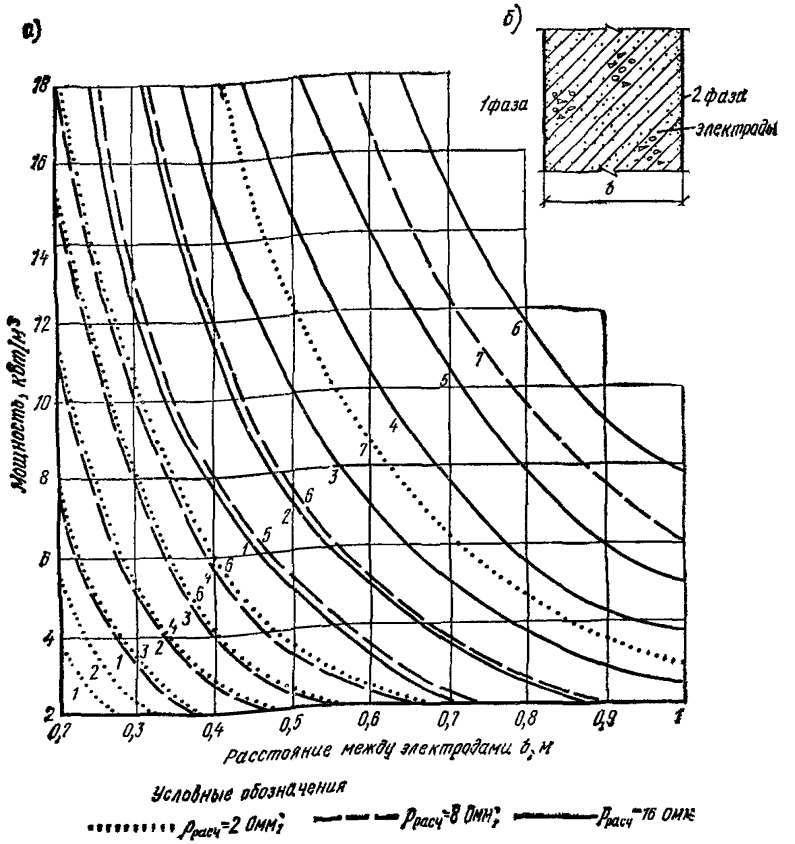


Рис. 18. Электропрогрев бетона пластинчатыми электродами

а — график для расчета при напряжении на электродах; *б* — схема подключения; *1, 2, 3, 4, 5, 6, 7* — при напряжении соответственно 49, 60, 70, 85, 103, 121 и 220 В

г) электроды должны подключаться к токоподводящим проводам по возможности до начала бетонирования, чтобы осуществлять электропрогрев бетона по ходу укладки и уплотнения бетонной смеси или сразу после окончания бетонирования конструкции во избежание недопустимого остывания и замерзания бетона.

8.15. Типы электродов, применяемых при электропрогреве бетона, их характеристики и размеры приведены в табл. 42.

8.16. Электропрогрев бетона может быть сквозным, когда электрический ток проходит через все сечение конструкции и тепло выделяется в объеме всей конструкции, или периферийным, при котором электрический ток проходит через периферийные слои бетона, нагревая их, а остальная часть бетона нагревается за счет теплопередачи от периферийных слоев. При прочих равных условиях сквозной прогрев обеспечивает более равномерное температурное поле в конструкции, что позволяет поднимать температуру с большей ско-

Таблица 42

Типы электродов	Описание	Сортамент стали, характерные размеры, мм	Время установки и подключения
Пластинчатые	Сплошные пластины, закрывающие противоположные (параллельные одна другой) плоскости конструкции	Кровельная сталь или высечка при обивке палубы деревянной опалубки, листовая сталь палубы металлических щитов опалубки. Размеры соответствуют размерам элементов опалубки	До начала бетонирования конструкции
Полосовые	Полосы, расположенные параллельно на расстоянии 10—40 см одна от другой, закрепленные на щитах деревянной опалубки или накладных деревянных щитах	Кровельная сталь или листовая сталь толщиной до 4 мм, шириной 20—50 мм	То же
Стержневые	Стержни (прутки), устанавливаемые (забиваемые) в свежеуложенный бетон или закрепляемые на деревянной опалубке	Круглая сталь диаметром 4—8 мм	После окончания или по мере бетонирования конструкции
Струнные	Стержни (прутки), устанавливаемые по оси или параллельно оси длинномерной конструкции	Круглая сталь диаметром 6—12 мм	До начала бетонирования конструкции

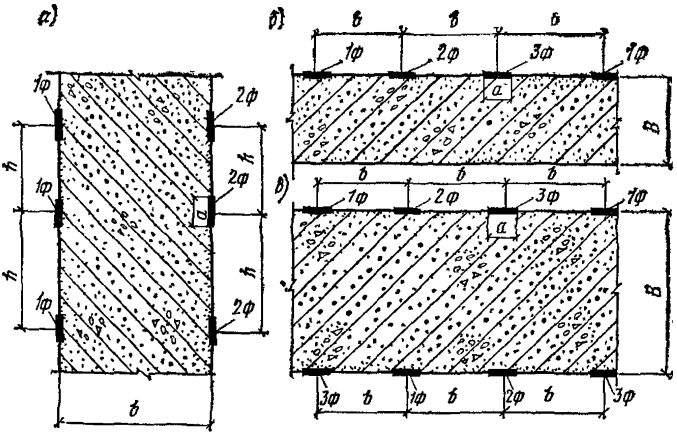


Рис. 19. Схемы размещения и подключения полосовых электродов
а — при сквозном прогреве; *б* — при одностороннем периферийном прогреве конструкций толщиной 30 см; *в* — при периферийном прогреве конструкций толщиной более 30 см

ростью и осуществлять изотермический прогрев меньшей продолжительности для достижения заданной прочности в наименее нагретых зонах бетона.

8.17. При электропрогреве неармированного бетона или железобетона с арматурой, не искажающей электрического поля между электродами (п. 8.29), в наибольшей степени удовлетворяет требованиям, изложенным в п. 8.14, пластинчатые электроды. Электроды на противоположных поверхностях конструкции подключают к разным фазам (рис. 18, *а*).

Электрическая мощность при прохождении тока между пластинчатыми электродами через бетон определяется по формуле:

$$P = 10^{-3}\,\frac{U^2}{b^2\,\rho_{\text{расч}}}\,, \qquad (30)$$

где P — удельная мощность, кВт/м³;
U — напряжение на электродах, В;
b — расстояние между электродами, м;
ρ — расчетное удельное электрическое сопротивление бетона, Ом·м.

По формуле (30) построен график на рис. 18, *б*, который позволяет по трем известным параметрам определить четвертый:

а) по заданным удельной мощности P, расстоянию между электродами b и по известному удельному электрическому сопротивлению ρ — требуемое напряжение U;

б) по заданным удельной мощности P, напряжению U и по известному удельному электрическому сопротивлению ρ — необходимое расстояние между электродами b;

в) по заданным величинам напряжения U, расстояния между электродами b и по известному удельному электрическому сопротивлению $\rho_{\text{расч}}$ — величину удельной электрической мощности P.

8.18. С целью экономии металла вместо пластинчатых электродов, закрепляемых на деревянных опалубочных щитах, могут при-

меняться полосовые электроды. Все электроды, расположенные на одной плоскости конструкции, подключают к одной фазе сети, расположенные на противоположной плоскости — к другой фазе (рис. 19, *а*).

Величину электрической мощности при сквозном прогреве бетона полосовыми электродами можно определить по графику на рис. 18, *б*, умножая мощность, полученную по графику, на коэффициент *Z* (табл. 43).

Таблица 43

Расстояние между электродами, см	Коэффициент *Z* при величине отношения							
	0,3		0,4		0,6		0,8	
	Ширина электрода, см							
	2	5	2	5	2	5	2	5
10	0,944 / 0,925	—	0,885 / 0,847	—	0,754 / 0,704	0,952 / 0,934	—	0,85 / 0,806
20	0,862 / 0,825	0,971 / 0,956	—	0,916 / 0,884	—	0,8 / 0,752	—	0,695 / 0,63
30	—	0,925 / 0,9	—	0,854 / 0,818	—	0,73 / 0,671	—	—
40	—	0,884 / 0,854	—	0,82 / —	—	—	—	—
60	—	0,846 / 0,806	—	—	—	—	—	—

Примечание. Значение коэффициента *Z* для промежуточных величин *b*, *t* и *a* следует определять интерполяцией.

8.19. Полосовые электроды применяются для периферийного электропрогрева. Соседние электроды подключают к разным фазам сети, переменный ток проходит от электрода к электроду через периферийный слой бетона. Почти вся электрическая мощность приходится на слой с толщиной, равной примерно 0,5 расстояния между соседними электродами.

Бетонные конструкции толщиной до 30 см можно прогревать при одностороннем расположении полосовых электродов (рис. 19, *б*).

В этом случае равномерное температурное поле в бетоне обеспечивается при расстоянии *b* между соседними полосовыми электродами, близком к удвоенной толщине конструкции. При невозможности использования такого расстояния между электродами для конструкций толщиной более 20 см из-за необходимости применения пониженного напряжения (п. 18.28 данного Руководства) следует учитывать, что температура в слое бетона, в котором расположены электроды, будет на 15—20° С больше, чем на противоположной поверхности бетона.

Удельная электрическая мощность при одностороннем периферийном прогреве бетона конструкций ограниченной толщины определяется по формуле

$$P = \frac{1{,}57 \cdot 10^{-3} U^2}{\rho_{\text{расч}} Bb\left(\alpha \frac{4b}{\pi a} + \frac{\pi b}{2B}\right)}, \qquad (31)$$

где B — толщина конструкции, м;

b — расстояние между разноименными электродами м;

a — ширина электродов, м;

α — коэффициент, равный при трехфазном токе 1,5, при однофазном токе 2.

По формуле (31) построены графики (рис. 20, *а*, *б*, *в*), которые позволяют:

а) по заданным удельной мощности P, толщине бетонной конструкции B, расстоянию между электродами b и по известному удельному электрическому сопротивлению бетона $\rho_{\text{расч}}$ определить необходимое напряжение U на электродах;

б) по заданным удельной мощности P, толщине бетонной конструкции B, напряжению на электродах U и по известному удель-

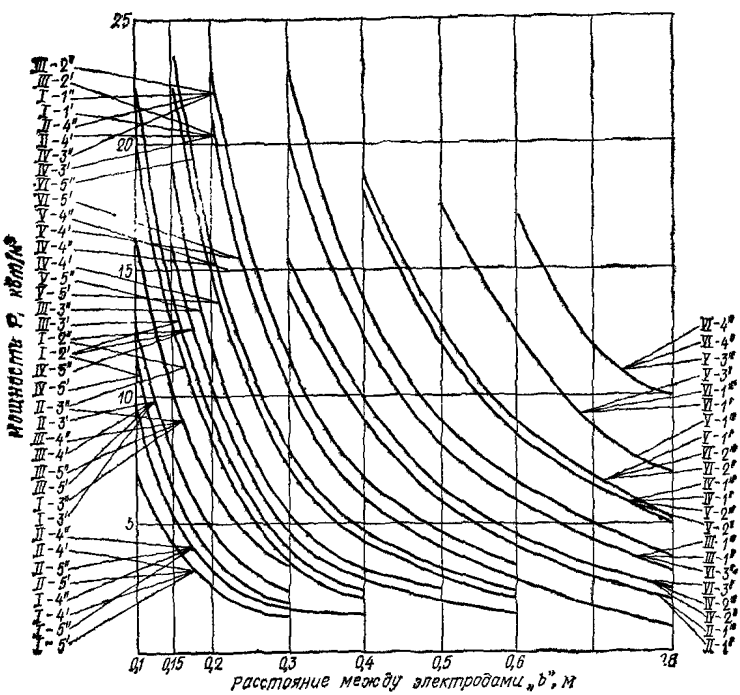


Рис. 20а. График для расчета периферийного прогрева при одностороннем расположении полосовых электродов бетона конструкций толщиной B=10 см (обозначения по рис. 20 в)

ному электрическому сопротивлению $\rho_{расч}$ определить требуемое расстояние между электродами b;

в) по заданным толщине бетонной конструкции B, напряжению на электродах U, расстоянию между электродами b и по известному удельному электрическому сопротивлению $\rho_{расч}$ определить электрическую мощность P.

8.20. Периферийный электропрогрев бетонных конструкций толщиной более 30 см рекомендуется осуществлять с размещением полосовых электродов на каждой плоскости конструкции (см. рис. 20, *в*). Для этого случая электрическую мощность определяют в расчете на 1 м² поверхности конструкции по формуле

$$P_{м^2} = \frac{0{,}785 \cdot 10^{-3} U^2}{\rho_{расч}\, b \ln 2{,}54 \dfrac{b}{a}}, \qquad (32)$$

где P — удельная электрическая мощность на единицу поверхности, кВт/м².

По формуле (32) построен график на рис. 21, который позволяет:

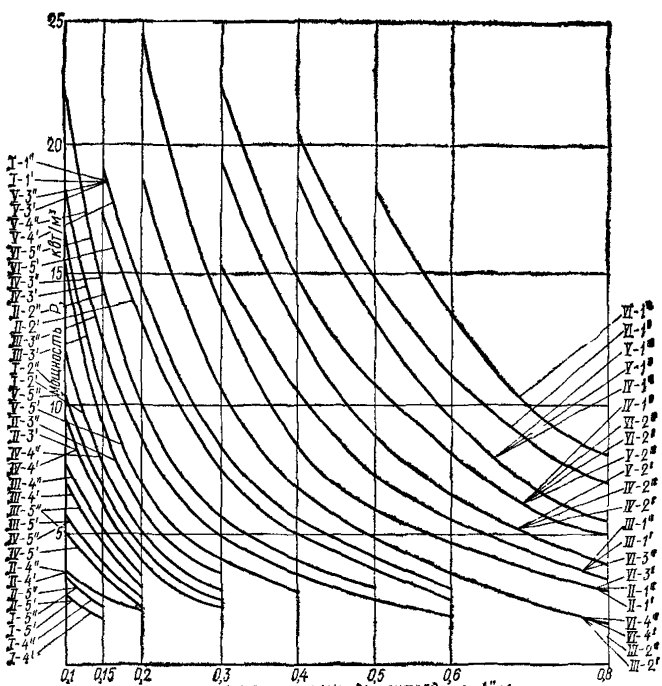


Рис. 20б. График для расчета периферийного прогрева при одностороннем расположении полосовых электродов бетона конструкций толщиной $B = 20$ см (обозначения по рис. 20 в)

а) по заданным удельной мощности $P_{м^2}$, расстоянию между электродами b и по известному удельному электрическому сопротивлению $\rho_{расч}$ определить требуемое напряжение на электродах U;

б) по заданным удельной мощности $P_{м^2}$, напряжению на электродах U и по известному удельному электрическому сопротивлению $\rho_{расч}$ определить требуемое расстояние между электродами b;

в) по заданным напряжению на электродах U, расстоянию между электродами b и по известному удельному электрическому сопротивлению $\rho_{расч}$ определить электрическую мощность $P_{м^2}$.

При отсутствии стали нужных сортаментов вместо полосовых электродов допускается применять электроды из круглой стали. Их диаметр определяется соотношением $d = \frac{a}{2}$.

8.21. Разновидностью периферийного электропрогрева является *прогрев армированных конструкций с использованием металлической опалубки в качестве электрода*. Защитный слой арматуры должен быть не менее 3 см, размер ячейки арматурных сеток или карка-

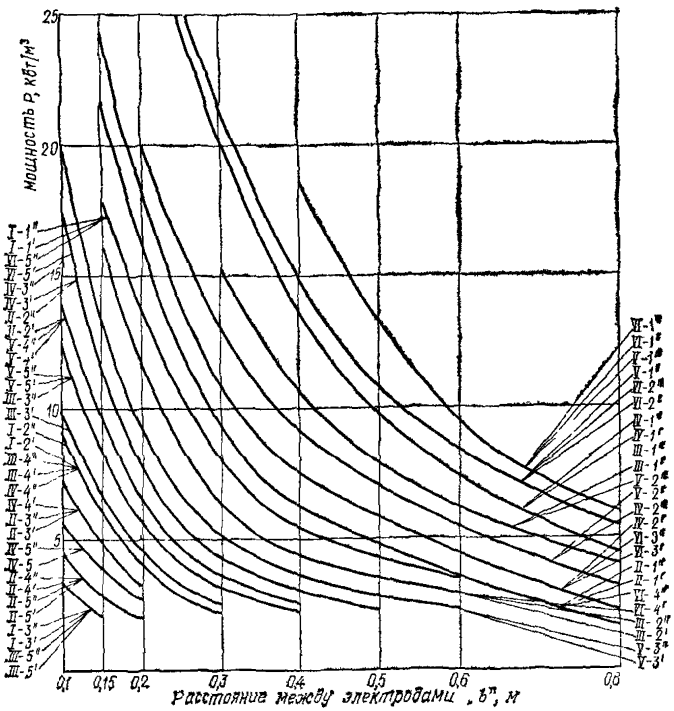


Рис. 20в. График для расчета периферийного прогрева при одностороннем расположении полосовых электродов бетона конструкций толщиной B**=30 см** I-1, I-2, I-3, I-4, I-5 — при напряжении 49 В; II-1, II-2, II-3, II-4, II-5 — 60 В; III-1, III-2, III-3, III-4, III-5 — 70 В; IV-1, IV-2, IV-3, IV-4, IV-5 — 85 В; V-1, V-2, V-3, V-4, V-5 — 103 В; VI-1, VI-2, VI-3, VI-4, VI-5 — 121 В; расчетное удельное электрическое сопротивление *1, 2, 3, 4, 5* — соответственно 2, 4, 8, 12, 16 Ом·м; при ширине полосовых электродов 0,02 м — *1′, 2′, 3′, 4′, 5′* и 0,05 м — *1″, 2″, 3″, 4″, 5″*

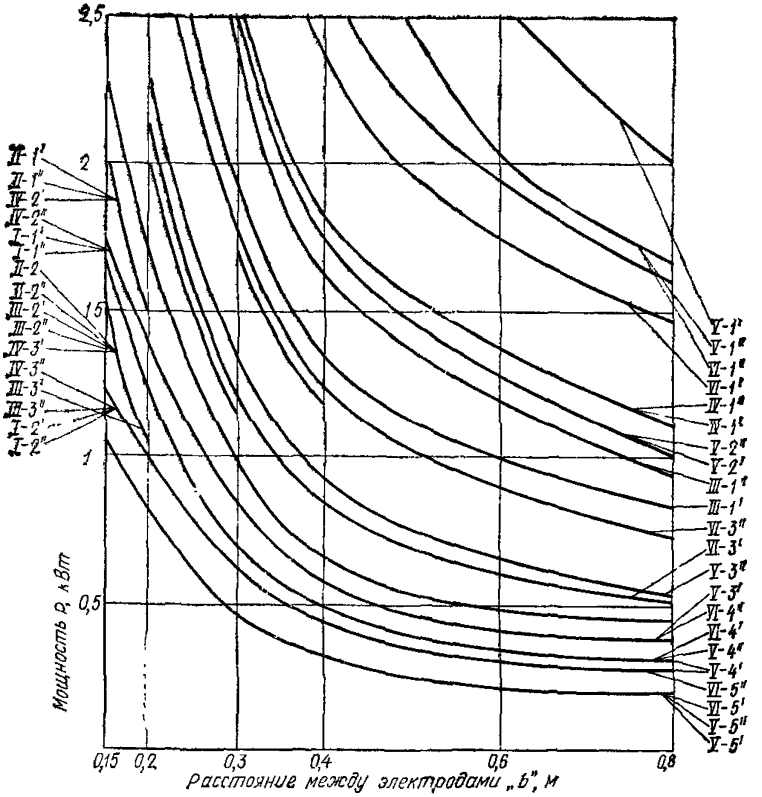


Рис. 21. График для расчета периферийного нагрева бетона конструкций толщиной более 30 см с помощью полосовых электродов (обозначения — по рис. 20в)

сов — не более 40 см. При этом возможны следующие схемы коммутации (рис. 22):

а) все щиты опалубки подключаются к одной фазе, арматура заземляется (однофазный ток);

б) половина щитов подключается к одной фазе, вторая половина заземляется (однофазный ток);

в) опалубка разделяется на три части, каждая из которых подключается к одной из фаз, арматура заземляется (трехфазный ток);

г) опалубка разделяется на три части, каждая из которых подключается к одной из фаз, арматура не заземляется (трехфазный ток).

Электрическое сопротивление системы при использовании схемы *б* вместо схемы *а* увеличивается в 2 раза.

Щиты металлической опалубки, подключенные к разным фазам, должны быть разделены изоляторами из пластмассы или дерева шириной не менее двойной толщины защитного слоя арматуры.

Электрическое сопротивление системы «металлический щит опалубки — арматура» определяется по формуле

$$R = \frac{\rho_{\text{расч}}}{\pi l} \ln\left[\frac{Sq}{2\pi d} \operatorname{sh}\left(\frac{\pi S}{q}\right)\right], \qquad (33)$$

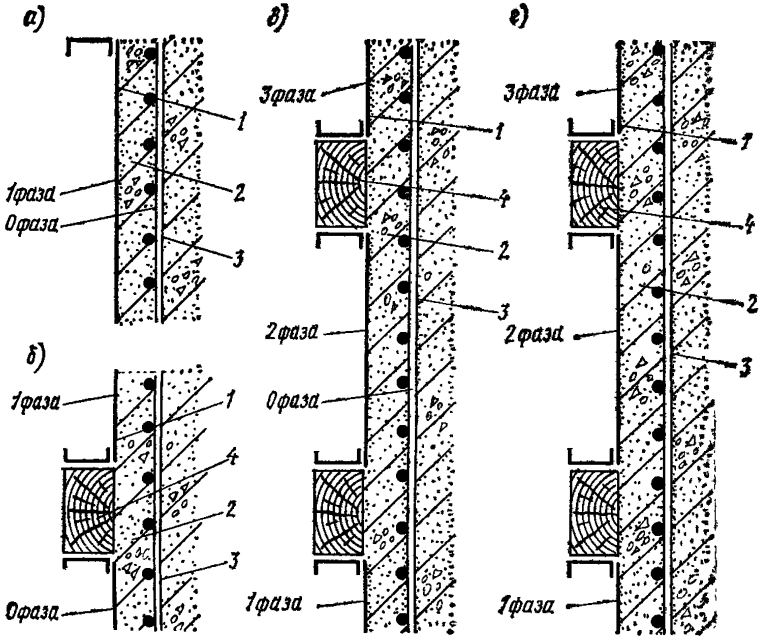


Рис. 22. Схема коммутации прогрева с использованием в качестве электродов щитов металлической опалубки

а, б — для однофазного тока; *в, г* — для трехфазного тока; *1* — щит опалубки; *2* — бетон; *3* — арматурная сетка; *4* — изолятор

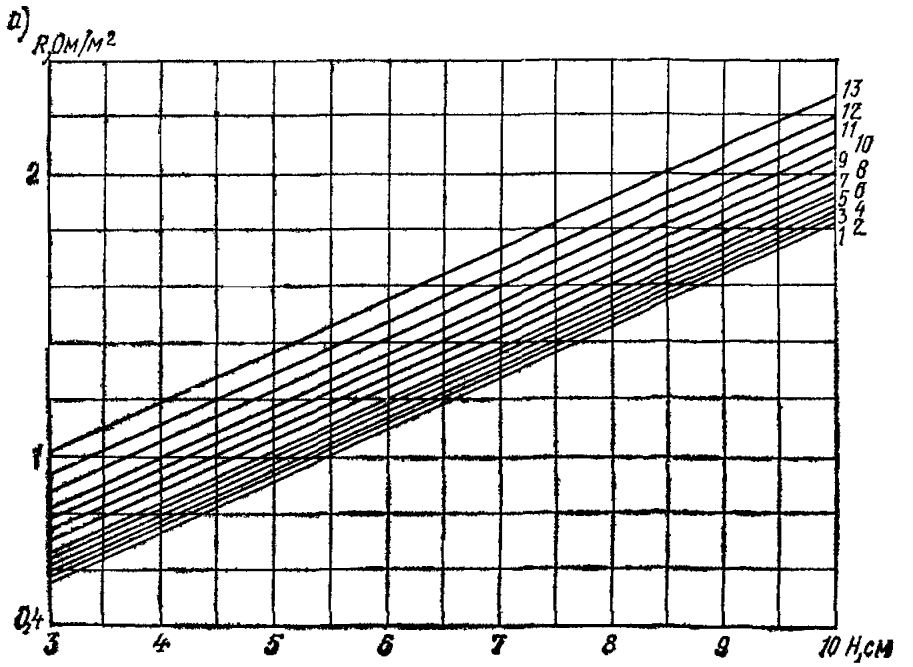
где S — толщина защитного слоя, м;
q — размер ячейки арматуры, м;
sh — синус гиперболический;
d — диаметр арматурных стержней;
l — общая длина стержней на 1 м² арматурной сетки.

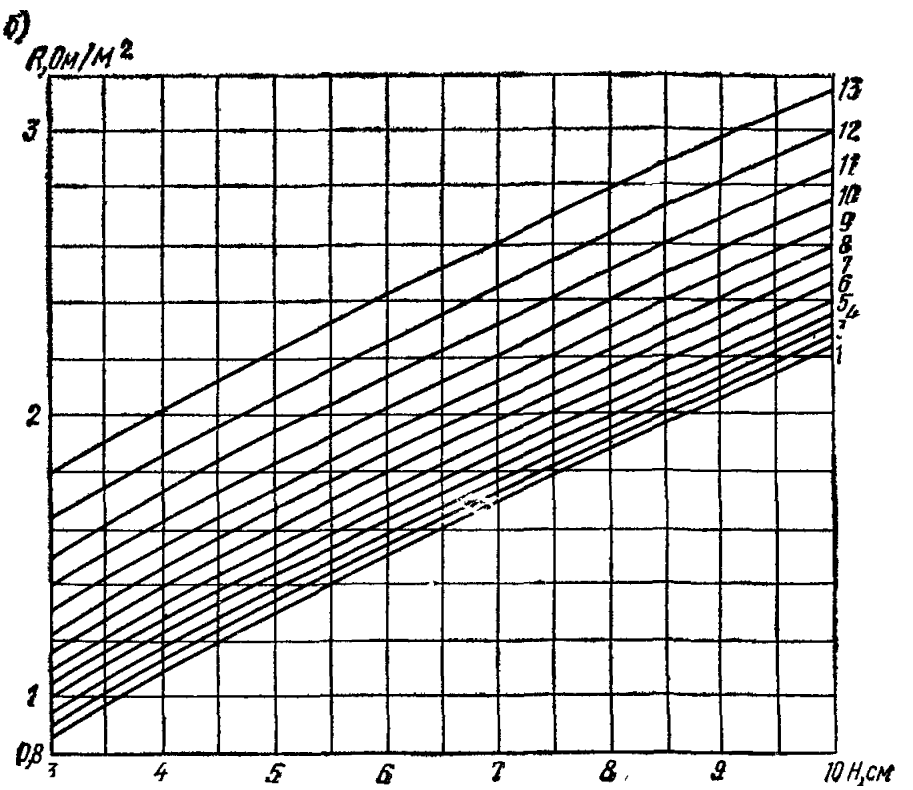
Если арматурная сетка изготовлена из стержней разного диаметра и если размеры ячейки в разных направлениях различны, электрическое сопротивление между опалубкой и каждой системой параллельных стержней R_1 и R_2 вычисляется отдельно, а затем находят общее сопротивление по формуле

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \qquad (34)$$

По формуле (33) построены графики на рис. 23, по которым можно определять электрическое сопротивление системы при разных значениях S, q и d.

8.22. Стержневые электроды наиболее целесообразно применять в виде плоских групп, электроды которых подключают к одной фазе (рис. 24, *а*). Использование таких электродов приводит к большей равномерности температурного поля в бетоне, чем при ином расположении стержневых электродов. Удельная электрическая мощность при электропрогреве бетона плоскими группами стержневых


а)
R,Ом/м²
2
1
0,4
3
4
5
6
7
8
9
10 H,см
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1


б)
R,Ом/м²
3
2
1
0,8
3
4
5
6
7
8
9
10 H,см
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

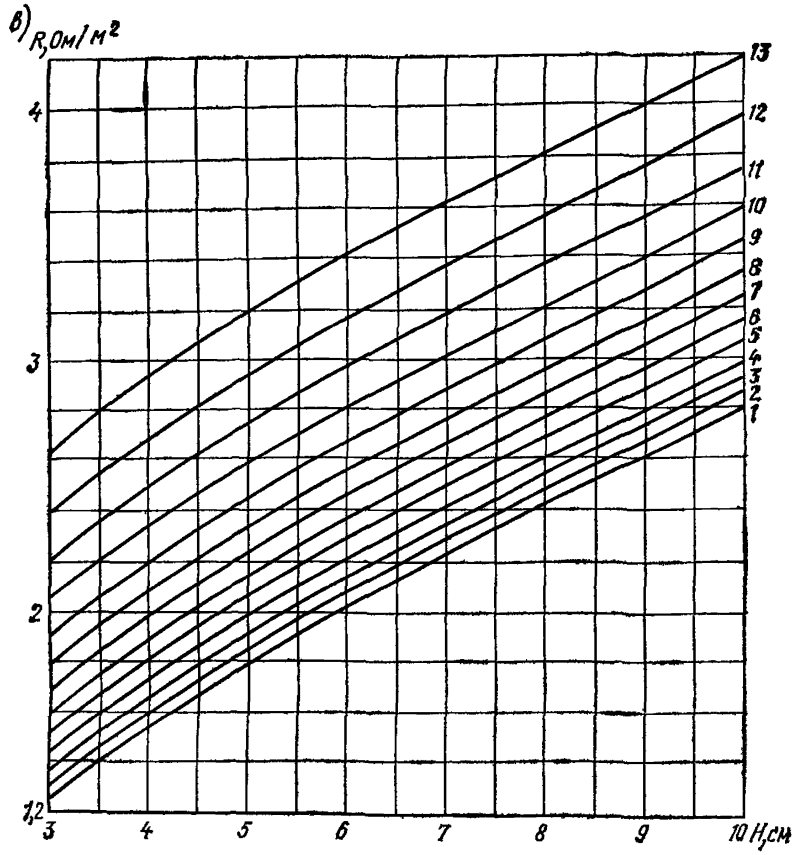


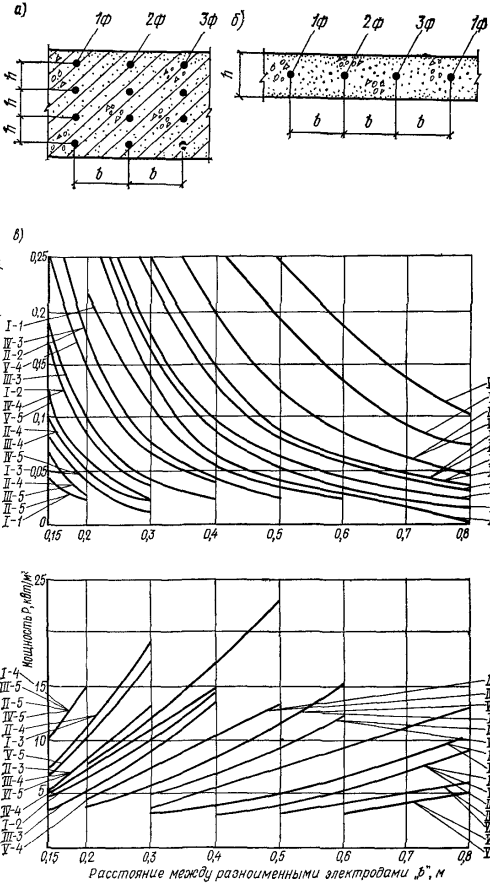
Рис. 23. Графики для определения электрического сопротивления защитного слоя бетона при периферийном прогреве с использованием в качестве электродов щитов металлической опалубки при размере ячейки арматурной сетки: *а* — 10 см; *б* — 20 см; *в* — 30 см; *1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13* — диаметры арматурных стержней соответственно 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 мм

электродов определяется по формуле

$$P = \frac{3{,}14 \cdot 10^{-3} U^2}{\rho_{\text{расч}} bh \left(\alpha \ln \frac{h}{\pi d} + \pi \frac{b}{h} \right)}, \qquad (35)$$

где d — диаметр электрода, м;
h — расстояние между осями электродов в плоской группе, м;
b — расстояние между осями электродов в соседних плоских группах, м.

По формуле (35) построена номограмма на рис. 24, *в*. При ее построении отношение $\frac{b}{h}$ принято таким, чтобы в бетоне температурные градиенты в процессе электропрогрева не превышали 1° С/см. Диаметр электродов принят равным 6 мм. Номограмма позволяет:


а)
1ф
2ф
3ф
б)
1ф
2ф
3ф
1ф
h
b
в)
Расстояние между одноименными электродами h, м
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
I-1
IV-3
II-2
V-4
III-3
I-2
IV-4
V-5
II-4
III-4
IV-5
I-3
II-4
III-5
II-5
I-1
VI-1
V-1
IV-1
VI-2
V-2
III-1
VI-3
IV-2
II-1
V-3
VI-4
III-2
0,15
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
Мощность P, квтч
25
15
10
5
I-4
III-5
II-5
IV-5
II-4
I-3
V-5
II-3
III-4
II-5
IV-4
I-2
III-3
V-4
II-2
IV-3
VI-4
I-1
III-2
V-3
II-1
VI-3
IV-2
V-2
III-1
VI-1
VI-2
V-1
VI-1
Расстояние между разноименными электродами „b", м

г)

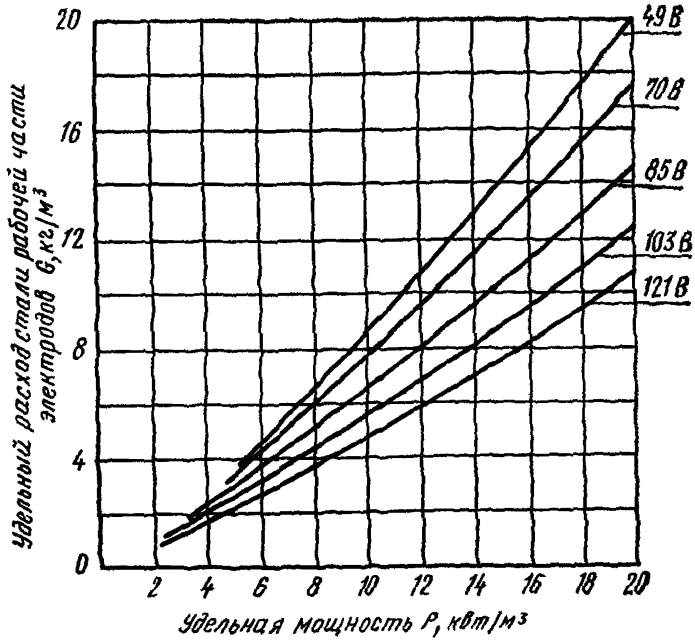


Рис. 24. Прогрев бетона стержневыми электродами

а — плоскими электродными группами; *б* — узких сечений — одиночными электродами; *в* — номограмма для расчета прогрева плоскими электродными группами (обозначения как на рис. 20); *г* — график для определения расхода электродной стали диаметром 6 мм при использовании плоских групп стержневых электродов

а) по заданным удельной мощности P, напряжению U и известному удельному электрическому сопротивлению $\rho_{расч}$ определить необходимое расстояние между плоскими электродными группами b и между электродами в группе h;

б) по заданным удельной электрической мощности P, расстоянию между плоскими электродными группами b и известному удельному электрическому сопротивлению $\rho_{расч}$ определить необходимое напряжение на электродах U и расстояние между электродами в плоской группе h;

в) по заданным напряжению на электродах U, расстоянию между плоскими электродными группами b и известному удельному электрическому сопротивлению $\rho_{расч}$ определить расстояние между электродами в плоской группе h и удельную электрическую мощность P.

Расход стали при использовании плоских групп стержневых электродов можно ориентировочно принимать по графику на *рис. 24, г.*

8.23. Для электропрогрева бетонных и железобетонных элементов малой толщины и значительной протяженности используют оди-

ночные стержневые электроды (рис. 24, *б*), которые устанавливают в бетон и подключают к разным фазам. Удельная электрическая мощность при таком размещении электродов определяется по формуле

$$P = \frac{3{,}14 \cdot 10^{-3} U^2}{\rho_{\text{расч}} B \left(\alpha \ln \frac{B}{\pi d} + \frac{\pi b}{B} \right)}. \qquad (36)$$

Для электрического расчета прогрева элементов малой ширины одиночными стержневыми электродами можно пользоваться номограммой на рис. 24, *в*, считая $B = h$.

8.24. В случаях, когда применение плоских групп невозможно из-за наличия в конструкции соответствующим образом расположенной арматуры, стержневые электроды размещают в шахматном порядке. Схема коммутации электродов приведена на рис. 25, *б*, график для электрического расчета прогрева на рис. 25, *а*.

График на рис. 25, *в* позволяет:

а) по заданным удельной электрической мощности P, напряжению на электродах U и известному удельному электрическому сопротивлению $\rho_{\text{расч}}$ определить требуемые расстояния между электродами $b = h$;

б) по заданным удельной электрической мощности P, расстояниям между электродами $b = h$ и известному удельному электрическому сопротивлению $\rho_{\text{расч}}$ определить требуемое напряжение на электродах U;

в) по заданным расстояниям между электродами $b = h$, требуемому напряжению на электродах U и известному удельному электрическому сопротивлению $\rho_{\text{расч}}$ определить удельную электрическую мощность P.

8.25. Струнные электроды применяют для электропрогрева бетонных и железобетонных конструкций, длина которых значительно больше размеров поперечного сечения — колонн, балок, прогонов, монолитных элементов сборно-монолитных конструкций и т. п.

Если прогрев струнными электродами конструкции с четырьмя арматурными стержнями в углах сечения осуществляется в деревянной опалубке, струну или группу струн устанавливают по оси конструкции (рис. 26, *а*, *б*) и подключают к одной фазе, а арматурные стержни — к другой фазе или к нулевому проводу. Удельная электрическая мощность определяется по формуле

$$P = \frac{6{,}28 \cdot 10^{-3} U^2}{\rho_{\text{расч}} B^2 \ln \frac{2b}{d} \sqrt[4]{\frac{b}{2d}}}, \qquad (37)$$

где B — сторона сечения конструкции, м;

b — расстояние от оси струны до осей арматурных стержней в углах сечения, м.

По формуле (37) построена номограмма на рис. 26, *в*, которая позволяет:

а) по заданной удельной электрической мощности P, известным расстоянию между осями струнного электрода и арматурных стержней b, диаметру арматурных стержней d и удельному электрическому сопротивлению $\rho_{\text{расч}}$ определить требуемое напряжение U и диаметр струнного электрода d;

б) по заданному напряжению U, известным расстоянию между осями струнного электрода и арматурных стержней b, диаметру арматурных стержней d и удельному электрическому сопротивлению $\rho_{расч}$ определить диаметр струнного электрода d и удельную электрическую мощность P.

8.26. При электропрогреве конструкций квадратного или близкого к квадратному сечения с часто расположенными на периферии продольными арматурными стержнями, а также конструкций в металлической опалубке либо в деревянной опалубке, обшитой изнутри кровельной сталью (рис. 26, *б*), струну или группу струн устанавливают по оси конструкции и подключают к одной фазе, густой арматурный каркас или металлическую опалубку (металлическую обшивку деревянной опалубки) — к другой фазе или к нулю. Удель-

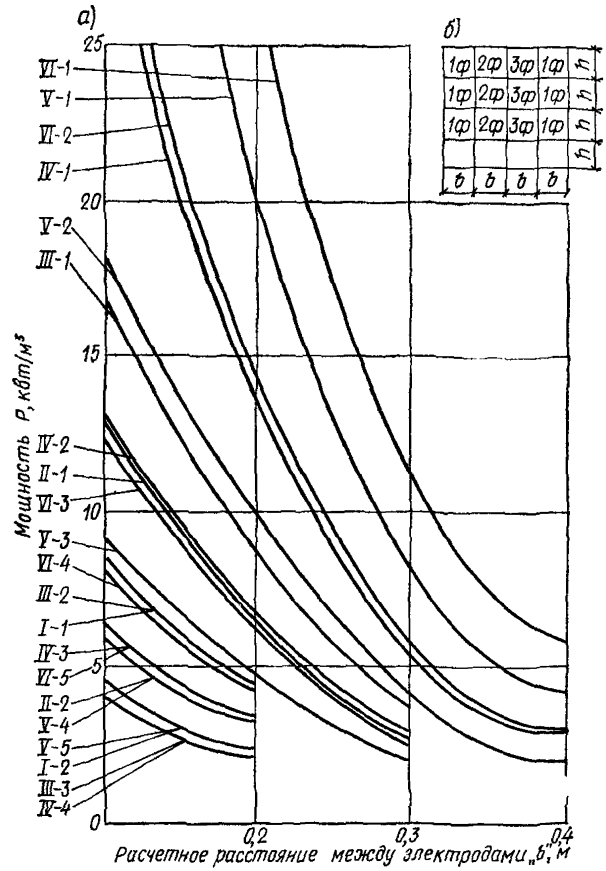


Рис. 25. Прогрев бетона стержневыми электродами, расположенными в шахматном порядке

а — график для расчета (обозначения как на рис. 20); б — рекомендуемая схема подключения электродов

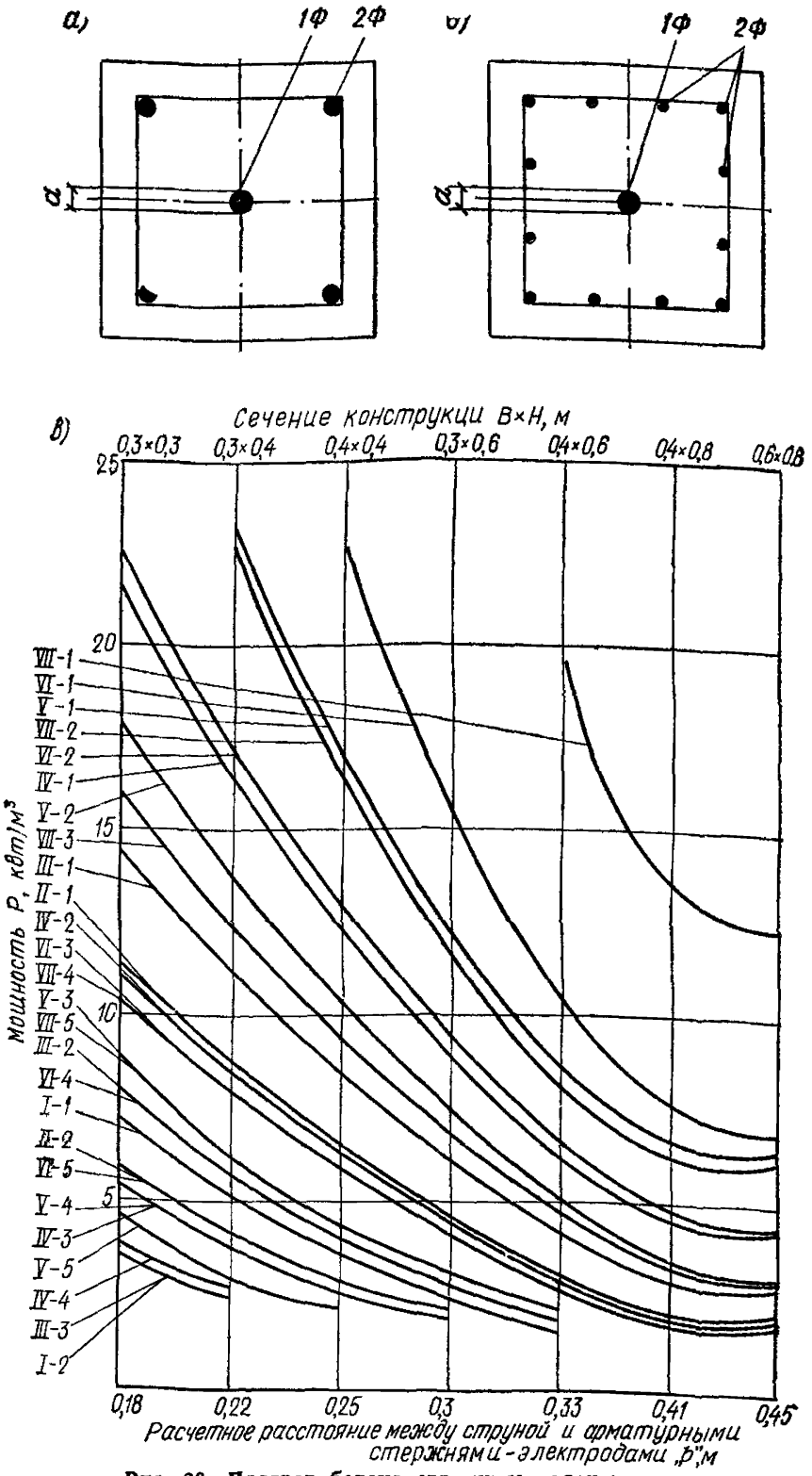


Рис. 26. Прогрев бетона струнными электродами

а — схема подключения при прогреве конструкций с четырьмя стержнями в углах сечения; *б* — то же, с часто расположенными арматурными стержнями на периферии сечения или в металлической опалубке; *в* — номограмма для расчета прогрева (обозначения как на рис. 20)

ная электрическая мощность определяется по формуле

$$P = \frac{6{,}28 \cdot 10^{-3} U^2}{\rho_{\text{расч}} B^2 \ln \frac{b}{d}}, \qquad (38)$$

где B — сторона сечения конструкции, м; b — расстояние от оси струны до арматуры или опалубки, подключенной к второй или нулевой фазе, м.

Величину удельной электрической мощности при электропрогреве струнными электродами по схеме, приведенной на рис. 26, *б*, можно ориентировочно определить по номограмме на рис. 26, *в*, умножая полученное значение на 2.

8.27. При большой длине конструкции вместо одной струны возможна установка двух или трех струн по длине (рис. 27), подключаемых к разным фазам.

Электрический расчет прогрева в этих случаях можно производить по номограмме на рис. 26, *в* для варианта, приведенного на рис. 26, *а* или той же номограммой с умножением полученного значения на 2 для варианта, приведенного на рис. 26, *б*, причем при двух струнах найденное значение мощности необходимо уменьшить в 2 раза, при трех струнах — в 1,73 раза.

Если диаметр струнного электрода, определенный расчетом или по номограмме на рис. 26, *в*, превышает 12—16 мм, для экономии металла и увеличения равномерности температурного поля в бетоне рекомендуется одиночную струну заменить пучком струнных электродов меньшего диаметра. Условие электрической эквивалентности определяется формулой

$$D = d \sqrt[n-1]{\frac{d}{nd_2}}, \qquad (39)$$

где D — диаметр пучка электродов, м; d_2 — диаметр струнных электродов пучка, м.

График для расчета пучков струнных электродов, электрически эквивалентных одиночным струнам, приведен на рис. 28.

Необходимо учитывать, что расстояние в свету между соседними струнами пучка должно не меньше чем в 1,33 раза превышать наибольший размер зерен крупного заполнителя.

8.28. При изменении расчетного удельного электрического сопротивления бетона (вследствие использования цемента другого завода-поставщика, введения в смесь добавок и т. п.) электрическая мощность возрастает пропорционально снижению ρ.

Для сохранения первоначальной электрической мощности при изменении $\rho_{\text{расч}}$ необходимо уменьшить напряжение на электродах $Ub\sqrt{\rho_{\text{расч}}^1/\rho_{\text{расч}}^2}$ раз, где $\rho_{\text{расч}}^1$ — первоначальное: $\rho_{\text{расч}}^2$ — измененное значение расчетного удельного электрического сопротивления бетона.

Допустимая длина электрода (полосового, стержневого, струнного) определяется допустимой величиной потери напряжения по его длине. При условии потери не более 2,5% напряжения, подведенного к одному концу электрода, его допустимая длина $l_{эл} = 0{,}5fR_б$, подведенного к двум концам — $l_{эл} = fR_б$, где f — сечение электрода, м^2; $R_б$ — электрическое сопротивление бетона при $\rho =$

$=\rho_{расч}$, определяемое по формуле

$$R_б = \frac{U^2}{1000P} \qquad (40)$$

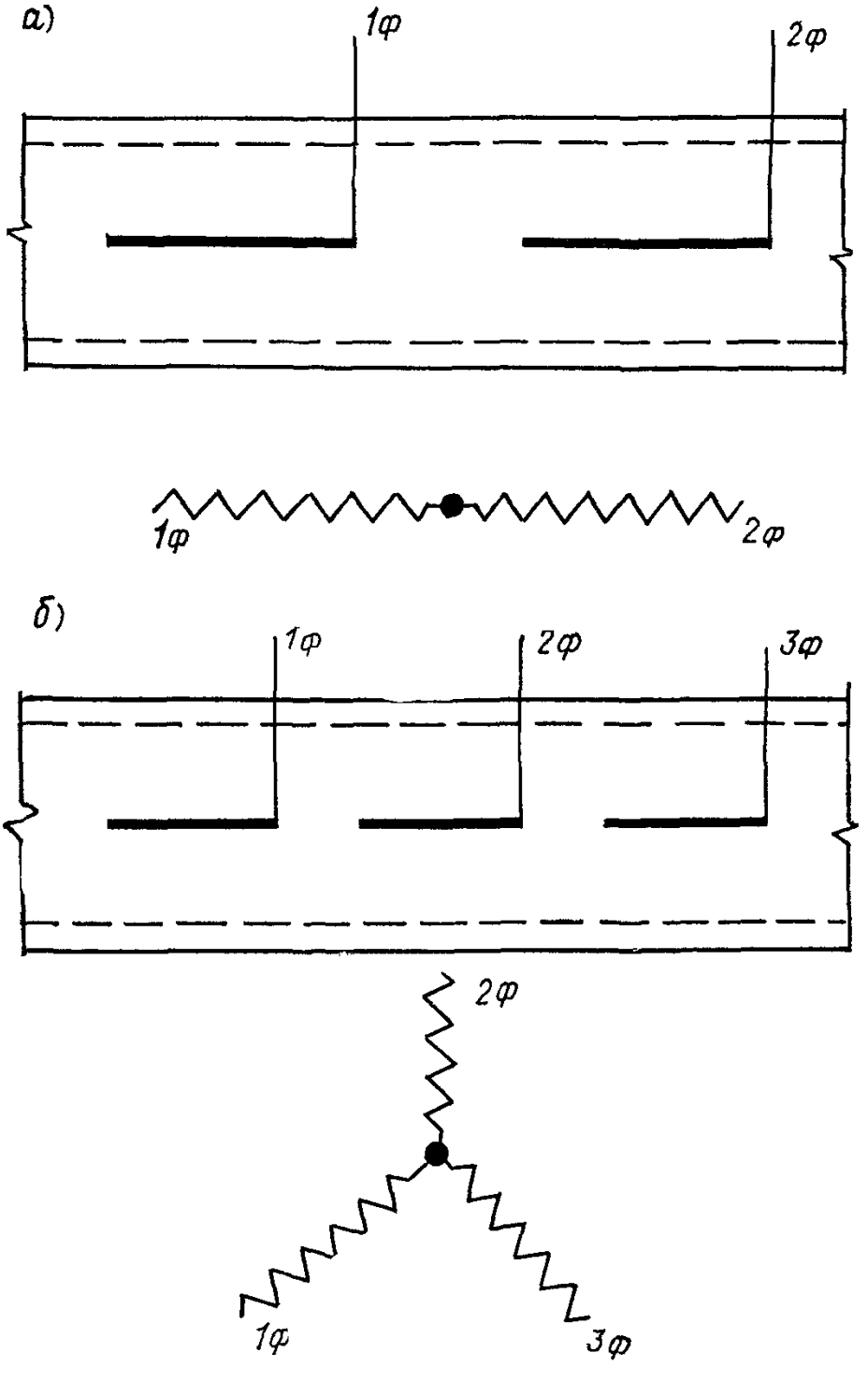


Рис. 27. Схема подключения электродов при установке двух или трех струн по длине конструкции

Электрическая мощность P определяется в соответствии с положениями данного раздела.

Потеря напряжения приводит к выделению части расчетного количества тепла не в бетоне, а в металле электрода.

8.29. Приведенные выше положения о равномерности температурного поля в бетоне при использовании пластинчатых, полосовых и стержневых электродов относятся к прогреву неармированного бетона. Стальная арматура в бетоне может существенно нарушить равномерность электрического поля между электродами и соответственно привести к значительной неравномерности температурного поля в конструкции. Одновременно наличие арматуры может вызвать понижение электрического сопротивления между электродами и пропорциональное увеличение электрической мощности при тех же значениях напряжения на электродах, расстояния между электродами и удельного электрического сопротивления бетона.

8.30. В случае если арматурные сетки или плоские каркасы расположены параллельно электродам, т. е. направление тока между разноименными электродами перпендикулярно плоскости сетки или плоского каркаса, и сетки или каркасы, находящиеся в разных плоскостях, не соединены друг с другом, арматура практически не оказывает влияния на равномерность температурного поля в бетоне и электрическую мощность. Примером служат верхняя и нижняя сетки при двойном армированном перекрытии, полов, днищ и т. п., когда положение верхней сетки определяется фиксаторами и не из металла, а из токонепроводящего материала — бетона или раствора, пластмассы.

В случаях, когда арматурные сетки направлены от одного электрода к другому (электроды разноименные), ток частично проходит по этим стержням, нагревая их и пристержневые зоны бетона больше, чем нагревается бетон в остальных зонах. Сказанное относится и к тем арматурным стержням, хомутам, фиксаторам из стали, которые соединяют между собой арматурные элементы, расположенные параллельно пластинчатым, полосовым или стержневым электродам.

8.31. Чем меньше расстояние между электродами и арматурой, тем больше неравномерность температурного поля в бетоне. Рекомендуется при напряжении на электродах в период подъема температуры бетона 49—60 В соблюдать расстояние между электродами и арматурой не менее 25 мм, при 70—85 В — не менее 40 мм.

8.32. При периферийном электропрогреве железобетонных конструкций с пространственным армированием ар-

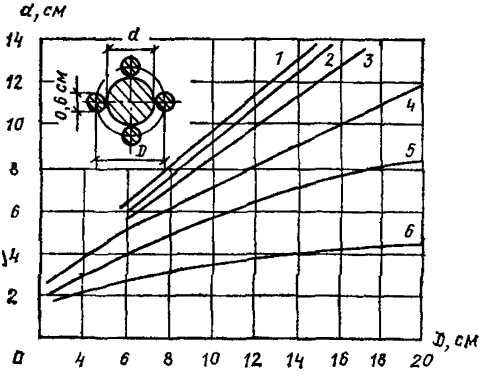


Рис. 28. График для расчета эквивалентных диаметров струнных электродов
1, 2, 3, 4, 5, 6 — число струн в пучке соответственно 10, 8, 6, 4, 3, 2

матурные сетки, расположенные параллельно электродам, экранируют электрическое поле в бетоне. В результате тепло образуется только в периферийном защитном слое бетона, внутренние зоны конструкции нагреваются за счет теплопередачи от периферийных слоев, при этом их температура растет значительно медленнее, чем в периферийных. Разница температуры бетона в периферийных и внутренних зонах тем больше, чем больше толщина конструкции и чем выше скорость подъема температурных периферийных слоев. Во избежание недопустимых температурных перепадов температура изотермического прогрева в конструкциях толщиной более 40 см ограничена (см. п. 4.9).

8.33. При сквозном прогреве пластинчатыми, полосовыми и стержневыми электродами бетона железобетонных конструкций, расположение арматуры в которых вызывает искажение силового поля, величина электрической мощности больше, как правило, в 1,3—1,6 раза, чем указано в пп. 8.17, 8.25 для аналогичного размещения электродов в неармированном бетоне, что необходимо учитывать в расчетах.

8.34. Использовать арматуру железобетонных конструкций в качестве электродов допускается лишь в тех случаях, когда применение электродов, перечисленных в табл. 42, представляется сложным или невозможным. Во избежание возможного пересушивания приэлектродных слоев из-за высокой температуры бетона вблизи электродов и соответствующего уменьшения сцепления арматуры с бетоном скорость подъема температуры в наиболее нагреваемых зонах не должна превышать 8° С в час. Для обеспечения большей равномерности температурного поля в бетоне рекомендуется применять по возможности сетки с малыми размерами ячеек.

8.35. Кольцевые электроды (рис. 29), применяемые при электропрогреве бетона вертикальных неармированных или слабо армированных стыков колодезного типа, эквивалентны одиночным стержневым электродам с длиной, равной развернутой длине кольцевого электрода в бетоне.

Плавающие электроды из круглых прутков, заглубленных в бетон на 2—5 см (рис. 29, *б*), также эквивалентны одиночным стержневым электродам.

Арматурную сетку с размерами ячейки не более 15 см, используемую в качестве электрода, например, при прогреве плит перекрытий, полов или днищ резервуаров с однородным армированием, следует с достаточной точностью принимать эквивалентной пластинчатому электроду.

Арматуру из жестких прокатных профилей, используемую в качестве электрода (рис. 29, *в*), рекомендуется принимать эквивалентной струнному электроду с диаметром, равным диаметру окружности, вписанной в сечение профиля по его большой оси.

Параллельно расположенные плавающие арматурные сетки, не соединенные одна с другой металлическими стержнями и используемые в качестве разноименных электродов, рекомендуется принимать эквивалентными пластинчатым электродам. Величину электрической мощности, определенную по формуле (30) или по графику на рис. 18, *б*, необходимо уменьшать в 1,3 или в 1,15 раза при расстоянии между сетками соответственно до 20 и более 20 см.

При использовании электродов других конфигураций, не упомянутых в пп. 8.17—8.27, их расчет небходимо осуществлять, приводя их к одному из типов электродов, перечисленных в данном разделе.

ВЫДЕРЖИВАНИЕ ЗАДАННОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЭЛЕКТРОПРОГРЕВА БЕТОНА

8.36. Выдерживание заданного температурного режима при электропрогреве, как и при других способах электротермообработки, сводится к регулированию электрической мощности, которая должна изменяться при переходе от периода подъема температуры к изотермическому прогреву. Кроме того, в процессе электропрогрева в связи с постоянным изменением электрического сопротивления бетона (см. п. 8.11) выдерживание неизменной величины мощности требует применения одного из следующих дополнительных приемов регулирования:

а) изменения напряжения питающей сети;

б) изменения схемы коммутации электродов для изменения величины электрического сопротивления бетона между электродами;

в) прерывистой (импульсной) подачи напряжения на электроды.

8.37. Регулирование напряжения на электродах для обеспечения постоянной величины электрической мощности при изменении электрического сопротивления бетона следует осуществлять в соответствии с зависимостью, определяемой формулой

$$U = \sqrt{1000PR}, \qquad (41)$$

где R — электрическое сопротивление между электродами, Ом.

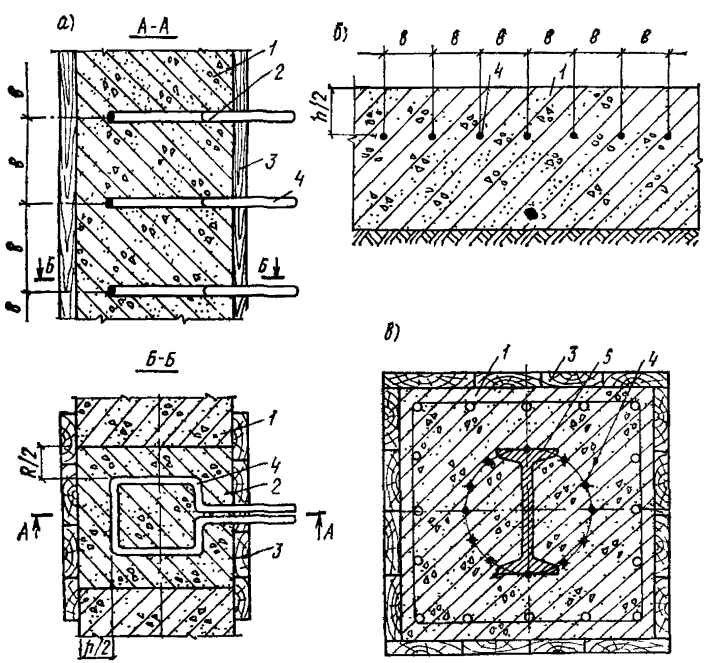


Рис. 29. Схемы электродов, приравниваемых к основным типам электродов
а — кольцевые; *б* — плавающие; *в* — арматура из жестких профилей; *1* — бетон монолитной конструкции; *2* — бетон замоноличивания; *3* — опалубка; *4* — электрод; *5* — жесткая арматура

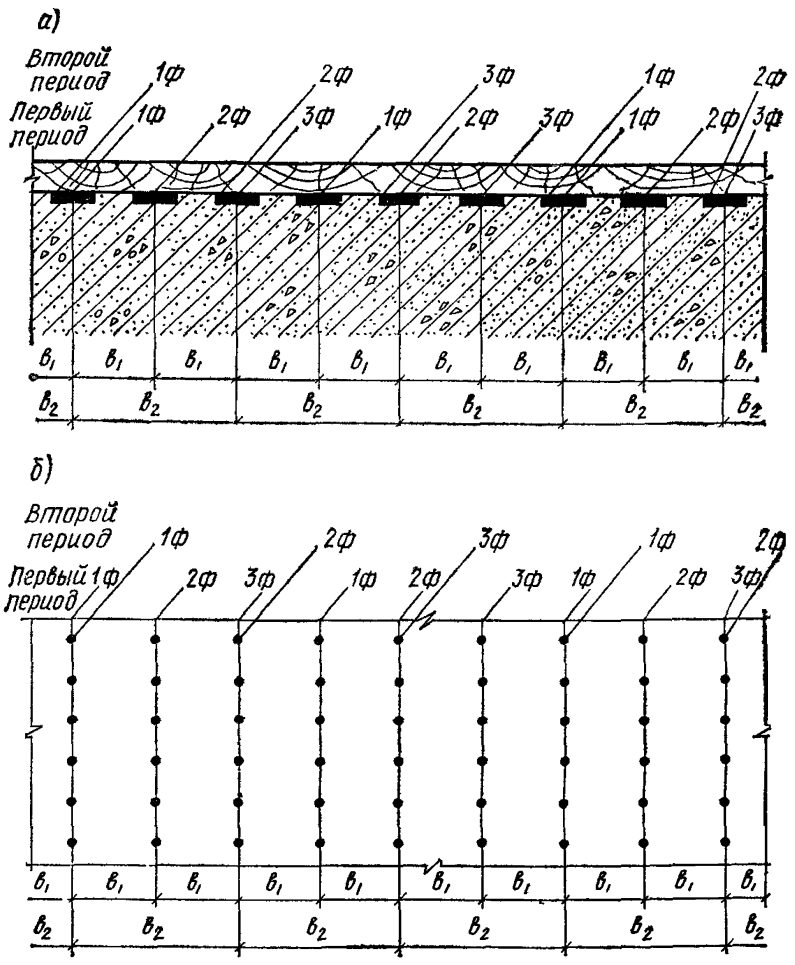


Рис. 30. Изменение схемы коммутации электродов для выдерживания заданного температурного режима в разные периоды прогрева

а — полосовые электроды при периферийном прогреве; *б* — стержневые электроды

Электрическое сопротивление R изменяется пропорционально изменению удельного электрического сопротивления. При электропрогреве монолитных конструкций для выдерживания заданного температурного режима необходимый диапазон изменения напряжения не превышает 2—2,5 раза, что вполне обеспечивается серийно выпускаемыми понижающими трансформаторами для электропрогрева бетона.

8.38. Изменение схемы коммутации электродов при неизменном напряжении питающей сети предусматривает возможность включения в электрическую цепь различных участков бетона с разным электрическим сопротивлением. При этом по окончании подъема

температуры бетона, когда необходимо уменьшить электрическую мощность, длина участка бетона между соседними разноименными электродами должна быть, как правило, увеличена, а через некоторое время в связи с ростом удельного электрического сопротивления— снова уменьшена. Примеры изменения схемы коммутации электродов в процессе электропрогрева приведены на рис. 30.

8.39. Прерывистая подача напряжения может осуществляться при отсутствии многоступенчатых трансформаторов путем ручного включения и отключения или автоматически.

В практике электропрогрева ручное включение и отключение осуществляется в период как подъема температуры бетона, так и изотермического прогрева, причем включение производят, когда температура бетона в некоторый момент отстает от заданной на 3—5° С, а выключение — если она превышает заданную на 3—5° С. Включение и отключение напряжения выполняется с помощью пакетных выключателей и переключателей или рубильников (разд. 15 данного Руководства).

При использовании прерывистой подачи напряжения необходимо, чтобы величина напряжения в питающей сети была не меньше максимально необходимой величины напряжения на электродах, которая определяется расчетом.

8.40. Разновидностью автоматического включения и отключения является импульсный прогрев, при котором обычно используется сетевое напряжение, исключающее потребность в понижающих трансформаторах. Напряжение подается короткими импульсами постоянной продолжительности для данной схемы размещения электродов и заданного температурного режима (10—20 с). Выдерживание заданного температурного режима прогрева осуществляется путем регулирования продолжительности пауз между импульсами.

Продолжительность импульса определяется с учетом того, что ее слишком большая величина может привести к ухудшению качества прогреваемого бетона из-за слишком большого повышения его температуры в короткий промежуток времени. Вначале необходимо в соответствии с указаниями п. 4.20 найти требуемую мощность P, затем пользуясь данными пп. 8.17—8.26, установить необходимую величину напряжения на электродах U на период подъема температуры бетона обычным способом с непрерывной подачей напряжения. После этого по отношению $U_{имп}/U$, (где $U_{имп}$ — напряжение на электродах при импульсном прогреве ($U_{имп}$ больше U), и требуемой мощности P находят допустимую величину импульса τ_1 с помощью графика на рис. 31.

Продолжительность паузы τ_2 определяется по формуле

$$\tau_2 = \tau_1 \left[\left(\frac{U_{имп}}{U} \right)^2 - 1 \right]. \qquad (42)$$

Поскольку напряжение U в процессе электропрогрева бетона обычно изменяют в связи с изменением удельного электрического сопротивления, продолжительность паузы также должна изменяться для выдерживания заданной температуры в каждый конкретный момент. Это осуществляется с помощью системы автоматики, в которую входят датчики температуры, размещенные в бетоне, и реле времени. Описание автоматической схемы регулирования продолжительности пауз приведено в разд. 15 данного Руководства.

8.41. Поскольку при импульсном прогреве ток проходит через бетон лишь в течение некоторой части общей продолжительности тепловой обработки, электрическая мощность в периоды прохождения тока (импульсы) должна быть больше, чем при постоянной подаче напряжения на электроды, во столько раз, во сколько суммарная продолжительность импульса и паузы больше, чем продолжительность импульса. Это требует увеличения установленной мощности, как правило, в несколько раз по сравнению с электрической мощностью при обычном прогреве. Для того чтобы приблизить необходимую величину установленной мощности к значению, близкому к значению при непрерывной подаче напряжения, применяют групповой импульсный прогрев, при котором объем прогреваемого бетона делят на несколько групп (захваток) n, примерно равных по объему. Импульсы тока подают не на весь объем, а по очереди на каждую захватку. В результате электрическая мощность снижается в n раз.

Необходимым условием осуществления группового импульсного прогрева является соблюдение соотношения $n\tau_1 < \tau_{2мин}$, где $\tau_{2мин}$ — минимальная продолжительность паузы за время электропрогрева бетона.

Схема автоматики для осуществления группового импульсного прогрева приведена в разд. 15 данного Руководства.

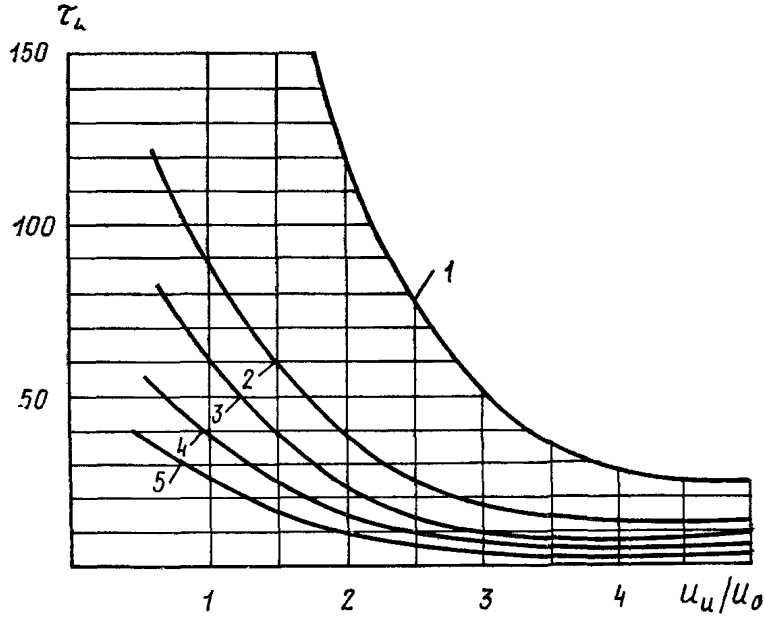


Рис. 31. График определения продолжительности импульсов тока при импульсном прогреве

1—5 — требуемая мощность P_0 при непрерывном прогреве в период подъема температуры соответственно 2, 6, 10, 14, 18 кВ/м³; $U_и$ и U_0 — напряжение на электродах соответственно при импульсном и непрерывном способах, В

ЭЛЕКТРОПРОГРЕВ БЕТОНОВ С ПРОТИВОМОРОЗНЫМИ ДОБАВКАМИ

8.42. Для предотвращения замерзания бетонной смеси и свежеуложенного бетона при низких температурах воздуха и длительных сроках выдерживания до укладки или до начала прогрева в смесь при ее приготовлении следует вводить противоморозные добавки. Добавки вводят не для обеспечения беспрогревного твердения бетона на морозе, а с целью понижения температуры замерзания бетонной смеси и бетона.

8.43. Электропрогрев бетонов с противоморозными добавками рекомендуется применять: при длительном транспортировании бетонной смеси в необогреваемых емкостях или выдерживании ее перед укладкой малыми порциями, например при замоноличивании стыков; при бетонировании конструкций на промороженном основании и замоноличивании стыков, при возведении тонкостенных конструкций, в случае необходимости длительного выдерживания свежеуложенного бетона перед началом электропрогрева, например для установки и подключения большого количества стержневых электродов, при бетонировании любых конструкций при температуре воздуха ниже —30° С.

8.44. Бетоны с противоморозными добавками, подвергнутые остыванию ниже 0° С и последующему электропрогреву, при соблюдении всех технологических требований по окончании тепловой обработки достигают прочность при сжатии в пределах 75—90% прочности эталона-образцов нормального хранения аналогичного состава, а после дополнительного 28-суточного выдерживания в нормальных условиях — 100—120%; прочность при осевом растяжении, при изгибе, сцепление с арматурой, призменную прочность и морозостойкость не меньше, чем у эталона; модуль упругости на 15—25% выше, чем у эталона; водопоглощение ниже, чем у эталона.

При необходимости получения после прогрева прочности при сжатии менее 75—90% проектной продолжительность изотермического прогрева бетона с противоморозными добавками может быть существенно сокращена (до 4 ч), что позволяет экономить электроэнергию, повышать оборачиваемость инвентарной опалубки и электрооборудования.

8.45. В качестве противоморозных добавок в бетоны, подвергаемые электропрогреву, рекомендуются хлористый кальций+хлористый натрий (ХК+ХН), хлористый кальций+нитрит натрия (ХК++НН), нитрит-нитрат-хлорид кальция (ННХК), нитрит натрия (НН). При необходимости эти добавки вводят в бетонную смесь в сочетании с замедлителями схатывания цемента (см. разд. 6 данного Руководства).

Не допускается применение в бетонах, подвергаемых электропрогреву, добавки поташа, которая приводит к значительному недобору прочности (более 30%) и пониженной морозостойкости, а также добавок, содержащих мочевину (НКМ, ННКМ, ННХКМ), в связи с тем, что она разлагается при температуре выше 40° С.

8.46. Требования к применяемому песку для бетонов с противоморозными добавками, подвергаемых электропрогреву, к областям применения таких бетонов по воздействию на стальную арматуру и стойкости в агрессивных средах, технологии приготовления водных растворов добавок и бетонных смесей с добавками должны быть такими же, как для бетонов с противоморозными добавками, не

подвергаемыми электропрогреву (см. разд. 6 данного Руководства).

8.47. Допускаемая температура остывания бетонов с противоморозными добавками в зависимости от содержания добавок приведена в табл. 44. При этом удельное электрическое сопротивление бетона, остывшего до этой температуры, не будет превышать 35 Ом·м, что позволяет рационально разместить электроды и осуществить электропрогрев бетона пониженным напряжением (до 127 В) в соответствии с требованиями электробезопасности.

Таблица 44

Допускаемая температура остывания бетона до начала электрогрева, °С		Количество добавок в расчете на безводную соль, % массы воды затворения			
от	до	ХК+НХ	ХК+НН	ННХК	НН
0	—5	0+4	2,5+2,5	3+3	6
—6	—10	0+5	3+3	6+6	10
—11	—15	1+5	6+6	10+10	16
—16	—20	3+7	9+9	—	20

Не разрешается выдерживание бетона при допускаемой температуре остывания более 1,5—2 ч во избежание значительного льдообразования, чрезмерного повышения удельного электрического сопротивления бетона до начала прогрева и ухудшения свойств затвердевшего бетона.

8.48. Рекомендуется до начала бетонных работ определить фактическую величину удельного электрического сопротивления бетона с конкретной добавкой при его остывании до допускаемой температуры.

8.49. Укладку бетонной смеси можно производить без отогрева промороженного основания, стыкуемых элементов, а также без отогрева арматуры и закладных деталей с учетом указаний п. 8.37 данного Руководства.

8.50. Расстояния между электродами следует определять исходя из расчетной величины удельного электрического сопротивления 350 Ом·м или из фактической величины ρ при допускаемой температуре остывания бетона, если оно меньше, чем 35 Ом·м; начальную величину напряжения на электродах U рекомендуется принимать в пределах 103—121 В, а если фактическая величина ρ меньше 30 Ом·м — в пределах 85—103 В.

Ориентировочно расстояние между разноименными электродами при сквозном прогреве рекомендуется принимать от 190 до 210 мм, между осями полосовых электродов при периферийном прогреве — от 160 до 180 мм. Расстояние между разноименными электродами может быть увеличено до 250—300 мм в случае применения добавки ХК+ХН, а также при назначении более высокой концентрации добавок, чем указано в табл. 44 для данной расчетной температуры (но не более предельных значений, приведенных в этой таблице).

8.51. При электропрогреве бетонов с противоморозными добавками, подвергнутых остыванию до температуры ниже 0° С, диапазон изменения удельного электрического сопротивления значительно

больше, чем для бетонов, не остывающих ниже 0° С, и достигает 10—12-кратной величины. В связи с этим рекомендуется для электропрогрева бетона с противоморозными добавками применять понижающие трансформаторы, имеющие большой диапазон регулирования вторичного напряжения, — ТСПК-20А, АОСУ, АОМК, АТМК (см. разд. 15 данного Руководства).

В случае применения понижающих трансформаторов с небольшим диапазоном вторичного напряжения после снижения напряжения на электродах до минимально возможной величины выдерживание заданного температурного режима электропрогрева бетона необходимо осуществлять периодическим включением и отключением напряжения.

ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРОДОВ, СХЕМ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ. ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПРИ ЭЛЕКТРОПРОГРЕВЕ БЕТОНА

8.52. Электропрогрев каждой конструкции можно осуществить с использованием разных типов электродов и схем их размещения. Оптимальный тип электродов, схемы их размещения в бетоне и подключения к питающей сети необходимо выбирать с учетом размеров конструкции и ее конфигурации, расположения арматуры и закладных деталей, количества прогреваемых конструкций и возможностью оборачиваемости опалубки и закрепленных на ней электродов, местных условий производства работ.

8.53. Сквозной прогрев бетона и железобетона пластинчатыми или полосовыми электродами может быть применен при толщине конструкций до 25—30 см в случае использования бетона без добавок и толщиной 50—60 см в случае использования бетона с добавками электролитов. Указанные величины относятся к прогреву бетона пониженным напряжением. Если возможно применение сетевого напряжения 220 В (см. п. 18.28), толщина прогреваемой неармированной конструкции для бетона без добавок и с добавками электролитов может составить соответственно 50 и 100 см.

8.54. Периферийный прогрев полосовыми или пластинчатыми (в виде щитов металлической опалубки) электродами может быть применен для конструкций любой массивности. При этом продолжительность прогрева конструкций толщиной более 40 см больше, чем при сквозном прогреве, в связи с меньшими допускаемыми величинами скорости подъема температуры и температуры изотермического прогрева. В связи с многооборачиваемостью пластинчатых и полосовых электродов сквозной и периферийный прогрев с их применением сравнительно малотрудоемок.

8.55. Сквозной прогрев стержневыми электродами можно применять для любых конструкций, однако в связи с необходимостью изготовления, установки в бетон, подключения и срезки конца каждого электрода при бетонировании вследствие того, что стержневые электроды остаются в бетоне, их применение значительно более трудоемко и дорого по сравнению с пластинчатыми и полосовыми электродами.

8.56. Применение струнных электродов, остающихся в бетоне, требует дополнительного расхода металла; оно столь же или более трудоемко, как применение стержневых электродов. Струнные электроды целесообразно применять, как правило, при прогреве конструкций малого сечения и значительной протяженности при прогреве монолитных элементов сборно-монолитных конструкций.

8.57. Для конструкций всех типов, перечисленных ниже, бетонируемых в металлической опалубке, целесообразно применять периферийный прогрев, используя опалубку в качестве электродов.

8.58. Массивные фундаменты под оборудование, под колонны, фундаментные плиты и свайные ростверки рекомендуется бетонировать с периферийным электропрогревом полосовыми электродами, закрепленными на деревянной опалубке.

8.59. Для ленточных фундаментов, бетонируемых враспор с грунтом, целесообразно применять периферийный электропрогрев с помощью стержневых электродов, забитых в грунт на дне траншеи вдоль ее стенок.

8.60. Бетонные подготовки, полы, покрытия, днища резервуаров толщиной до 20 см, плоские перекрытия толщиной до 30 см рекомендуется бетонировать с периферийным прогревом полосовыми электродами, закрепленными на накладных деревянных щитах (рис. 32), укладываемых на поверхность бетона.

8.61. Ребристые перекрытия целесообразно бетонировать с периферийным электропрогревом полосовыми электродами, закрепленными на деревянных накладных щитах с установкой дополнительных полосовых или стержневых электродов для прогрева бетона ребер.

8.62. Стены и перегородки рекомендуется бетонировать с прогревом полосовыми электродами, закрепленными на деревянной опалубке. В зависимости от толщины конструкций должен осуществляться сквозной или периферийный прогрев.

8.63. Колонны целесообразно бетонировать с периферийным прогревом полосовыми электродами, закрепленными на деревянной опалубке.

8.64. При бетонировании конструкций с элементами разной толщины (фундаменты с консолями, этажерки и т. п.) целесообразно сочетать периферийный прогрев со сквозным прогревом стержневыми электродами.

8.65. При электропрогреве бетона в технологические карты дополнительно к данным, перечисленным в п. 1.3, необходимо вклю-

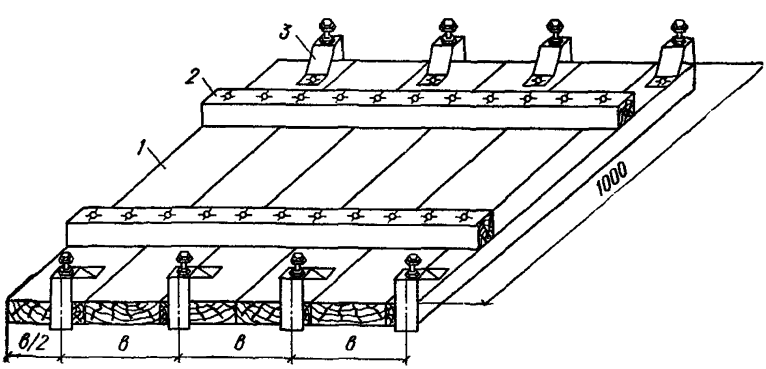


Рис. 32. Схема инвентарного накладного деревянного щита с полосовыми электродами

1 — доска толщиной 40 мм; *2* — брусок; *3* — полосовой электрод

чить схему конструкции с указанием положения арматуры и закладных деталей, расчетную величину удельного электрического сопротивления и особые указания по подключению электродов (с помощью оконцевателя с вилкой и гайки, с помощью зажимных устройств и т. п.).

8.66. Выдерживание требуемого расстояния между электродами и арматурой достигается применением изоляторов соответствующей толщины из затвердевшего раствора, из пластмассы и т. п., укрепляемых на арматуре до начала бетонирования. При использовании металлической опалубки в качестве электродов или полосовых (стержневых) электродов, закрепленных на опалубке, рекомендуется устанавливать между арматурой и опалубкой вертикальные деревянные рейки соответствующей толщины, которые постепенно извлекают из опалубки по мере послойного бетонирования.

8.67. Закладные детали, прилегающие к металлической опалубке, используемой в качестве электрода, или к деревянной опалубке с закрепленными на ней электродами, должны быть отделены от опалубки слоем толя, выступающим вдоль опалубки за контур закладной детали на величину, не меньшую толщины защитного слоя.

8.68. Пластинчатые электроды при их толщине не менее 4 мм можно подключать к питающей сети с помощью вилочного контакта, надеваемого на клеммный болт, или с применением разъема, расположенного в любом месте электрода.

Пластинчатые электроды толщиной менее 4 мм должны иметь вдоль одной из сторон приваренный уголок (электроды из кровельной стали — круглый пруток диаметром 10—12 мм, закатанный в материал электрода) с целью более равномерного распределения подведенного тока по поверхности электрода. К уголку или торцу стержня должен быть приварен клеммный болт крепления вилочного контакта токоподводящего провода.

Полосовые или стержневые электроды, закрепляемые на деревянной опалубке, следует размещать вертикально.

Полосовые или стержневые электроды на инвентарных деревянных щитах опалубки должны быть закоммутированы при изготовлении щита таким образом, чтобы подключение токоподводящих проводов можно было осуществлять не к каждому электроду, а к разъему или к трем либо двум контактным болтам (рис. 33).

При одноразовом использовании полосовых электродов, закрепленных на деревянной опалубке, их концы должны выступать за пределы опалубки на 5—8 см для подключения токоподводящих проводов, которые рекомендуется осуществлять с помощью болта М8—М12 с гайкой, установленного в отверстие на конце электрода.

8.69. Накладные деревянные щиты с закрепленными на них полосовыми электродами рекомендуется укладывать на поверхность бетона по мере ее заглаживания, подключать электроды к питающей сети или электродам соседнего, ранее уложенного щита (рис. 34). После этого на щит укладывают вибратор и вибрируют щит в течение 5—7 с для погружения выступающих за плоскость палубы электродов в бетон с целью обеспечения надежного электрического контакта. Перемычки между одноименными электродами соседних щитов следует выполнять голым алюминиевым или стальным проводом.

8.70. Длину стержневых электродов, устанавливаемых в бетон, необходимо принимать с таким расчетом, чтобы они выступали над утеплителем верхней поверхности конструкции или при их установке горизонтально выступали за пределы деревянной опалубки на

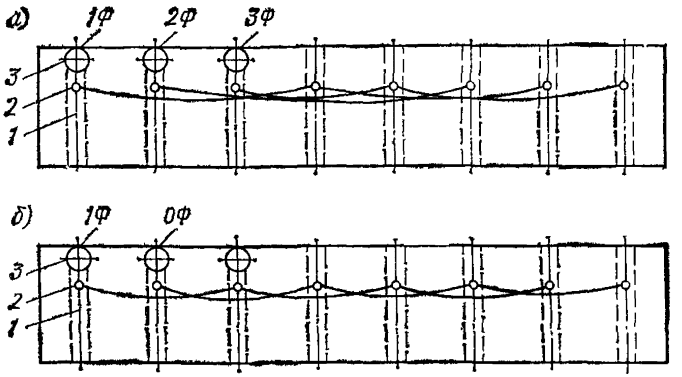


Рис. 33. Схема постоянной коммутации полосовых электродов, закрепленных на инвентарной опалубке

а — коммутация электродов при трехфазном токе; *б* — коммутация электродов при однофазном токе; *1* — электроды; *2* — контакты; *3* — разъемы; *4* — коммутационные провода

8—10 см для подключения токоподводящих проводов, которое осуществляется с помощью специального инвентарного контактного приспособления (зажимного, конусного и т. п.) или мягкой стальной проволокой диаметром 1—1,5 мм.

Диаметр электродов при их забивке в бетон на глубину более 60 см следует увеличивать до 10—12 мм.

Если стержневые электроды забиты в бетон, недостаточно подвижный для самопроизвольного заполнения возникающих при забивке пустот, то по окончании забивки электродов бетон вокруг них следует уплотнить трамбованием или вибрированием.

8.71. Струнные электроды диаметром до 8 мм рекомендуется натягивать на опалубку, а диаметром более 8 мм — подвешивать на крючках, изолированных надетыми на них резиновыми трубками, либо крепить к специально устанавливаемым поперечным стержням, просунутым в отверстия боковой опалубки.

8.72. При использовании арматуры в качестве электрода необходимо приварить к сетке или объемному каркасу 2—3 стальных стержня диаметром 12—16 мм, концы которых должны выступать на 8—10 см для подключения к ним токоподводящих проводов с помощью контактного болта или гайки.

8.73. Понижающие трансформаторы должны быть установлены возможно ближе к прогреваемой конструкции или захватке во избежание потерь напряжения в кабелях и проводах на низкой стороне.

8.74. В процессе бетонирования необходимо обращать внимание на соблюдение проектной толщины защитного слоя, сохранение положения электродов, установленных до начала бетонирования и их коммутации. По окончании бетонирования, а при больших открытых поверхностях конструкций по мере бетонирования следует укрывать бетон гидроизоляционным материалом и утеплять (см. п. 3.17). Вертикальные стержневые электроды следует устанавливать (забивать) в бетон после укладки гидроизоляции, прибивая ее слой, после чего утеплять поверхность бетона.

8.75. Концы стержневых электродов и стержней для подведе-

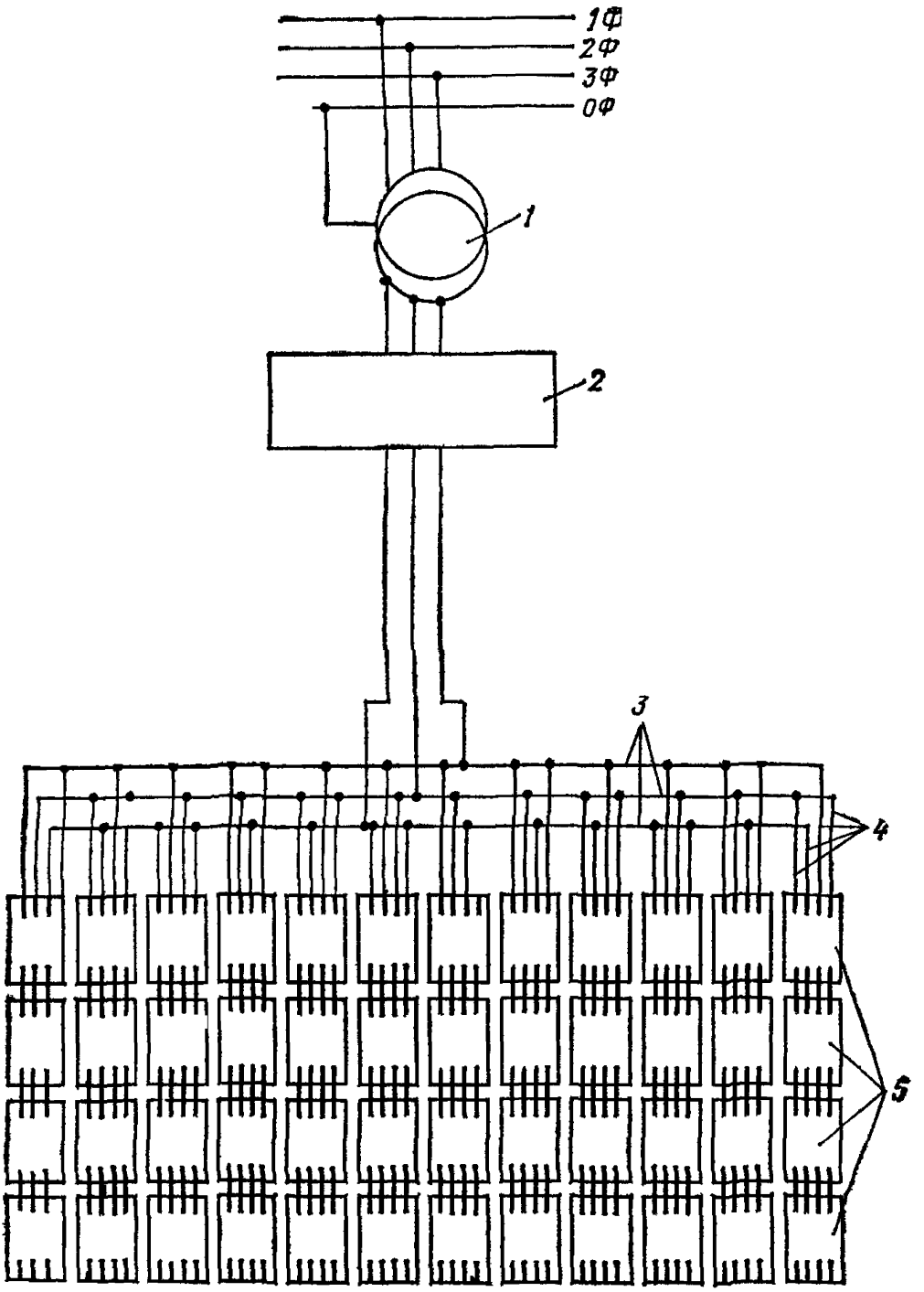


Рис. 34. Схема коммутации полосовых электродов на накладных деревянных щитах

1 — понижающий трансформатор; *2* — силовой щит; *3* — софиты или распределительные провода; *4* — токоподводящие провода; *5* — электродные щиты

ния напряжения к арматуре, по окончании электропрогрева и распалубливания конструкции должны быть срезаны.

8.76. Указания по производству работ при электропрогреве бетона, связанные с вопросами электробезопасности, приведены в разд. 18 данного Руководства.

9. ОБОГРЕВ БЕТОНА В ГРЕЮЩЕЙ ОПАЛУБКЕ

СУЩНОСТЬ МЕТОДА И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

9.1. Сущность способа заключается в передаче теплоты через разделительную стенку (палубу щита) в поверхностный слой бетона от электронагревателей, установленных в утепленной опалубке. Теплота в толще бетона распределяется в основном путем теплопроводности.

9.2. Применение греющей опалубки в сочетании с другими способами термообработки и выдерживания бетона (предварительным электроразогревом, «термосом», химическими добавками — ускорителями твердения и др.) позволяет значительно расширить область применения каждого способа и повысить их эффективность.

9.3. Греющая опалубка может быть использована для компенсации тепловых потерь пристенными слоями бетона. Независимо от изменения температуры наружного воздуха возможен обогрев и выдерживание температуры бетона в заданных пределах с регулированием продолжительности остывания монолитных конструкций по заданному режиму.

9.4. Греющую опалубку следует применять для обогрева тонкостенных и среднемассивных конструкций (с любой степенью армирования) при температурах наружного воздуха до минус 40° С.

Обогреву в греющей опалубке могут подвергаться и массивные конструкции в районах, характеризуемых резкими перепадами температуры в течение суток, применяя «регулируемый термос», выдерживая при этом расчетную продолжительность остывания монолитных конструкций.

Греющую опалубку можно использовать для обогрева бетона, уложенного в стыки, швы и местные заделки, для отогрева мерзлых грунтовых, бетонных и искусственных оснований, удаления наледи с арматуры и др.

НОМОГРАФИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРЕЮЩЕЙ ОПАЛУБКИ

9.5. Расчет основных параметров греющей опалубки сводится к определению:

коэффициента теплопередачи опалубки исходя из характерных ее размеров, экономических предпосылок и конструкции утеплителя;

удельной мощности в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха, коэффициента теплопередачи утеплителя, массивности монолитных конструкций и от принятого способа регулирования температурных режимов обогрева бетона;

оптимального шага на палубе щитов при применении линейных нагревателей в зависимости от удельной мощности, толщины палубы и принятых допустимых градиентов температуры на палубе.

9.6. Максимальная толщина утеплителя в греющей опалубке, как правило, ограничивается высотой ребер жесткости каркаса щитов. Поэтому оптимальный, с точки зрения экономических и эксплуатационных показателей опалубки, коэффициент теплопередачи греющих щитов предопределяется путем подбора соответствующих утепляющих материалов и конструкций теплоизоляции.

9.7. Конструкция и толщина утеплителя должны обеспечивать теплопотери не более 35% для щитовой разборно-переставной опалубки и 25% для объемно-переставной и блок-формы от общих теплопотерь.

9.8. При учете затрат на электроэнергию при электрообогреве бетона оптимальное термическое сопротивление теплоизоляции может определяться по номограмме рис. 35. Пример расчета приведен в прил. 15.

9.9. Коэффициент теплопередачи греющих щитов опалубки зависит от многих переменных: площади поверхности открытых ребер каркаса, размеров щита, скорости ветра, теплофизических характеристик примененного утеплителя, качества герметизации утеплителя от продувания и т. п. Для наиболее распространенной в строительстве стальной греющей опалубки с утеплителем из минераловатных матов усредненные коэффициенты теплопередачи могут быть определены по номограмме рис. 36.

9.10. Для стальных щитов площадью более 1 м² с теплоизоляцией различной конструкции при площади открытых ребер каркаса до 600 см², с отношением периметра открытых ребер каркаса к площади щита 3,5 : 1—4,5 : 1 и скорости ветра до 1 м/с усредненные коэффициенты теплопередачи можно определить по табл. 45.

Таблица 45

Конструкция теплоизоляции	Коэффициент теплопередачи	
	Вт/(м² · °С)	%
Минераловатный мат толщиной 40 мм и фанера толщиной 3 мм	3,44	100
Воздушная прослойка толщиной 30 мм, фанера толщиной 3 мм, уплотнение по контуру минераловатой	5,83	169
Воздушная прослойка толщиной 15 мм, фанерный щит с сотовым заполнением толщиной 30 мм, уплотнение по контуру минераловатой	4,84	140
Теплоотражающий экран из алюминиевой фольги, минераловатный мат толщиной 40 мм, фанера толщиной 3 мм	3,07	90

9.11. Для характерных конструктивных решений фанерной греющей опалубки коэффициенты теплопередачи могут приниматься по данным табл. 46.

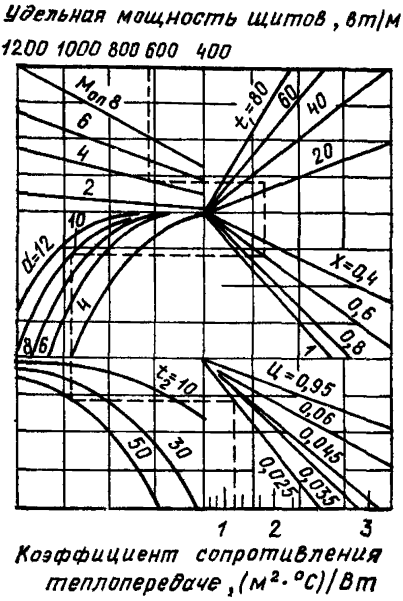


Рис. 35. Номограмма для определения оптимального термического сопротивления теплоизоляции греющей опалубки

Рис. 36. Номограмма для определения коэффициентов теплопередачи стальных греющих щитов с минераловатным утеплителем

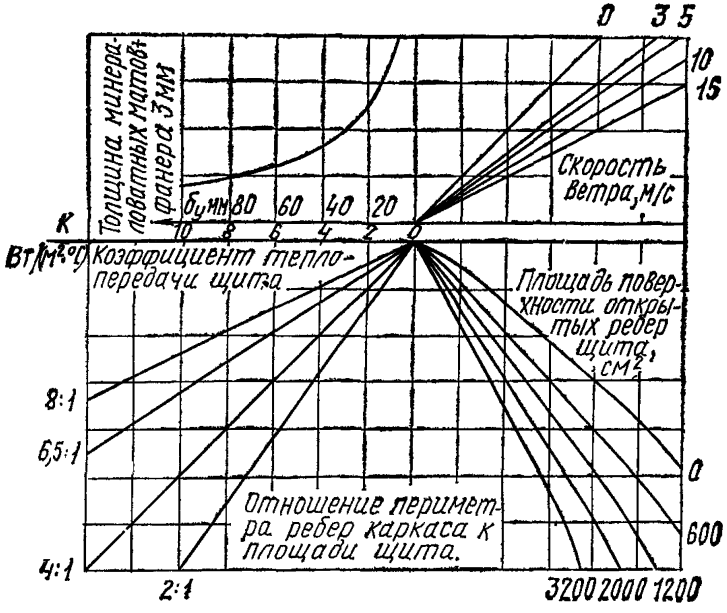


Таблица 46

Конструкция опалубочного щита	Коэффициент теплопередачи	
	Вт/(м² · °С)	%
Фанерная палуба толщиной, мм:		
10	7,65	100
12	6,75	90
18	5,75	80
Фанерный щит с двумя палубами толщиной 12 мм с воздушной прослойкой толщиной 40 мм	2,3	59
То же, с брезентовым укрытием	1,75	56
Фанерная палуба толщиной 12 мм с брезентовым укрытием	4,6	71

ВЫБОР УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

9.12. Удельную мощность нагревателей греющей опалубки выбирают, исходя из необходимости обеспечения заданной скорости подъема температуры на поверхности бетона, постоянной на всю продолжительность периода термообработки бетона.

9.13. Удельная мощность нагревателей должна обеспечивать требуемую скорость подъема температуры на поверхности обогреваемых конструкций с учетом теплообмена и термонапряженного состояния монолитных конструкций. Занижение удельной мощности по отношению к оптимальной приводит к удлинению сроков термообработки, завышение ее — к перерасходу электроэнергии, к увеличению температурных градиентов по сечению конструкций, вызывающих развитие деструктивных явлений в бетоне, а при использовании систем автоматического регулирования температуры обогрева — к неравномерной работе электронагревателей.

9.14. Удельную мощность электронагревателей комплекта греющей опалубки следует выбирать в зависимости от массивности обогреваемых монолитных конструкций, расчетной температуры окружающего воздуха и скорости ветра, температуры бетонной смеси, уложенной в опалубку, и теплофизических свойств утеплителя щитов.

9.15. При ручном, полуавтоматическом и автоматическом режиме регулирования температуры обогрева бетона удельную мощность электронагревателей греющей опалубки следует принимать по номограмме рис. 37.

9.16. При саморегулирующемся режиме обогрева бетона, приготовленного на портландцементе активностью 400—500, удельную мощность электронагревателей следует принимать по номограмме рис. 38. Саморегулирующийся режим может применяться при выполнении небольших по объему бетонных работ разового характера и отсутствии на стройплощадке автоматических средств контроля и регулирования температуры обогрева.

При таком режиме температура бетона в процессе обогрева принимает постоянное значение в зависимости от температуры наружного воздуха, коэффициента теплопередачи утеплителя, расхода и

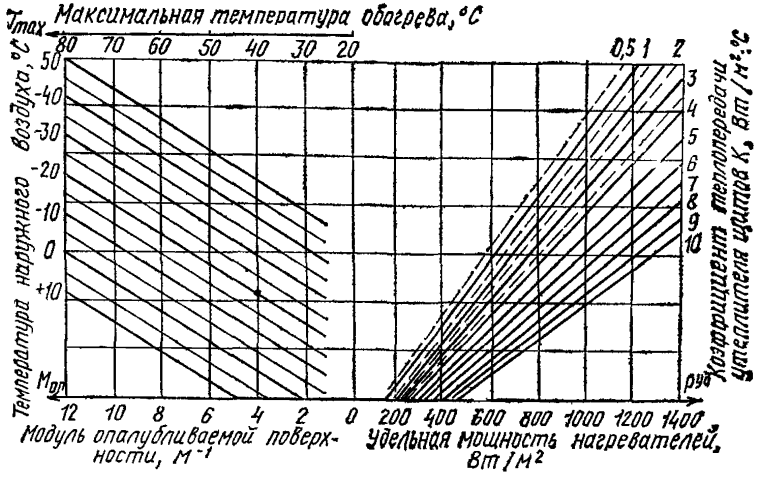


Рис. 37. Номограмма для определения предельно допустимых удельных мощностей нагревателей греющей опалубки

активности цемента, модуля опалубливаемой поверхности и удельной мощности электронагревателей.

9.17. При укладке в греющую опалубку предварительно разогретой бетонной смеси и выдерживании ее методом «управляемого термоса» удельная мощность электронагревателей независимо от модуля опалубливаемой поверхности может быть определена по графику рис. 39.

9.18. Удельная мощность щитов, используемых для отогрева мерзлых грунтовых оснований, должна находиться в пределах 1,5—2 кВт/м². Температура обогрева должна быть в пределах 100° С. Коэффициент теплопередачи утеплителя щитов не должен превышать 3,5 Вт/(м²·°С).

9.19. Удельную мощность электронагревателей в греющих щитах, расположенных в углах обогреваемых монолитных конструкций, следует назначать равной $^2/_3$ удельной мощности нагревателей рядовых щитов.

Ширина угловых щитов (или часть щита) с нагревателями пониженной мощности должна составлять примерно $^1/_2$ толщины стены или меньшего из размеров сечения колонн и балок, но не менее 300 мм, а для фундаментов находиться в пределах 500—600 мм. Удельная мощность должна быть распределена по ширине угловых щитов плавно от $^2/_3$ до полной удельной мощности рядовых щитов, начиная от угла конструкции.

9.20. Открытые ребра каркаса стальной опалубки оказывают существенное влияние на равномерность распределения температурного поля на палубе щитов. Потребную дополнительную мощность для компенсации теплопотерь через открытые ребра каркаса следует определять теплотехническим расчетом. Ориентировочно дополнительную удельную мощность электронагревателей у открытых ребер сечением до 10×100 мм следует принимать равной 0,5 $P_{уд}$.

При применении кабельных и других линейных электронагрева-

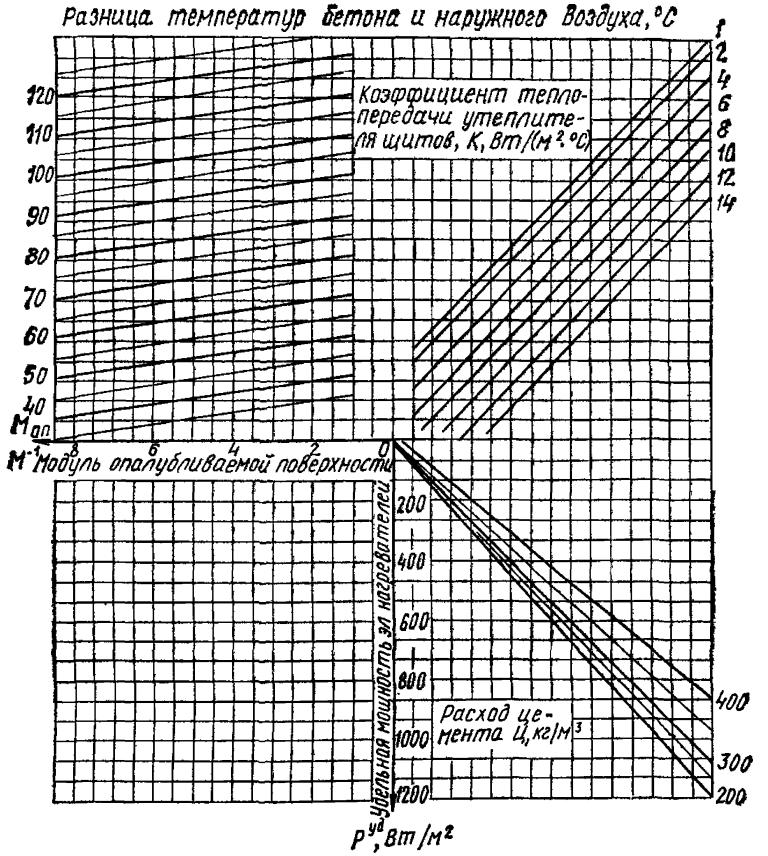


Рис. 38. Номограмма для определения удельной мощности нагревателей греющей опалубки при саморегулирующемся режиме обогрева

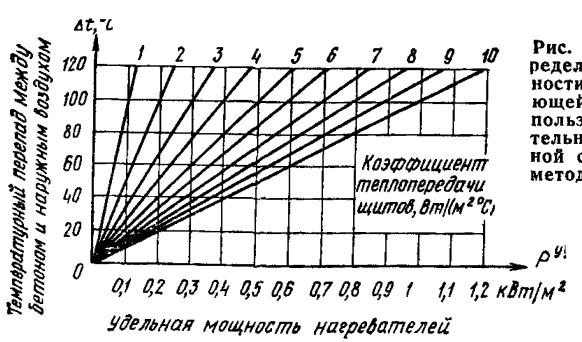


Рис. 39. График для определения удельной мощности нагревателей греющей опалубки при использовании предварительно разогретой бетонной смеси и применении метода управляемого термоса

телей можно конструктивно уменьшить их шаг вдвое на участке палубы шириной 100 мм от края ребра.

Для компенсации тепловых потерь через открытые ребра каркаса опалубки возможно применение полосовых гибких термоэлектрических покрытий, которые навешиваются непосредственно на ребра и включаются в общую электрическую схему. Мощность полосовых ТАГП подбирается в зависимости от принятой мощности греющей опалубки.

ВЫБОР ШАГА ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

9.21. Шаг линейных электронагревателей определяется из условий обеспечения равномерного температурного поля по всей плоскости палубы. Температурные перепады на палубе допускаются не более 5° С на поверхность щита.

9.22. Выбор шага линейных электронагревателей должен производиться с учетом толщины и материала палубы, удельной электрической мощности, коэффициента теплопроводности бетона и утеплителя. Правильный выбор этих параметров должен обеспечивать в соприкасающихся с палубой пристенных слоях бетона температурные градиенты не выше критических, при которых возникающие в поверхностном слое бетона напряжения еще не приводят к необратимым деструктивным явлениям, к снижению его прочностных и качественных характеристик.

9.23. Перепад температуры (ΔT) на палубе между расположенными вплотную к ней смежными линейными нагревателями диаметром до 6 мм может быть вычислен по формуле

$$\Delta T = \frac{4P^{\text{уд}}\, b}{\pi\lambda_{\text{п}}} \sum_{n=1}^{3} \frac{1}{(2n-1) \times} \rightarrow$$

$$\rightarrow \times \left[e^{\gamma(2n-1)} \left(1 + \frac{\lambda_{\text{б}}}{\lambda_{\text{п}}} \right) - e^{-\gamma(2n-1)} \left(1 - \frac{\lambda_{\text{б}}}{\lambda_{\text{п}}} \right) \right], \qquad (43)$$

где $P^{\text{уд}}$ — удельная мощность электронагревателя, Вт/м²;

b — шаг электронагревателей, м;

$\lambda_{\text{п}}$ — коэффициент теплопроводности материала палубы щитов, Вт/(м·°С);

$e = 2{,}72$;

$\lambda_{\text{б}}$ — коэффициент теплопроводности бетона, Вт/(м·°С);

$$\gamma = \frac{2\pi\,\delta_{\text{п}}}{b},$$

где $\delta_{\text{п}}$ — толщина палубы щитов, м.

9.24. Оптимальный шаг линейных электронагревателей диаметром до 6 мм в греющей опалубке со стальной палубой при допустимых температурных градиентах на поверхности обогреваемых конструкций до 0,4—0,5 град/см, что соответствует перепаду в 2—2,5° С при шаге 100 мм, следует принимать по номограмме рис. 40.

9.25. Оптимальный шаг b и нагрузку p на единицу длины ли-

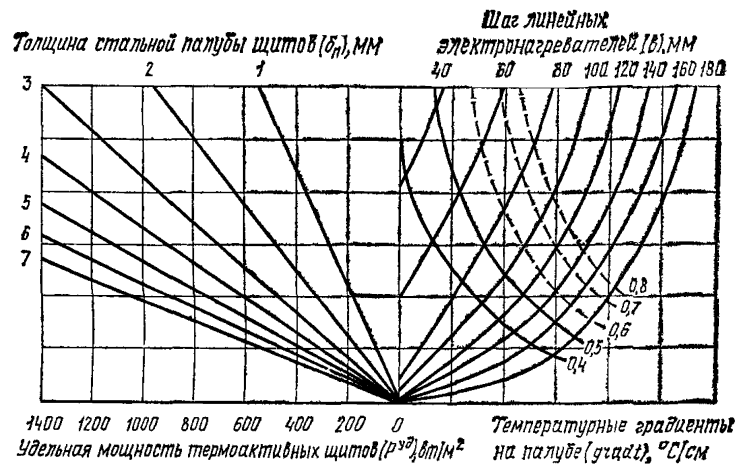


Рис. 40. Номограмма для определения оптимального шага линейных нагревателей диаметром до 6 мм в стальной греющей опалубке

нейных электронагревателей круглого сечения диаметром 12—16 мм с установленным над ними теплоотражающим экраном в греющей опалубке со стальной палубой рекомендуется принимать по табл. 47.

Таблица 47

Толщина стальной палубы, мм	Удельная мощность электронагревателей, Вт/м²									
	600		800		1000		1200		1300	
	b, мм	p, Вт/м	b, мм	p, Вт/м	b, мм	p, Вт/м	b, мм	p, Вт/м	b, мм	p, Вт/м
2	100	60	90	75	80	85	70	90	70	95
3	135	80	130	105	120	120	100	120	85	115
4	180	100	170	130	160	155	120	145	110	145
5	200	110	190	145	180	170	140	165	130	165
6	220	120	210	160	190	180	170	200	160	200

9.26. Значения шага и нагрузок на единицу длины, определенные по номограмме и таблице, приведены для линейных электронагревателей, расположенных вплотную к палубе. При расположении их с зазором до 5 мм от палубы в случаях, когда невозможна их установка вплотную к палубе, шаг и нагрузку на единицу длины нагревателей следует увеличить до 15%.

9.27. Шаг проволочных электронагревателей, запрессованных в слое термостойкого диэлектрика на фанерной палубе в плоскости, соприкасающейся с бетоном, а также нагрузку на единицу длины следует принимать по табл. 48.

Таблица 48

Удельная мощность нагревателей, Вт/м²	Нагрузка на единицу длины проволочных нагревателей, Вт/м	Шаг проволочных нагревателей, мм	Максимальная температура нагрева палубы, °С
700	11—15	15—20	75
600	10—15	15—25	65
500	10—15	20—30	55
400	10—14	25—35	50
300	10—12	30—40	45
200	8—10	35—40	35

9.28. В греющей опалубке с палубой, изготовленной из дерева, фанеры или пластмасс, шаг линейных нагревателей, укладываемых внутри опалубочных щитов, не должен превышать 150 мм.

9.29. Для уменьшения теплопотерь греющего щита электронагреватели следует располагать вплотную к палубе, если это позволяет их конструкция.

9.30. Мощность, приходящаяся на единицу длины линейных нагревателей, должна удовлетворять выражению

$$P_{\text{н}} \leqslant \frac{1{,}12P^{\text{уд}}b}{1+b}, \text{Вт/м}, \qquad (44)$$

где $P_{\text{н}}$ — электрическая нагрузка на единицу длины электронагревателей;

$P^{\text{уд}}$ — удельная мощность электронагревателей, Вт/м².

КОНСТРУКЦИИ ГРЕЮЩЕЙ ОПАЛУБКИ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ НАГРЕВАТЕЛЯМИ

9.31. Конструкция опалубки должна отвечать требованиям ГОСТ 23477—79 и ГОСТ 23478—79 и обеспечивать равномерную температуру на палубе щита.

9.32. Конструкцией должны быть предусмотрены доступ к нагревательным элементам и легкая замена нагревателей в случае выхода их из строя.

9.33. В качестве утеплителей должны применяться теплоизоляционные материалы с объемной массой не более 200 кг/м³.

Плотность утеплителя не должна превышать паспортную более чем на 15%, влажность — на 6%. Утеплитель должен обеспечивать стабильность теплофизических свойств опалубки.

9.34. В конструкциях опалубки должны, как правило, применяться стандартные электрические нагреватели.

При использовании нестандартных нагревателей должны тщательно контролироваться электрическая мощность и сопротивление, а также стабильность электрических показателей. Электрическое сопротивление изоляции нагревателей и коммутирующей разводки должно быть не менее 0,5 МОм.

9.35. В качестве нагревателей могут применяться трубчатые электронагреватели (ТЭНы), греющие провода и кабели, гибкие тка-

невые, в том числе углеродные ткани и ленты. Могут применяться нестандартные нагреватели, изготовленные из проволоки (стальной, нихромовой и др.) с высоким омическим сопротивлением, а также сетчатые, пластинчатые, уголково-стержневые и др.

Срок службы нагревателей должен составлять не менее 1000 ч. Низкотемпературные нагреватели (типа проводов ПОСХВ, ПОСХП, ПОСХВТ и др.) целесообразно применять при низких температурах, мягких режимах обогрева; при их использовании необходим особенно тщательный температурный контроль.

Нагревательные кабели типа КНМС рассчитаны на высокую температуру и имеют больший срок службы, поэтому их применять целесообразно в инвентарных многооборачиваемых опалубках при высоких температурах обогрева в соответствии с табл. 49.

Таблица 49

Электрическая нагрузка на единицу длины, Вт/м	50	80	100	120	140
Температура нагревателя, °С при коэффициенте сопротивления теплопередаче утеплителя 0,29 (м²×°С)/Вт	148	203	236	265	290

Высокотемпературные трубчатые нагреватели целесообразно применять в крупногабаритных опалубках, монтируемых краном. ТЭНы могут применяться при любых режимах обогрева.

9.36. Способ крепления и размещения нагревателей на палубе зависит от мощности, режимов обогрева и других факторов.

Греющие провода и кабели целесообразно устанавливать вплотную к палубе; высокотемпературные нагреватели типа ТЭНов могут быть установлены как вплотную к палубе, так и на расстоянии от нее, если это позволяет конструкция ТЭНов.

При установке нагревателей вплотную необходимо тщательно контролировать режимы и температуру обогрева, а также шаг установки нагревателей во избежание местных перегревов и критических температурных деформаций.

Шаг установки нагревателей диаметром до 6 мм может быть принят по номограмме рис. 40.

При установке высокотемпературных нагревателей с зазором 3—5 мм по отношению к палубе шаг нагревателей может быть увеличен на 15% при скоростях подъема температуры до 7 град/ч. При более высоких скоростях подъема температуры для достижения равномерного температурного поля необходимо применение экранов с высокой отражательной способностью (алюминиевый лист, фольга и др.).

Экран должен устанавливаться на расстоянии 5—15 мм от поверхности нагревателя. Для исключения конвективной передачи между экраном и нагревателем устанавливаются перегородки или применяется установка двойных и тройных экранов. Греющая полость по периметру должна быть загерметизирована (рис. 41).

9.37. При больших удельных мощностях нагревателей (более 1000 Вм/м²) для равномерного обогрева опалубки высокомощными нагревателями с широким шагом их установки целесообразно применение опалубки с разными полями поглощения.

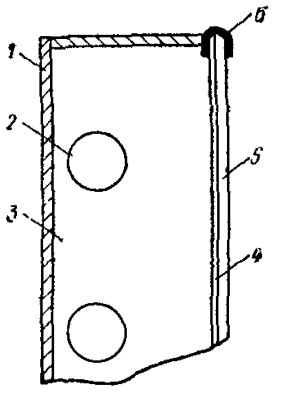


Рис. 41. Конструкция греющей опалубки с экраном

1 — палуба; *2* — нагреватель; *3* — греющая полость; *4* — экран; *5* — кожух; *6* — герметик

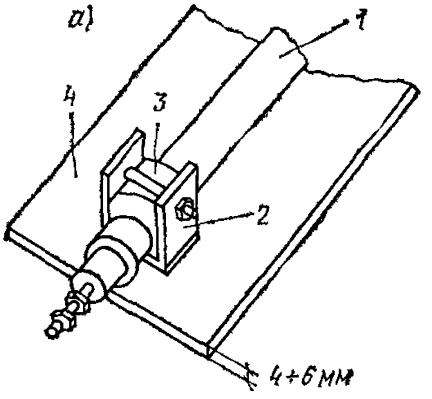
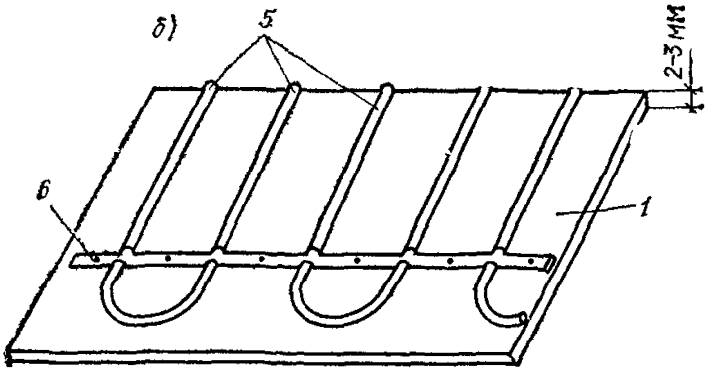
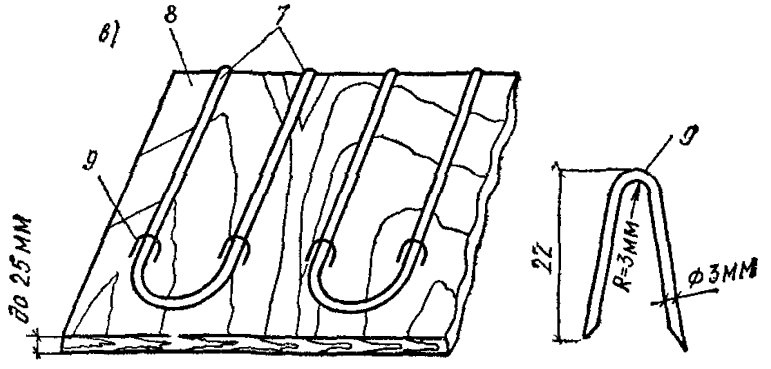


Рис. 42. Способы крепления электрических нагревателей в греющей опалубке

а — ТЭНов; *б* — кабелей типа КНМС; *в* — проводов типа ПОСХВТ в деревянной опалубке; *1* — ТЭН; *2* — стальной хомут; *3* — прокладка из асбеста; *4* — стальная палуба; *5* — кабель КНМС; *6* — полоса на точечной сварке; *7* — провод ПОСХВТ; *8* — деревянная палуба; *9* — скоба из проволоки диаметром 3 мм





Степень черноты поверхности палубы, обращенной к нагревателю, назначается пропорциональной квадрату расстояния между поверхностями нагревателя и палубы и обратно пропорциональной произведению косинусов углов между направлением луча и нормалью к излучаемой и рабочей поверхности опалубки. Это достигается нанесением черной теплостойкой краски между соседними нагревателями.

9.38. Способы крепления нагревателей показаны на рис. 42. При применении нагревательных кабелей КНМС рекомендуется для предотвращения возможного замыкания токонесущей жилы на оболочку производить заливку концов кабеля с помощью муфеля эмалями при температуре плавления:

а) 650° С:
свинцовый глет (PbO) —70%;
борная кислота —27%;
перекись марганца (MnO) —3%;
б) 700° С:
свинцовый сурик (Pb_3O_4) —60,4%;

борная кислота —19,6%;
перекись марганца (MnO) —10,5%;
кварц (порошок) —9,5%.

Для переключения кабелей целесообразно использование специального клеммника (рис. 43), исключающего замыкание на массу и поломки токонесущей жилы. Схема щита греющей опалубки с нагревательным кабелем показана на рис. 44.

9.39. В фанерной греющей опалубке нагреватели высокого омического сопротивления должны быть запрессованы в защитные покрытия, состоящие из пакета тонких полимерных пленок, нанесенных на фанеру методом горячего прессования. Толщина покрытия и состав зависят от диаметра проволоки и должны быть не менее показателей, приведенных в табл. 50.

Таблица 50

Диаметр проволоки, мм	Толщина покрытия, мм	Число слоев пленок с наполнителем	
		бумажным	стеклотканевым и бумажным
0,2	0,7	6	2 (4)
0,25	0,9	8	2 (4)
0,3	1	10	3 (5)
0,35	1,2	14	4 (5)
0,4	1,3	15	4 (6)
0,5	1,5	17	4 (7)
0,55	2	18	4 (8)

9.40. Углеродные ленточные нагреватели наклеиваются на палубу щита в следующей последовательности.

На стальные опалубочные щиты привариваются кронштейны для

установки вилочного разъема, клеммники для коммутации лент, шпильки для крепления защитной крышки; термодатчики прорезаются по месту отверстия под монтажный провод.

Производится очистка внутренней поверхности щитов от мусора и ржавчины, обезжиривание растворителем (бензин, уайт-спирит и т. п.) и разметка мелом мест установки нагревателей.

Производится заготовка и нарезка полос стеклоткани толщиной 0,9—1,2 мм (марки ТСТ-9) и углеродной ленты. Ширина полос стеклоткани должна превышать ширину углеродной ленты не менее чем на 40 мм.

Производится меднение концов углеродных лент на расстоянии 30—40 мм от края в одном из электролитов следующего состава, г/л:

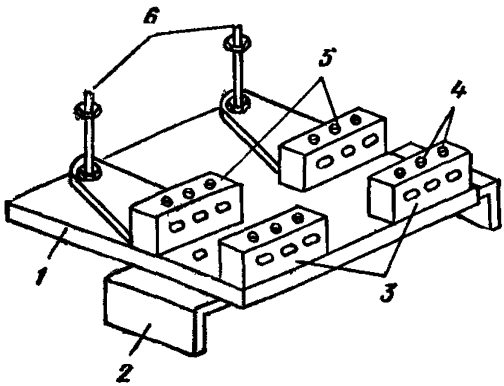


Рис. 43. Клеммник ЦНИИОМТП для подсоединения кабеля (на 3 кабеля)

1 — текстолитовая плата; *2* — скоба крепления клеммника к щиту; *3* — клеммы фиксации оболочки кабеля; *4* — отверстия для болтового соединения фиксаторов; *5* — то же, токонесущих жил кабеля; *6* — болтовое крепление токоподводящих проводов

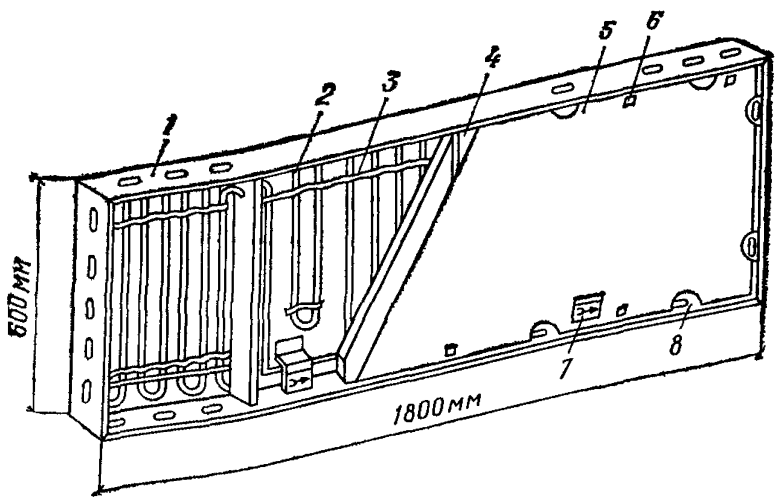


Рис. 44. Греющий щит опалубки

1 — каркас щита; *2* — нагреватель; *3* — прижимная планка; *4* — утеплитель (минераловатные маты 40 мм); *5* — защитный кожух (фанера толщиной 3—4 мм); *6* — шпилька крепления кожуха; *7* — вилочный разъем; *8* — вырез для установки соединительных устройств

а) сернокислая медь	—200;	б) сернокислая медь	—125;
серная кислота	—40;	сернокислый натрий	—60;
тиомочевина	—0,01;	сернокислый аммоний	—60;
глицерин	—0,1;	этилендиамин (основание)	—60.

Меднение в 1-м электролите необходимо вести при непрерывном перемешивании. При приготовлении 2-го электролита необходимо соблюдать последовательность растворения веществ в порядке перечисления. Температура электролитов должна находиться в пределах 18—20° С, плотность тока — 8—80 А/дм², время — 0,5—2 мин. Толщина медного покрытия должна составлять не менее 30 мкм. Омедненные поверхности покрыть спиртоканифолью (соотношение 5 : 1) и лудить припоем ПОС-40.

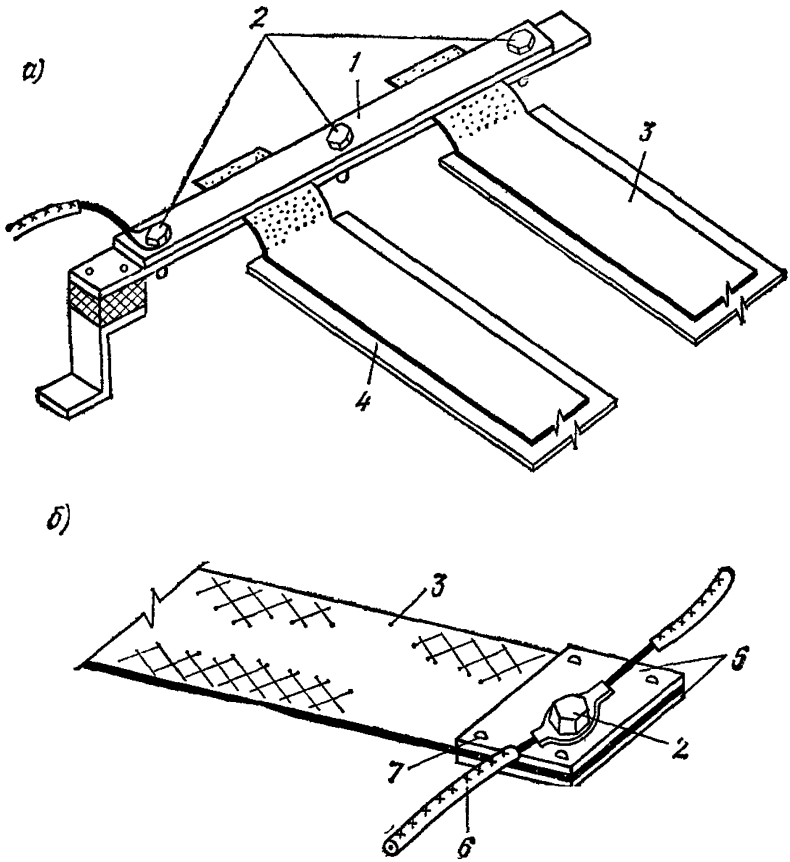


Рис. 45. Способы коммутации лент

а — к общему клеммнику (однофазная схема); *б*—с помощью накладок (трехфазная схема); *1* — медные шины; *2* — болт М6; *3* — углеродные ленты; *4* — диэлектрическая подложка; *5* — медная накладка; *6* — провод; *7* — заклепки

Если коммутация лент производится не через общие клеммники, (удобные при однофазной схеме), то при трехфазной схеме подключения на концы лент на заклепках укрепляют медные накладки (рис. 45).

Непосредственно перед началом работ приготавливается эпоксидный компаунд состава, вес. ч.:

эпоксидная смола ЭД-6	— 7;
полиэтиленполиамин	— 2;
дибутилфталат	— 1.

Количество компаунда по весу принимается таким, чтобы его можно было выработать в течение 15—25 мин.

Кистью или шпателем на палубу щитов наносится по разметке слой компаунда толщиной 1,5—2 мм.

На слой компаунда наклеивается слой стеклоткани.

Поверх стеклоткани наносится шпателем или кистью слой компаунда толщиной 1—1,5 мм.

После того как компаунд в процессе полимеризации приобретает густую консистенцию и в наибольшей степени проявятся его клеящие свойства, посередине полосы стеклоткани приклеивается углеродная лента, поверх которой наносится защитный слой компаунда толщиной 1 мм. Концы лент длиной 40—50 мм оставляют свободными и предохраняют от обмазки компаундом.

Для лент с медными накладками под последние на палубу щитов дополнительно приклеивается два слоя стеклоткани.

После затвердения компаунда производится проверка качества изоляции углеродных нагревателей омметром. В случае замыкания какого-либо нагревателя на массу щита производят кратковременное подключение сварочного трансформатора к контакту ленты и щиту. Тонкие нити углерода, вызывающего «пробой», перегорают, контакт значительного сечения определяется в месте размягчения компаунда и искрения. Следует под зону контакта подложить отрезок стеклоткани, пропитанной компаундом. Затем производится сушка изготовленных нагревателей и окончательная полимеризация компаунда путем нагрева до 60—70° С при подключении нагревателей под нагрузку, равную 0,5 рабочей.

Проверка целостности изоляции производится омметром; коммутация углеродных лент — монтажным теплостойким проводом к клеммникам и вилочным разъемам.

КОНСТРУКЦИИ ИНВЕНТАРНЫХ ГРЕЮЩИХ ГИБКИХ ПОКРЫТИЙ

9.41. При обогреве монолитного бетона, уложенного в дорожные основания и покрытия, в подготовки под полы, в стыки между сборными элементами, а также при отогреве мерзлых грунтовых и искусственных оснований рекомендуется применять инвентарные термоактивные гибкие покрытия (ТАГП).

9.42. ТАГП представляет собой легкое, гибкое, гидроизолированное нагревательное устройство, предназначенное для периферийного радиационно-конвективного или контактного обогрева различных видов бетонных и железобетонных конструкций с открытыми горизонтальными и вертикальными поверхностями при температуре наруж-

ного воздуха до минус 40° С. Максимальная температура обогрева должна быть не более 90° С.

Назначение термоактивных гибких покрытий различных видов, область и особенности их применения указаны в табл. 51.

Таблица 51

Вид гибких электронагревательных устройств	Область применения
Гибкие термоактивные покрытия	Для обогрева свежеуложенного бетона дорожных и аэродромных покрытий, бетонных оснований под полы межэтажных монолитных перекрытий промышленных и гражданских зданий, горизонтальных поверхностей фундаментов, вертикальных плоских и криволинейных поверхностей стен в комплексе со скользящей опалубкой и бетонных конструкций сложной конфигурации
Гибкие термоактивные полосовые покрытия	Для обогрева межконструкционных замоноличенных швов промышленных и гражданских зданий; для устранения мостиков холода в стыках жесткой греющей опалубки и сопряжений бетоноводов
Гибкие термоэлектрические вкладыши	Как греющие элементы в жесткой металлической опалубке
Полужесткие греющие опалубки	Для омоноличивания и обогрева стыков колонн и сборных элементов несущего каркаса промышленных и гражданских зданий

9.43. В качестве электронагревателей в ТАГП следует применять провода, углеродную ткань и ленты, получаемые путем обугливания вискозного волокна в нагревательных печах без доступа воздуха. При соответствующем технико-экономическом обосновании возможно применение проволочных нагревателей из металлов с высоким удельным омическим сопротивлением.

Греющий провод применяется марок ПОСХВ и ПОСХП диаметром 1,1 мм; марки ПОСХВТ диаметром 1,4 мм (ТУ 16-505.526.73); марок ПВЖ и ППЖ диаметром 1,4—1,8 мм (ТУ КП 087-66). Максимально допустимая температура на поверхности изоляции для проводов ПОСХВ и ПОСХП—70° С, ПОСХВТ—105° С.

Условия работы провода ПВЖ — от минус 40° до плюс 60° С, провода ППЖ — от минус 60° до плюс 70° С.

Углеродная ткань применяется марки УУТ-2 (ТУ 6-06-492-75).

Нагреватель ТАГП выбирается в зависимости от максимальной температуры обогрева и заданных рабочих параметров, может со-

стоять из одной или нескольких групп нагревательных проводов или полос углеродной ткани, соединенных между собой в электрическую цепь последовательно, параллельно или в «звезду» и «треугольник».

Геометрические размеры, коммутационные и крепежные устройства гибких ТАГП должны быть унифицированными, обеспечивающими возможность обогрева поверхности любой конфигурации.

ТАГП должны обеспечивать равномерный обогрев бетона при температуре не выше заданной по всей площади контакта с поверхностью бетона.

В ТАГП недопустим перегрев нагревателя при эксплуатации по температуре быстрого окисления (сетчатые нагреватели), размягчения электроизоляции и температуры девулканизации резины, что достигается соответствием между поверхностной удельной мощностью нагревателя и мощностью рассеивания тепла при данной конструкции опалубки (материал опалубки, изоляция нагревателя, утеплитель), объемом и модулем поверхности обогреваемой конструкции, а также температурой наружного воздуха.

9.44. Электропитание ТАГП рекомендуется производить от сети с напряжением, равным 40—90 В, через понижающие трансформаторы.

Во избежание перегрева и загорания ТАГП запрещается при обогреве бетона нахлест активной частью одного покрытия на теплоизоляцию другого, перекрытие покрытий одного другим следует производить только неактивной частью.

При эксплуатации и хранении во избежание повреждения греющих элементов (провода или углеродной ткани) на ТАГП запрещается ставить какие-либо тяжелые предметы или устройства.

9.45. Материалы для ТАГП должны быть теплостойкими (до 120° С), не выделять токсичных газов при нагревании и обладать необходимой гибкостью, прочностью и морозостойкостью.

1. Прослоечную сырую резину следует применять толщиной не более 1 мм.

2. Для армирования рабочего слоя резины используется стеклоткань, например марки КТ-11 (ТУ 6-11-68-67).

3. Коммутационная разводка ТАГП выполняется из гибких медных шнуров, например марки ПЩ (ГОСТ 9125—74), сечением, в 2—3 раза превышающим сечение греющего элемента.

4. Для теплоизоляции ТАГП рекомендуется штапельное стекловолокно с экранирующим слоем из фольги (ГОСТ 10499—78), в качестве гидроизоляции применяется прорезиненная ткань (ГОСТ 9584—72).

Теплоизоляция ТАГП должна иметь коэффициент теплопередачи, не превышающий 3 Вт/(м^2·град).

9.46. Для подвода к нагревателям электроэнергии каждый ТАГП оснащается кабельным вводом со штепсельным разъемом, рассчитанным на максимальную расчетную величину тока электронагревателей. Коммутационные соединения электронагревателей в ТАГП должны иметь плотный контакт, быть прочными и иметь минимальное омическое сопротивление. Рекомендуется выполнять их с помощью металлических накладок на заклепках или пайкой по предварительно обмедненным концам углеродных нагревателей.

9.47. Отдельные детали ТАГП, выполненные из хлопчатобумажной ткани, следует пропитать огнезащитным и противогнилостным составом следующего состава: диаммонийфосфат — 9%, сульфат аммония — 6%, фтористый натрий — 2%, вода — 83%.

9.48. Сопротивление изоляции электронагревателей в покрытии должно быть не менее 2 МОм в нормальных условиях.

9.49. Конструкцией ТАГП должна быть предусмотрена возможность крепления их между собой и на вертикальных или наклонных поверхностях монолитных конструкций, подвергаемых обогреву.

9.50. Способы соединения электронагревателей в одно- или трехфазную цепь, а также линейные размеры ТАГП предопределяются удельным омическим сопротивлением примененных углеродных электроматериалов и наличием необходимых понижающих трансформаторов. Масса одного ТАГП не должна быть более 30 кг.

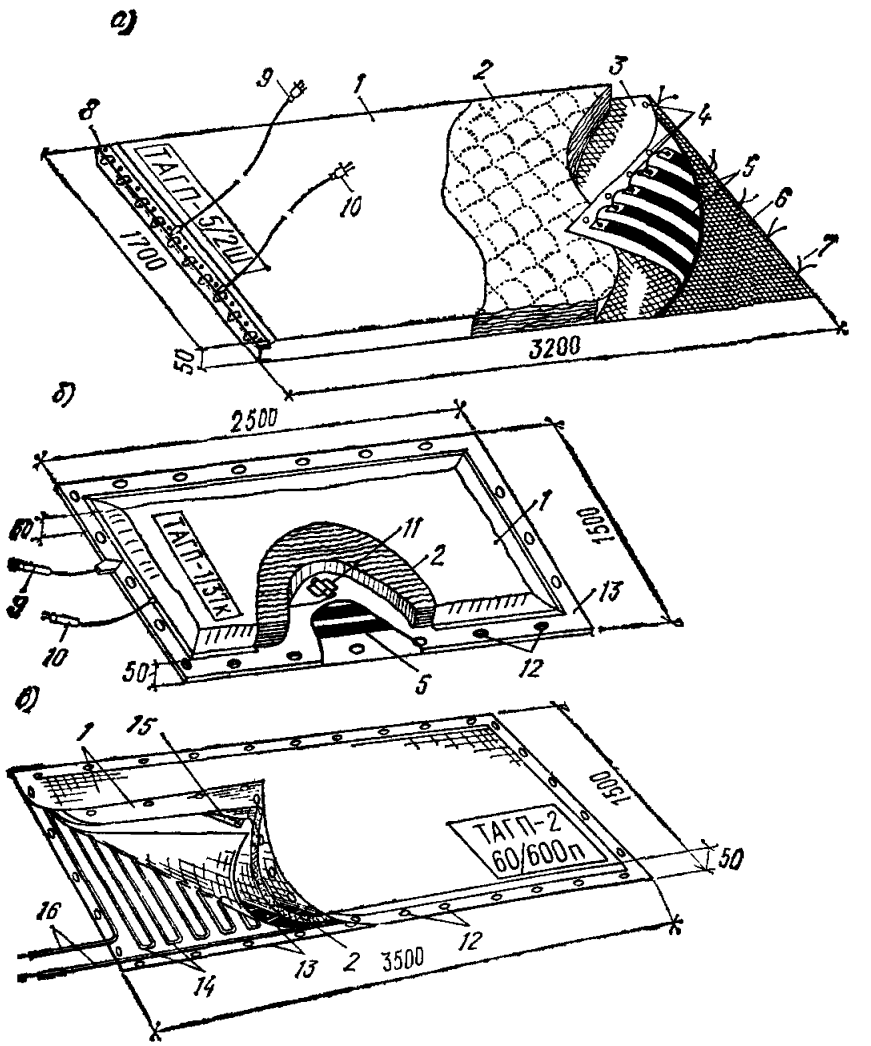


Рис. 46. Общие виды термоактивных гибких покрытий (ТАГП)

а — сборно-разборный швейный вариант; *б* — цельноклееный вариант; *в* — с греющим проводом ПОСХП; *1* — защитный чехол; *2* — утеплитель; *3* — стеклохолст; *4* — отверстия для крепления утеплителя; *5* — углеродные ленточные электронагреватели; *6* — стеклотканевая прокладка; *7* — тесьма для крепления пакета утеплителя; *8* — прижимные планки; *9, 10* — вилочные разъемы токопровода и датчика; *11* — термоконтактор; *12* — отверстия для крепления ТАГП; *13* — листовая резина; *14* — нагревательный провод; *15* — алюминиевая фольга; *16* — коммутационные выводы

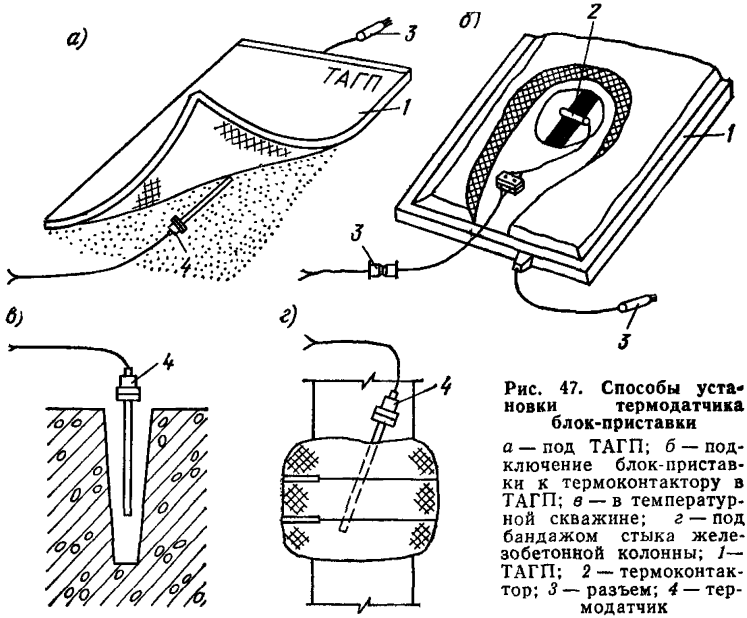


Рис. 47. Способы установки термодатчика блок-приставки

а — под ТАГП; *б* — подключение блок-приставки к термоконтактору в ТАГП; *в* — в температурной скважине; *г* — под бандажом стыка железобетонной колонны; *1* — ТАГП; *2* — термоконтактор; *3* — разъем; *4* — термодатчик

9.51. Для защиты от перегрева каждый комплект ТАГП, рассчитанный на подключение к одному понижающему трансформатору, должен иметь один-два ТАГП с установленными в них датчиками температуры.

9.52. Конструкции, разработанные ЦНИИОМТП, предусматривают сборно-разборный швейный вариант со сменным защитным чехлом и неразборный клееный вариант ТАГП (рис. 46, *а, б*). Краткое описание технологии изготовления ТАГП приведено в прил. 16.

Конструкция ТАГП со стальным изолированным проводом, разработанная Красноярским Промстройниипроектом (КПСНИИП), предусматривает цельноклееный вариант (рис. 46, *в*).

Расчет термоактивных гибких покрытий с применением в качестве греющего элемента стальных изолированных проводов и краткое описание технологии изготовления ТАГП конструкции КПСНИИП приведены в прил. 16.

9.53. На наружной поверхности ТАГП необходимо стойкой несмываемой краской нанести маркировку с указанием основных электротехнических характеристик — рабочее напряжение, ток, электрическую мощность, омическое сопротивление.

9.54. Термодатчик блок-приставки автоматического регулирования температуры (рис. 47) рекомендуется устанавливать под термоактивное гибкое покрытие (ТАГП) непосредственно на обогреваемую им поверхность (рис. 47, *а*).

СИСТЕМА АВТОМАТИКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ И ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ТЕРМОАКТИВНОЙ ОПАЛУБКИ

9.55. Комплект термоактивной опалубки, находящейся в эксплуатации, должен быть обеспечен силовой аппаратурой электропитания с инвентарной электроразводкой и автоматическими устройствами контроля и регулирования температуры обогрева.

9.56. Электрическую мощность $P_{общ}$, необходимую для питания комплекта термоактивной опалубки, определяют по формуле

$$P_{общ} = \Sigma P^{уд} F K = \Sigma P_i K, \qquad (45)$$

где $P_i = P^{уд} F$ — средняя мощность нагревателей термоактивных щитов, находящихся ежедневно под нагрузкой, кВт;

$P^{уд}$ — удельная мощность нагревателей, Вт/м²;

F — площадь термоактивных щитов, находящихся ежедневно под нагрузкой, м²;

K — коэффициент, учитывающий отключение групп термоактивных щитов от сети по достижении расчетных температур, равный 0,85.

9.57. Характеристика электрооборудования, кабелей, проводов, схем автоматики, применяемых при использовании греющей опалубки, приведены в разд. 15 данного Руководства.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГРЕВА БЕТОНА В ГРЕЮЩЕЙ ОПАЛУБКЕ И С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТАГП

9.58. При использовании греющей опалубки следует руководствоваться рекомендациями, изложенными в «Руководстве по бетонированию монолитных конструкций с применением термоактивной опалубки» (М., Стройиздат, 1977).

9.59. При возведении в греющей опалубке монолитных конструкций подготовку промерзших грунтовых оснований следует осуществлять согласно указаниям разд. 3 настоящего Руководства.

9.60. Части конструкций, не перекрытые термоактивной опалубкой, следует утеплять минерало- или стекловатными одеялами с коэффициентом теплопередачи не выше 2,85 Вт/(м²·°С) на длину не менее 1 м.

9.61. Перед установкой опалубки должны быть проверены целостность изоляции электронагревателей и электрической разводки, соответствие омического сопротивления и удельной мощности нагревателей и опалубки паспортным данным, степень уплотнения и влажность утеплителя.

Для просушки утеплителя до бетонирования опалубка подключается под напряжение на 3—4 ч.

Целостность изоляции электронагревателей и коммутирующей разводки проверяется внешним осмотром, омическое сопротивление нагревателей — с помощью мегомметра, удельная мощность — ваттметром.

9.62. Транспортировать и хранить щиты греющей опалубки следует в вертикальном положении в кассетах или горизонтально в штабелях на деревянных и других прокладках высотой, превышающей на 30—40 мм высоту выступающих электрических разъемов. Коммутирующую разводку, клеммные коробки следует хранить в специальных шкафах.

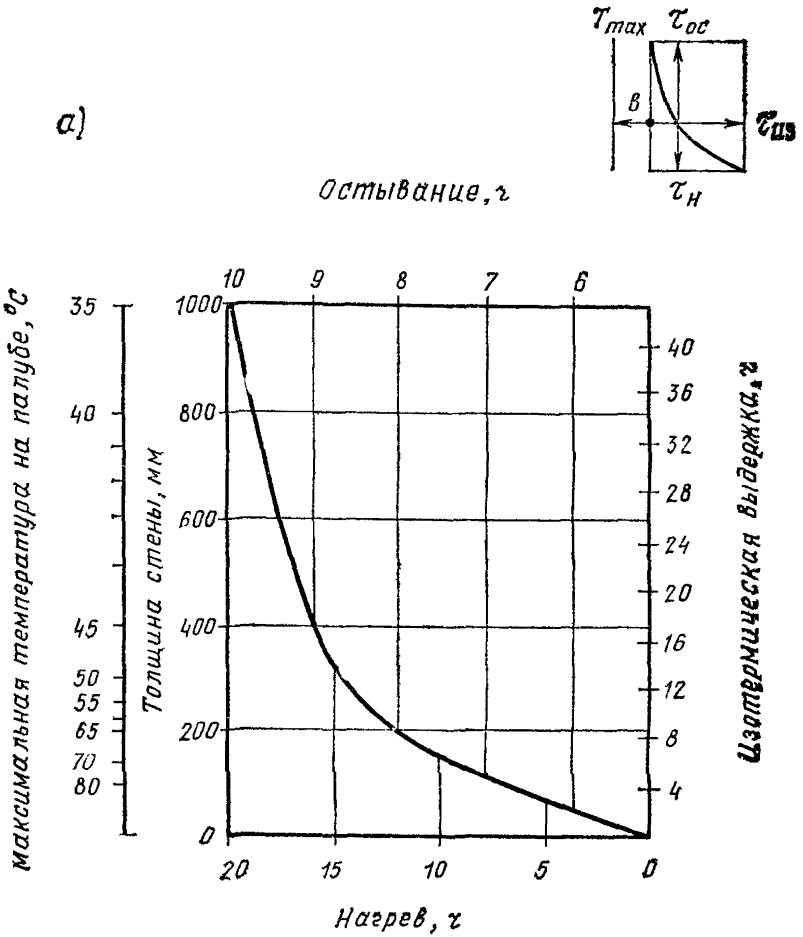


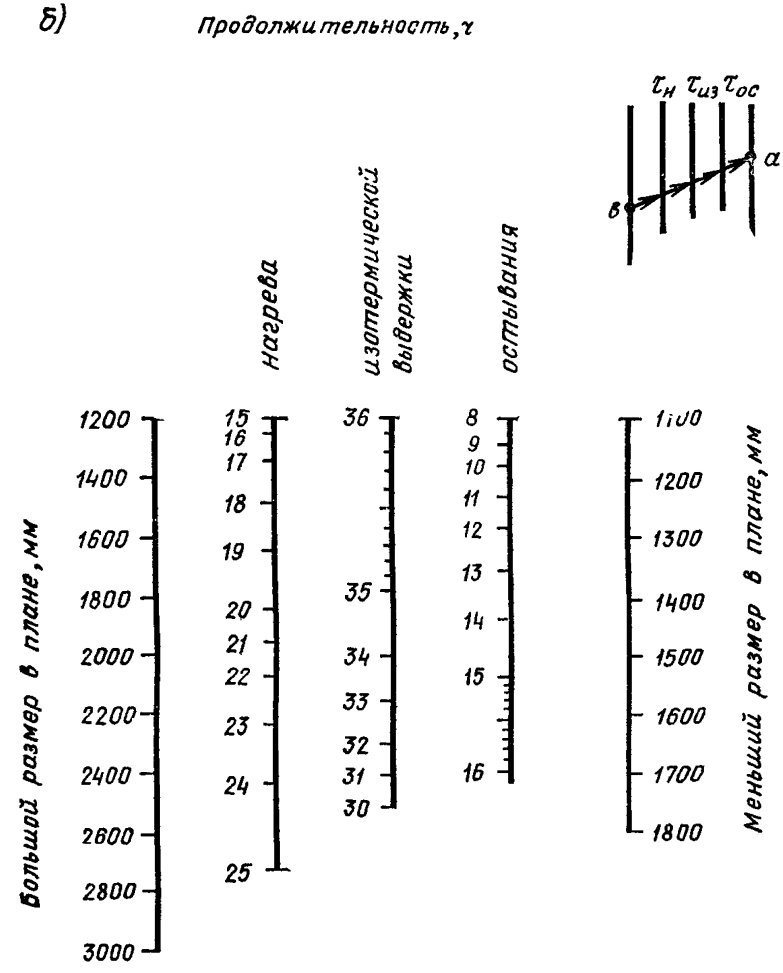
Рис. 48. Номограммы продолжительности обогрева монолитных конструкций из бетона марки М 200 на портландцементе активностью 400—500

а — номограмма для определения продолжительности термообработки монолитных стен высотой более 1 м;

9.63. Собранная опалубочная форма должна выступать над поверхностью бетона на 5—10 см. Открытые поверхности забетонированных конструкций должны быть защищены влагонепроницаемой пленкой и утеплителем с коэффициентом теплопередачи не более 2,5 Вт/(м^2·°С).

Утеплитель с такими же теплоизолирующими свойствами следует применять для укрытия отогретых участков грунтовых, бетонных или других оснований, выступающих за наружные грани термоактивных опалубочных форм.

9.64. При модуле опалубливаемой поверхности менее 2 и высоте

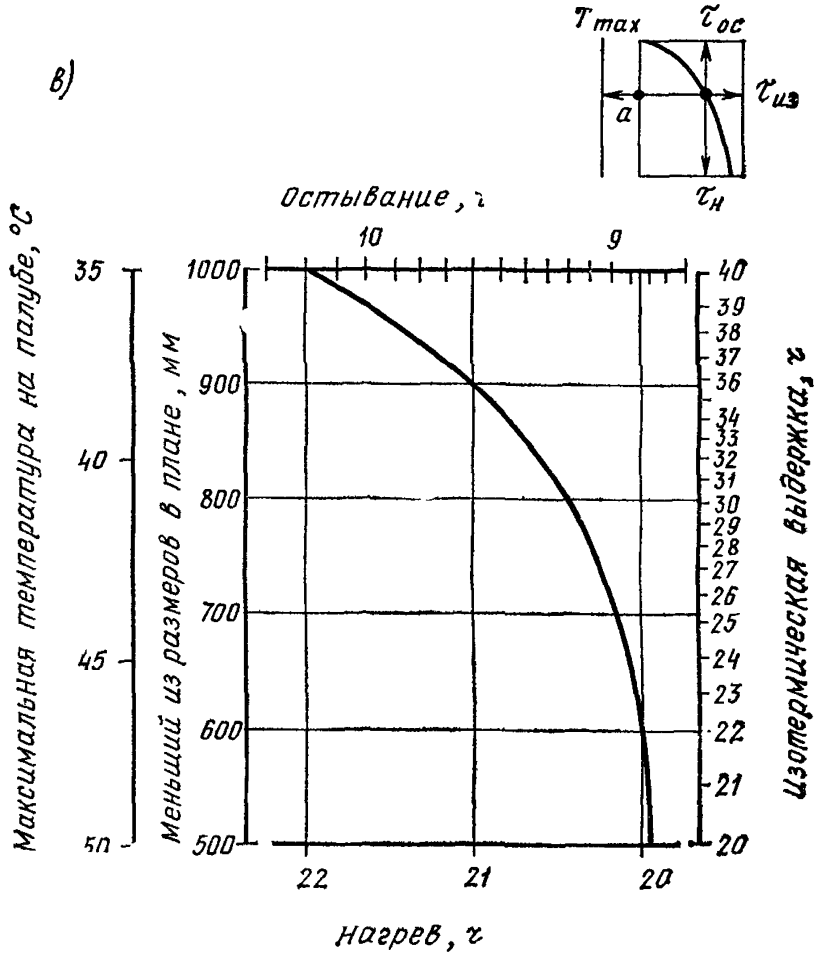


б — номограмма для определения продолжительности термообработки монолитных массивных фундаментов столбчатого типа высотой более 1 м;

конструкции 1—1,5 м на открытые поверхности бетона рекомендуется укладывать термоактивные щиты или инвентарные термоактивные гибкие покрытия ТАГП с удельной мощностью до 600 Вт/м².

9.65. При скорости ветра, превышающей 12 м/с, рекомендуется опалубочные формы укрывать брезентом или воздухонепроницаемой пленкой. Такие укрытия целесообразны для защиты опалубки от воздействия атмосферных осадков и позволяют уменьшить коэффициент теплопередачи термоактивных щитов на 20—30%.

9.66. При использовании в греющих щитах нагревателей из материалов с большим температурным коэффициентом электрического сопротивления (железо, латунь, никель и др.) пусковые токи дости-

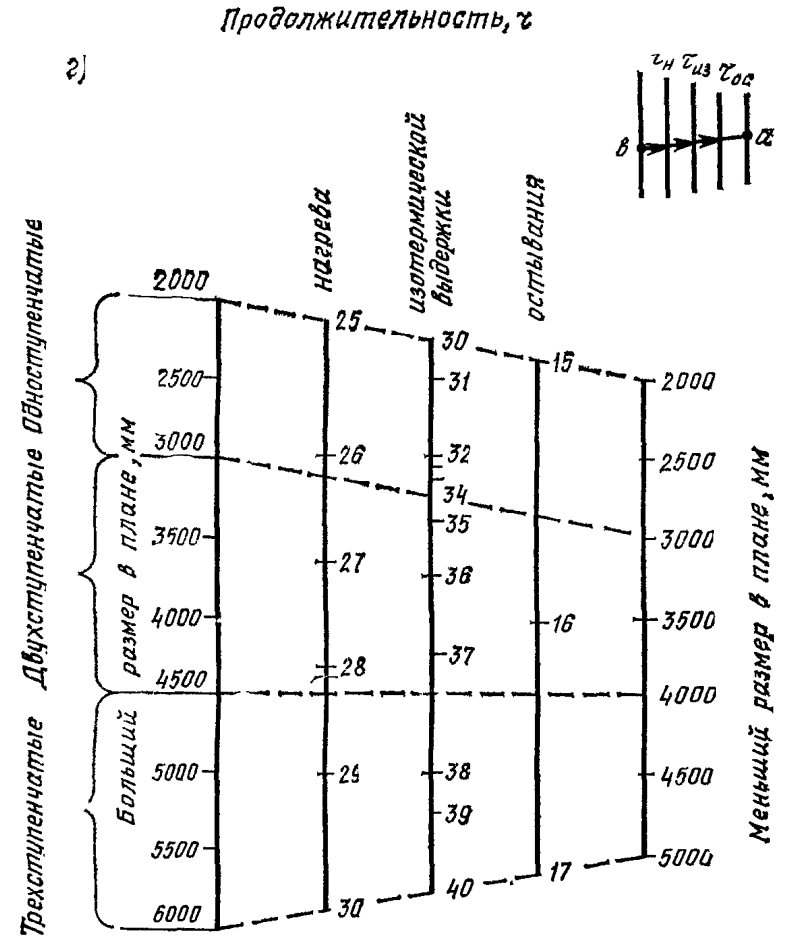


в — номограмма для определения продолжительности термообработки монолитных фундаментов средней массивности столбчатого типа высотой более 1 м;

гают значительных величин (до 2,5 $J_п$). Поэтому щиты во избежание перегрузки питающей электролинии следует включать отдельными группами площадью не более 40—50 м² с интервалом не менее 10 мин.

9.67. При коммутации термоактивной опалубки необходимо добиваться равномерной нагрузки на всех фазах. Коробки с клеммниками должны быть подвешены к схваткам или связям жесткости панелей на уровне не ниже 0,5 м от поверхности основания. При обогреве элементов каркасов — колонн, ригелей, балок — клеммные коробки подвешиваются к раздвижным струбцинам или верхнему ярусу хомутов колонн. При коммутации термоактивных щитов опалубки перекрытий клеммные коробки и кабели подвешиваются к раздвижным ригелям.

9.68. При отсутствии специальных угловых греющих щитов ря-



г — номограмма для определения продолжительности термообработки монолитных ступенчатых фундаментов с высотой ступеней 500 мм

довые греющие щиты рекомендуется попеременно отключать от электросети через 2—3 ч при ручном регулировании температуры бетона и устанавливать в них дополнительные температурные реле при автоматической системе регулирования.

9.69. Режимы обогрева выбирают в зависимости от массивности возводимых монолитных конструкций с учетом обеспечения требуемой прочности бетона, вида и активности цемента, состава бетона и других факторов. На рис. 48, *а—г* приведены номограммы для определения продолжительности обогрева наиболее часто встречающихся на практике типов монолитных конструкций из бетона М 200 на портландцементе активностью 400—500, обеспечивающие набор прочности бетона не менее 50—60% R_{28}. При применении цементов дру-

гих видов, строительная лаборатория должна при первом опытном бетонировании и обогреве сопоставить расчетные и фактические режимы и внести необходимые коррективы в расчеты.

9.70. Для теплотехнических расчетов следует принимать показатели бетонной смеси и бетона, приведенные в табл. 52, с объемной теплоемкостью $2{,}5 \cdot 10^3$ кДж/(м³·°С).

Таблица 52

Материал	Объемная масса, кг/м³	Теплопроводность, $\lambda_б$, Вт/(м·°С)
Бетонная смесь с осадкой конуса 2—6 см в возрасте до 3 ч	2500	3,7
Бетон в возрасте до 12 ч	2480	2,8
То же, более 12 ч	2400	1,86

9.71. При выдерживании бетона в греющей опалубке скорость подъема температуры, максимально допустимую температуру и скорость охлаждения (по замерам на поверхности конструкций) в зависимости от модуля опалубливаемой поверхности $M_{оп}$ следует принимать по данным табл. 53.

Таблица 53

Показатели	Модуль опалубливаемой поверхности, м$^{-1}$				
	4	6	8	10	более 10
Максимальная скорость подъема температуры на поверхности конструкции, °С/ч	5	5	6	8	10
Максимальная температура на поверхности конструкции, °С	40	50	60	70	75
Максимальная скорость охлаждения конструкции, °С/ч	5	5	6	8	10

9.72. Контролируемыми параметрами при обогреве является температура на палубе щитов и продолжительность обогрева.

9.73. Для повышения оборачиваемости термоактивной опалубки допускается ее демонтаж после изотермического выдерживания бетона, если это позволяет прочность бетона. Процесс остывания конструкций должен протекать под укрытиями из минераловатных одеял, брезента и т. п.

9.74. При отказе в работе нагревателей отдельных щитов должно быть обеспечено дополнительное утепление снаружи соответствующих щитов. По окончании обогрева щит, отказавший в работе, должен быть изъят из опалубочной панели или блока и отремонтирован в мастерских. При аварийном прекращении подачи электроэнергии должен быть установлен температурный контроль за бетонируемыми конструкциями. Время выдержки бетона при фактической температуре должно учитываться в теплотехнических расчетах и

в расчетах времени дальнейшей тепловой обработки (см. разд. 16). Если перерыв в подаче электроэнергии произошел в момент укладки бетонной смеси, должны быть приняты меры по предотвращению замораживания бетонной смеси. С этой целью под брезентовое или пленочное укрытие опалубочной формы или в инвентарный тепляк подается теплый воздух от теплогенераторов.

9.75. Укладку бетонной смеси целесообразно производить в предварительно подогретую опалубку. Предварительный нагрев опалубки позволяет сократить сроки обогрева, снизить деформативные напряжения в бетоне и опалубке, отогреть арматуру и повысить температуру основания (старого бетона).

9.76. В связи с разными условиями обогрева бетона стен, перекрытий (при одновременном их обогреве) целесообразно независимое подключение горизонтальных и боковых щитов с автономным, независимым температурным контролем и регулированием.

9.77. Перед установкой ТАГП открытая поверхность бетона укрывается пленкой (или битуминизированной бумагой), и по ней укладываются вплотную друг к другу ТАГП (рис. 49).

9.78. При температурах наружного воздуха до —40° С и толщине бетона перекрытия (или покрытия) свыше 300 мм можно применять комбинированный обогрев (ТАГП и нагревательными проводами, закладываемыми в бетоне).

В этом случае укладываются зигзагообразно проволочные нагреватели из провода ПОСХВ, укладывается бетонная смесь с температурой не менее 10° С на всю толщину основания (или перекрытия). Открытая поверхность бетона укрывается пленкой (или битумизированной бумагой), по ней вплотную друг другу укладывают ТАГП (см. рис. 49, *б*). Производится коммутация ТАГП и проволочных нагревателей к питающей электролинии через понижающий трансформатор (рис. 50) и ведется обогрев продолжительностью, обусловленной технологией работ. Оставляемый в бетоне нагревательный провод можно использовать в дальнейшем при эксплуатации перекрытия (или покрытия) для обогрева.

ОБОГРЕВ БЕТОНА ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СКОЛЬЗЯЩЕЙ ОПАЛУБКЕ

9.79. При скорости возведения специальных монолитных железобетонных сооружений преимущественно в скользящей опалубке рекомендуется использовать для целей обогрева термоактивное подвесное покрытие (ТАПП), что дает возможность разделить операции по укладке и выдерживанию бетона в конструкции.

9.80. С помощью ТАПП осуществляют периферийный радиационно-конвективный обогрев распалубленного бетона и выдерживание его при температуре 50—70° С до набора требуемой проектной прочности.

9.81. ТАПП представляет собой гибкое, легкое, паронепроницаемое нагревательное устройство, секционированное на отдельные элементы и устанавливаемое в непосредственной близости (0—50 мм) от поверхности распалубленного бетона сразу после щитов опалубки либо с технологическим разрывом по высоте для выполнения операций по затирке поверхности и нанесению полимерных покрытий (высота зоны затирки составляет 0,3—0,5 м).

9.82. В зависимости от условий производства работ целесообразно применение ТАПП в комплексе с другими методами тепловой

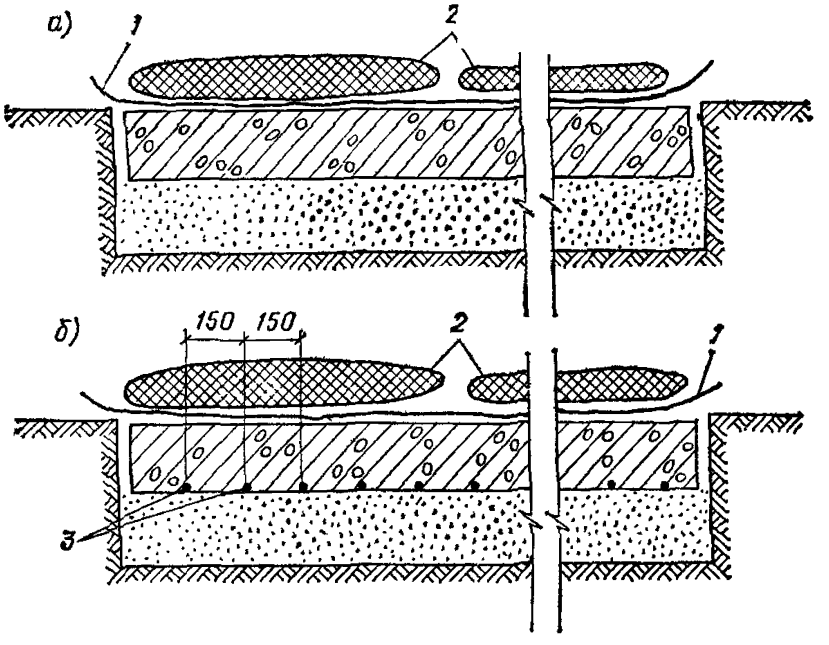


Рис. 49. Обогрев покрытий, перекрытий или дорожных оснований
а — ТАГП; *б* — ТАГП с греющими проводами; *1* — слой пленки; *2* — ТАГП; *3* — греющие провода

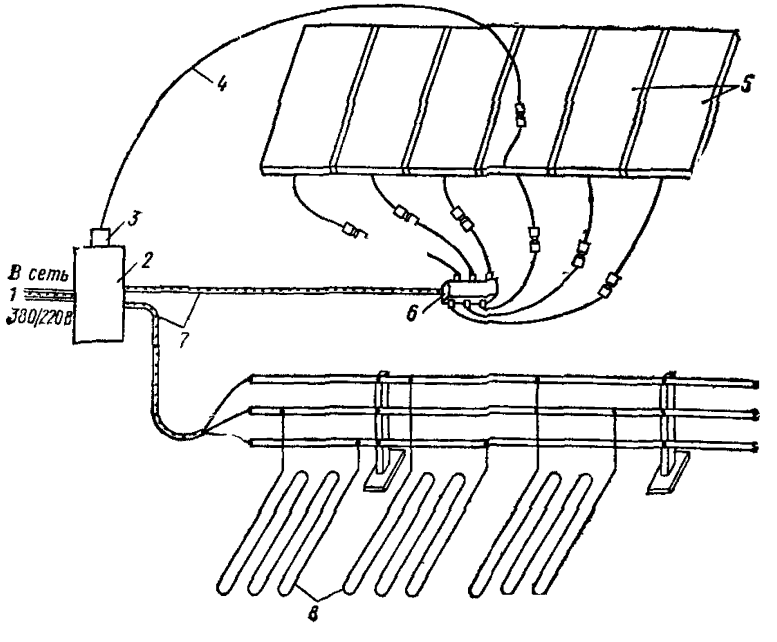


Рис. 50. Схема подключения ТАГП и ПОСХВ к понижающему трансформатору
1 — к сети 380/220 В; *2* — трансформатор; *3* — блок-приставка; *4* — к датчику; *5* — ТАГП; *6* — распределительная коробка; *7* — кабель КРПТ; *8* — нагревательный провод

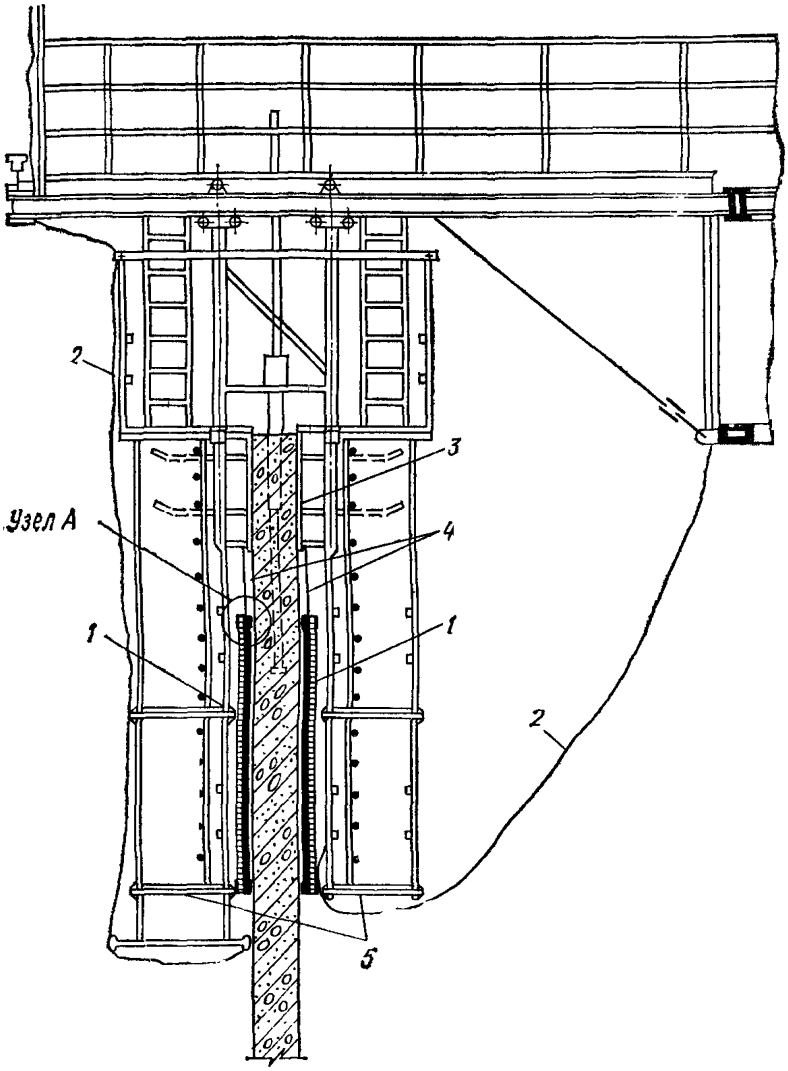


Рис. 51. Схема возведения трубы с применением термоактивных подвесных покрытий

1 — ТАПП; *2* — брезентовое укрытие; *3* — скользящая опалубка; *4* — подвеска ТАПП; *5* — подвесные леса

обработки бетона: предварительным разогревом бетонных смесей, обогревом щитов опалубки, обогревом горячим воздухом и т. п.

9.83. При скоростном строительстве в скользящей опалубке рекомендуется применять двухсторонний обогрев стенок сооружений с установкой ТАПП на наружных и внутренних бетонных поверхностях (рис. 51).

9.84. Рекомендуется собирать ТАПП из отдельных элементов шириной 0,8—0,9 м. Длина ТАПП является основным фактором обеспечения требуемых режимов выдерживания бетона и зависит от максимальной расчетной скорости возведения сооружения и сроков набора требуемой прочности бетона.

9.85. Каждый элемент ТАПП состоит из нагревателя, теплозащитного слоя, наружной оболочки и может иметь разнообразное конструктивное оформление. Следует стремиться к использованию ТАПП заводского изготовления. При отсутствии такой возможности элементы ТАПП могут быть изготовлены на объекте строительства силами технического персонала.

9.86. Электроснабжение ТАПП должно осуществляться от отдельной КТП через распределительные пункты, установленные на рабочей площадке. Для электроснабжения ТАПП рекомендуется использовать сетевое напряжение 220 В. Каждый элемент подсоединяется по параллельной схеме.

9.87. Ориентировочная величина удельной мощности нагревателя ТАПП определяется по формуле

$$P^{уд} = 0{,}4 + 0{,}065\frac{\lambda}{\Delta}\ кВт/м^2, \qquad (46)$$

где λ — коэффициент теплопроводности материала теплозащитного слоя, Вт/(м·град);

Δ — толщина теплозащитного слоя, м.

Мощность и длина ТАПП в зависимости от требуемой конечной прочности бетона даны в табл. 54.

9.88. Все элементы ТАПП должны иметь маркировку с указанием порядкового номера, номера распределительного пункта и группы (автомата) в схеме электроснабжения. Обозначения наносят стойкой, несмываемой краской на наружной поверхности оболочки.

9.89. Подвеска элементов ТАПП должна удовлетворять требованиям удобства монтажа и демонтажа и обеспечить равномерное, без перекосов, расположение элементов у обогреваемых бетонных поверхностей.

Элементы ТАПП закрепляются верхним торцом на специальных металлических конструкциях — бандажах. Конструкция подвески должна предусматривать регулируемое прижатие бандажей к поверхности бетона.

Бандажи могут быть изготовлены из труб диаметром 25—38 мм и удерживаться тросовыми подвесками на несущих металлических конструкциях рабочей площадки или домкратных рам.

Нижние торцы элементов ТАПП на наружной поверхности сооружения закрепляют обжимным тросом, а на внутренней поверхности — распорным кольцом. Распорные кольца могут быть изготовлены из арматурной стали диаметром 12—14 мм, соединенных жимками.

Боковые поверхности ТАПП должны быть соединены быстроразъемными соединениями либо в крайнем случае уплотнены установкой внахлестку с шириной перекрываемой полосы около 100 мм.

9.90. Элементы ТАПП подают в свернутом виде на подвесные леса, разворачивают и в порядке, указанном маркировкой, от условной точки вывешивают на бандажные кольца внутри и снаружи сооружения.

Таблица 54

Температура наружного воздуха $t_в^н$, °С	Начальная температура бетона $t_б^н$, °С	Толщина конструкции 0,4 м				Толщина конструкции 0,2 м			
		Скорость бетонирования, м/сут							
		3		5		3		5	
		Длина ТАПП, м							
		4	6	4	6	4	6	4	6
−20	+20*	0,8/60	0,5/50	0,5/30	0,5/40	0,5/55	0,5/45	0,8/30	0,5/30
−10	+10*	0,5/40	0,5/35	0,5/30	0,5/35	0,5/45	0,5/55	0,5/35	0,5/40
	+20*	0,5/50	0,5/55	0,5/40	0,5/47	0,5/50	0,5/58	0,5/40	0,5/45
0	+10	0,5/51	0,5/65	0,5/35	0,5/50	0,5/60	0,5/68	0,5/50	0,5/56
	+20	0,25/31	—	—	0,25/30	0,25/28	—	—	0,25/27
−20	+10*	0,9/70	0,8/71	1,2/78	1,0/70	1,0/77	0,8/70	1,2/76	1,0/70

Продолжение табл. 54

Температура наружного воздуха $t_в^н$, °С	Начальная температура бетона $t_б^н$, °С	Толщина конструкции 0,4 м				Толщина конструкции 0,2 м			
		Скорость бетонирования, м/сут							
		3		5		3		5	
		Длина ТАПП, м							
		4	6	4	6	4	6	4	6
—10	+10*	0,8 / 73	0,7 / 75	0,85 / 70	0,85 / 72	0,8 / 78	0,7 / 77	0,9 / 71	0,8 / 74
	+10*	0,8 / 78	0,7 / 80	0,8 / 70	0,8 / 71	0,7 / 71	0,7 / 82	0,9 / 76	0,7 / 70
0	+10	0,7 / 71	0,6 / 73	0,9 / 73	0,8 / 74	0,7 / 76	0,6 / 78	0,8 / 70	0,7 / 73
	+20	0,6 / 70	0,6 / 78	0,9 / 77	0,8 / 78	0,6 / 71	0,5 / 72	0,8 / 75	0,7 / 77
+40	+20	0,08 / 62	0,08 / 71	0,16 / 52	0,06 / 57	0,08 / 64	0,08 / 72	0,16 / 53	0,08 / 56

* Предлагается обогрев опалубки ТЭНами мощностью 0,3 кВт.

Примечание. В числителе — удельная мощность ТАПП, кВт/м²; в знаменателе — прочность бетона после выхода из нижней зоны ТАПП, % R_{28}.

9.91. Для электроснабжения ТАПП рекомендуется использовать сетевое напряжение 220 В переменного тока промышленной частоты.

Подача электроэнергии на рабочую площадку и местные разводки должны быть выполнены шланговыми кабелями КРПТ, ГРШС и т. п.

Подключение элементов ТАПП (не более трех) осуществляется через автоматические выключатели, устанавливаемые на внутренние ограждения подвесных лесов.

9.92. Вертикальную прокладку силовых кабелей от КТП осуществляют по внешнему периметру сооружения путем подвески на тросе диаметром не менее 10 мм до нижнего яруса наружных подвесных лесов. Запас кабеля укладывают на нулевой отметке у стены сооружения и защищают от повреждения деревянным коробом.

9.93. Непрерывное производство работ в расчетном режиме не требует изменения мощности нагревателей ТАПП.

Регулирование температуры обогрева бетона при перерывах в бетонировании может осуществляться включением и выключением нагревателей. Для поддержания температуры рекомендуется использование автоматических систем.

10. ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ БЕТОНА

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

10.1. Индукционный способ термообработки бетона основан на использовании магнитной составляющей переменного электромагнитного поля для нагрева стали вследствие теплового действия электрического тока, наводимого электромагнитной индукцией.

При индукционном нагреве энергия переменного электромагнитного поля преобразуется в арматуре или стальной опалубке в тепловую и передается теплопроводностью бетону.

10.2. Индукционный способ может быть применен как для термообработки бетона некоторых типов монолитных конструкций в условиях строительной площадки, так и для ускорения твердения бетона конструкций при изготовлении их в условиях припостроечных полигонов.

Индукционный нагрев позволяет вести термообработку бетона монолитных железобетонных каркасных конструкций (колонны, ригели, балки, прогоны, элементы рамных конструкций, отдельные опоры); замоноличивания стыков каркасных конструкций; сталебетонных и сборно-монолитных конструкций; омоноличивания каркаса и усиления каркасных конструкций; монолитных железобетонных сооружений, возводящихся в скользящих, подъемно-переставных и катучих опалубках (стволы труб, силосов, ядер жесткости, коллекторы и т. п.); железобетонных изделий в условиях припостроечных полигонов (ригели, балки, колонны, перемычки, сваи, опоры, трубы, колодцы, элементы элеваторов и т. п.).

10.3. Индукционный нагрев насыщенных арматурой каркасных конструкций и конструкций, возводящихся в стальной опалубке, обладает рядом достоинств:

органически просто осуществляется собственно прогрев бетона насыщенных металлом конструкций;

обеспечивается равномерное по сечению и длине конструкций температурное поле;

легко и быстро без дополнительных источников тепла осуществляется отогрев арматуры, жесткого каркаса, металлической опалубки, а также при необходимости отогрев ранее уложенного и замороженного бетона;

обеспечивается возможность круглогодичного использования металлической опалубки;

исключается расход стали на электроды.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКЦИОННЫХ СИСТЕМ

10.4. Глубина проникновения Δ_s, м, тока частотой f, Гц, в металл, имеющий удельное электросопротивление ρ_s, Ом·м, и магнитную проницаемость μ определяется по формуле

$$\Delta_s = 5030 \sqrt{\frac{\rho_s}{\mu f}}. \qquad (47)$$

10.5. Активная мощность ΔP, кВт/м², выделяющаяся с единицы поверхности металла, обладающего поверхностным сопротивлением $\rho_н$, Ом, и находящегося в переменном магнитном поле напряженностью H, А/м, выражается формулой

$$\Delta P = \rho_н H^2, \qquad (48)$$

где

$$\rho_н = \frac{\rho_s}{\Delta_s}. \qquad (49)$$

Зависимость ΔP и $\rho_н$ от напряженности магнитного поля H для сталей с различным удельным электросопротивлением представлена на рис. 52.

10.6. Расчет потребной удельной активной мощности ΔP и соответственно остальных параметров индукционных систем производится исходя из величины общей активной мощности P_{as}, кВт, необходимой для обеспечения заданного режима термообработки и определяется по формуле

$$P_{as} = P_п V, \qquad (50)$$

где $P_п$ — требуемая удельная тепловая мощность, кВт/м³, определяется по формуле (8).

10.7. Удельная активная мощность, необходимая для термообработки конструкции с активной поверхностью металла S_a, м², определяется по формуле

$$\Delta P = \frac{P_{as}}{S_a}. \qquad (51)$$

10.8. В зависимости от вида и конструктивных особенностей железобетонных конструкций термообработка их индукционным способом может быть осуществлена по одной из двух принципиальных схем: по схеме индуктивной катушки с железом и по схеме трансформатора с сердечником.

10.9. Схема индуктивной катушки с железом имеет место в том случае, когда элемент железобетонной конструкции в процессе термообработки находится в полости индукционной обмотки, выполненной в виде цилиндрического, прямоугольного, трапециевидного и

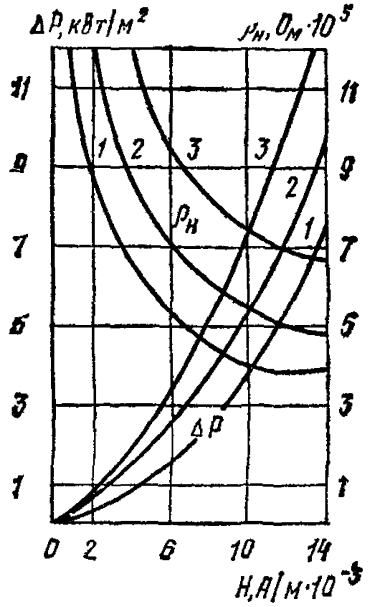


Рис. 52. Зависимость удельного поверхностного электросопротивления $\rho_н$ и удельной активной мощности ΔP от напряженности магнитного поля H

1 — для стали с удельным электросопротивлением $\rho_s = 10 \cdot 10^{-8}$; *2* — для $\rho_s = 20 \cdot 10^{-8}$; *3* — для $\rho_s = 30 \cdot 10^{-8}$ Ом·м

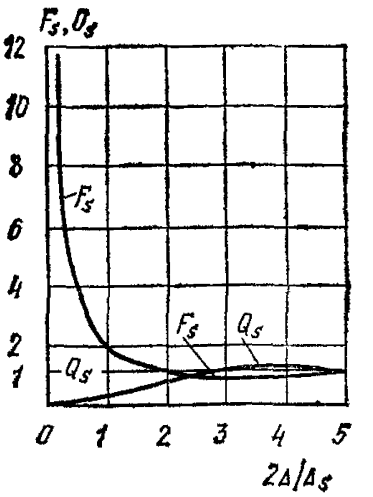


Рис. 53. Зависимость безразмерных коэффициентов сопротивления F_s и Q_s для металлической плиты (листа) от относительной толщины плиты (листа) $\frac{2\Delta}{\Delta s}$

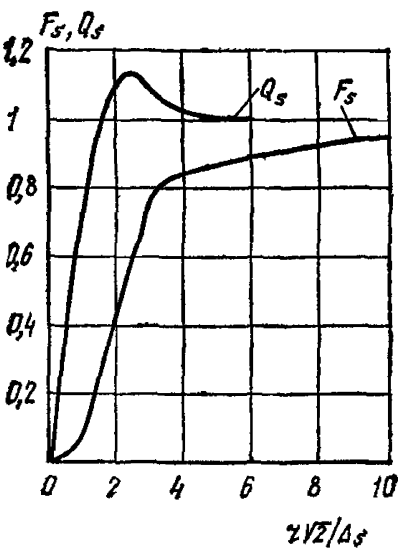


Рис. 54. Зависимость безразмерных коэффициентов сопротивления для металлического стержня от аргумента $\frac{r\sqrt{2}}{\Delta_s}$

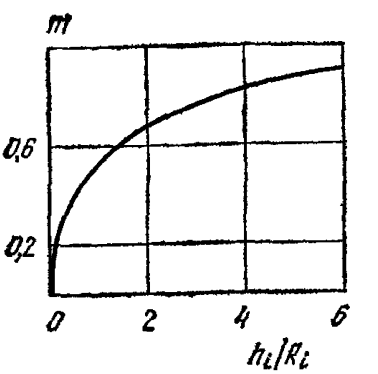


Рис. 55. Коэффициент формы индуктора m в зависимости от отношения высоты индуктора h_i к его радиусу R_i

тому подобного соленоида. При термообработке по этой схеме тепло в основном выделяется в ферромагнитных элементах (арматура, жесткий каркас, стальная опалубка, форма), направление которых совпадает с направлением оси соленоида. Незначительная часть тепла выделяется в металлических замкнутых элементах (хомуты арматуры, опалубка), плоскость которых перпендикулярна оси соленоида.

10.10. Схема трансформатора с сердечником имеет место в том случае, когда в полости железобетонного изделия или сооружения расположен магнитопровод (или группа магнитопроводов) с индукционной обмоткой. Здесь тепло в основном выделяется в электрически замкнутых металлических элементах (замкнутая металлическая форма, опалубка, арматурные хомуты или замкнутая поперечная арматура, кольцевая арматура и т. д.), плоскость которых перпендикулярна оси магнитопровода.

10.11. Выбор режима индукционного нагрева и определение необходимых мощностей производится в соответствии с указаниями разд. 4 настоящего Руководства.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПО СХЕМЕ ИНДУКТИВНОЙ КАТУШКИ С ЖЕЛЕЗОМ

10.12. Расчет параметров индукционной системы заключается в определении:
числа витков N индукционной обмотки (индуктора) при выбранном напряжении U;
силы тока в индукторе J, А;
коэффициента мощности $\cos\varphi$;
полной мощности системы P_c, кВА;
мощности конденсаторной батареи $P_к$, кВАр;
емкости конденсаторной батареи $C_к$, мкФ, для компенсации реактивной мощности.

10.13. Число витков индуктора N определяется по формуле

$$N = \frac{U}{Z_0 H}, \qquad (52)$$

где U — выбранное напряжение, В;
H — напряженность магнитного поля индуктора, определяемая по рис. 52 в зависимости от удельной мощности ΔP, А/м;
Z_0 — приведенное полное сопротивление системы, Ом, определяемое по формуле

$$Z_0 = \sqrt{r_0^2 + (\omega L_0)^2}, \qquad (53)$$

где

$$r_0 = 1{,}1\rho_н \Sigma П_s F_s; \qquad (54)$$

$$\omega L_0 = 4{,}10^{-4} S_i m + \rho_н \Sigma П_s Q_s; \qquad (55)$$

$\Sigma П_в$ — сумма периметров сечения металла (арматуры, каркаса, опалубки), м;
$F_в$ и $Q_в$ — безразмерные коэффициенты сопротивления, определяемые для листовой стали толщиной Δ, м, в зависимости от отношения

$\frac{2\Delta}{\Delta_s}$ по рис. 53, для стержневой арматуры радиусом r, м, в зависимости от отношения $\frac{r\sqrt{2}}{\Delta_s}$ по рис. 54;

m — безразмерный коэффициент формы индуктора, зависящий от отношения длины (высоты) индуктора к его радиусу и определяемый по графику рис. 55;

S_i — площадь сечения индуктора, м².

10.14. Сила тока I индуктора длиной (высотой) h определяется по формуле

$$I = \frac{Hh}{N}. \tag{56}$$

10.15. По величине тока, полученной по формуле (56), подбирается сечение провода (кабеля, шины) индуктора. Если по каким-либо причинам, полученная величина силы тока не может быть принята для прогрева, производят перерасчет. Для этого, задаваясь допустимой для данных условий величиной силы тока и сохраняя неизменной величину H, находят по формуле (52) необходимое напряжение.

10.16. Расчет параметров для изотермического прогрева сводится к определению напряжения исходя из формулы (52), которое при сохранении полученного расчетом числа витков индуктора, обеспечивало бы соблюдение заданного режима изотермического прогрева.

10.17. Коэффициент мощности системы $\cos\varphi$ определяется по формуле

$$\cos\varphi = \frac{r_0}{Z_0}. \tag{57}$$

10.18. Полная мощность системы P_c определяется по формуле

$$P_c = \frac{P_{as}}{\cos\varphi} \tag{58}$$

Пример расчета индукционной системы по схеме индуктивной катушки с железом приведен в прил. 17 (пример 1).

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПО СХЕМЕ ТРАНСФОРМАТОРА С СЕРДЕЧНИКОМ

10.19. Исходя из заданного режима термообработки и конкретных размеров конструкции расчетом определяются количество витков намагничивающей обмотки N, сила тока I, коэффициент мощности $\cos\varphi$ и полная мощность P_c.

10.20. Число витков намагничивающей обмотки N при полной мощности системы P_c, выбранном напряжении U и напряженности магнитного поля H, определенной исходя из удельной активной мощности ΔP или по графику рис. 52, находится по формуле

$$N = 1{,}4 \cdot 10^{-3} \frac{HhU}{P_c}, \tag{59}$$

где

$$P_c = \sqrt{1{,}2P_{as}^2 + \left(1{,}1P_{a_s} + 1{,}6\cdot 10^{-8} hfF_s H^2\right)^2}; \qquad (60)$$

F_s — площадь зазора между намагничивающей обмоткой на магнитопроводе и нагреваемым изделием.

10.21. Сила тока в намагничивающей обмотке при выбранном напряжении U определяется по формуле

$$I = \frac{P_c}{U} 10^3. \qquad (61)$$

10.22. Коэффициент мощности системы $\cos\varphi$ определяется по формуле

$$\cos\varphi = 1{,}1\frac{P_{as}}{P_c}, \qquad (62)$$

Пример расчета параметров индукционной системы по схеме трансформатора с сердечником приведен в прил. 17 (пример 2).

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

10.23. Компенсация реактивной мощности производится путем подключения к цепи батарей конденсаторов (например, бумажно-масляных конденсаторов типа КМ).

10.24. Расчет требуемой мощности батарей конденсаторов ведется в следующем порядке:

1. Определяется величина $\cos\varphi$ системы и вычисляется $\operatorname{tg}\varphi$;
2. Устанавливается требуемая величина коэффициента мощности $\cos\varphi$, до которой нужно компенсировать реактивную мощность, и вычисляется $\operatorname{tg}\varphi_t$;
3. По известной активной мощности P_{as} определяется необходимая мощность батареи конденсаторов, измеряемая в кВАр:

$$P_к = 1{,}1P_{as}(\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_t); \qquad (63)$$

4. Емкость конденсаторной батареи $C_к$, мкФ, необходимая для полной компенсации реактивной мощности, определяется по формуле

$$C_к = \frac{\sqrt{P_c^2 - 1{,}2R_{as}^2}}{2\pi f U_к^2} 10^9, \qquad (64)$$

где $U_к$ — напряжение на конденсаторе.

ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ

10.25. При индукционном нагреве бетона принимается следующий порядок производства работ:

1) установка и утепление опалубки;
2) устройство индуктора;
3) предварительный отогрев металла (арматуры, каркаса, опалубки) и ранее уложенного бетона (при необходимости);
4) укладка бетона;

5) прогрев бетона по принятому режиму;

6) регулируемое (при необходимости) остывание.

10.26. До начала бетонирования по наружной поверхности опалубки с двух противоположных сторон конструкции выставляются шаблоны с пазами для размещения витков индуктора. Количество пазов должно соответствовать расчетному числу витков индуктора. В центральной части конструкции, равной $^3/_5$ ее длины (высоты), пазы располагаются равномерно с шагом h/N, а к торцам конструкции шаг сокращается до $0{,}5\ h/N$.

В пазы шаблонов последовательными витками укладывается изолированный провод (типа ПРГ, АПРГ и т. п.), соответствующий расчетной токовой нагрузке, и созданный таким образом индуктор подключается к питающей сети.

10.27. У торцов конструкции, соприкасающихся с ранее уложенным бетоном или с холодным воздухом, происходит интенсивный отсос тепла из примыкающих к ним зон. Для компенсации теплопотерь в торцах расчетную высоту (длину) индуктора следует увеличивать на 10—20 см в обе стороны.

10.28. При больших объемах бетона и значительной длине провода индукционной обмотки целесообразно составлять индуктор из отдельных секций. Длина секции при этом подбирается таким образом, чтобы ее вес не превышал 15—20 кгс. Оба конца секции должны иметь стандартные наконечники под болтовое соединение.

10.29. При необходимости термообработки большого количества конструкций одного типоразмера целесообразно изготовление и использование инвентарных разъемных индукторов.

10.30. При прохождении по индуктору одного и того же тока количество выделяемого тепла будет больше в конструкции с металлической опалубкой, так как площадь источников тепла будет больше на величину, равную удвоенной поверхности металлической опалубки. Следовательно, для разогрева по заданному режиму бетона в металлической опалубке понадобится меньшая, чем для конструкции в деревянной опалубке, сила тока и, естественно, меньшая установленная мощность.

Кроме того, при применении металлической опалубки в сечении конструкции формируется более равномерное температурное поле, что позволяет разогревать те же конструкции с более высокой скоростью (табл. 55).

Таблица 55

Вид армирования	Скорость разогрева бетона при модуле поверхности конструкции, °С/ч		
	5—6	7—9	10—12
Стержневая арматура	3/5	5/8	8/10
Жесткий каркас	5/8	8/10	10/15
Стержневая арматура и жесткий каркас	8/8	10/10	15/15

Примечание. Над чертой приведены скорости для конструкций, возводимых в неметаллической; под чертой — в металлической опалубке.

10.31. При возведении конструкций в стальной опалубке во избежание теплопотерь целесообразно устраивать простейшую теплоизоляционную рубашку из мешковины, парусины и т. п.

10.32. После установки индуктора производят, если это необходимо, предварительный отогрев арматуры, жесткого каркаса, закладных деталей или участков стыкуемых элементов.

Предварительный отогрев осуществляется включением индуктора по режиму разогрева на время, достаточное для отогрева металла.

Предварительный, перед укладкой бетонной смеси, отогрев металла и арматуры при применении индукционного метода безусловно обязателен только при наличии на металле наледи. В остальных случаях отогрев арматуры можно начинать вместе с началом бетонирования и во время перерывов в бетонировании.

10.33. Для повышения конечной прочности бетона рекомендуется выдерживать его в течение нескольких часов при низких положительных температурах (не ниже 5° С), что достигается периодическим включением индуктора на 5—10 мин в каждый час предварительной выдержки.

10.34. При термообработке сборно-монолитных конструкций следует принять меры к сохранению тепла аккумулированного сборными элементами в процессе их предварительного разогрева и использованию этого тепла для прогрева бетона монолитной части.

10.35. Скорость подъема температуры бетона в период разогрева устанавливается в зависимости от модуля поверхности прогреваемой конструкции, характера армирования конструкции и материала опалубки по табл. 55.

10.36. При термообработке длинномерных конструкций в условиях припостроечных полигонов с целью обеспечения сцепления арматуры с бетоном в зоне анкеровки укладку бетона следует производить только на предварительно отогретую арматуру. При укладке горячих бетонных смесей предварительный отогрев арматуры не требуется.

10.37. Поддержание температуры изотермического прогрева достигается либо переключением индуктора на более низкое напряжение, полученное по расчету, либо обеспечением импульсного режима путем периодического включения и отключения напряжения.

Силу тока в индукторе, а следовательно, и мощность тепловыделения на период изотермического выдерживания можно понизить переключением схемы соединения групп прогреваемых конструкций с параллельной на последовательную, с треугольника на звезду.

10.38. Эффективным методом термообработки бетона является комбинированный метод, представляющий собой сочетание индукционного метода нагрева и предварительного электроразогрева бетонных смесей.

Применение такого комбинированного метода позволяет воспользоваться достоинствами обоих методов и компенсировать их недостатки.

Укладка разогретых бетонных смесей делает возможным применение индукционного нагрева и для слабоармированных конструкций, возводящихся в стальной опалубке. С другой стороны, применение индукционного нагрева позволяет воспользоваться предварительным электроразогревом для укладки бетона в металлическую опалубку.

Использование индукционного нагрева позволяет расширить об-

ласть применения предварительного электроразогрева для конструкций с модулем поверхности до 10—12.

10.39. Особое внимание в период остывания следует обращать на утепление арматуры (и приарматурной зоны бетона), выходящей из прогретого бетона и контактирующей с холодным воздухом.

11. ИНФРАКРАСНЫЙ ОБОГРЕВ БЕТОНА

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

11.1. Инфракрасный способ термообработки бетона основан на использовании энергии инфракрасного излучения, подаваемого на открытые или опалубленные поверхности обогреваемых конструкций и превращающегося на этих поверхностях в тепловую энергию.

Поскольку глубина проникновения инфракрасных лучей в бетон не превышает 2 мм, то лучистая энергия превращается в тепловую в тонких поверхностных слоях бетона, остальная же масса конструкции нагревается за счет теплопередачи от этих слоев и экзотермии цемента.

11.2. При производстве бетонных работ в условиях низких отрицательных температур наружного воздуха инфракрасный обогрев рекомендуется применять:

для отогрева промороженных бетонных и грунтовых оснований, арматуры, закладных металлических деталей и опалубки, удаления снега и наледи;

для интенсификации твердения бетона конструкций и сооружений, возводимых в скользящей опалубке, плит перекрытий и покрытий, вертикальных и наклонных конструкций, бетонируемых в металлической или конструктивной опалубках;

для предварительного отогрева зоны стыков сборных железобетонных конструкций и ускорения твердения бетона или раствора заделки;

для ускорения твердения бетона или раствора при укрупнительной сборке большеразмерных железобетонных конструкций;

для создания тепловой защиты поверхностей, недоступных для утепления.

11.3. В качестве источников (генераторов) инфракрасного излучения в технологии зимнего бетонирования рекомендуется применять:

металлические (стальные, латунные, медные) трубчатые электрические нагреватели (ТЭНы) типов НВС (нагреватель воздушный сушильный) и НВСЖ (нагреватель воздушный сушильный жаростойкий) диаметром от 9 до 18 мм, длиной от 0,3 до 6 м, мощностью от 0,6 до 1,2 кВт/м с рабочим напряжением 127, 220 и 380 В, с температурой излучающей поверхности от 300 до 600° С;

керамические стержневые излучатели диаметром от 6 до 50 мм, длиной от 0,3 до 1 м, мощностью от 1 до 10 кВт/м, с рабочим напряжением 127, 220 и 380 В, с температурой излучающей поверхности от 1300 до 1500° С;

кварцевые трубчатые излучатели типа НИК-220-1000-$Т_р$ (нагреватель инфракрасный кварцевый напряжением 220 В, мощностью 1000 Вт, трубчатый) диаметром 10 мм, длиной 370 мм с температу-

рой спирали до 2300° С. Кварцевые излучатели должны работать обязательно в горизонтальном положении и надежно защищены от ударных воздействий.

11.4. Для создания направленного лучистого потока излучатели должны помещаться в параболические, сферические или трапецеидальные отражатели. При этом излучатели помещаются в фокус параболы или центр сферы; расположение излучателей при применении трапецеидальных отражателей определяется расчетом.

Инфракрасные излучатели в комплекте с отражателями и поддерживающими устройствами составляют инфракрасную установку.

11.5. В зависимости от назначения, конфигурации и модуля поверхности обогреваемых конструкций рекомендуется применять инфракрасные установки, приведенные на рис. 56.

а) короб для обогрева плитных конструкций, дорожных оснований, стен, отогрева промороженного бетона, грунта и т. п.;

б) прожектор для отогрева полости опалубки, арматуры, закладных деталей и тепловой защиты поверхностей, недоступных для утепления;

в) сферические и плоские нащельники для предварительного отогрева зоны стыка сборных железобетонных конструкций и термообработки бетона заделки;

г) двухстенную плоскую опалубку для термообработки плоских вертикальных и линейных конструкций и элементов;

д) одиночные излучатели, вводимые в каналы-пустоты, для термообработки многопустотных плит и настилов.

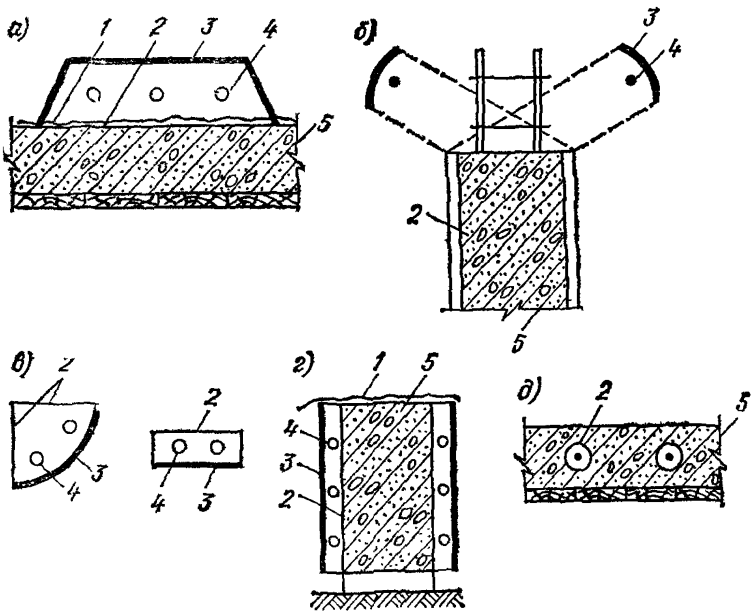


Рис. 56. Инфракрасные установки

а — короб; *б* — прожектор; *в* — нащельники; *г* — двухстенчатая опалубка; *д* — одиночные излучатели; *1* — гидроизоляция; *2* — облучаемая поверхность; *3* — отражатели; *4* — излучатели; *5* — обогреваемая конструкция

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ИНФРАКРАСНОГО ОБОГРЕВА И КОНСТРУИРОВАНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ УСТАНОВОК

11.6. Задачей расчета и конструирования инфракрасных установок является выбор типа генераторов инфракрасного излучения, их мощности, количества и расположения относительно облучаемых и рефлектирующих устройств. Энергетические и геометрические параметры инфракрасных установок должны обеспечивать энергетическую освещенность облучаемой поверхности конструкции, требуемую для выделения на ней мощности, рассчитанной по формуле (66).

11.7. Требуемая энергетическая освещенность E определяется по формуле

$$E = \frac{P}{F_0 \varepsilon} \text{ кВт/м}^2, \qquad (65)$$

где P — требуемая мощность, кВт;

F_0 — площадь облучаемой поверхности, м^2;

ε — степень черноты материала облучаемой поверхности (табл. 56).

11.8. Мощность, которую необходимо подать на облучаемую поверхность конструкции на стадии подъема температуры $P_п$ бетона и

Таблица 56

Наименование материалов	Степень черноты ε полного излучения
Бетон	0,65—0,85
Керамзитобетон	0,7—0,9
Алюминий:	
полированный	0,04—0,06
сильно окисленный	0,2—0,3
Железо:	
полированное	0,14—0,38
окисленное	0,74—0,82
листовое оцинкованное блестящее	0,23
то же, окисленное	0,28
Жесть белая	0,28
Сталь:	
листовая шлифованная	0,55—0,61
с шероховатой поверхностью	0,95—0,98
сильно окисленная	0,88—0,98
Нихромовая проволока окисленная	0,95—0,98
Древесина	0,7—0,8
Краски:	
алюминиевые различной давности	0,3—0,35
масляные различных цветов	0,92—0,96
Лак черный матовый	0,96—0,98
Вода (слой толщиной более 0,1 мм)	0,95—0,98
Лед гладкий	0,97
Снег	0,8

изотермического прогрева $P_и$, определяется соответственно по формулам (66) и (67):

$$P_п = 2{,}78 \cdot 10^{-4} (C_б \gamma_б V_б + C_а \gamma_а V_а + \Sigma C_{iоп} \gamma_i \delta_{iоп} F_{оп}) \frac{t^п_{ср} - t_н}{\tau_п} + $$

$$+ (\alpha_о F_о + K F_{оп}) (t^п_{ср} - t_{н.в}) - 2{,}78 \cdot 10^{-4} Ц V_б \frac{Э_п}{\tau_п} \text{ кВт}; \quad (66)$$

$$P_и = \alpha_о F_о (t_и - t_{н.в}) + K F_{оп} (t'_и - t_{н.в}) - 2{,}78 \cdot 10^{-4} Ц V_б \frac{Э_и}{\tau_п} \text{ кВт} \quad (67)$$

где $C_б$, $C_а$ и $C_{iоп}$ — удельная теплоемкость соответственно бетона, арматуры, материала i-го слоя опалубки, Дж/(кг·°С);
$\gamma_б$, $\gamma_а$, γ_i — объемная масса соответственно бетона, арматуры, материала i-го слоя опалубки, кг/м³;
$V_б$, $V_а$ — объем соответственно бетона и арматуры, м³;
$\delta_{iоп}$ — толщина i-го слоя опалубки, м;
$F_о$, $F_{оп}$ — площадь соответственно облучаемой и необлучаемой поверхности конструкции, м²;
$\tau_п$ — продолжительность подъема температуры, ч;
K — коэффициент теплопередачи через опалубку, кВт/(м²·°С);
$Ц$ — расход цемента в бетоне, кг/м³;
$Э_п$, $Э_и$ — удельное тепловыделение цемента в период соответственно подъема температуры и изотермического прогрева, Дж/кг;
$t_н$, $t_{н.в}$ — соответственно начальная температура бетона и наружного воздуха, °С;
$t_и$, $t'_и$ — температура изотермического прогрева, соответственно на облучаемой и необлучаемой поверхности конструкции, °С;
$\alpha_о$ — коэффициент теплоотдачи облучаемой поверхности, определяемой по формуле

$$\alpha_о = \frac{4{,}62}{t_{ср} - t_{н.в}} \left[\left(\frac{273 + t_{ср}}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 - t_{н.в}}{100} \right)^4 \right] + $$

$$+ 2{,}91 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h^2} \frac{546 + t_{ср} + t_у}{t_{ср} - t_у} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}, \quad (68)$$

где дополнительно:
h — расстояние между облучаемой и отражающей поверхностями, м;
$t_{ср}$ — средняя температура бетона, определяется по формулам:
для стадии разогрева

$$t^п_{ср} = \frac{t_{б.н} - t_и}{2} \text{ °С}; \quad (69)$$

для стадии изотермического прогрева

$$t^и_{ср} = \frac{t_и + t'_и}{2} \text{ °С}; \quad (70)$$

$t_у$ — температура стенок инфракрасной установки, ориентировочно определяется по формулам:

для стадии разогрева

$$t_{\text{у}}^{\text{п}} = \frac{t_{\text{ср}}^{\text{п}} + t_{\text{н.в}}}{2} \text{ °C}; \quad (71)$$

для стадии изотермического прогрева

$$t_{\text{у}}^{\text{и}} = \frac{t_{\text{ср}}^{\text{и}} + t_{\text{н.в}}}{2} \text{ °C}. \quad (72)$$

11.9. Мощность, требуемая для тепловой защиты открытой поверхности конструкции, определяется по формуле

$$P_{\text{з}} = \alpha_0 F (t_{\text{и}} - t_{\text{н.в}}) \text{ кВт}. \quad (73$$

11.10. Мощность инфракрасной установки, необходимая для создания требуемой освещенности на облучаемой поверхности конструкции, определяется по формуле

$$P_{\text{уст}} = \frac{F}{\varphi} F_0 \text{ кВт}, \quad (74)$$

где φ — коэффициент облученности, показывающий, какая доля лучистого потока, создаваемого излучателями, воспринимается облучаемой поверхностью; определяется по формуле

$$\varphi = \varphi_{\text{и}-\text{п}} + [(1 - \varepsilon_0)\, \varphi_{\text{и}-\text{о}}\, \varphi_{\text{о}-\text{п}} - \varphi_{\text{о}-\text{и}}], \quad (75)$$

где $\varphi_{\text{и}-\text{п}}$ и $\varphi_{\text{и}-\text{о}}$ — доля лучистого потока, передаваемая от излучателей соответственно на облучаемую и отражающую поверхности; $\varphi_{\text{о}-\text{п}}$ и $\varphi_{\text{о}-\text{и}}$ — доля лучистого потока, передаваемая от отражателя соответственно на облучаемую поверхность и излучатели.

Значения коэффициентов лучистого потока $\varphi_{\text{и}-\text{п}}$, $\varphi_{\text{и}-\text{о}}$ и $\varphi_{\text{о}-\text{г}}$ берутся по табл. 57 в зависимости от геометрических параметров S и d элементов инфракрасной установки, указанных на рис. 57, а коэффи-

Таблица 57

Коэффициенты	Значения коэффициентов при S/d равном					
	1	2	5	10	20	50
$\varphi_{\text{и}-\text{п}}$, $\varphi_{\text{и}-\text{о}}$	*0,318*	*0,417*	*0,466*	*0,48*	*0,482*	*0,49*
$\varphi_{\text{о}-\text{и}}$	1	0,656	0,293	0,151	0,077	0,031

Примечание. Для промежуточных значений s/d величина φ определяется по правилу линейной интерполяции.

циента $\varphi_{\text{о}-\text{п}}$ в зависимости от геометрических параметров a_1, a_2 и h — по табл. 58.

11.11. Зная требуемую энергетическую освещенность E и площадь облучаемой поверхности F_0, задаются геометрическими параметрами элементов установки, определяют коэффициент облученности φ и рассчитывают необходимую мощность инфракрасной установки $P_{\text{уст}}$.

11.12. При конструировании инфракрасных установок необходимо:

в поддерживающих инфракрасные излучатели конструкциях и приспособлениях применять легкие металлы;

в качестве рефлекторов применять алюминий, обладающий наи-

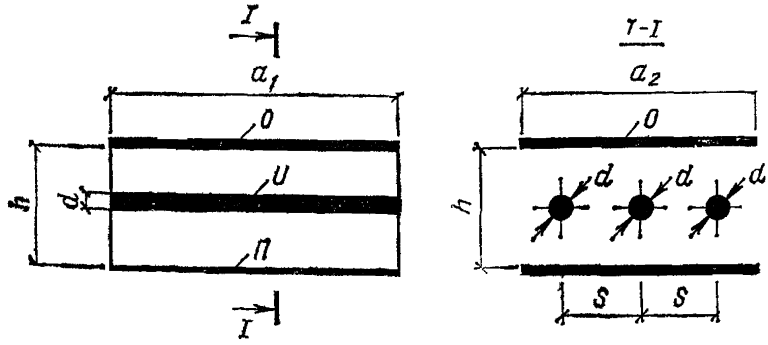


Рис. 57. Схема к расчету параметров инфракрасной установки
и — излучатели; *о* — отражатель; *п* — облучаемая поверхность

Таблица 58

Величина $\frac{a_1}{h}$	Значения $\varphi_{o-п}$ при a_2/h равном							
	0,1	1	5	10	50	100	500	10 000
0,1	0	0,013	0,032	0,034	0,041	0,048	0,049	0,049
1	0,015	0,195	0,358	0,388	0,411	0,412	0,413	0,414
5	0,032	0,299	0,564	0,793	0,8	0,815	0,818	0,819
10	0,04	0,385	0,729	0,812	0,822	0,895	0,9	0,905
50	0,044	0,469	0,813	0,866	0,959	0,968	0,977	0,98
100	0,045	0,6	0,815	0,893	0,967	0,972	0,98	0,985
500	0,046	0,681	0,818	0,09	0,974	0,983	0,993	0,998
1000	0,05	0,707	0,82	0,905	0,98	0,990	0,998	0,999

Примечание. Для промежуточных значений a_1/h и a_2/h величина $\varphi_{o-п}$ определяется по правилу линейной интерполяции.

большей отражательной способностью. При отсутствии листового алюминия можно применять листовое железо с покраской отражающей поверхности жаростойкой алюминиевой краской;

опалубленные поверхности, воспринимающие инфракрасное излучение, покрывать черным матовым лаком для повышения поглощательной способности поверхности;

в целях повышения равномерности обогрева конструкции в инфракрасных установках электрические мощности распределять следующим образом:

на нижнюю треть высоты конструкции — 50% общей мощности;
на среднюю треть — 30% общей мощности;
на верхнюю треть — 20% общей мощности;
на крайние $^1/_6$ ширины конструкции — 50% подводимой на данной высоте мощности;
на средние $^1/_6$ ширины — 30% подводимой на данной высоте мощности;
на центральную $^1/_3$ ширины — 20% подводимой на данной высоте мощности.

11.13. При применении инфракрасного обогрева бетона конструкций и сооружений, возводимых в скользящей опалубке, процесс термообработки бетона разделяется на четыре этапа (рис. 58):

а) инфракрасные установки, смонтированные по периметру подвижных форм, нагревают элементы скользящей опалубки перед укладкой бетона в формы и первые слои уложенного бетона (см. рис. 58, *а*). При этом и опалубка, и инфракрасные установки находятся в состоянии покоя ($v_{оп}=v_у=0$, где $v_у$ — *скорость подъема инфракрасной установки, м/ч*; $v_{оп}$ — *скорость подъема опалубки, м/ч*);

б) скользящая опалубка поднимается на высоту, равную высоте подвесных лесов (см. рис. 58, *б*), а инфракрасные установки остаются в первоначальном положении и прогревают слой бетона, равный высоте установок ($v_у=0$, $v_{оп}$ больше 0);

в) инфракрасные установки, смонтированные на подвесных лесах, движутся относительно конструкции (см. рис. 58, *в*) синхронно со скользящей опалубкой ($v_{оп}=v_у$ больше 0);

г) по окончании бетонирования захватки сооружения скользящая опалубка останавливается (см. рис. 58, *г*), а инфракрасные установки поднимаются вверх ($v_{оп}=0$, $v_у$ больше 0). На этом этапе необходимо, чтобы скорость подъема установок не превышала средней скорости подъема опалубки.

В соответствии с этим каждый слой бетона будет проходить:

а) предварительное выдерживание в течение времени

$$\tau_{п.в}=\frac{h_л-h_у}{v_{оп}}\ \text{ч}, \qquad (76)$$

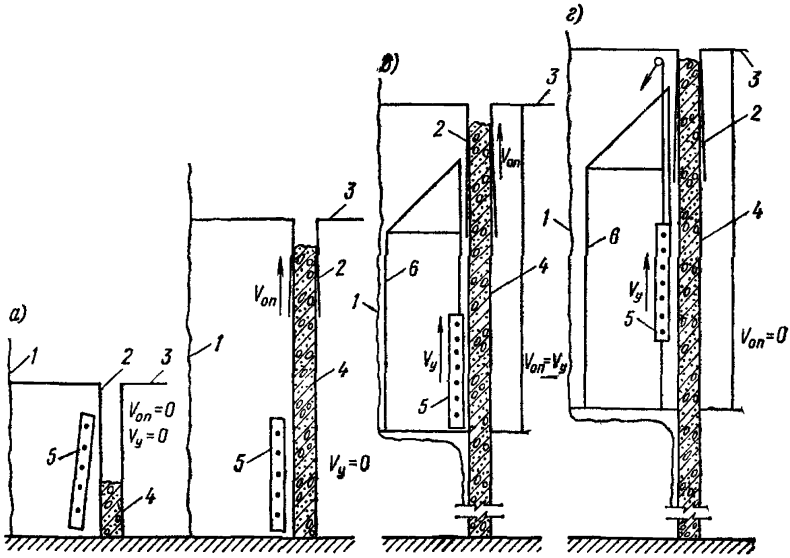


Рис. 58. Схема инфракрасного обогрева бетона конструкции, возводимой в скользящей опалубке

а — начальное заполнение форм; *б* — бетонирование до отметки навески подвесных лесов; *в* — бетонирование средней части сооружения; *г* — обогрев после прекращения подъема форм; *1* — тепляк; *2* — щиты опалубки; *3* — рабочий пол; *4* — бетон; *5* — инфракрасные установки; *6* — подвесные леса

где $h_л$ и $h_у$ — соответственно высота подвижных лесов и инфракрасной установки, м;

б) разогрев в течение времени

$$\tau_п = \frac{h_и}{v_{оп}} ч, \quad (77)$$

где $h_п$ — высота зоны разогрева, м;

в) изотермический прогрев в течение времени

$$\tau_и = \frac{h_н}{v_{оп}} ч, \quad (78)$$

где $h_и$ — высота зоны изотермического прогрева, м;

г) остывание, продолжительность которого зависит от конструкции тепляка, месторасположения прогреваемого участка, скорости подъема опалубки, массивности конструкции и температуры наружного воздуха.

В зоне термообработки бетон проходит две стадии — разогрев и изотермический прогрев. Для удобства расчетов инфракрасную установку условно делят по высоте на две зоны: зону нагрева (разогрева) и зону изотермического прогрева; энергетические расчеты ведут отдельно для двух зон, а общую мощность инфракрасной установки определяют как сумму мощностей обеих зон.

Примеры расчетов инфракрасных установок приведены в прил. 18.

РЕЖИМЫ ТЕРМООБРАБОТКИ БЕТОНА ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

11.14. Электротермообработка бетона с помощью инфракрасного излучения ведется по тем же режимам, что и при других методах электротермообработки (см. разд. 4 настоящего Руководства). Учитывая, однако, специфику подачи энергии с поверхности обогреваемой конструкции, стадией разогрева здесь считают период подъема температуры бетона на облучаемой поверхности с некоторой начальной $t_н$ до температуры изотермического прогрева $t_и$.

При этом максимально допустимая скорость подъема температуры облучаемых поверхностей бетонных конструкций не должна превышать значений, указанных в табл. 59.

При отогреве промороженного бетона скорость разогрева поверхности облучения должна быть в пределах 10—15° С/ч.

Таблица 59

Толщина конструкции, см	Скорость подъема температуры поверхности конструкции, °С/ч, при нагреве	
	одностороннем	двухстороннем
До 10	50	50
От 11 до 20	30	50
» 21 » 30	15	45
» 31 » 40	—	40
» 41 » 60	—	25

11.15. При применении инфракрасного обогрева бетона конструкций и сооружений, возводимых в скользящей опалубке, скорость разогрева должна соответствовать скорости подъема опалубки, но не превышать значений, указанных в табл. 59.

11.16. Учитывая повышенное испарение с облучаемых поверхностей при инфракрасном обогреве, последние должны быть тщательно укрыты гидроизоляционными материалами, пропускающими инфракрасные лучи: полиэтиленовой, полиамидной и другими прозрачными пленками.

По той же причине рекомендуется предварительное выдерживание бетона при низких положительных температурах.

12. БЕТОНИРОВАНИЕ В ТЕПЛЯКАХ. ПАРОПРОГРЕВ БЕТОНА

БЕТОНИРОВАНИЕ В ТЕПЛЯКАХ

12.1. Тепляки представляют собой временные помещения для установки опалубки, монтажа арматуры, укладки бетонной смеси и выдерживания бетона. Тепляки служат также для защиты рабочих, бетонной смеси и бетона от воздействия отрицательных температур воздуха и сильных ветров.

12.2. Тепляки следует применять в тех случаях, когда производство бетонных работ на открытом воздухе невозможно или вызывает значительное повышение трудоемкости из-за длительных перерывов для обогрева рабочих, а также снижение качества бетона.

Тепляки используют при зимнем бетонировании конструкций нулевого цикла, некоторых конструкций выше нулевой отметки, гидротехнических блоков, искусственных транспортных сооружений, железобетонных дымовых труб, силосов, градирен и т. п.

12.3. Укладка и уплотнение бетонной смеси в тепляках должны производиться механизированно с максимально возможным приближением к технологии бетонирования в летних условиях: с подачей бетонной смеси в опалубку по схеме «кран — бадья», с помощью ленточных транспортеров или секционных питателей, с применением бетононасосов.

12.4. При бетонировании по схеме «кран — бадья» габариты тепляка должны позволять въезд внутрь самосвалов и работу внутри тепляка крана (гусеничного, пневмоколесного, автокрана) с бадьей.

Примерная схема укладки бетонной смеси в конструкцию нулевого цикла в воздухоопорном тепляке по схеме «кран — бадья» приведена на рис. 59.

При подаче бетонной смеси в опалубку с помощью ленточных транспортеров или секционных питателей применяют бункер для бетонной смеси или тракторный бетоноукладчик с ленточным транспортером и опрокидным ковшом, которые в летнем исполнении должны размещаться в тепляках.

В случае использования этих механизмов в зимнем исполнении их можно располагать вне тепляка с транспортированием смеси в тепляках транспортером или питателем через проем в ограждении.

При подаче бетонной смеси трубопроводным транспортом бетононасос или передвижная бетононасосная установка может разме-

щаться как внутри, так и вне тепляка. В последнем случае бетононасос должен быть утеплен (см. разд. 3 данного Руководства).

12.5. В тепляках необходимо поддерживать, как правило, температуру воздуха на уровне низа бетонируемой конструкции не ниже 5° С.

Для снижения энергетических затрат при выдерживании бетона с противоморозными добавками или при прогреве бетона допускается поддержание в тепляке температуры ниже 0° С, но обеспечивающей достаточно высокую производительность труда, высокое качество укладки и уплотнения бетонной смеси и необходимую интенсивность твердения бетона.

12.6. Продолжительность выдерживания бетона без противоморозных добавок с естественным твердением в тепляке следует определять по графикам на рис. 2, 3, 4. Режимы электротермообработки бетона в тепляках необходимо принимать согласно рекомендаций данного Руководства для соответствующих методов прогрева.

12.7. По конструкции, габаритам и способам укладки в них бетонной смеси применяются тепляки следующих типов:

малые брезентовые (палатки), в которых укладка смеси производится средствами механизации, расположенными вне тепляка;

объемные, внутри которых размещаются средства механизированной укладки смеси и обеспечен въезд автотранспорта;

передвижные, перемещаемые вдоль бетонируемых протяженных конструкций (ленточных фундаментов, подземных каналов и т. п.);

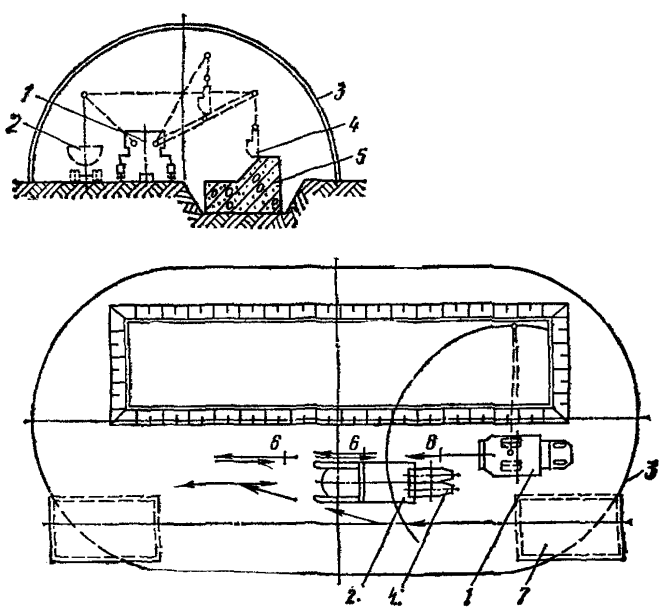


Рис. 59. Механизированная укладка бетонной смеси в тепляке с использованием схемы «кран — бадья»

1 — кран; *2* — самосвал; *3* — оболочка тепляка; *4* — поворотная бадья; *5* — бетонируемая конструкция; *6* — места стоянок крана; *7* — шлюз

подъемные для возведения высотных железобетонных сооружений (дымовых труб, силосов, телевизионных башен и др.).

12.8. Малые брезентовые тепляки (палатки) могут применяться при бетонировании конструкций нулевого цикла с небольшими размерами в плане (фундаменты под колонны, под оборудование, опоры, небольшие устои мостов и т. п.). Предварительный отогрев промороженного основания, опалубки и арматуры производят в тепляке, на время механизированной укладки бетонной смеси палатку снимают, по окончании бетонирования ее снова устанавливают и выдерживают в ней бетон до приобретения им заданной прочности. При наличии в верхней части палатки открывающегося проема достаточных размеров палатку на время бетонирования можно не снимать, а подавать бетонную смесь через проем с помощью бадьи на крюке крана. Палатку без проема в верхней части можно не снимать при подаче бетонной смеси ленточным бетоноукладчиком или бетононасосом через боковой (дверной) проем палатки.

При сильных морозах рекомендуется применять двухслойные палатки.

В качестве тепляков можно использовать как выпускаемые промышленностью палатки общего назначения, так и сшитые специально для применения в качестве тепляков при бетонировании конкретных конструкций.

12.9. Объемный воздухоопорный тепляк представляет собой оболочку из полимерной армированной ткани, внутри которой поддерживается избыточное давление воздуха в пределах 0,004—0,006 МПа, обеспечивающее проектное положение оболочки. Оболочки выполняются в виде купола или в форме полуцилиндра со сферическими торцами (рис. 60).

Для въезда в тепляк автомашин и строительных механизмов предусматриваются шлюзы. Нагнетание воздуха в оболочку осуществляется с помощью воздухоподогревателей, работающих на жид-

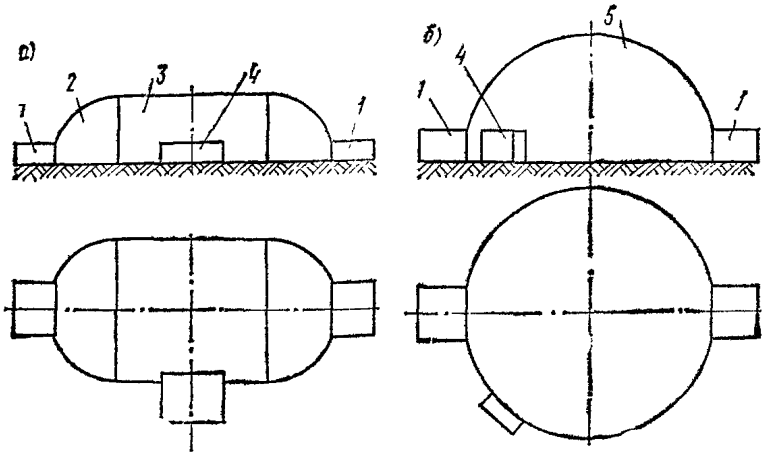


Рис. 60. Конструктивные схемы воздухоопорных тепляков

а — полуцилиндр со сферическими торцами; *б* — купол; *1* — шлюз; *2* — сферический торец; *3* — полуцилиндрическая оболочка; *4* — машинное отделение; *5* — купол

ком топливе. Возможно также применение для этой цели вентиляционный установок с использованием для подогрева воздуха пара или электроэнергии. Устройства для подогрева и нагнетания воздуха в тепляк располагают в отдельном помещении (машинном отделении), примыкающем к воздухоопорной оболочке.

При работе в условиях температур наружного воздуха ниже минус 25° С рекомендуется для уменьшения теплопотерь устраивать оболочку из двух слоев с воздушным зазором между ними.

Оболочку крепят к грунту анкерами или балластом, уложенным по контуру на ее края.

Преимуществом воздухоопорных тепляков являются многооборачиваемость, простота, быстрота и малая трудоемкость монтажа и демонтажа, малая транспортная масса.

Нормальный ряд воздухоопорных цилиндрических оболочек со сферическими торцами включает следующие типоразмеры (без учета размеров шлюзов и машинных отделений): 18×48, 24×48, 30×48, 36×48. Длина оболочек может быть больше 48 м (шаг 6 м).

Основные положения по расчету, конструированию, монтажу и эксплуатации воздухоопорных оболочек приведены во «Временной инструкции по проектированию, монтажу и эксплуатации воздухоопорных пневматических сооружений» (СН 497-77) (М., Стройиздат, 1978).

12.10. Для объемных тепляков каркасной конструкции могут быть использованы инвентарные сборно-разборные здания с металлическим каркасом и ограждениями из металлических щитов, утепленных пенополиуретаном. Здания собираются на болтах. При пролете 12 м высота составляет 6 м, при пролете 18 м высота — 8,4 м, длина — любая с шагом 6 м.

Монтаж здания площадью 1000 м² с помощью крана осуществляется за две смены, трудоемкость 0,04 чел.-ч/м². Проекты зданий разработаны Энерготехпромом Минэнерго СССР. Здания пролетом 12 м изготавливаются комплектно предприятиями Минэнерго СССР. Для въезда и выезда автомашин и строительных механизмов в торцах тепляков каркасной конструкции следует предусматривать шлюзы.

12.11. Для бетонирования протяженных конструкций — ленточных фундаментов, монолитных каналов подземных коммуникаций и т. п. — применяют передвижные тепляки с легким металлическим каркасом, обтянутым тканевым материалом. Тепляк перемещают по направляющим с помощью лебедки или тягача. В тепляке производят, как правило, бетонирование захватки и выдерживание бетона, установку опалубки и арматуры, распалубку захватки осуществляют вне тепляка. Подачу бетонной смеси в тепляк рекомендуется осуществлять по схеме «кран — бадья» через открываемые на время бетонирования проемы в покрытии.

12.12. Данные о конструкции подвесных тепляков для возведения специальных высотных железобетонных сооружений и особенностях производства бетонных работ в таких тепляках приведены в разд. 9 данного Руководства.

12.13. Для поддержания требуемой температуры воздуха в тепляках рекомендуется использовать воздухоподогреватели, работающие на жидком топливе. Для создания достаточно равномерной температуры в объемных тепляках необходимо размещать воздухоподогреватели равномерно по периметру внутреннего пространства тепляка и направлять теплый воздух вниз либо устанавливать воз-

духоподогреватели в одном месте и подавать теплый воздух в другие зоны тепляка по воздуховодам, сшитым из ткани.

При въезде внутрь объемного тепляка автомашины и работе в нем строительных механизмов с двигателями внутреннего сгорания кратность воздухообмена должна соответствовать требованиям действующих санитарных норм.

Для поддержания в тепляках требуемой температуры возможно применение пара или электроэнергии.

12.14. Мощность для восполнения теплопотерь через ограждение тепляка и в грунт следует определять по формуле

$$Q = m\,(t_в - t_{н.в})\,(F_1 K_1 + F_2 K_2 + \ldots + F_n K_n + F_г K_г)\,10^{-3}, \quad (79)$$

где Q — теплопотери, кВт;

m — коэффициент, учитывающий теплопотери через щели и проемы;

$t_в$ — температура воздуха в тепляке (средняя по высоте), °С;

F_1, F_2, F_n — площадь ограждения каждого типа, м²;

$F_г$ — площадь грунта внутри тепляка, м²;

K_1, K_2, K_n — коэффициенты теплопередачи ограждений с учетом скорости ветра, Вт/(м²·°С);

$K_г$ — коэффициент теплопередачи грунта, Вт/(м²·°С).

Коэффициент m следует принимать равным 1,1 в случае, если в тепляк не въезжают автомашины с бетонной смесью и не открываются периодически проемы в покрытии для подачи бетонной смеси, и 1,2 в случае заезда автомашин с бетонной смесью в тепляк или подачи ее через проемы в покрытии.

Коэффициенты теплопередачи ограждений необходимо определять по формулам, приведенным в разд. 5 данного Руководства. Коэффициент теплопередачи грунта рекомендуется принимать равным 0,5 Вт/(м²·°С) для зоны, расположенной на расстоянии до 2 м от стен; 0,25 Вт/(м²·°С) — на расстоянии от 2 до 4 и 0,1 — на расстоянии более 4 м.

Для воздухоопорного тепляка-оболочки требуемую тепловую мощность следует определять по формуле

$$Q = m\,(t_в - t_{н.в})\,[4{,}85\,(0{,}0016l + 0{,}0008l_ш + 0{,}6F_к)\times$$

$$\times \sqrt{P} + 10^{-3} F_{об} K_{об} + F_г K_г)], \quad (80)$$

где l — длина периметра опорного контура оболочки, м;

$l_ш$ — длина монтажных швов и неплотностей по периметру дверей, м;

$F_к$ — общая площадь открытых клапанов, м²;

P — избыточное давление воздуха в тепляке, кгс/м²;

$F_{об}$ — площадь наружной поверхности оболочки, м²;

$K_{об}$ — коэффициент теплопередачи ограждения оболочки с учетом скорости ветра, Вт/(м²·°С);

В случае выполнения монтажных швов герметичными их длину учитывать не следует. В расчетах при минимально возможной температуре наружного воздуха все клапаны следует считать закрытыми и принимать $F_к = 0$. Давление воздуха в тепляке при скорости ветра до 31,6 м/с следует принимать 40 кгс/м².

ПАРООБОГРЕВ БЕТОНА

12.15. Парообогрев бетона монолитных конструкций следует применять при наличии на строительном объекте достаточного количества пара.

Парообогрев бетона на грунтах, не допускающих увлажнения, не разрешается.

12.16. Для парообогрева бетона должен быть использован насыщенный пар с давлением не более 0,07 МПа.

12.17. Парообогрев следует применять, как правило, при выдерживании конструкций небольшой толщины — полов, днищ резервуаров, перекрытий и т. д.

До бетонирования основание или опалубку с установленной арматурой укрывают двумя слоями брезента, укладываемого на подкладки из брусков толщиной 150—200 мм для образования под брезентом замкнутой полости, и подают в полость пар. После предварительного обогрева основания или опалубки до температуры 15—20° С брезент снимают, удаляют образовавшийся конденсат и производят бетонирование. По окончании укладки бетонной смеси на поверхность бетона укладывают бруски, накрывают их двумя слоями брезента и в образовавшуюся полость подают пар. При пропаривании конструкций типа ростверков и оголовков фундаментов вместо брезента можно использовать деревянные утепленные короба, обшитые изнутри толем или полимерной пленкой.

12.18. Для обеспечения достаточно равномерной температуры на обогреваемой поверхности бетона следует осуществлять ввод пара в полость под брезентом или коробом через каждые 2 м. Не рекомендуется применять парообогрев бетона конструкций высотой более 1 м во избежание значительной неравномерности температуры по высоте.

12.19. Необходимо предусматривать организованный отвод конденсата во избежание образования наледей, примерзания брезента или коробов к основанию.

12.20. Расчет продолжительности парообогрева бетона до заданной прочности следует производить с использованием графиков, приведенных на рис. 2, 3, 4.

13. ЗАМОНОЛИЧИВАНИЕ СТЫКОВ

13.1. Замоноличивание стыков в зимних условиях можно осуществлять с применением бетонов (растворов), содержащих противоморозные добавки, или с одним из способов электротермообработки бетона — электропрогревом, обогревом в греющей опалубке, с применением греющих проводов, инфракрасного или индукционного нагрева.

Наиболее простым, малотрудоемким и дешевым способом является замоноличивание стыков бетонами (растворами) с противоморозными добавками. Если этот способ не может быть использован из-за замедленного роста прочности бетона замоноличивания, отсутствия необходимых добавок или по другой причине, следует применять наиболее простой способ электротермообработки — электропрогрев бетона замоноличивания. При наличии электронагревателей (ТЭНов, греющего провода, углеграфитовой ткани) рекомендуется замоноличивать стыки в греющей опалубке. Стыки конструкций небольшого сечения — колонн, балок, прогонов — рационально замоноличивать с индукционным нагревом. При небольшой толщине стыков возможно применение инфракрасного нагрева. Возможно также применение инфракрасного обогрева стыков.

13.2. При замоноличивании стыков с применением противоморозных добавок может быть использована деревянная или металлическая опалубка, применяемая в летних условиях. При электротермообработке толщина деревянной опалубки должна быть не менее 40 мм, а металлическая опалубка должна быть утеплена.

13.3. Перед замоноличиванием стыков необходимо очистить стыкуемые поверхности от снега и наледи с помощью скребков, стальных щеток или путем предварительного отогрева при использовании греющей опалубки. По окончании удаления наледи стыкуемые поверхности следует просушить струей сжатого воздуха.

Не допускается применение для очистки стыкуемых поверхностей горячей воды или пара.

13.4. Подвижность бетонной (растворной) смеси в период заполнения полости стыка должна быть такой же, как в летних условиях, и обеспечивать качественное заполнение полости.

13.5. Верхняя поверхность бетона (раствора) замоноличивания должна быть укрыта гидроизоляционным материалом и утеплена.

При электротермообработке бетона (раствора) стыков для уменьшения теплопотерь и повышения равномерности температурного поля в стыке рекомендуется поверхности стыкуемых элементов утеплять на ширину 0,5—1 м от полости стыка.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕТОНОВ С ПРОТИВОМОРОЗНЫМИ ДОБАВКАМИ

13.6. Выбор вида добавок следует производить с учетом данных табл. 32 настоящего Руководства.

Количество добавок необходимо назначать в зависимости от расчетной температуры твердения бетона (раствора) согласно табл. 34 данного Руководства. При этом использование бетона (раствора) с добавкой нитрита натрия в количестве 10—12% массы цемента допускается при расчетной температуре до минус 25° С. В случае если в проекте сооружения указаны требования к прочности сцепления на контакте, рекомендуется количество добавок принимать на ступень выше, т. е. при расчетной температуре от —5 до —10° С назначать его по табл. 34 как для диапазона температур от —11 до —15° С, при расчетной температуре от —11 до —15° С назначать как для диапазона температур от —16 до —20° С и т. д.

Марку бетона (раствора) замоноличивания с противоморозной добавкой следует принимать согласно указаниям проекта сооружения, а при их отсутствии — на ступень выше марки стыкуемых элементов. При замоноличивании несущих стыков многоэтажных зданий марку бетона (раствора) необходимо определять с учетом темпов монтажа сборных конструкций.

13.7. При замоноличивании стыков многоэтажных зданий интенсивность твердения бетона (раствора) с противоморозными добавками должна соответствовать требованиям темпа монтажа сборных конструкций, что обеспечивается выбором марки бетона (раствора) с помощью номограммы (рис. 61) в следующем порядке.

В правой части номограммы по данным табл. 34 данного Руководства построены кривые набора прочности во времени бетонами с добавками НКМ, НН и П, которые, согласно данным табл. 33, допускается применять в бетоне стыков.

Из точки *А* на оси абсцисс, характеризующей продолжитель-

ность твердения бетона τ, восстанавливаем перпендикуляр до пересечения в точке R с кривой набора прочности бетона с конкретной добавкой при расчетной температуре твердения. Ордината точки R определяет долю марочной прочности бетона % R_{28}, которую он приобретает за время τ. Из точки R проводим горизонтальную прямую до пересечения в левой части номограммы с перпендикуляром, восстановленным из точки *Б*, абсцисса которой соответствует требуемой прочности $R_{тр}$ бетона (раствора) в стыках нижележащего этажа к моменту монтажа панелей некоторого вышележащего этажа. Величина отрезка прямой *Б—В* принимается согласно проекту здания или специальным требованиям проектировщиков к прочности бетона стыков $R_{тр}$ в зимних условиях. Требуемая марка бетона (растворов) замоноличивания $M_{тр}$ определяется величиной, указанной на наклонной прямой, расположенной выше точки *В*.

Продолжительность твердения τ следует вычислять, умножая ожидаемый темп монтажа на количество этажей: от этажа, в стыках которого определяется прочность бетона (раствора), до этажа, который подлежит монтажу. Расчетная температура твердения определяется как средняя арифметическая величина среднесуточных или среднемесячных температур за время τ. Среднесуточные или среднемесячные температуры можно принимать по данным долгосрочных прогнозов погоды по прил. 1 данного Руководства или по главе СНиП II-А.6-72 «Строительная климатология и геофизика». Полученная величина $M_{тр}$ умножается на коэффициент, учитывающий возможные потери прочности при твердении бетонов ниже расчетной температуры, который при температуре до минус 20° С составляет для НН и НКМ 1,2, ниже минус 20° С равен 1,3, а для П при температуре ниже минус 25° С составляет 1,2.

13.8. При замоноличивании стыков бетонами (растворами) с противоморозными добавками рекомендуется на бетоносмесительном узле приготовлять сухую смесь и рабочий раствор добавки и доставлять их к месту замоноличивания в специальной таре, которая при необходимости должна быть оборудована устройствами для

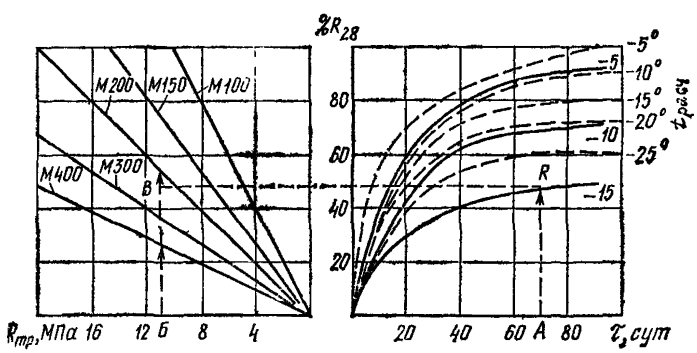


Рис. 61. Номограмма для определения требуемой марки бетона (раствора) замоноличивания стыков в зимних условиях с учетом темпа монтажа сборных конструкций

$t_{рас}$ — расчетная температура твердения; $M_{треб}$ — требуемая марка бетона; $R_{тр}$ — требуемая прочность бетона (раствора) замоноличивания

подогрева. На строительном объекте необходимо установить емкости с подогревом для хранения сменного запаса сухой смеси и рабочего раствора добавки.

Перемешивание сухой смеси и раствора добавки следует осуществлять в смесителях небольшой емкости, чтобы приготовленная смесь не остывала ниже требуемой температуры (см. п. 6.28) до укладки в стык, а в случае применения добавок, значительно ускоряющих схватывание смеси (поташ, ННХК и т. п.), — не теряла заданной подвижности до укладки.

13.9. Транспортирование бетонной (растворной) смеси для замоноличивания стыков необходимо производить в утепленной таре.

Повышение температуры смеси перед укладкой путем добавления горячей воды не допускается.

13.10. В случае если бетон (раствор), стыка согласно результатам испытаний образцов-кубов (п. 16.21), перед началом монтажа сборных элементов соответствующего этажа не достиг необходимой прочности, должно быть принято решение об ускорении твердения бетона (раствора) замоноличивания путем его обогрева либо о замедлении темпа монтажа.

ЭЛЕКТРОПРОГРЕВ БЕТОНА (РАСТВОРА) ЗАМОНОЛИЧИВАНИЯ

13.11. Электропрогрев бетона (раствора) замоноличивания является наиболее эффективным по сравнению с другими способами электротермообработки в случае простой конфигурации поперечного сечения стыков при отсутствии в полости стыка густой арматуры и большого количества закладных деталей.

Электропрогрев бетона замоноличивания производится без предварительного отогрева полости стыка.

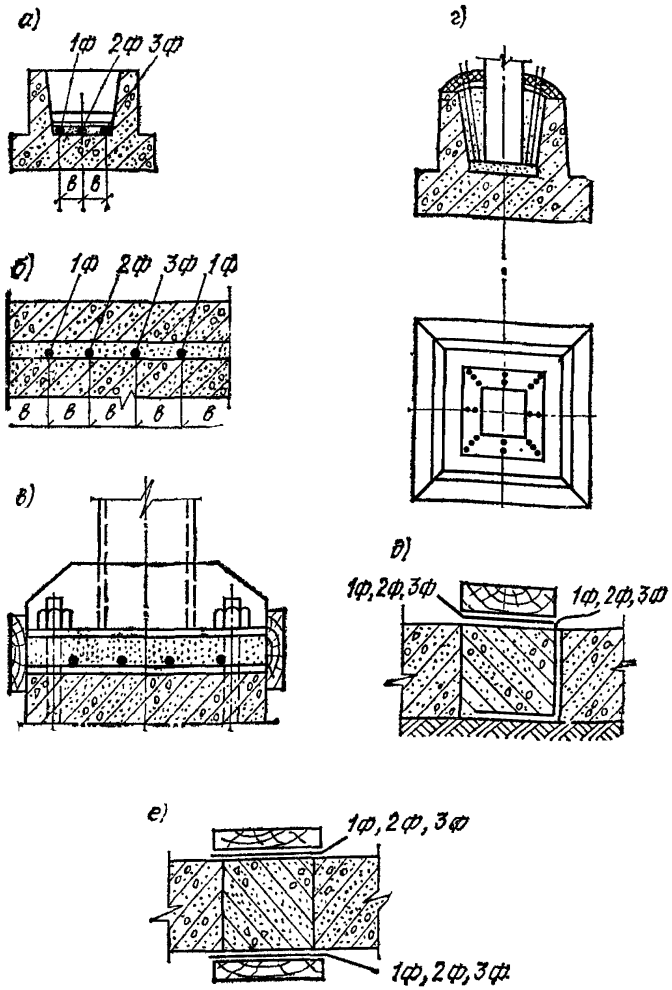
13.12. При низких температурах воздуха бетон замоноличивания на контакте с промороженными стыкуемыми элементами до начала прогрева замерзает, что обусловливает в дальнейшем недобор его прочности. Во избежание этого следует применять для замоноличивания бетонную (растворную) смесь с противоморозными добавками. Области применения бетона без добавок и с добавками при электропрогреве стыков приведены в табл. 60.

13.13. Расчет электродного прогрева стыков следует производить так же, как и прогрев монолитных конструкций (см. разд. 8), за исключением определения требуемой мощности, которую рекомендуется принимать по табл. 24 «Руководства по электротермообработке бетона», М., Стройиздат, 1974. При отсутствии нужной схемы стыка мощность принимают по наиболее близкой. схеме, причем определяющим фактором является суммарное сечение стыкуемых элементов в направлениях движения теплового потока от полости стыка и объемная масса бетона.

13.14. Количество противоморозных добавок при электропрогреве бетона (раствора) замоноличивания следует назначать в соответствии с расчетной температурой твердения по данным табл. 44.

При определении расстояния между электродами в бетоне (растворе) с добавками, выборе величины напряжения и установлении диапазона его изменения в процессе прогрева необходимо учитывать положения, изложенные в пп. 50, 51 разд. 8.

13.15. При замоноличивании последовательно большого количества стыков одинаковой конструкции рекомендуется применять са-



морегулирующийся температурный режим электропрогрева (см. п. 4 разд. 4). В случае применения режима электропрогрева с регулированием напряжения время между окончанием замоноличивания первого и последнего стыков захватки, подключаемой к одному многоступенчатому трансформатору, не должно быть более 1,5 ч, чтобы исключить значительную разницу в удельном сопротивлении бетона в разных стыках, препятствующую осуществлению в них одинакового температурного режима в процессе прогрева.

13.16. Электропрогрев бетона (раствора) подливок под колонны в стаканах фундаментов, а также раствора в горизонтальных сты-

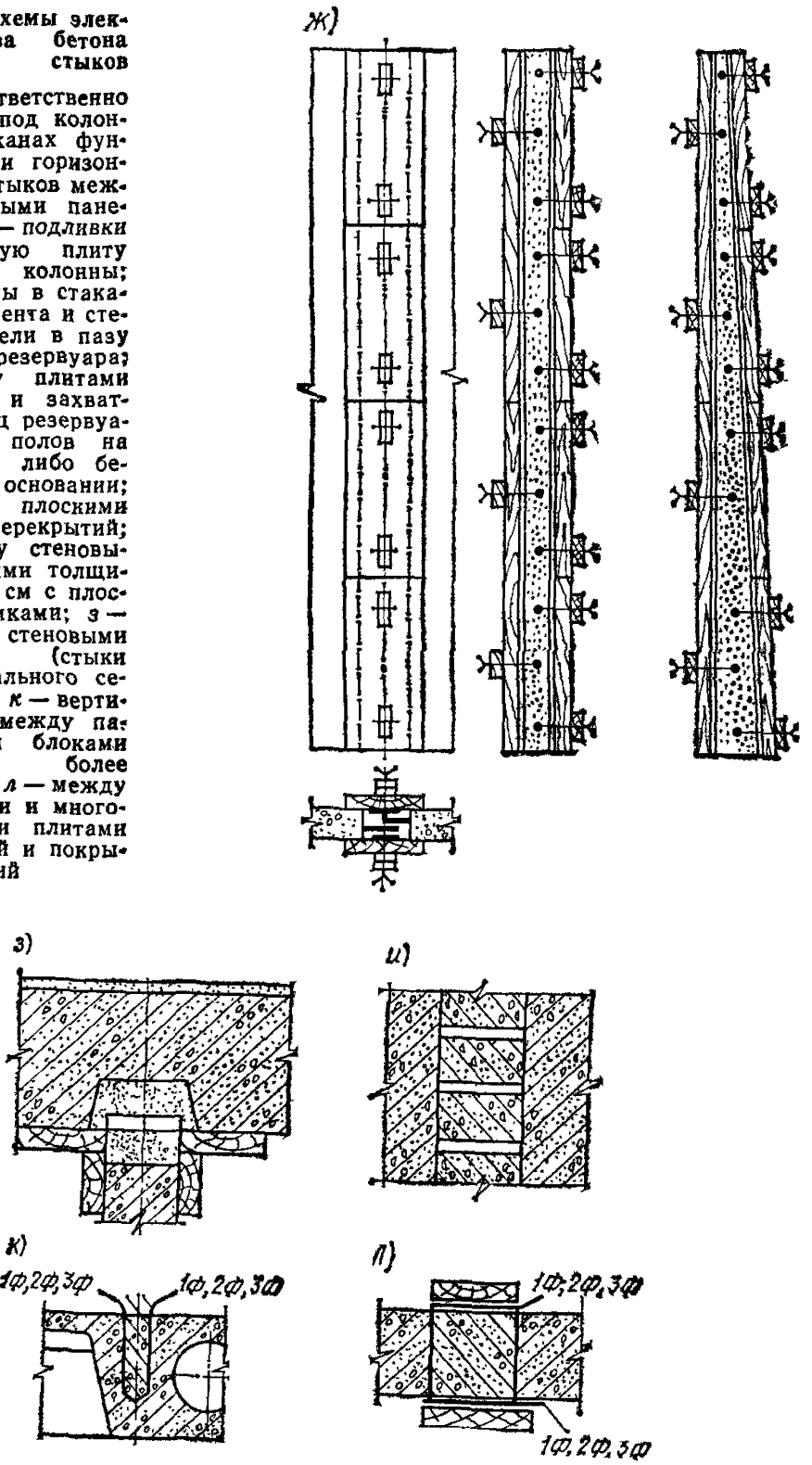


Рис. 62. Схемы электропрогрева бетона (раствора) стыков

а, б — соответственно подливок под колонны в стаканах фундаментов и горизонтальных стыков между стеновыми панелями; *в* — подливки под опорную плиту стальной колонны; *г* — колонны в стакане фундамента и стеновой панели в пазу днища резервуара; *д* — между плитами покрытий и захватками днищ резервуаров или полов на грунтовом либо бетонном основании; *е* — между плоскими плитами перекрытий; *ж* — между стеновыми панелями толщиной до 25 см с плоскими кромками; *з* — между стеновыми панелями (стыки трапецеидального сечения); *к* — вертикальных между панелями и блоками толщиной более 25 см; *л* — между ребристыми и многопустотными плитами перекрытий и покрытий

ках между стеновыми панелями, стеновыми или фундаментными блоками следует осуществлять с помощью стержневых электродов (рис. 62, *а, б*). Стержни диаметром 4—6 мм укладываются в гори-

Таблица 60

Тип стыка	Температура наружного воздуха при укладке смеси, °С		
	без добавок до	с добавкой	
		от	до
Подливка под колонну в стакане фундамента	—5	—6	—30
Стык колонны в стакане фундамента	—10	—11	—30
Стык между подошвой металлической колонны и железобетонным фундаментом	—10	—11	—40
Стык между плитами (картами) покрытия на грунтовом или бетонном основании	—10	—11	—40
Стык между плоскими плитами перекрытий	—15	—16	—40
Стыки горизонтальные между стеновыми панелями и фундаментными со стеновыми блоками	—5	—6	—30
Стыки вертикальные между стеновыми панелями и блоками шириной, мм:			
до 80	—5	—6	—30
более 80	—10	—11	—30
Стыки колонны с колонной, ригеля с колонной	—5	—6	—30
Стыки между ребристыми или многопустотными плитами покрытий или перекрытий	—5	—6	—30

зонтальное положение и закрепляются до укладки смеси. Соседние электроды подключают к разным фазам понижающего трансформатора. Через смесь, укладываемую между электродами, сразу начинает проходить электрический ток. На подливку или раствор стыка необходимо сразу установить верхний стыкуемый элемент (колонну, стеновую полосу или блок, который должен к началу укладки смеси находиться возле стыка на крюке крана.

13.17. Электропрогрев бетона (раствора) подливки под опорную плиту стальной колонны (рис. 62, *в*) и аналогичных конструкций следует осуществлять с помощью дополнительной сетки-электрода, которую укладывают на подколонник. Сетка должна быть сварена из стержней диаметром 6 мм с размером ячейки не более 50 мм. Вокруг анкерных болтов сетку следует вырезать на расстоянии не менее 0,7 расстояния между сеткой и нижней поверхностью опорной плиты. Два стержня сетки должны выступать за пределы опалубки для присоединения к одной фазе понижающего трансформатора. Колонну подключают к нулевой фазе или заземляют.

После окончания уплотнения смеси отверстия в опорной плите

колонны, через которые укладывают смесь, необходимо закрыть гидроизоляционным материалом.

13.18. Стыки колонн в стаканах фундаментов, стыки стеновых панелей в пазах днищ резервуаров следует прогревать стержневыми электродами (рис. 62,*г*), которые устанавливают и подключают к разным фазам понижающего трансформатора после замоноличивания каждых 3 м длины стыка и укладки гидроизоляционного материала на поверхность бетона (раствора).

При этом не допускается временное раскрепление колонн и стеновых панелей в стаканах и пазах с помощью деревянных клиньев, которые практически не проводят электрического тока. Металлические клинья могут быть использованы в качестве электродов при установке их на соответствующем расстоянии друг от друга или на большем расстоянии, кратном расчетному расстоянию между электродами.

13.19. Стыки между колоннами, между ригелем и колонной, стыки ригелей и прогонов следует замоноличивать либо с периферийным прогревом стержневыми электродами, закрепленными на деревянной опалубке, либо с прогревом стержневыми электродами, которые устанавливают по окончании бетонирования стыка в отверстия деревянной опалубки или сверху в бетон через гидроизоляционный материал.

13.20. Стыки между плоскими плитами сборных покрытий или захватками монолитных покрытий, днищ резервуаров, полов на грунтовом или бетонном основании следует замоноличивать с периферийным электропрогревом бетона замоноличивания полосовыми электродами толщиной 2—3 мм, закрепленными поперек стыка на деревянной опалубке, которую укладывают на поверхность бетона по мере укладки и уплотнения смеси и сразу подают напряжение на электроды (рис. 62, *д*).

13.21. Стыки между плоскими плитами перекрытий следует замоноличивать с периферийным электропрогревом полосовыми электродами из кровельной стали, закрепленными на подвесной (нижней) деревянной опалубке, и электродами толщиной 2—3 мм, закрепленными на нижней поверхности деревянных щитков, укладываемых на поверхность бетона по мере укладки и уплотнения бетонной смеси. Электроды должны быть расположены поперек стыка (рис. 62, *е*). На электроды подвижной опалубки напряжение должно быть подано до начала бетонирования накладных щитков по мере их укладки.

13.22. Вертикальные стыки колодцевого типа между стеновыми панелями толщиной до 25 см следует замоноличивать со сквозным электропрогревом бетона электродами из кровельной стали, закрепленными на деревянной опалубке по обе стороны стыка, или металлическими щитками опалубки, используемыми в качестве пластинчатых электродов. Электроды с одной стороны стыка подключают к одной фазе понижающего трансформатора, с другой стороны стыка — к другой фазе.

Во избежание короткого замыкания не допускается крепить металлические щитки опалубки сквозными проволочными скрутками. Крепление следует производить либо неметаллическими скрутками, например из стекложгута, либо с помощью устройств, прижимающих металлическую опалубку снаружи к стыкуемым элементам. Деревянные щитки можно крепить проволочными скрутками, вырезая электроды на расстоянии от скрутки на 0,5 расстояния между разноименными электродами (рис. 62, *ж*).

13.23. Вертикальные стыки трапецеидального сечения между стеновыми панелями (рис. 62, *з*) следует замоноличивать с прогревом стержневыми электродами, которые устанавливают по окончании бетонирования стыка. Соседние ярусы электродов подключают к разным фазам понижающего трансформатора.

13.24. Вертикальные стыки между стеновыми панелями и блоками толщиной более 25 см целесообразно замоноличивать с периферийным электропрогревом полосовыми электродами из кровельной стали, закрепленными поперек стыка на деревянных опалубочных щитках. На каждом щитке соседние электроды подключают к разным фазам от пониженного напряжения (рис. 62, *и*). Подачу напряжения следует производить до начала бетонирования.

13.25. Стыки между ребристыми и многопустотными плитами перекрытий и покрытий следует замоноличивать с электропрогревом стержневыми электродами, устанавливаемыми в бетон после укрытия его поверхности гидроизоляционным покрытием. Соседние электроды должны быть подключены к разным фазам понижающего трансформатора (рис. 62, *к*).

ОБОГРЕВ СТЫКОВ В ГРЕЮЩЕЙ ОПАЛУБКЕ

13.26. Преимуществом замоноличивания стыков с применением греющей опалубки является возможность предварительного отогрева полости стыка, бетонирования и последующего обогрева бетона замоноличивания без использования дополнительных устройств. Греющая опалубка может быть применена для замоноличивания стыков любой конструкции без ограничения температуры воздуха.

Использование греющей опалубки осложняется дефицитностью эффективных электронагревателей, значительными температурными перепадами в бетоне замоноличивания при большой толщине стыков, что требует длительных режимов обогрева.

13.27. Греющую опалубку целесообразно компоновать из стальных щитов опалубки стыков, используемых в летнее время, и съемных термовкладышей, закрепляемых на щитах на зимний период.

В районах с длительным зимним периодом термовкладыши могут быть закреплены на щитах постоянно.

13.28. Конструкция греющей опалубки для стыков и типы нагревателей должны отвечать требованиям к греющей опалубке, изложенных в разд. 9.

Термовкладыш греющей опалубки для замоноличивания стыков (рис. 63) должен включать электронагреватели, укрепленные на панели из электроизоляционного материала (например, текстолита), и слой теплоизоляционного материала, защищенный с наружной стороны кожухом из листовой стали толщиной 0,5 мм или из фанеры. Коммутация электронагревателей выполняется внутри термовкладыша, наружу следует вывести только два провода для подключения разъема, укрепленного на наружной стороне термовкладыша.

13.29. Выдерживание заданной скорости подъема температуры (не более допускаемой величины согласно п. 4.7) обеспечивается использованием величины удельной мощности, находящейся в пределах 2—2,8 кВт/м^2 площади палубы, уточняемой расчетом в каждом конкретном случае. Выдерживание заданной температуры изотермического обогрева бетона (не более 80° С на контакте с палубой) осуществляется применением датчика температуры (см. табл. 68 данного Руководства) с термореле, которое по сигналам датчика обес-

печивает включение или отключение напряжения, подаваемого на электронагреватели.

13.30. На нагреватели допускается подавать напряжение до 220 В, при котором исключается необходимость в понижающих трансформаторах. Как правило, целесообразно использование напряжения до 127 В с применением понижающих трансформаторов (см. табл. 67), обеспечивающих возможность регулирования удельной мощности нагревателей путем переключения ступеней вторичного напряжения. Регулирование мощности рекомендуется при обогреве стыков в большом диапазоне температур наружного воздуха и различной толщине стыков, замоноличиваемых в одной и той же унифицированной греющей опалубке.

13.31. Для раздельного электропитания и автоматического обеспечения заданного температурного режима каждого из нескольких одновременно обогреваемых стыков следует предусматривать на группу стыков распределительный шкаф, в котором размещается пусковая аппаратура. Рекомендуется предусматривать один шкаф на каждый понижающий трансформатор и соответствующее количество стыков в группе.

13.32. Замоноличивание стыков в греющей опалубке необходимо осуществлять в следующем порядке:

установить вблизи группы замоноличиваемых стыков понижающий трансформатор, подключить его к сети; установить распределительный шкаф и подключить его к понижающему трансформатору;

отрегулировать термореле на заданную температуру;

установить щиты греющей опалубки на стык, закрепить их и подключить к распределительному шкафу;

подать напряжение на рас-

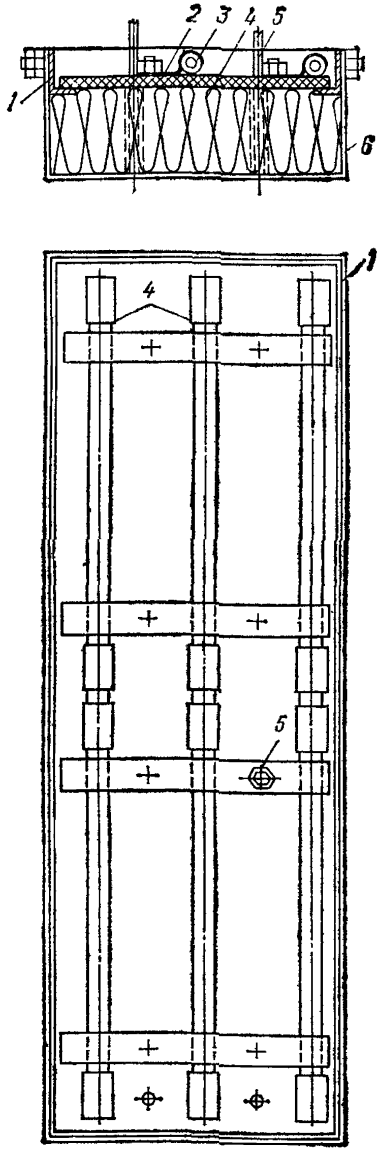


Рис. 63. Схема термовкладыша греющей опалубки стыков
1 — каркас уголков; *2* — панель из электроизоляционного материала; *3* — ТЭНы; *4* — утеплитель; *5* — болты для крепления термовкладыша к щиту опалубки; *6* — защитный кожух

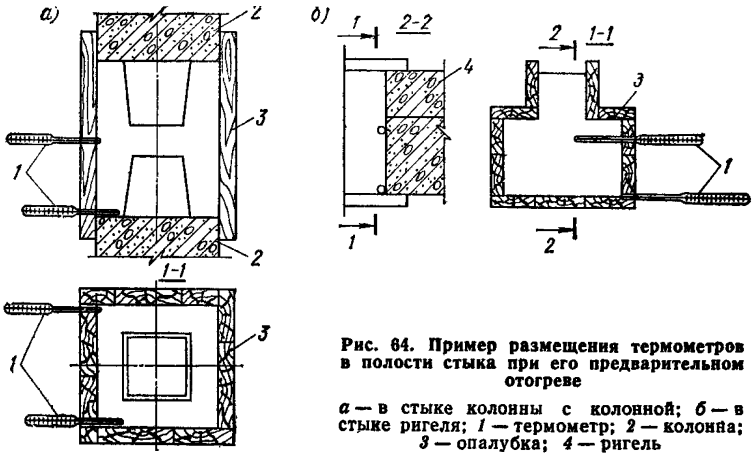


Рис. 64. Пример размещения термометров в полости стыка при его предварительном отогреве

а — в стыке колонны с колонной; *б* — в стыке ригеля; *1* — термометр; *2* — колонна; *3* — опалубка; *4* — ригель

пределительный шкаф, затем — на нагреватели опалубки и произвести предварительный отогрев полости стыка до температуры на поверхности стыкуемых элементов и опалубки (схема размещения датчиков дана на рис. 64) в пределах 10—30° С, для чего ориентировочная продолжительность отогрева должна составлять 2 ч при температуре наружного воздуха 0° С, 4 ч при минус 10° С, 6 ч при минус 20° С и 8 ч при минус 30° С;

по окончании предварительного отогрева забетонировать стык, укрыть его верхнюю поверхность гидроизоляционным и теплоизоляционным материалами (а при толщине стыка более 200 м — греющими щитками, предусмотренными проектом опалубки и технологической картой); перечисленные операции можно осуществлять, не снимая напряжения с электронагревателей;

произвести подъем температуры бетона и его изотермический обогрев при температуре, определяемой регулировкой температурного реле, в процессе тепловой обработки бетона заданный температурный режим выдерживается автоматически;

по окончании изотермического обогрева отключить напряжение с нагревателей и отключить распределительный шкаф от сети;

по окончании остывания бетона замоноличивания до температуры, превышающей температуру наружного воздуха не более чем на 30° С, произвести распалубку стыка.

При необходимости ускорения оборачивания греющей опалубки допускается ее демонтаж сразу после окончания изотермического обогрева бетона с немедленным утеплением стыка матами из минеральной ваты или покрывалами из нескольких слоев брезента.

13.33. Через каждые 5—6 оборотов греющей опалубки рекомендуется проверять с помощью технических термометров соответствие фактической температуры изотермического обогрева бетона ее расчетной величине.

13.34. Инфракрасный и индукционный прогрев стыков. Расчет инфракрасного и индукционного прогрева стыков, конструирование специальных устройств и производство работ по прогреву следует осуществлять в соответствии с положениями разд. 10 и 11.

14. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ В СЕВЕРНОЙ СТРОИТЕЛЬНО-КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

14.1. При подготовке организационно-технической документации по производству железобетонных работ необходимо учитывать:

инженерно-геокриологические условия площадки строительства и принципы использования вечномерзлых грунтов в качестве основания зданий и сооружений согласно главе СНиП II-18-76 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах»;

природно-климатические условия, характеризующиеся длительностью периода стабильных низких температур наружного воздуха, коротким летним периодом;

географическую доступность района строительства и условия доставки и хранения основных компонентов бетонной смеси.

Укладку бетонной смеси при температурах ниже минус 25— минус 30° необходимо рассматривать как вынужденную меру, ведущую к значительным трудностям в производстве работ, повышенным расходам энергетических ресурсов.

14.2. При выборе оборудования для производства бетонных и железобетонных работ следует учитывать объемы бетонирования, их концентрацию и условия транспортной доступности, а также условия его эксплуатации в различные периоды года.

14.3. Заготовка материалов заполнителей (песка, гравия, щебня) должна производиться заблаговременно в летний период путем складирования в бурты таким образом, чтобы не вызывать снегозаносимости строительной площадки в зимний период и не нарушать мерзлотно-грунтовых условий территории застройки.

Цемент следует хранить в плотных деревянных или металлических емкостях, защищенных от внешних погодных воздействий.

14.4. В районах сосредоточенного строительства цементный клинкер целесообразно доставлять на стройки с последующим его помолом на местах по мере надобности.

14.5. При строительстве по принципу сохранения вечномерзлых грунтов в основании площадки для приготовления бетонной смеси должны размещаться на низовых по рельефу участках, расположенных не ближе 50 м от объектов основного строительства.

14.6. При проектировании составов бетонных смесей должны обеспечиваться повышенные требования по прочности, морозостойкости и водонепроницаемости конструкций, предназначенных для эксплуатации при расчетных температурах до минус 40° С и ниже, находящихся в условиях постоянного увлажнения, особенно тяжелых температурно-влажностных условиях их работы в пределах сезонноотаивающего слоя и у поверхности грунта.

14.7. Минимальные проектные марки бетона по морозостойкости и водонепроницаемости должны приниматься согласно «Руководству по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения)» (2-е изд. М., Стройиздат, 1978).

14.8. При возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций должны применяться преимущественно бетонные смеси с водоцементным отношением не более 0,4—0,5, приготовленные на высокомарочных цементах.

14.9. К бетону, эксплуатируемому в активной зоне грунта, предъявляют повышенные требования по морозостойкости и плотности.

Морозостойкость бетона в этой зоне должна быть не ниже 300, 200, 150 для зданий и сооружений соответственно классов I, II и III.

14.10. Для ускорения твердения бетона в вечномерзлых грунтах могут использоваться химические добавки-ускорители. При выборе вида и назначения дозировок химических добавок следует учитывать возможность миграции солей из бетона в грунт, изменение температуры замерзания грунта и как следствие уменьшение несущей способности фундамента. При скальных и непросадочных грунтах основания действие миграции солей из бетона в грунт не учитывается.

14.11. Рекомендуемые дозировки химических добавок — ускорителей твердения при бетонировании в нескальных просадочных грунтах при твердомерзлом их состоянии принимаются согласно табл. 61. При бетонировании конструкций, для которых предусматривается оттаивание основания в период эксплуатации, а также при возведении конструкций на непросадочных и скальных грунтах количество противоморозных добавок следует назначать в соответствии с «Руководством по применению бетонов с противоморозными добавками» (глава 1—8, М., Стройиздат, 1978).

14.12. Для армированных конструкций количество введенных хлористого и фосфатированного хлористого кальция ХК, ФХК не должно превышать 2% массы цемента.

14.13. При подборе состава бетона без добавок — ускорителей твердения заданная проектом марочная прочность бетона, твердеющего в мерзлых грунтах, должна быть увеличена путем деления на технологический коэффициент, определяемый по табл. 62, с химическими добавками на технологический коэффициент, определенный по табл. 63 и 64.

14.14. В случае укладки бетона или раствора под воду состав бетонной или растворной смеси следует подбирать с учетом увеличения на 10% проектной прочности бетона.

14.15. Подбор состава бетонной смеси или раствора (при защемлении сборных свай-стоек) выполняется по рецепту специализированной строительной лаборатории в соответствии с заданной проектом маркой бетона, сроков хранения подвижной бетонной смеси и способа доставки ее на объект, химической агрессивности грунтов строительной площадки, температуры наружного воздуха и грунтового массива в месте укладки смеси, а также условий производства работ при бетонировании (состояния скважины, ее размеры, обводненности и т. д.).

14.16. Материалы, применяемые для приготовления бетонной смеси или раствора для защемления нижнего конца свай-стоек, должны удовлетворять требованиям соответствующих глав *СНиП* на вяжущие материалы неорганические и добавки для бетонов и растворов, нормам проектирования на бетонные и железобетонные конструкции, а также ГОСТ 10268—70*.

14.17. Транспортирование бетонной смеси должно осуществляться преимущественно автобетоносмесителями или автобетоновозами, оборудованными для эксплуатации при температуре воздуха до минус 40° С.

Потери тепла и снижение температуры бетонной смеси при использовании отечественных автобетоносмесителей С-1036 (СБ-67) определяют по формуле

$$t_б^к = t_б^0 - 0{,}00826\,(36{,}18 - \tau)\left(t_б^0 - t_{н.в}\right), \qquad (81)$$

Таблица 61

Вид грунта	Количество безводных солей (% массы цемента) при температуре грунта, °С				
	до — 0,6	от — 0,6 до — 1	от — 1,1 до — 1,5	от — 1,6 до —3	от — 3 до — 5
	ХК, ФХК, ННХК				
Пески	Не допускается	1	1	2	3
Супеси	То же	1	1	2	3
Глины	»	—	—	1	2
Суглинки	»	—	1	1	2
	НКМ, НК				
Пески	»	2	2	3	4
Супеси	»	2	2	3	4
Глины	»	—	—	2	4
Суглинки	»	—	1	2	4

Примечания: 1. Для армированных конструкций количество введения хлористого и фосфатированного хлористого кальция ХК, ФХК не должно превышать 2% массы цемента.

2. При температурах вечномерзлого грунта ниже минус 5° С рекомендуется применять сборные сваи. Буронабивные сваи, монолитные фундаменты при этих температурах следует применять с электропрогревом.

3. Применение противоморозных добавок при бетонировании висячих свай разрешается в опытном порядке только при температурах вечномерзлого грунта ниже минус 5° С с учетом влияния миграции солей в грунт на снижение сопротивления сдвигу по боковой поверхности сваи.

Таблица 62

Проектная марка бетона	Коэффициент и марка цемента при достижении 100%-ной прочности в возрасте			
	месячном		шестимесячном	
	без предварительного прогрева	с прогревом до 70% от R_{28}	без предварительного прогрева	с прогревом до 70% от R_{28}
М 200 — М 300	0,65 / 500—600	0,7 / 400—500	0,75 / 500—600	1 / 400—500
М 150	0,6 / 500—600	0,65 / 400—500	0,75 / 400—600	1 / 300—400

Таблица 63

Дозировка химических добавок, % массы цемента	Возраст бетона марок М 200 — М 300 к моменту достижения заданной прочности, мес	Технологический коэффициент при температуре грунта, °С	
		от 0 до — 2	от — 2 до — 5
1,5 $CaCl_2$+1,5 $NaNO_2$+ +0,2 ССБ	1	0,8	0,7
	2	0,9	0,8
	3	0,95	0,9
	6	1	1
2 $CaCl_2$+2 $NaNO_2$+ +0,2 ССБ	1	0,85	0,8
	2	0,25	0,9
	3	1	1
	6	1,1	1,1

Таблица 64

Рекомендуемая проектная марка бетона	Возраст бетона к моменту достижения заданной марки, сут	Технологический коэффициент при дозировке названных добавок, % массы цемента					
		ХК		ФХК, ННХК		НК, НКМ	
		1	2	3	2	3	4
При температуре грунта до —1,5° С							
М 300—М 200	28	0,65	—	—	0,65	—	—
	90	0,85	—	—	0,7	—	—
	180	1	—	—	1	—	—
М 150	28	0,7	—	—	0,7	—	—
	90	0,8	—	—	0,75	—	—
	180	1	—	—	1	—	—
При температуре грунта от —1,6 до —3° С							
М 300—М 200	28	0,65	0,75	—	0,65	0,7	—
	90	0,80	1	—	0,7	0,9	—
	180	1	1,1	—	1	1	—
М 150	28	0,7	0,8	—	0,7	0,75	—
	90	0,8	1,0	—	0,75	1	—
	180	1	1,1	—	1	1,1	—
При температуре грунта от —3 до —5° С							
М 300—М 200	28	—	0,75	0,8	—	—	0,75
	90	—	1	1	—	—	0,9
	180	—	1,1	1,1	—	—	1,1
М 150	28	—	0,8	0,85	—	—	0,8
	90	—	0,9	1	—	—	1
	180	—	1,1	1	—	—	1,1

где $t_б^к$ — температура бетонной смеси в конце периода транспортирования, °С;

$t_б^0$ — начальная температура смеси при загрузке, °С;

τ — длительность транспортирования (в пределах 15—30 мин);

$t_{н.в}$ — температура воздуха, °С.

14.18. При организации перевозки бетонной смеси должны учитываться погодные условия (температура воздуха, скорость ветра), условия транспортирования, в том числе скорость, зависящие от снегозаносимости и состояния дорог, наличия пересечений (в том числе железнодорожными путями), вида транспортных средств, наличия или отсутствия обогрева кузова.

14.19. В зимних условиях перевозки бетонной смеси следует производить в автобетоносмесителях с утепленной горловиной и закрывающей ее теплоизоляционной крышкой или организовывать обогрев горловины отработанными газами от двигателя.

14.20. В зимний период при низких температурах воздуха бетонную смесь в конструкции рекомендуется подавать в утепленных бункерах или с помощью бетононасосов зимнего исполнения.

14.21. Укладка бетонной смеси в конструкции на открытом воздухе может производиться при температуре воздуха до минус 40° С. В особых случаях, не связанных с эксплуатацией грузоподъемных механизмов, бетонная смесь может укладываться при более низких температурах (укладка смеси по хоботам непосредственно из автотранспортных средств).

14.22. Бетонирование должно начинаться сразу после окончания подготовительных работ и по возможности, вестись без перерыва с тщательным уплотнением смеси. Время, необходимое для набора бетоном заданной относительной прочности (без добавок — ускорителей твердения), приведено в табл. 65.

14.23. Для достижения бетоном заданной проектом прочности прежде всего следует рассмотреть возможность использования способа термоса. Возможность и целесообразность применения метода термоса устанавливается теплотехническим расчетом и технико-экономическим обоснованием.

14.24. Для расширения области применения способа термоса рекомендуется осуществлять предварительный разогрев бетонной смеси перед укладкой ее в конструкцию, применять цементы с повышенным тепловыделением и быстротвердеющие, химические добавки-ускорители и противоморозные поверхностно-активные вещества (ПАВ), а также в отдельных случаях можно сочетать термос с электрообогревом конструкций.

14.25. При производстве бетонных и железобетонных работ с применением способа термоса следует пользоваться рекомендациями, изложенными в «Руководстве по зимнему бетонированию с применением метода термоса» (М., Стройиздат, 1975).

14.26. Перед укладкой бетонной смеси после ветреной и снежной погоды в конструкции в обязательном порядке еще раз следует проверять прочность крепления стенок опалубки, а также проектное положение арматурных каркасов и сеток, производить очистку от снега сжатым воздухом.

14.27. В районах с интенсивной снегозаносимостью в зимний период должны приниматься меры по предотвращению снегоотложений при подготовке опалубочных систем и арматуры к бетонированию конструкций на открытом воздухе.

Таблица 65

Средняя температура твердеющего бетона, °С	Время, сут, необходимое для набора прочности, %														
	Бетон на портландцементе марки 300					Бетон на портландцементе марки 400—500					Бетон на шлакопортландцементе марки 300—400				
	30	40	50	70	100	30	40	50	70	100	30	40	50	70	100
1	8	11	17	35	70	4	6	10	19	65	—	—	—	—	—
5	6	8	12	25	50	3	5	8	15	51	9	12	25	50	100
10	4	6	10	19	38	2	3	5,5	11	37	6	8	12,5	25	50
20	3	5	7	14	28	1,5	2	3,5	7	23	4	6	10	19	39
30	2	3	4	8	16	1	1,5	2,5	5	16	3	5	7	14	28
40	1	2	3	6	12	1	1	2	3,5	10	1,5	2,5	4	8	16
50	0,5	1,5	2	5	—	0,5	1	1,5	2,5	—	1	2	3	6	—
60	0,5	1	2	4	—	0,5	1	1	2	—	1	1,5	2	4,5	—
80	0,5	1	1	2	—	0,5	0,5	0,6	1,5	—	0,5	1	2	3,5	—

В качестве таких мер могут использоваться:

укрытие опалубки брезентом или полимерными покрытиями;

специальные конструктивные решения опалубок, обеспечивающие снеговыдувающий эффект.

При установке сборно-щитовой опалубки (рис. 65) в районах с интенсивными снегозаносами в начале должен укладываться каркас днища на поддерживающие элементы несущих конструкций — стойки. Затем устанавливают боковые щиты с опиранием их на планки каркаса днища таким образом, что между каркасом и нижней кромкой боковых щитов образуют зазор.

Таким образом образуется короб без сплошного настила днища, что исключает отложение снега. Арматурные каркасы устанавливают на планки каркаса днища. Затем непосредственно перед укладкой бетонной смеси, через зазор заводят элементы настила. Элементы настила смонтированы с возможностью горизонтального переме-

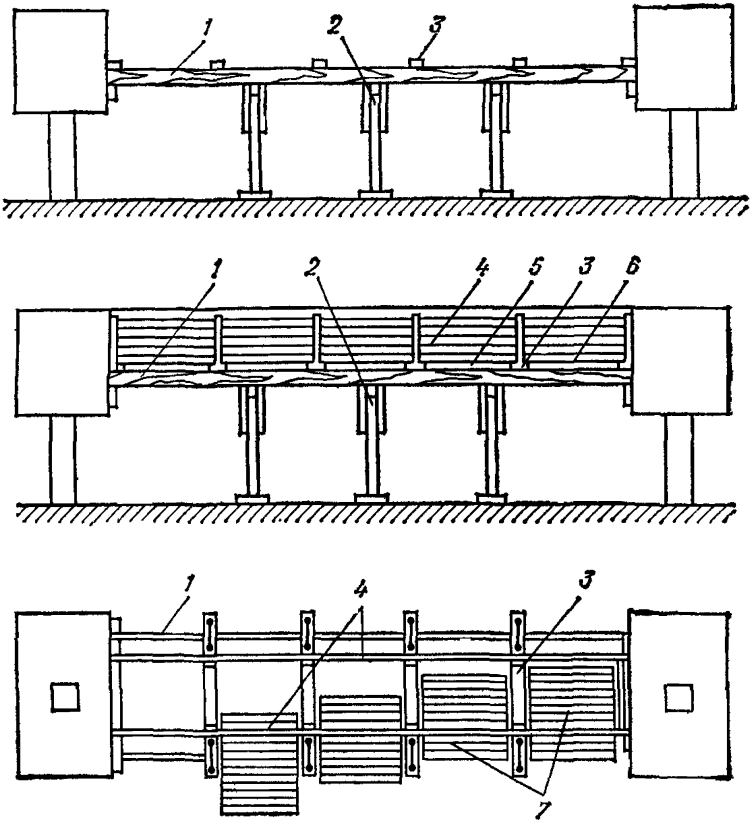


Рис. 65. Последовательность операций по устройству опалубки для снеговыдувающей конструкции бетонирования ростверковых систем

1 — каркас днища; *2* — стойки; *3* — планки каркаса днища; *4* — боковые щиты; *5* — зазор; *6* — нижняя кромка боковых щитов; *7* — элементы настила

щения, перпендикулярного относительно продольной оси каркаса днища. Укладка элементов настила днища аналогична задвижке крышки пенала. После монтажа настила днища все операции по бетонированию производят обычными методами.

14.28. Для интенсивного использования автобетононасосов необходимо обеспечить фронт опалубочных и арматурных работ. Быстрота маневрирования автобетононасосов как в пределах строительной площадки, так и при переводе машин с объекта на объект зависит от состояния дорог, особенно в зимнее время, когда значительные снежные заносы затрудняют передвижение.

14.29. При эксплуатации автобетононасосов можно выделить три тепловых режима работы: до минус 5°, до минус 25° С и до минус 40° С.

Для работы при температурах наружного воздуха до минус 5° С бетононасосы не требуют дополнительных затрат на утепление. Можно применять обычные бетононасосы. Для работы при отрицательных температурах до минус 25° С у бетононасосов необходимо утеплять все узлы и детали, которые соприкасаются с бетонной смесью. При этом необходимо особенно герметично по методу термоса утеплять трубопроводы и основные узлы бетононасоса, чтобы сохранить начальную температуру бетона.

Для эксплуатации при экстремальных температурах до минус 40° С, кроме утепления основных узлов бетононасоса, требуется дополнительно отогрев утепленного бетоновода путем обогрева трубопровода гибкими нагревательными элементами, а также поддержанием этого тепла утеплителем.

14.30. В местах работы автобетононасосов заблаговременно обязательно должна быть доставлена горячая вода в утепленных емкостях или подведены трубы горячего водоснабжения с водоразборной арматурой для промывки бетоноводов. В исключительных случаях допускается подвозка горячей воды водовозными автомобилями в цистернах.

14.31. При выдерживании бетона в конструкциях при температуре наружного воздуха ниже минус 40° С могут использоваться комбинированные методы зимнего бетонирования:

применение бетонов с противоморозными добавками с электропрогревом бетона и с замедленным остыванием в утепленной опалубке;

применение многооборачиваемых тепляков (особенно из синтетических материалов) в сочетании с электропрогревом бетона и противоморозными добавками.

14.32. При устройстве монолитных фундаментов может использоваться способ укладки бетона враспор с мерзлым грунтом. На просадочных и несцементированных льдом сухих мерзлых грунтах, способных к обрушению, использование способа бетонирования враспор запрещается.

Относительный радиус оттаивания A определяют по формуле

$$A = \frac{a}{b} = \sqrt{1 + \frac{K_{м}(0{,}2\gamma_{б} + 0{,}8B)(t_{б} - t_{г}) + \Delta Э Ц + 4300\,\frac{h_{э}}{H}}{80\gamma_{ск}\,\frac{W - W_{н}}{100}}}, \qquad (82)$$

где a — расстояние от середины конструкции до края оттаявшего грунта по меньшему сечению в плоскости основания, м;
b — расстояние от середины до края конструкции в этом сечении, м;
$\gamma_б$ — объемный вес уложенного бетона, кг/м³;
B — количество воды затворения в бетонной смеси, кг/м³;
$\gamma_{ск}$ — объемный вес скелета грунта, кг/м³;
$t_б$ — температура бетонной смеси в момент укладки, °С;
$t_г$ — температура вечномерзлого грунта в момент укладки бетона, °С;
$\Delta Э$ — количество экзотермического тепла, выделяемого килограммом цемента за период твердения бетона, кДж/кг;
$Ц$ — содержание цемента в бетонной смеси, кг/м³;
4300— расход тепла, кДж, для электропрогрева 1 м³ бетона, принятый условно равным 50 кВт·ч/м³;
$h_э$ — глубина погружения электродов в массив бетона, м;
H — глубина заложения фундаментов, м;
W — влажность грунта по массе, %;
$W_н$ — количество незамерзшей воды в грунте, %;
$K_м$ — доля тепла от уложенного бетона, рассеивающегося в вечномерзлом грунте принимается, кДж:

при бетонировании подземной конструкции без выхода ее на дневную поверхность $K_м=1$; при выходе на дневную поверхность $K=0{,}5$ при $H=1—1{,}5\,h$; $K=0{,}7$ при $H=1{,}5—2\,h$; $K=0{,}8$ при $H=2—3h$,

где h — глубина сезонного оттаивания грунтов;
H — глубина заложения фундаментов.

14.33. Для уменьшения оттаивания вечномерзлого грунта в основании фундамента устраивают теплоизоляционные прослойки.

Теплоизоляционная прослойка устраивается путем отсыпки на основание слоя сухого песка, по которому укладывают деревянный брусчатый настил (прил. 19).

Толщину оттаявшего слоя в этом случае можно определить по эмпирической формуле

$$\Delta_t=\Delta\frac{0{,}1}{0{,}1+\frac{\delta}{\lambda}}, \qquad (83)$$

где δ — толщина теплоизоляционной прослойки, м;
λ — коэффициент теплопроводности материала прослойки, Вт/(м·°С).

14.34. При бетонировании массивных конструкций с $M_п=3$ целесообразно на основание укладывать неразогретую бетонную смесь слоем до 20—30 см, по которому затем укладывать слой подогретой бетонной смеси.

14.35. При устройстве свайных фундаментов с замоноличиванием нижнего конца свай-стоек в коренные породы монолитным бетоном (раствором) предусматривается обеспечение набора прочности двумя способами:

электропрогревом стержневыми электродами;

применением раствора с противоморозными добавками, состав которых назначается в зависимости от температуры грунта на уровне нижнего конца сваи и наружного воздуха.

14.36. Перед началом бетонирования необходимо определить остаток шлама в скважинах с помощью металлического щупа, опу-

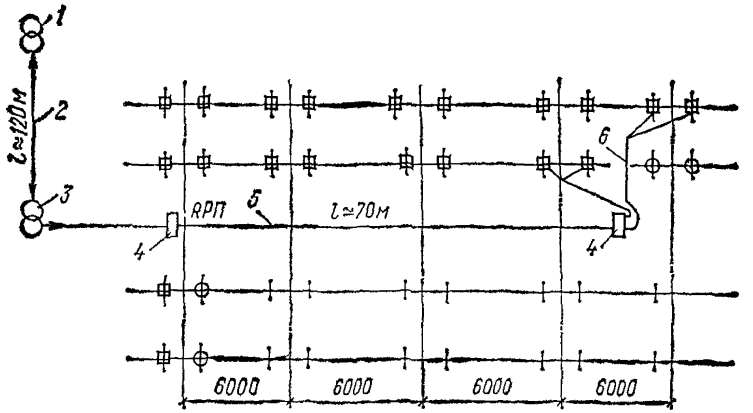


Рис. 66. Схема размещения оборудования для электропрогрева свай
1 — трансформатор силовой; *2* — кабель типа ГРШ 3×70+1×10; *3* — трансформатор понижающий для электропрогрева бетона; *4* — ЯРП; *5* — провод типа АПР 130—150 мм²; *6* — провод для коммутации электродов свай типа АС 120 мм²

скаемого на тросике. Остаток шлама не должен превышать 10 см.

14.37. При электропрогреве свая обвязывается электродами из проволоки диаметром 6—8 мм с подключением каждого электрода на одну фазу. Для электропрогрева свай дополнительно устанавливаются трансформаторы типа ТМ-100, УПБ-60 и др., прокладываются на колах магистральные и ответвляющие кабельные линии, схема которых показана на рис. 66. Контроль за набором прочности раствора в месте защемления сваи осуществляется по температурному графику, построенному по замерам температуры в термометрической скважине из стальной трубы диаметром 42 мм, устанавливаемой одновременно со сваей.

14.38. Порядок погружения свай-стоек с защемлением нижнего конца в коренные скальные породы, применяемые при этом оборудование, инструмент и материалы приведены в прил. 20.

14.39. При бетонировании конструкций в котлованах подготовленный под бетонирование котлован должен быть защищен от грунтовых вод и атмосферных осадков, а также должны быть приняты меры, чтобы грунт не оттаивал в летний период.

14.40. Бетонирование должно начинаться сразу после окончания подготовки котлована и по возможности вестись без перерыва с тщательным уплотнением смеси. Время, необходимое для набора бетоном заданной относительной прочности (без добавок — ускорителей твердения), приведено в табл. 65.

14.41. Для ускорения твердения бетона в вечномерзлых грунтах могут использоваться химические добавки-ускорители. При выборе вида и назначения дозировок химических добавок следует учитывать возможность миграции солей из бетона в грунт, снижение температуры замерзания грунта и как следствие уменьшение несущей способности фундамента.

При скальных и непросадочных грунтах основания миграции солей из бетона в грунт не учитывается.

14.42. Рекомендуемые дозировки химических добавок — ускорителей твердения при бетонировании в нескальных просадочных грунтах при твердомерзлом их состоянии принимаются согласно табл. 61.

При бетонировании конструкций, для которых предусматривается оттаивание основания в период эксплуатации, а также при возведении конструкций на непросадочных и скальных грунтах количество противоморозных добавок следует назначать в соответствии с табл. 36.

14.43. Для зимнего производства работ на открытом воздухе конструктивное решение цокольных монолитных перекрытий, опирающихся на свайный фундамент, должно обеспечивать выполнение процесса бетонирования в одну очередь на всю высоту перекрытия.

Применение бетонирования в две очереди, сначала конструкций ростверка, балок, каналов и т. д. с выпуском поперечной арматуры

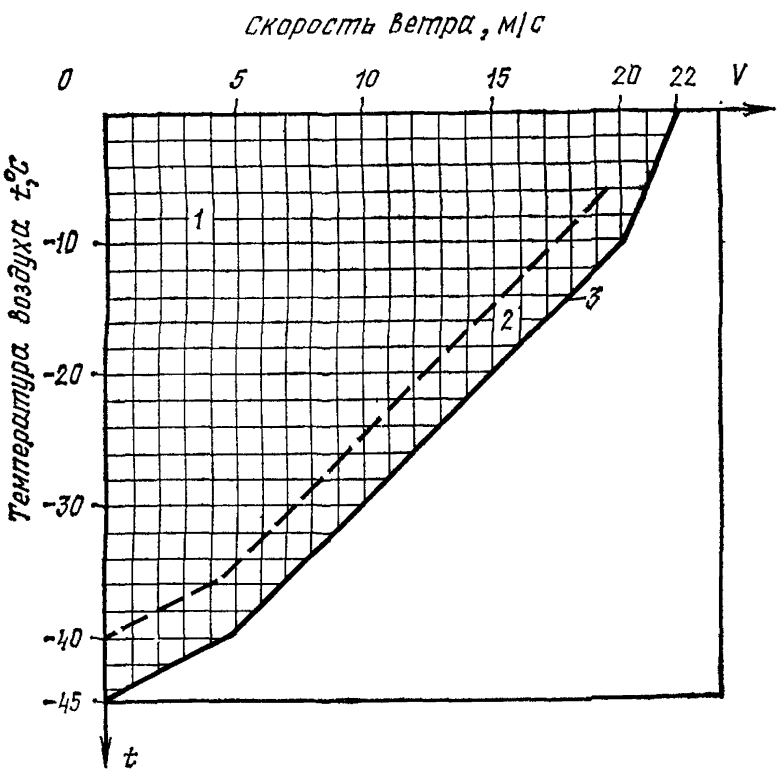


Рис. 67. График предельных температур *t* и силы ветра *V*, при которых запрещено производить бетонные работы на открытом воздухе для прибрежных районов Северной зоны

1 — зона рабочих температурно-ветровых условий; *2* — граница зоны обогрева рабочих; *3* — граница прекращения производства работ

для связи с бетонируемыми объемами второй очереди, не является рациональным при производстве работ.

14.44. Схема организации бетонных работ должна определяться с учетом жестких ограничений на периоды производства работ из-за неблагоприятных условий, разно влияющих на производительность труда (рис. 67).

14.45. Условия производства работ по возведению монолитных конструкций, основные способы и технологические схемы, а также сроки производства работ должны назначаться с учетом изменения трудозатрат и стоимости их выполнения от месяцев года и мерзлотно-грунтовых условий площадки строительства.

14.46. Расчетное годовое (квартальное, месячное) количество рабочих смен должно определяться по формуле

$$P_{см} = (Д_к - Д_п - Д_м) K_с, \quad (84)$$

где $Д_к$ — календарная продолжительность периода года (квартала, месяца), дни;

$Д_п$ — количество праздничных и выходных дней;

$Д_м$ — количество нерабочих дней из-за неблагоприятных метеорологических условий;

$K_с$ — количество рабочих смен в сутки.

15. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

15.1. Расчет, монтаж и эксплуатация электрооборудования, а также электроснабжение при электротермообработке бетона необходимо осуществлять согласно требованиям «Правил устройства электроустановок» и «Правил технической эксплуатации электроустановок».

15.2. Места установки трансформаторов и распределительных устройств, схемы коммутации электродов или устройств для электроразогрева и электронагрева бетона необходимо выбирать с расчетом удовлетворения следующих требований:

возможно меньшее количество перестановок трансформаторов и распределительных устройств;

наименьшая трудоемкость монтажа, обслуживания и демонтажа;

минимальный расход кабелей и проводов.

15.3. Трансформаторы, распределительные устройства и кабели следует размещать в стороне от зоны движения транспорта. При пересечении дорог и временных проездов кабели и провода должны быть подвешены на высоте не менее 6 м или уложены в грунт в трубах или специальных коробах.

15.4. Каждый силовой или понижающий трансформатор, используемый для электротермообработки бетона, должен иметь, как правило, распределительный щит. Возле прогреваемой конструкции необходимо установить клеммные коробки (софиты) для присоединения к ним проводов, служащих непосредственно для подведения напряжения к электродам, электродным щитам, щитам греющей опалубки, электронагревательным устройствам. С целью повышения безопасности соединений и надежности контактов, а также снижения трудоемкости присоединения проводов следует использовать разъемы.

15.5. Для электроснабжения при электротермообработке бетона необходимо применять трехфазные силовые трансформаторы типа ТМ или ТМФ.

Трансформаторы выбирают с первичным напряжением 6 или 10 кВ в зависимости от напряжения высоковольтной линии, от которой осуществляется электроснабжение строительного объекта. Вторичное напряжение трансформаторов должно составить 0,4 кВ. Краткая техническая характеристика масляных трехфазных силовых трансформаторов приведена в табл. 66.

Таблица 66

Марка	Мощность, кВ·А	Стоимость, руб.
ТМ 63/6 ТМ 63/10	63	305
ТМ 100/6 ТМ 100/10	100	415
ТМ 160/6 ТМ 160/10	160	560
ТМ 250/6 ТМ 250/10	250	750
ТМ 400/6 ТМ 400/10	400	1080
ТМ 630/6 ТМ 630/10	630	1600
ТМ 1000/6 ТМ 1000/10	1000	2100

Указанные трансформаторы масляные с естественным охлаждением. Число в знаменателе марки означает первичное напряжение в киловольтах. Вторичное напряжение всех трансформаторов 400 В.

При необходимости распределения вторичного напряжения на несколько силовых линий с включением и отключением их в различное время рекомендуется использовать комплектные трансформаторные подстанции (КТП), в состав которых входит шкаф управления. КТП выпускаются мощностью 60, 100, 160, 250, 400, 630 кВ·А на первичное напряжение 6 или 10 кВ и вторичное напряжение 0,4 кВ. КТП мощностью до 160 кВ·А выпускаются в виде одного агрегата, включающего все устройства. КТП мощностью 250 кВ·А и выше поставляются каждая в виде нескольких отдельных устройств (трансформатора, шкафа управления и т. п.).

15.6. Для получения пониженного напряжения для электротермообработки бетона следует использовать специальные трехфазные понижающие трансформаторы для электропрогрева бетона (табл. 67).

Таблица 67

Марка трансформатора	Мощность, кВ·А	Напряжение, В		Сила тока, А		Масса, кг	Габариты, мм	Стоимость, руб.
		первичное	вторичное	первичное	вторичное			
ТСПК-20А	20	380, 220	12,6,22, 38, 48, 62, 101	—	480, 320, 240, 160, 120	260	775×775×740	180
ТМОА-50	50	380	49, 60, 70, 85, 103, 121	76, 65, 53	239, 418	473	980×930×1232	260
ТМОБ-63	63	380	49, 60, 70, 85, 103, 121	96, 82, 69	301, 520	900	1150×1200×890	280
ТМО-50/10	50	380, 220	50, 61, 87, 106	131, 76	670, 470, 320, 270	890	1450×1290×890	250
ТМ-75/6	50	380, 220	50, 61, 87, 106	131, 76	572, 470, 330, 272	650	1050×1290×740	290

Примечания: 1. Все трансформаторы трехфазные. ТСПК-20А с воздушным охлаждением, остальные — с масляным.

2. Трансформатор ТМОБ-63 выпускается также в виде комплектной подстанции КТП-63-ОБ со шкафом управления на общих салазках. В таблице указаны габаритные размеры КТП-63-ОБ.

3. Трансформаторы ТМОА-50, ТМО-50/10, ТМ-75/6 промышленностью не выпускаются, но имеются в строительных организациях.

4. Величины вторичного тока даны для температуры окружающего воздуха 25° С.

При использовании однофазных понижающих трансформаторов их рекомендуется компоновать по три и включать в сеть по схеме «треугольник» или «звезда».

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

15.7. Включение и отключение напряжения в силовых цепях рекомендуется выполнять с помощью магнитных пускателей, пакетных выключателей, автоматических выключателей. При отсутствии указанной аппаратуры возможно применение рубильников.

15.8. Защиту электрических устройств при электротермообработке рекомендуется осуществлять с применением токовых реле или плавких предохранителей.

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ БЕТОНА

15.9. Устройство для дистанционного контроля и регулирования температуры бетона состоят из датчиков и показывающего (записывающего) или регулирующего прибора. Датчики размещаются в бетоне или в щитах греющей опалубки и соединяются проводами с показывающим прибором.

В качестве датчиков рекомендуется применять термометры сопротивления или термопары, в качестве показывающих приборов применяются вторичные приборы — милливольтметры, электронные мосты и потенциометры. Технические характеристики некоторых приборов для дистанционного контроля и регулирования температуры бетона приведены в табл. 68.

КАБЕЛИ И ПРОВОДА

15.10. Токопроводящее сечение кабелей и проводов следует принимать по расчетной токовой нагрузке, используя данные, приведенные в прил. 21.

15.11. Соединение проводов и кабелей между собой, их присоединение к электродным щитам, щитам греющей опалубки, индукторам, устройствам для инфракрасного обогрева и т. п. рекомендуется производить с помощью разъемов.

УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ БЕТОНА ДЛЯ ВЫДЕРЖИВАНИЯ ЗАДАННОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЭЛЕКТРОТЕРМООБРАБОТКИ

15.12. Регулирование температуры бетона по заданному режиму осуществляется путем изменения напряжения на электродах или нагревательных устройствах, которое выполняется периодическим включением и отключением напряжения или же сочетанием обоих приемов.

Чем точнее выдерживается заданный температурный режим электротермообработки, тем меньше расход электроэнергии и выше качество бетона.

Таблица 68

Приборы	Тип	Технические данные	Завод-изготовитель	Дополнительная характеристика
Датчики				
Термометр сопротивления	ТСМ-6097	Пределы измерения от —50 до 150° С, монтажная длина от 80 до 500 мм	—	Устойчив к механическим воздействиям, вибростоек, ударостоек
Термометр сопротивления медный	ТСМ-6114	Пределы измерения от —50 до 100° С, масса 0,06 кг	—	То же
Термопара хромельколевая	ХК	Пределы измерения от —50 до 150° С, монтажная длина 80 или 100 мм, масса 0,1 кг	—	Устойчив к механическим воздействиям
Показывающие и управляющие устройства				
Милливольтметр пирометрический, показывающий, регулирующий, одноточечный, двухпозиционный	МР-64-02	Датчик — термопара хромельколевая, диапазон измерения от 0 до 300° С, внешнее сопротивление 150 Ом, пределы температуры окружающей среды от —40 до 60° С	— З-д электроизмерительных приборов, Ереван	Не устойчив к механическим воздействиям Не устойчив к механическим воздействиям

Милливольтметр параметрический, узкопрофильный, показывающий	МВУ-46-42А	Датчик — термометр сопротивления, пределы измерения от —50 до 180° С, пределы температуры окружающей среды от —40 до 60° С	То же	То же
Милливольтметр стрелочный, показывающий	Ш-45-00	Датчик — термометр хромельковый, пределы измерения от 0 до 300° С, внешнее сопротивление 15 Ом, масса 3 кг	»	»
Милливольтметр стрелочный, показывающий, регулирующий	Ш-45-01	Датчик — термопара хромельколевая, пределы измерения от 0 до 300° С, пределы температуры окружающей среды от —40 до 60° С, внешнее сопротивление 150 Ом	»	»
Потенциометр электронный, автоматический, малогабаритный, с ленточной диаграммой, релирующий 12-точечный, для регулирования во всех точках с блокировкой сигнала	КСП-2	Датчик — термопара хромельколевая, пределы измерения от —50 до 150° С	З-д «Львовприбор», Львов	Выпуск ограничен — только по согласованию с поставщиком

Продолжение табл. 68

Приборы	Тип	Технические данные	Завод-изготовитель	Дополнительная характеристика
Потенциометр электронный, автоматический, показывающий, самопишущий, 12-точечный, с сигнализирующим устройством	ЭПП-09М3	Датчик—термопара хромельколевая, пределы измерения от —50 до 150° С	З-д «Электроавтоматика», Йошкар-Ола	Не устойчив к механическим воздействиям
Мост электронный, уравновешанный, автоматический, самопишущий, 12-точечный	ЭМП-209-М3	Датчик — термометр сопротивления медный, пределы измерения от —50 до 150° С	То же	То же
Блок регулирующий программный	Р-31	Регулирование температуры по заданной во времени программой в пределах от 0 до 100° С, цикл до 24 ч, температура окружающей среды от 5 до 50° С	Приборостроительный з-д Ивано-Франковск	»

Рис. 68. Схема автоматического управления электротермообработки бетона с использованием тиристоров и логических элементов

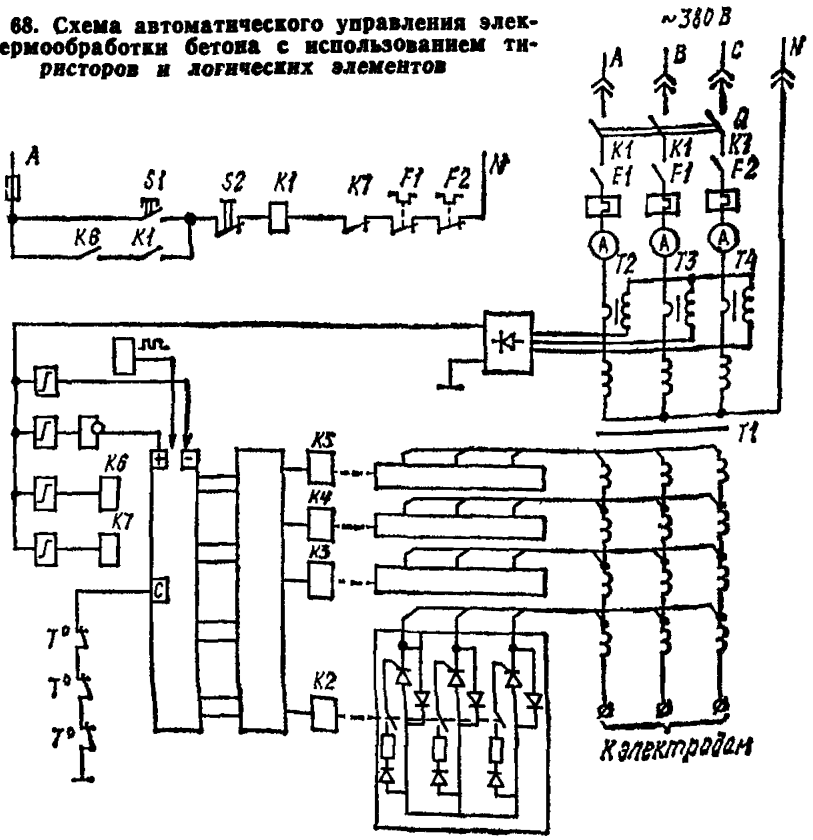
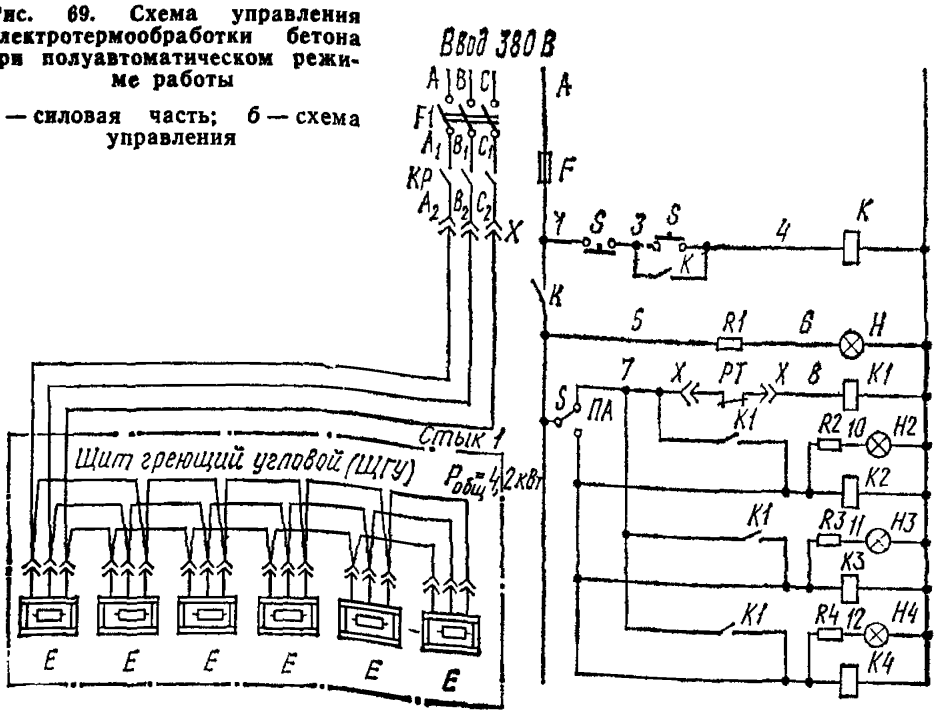


Рис. 69. Схема управления электротермообработки бетона при полуавтоматическом режиме работы

а — силовая часть; *б* — схема управления



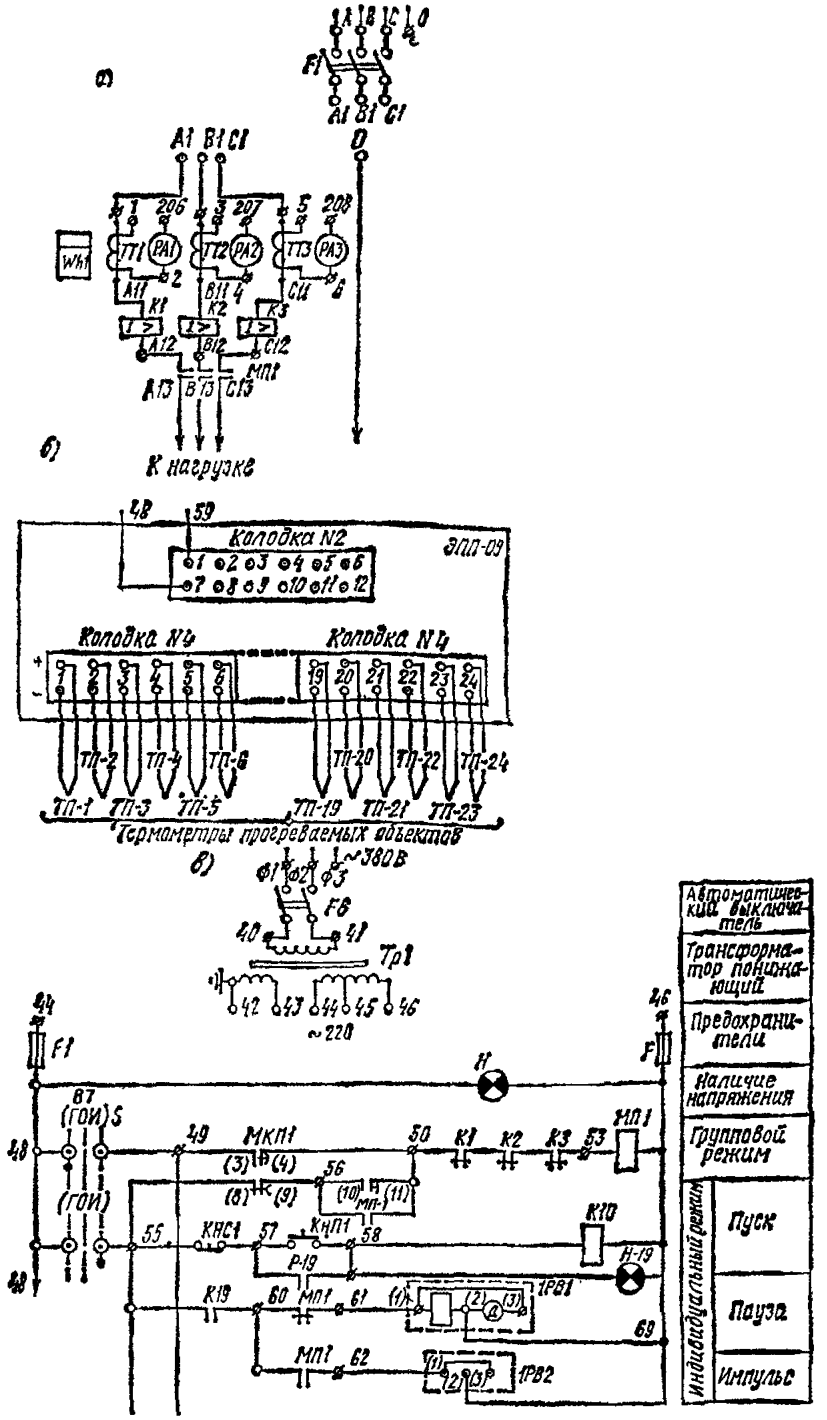
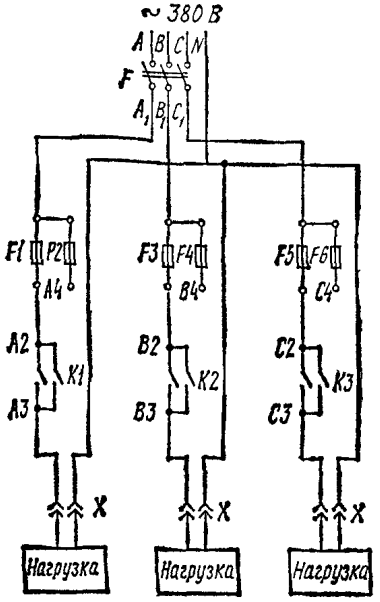


Рис. 70. Схема управления импульсным прогревом бетона в полуавтоматическом режиме

а — силовой части; *б* — дистанционного измерения температуры бетона; *в* — управления



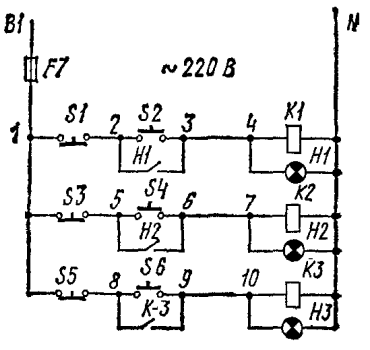


Рис. 71. Схема ручного регулирования температуры бетона при электротермообработке

При любой схеме автоматического регулирования температуры бетона необходимо предусматривать возможность ручного регулирования путем включения и отключения напряжения.

15.13. Выдерживание заданного режима электротермообработки бетона обеспечивается применением автоматического, полуавтоматического или ручного управления.

Наиболее точно заданный температурный режим бетона обеспечивают автоматические схемы управления. Возможно совмещение всех трех принципов в одной схеме.

При автоматическом режиме в обогреваемый бетон или на щиты греющей опалубки устанавливают датчики температуры, а в схему управления включают сравнивающие и исполнительные устройства. На рис. 68 показана такая схема управления, в которой применены в качестве пускателей тиристоры и использованы логические элементы системы «Логика». Схема разработана ЭПКБ Главсевкавстроя Минтяжстроя СССР и в наибольшей степени обеспечивает точность выдерживания заданного режима электротермообработки бетона.

При полуавтоматическом выдерживании режима в качестве датчика температуры применяется температурное реле РТ, которое устанавливается в бетон или в щит греющей опалубки. Через реле РТ происходит замыкание и размыкания силовой цепи: при достижении заданной температуры контакты термореле размыкаются, отключается пускатель и подача напряжения прекращается; при снижении температуры бетона ниже заданной контакты реле замыкаются, включается пускатель и электротермообработка бетона продолжается. Такая схема показана на рис. 69.

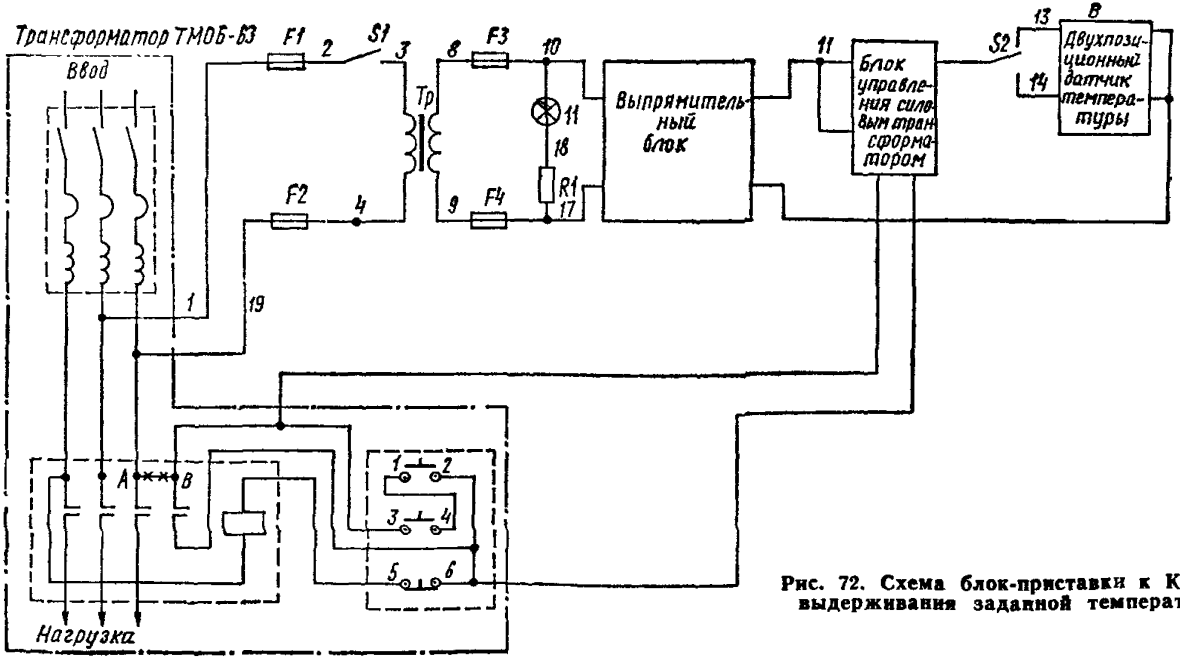


Рис. 72. Схема блок-приставки к КТП-ОБ-63 для выдерживания заданной температуры бетона

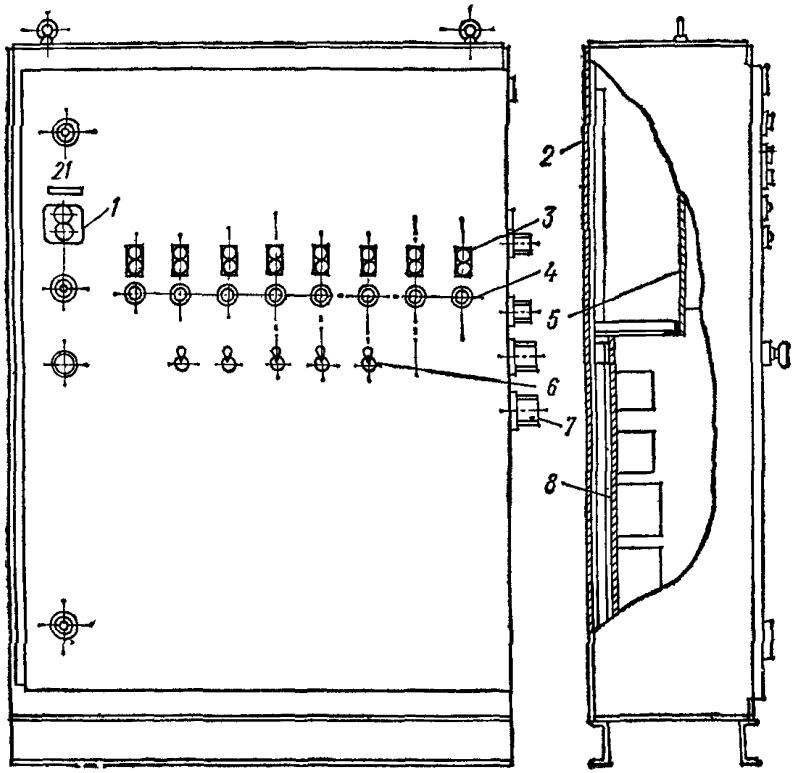


Рис. 73. Схема шкафа управления

1 — кнопка подачи напряжения на шкаф; *2* — корпус; *3* — кнопки для подачи напряжения; *4* — сигнальные лампы; *5* — панель из электроизоляционного материала; *6* — тумблеры; *7* — силовые разъемы для подключения нагрузки; *8* — силовая панель управления

По принципу полуавтоматического управления построена схема импульсного прогрева бетона, разработанная ЦНИИОМТП (рис. 70). В прогреваемый бетон устанавливается термопара типа ХК, а их показания фиксируются электронным потенциометром или милливольтметром. С помощью специальных реле времени РВ задается продолжительность импульсов подачи напряжения и пауз между ними для обеспечения в каждый момент времени фактической температуры бетона в соответствии с заданным режимом. На основе такой схемы создана и прошла испытания установка импульсного прогрева бетона (см. прил. 22).

При ручном управлении электротермообработкой подача напряжения на электроды или электронагреватели производится нажатием кнопки автоматического выключателя. Контроль за температурой бетона осуществляется с помощью технических термометров или показывающих приборов. Автоматический выключатель подает напряжение на магнитный пускатель, который замыкает силовую цепь для электротермообработки бетона. При достижении бетоном заданной температуры нажатием кнопки автоматического выключателя

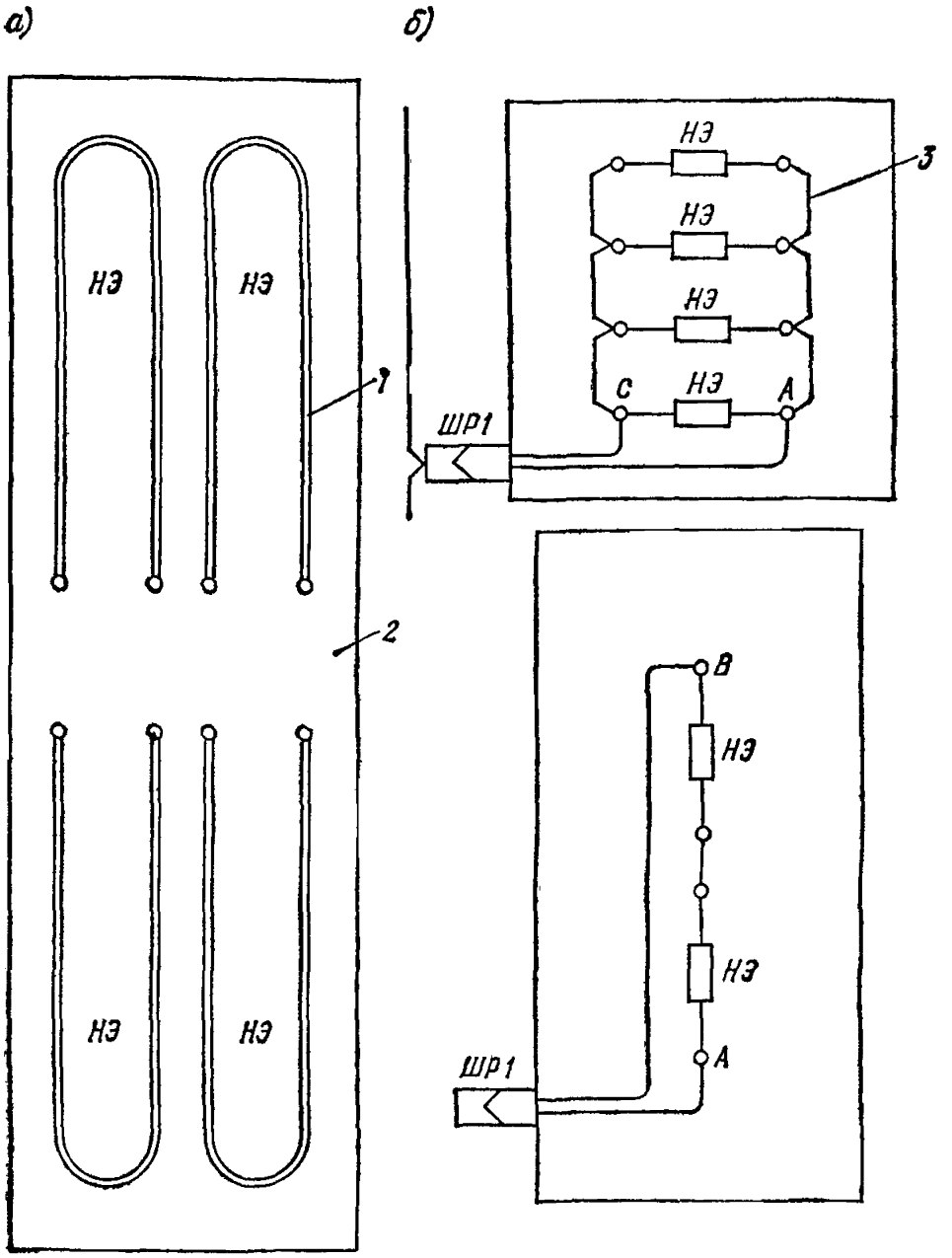


Рис. 74. Пример схемы монтажа и расположения нагревательных элементов
а — размещение нагревателей, *б* — параллельная и последовательная схемы соединения нагревателей; *1* — ТЭНы; *2* — панель из электроизоляционного материала

электротермообработка бетона прекращается. Пример такой схемы приведен на рис. 71.

15.14. Для использования наиболее распространенного трансформатора для электропрогрева бетона ТМОБ-63 в ЦНИИОМТП разработана блок-приставка (см. схему на рис. 72) к комплектной транс-

форматорной подстанции КТП-ОБ-63. Она обеспечивает переход трансформатора с непрерывного режима работы на прерывистый для соблюдения заданной температуры изотермического прогрева бетона.

15.15. Схему управления собирают в шкафу управления. Она должна иметь токовую защиту в соответствии с номинальной нагрузкой. В качестве примера на рис. 73 показана конструкция шкафа управления для подключения греющей опалубки стыков.

15.16. Нагревательные элементы должны включаться таким образом, чтобы обеспечить равномерную пофазовую нагрузку. В качестве примера на рис. 74 приведены расположение и коммутация нагревательных элементов щита греющей опалубки для замоноличивания стыков.

УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕРМООБРАБОТКИ БЕТОНА

15.17. Для снижения трудоемкости электротермообработки и уменьшения продолжительности работ и работ по демонтажу на каждом месте работы оборудования необходимо создавать комплектные передвижные установки, а также другое специальное оборудование. Технические характеристики некоторых установок приведены в прил. 22.

15.18. Каждая установка должна включать силовую часть, устройства для измерения температуры бетона и регулирования процесса термообработки, кабели и провода для включения установки в питающую сеть и питания нагрузки, устройства для перемещения установки (ходовую часть, полозья), в ряде случаев— теплые помещения для операторов. Все агрегаты установки должны быть смонтированы на общей раме или должна быть обеспечена возможность их простого, быстрого и малотрудоемкого соединения на месте работы. Кабели и провода должны, как правило, соединяться разъемами. На каждом новом месте затраты времени на приведение установки в рабочее положение должны продолжаться не более одной смены (не считая подведения ЛЭП для электроснабжения установки).

16. КОНТРОЛЬ ЗА ПРОИЗВОДСТВОМ РАБОТ И КАЧЕСТВОМ БЕТОНА

16.1. Пооперационный контроль и контроль качества бетона необходимо осуществлять в соответствии с требованиями главы СНиП III-15-76 и с учетом особенностей, изложенных в данном разделе.

16.2. Вид применяемого цемента необходимо контролировать по заводскому паспорту на каждую партию.

Содержание трехкальциевого силиката и трехкальциевого алюмината в цементе устанавливается по справке, высылаемой заводом-изготовителем по запросу строительной организации.

16.3. При приготовлении бетонной смеси необходимо осуществлять контроль за отсутствием льда, снега, смерзшихся комьев заполнителей размером более 10 мм, за температурой воды и заполнителей, температурой бетонной смеси на выходе из смесителя через 2 ч, за концентрацией растворов добавок перед каждым заполнением расходных баков, но не реже 1 раза в смену.

16.4. При транспортировании бетонной смеси следует проверить отсутствие снега и наледи в транспортных средствах, а также выполнение мероприятий по утеплению, укрытию и обогреву транспортных средств — не менее 1 раза в смену.

16.5. До начала установки опалубки необходимо проверить: толщину и состояние утеплителя в щитах и крепление защитного кожуха утеплителя; маркировку щитов греющей опалубки, наличие и состояние разъемов; омическое сопротивление нагревателей в каждом щите греющей опалубки.

16.6. Перед бетонированием должно быть проверено наличие гидроизоляционного материала и утеплителя для укрытия неопалубленных поверхностей и соответствие их требованиям технологических карт.

16.7. При предварительном отогреве основания необходимо контролировать соответствие утепления требованиям технологических карт (см. п. 1.3), а также 1 раз в смену температуру непучинистого основания на глубине 0,3 м, а пучинистого — на глубине 0,5 м.

При предварительном отогреве стыкуемых элементов необходимо контролировать каждый час температуру в полости стыка в двух точках — на контакте со стыкуемым элементом и с опалубкой в углу сечения (см. разд. 13).

16.8. В процессе предварительного электроразогрева бетонной смеси следует контролировать ее температуру в каждой емкости для разогрева, а также через 2 ч — загустевание бетонной смеси в процессе и после разогрева. Для этой цели рекомендуется применять электровибровискозиметр (см. прил. 11).

16.9. До начала укладки бетонной смеси должно быть проверено отсутствие снега и наледи на поверхности основания, опалубки, арматуры, на стыкуемых поверхностях.

16.10. В процессе укладки бетонной смеси необходимо измерять ее температуру на глубине 5 см после укладки каждого слоя.

16.11. По окончании бетонирования конструкции (захватки) следует контролировать соответствие укрытия неопалубленных поверхностей бетона требованиям технологических карт.

16.12. Перед началом электропрогрева бетона должны быть проверены размещение и коммутация электродов, толщина защитного слоя (при прогреве пластинчатыми и полосовыми электродами), а перед началом обогрева в греющей опалубке — коммутация щитов.

16.13. Температуру бетона в процессе его выдерживания необходимо измерять:

при термосном выдерживании, при выдерживании в тепляках, парообогреве и в процессе остывания после электротермообработки — каждые 2 ч в первые сутки, каждые 4 ч в последующие 3 сут и 1 раз в сутки в остальное время выдерживания;

при выдерживании бетонов с противоморозными добавками — 1 раз в смену до приобретения бетоном прочности, указанной в п. 1.5;

при электротермообработке бетона в период подъема температуры со скоростью до 10° С в час — через 1 ч, со скоростью более 10° С в час — через 0,5 ч, в процессе изотермического прогрева — через 2 ч.

16.14. Температуру воздуха следует измерять вблизи забетонированной конструкции 1 раз в смену.

16.15. Измерение температуры бетонной смеси перед началом и в процессе ее предварительного электроразогрева в кузовах автоса-

мосвалов и бадьях должно производиться дистанционно с помощью датчиков температуры.

В каждой емкости следует располагать 1—2 датчика. Датчики, установленные в бадьях, необходимо соединять с показывающим прибором с применением разъемов. Допускается контроль температуры разогреваемой бетонной смеси с помощью технических термометров при отключенном напряжении.

16.16. Для измерения температуры бетона в конструкции рекомендуется использовать дистанционные устройства (см. табл. 68) либо технические термометры. Датчики температуры необходимо устанавливать в специальные температурные скважины и находиться в них на протяжении всего времени измерения температуры. Скважины должны быть защищены от попадания сыпучего утеплителя воронками из рулонного материала. При необходимости отверстия для датчиков или термометров следует устраивать в боковой опалубке.

16.17. Температуру бетона необходимо измерять в зонах наибольшего охлаждения (углы, выступающие элементы конструкций) и наибольшего нагрева (у электродов, на контакте с греющей опалубкой или с греющими проводами, в местах подвода пара при парообогреве, в тепляках на уровне пола и т. д.), на глубине 5 см от поверхности бетона, а также в ядре сечения массивных конструкций с модулем поверхности 3 и менее.

При индукционном нагреве железобетонных конструкций со стержневой арматурой необходимо измерять температуру в слое, прилегающем к арматурным стержням.

Точки, в которых производится измерение температуры, должны быть указаны в технологической карте; их примерное количество определяется из расчета одной точки на каждые 3 $м^3$ бетона, 6 м длины конструкции, 10 $м^2$ площади перекрытий и 40 $м^2$ площади полов и покрытий. При использовании бетонов с противоморозными добавками количество термометров может быть уменьшено до двух на конструкцию или захватку, бетонируемую в течение одной смены.

16.18. В процессе электропрогрева бетона, особенно в начале подъема температуры, необходимо следить за поверхностями прогреваемых конструкций. В случае интенсивного выделения из бетона пара необходимо отключить напряжение и устранить причину перегрева (малое расстояние между разноименными электродами, между электродами и арматурой либо металлической опалубкой).

16.19. При электротермообработке бетона необходимо сразу после включения напряжения на электроды или электронагревательные устройства и в дальнейшем через 2 ч измерять силу тока и напряжение в токоподводящих проводах с помощью амперметров и вольтметров, установленных на понижающем трансформаторе или в цепи переменного тока, либо с помощью электрических клещей.

16.20. Результаты измерения температуры бетона и воздуха, силы тока и напряжения следует записывать на температурных листах (табл. 69).

Температуру бетонной смеси в момент окончания ее разогрева в кузове самосвала необходимо записывать в специальном журнале (табл. 70), а также в накладной, имеющейся у водителя.

16.21. Контроль прочности бетона осуществляется так же, как в летних условиях, с изготовлением и выдерживанием образцов возле забетонированной конструкции и испытанием их на сжатие в следующие сроки:

Таблица 69

Температурный лист

(приложение к журналу бетонных и железобетонных работ)

Строительная организация _____

Объект _____

Конструкция _____

Марка бетона _____

Объем захватки _____

Дата _____ начала бетонирования, _____ ч _____ мин, окончание бетонирования

_____ ч. _____ мин.

Температура бетонной смеси на воздухе _____ °С, бетона по окончании укладки _____ °С

Температура воздуха при бетонировании _____ — _____ °С

Начало тепловой обработки _____ ч. _____ мин.

Время	Температура воздуха	*Температура бетона, °С, в скважинах № (схема размещения и нумерации скважин прилагается)*														*Показания электрических приборов*				Примечания (продолжительность и причина отключения напряжения, результаты осмотра конструкции и т. п.)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	напряжение, В	сила тока, А, по фазам			
																	1	2	3	

Подписи: мастер _____ лаборант _____ электрик _____

Таблица 70

Форма журнала предварительного электроразогрева бетонной смеси в кузовах самосвалов

Дата, часы, минуты окончания разогрева	№ автомашины	Объем бетонной смеси, м³	Температура разогрева, °С	Примечание

Подпись оператора после каждой смены _____

при выдерживании по способу термоса, применении бетонов с противоморозными добавками и выдерживании бетона из предварительной разогретой смеси — три образца после снижения температуры бетона до расчетной конечной (для бетонов с противоморозными добавками — до приобретения прочности, указанной в п. 1.5), три образца после оттаивания и твердения образцов в нормальных условиях в течение 28 сут, три образца перед загружением конструкции нормативной нагрузкой; перед испытанием образцов, хранившихся на морозе, они должны быть оттаяны при температуре 15—20° С в течение 4 ч;

при обогреве паром или выдерживании в тепляках — три образца по окончании выдерживания и три образца после последующего 28-суточного твердения в нормальных условиях.

16.22. При электропрогреве, обогреве в греющей опалубке, при индукционном нагреве и инфракрасном обогреве поддержание в образцах такого же температурно-влажностного режима, как в конструкции, практически неосуществимо. Поэтому контроль прочности необходимо производить путем контроля температурного режима твердения. Соблюдение заданного температурно-влажностного режима обеспечивает (при соблюдении других технологических требований) приобретение бетоном к концу выдерживания прочности, указанной в разд. 4, а после оттаивания и 28-суточного твердения при температуре 18—20° С достижение 95—110% R_{28}. Кроме того, рекомендуется определять прочность прогретого бетона до его остывания ниже 0° С неразрушающими методами — ультразвуковым, с помощью эталонного молотка НИИ Мосстроя, а также высверливанием и испытанием кернов.

16.23. В случае, если фактический температурный режим выдерживания бетона отличается от проектного (расчетного), определение фактической прочности бетона следует производить с использованием графиков нарастания прочности на рис. 2—4 по методике, аналогичной приведенной в примерах расчета (см. п. 4.11), либо с использованием данных о нарастании прочности бетона, приведенных в табл. 23—30.

Пример. Определить с использованием таблиц нарастания прочности фактическую прочность бетона, твердеющего с подъемом температуры с 20 до 40° С в течение 12 ч, при температуре 40° С в течение 12 часов и с последующим остыванием до 0° С в течение 36 ч. Бетон марки М 200 на портландцементе марки 400. Содержание C_3A в цементе 8%.

Решение. По табл. 28 находим, что в период подъема температуры при средней температуре (40+20) : 2=30° С бетон на цементе с соответствующим содержанием C_3A за 12 ч приобретает 25% R_{28}. Чтобы определить прочность, приобретенную бетоном в процессе изотермического выдерживания, находим в графе 40° С («Б») прочность, близкую к 25% R_{28}. Она оказывается равной 30% R_{28}. Твердение бетона, начиная от этой прочности, в течение 12 ч при 40° С приводит к приобретению 55% R_{28} (вторая строка в крайней правой графе таблицы). Поскольку вместо 25% R_{28} принято 30% R_{28}, достигнутая к концу изотермического выдерживания прочность примем приближенно равной 50% R_{28}. В процессе остывания при средней температуре (40—0) : 2=20° С в течение 36 ч, начиная с прочности 50% R_{28} (в третьей строке табл. 28 принимаем близкую величину 48% R_{28}), бетон достигнет прочности 60% R_{28} (четвертая строка таблицы в графе 20° С «Б»).

16.24. В связи с особыми требованиями к качеству бетона специальных высотных сооружений, бетонируемых в скользящей опалубке, из каждой партии бетонной смеси следует изготовлять девять контрольных образцов-кубов с размером ребра 10 см, три образца необходимо испытать после 28 сут выдерживания в нормальных условиях для определения марки бетона. Остальные образцы следует хранить внутри сооружения на отметке ±0,00 в деревянном ящике с песком и утепленным днищем. Сверху ящик должен быть укрыт элементом ТАПП. Образцы следует выдерживать при таком же режиме, как бетон возводимого сооружения.

Три образца необходимо испытать через 4 ч после окончания обогрева. Остальные три образца выдерживать после прогрева возле забетонированной конструкции до достижения бетоном конструкции положительной температуры, затем —28 сут в нормальных условиях, после чего испытать.

16.25. В случаях, когда проектом или ГОСТом предусмотрен контроль не только прочности бетона при сжатии, но и других его показателей (дорожный бетон, гидротехнический бетон и др.), необходимо изготовлять и выдерживать, согласно указаниям п. 16.21, соответствующее количество образцов. При электротермообработке бетона эти образцы должны быть прогреты в специальных формах по режиму, соответствующему температурному режиму твердения бетона в конструкции.

16.26. Для обеспечения соответствия режима выдерживания образцов режиму твердения бетона в конструкции рекомендуется применять переносную камеру с терморегулятором конструкции Оргэнергостроя.

16.27. По окончании выдерживания и распалубки конструкции необходимо произвести ее осмотр, результаты которого записываются на температурном листе (табл. 69).

17. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СПОСОБА ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ

17.1. Предварительный выбор оптимального способа зимнего бетонирования осуществляется путем отбора технологически возможных способов, который должен проводиться в соответствии с разд. 1 данного руководства.

17.2. Окончательный выбор эффективного способа зимнего бетонирования осуществляется сопоставлением технико-экономических показателей, рассчитываемых на 1 м³ бетона определенного вида конструкций.

17.3. Определению показателей технико-экономической оценки способов зимнего бетонирования должно предшествовать назначение следующих технологических, конструктивных и климатических факторов:

1) марка бетона;
2) вид и марка цемента;
3) требуемая прочность к моменту возможного замораживания или к концу термообработки;
4) тип и геометрические размеры конструкции;
5) температура наружного воздуха и скорость ветра;
6) суточный поток бетонной смеси;
7) вид опалубки и утеплителя.

17.4. Критерием выбора способа зимнего бетонирования, согласно «Инструкции по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений». (СН 509-78. М., Стройиздат, 1978), являются приведенные затраты $П_i$, минимум которых свидетельствует о его эффективности:

$$П_i = S_i + 0{,}15K_i \to \min, \tag{85}$$

при этом

$$S_i = 1{,}09C'_{мат} + C''_{мат} + 1{,}15З_i, \tag{86}$$

где S_i — общая стоимость способа, руб.;
K_i — единовременные затраты, руб.;
$C'_{мат}$ — стоимость материалов, для которых необходим учет транспортных расходов, руб.;
$C''_{мат}$ — стоимость остальных материалов, руб.;
$З_i$ — заработная плата, руб.;
1,09 — коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;
1,15 — коэффициент накладных расходов к заработной плате.

17.5. Расчеты затрат осуществляются по формулам методом на разность, т. е. учитываются только дополнительные затраты, связанные с особенностями бетонирования при отрицательных температурах (табл. 71).

Для термоса:

$$C'_{мат} = C_{ут}; \tag{87}$$

$$C''_{мат} = C_{пвз}; \tag{88}$$

$$З_i = (K_{н.р} - 1)(З_{опал} + З_{арм} + З_{укл}) + З_{пвз} + З_{ут} + З_к; \tag{89}$$

$$T_i = (K_{н.р} - 1)(T_{опал} + T_{арм} + T_{укл}) + T_{пвз} + T_{ут} + T_к. \tag{90}$$

Для предварительного электроразогрева:

$$C'_{мат} = C_{ут} + C_{обор}; \tag{91}$$

$$C''_{мат} = C_{пвз} + C_{эн}; \tag{92}$$

Таблица 71

№ п.п.	Наименование затрат	Способы бетонирования				
		термоса	бетон с противоморозными добавками	предварительный разогрев	электропрогрев	греющая опалубка
	А. Материалы					
1	Утепление	+*	+*	+*	+*	+*
2	Подогрев воды и заполнителей	+	+	+	+	+
3	Сталь для электродов	—	—	—	+	—
4	Дополнительные материалы для термоопалубки	—	—	—	—	—
5	Противоморозные добавки	—	+	—	—	—
	Б. Электроэнергия	—	—	+	+	+
	В. Амортизация и эксплуатация оборудования					
	Г. Заработная плата и затраты труда					
1	Устройство опалубки, армирование и укладка бетона	+	+	+	+	+
2	Устройство утепления	+*	+*	+*	+*	+*
3	Подогрев воды и заполнителей	+	+	+	+	+
4	Контроль качества	+	+	+	+	+
5	Обслуживание установок прогрева	—	—	+	+	+
6	Устройство электродов	—	—	—	+	—
7	Внесение противоморозных добавок	—	—	—	—	—
	Д. Единовременные затраты	—	—	+	+	+

* Необходимость утепления и толщина утеплителя определяются теплотехническим расчетом.

$$З_i = (К_{н.р} - 1)(З_{опал} + З_{арм} + З_{укл}) + З_{тр} + З_{пвз} + З_{ут} + \\ + З_к + З_{обсл}; \quad (93)$$

$$Т_i = (К_{н.р} - 1)(Т_{опал} + Т_{арм} + Т_{укл}) + Т_{тр} + Т_{пвз} + \\ + Т_{ут} + Т_к + Т_{обсл}. \quad (94)$$

Для электропрогрева:

$$С'_{мат} = С_{ут} + С_{обор} + С_{эн}; \quad (95)$$

$$С''_{мат} = С_{пвз} + С_{эн}; \quad (96)$$

$$З_i = (К_{н.р} - 1)(З_{опал} + З_{арм} + З_{укл}) + З_{пвз} + З_{ут} + З_к + \\ + З_{обсл} + З_{эл}; \quad (97)$$

$$Т_i = (К_{н.р} - 1)(Т_{опал} + Т_{арм} + Т_{укл}) + Т_{пвз} + Т_{ут} + Т_к + \\ + Т_{обсл} + Т_{эл}. \quad (98)$$

Для греющей опалубки:

$$С'_{мат} = С_{опал} + С_{ут} + С_{обор}; \quad (99)$$

$$С''_{мат} = С_{пвз} + С_{эн}; \quad (100)$$

$$З_i = (К_{н.р} - 1)(З_{опал} + З_{арм} + З_{укл}) + З_{пвз} + З_{ут} + З_к + З_{обсл}; \quad (101)$$

$$Т_i = (К_{н.р} - 1)(Т_{опал} + Т_{арм} + Т_{укл}) + Т_{пвз} + Т_{ут} + Т_к + Т_{обсл}. \quad (102)$$

Для бетона с противоморозными добавками:

$$С'_{мат} = С_{ут} + С_{х.д}; \quad (103)$$

$$С''_{мат} = С_{пвз};$$

$$З_i = (К_{н.р} - 1)(З_{опал} + З_{арм} + З_{укл}) + З_{ут} + З_{пвз} + З_к + З_{х.д}; \quad (104)$$

$$Т_i = (К_{н.р} - 1)(Т_{опал} + Т_{арм} + Т_{укл}) + Т_{ут} + Т_{пвз} + \\ + Т_к + Т_{х.д}, \quad (105)$$

где $С_{ут}$ — стоимость утепления опалубки с учетом оборачиваемости;
$С_{пвз}$ — стоимость подогрева воды и заполнителей;
$С_{обор}$ — стоимость эксплуатации оборудования;
$С_{эн}$ — стоимость электроэнергии;
$С_{эл}$ — стоимость стали для электродов с учетом оборачиваемости;
$К_{н.р}$ — усредненные поправочные коэффициенты к нормам времени и расценкам (табл. 72);
$З_{опал}$, $Т_{опал}$ — заработная плата и трудоемкость на устройство опалубки;
$З_{арм}$, $Т_{арм}$ — заработная плата и трудоемкость армирования конструкций;
$З_{укл}$, $Т_{укл}$ — заработная плата и трудоемкость укладки бетонной смеси в конструкции;

Таблица 72

Температурные зоны	Месяцы	Поправочный коэффициент $K_{нр}$
I	Январь и февраль	1,05
II	Декабрь	1,06
	Январь и февраль	1,08
	Март	1,05
III	Ноябрь	1,06
	Декабрь и март	1,08
	Январь и февраль	1,13
IV	Ноябрь	1,08
	Декабрь и март	1,1
	Январь и февраль	1,16
V	Ноябрь	1,1
	Декабрь и март	1,12
	Январь и февраль	1,18
VI	Октябрь и апрель	1,07
	Ноябрь и март	1,17
	Декабрь, январь и февраль	1,25

$З_{ут}$, $Т_{ут}$ — заработная плата и трудоемкость по утеплению опалубки;
$З_{пвз}$, $Т_{пвз}$ — заработная плата и трудоемкость по подогреву воды и заполнителей;
$З_{к}$, $Т_{к}$ — заработная плата и трудоемкость по контролю качества бетона (замер температур, установка и изготовление пробок и т. д.);
$З_{обсл}$, $Т_{обсл}$ — заработная плата и трудоемкость обслуживания (монтаж системы прогрева, дежурство электромонтеров и т. д.);
$З_{тр}$, $Т_{тр}$ — заработная плата и трудоемкость, связанная с простоем транспорта на посту разогрева;
$З_{эл}$, $Т_{эл}$ — заработная плата и трудоемкость по изготовлению, установке и разборке электродов.

Все показатели: стоимости $С_i$ и заработной платы $З_i$ даны в рублях, трудоемкости $Т_i$ — чел.-дн.

17.6. Затраты по установке и разборке опалубки, армированию и укладке бетонной смеси определяются по формулам:

$$З_{опал} = (Расц.' + Расц.'') \frac{F_{опал}}{V}; \qquad (106)$$

$$Т_{опал} = (Н.вр' + Н.вр'') \frac{F_{опал}}{V}, \qquad (107)$$

где $F_{опал}$ — площадь опалубливаемой поверхности конструкции, м²;
V — объем бетона конструкции, м³;
Расц.', Расц.'', Н.вр', Н.вр''—расценки и нормы времени соответственно по установке и разборке опалубки (табл. 73), руб/м², чел.-дн/м².

Для греющей опалубки стоимость дополнительных материалов определяется по формуле

$$С_{опал} = \frac{С_{гр.оп} F_{опал}}{n_з V} - \frac{С_{ст} F_{опал}}{n_л V}, \qquad (108)$$

Таблица 73

Наименование процесса	Единица измерения	Затраты	
		заработная плата	трудоемкость, чел.-дн.
Установка и разборка деревянной опалубки	м²	0,359	0,081
Установка и разборка стальной опалубки	»	0,339	0,075
То же, фанерной опалубки	»	0,512	0,113
Подогрев воды и заполнителей	м³	0,031	0,01
Замер температуры	1 раз	0,049	0,0125
Изготовление и установка пробки	1 шт.	0,0125	0,005
Установка и разборка утепления горизонтальной поверхности	м²	0,019	0,005
Установка и разборка утепления вертикальной поверхности	»	0,060	0,014
Изготовление и нашивка полосовых электродов	1 м² опалубки	0,144	0,038
Обслуживание установок прогрева	см	10,056	2
Приготовление бетона с противоморозными добавками	м³	0,155	0,022
Изготовление электродов (диаметр 6—8 мм, полоса 30×2)	шт.	0,0052 0,0083	0,0012— 0,0019
То же (диаметр 10—12, полоса 30×3)	»	0,011	0,0025
Установка стержневых электродов (независимо от сечения электродов)	»	0,01	0,003
Срезка электродов, мм:			
6—8	»	0,0016— 0,003	0,0005— 0,0009
10—12	»	0,0038	0,0011

Примечание. К заработной плате работников строительных и ремонтно-строительных организаций применяются районные коэффициенты, утвержденные постановлением Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам и Секретариата ВЦСПС от 31 марта 1960 г. № 453/9 с учетом последующих изменений и дополнений. Показатели данной таблицы даны для районного коэффициента, равного 1 (III температурная зона).

где $C_{гр.оп}$ — стоимость греющей опалубки, руб/м²;
$C_{ст}$ — стоимость стальной опалубки, руб/м²;
$n_з$ — оборачиваемость опалубки зимой (обороты);
$n_л$ — то же, летом (обороты);

$$З_{арм} = Расц \frac{n}{V}; \qquad Т_{арм} = Н.вр \frac{n}{V},$$

где Расц Н. вр. — расценка и норма времени на установку 1 сетки (ЕНиР, сб.4, вып. 1);
n — количество сеток, шт.;
$З_{укл}$, $Т_{укл}$ (ЕНиР, сб. 4, вып. 1).

17.7. Затраты на подогрев воды и заполнителей определяются: $С_{пвз}$ — по табл. 74; $З_{пвз}$, $Т_{пвз}$ — по табл. 73.

Показатели табл. 74. даны для III температурной зоны Мосэнерго (стоимость 1 Гкал пара — 4,62 руб.), для других зон расчеты затрат выполняются с учетом стоимости пара, представленной в табл. 75.

17.8. Затраты на установку и разборку утеплителя

$$З_{ут} = Расц.' \frac{F_{отк} n_{сл}}{V} + Расц.'' \frac{F_{опал} n_{сл}}{V}; \qquad (109)$$

$$Т_{ут} = Н.вр.' \frac{F_{отк} n_{сл}}{V} + Н.вр.'' \frac{F_{опал} n_{сл}}{V}; \qquad (110)$$

$$С_{ут} = \frac{C'_{ут} F_{отк} n_{сл}}{O_1 V} + \frac{C''_{ут} F_{опал} n_{сл}}{O_2 V}, \qquad (111)$$

где Расц′, Расц″, Н. вр.′, Н. вр″ — расценки и нормы времени по утеплению и разборке соответственно горизонтальных и вертикальных поверхностей (см. табл. 73), руб/м², чел.-дн/м²;
$F_{отк}$ — открытая неопалубливаемая поверхность конструкции;
$C'_{ут}$, $C''_{ут}$ — стоимость утеплителя, соответственно горизонтальной и вертикальной поверхности (см. табл. 22), руб/м²;
O_1, O_2 — оборачиваемость утеплителя (см. табл. 22);
$n_{сл}$ — количество слоев утеплителя (по расчету).

17.9. Затраты по контролю качества зависят от способа выдерживания и вычисляются по следующим формулам:
для термоса и предварительного электроразогрева
а) при времени остывания $\tau_{ост} < 24$ ч

$$З_к = Расц.' \frac{\tau_{ост}}{2} \frac{q}{V} + Расц.'' \frac{q}{V}; \qquad (112)$$

$$Т_к = Н.вр.' \frac{\tau_{ост}}{2} \frac{q}{V} + Н\ вр.'' \frac{q}{V}; \qquad (113)$$

б) при времени остывания 24 ч $< \tau_{ост} <$ 96 ч

$$З_к = Расц.' \left(12 + \frac{\tau_{ост} - 24}{4}\right) \frac{q}{V} + Расц.'' \frac{q}{V}; \qquad (114)$$

$$Т_к = Н.вр.' \left(12 + \frac{\tau_{ост} - 24}{4}\right) \frac{q}{V} + Н.вр.'' \frac{q}{V}; \qquad (115)$$

Таблица 74

Температура бетонной смеси при выходе из смесителя, °С	Затраты на подогрев воды и заполнителей, руб/м³, при температуре							
	—40	—35	—30	—25	—20	—15	—10	—5
5	0,15	0,135	0,128	0,108	0,064	0,058	0,053	0 046
10	0,174	0,160	0,145	0,131	0,116	0,109	0,071	0,065
15	0,198	0,184	0,169	0,155	0,140	0,133	0,121	0,119
20	0,222	0,208	0,193	0,179	0,164	0,157	0,150	0,143
25	0,247	0,232	0,218	0,203	0,188	0,181	0,174	0,167
30	0,271	0,256	0,242	0,228	0,213	0,203	0,198	0,191
35	0,294	0,280	0,266	0,251	0,237	0,225	0,218	0,213

Таблица 75

Энергоснабжающие организации	Тарифы, руб., коп., за 1 Гкал по группам потребителей и теплоносителям на					
	горячую воду	отборный пар			острый пар от котлов	
		от 1,2 до 2,5 ата вкл.	до 7 ата	свыше 21 ата	от 5 до 21 ата вкл.	свыше 21 ата
Энергосистемы, подчиненные Министерству энергетики и электрификации СССР						
Главцентрэнерго						
Горэнерго	3,55	3,37	3,55	4,08	4,26	4,44
Ивэнерго	6,02	5,72	6,02	6,92	7,22	7,52
Калининэнерго	4,77	4,59	4,77	5,48	5,72	5,96
Костромаэнерго	5,56	5,28	5,56	6,39	6,67	6,95
Куйбышевэнерго	5,54	4,31	4,54	5,21	5,44	5,67
Мордовэнерго	4,56	4,34	4,56	5,25	5,48	5,7
Мосэнерго	4,62	4,39	4,62	5,31	5,51	5,78
Орелэнерго	5,74	5,45	5,74	6,61	6,89	7,17
Пензаэнерго	5,08	4,83	5,08	5,84	6,1	6,35
Саратовэнерго	3,68	3,49	3,68	4,22	4,41	4,59
Тамбовэнерго	5,6	5,32	5,6	6,44	6,72	7
Татэнерго	5,04	4,79	5,04	5,8	6,05	6,3
Тулэнерго	4,72	4,48	4,72	5,42	5,66	5,8
Ульяновскэнерго	5,86	6,56	5,86	6,74	7,03	7,32
Чувашэнерго	4,56	4,33	4,56	5,24	5,47	5,7
Ярэнерго	4,94	4,69	4,94	6,68	5,92	6,17
Главюжэнерго						
Белгородэнерго	7,28	6,92	7,28	8,37	8,73	9,19
Волгоградэнерго	3,38	3,21	3,38	3,89	4,06	4,23
Воронежэнерго	3,96	3,76	3,96	4,55	4,75	4,94
Грозэнерго	2,84	2,7	2,84	3,27	3,41	3,56

Продолжение табл. 75

Энергоснабжающие организации	Тарифы, руб.-коп., за 1 Гкал по группам потребителей и теплоносителям на					
	горячую воду	отборный пар			острый пар от котлов	
		от 1,2 до 2,5 ата вкл.	до 7 ата	свыше 21 ата	от 5 до 21 ата вкл.	свыше 21 ата
Дагэнерго	4,52	4,3	4,52	5,2	5,42	5,65
Краснодарэнерго	3,67	2,54	3,67	3,07	3,2	3,34
Курскэнерго	4,5	4,27	4,5	5,17	5,4	5,63
Липецкэнерго	6,25	5,94	6,25	7,19	7,5	7,82
Ростовэнерго	4,35	4,13	4,35	5	5,22	5,44
Ставропольэнерго	2,75	2,61	2,75	3,16	3,3	3,44
Главвостокэнерго						
Амурэнерго	2,83	2,69	2,83	3,26	3,4	3,54
Барнаулэнерго	3,16	3	3,16	3,63	3,79	3,94
Бурятэнерго	4,58	4,35	4,58	5,27	5,5	5,72
Дальэнерго	8,0	7,6	8	9,2	9,6	10
Иркутскэнерго	2,29	2,18	2,29	2,63	2,75	2,86
Красноярскэнерго	1,79	1,7	1,79	2,05	2,14	2,23
Кузбассэнерго	2,48	2,36	2,48	2,86	2,98	3,1
Новосибирскэнерго	3	2,85	3	3,45	3,6	3,75
Омскэнерго	3,62	3,44	3,62	4,17	4,35	4,53
Сахалинэнерго	13,05	12,4	13,05	15,01	15,66	16,31
Томскэнерго	3,93	3,74	3,93	4,52	4,72	4,92
Хабаровскэнерго	3,82	3,63	3,82	4,39	4,58	4,78
Читаэнерго	4,14	3,94	4,14	4,76	4,97	5,18
Якутскэнерго	6,35	6,03	6,35	7,8	7,6	7,94
Камчатскэнерго	7,9	7,5	7,9	9,08	9,48	9,88
Главуралэнерго						
Башкирэнерго	3,75	3,56	3,75	4,31	4,5	4,69
Кировэнерго	4,3	4,09	4,3	4,95	5,16	5,38
Оренбургэнерго	3,46	3,28	3,46	3,97	4,15	4,32
Пермэнерго	4,41	4,19	4,41	5,07	5,29	5,51
Свердловскэнерго	3,16	3,01	3,16	3,64	3,86	3,96
Удмуртэнерго	5,47	5,2	5,47	6,3	6,57	6,84
Челябэнерго	3,5	3,3	3,5	4,02	4,2	4,38
Главсевзапэнерго						
Архэнерго	6,54	6,22	6,54	7,52	7,85	8,18
Брянскэнерго	5,19	4,93	5,19	5,96	6,22	6,48
Калининэнерго	6,66	6,33	6,66	7,66	7,99	8,33
Карелэнерго	7,19	6,83	7,19	8,27	8,63	8,99
Колэнерго	9,63	9,15	9,63	11,07	11,56	12,08
Комиэнерго	4,81	4,57	4,81	5,54	5,78	6,02
Ленэнерго	5,86	5,57	5,86	6,74	7,03	7,32
Смоленскэнерго	6,8	6,46	6,8	7,82	8,16	8,5

Продолжение табл. 75

Энергоснабжающие организации	Тарифы, руб., коп., за 1 Гкал по группам потребителей и теплоносителям на					
	горячую воду	отборный пар			острый пар от котлов	
		от 1,2 до 2,5 ата вкл.	до 7 ата	свыше 21 ата	от 5 до 21 ата вкл.	свыше 21 ата
Энергосистемы, подчиненные непосредственно Министерству энергетики и электрификации Украинской ССР						
Винницаэнерго	4,96	4,72	4,96	5,71	5,96	6,2
Днепроэнерго	5,52	5,25	5,52	6,35	6,63	6,9
Донбассэнерго	3,63	3,45	3,63	4,17	4,36	4,54
Киевэнерго	4,41	4,19	4,41	5,07	5,29	5,51
Крымэнерго	4,98	4,73	4,98	5,73	5,97	6,22
Львовэнерго	4,04	3,84	4,04	4,65	4,85	5,05
Одессаэнерго	4,45	4,23	4,45	5,12	5,34	5,56
Харьковэнерго	4,48	4,25	4,48	5,15	5,37	5,59
Главное управление энергетики и электрификации при Совете Министров Белорусской ССР	4,56	4,33	4,56	5,24	5,47	5,69
Энергосистемы, подчиненные Министерству энергетики и электрификации Казахской ССР						
Алма-Атаэнерго	5,48	5,31	5,48	6,31	6,58	6,86
Алтайэнерго	3,24	3,08	3,24	3,73	3,9	4,06
Гурьевэнерго	4,3	4,08	4,3	4,94	5,16	5,38
Западказэнерго	4,93	4,68	4,93	5,67	5,91	6,16
Карагандаэнерго	3,64	3,46	3,64	4,18	4,36	4,54
Павлодарэнерго	2,42	2,3	2,42	2,78	2,9	3,02
Целинэнерго	4,18	3,97	4,18	4,81	5,02	5,22
Южказэнерго	5,11	4,85	5,11	5,88	6,13	6,38
Главное управление при Советах Министров союзных республик						
Грузинской ССР	6,3	5,99	6,3	7,25	7,56	7,88
Азербайджанской ССР	3,88	3,68	3,88	4,46	4,66	6,66
Литовской ССР	5,33	5,06	5,33	6,13	6,46	6,66
Молдавской ССР	6,65	6,32	6,65	7,64	7,98	8,31
Латвийской ССР	6,23	5,92	6,23	7,17	7,48	7,79
Киргизской ССР	6,46	6,14	6,46	7,42	7,75	8,07
Таджикской ССР	5,7	5,42	5,7	6,56	6,84	7,13
Армянской ССР	4,12	3,92	4,12	4,74	4,95	5,16
Туркменской ССР	5,45	5,18	5,45	6,27	6,54	6,81
Эстонской ССР	5,22	4,96	5,22	6,01	6,27	6,53
Узбекской ССР	3,73	3,54	3,73	4,29	4,48	4,66

в) при времени остывания $\tau_{ост} > 96$ ч

$$З_к = \text{Расц.}' \left(30 + \frac{\tau_{ост} - 96}{24}\right) \frac{q}{V} + \text{Расц.}'' \frac{q}{V}; \quad (116)$$

$$Т_к = \text{Н.вр.}' \left(30 + \frac{\tau_{ост} - 96}{24}\right) \frac{q}{V} + \text{Н.вр.}'' \frac{q}{V}; \quad (117)$$

для электропрогрева и термоактивной опалубки

$$З_к = \text{Расц.}' \left(\frac{\tau_п}{2} + \frac{\tau_и + \tau_{ост}}{4}\right) \frac{q}{V} + \text{Расц}'' \frac{q}{V}; \quad (118)$$

$$Т_к = \text{Н.вр.}' \left(\frac{\tau_п}{2} + \frac{\tau_и + \tau_{ост}}{4}\right) \frac{q}{V} + \text{Н.вр.}'' \frac{q}{V}; \quad (119)$$

для бетона с противоморозными добавками

$$З_к = \text{Расц.}' \frac{\tau_{ост}}{8} \frac{q}{V} + \text{Расц.}' \frac{q}{V}; \quad (120)$$

$$Т_к = \text{Н.вр.}' \frac{\tau_{ост}}{8} \frac{q}{V} + \text{Н.вр.}'' \frac{q}{V}, \quad (121)$$

где Расц.′, Н. вр.′ — соответственно расценка и норма времени по замеру температур (см. табл. 73), руб/чел.-дн.;
Расц.″, Н. вр.″ — соответственно расценка и норма времени по изготовлению пробок (см. табл. 73), руб/чел.-дн.;
q — количество температурных скважин на конструкцию, шт.;
$\tau_{ост}$ — время остывания, ч;
$\tau_и$ — время изотермического прогрева, ч;
$\tau_п$ — время подъема температуры, ч.

17.10. При эксплуатации оборудования учитываются амортизационные отчисления (в соответствии с «Нормами амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства»), затраты на текущий ремонт и техобслуживание (в размере 0,08 от капитальных вложений на приобретение), а также затраты на перебазирование комплектов оборудования в размере 9 руб. (для установки предварительного подогрева 38 руб. за 1 перестановку). При перебазировании оборудования в условиях бездорожья, особыми видами транспорта и т. д. затраты определяются специальным расчетом:

для предварительного электроразогрева

$$С_{обор} = \frac{\Sigma K_i A_i}{n_{з.см} П} + \frac{0{,}08 K_i}{n_{з.см} П_{см}} + \frac{38 n_{пер}}{n_{з.см} П_{см}} \text{ руб/м}^3; \quad (122)$$

для электропрогрева

$$С_{обор} = \frac{\Sigma K_i A_i n_i}{n_{з.см} П_{см}} \frac{(\tau_п + \tau_и)}{8} + \frac{0{,}08 K_i}{n_{з.см} П_{см}} + \frac{9 n_{пер}}{n_{з.см} П_{см}}; \quad (123)$$

для греющей опалубки

$$С_{обор} = \frac{\Sigma K_i A_i n_i}{n_{з.см} П_{см}} \frac{(\tau_п + \tau_и + \tau_{ост})}{8} + \frac{0{,}08 K_i n_i}{n_{з.см} П_{см}} + \frac{9 n_{пер}}{n_{з.см} П_{см}}, \quad (124)$$

где K_i — балансовые стоимости: прогревного трансформатора (см. табл. 66, 67), поста для электроразогрева бетонной смеси (без сило-

вого трансформатора) — 2140 руб.; установки для электропитания термоактивной опалубки — 2400 руб.; комплекта кабелей и проводов для электропрогрева бетона при мощности понижающего трансформатора (до 63 кВ·А — 462 руб.;
A_i — норма амортизационных отчислений;
n_i — количество понижающих трансформаторов, установок;
$n_{\text{э.см}}$ — количество смен работы трансформаторов в году (табл. 76);
$П$ — производительность установки в смену, м³;
$n_{\text{пер}}$ — число перебазирований установки в год.

17.11. Оплата электроэнергии производится строительными управлениями в основном по двухставочному тарифу. Дополнительная плата двухставочного тарифа взимается за отпущенную энергию, учитываемую счетчиком активной энергии, по пониженной и повышенной ставкам, предусмотренным тарифом по каждой энергосистеме, в зависимости от места установки счетчиков: по пониженной ставке — в случае установки счетчика на стороне первичного напряжения (до абонентского трансформатора) и по повышенной ставке — в случае установки счетчика на стороне вторичного напряжения (после абонентского трансформатора):

$$C_{\text{эн}} = \frac{C_i P_i n_i}{n_{\text{э.см}} П_{\text{см}}} \frac{(\tau_{\text{п}} + \tau_{\text{и}})}{8} + C W; \tag{125}$$

при одноставочном тарифе

$$C_{\text{эн}} = C_4 W, \tag{126}$$

где P_i — мощность прогревной установки, кВА;
W — расход электроэнергии, кВт·ч/м³;
C_1, C_3, C_4 — по табл. 77.

17.12. Затраты на монтаж и обслуживание установок прогрева: при предварительном электроразогреве

$$З_{\text{обсл}} = \frac{З'_{\text{обсл}}}{П_{\text{см}}}; \tag{127}$$

$$Т_{\text{обсл}} = \frac{Т_{\text{обсл}}}{П_{\text{см}}}; \tag{128}$$

при электропрогреве и обогреве

$$З_{\text{обсл}} = \frac{З'_{\text{обсл}} n}{П_{\text{см}}}, \tag{129}$$

$$Т_{\text{обсл}} = \frac{Т'_{\text{обсл}} n}{П_{\text{см}}}; \tag{130}$$

где $З_{\text{обсл}}$, $Т_{\text{обсл}}$ — заработная плата и трудоемкость обслуживания установок прогрева за смену, руб/чел.-дн. (табл. 73).

17.13. Затраты по изготовлению, установке и разборке электродов

$$З_{\text{эл}} = (\text{Расц.}' + \text{Расц.}'' + \text{Расц.}''') n_{\text{эл}}; \tag{131}$$

$$Т_{\text{эл}} = (\text{Н.вр.}' + \text{Н.вр.}'' + \text{Н.вр.}''') n_{\text{эл}}; \tag{132}$$

$$C_{\text{эл}} = C'_{\text{ст}} \frac{m_{\text{эл}}}{Q_{\text{эл}}}, \tag{133}$$

Таблица 76

Температурные зоны (по ВНДЗ)	Число дней зимнего периода в году		Число смен работы в зимний период
	календарных	рабочих	
I	84	61	183
II	120	83	249
III	146	101	303
IV	164	114	342
V	190	124	372
VI—VII	219	127	381
VIII—X	237	134	402

Таблица 77

Энергоснабжающие организации	Двухставочные тарифы для промышленных и приравненных к ним потребителей			Одноставочный тариф C_4, руб., за 1 кВт·ч	Температурные зоны по ЕНиР (Общая часть)
	основная плата, руб., за год за 1 кВ·А оплачиваемой мощности C_1	дополнительная плата, руб., за 1 кВт·ч			
		на стороне первичного напряжения C_2	на стороне вторичного напряжения C_3		
Энергосистемы, подчиненные непосредственно Министерству энергетики и электрификации СССР					
Главцентрэнерго					
Горэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	4
Ивэнерго	28	0,008	0,0082	0,025	3
Калининэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	3
Костромаэнерго	35	0,0141	0,0145	0,03	3
Куйбышевэнерго	18,2	0,007	0,007	0,025	4
Мордовэнерго	28	0,008	0,0082	0,025	4
Мосэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	3
Орелэнерго	33,7	0,0092	0,0095	0,025	3
Пензаэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	4
Саратовэнерго	18,2	0,007	0,0072	0,025	3
Тамбовэнерго	27,6	0,0145	0,0149	0,025	3
Тобэнерго	18,2	0,007	0,0072	0,025	4
Тулэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	3
Ульяновскэнерго	28	0,008	0,0082	0,025	4
Чувашэнерго	33,7	0,0092	0,0095	0,025	4
Ярэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	3
Главюжэнерго					
Белгородэнерго	27,6	0,0105	0,0108	0,025	3
Волгоградэнерго	18,2	0,007	0,0072	0,025	3
Воронежэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	3
Грозэнерго	18,2	0,007	0,0072	0,025	1
Дагэнерго	26,1	0,0085	0,0088	0,025	1

Продолжение табл. 77

Энергоснабжающие организации	Двухставочные тарифы для промышленных и приравненных к ним потребителей			Одноставочный тариф, C_4, руб., за 1 кВт·ч	Температурные зоны по ЕНиР (Общая часть)
	основная плата, руб., за год за 1 кВ·А оплачиваемой мощности C_1	дополнительная плата руб., за 1 кВт·ч			
		на стороне первичного напряжения C_2	на стороне вторичного напряжения C_3		
Краснодарэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	1
Курскэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	3
Липецкэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	3
Ростовэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	2
Севкавказэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	1—2
Ставропольэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	1—2
Главвостокэнерго					
Амурэнерго	35	0,0141	0,0145	0,03	5—6
Барнаулэнерго	26	0,0062	0,0064	0,025	5—6
Бурятэнерго	52,2	0,0167	0,0172	0,035	5—6
Дальэнерго	33,7	0,0092	0,0095	0,025	3—4
Иркутскэнерго	14,2	0,0017	0,0019	0,025	5—6
Красноярскэнерго	14,2	0,0117	0,0019	0,025	5—6
Кузбассэнерго	18,6	0,004	0,0042	0,025	5
Новосибирскэнерго	18,6	0,004	0,0042	0,025	5
Омскэнерго	18,6	0,004	0,0042	0,025	5
Сахалинэнерго	27,6	0,09	0,093	0,095	2—5
Томскэнерго		0,0105	0,0108	0,025	5
Хабаровскэнерго	33,7	0,0092	0,0095	0,025	4—6
Читаэнерго	33,7	0,0092	0,0095	0,025	5—6
Якутскэнерго		0,053	0,055	0,06	6
Камчатскэнерго		0,09	0,093	0,095	3—6
Главуралэнерго					
Башкирэнерго	17,9	0,0066	0,0068	0,025	4
Кировэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	4
Оренбургэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	4
Пермэнерго	17,9	0,0066	0,0068	0,025	4—5
Свердловскэнерго	17,9	0,0066	0,0068	0,025	4
Удмуртэнерго	27,6	0,0105	0,0108	0,025	4
Челябэнерго	17,9	0,0066	0,0068	0,025	4
Главсевзапэнерго					
Архэнерго	33,7	0,0092	0,0095	0,025	4—6
Брянскэнерго	33,7	0,0092	0,0095	0,025	3
Калининэнерго	52,2	9,0167	0,0172	0,035	1
Карелэнерго	18,2	0,007	0,0072	0,025	3
Колэнерго	18,2	0,007	0,0072	0,025	4
Комиэнерго	27,6	0,0145	0,0149	0,025	4—6
Ленэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	2—3
Смоленскэнерго	27,6	0,0145	0,0149	0,025	3

Продолжение табл. 77

Энергоснабжающие организации	Двухставочные тарифы для промышленных и приравненных к ним потребителей			Одноставочный тариф, руб., за 1 кВт·ч	Температурные зоны по ЕНиР (общая часть)
	основная плата, руб., за год за 1 кВ·А оплачиваемой мощности C_1	дополнительная плата, руб., за 1кВт·ч			
		на стороне первичного напряжения C_2	на стороне вторичного напряжения C_2		
Энергосистемы, подчиненные непосредственно Министерству энергетики и электрификации Украинской ССР					
Винницаэнерго	35	0,0141	0,0145	0,03	2
Днепроэнерго	12,8	0,0068	0,007	0,025	2
Донбассэнерго	12,8	0,0068	0,007	0,025	1—2
Киевэнерго	22,0	0,0077	0,008	0,025	2
Крымэнерго	27,6	0,0105	0,0108	0,025	1
Львовэнерго	22	0,0077	0,008	0,025	1
Одессаэнерго	27,6	0,0105	0,0108	0,025	1
Харьковэнерго	12,8	0,0068	0,007	0,025	2
Главное управление энергетики и электрификации при Совете Министров Белорусской ССР	33,7	0,0092	0,0095	0,025	2—3
Энергосистемы, подчиненные непосредственно Министерству энергетики и электрификации Казахской ССР					
Алма-Атаэнерго	27,6	0,0105	0,0108	0,025	3
Алтайэнерго	18,6	0,004	0,0042	0,025	4—5
Гурьевэнерго	52,2	0,0167	0,0172	0,035	2—3
Запказэнерго	27,6	0,0105	0,0108	0,025	3—4
Карагандаэнерго	26,6	0,0062	0,0064	0,025	5
Павлодарэнерго	18,6	0,004	0,0042	0,025	5
Целинэнерго	27,6	0,0105	0,0108	0,025	5
Южказэнерго	18,2	0,007	0,0072	0,025	2—3
Главные управления энергетики и электрификации при Советах Министров союзных республик					
Грузинской ССР	27,6	0,0105	0,0108	0,025	—
Азербайджанской ССР	26,1	0,0085	0,0088	0,025	—
Литовской ССР	27,6	0,0145	0,0149	0,025	1—2
Молдавской ССР	27,6	0,0105	0,0108	0,025	1
Латвийской ССР	33,7	0,0092	0,0095	0,025	1—2
Киргизской ССР	27,6	0,0105	0,0108	0,025	1—2
Таджикской ССР	26,1	0,0085	0,0088	0,025	—
Армянской ССР	26,1	0,0085	0,0088	0,025	—
Туркменской ССР	52,2	0,0167	0,0172	0,035	1
Эстонской ССР	33,7	0,0092	0,0095	0,025	2
Узбекской ССР	26,6	0,0062	0,0064	0,025	1—2

где Расц.′, Расц.″, Расц.‴, Н вр.′, Н. вр.″, Н. вр.‴ — соответственно заработная плата и трудоемкость изготовления, установки, разборки электродов (табл. 73), руб/чел.-дн.;
$n_{эл}$ — количество электродов, шт. (по расчету);
$m_{эл}$ — масса электродов, кг (по расчету);
$O_{эл}$ — оборачиваемость электродов из табл. 73.

17.14. Единовременные затраты K, руб/м³, определяются из

$$K = \frac{\Sigma K_i}{n_{з.см}\, П_{см}}. \qquad (134)$$

НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ И ОСНОВНЫЕ ПУТИ ИХ ЭКОНОМИИ

17.15. Нормированию подлежат все расходы тепловой и электрической энергии на основные и вспомогательные производственно-эксплуатационные нужды, в том числе на отопление бетоных узлов, включая потери в сетях.

17.16. Индивидуальной нормой называется норма расхода тепловой и электрической энергии на 1 м³ бетона, которая устанавливается по типам или отдельным энергопотребляющим установкам (устройствам), способам зимнего бетонирования, массивности конструкций.

17.17. Технологической нормой называется норма расхода тепловой и электрической энергии, которая учитывает их расход на основные и вспомогательные технологические процессы на 1 м³ бетона, расход на поддержание технологических устройств (например, для подогрева заполнителей) в нагретом состоянии на их разогрев после холодных простоев, а также технически неизбежные потери энергии.

17.18. Общепроизводственной нормой называется норма расхода тепловой и электрической энергии, которая учитывает расходы энергии на основные и вспомогательные технологические процессы, на вспомогательные нужды, например на отопление бетонного узла, а также технически неизбежные потери энергии в преобразователях (трансформаторах), в тепловых и электрических сетях (стройки), отнесенные на 1 м³ бетона.

17.19. Состав норм расхода тепловой и электрической энергии — это перечень статей их расхода на 1 м³ бетона с учетом особенностей зимнего бетонирования.

17.20. В нормы расхода тепловой и электрической энергии не должны включаться затраты этих ресурсов, вызванные отступлением от принятой технологии, режимов работы, рецептур, несоблюдением требований к качеству сырья и материалов и другие нерациональные затраты.

17.21. Расход тепловой и электрической энергии на 1 м³ бетона нормируется: тепловой энергии — в тысячах килокалорий (тыс. ккал); электрической энергии — в киловатт-часах (кВт·ч).

17.22. Основным методом разработки норм расход тепловой и электрической энергии является расчетно-аналитический метод. Кроме того, применяются опытный и расчетно-статистический методы.

17.23. Расчетно-аналитический метод предусматривает определение норм расхода тепловой и электрической энергии расчетным путем по статьям расхода на основе прогрессивных показателей использования этих ресурсов в производстве бетонных работ в зимних условиях.

Индивидуальные нормы расхода определяются на базе теоретических расчетов, экспериментально установленных нормативных характеристик энергопотребляющих устройств и установок с учетом достигнутых прогрессивных показателей удельного расхода тепловой и электрической энергии и внедряемых мероприятий по их экономии.

Для обеспечения разработки норм расхода необходимо:

проводить энергетические испытания установок и устройств, по данным которых должны разрабатываться их энергетические балансы и нормативные характеристики;

осуществлять систематический контроль, учет и анализ эксплуатационных удельных расходов тепловой и электрической энергии и исключать из них нерациональные затраты энергии.

17.24. Опытный метод разработки индивидуальных норм расхода заключается в определении удельных затрат тепловой и электрической энергии по данным, полученным в результате испытаний (эксперимента). При этом оборудование должно быть в технически исправном состоянии и отлажено, а технологический процесс должен осуществляться в режимах, предусмотренных настоящим Руководством.

17.25. В тех случаях, когда не представляется возможным использовать для разработки норм расчетно-аналитический и опытный методы, применяется как исключение расчетно-статистический метод определения норм расхода на основе анализа статистических данных за ряд предшествующих лет о фактических удельных расходах тепловой и электрической энергии и факторах, влияющих на их изменение.

17.26. Основными исходными данными для определения норм расхода тепловой и электрической энергии являются:

первичная техническая и технологическая документация;

технологические параметры, приведенные в настоящем Руководстве, экспериментально проверенные энергозатраты при разных способах зимнего бетонирования;

паспортные данные установок и устройств, нормативные показатели, характеризующие наиболее рациональные и эффективные технологические параметры производства;

данные о плановых и фактических удельных расходах тепловой и электрической энергии за прошедшие годы, а также акты проверки использования их в производстве;

данные передового опыта строек по экономичному и рациональному использованию энергии и достигнутым удельным расходам;

план организационно-технических мероприятий по экономии энергии.

17.27. Учитывая, что научно обоснованные нормы расхода тепловой и электрической энергии на нагрев бетона при бетонировании конструкций и сооружений в зимних условиях разрабатываются впервые и в настоящее время отсутствует необходимая для этого информация, ориентировочные средневзвешенные нормы расхода энергоресурсов можно планировать по данным прил. 24.

17.28. Важнейшим критерием эффективности использования энергоресурсов при бетонировании конструкций и сооружений в зимних условиях является удельный их расход на 1 м^3 бетона при условии сохранения оптимальных темпов строительства, качества бетона и расхода цемента.

При выборе способов зимнего бетонирования, разработке мето-

приятий по экономии энергоресурсов и их оценке следует руководствоваться тем, что удельные капиталовложения в добычу, переработку и транспортировку 1 т условного топлива составляют в среднем около 170 руб.

17.29. Организационно-технические мероприятия по экономии тепловой и электрической энергии разрабатываются на всех уровнях управления и планируются по следующим основным направлениям:

совершенствование технологии зимнего бетонирования;

улучшение использования и структуры технологического оборудования и устройств;

улучшение использования энергии;

повышение качества компонентов бетона и применение менее энергоемких их видов;

прочие мероприятия (организационные, экономические и др.).

17.30. Исходными данными для разработки планов организационно-технических мероприятий по экономии тепловой и электрической энергии в производстве являются:

задания по среднему снижению норм расхода тепловой и электрической энергии на планируемый период, установленные вышестоящей организацией;

программы по решению отраслевых научно-технических проблем и комплексному использованию природных ресурсов;

предложения об использовании в народном хозяйстве достижений научно-технического прогресса, результаты законченных научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ;

результаты анализа использования тепловой и электрической энергии в производстве за прошедшие годы;

рационализаторские предложения, а также результаты работы по экономии энергоресурсов, достигнутые передовыми стройками, участками, рабочими бригадами.

При разработке организационно-технических мероприятий по экономии тепловой и электрической энергии, включаемых в план, необходимо проводить оценку их экономической эффективности с целью выбора наилучшего варианта и установления целесообразности, а также очередности их внедрения в производство.

Руководство разработкой планов организационно-технических мероприятий по экономии и норм расхода энергоресурсов осуществляет главный инженер строительной организации, который несет персональную ответственность за их техническую обоснованность и внедрение.

17.31. Для контроля за выполнением норм расхода тепловой и электрической энергии на стройках и предприятиях должен быть организован учет их расхода с помощью приборов, установленных в соответствии с правилами технической эксплуатации.

В новых разработках в области зимнего бетонирования необходимо предусматривать в проектно-сметной документации приборы для учета расходования тепловой и электрической энергии.

17.32. В состав технологических карт и проектов производства работ по зимнему бетонированию должны включаться показатели удельного расхода тепловой и электрической энергии, а также обобщенные удельные энергозатраты на 1 м^3 бетона.

18. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

18.1. При производстве бетонных работ в зимних условиях, районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера необходимо соблюдать требования ГОСТ 12.1.013—78, главы СНиП III-4-80. «Техника безопасности в строительстве», «Правил технической эксплуатации электроустановок». «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок», а также положений данного раздела.

18.2. При выполнении работ в условиях температуры воздуха ниже 0° С необходимо предусматривать теплые помещения для обогрева рабочих.

Все рабочие должны быть обеспечены теплой одеждой, валенками и теплыми рукавицами.

18.3. Температура наружного воздуха и сила ветра, при которых необходимо прекращать работу вне помещений, а также продолжительность перерывов для обогрева рабочих устанавливаются областными (краевыми, городскими, поселковыми) Советами народных депутатов.

18.4. При разработке проектов складских помещений для хранения противоморозных добавок, узлов для приготовления водных растворов добавок и бетонных смесей с добавками необходимо соблюдать санитарные, противовзрывные и противопожарные нормы проектирования.

18.5. Кристаллический нитрит натрия способен поддерживать горение или вызывать воспламенение горючих веществ, в некоторых случаях — *даже при трении и ударе. Совместное хранение нитрита* натрия с другими солями, с легковоспламеняющими газами и жидкостями, органическими веществами, горючими материалами, веществами на спиртовой основе, радиоактивными веществами, едкими, коррозионными и взрывчатыми веществами запрещается.

В складских помещениях не допускается курение, применение открытого огня, должны быть исключены короткие замыкания и искрение электрооборудования, необходимо наличие противопожарного водопровода и средств пожаротушения.

Жидкий нитрит натрия не огнеопасен, но пропитанные им и высушенные ткани, древесина и подобные материалы легко загораются и их тушение затруднено. Средства тушения — вода, песок, пена (огнетушители ОП-5 или ОП-7).

18.6. Мочевина огнеопасна, температурные вспышки 182° С. В складах мочевины запрещается курение и применение открытого огня. Средства тушения — пена, водяной пар, азот, углекислота.

При хранении НКМ следует руководствоваться такими же правилами как для мочевины.

18.7. Поташ, хлористые кальций и натрий, ННК, ННХК и СДБ непожароопасны, однако в помещениях для их хранения и приготовления концентрированных водных растворов запрещается курение и применение открытого огня.

18.8. Попадание противоморозных добавок или их растворов на кожу, в глаза, дыхательные пути и пищу приводит к поражениям кожного покрова или слизистой оболочки и может вызвать тяжелое заболевание.

В случае попадания на кожу раствора противоморозной добавки или бетонной смеси с противоморозной добавкой необходимо удалить оставшуюся на коже жидкость тампоном из сухой ваты, а затем промыть участок кожи теплой водой и мылом. В помещениях для

складирования добавок и приготовления их водных растворов должны быть вывешены правила безопасности работы, а также правила оказания первой помощи пострадавшему.

18.9. В помещениях для хранения добавок, приготовления их водных растворов и бетонных смесей с добавками, следует предусмотреть приточно-вытяжную вентиляцию, а при необходимости — местных отсосов. В случае применения добавок нитрита натрия, ННК, ННХК, НК, НКМ и поташа воздухообмен должен быть 10—15-кратным.

18.10. Рабочие, занятые приготовлением растворов добавок, должны работать в спецодежде из водоотталкивающей ткани, в очках, резиновых сапогах и резиновых перчатках. Работающие с кристаллическим нитритом натрия и поташем должны обеспечиваться противопыльным респиратором. Для работающих на погрузочно-разгрузочных работах с кристаллическим нитритом натрия, а также на приготовлении растворов нитрита натрия, ННК и ННХК должны быть предусмотрены специальные бытовые помещения со шкафчиками для рабочей и личной одежды, отделенными друг от друга.

18.11. Прием пищи в помещениях, в которых производится работа с добавками и их растворами, не допускается.

18.12. Не следует допускать к работе с нитритом натрия, НК, ННК, НКМ, ННХК и поташа и их водными растворами людей с повреждением кожного покрова (ссадины, ожоги и т. п.), раздражением век и глаз.

К работе с указанными добавками допускаются лица не моложе 18 лет.

18.13. Все рабочие и ИТР, занятые в помещениях для складирования добавок и приготовления их водных растворов, должны пройти медицинское освидетельствование и инструктаж по технике безопасности с последующей проверкой знаний.

18.14. Особенно ядовитым является нитрит натрия. Его попадание в организм вызывает тяжелые поражения (расширение кровеносных сосудов, образование в крови мета-гемоглобина), опасные для жизни. Характерные признаки отравления — слабость, тошнота, головокружение, снижение зрения, посинение кончиков пальцев и носа через 10—15 мин после попадания нитрита натрия в организм.

При отравлении нитритом натрия пострадавшего необходимо немедленно эвакуировать в ближайший пункт медицинской помощи либо вызвать машину скорой помощи. До ее прибытия следует оказать пострадавшему первую помощь.

18.15. При работе с нитритом натрия необходимо осуществлять следующие мероприятия:

а) склады для хранения кристаллического нитрита натрия следует размещать в отдельных зданиях, а концентрированного жидкого нитрита натрия — на огороженных площадках; вход посторонним на территорию складов запрещается;

б) на емкостях для хранения и переноски кристаллического нитрита натрия, приготовления, хранения и транспортирования его растворов должна быть предупредительная надпись «Яд!»;

в) приготовлять растворы нитрита натрия только в заводских условиях в специально приспособленном помещении, вход в которое посторонним должен быть запрещен;

г) приготовление растворов нитрита натрия должно быть механизировано и с минимальным количеством обслуживающего персонала;

д) подавать растворы нитрита натрия в расходные емкости и бетономешалки по трубопроводам; допускается перенос растворов вручную в пределах строительной площадки в закрывающихся бачках, заполненных не более чем на $^3/_4$ их высоты;

е) не допускать слива растворов нитрита натрия в водоемы санитарно-бытового использования.

18.16. В растворах с кислой средой ($PH<7$) нитрит натрия разлагается с выделением газообразных продуктов, в том числе отравляющих газов NO и NO_2; предельно допустимая концентрация этих окислов азота в пересчете на NO_2 в рабочей зоне 5 мг/м³. К разложению нитрита натрия может привести также смешивание его водных растворов с кислотами, с солями, имеющими кислую реакцию, в том числе с СДБ.

Практически полностью исключается образование отравляющих газов при приготовлении раствора $NaNO_2$+СДБ в случае соблюдения следующих правил: в емкость подается раствор нитрита натрия (даже подогретый до 60—70° С), перемешивается с водой барботированием воздуха без подогрева, затем в емкость подается концентрированный раствор СДБ.

Добавка $NaNO_2$+СДБ безопасна для здоровья при ее подщелачивании раствором едкого натрия до $pH>8$.

В системе перекачивания растворов добавок необходимо обеспечить условия, исключающие случайное смешивание растворов нитрита натрия и СДБ.

Емкости перед заполнением раствора нитрита натрия необходимо тщательно промывать водой, а если в них хранились кислоты или продукты, имеющие кислую реакцию, то предварительно пропаривать.

18.17. Требования пп. 18.15 и 18.16 относятся также к работе с добавками ННК и ННХК. Добавка ННХК при длительном воздействии вызывает катар и изъязвление слизистой оболочки носа, иногда прободение носовой перегородки.

При первых признаках заболевания необходимо обращаться к врачу.

18.18. Попадание поташа в организм вызывает раздражение дыхательных путей, коньюктивит, желудочно-кишечные заболевания, изъязвление слизистой оболочки носа.

При первых признаках указанных заболеваний следует обращаться к врачу.

18.19. НК, НКМ, ННК и ННХК вызывают покраснение, зуд и изъязвление кожи, поражают участки кожи, на которых имеются хотя бы незначительные ранки или царапины. Для предотвращения указанных поражений кожи необходимо применять защитные мази типа ХИОТ или другие жирные смазки.

18.20. Хлористые кальций и натрий, мочевина не токсичны, но при попадании растворов этих добавок на кожу необходимо промыть эти участки кожи.

18.21. При укладке бетонной смеси с противоморозными добавками необходимо особое внимание обращать на исправность электроинструмента и проводов ввиду повышенной электропроводности бетонов с добавками.

18.22. Рабочие и ИТР, занятые электротермообработкой бетона, должны пройти обучение безопасным методам работы и проверку знаний специальной комиссией с получением удостоверения о допуске к работам по электротермообработке бетона.

18.23. Электрики, обслуживающие электротермообработку бетона, должны иметь квалификационную группу по технике безопасности не ниже третьей.

18.24. Рабочие и ИТР, занятые вблизи участков, на которых производится электротермообработка бетона, должны быть предупреждены об опасности поражения электрическим током.

18.25. Вокруг участка, на котором производится электротермообработка бетона, необходимо устраивать временное ограждение, на котором устанавливаются сигнальные лампы красного цвета, загорающиеся при подаче напряжения на электроды или на электронагревательные устройства, а также вывешены предупредительные плакаты «Осторожно! Под напряжением!».

Высота ограждения должна быть не менее 1,5 м, а его расстояние до прогреваемой конструкции должно быть не менее 1,5 м при использовании напряжения до 127 В и не менее 3 м при использовании более 127 В.

Вход посторонним лицам на участок электротермообработки при включенном напряжении не разрешается.

18.26. Все токоведущие части оборудования (трансформаторов, распределительных щитов и т. п.) должны быть ограждены, случайное прикосновение к ним должно быть исключено. Рубильники должны иметь надежные кожухи. Возле трансформаторов, распределительных шкафов, софитов, рубильников необходимо уложить деревянные решетки, покрытые диэлектрическими резиновыми ковриками.

18.27. Нетоковедущие металлические элементы оборудования (корпусы трансформаторов, ограждения шкафов и щитов, кожухи рубильников и т. п.) должны быть надежно заземлены или занулены. При использовании нулевого провода в качестве рабочего для получения фазового напряжения, для зануления нетоковедущих элементов должен быть предусмотрен специальный второй нулевой провод. Использование для заземления подземных трубопроводов запрещается.

18.28. Электродный прогрев армированных конструкций следует производить при напряжении не более 127 В; электродный прогрев при напряжении до 220 В может быть допущен для армированных отдельно стоящих конструкций, не связанных общим армированием с соседними конструкциями, только на основе специально разработанного проекта производства работ.

Электродный прогрев неармированных бетонных конструкций, а также все другие методы электротермообработки армированных конструкций могут осуществляться в соответствии со специально составленной технологической картой при напряжении до 380 В при условии, если конструкция применяемых устройств исключает короткое замыкание на арматуру.

Применение для электротермообработки бетонных и железобетонных конструкций напряжения более 380 В не допускается.

18.29. Напряжение на электроды при предварительном электроразогреве бетонной смеси в кузове самосвала разрешается подавать после выхода водителя из кабины и закрывания ворот или шлагбаума в ограждении, а при предварительном электроразогреве в бадьях (бункерах) — после выхода за пределы ограждения рабочего, осуществляющего подключение силового кабеля и заземляющего провода, и закрывания калитки.

Ворота (шлагбаумы) и калитки в ограждении должны быть сблокированы с устройствами для подачи напряжения на электроды,

чтобы силовая цепь размыкалась при открывании ворот, шлагбаума или калитки.

Бадьи (бункера) для предварительного электроразогрева бетонной смеси должны устанавливаться на деревянном настиле, изолированном от грунта двумя слоями листовой резины.

18.30. Незабетонированная арматура или арматурные выпуски на неогражденных участках, связанные с арматурой конструкции (захватки), на которой производится электродный прогрев, должны быть заземлены.

18.31. До начала электротермообработки бетона необходимо проверить коммутацию электродов или нагревательных устройств, состояние изоляции кабелей, проводов и контактов.

Подача напряжения на электроды разрешается после выхода всех людей за пределы ограждения.

18.32. Допускается бетонирование конструкций и измерение температуры бетона под напряжением не более 60 В при условии работы персонала в резиновой диэлектрической обуви (сапоги, галоши), диэлектрических рукавицах и наличии резиновых ручек на виброинструменте и лопатах. Квалификационная группа персонала должна быть не ниже второй. Выполнять работы следует под наблюдением электрика, который должен при необходимости немедленно отключить напряжение.

18.33. В процессе электротермообработки бетона электрик должен следить за состоянием кабелей, проводов, контактов, разъемов. В случае появления искрения в контактах, перегрева кабелей и проводов, интенсивного выхода пара из бетона, свидетельствующего о слишком малом расстоянии между разнофазными электродами или между электродами и арматурой, необходимо отключить напряжение и устранить неисправность.

18.34. Разрешается производить электромонтажные работы на участках электротермообработки, находящихся под напряжением электрикам, имеющим квалификационную группу не ниже третьей, с применением специального инструмента и средств защиты.

18.35. В сырую погоду электротермообработку бетона следует производить с особой осторожностью с учетом возможности возникновения шагового напряжения.

18.36. Не реже 1 раза в месяц изоляцию проводов и кабелей, изоляцию от грунта бадей для предварительного электроразогрева бетонной смеси необходимо проверить с помощью мегомметра. Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм.

18.37. Рабочие, занятые инфракрасным обогревом бетона с применением открытых высокотемпературных нагревателей, должны быть снабжены темными очками.

Конструкция установок для инфракрасного обогрева бетона должна исключать возможность случайного прикосновения к горячим излучателям и коробам.

Короба должны иметь двойные стенки с воздушной прослойкой или наружную теплоизоляцию из нескольких слоев асбестовой ткани или подобного материала.

18.38. При использовании ТАПП необходимо проверить исправность их электронагревателей при передаче смены — дежурными электриками и в середине смены — дежурным электриком в присутствии мастера.

18.39. Применяемые для паропрогрева бетона паропроводы дол-

жны иметь теплоизоляцию во избежание ожогов. Давление пара на выходе из паропровода не должно превышать 0,5 атм.

Исправление дефектов трубопровода разрешается только после отключения подачи пара.

18.40. В темное время суток участок, на котором производится выдерживание бетона с измерением температуры, должен быть хорошо освещен.

18.41. При поражении электрическим током пострадавшему должна быть немедленно оказана первая помощь, одновременно необходимо вызвать машину скорой медицинской помощи.

Вблизи участка электротермообработки бетона должны быть вывешены правила оказания первой помощи при поражении электрическим током, а также номера телефонов и адреса скорой медицинской помощи.

18.42. Вблизи участка электротермообработки не допускается хранение легковоспламеняющих материалов.

18.43. В случае возникновения на участке электротермообработки пожара необходимо отключить напряжение и немедленно вызвать пожарную команду.

Тушение пожара следует производить с помощью огнетушителей и песка. При отключенном напряжении допускается тушение пламени водой.

Вблизи участка электрообработки должны быть размещены огнетушители, ящики с песком и лопаты, а также вывешены номера телефонов и адреса пожарных команд.

Расчетная температура наружного воздуха и скорость ветра для зимнего периода для различных пунктов территории СССР по месяцам

Пункты	Месяцы									Скорость ветра, м/с
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	
Абакан	—	—11	—21	—33	—36	—32	—28	—13	—	7
Актогай (Казахская ССР)	—	0	—22	—29	—34	—33	—23	0	—	5
Актюбинск (Казахская ССР)	—	0	—18	—25	—26	—27	—20	—7	—	8
Алдан (Якутская АССР)	—	—17	—30	—40	—39	—37	—24	—16	—	4
Аральск (Казахская ССР)	—	—	—12	—20	—27	—28	—14	—	—	8
Архангельск	—	—6	—13	—21	—24	—23	—20	—11	—	6
Ашхабад	—	—	—	0	0	0	—	—	—	3
Аян (Хабаровский край)	—	0	—22	—29	—31	—28	—23	—15	0	4
Барнаул	—	—10	—21	—29	—31	—29	—23	—13	—	6
Баку	—	—	—	—	0	0	—	—	—	8
Братск	—	—15	—25	—36	—38	—36	—23	—14	—	4
Брест (Белорусская ССР)	—	—	6	—12	—13	—13	—9	—	—	5
Владивосток	—	—	—10	—20	—23	—18	—11	0	—	9
Воркута	0	—14	—27	—38	—34	—34	—31	—21	—12	10
Воронеж	—	—	—9	—17	—20	—19	—13	—	—	6
Вилюйск (Якутская АССР)	0	—19	—38	—52	—50	—43	—34	—22	0	3
Верхотурье (Свердловская область)	—	—11	—20	—29	—30	—29	—24	—11	—	5
Верхоянск (Якутская АССР)	—10	—27	—50	—58	—64	—51	—46	—30	—11	2
Витим (Якутская АССР)	—	—15	—33	—34	—45	—39	—32	—20	—	5
Гурьев (Казахская ССР)	—	—3	—10	—16	—20	—21	—12	—	—	8
Джарджан (Якутская АССР)	—6	—24	—41	—52	—55	—46	—36	—25	—10	6
Ессей (Красноярский край)	—8	—22	—42	—51	—51	—48	—40	—29	—16	4
Жиганск (Якутская АССР)	0	—20	—41	—50	—53	—47	—37	—25	—10	5
Зайсан (Казахская ССР)	—	—	—21	—29	—19	—28	—18	—	—	8

Зырянка (Якутская АССР)	—7	—21	—42	—49	—49	—47	—41	—26	—10	4
Ивдель (Свердловская область)	—	—11	—24	—30	—34	—31	—24	—13	—	5
Илирней (Магаданская область)	—9	—26	—38	—50	—49	—48	—41	—32	—16	4
Калининград	—	—	0	—8	—15	—12	—10	—	—	6
Караганда	0	10	—19	—29	—31	—29	—21	—9	—	8
Каракуль (Таджикская ССР)	—	—14	—21	—27	—31	—29	—24	—16	—10	5
Кемь (Карельская АССР)	—	—5	—12	—19	—23	—23	—20	—10	—	5
Киев	—	—	—12	—16	—21	—19	—11	—	—	7
Киров	—	—5	—16	—25	—26	—24	—17	—8	—	5
Комсомольск-на-Амуре	—	—7	—20	—33	—35	—31	—22	—9	—	6
Котлас (Архангельская область)	—	—8	—16	—23	—27	—24	—21	—11	—	6
Краснодар	—	—	—	—11	—14	—15	0	—	—	4
Красноярск	—	—10	—21	—27	—30	—33	—20	—10	—	6
Крест-Халджай (Якутская АССР)	—	—29	—42	—55	—56	—50	—22	—6	—	5
Кустанай (Казахская ССР)	—	—10	—17	—27	—31	—30	—24	—9	—	6
Кызыл (Тувинская АССР)	—	—12	—27	—30	—43	—41	—41	—13	—	2
Лярьяк (Тюменская область)	—	—29	—35	—36	—33	—28	—16	—9	—9	5
Ленинград	—	0	—9	—15	—18	—19	—14	—7	—	4
Львов	—	—	0	—9	—14	—12	—10	—	—	6
Магадан	—	—11	—22	—25	—31	—29	—24	—13	—6	7
Минск	—	—	—7	—13	—17	—16	—12	—	—	6
Мирный	—5	—7	—23	—31	—32	—26	—17	—6	+4	—
Москва	—	—	—8	—19	—20	—19	—13	—5	—	5
Могоча (Читинская область)	—	—20	—32	—42	—45	—40	—33	—17	—	5
Мурманск	—	—6	—13	—18	—20	—18	—16	—11	0	8
Нарын (Киргизская ССР)	—	—	—14	—24	—27	—23	—15	—	—	2
Нарьян-Мар (Архангельская область)	—	—11	—21	—29	—31	—33	—29	—18	—11	6
Николаевск-на-Амуре	—	—10	—23	—33	—33	—32	—26	—14	0	4
Норильск	—	—15	—31	—34	—37	—37	—29	—22	—9	7
Новосибирск	—	—9	—24	—30	—34	—29	—22	—11	—	6
Одесса	—	—	—	—11	—11	—11	0	—	—	9
Оленек (Якутская АССР)	—10	—26	—45	—52	—56	—51	—42	—29	—15	3
Омолон (Магаданская область)	—10	—23	—42	—51	—54	—53	—45	—30	—13	4

Пункты	Месяцы									Скорость ветра, м/с
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	
Омск	—	—9	—23	—30	—32	—32	—23	—11	—	5
Оренбург	—	0	—15	—23	—28	—27	—19	—6	—	6
Ош (Киргизская ССР)	—	—	0	—10	—14	—11	—	—	—	2
Павлодар (Казахская ССР)	—	—8	—20	—28	—33	—33	—24	—9	—	7
Петропавловск (Казахская ССР)	—	—10	—20	—30	—30	—30	—24	—17	—	7
Петропавловск-Камчатский	—	0	—10	—14	—17	—17	—13	—6	0	8
Пермь	—	—9	—18	—19	—28	—24	—19	—7	—	4
Печора (Коми АССР)	—	—10	—24	—32	—33	—32	—28	—17	0	6
Помоздино (Коми АССР)	—	—11	—20	—29	—30	—28	—24	—12	—	6
Псков	—	—	—7	—18	—24	—19	—16	0	—	5
Пудино (Томская область)	—	—11	—23	—32	—36	—32	—26	—15	—	4
Рига	—	—	—6	—13	—13	—16	—12	0	—	5
Сангар (Якутская АССР)	—	—18	—38	—47	—49	—44	—34	—21	—	5
Саскылах (Якутская АССР)	—8	—22	—40	—48	—51	—47	—40	—33	—18	6
Свердловск	—	—9	—17	—27	—16	—25	—19	—8	—	5
Сеймган (Магаданская область)	—10	—27	—43	—51	—52	—49	—41	—28	—10	5
Семипалатинск	—	—8	—20	—27	—31	—29	—21	—8	—	4
Сретенск (Читинская область)	—	—14	—28	—40	—43	—39	—29	—19	—	4
Сусамыр (Киргизская ССР)	—	—15	—24	—32	—34	—33	—27	—15	—	1
Сыктывкар (Коми АССР)	—	—8	—17	—26	—28	—27	—21	—12	—	6

Саратов	—	—	—11	—20	—21	—22	—15	—	—	6
Среднеколымск	—7	—21	—42	—47	—48	—45	—40	—28	—13	3
Тазовский (Тюменская область)	—4	—16	—32	—41	—44	—40	—36	—29	—16	10
Таллин	—	—	—7	—12	—13	—17	—11	—6	—	8
Талды-Курган	—	—	—16	—21	—27	—25	—14	—	—	2
Тарко-Сале (Тюменская область)	—	—16	—33	—38	—41	—39	—37	—23	—12	5
Ташауз (Туркменская ССР)	—	—	0	—12	—15	—13	—0	—	—	4
Тайшет (Иркутская область)	—	—15	—28	—33	—34	—33	—26	—13	—	6
Тбилиси	—	—	—	0	0	0	—	—	—	4
Тобольск (Тюменская область)	—	—8	—21	—28	—31	—29	—23	—10	—	6
Томск	—	—9	—24	—31	—33	—30	—24	—12	—	6
Туой-Хая (Якутская АССР)	0	—19	—40	—50	—5	—43	—38	—24	0	3
Тура (Красноярский край)	—8	—19	—38	—50	—51	—44	—36	—24	—10	3
Тургай (Казахская ССР)	—	—6	—15	—26	—31	—31	—28	—7	—	7
Туркестан (Казахская ССР)	—	—	0	—17	—15	—15	—	—	—	4
Улан-Удэ	—	—11	—22	—32	—36	—32	—23	—11	—	6
Усть-Мая (Якутская АССР)	—	—19	—41	—43	—52	—49	—37	—21	—	2
Уральск (Казахская ССР)	—	—7	—15	—24	—25	—26	—19	—7	—	7
Целиноград (Казахская ССР)	—	—9	—22	—28	—32	—29	—23	—11	—	8
Чагыл (Туркменская ССР)	—	—	—	—	—0	0	—	—	—	6
Чара (Читинская область)	—	—18	—35	—45	—48	—45	—36	—22	0	5
Чердынь (Пермская область)	—	—8	—19	—25	—28	—27	—19	—8	—	6
Чита	—	—14	—25	—37	—40	—37	—26	—14	—	39
Чульман	—4	—8	—24	—34	—37	—31	—20	—7	+4	—
Южно-Сахалинск	—	—	—12	—22	—27	—29	—20	—12	—	9
Якутск	—6	—8	—28	—40	—43	—36	—22	—7	—6	—

Методика расчета тепловыделения цемента

Учет тепловыделения цемента при расчете остывания бетона по формуле (12) и при расчете потребной мощности на электротермообработку бетона в конструкции производится по полю удельных тепловыделений заданного вида цемента, которое строится по экспериментальным данным или по данным табл. 20. Для этого принятый температурный режим теплового воздействия разбивается на ряд небольших интервалов, в каждом из которых температура принимается постоянной, равной среднеарифметической от температур в начале и конце интервала. При соответствующей средней температуре на графике определяется величина удельного тепловыделения как разность в конце и начале интервала. Переход на следующий интервал осуществляется переносом начала отсчета параллельно оси абсцисс до пересечения с кривой, соответствующей средней температуре в новом интервале. На рис. 75 приведен пример определения удельного тепловыделения для температурного режима:

1) предварительное выдерживание при 30° С в течение 4 ч;

2) подъем температуры от 30 до 70° С за 4 ч (средняя температура 50° С);

3) изотермическое выдерживание при температуре 70° С в течение 5 ч;

4) остывание: от 70 до 50° С в течение 2 ч (средняя температура 60° С); от 50 до 30° С в течение 3 ч (средняя температура 40° С); от 30 до 10° С в течение 6 ч (средняя температура 20° С).

Результаты:

$Э_{пр.в} = 16{,}8$ кДж/кг; $Э'_{ост} = 17{,}8$ кДж/кг;

$Э_{под} = 46$ кДж/кг; $Э''_{ост} = 10{,}7$ кДж/кг;

$Э_{из} = 92$ кДж/кг; $Э'''_{ост} = 3{,}6$ кДж/кг.

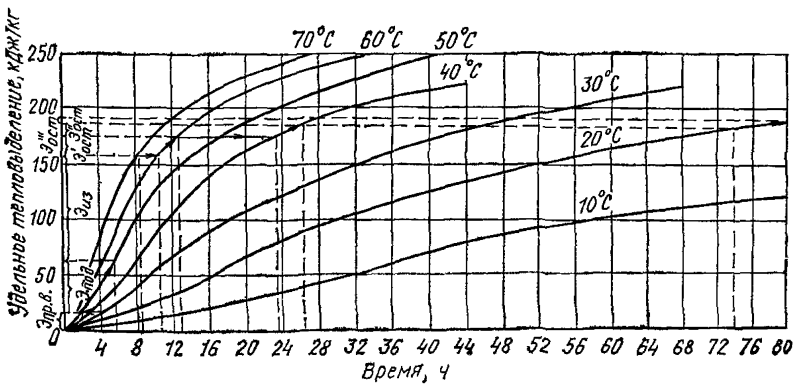


Рис. 75. Пример определения удельных тепловыделений цемента

Примеры подбора конструкции опалубки при термосном остывании бетона

1. Расчет по формуле Б. Г. Скрамтаева

Требуется подобрать конструкцию опалубки при условии, что бетон должен приобрести 70% прочности марочной в течение 6 сут остывания.

Исходные данные: железобетонный фундамент размером 1,2×1,5×2 м из бетона марки М 200, портландцемента марки 400 с расходом 300 кг/м³ бетонируется в условиях строительной площадки. Температура наружного воздуха минус 10° С при скорости ветра 10 м/с. Температура бетона начальная $t_{б\,н}=25°$ С.

Расчет производим следующим образом.

Определяем объем бетона в конструкции:

$$V = hBL = 1{,}2 \cdot 1{,}5 \cdot 2 = 3{,}6 \text{ м}^3,$$

где h, B и L — соответственно толщина, высота и длина бетонируемой конструкции.

Определяем площадь поверхности охлаждения конструкции F:

$$F = 2(hB + BL + hL) = 2(2 \cdot 1{,}2 + 1{,}2 \cdot 1{,}5 + 2 \cdot 1{,}5) = 14{,}4 \text{ м}^2.$$

Определяем модуль поверхности конструкции $M_п$:

$$M_п = \frac{F}{V} = \frac{14{,}4}{3{,}6} = 4 \text{ м}^{-1}.$$

Согласно графику набора прочности бетоном (см. рис. 2, *а*), находим среднюю температуру твердения бетона $t_{б.ср}$, равную 20° С, при которой в течение приблизительно 6 сут бетон конструкции приобретает 70% прочности марочной.

Исходя из формулы Б. Г. Скрамтаева (12), определяем (ориентировочно) коэффициент теплопередачи опалубки K, принимая $t_{б.к}=5°$ С:

$$K = \frac{C_б \gamma_б (t_{б.н} - t_{б.к}) + ЦЭ}{\tau M_п (t_{б.ср} - t_в)} = \frac{1{,}047 \cdot 2400 (25 - 5) + 300 \cdot 260}{6 \cdot 24 \cdot 4 [20 - (-10)]} =$$

$$= 7{,}42 \text{ кДж/кг} = 2{,}05 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ° \text{С)}.$$

По табл. 21 ориентировочно назначаем конструкцию опалубки, состоящую из доски хвойных пород толщиной 25 мм, слоя толя толщиной 1 мм, слоя минеральной ваты объемной массой 150 кг/м³ (толщиной 50 мм) и слоя фанеры толщиной 4 мм.

Толщина слоя теплоизоляции в принятом типе опалубки (V) (табл. 21) соответствует коэффициенту теплопередачи при скорости ветра 10 м/с $K \approx 1{,}09$ Вт/(м²·° С), а по расчету требуется, чтобы K был равен 2,05 Вт/(м²·° С).

В связи с тем что полученный коэффициент теплопередачи опалубки отличается от табличного, рассчитываем требуемую толщину слоя теплоизоляции (ваты минеральной).

Для этого определяем теплопроводность материалов, составляющих конструкцию опалубки, зависящую от изменения температуры материалов.

Температура на наружной поверхности опалубки $t_в$ равна минус 10° С.

Расчетную температуру нагрева опалубки $t^р_{оп}$ определяем как среднеарифметическое значение температуры наружного воздуха и начальной температуры бетона:

$$t^р_{оп} = \frac{t_{б.н} + t_в}{2} = \frac{25 + (-10)}{2} = 7{,}5° С.$$

Согласно эмпирической формуле О. Е. Власова, теплопроводность материалов λ_t, составляющих конструкцию опалубки, нагретых до $t^р_{оп}$ определяют по формуле

$$\lambda_t = \lambda_0 \left(1 + 0{,}0025 t^р_{оп}\right),$$

где λ_0 — коэффициент теплопроводности материалов опалубки при 0° С, принимаемый по табл. 22.

Для доски из хвойных пород (поперек волокон)

$$\lambda_д = 0{,}17\,(1 + 0{,}0025 \cdot 7{,}8) = 0{,}173 \text{ Вт/(м·°С)};$$

для фанеры клееной

$$\lambda_ф = 0{,}17\,(1 + 0{,}025 \cdot 7{,}5) = 0{,}173 \text{ Вт/(м·°С)};$$

для толя

$$\lambda_т = 0{,}17\,(1 + 0{,}0025 \cdot 7{,}5) = 0{,}173 \text{ Вт/(м·°С)};$$

для ваты минеральной объемной массой $\gamma = 150$ кг/м³

$$\lambda_в = 0{,}055\,(1 + 0{,}0025 \cdot 7{,}5) = 0{,}056 \text{ Вт/(м·°С)}.$$

Ввиду незначительной величины прироста коэффициентов теплопроводности материалов опалубки [менее 0,01 Вт/(м·° С)] за счет повышения их температуры в практических расчетах ими можно пренебречь.

Толщину теплоизоляционного слоя $\delta_{из}$ определяют исходя из формулы (13) без учета теплоотдачи опалубки конвекцией и излучением:

$$\delta_{из} = \lambda_{из}\left[\frac{1}{K} - \left(\frac{\delta_д}{\lambda_д} + \frac{\delta_ф}{\lambda_ф} + \frac{\delta_т}{\lambda_т}\right)\right] =$$

$$= 0{,}055\left[\frac{1}{2{,}05} - \left(\frac{0{,}025 + 0{,}004 + 0{,}001}{0{,}17}\right)\right] = 0{,}017 \text{ м} \approx 17 \text{ мм}.$$

В итоге установлено, что конструкция опалубки должна состоять из сосновой доски толщиной 25 мм, одного слоя толя толщиной 1 мм, слоя минеральной ваты толщиной 17 мм и фанеры толщиной 4 мм.

2. Расчет с использованием таблиц основных параметров выдерживания бетона.

1. Определяем принципиальную возможность выдерживания бетона марки М 300 на шлакопортландцементе марки 400 (расход цемента 400 кг/м³) при температуре наружного воздуха —30° С в конструкции колонны с металлической обечайкой диаметром 1 м, высотой 5 м. Температура уложенной бетонной смеси может быть обеспечена равной 25° С.

Расчет

Определяем модуль поверхности:

$$M_{\text{п}} = \frac{4}{d} + \frac{2}{h} = \frac{4}{1} + \frac{2}{5} = 4{,}4 \text{ м}^{-1}.$$

Для получения 40, 70 и 100% от R_{28} по табл. 18, 18 а, 18 б при $M_{\text{п}} = 4$ соответственно имеем:

$R_{\text{т}40} = 0{,}53$ м²·град/Вт; $\tau_{40} = 77$ ч;
$R_{\text{т}70} = 1$ м²·град/Вт; $\tau_{70} = 144$ ч;
$R_{\text{т}100} = 2{,}53$ м²·град/Вт; $\tau_{100} = 391$ ч.

Для изоляции типа шлаковата толщины слоев составят:

$$\delta_{40} = R_{\text{т}40}\,\lambda_{\text{ш}} = 0{,}53 \cdot 0{,}058 = 0{,}0308 \text{ м};$$
$$\delta_{70} = R_{\text{т}70}\,\lambda_{\text{ш}} = 1{,}0 \cdot 0{,}058 = 0{,}058 \text{ м};$$
$$\delta_{100} = R_{\text{т}100}\,\lambda_{\text{ш}} = 2{,}53 \cdot 0{,}58 = 0{,}147 \text{ м}.$$

Из анализа полученных величин следует, что термосный метод при заданных условиях может быть рекомендован для получения 40%- и 70%-ной прочности от марки.

2. Какую прочность и в какие сроки можно получить при термосном выдерживании бетона марки М 200 на портландцементе марки 400 при следующих условиях:
расход цемента — 230 кг/м³;
конструкция — колонна 0,354×0,354×3 м;
район строительства — г. Владивосток;
период строительства — ноябрь месяц.

Расчет

а) Определяем модуль поверхности:

$$M_{\text{п}} = \frac{4}{0{,}34} = 11{,}8.$$

б) Расчетная температура наружного воздуха по прил. 1 составит —10° С.

в) Для портландцемента марки 400 по табл. 17 и 17а при $M_{\text{п}} = 10$ и расходе цемента 226 кг/м³ (в запас прочности) для получения 40% от R_{28}:

$R_{\text{т}40} = 0{,}62$ м²·град/Вт; $t_{\text{б.н}} = +7°$ С; $\tau_{40} = 49$ ч

или

$R_{\text{т}40} = 0{,}73$ м²·град/Вт; $t_{\text{б.н}} = +12°$ С; $\tau_{40} = 40$ ч.

Для получения 70% от R_{28}:

$R_{\text{т}70} = 1{,}48$ м²·град/Вт; $t_{\text{б.н}} = +5°$ С; $\tau_{70} = 125$ ч.

Выдерживание при заданных условиях до получения 100% от R_{28} не рекомендуется.

г) Перерасчет полученных значений термосопротивлений на ус-

ловные толщины изоляции (например, шлаковаты):

$$\delta_{40} = 0{,}62 \cdot 0{,}058 = 0{,}036 \text{ м}; \quad \delta_{40} = 0{,}73 \cdot 0{,}58 = 0{,}0424 \text{ м};$$

$$\delta_{70} = 1{,}48 \cdot 0{,}058 = 0{,}086 \text{ м}$$

показывает реальную возможность осуществления этих режимов выдерживания.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Пример определения тепловых параметров термосного остывания монолитной бетонной плиты, бетонируемой на мерзлом основании

Определить тепловые параметры бетонирования методом термоса монолитной бетонной плиты толщиной 0,2 м при следующих исходных данных:

требуемая прочность бетона $R_0 = 50\%\ R_{28}$;

весовая влажность грунта $W = 5\%$;

температура грунта $t_г = -10°$ С;

начальная температура бетонной смеси после укладки в конструкцию $t_{б.н} = 20°$ С;

температура воздуха $t_в = -15°$ С.

Решение

По графику рис. 6 при наборе бетоном плиты прочности до замерзания $R_б = 50\%\ R_{28}$ при ее бетонировании на мерзлом грунтовом основании с влажностью $W = 5\%$ определяем термическое сопротивление тепловой изоляции и максимальную глубину протаивания грунта под подошвой плиты.

Из точки на оси ординат, соответствующей температуре грунта $t_г = -10°$ С, восстанавливаем перпендикуляр влево и вправо от оси до пересечения с кривой, соответствующей начальной температуре бетонной смеси после укладки $t_{б.н} = 20°$ С.

Находим абсциссу полученной в правой части графика точки пересечения, соответствующей требуемой величине термического сопротивления изоляции $R = 2{,}42$ м²·° С/Вт при температуре воздуха, равной температуре грунта $t_в = t_г = -10°$ С.

По абсциссе точки пересечения, полученной в левой части графика, определяется максимальная глубина протаивания грунта под подошвой плиты $h = 0{,}2$ м.

Время остывания $\tau_{ост}$ и средняя температура бетона $t_б$ за это время находится по графику на рис. 7. Для этого восстанавливают перпендикуляр к оси абсцисс из точки, соответствующей начальной температуре уложенного бетона $t_{б.н} = 20°$ С, до пересечения с кривыми времени остывания бетона до замерзания $\tau_{ост}$ и средней температуры бетона за это время $t_б$. По ординате соответствующих точек определяются $\tau_{ост} = 260$ с, $t_б = 2°$ С.

Необходимое термическое сопротивление тепловой изоляции (R') при заданной температуре воздуха $t_в = -15°$ С определяется по формуле (16):

$$R^1 = 2{,}8 \frac{2 - (-15)}{2 - (-10)} = 3{,}42 \text{ м}^2 \cdot ° \text{С/Вт}$$

Толщина теплового ограждения d [(при использовании в качестве утеплителя пенопласт плиточный с коэффициентом теплопроводности λ=0,041 Вт/(м·°С) из табл. 19)] определяется по формуле

$$d = R' \lambda = 3,42 \cdot 0,041 = 0,139 \text{ м} \approx 14 \text{ см}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Методика определения коррозионного воздействия добавок на бетон

Из цементно-песчаного раствора с максимальным, средним и минимальным количеством добавки (по табл. 34), выбранной к производству работ, изготовляют не менее трех серий образцов-балочек по ГОСТ 310.4—76 с каждой дозировкой добавки. Поверхность образцов плотно закрывают полиэтиленовой пленкой, и их помещают в среду с расчетной отрицательной температурой твердения бетона до получения прочности 20—30% марочной, определяемой по тому же ГОСТу. Для этих определений используют не менее двух серий образцов с каждой дозировкой добавки, а образцы испытывают после их выдерживания в течение 1—2 ч при температуре 20±5° С.

По одной серии образцов, достигших указанной прочности, распалубливают и подвергают попеременному нагреванию и охлаждению в воздушных условиях. Нагревание производят до температуры 15 (±5)° С, а охлаждение — до температуры минус 15 (±5)° С при скорости изменения температуры 3—5° С в час.

Отсутствие признаков разрушения образцов (растрескивание, шелушение граней, выкрошивание ребер, увеличение объема) после 50 циклов нагревания-охлаждения свидетельствует о возможности применения испытуемого количества добавки в бетоне на данном цементе.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Методика определения образования высолов на поверхности бетона

Из бетонной смеси с максимальным, средним и минимальным количеством добавки (по табл. 34), выбранной для производства работ, изготовляют серию из трех контрольных образцов-призм по ГОСТ 10180—78, которые после выдерживания при отрицательной температуре в течение 7 сут и 7 сут в нормальных условиях погружают на 3—5 см в ванну с водой. Поверхность образцов, расположенную над водой, обдувают воздухом с температурой 20±5° С не менее 3 ч ежедневно в течение 7 сут.

Наличие высолов на открытой поверхности образцов отмечают визуально по появлению выцветов или налету соли, отсутствие которых свидетельствует о возможности применения испытуемой дозировки добавки в бетоне, когда не допускается образование высолов.

Предотвратить появление высолов можно уменьшением добавки или совместным применением с противоморозной добавкой воздухововлекающей или газообразующей добавки СНВ, СПД, ГКЖ-94, ПГЭН.

Удалить появляющиеся на поверхности затвердевшего бетона высолы можно путем 2—3 кратной поверхностной обработки конструкции 5—10% водным раствором добавки СДБ или эмульсии ГКЖ-94. Перед обработкой с поверхности бетона следует горячей водой удалить появившиеся высолы и подсушить ее в течение 1—2 ч при температуре 40—50° С обдувкой горячим воздухом.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Определение расчетной температуры твердения бетона, расчет утепления конструкции

Пример 1. Необходимо определить расчетную температуру твердения бетона марки М 300, приготовленного на гранитном щебне и портландцементе марки М 400 с расходом 350 кг/м³, если средняя температура воздуха в текущей декаде по данным месячного прогноза ожидается минус 21° С, а скорость ветра 4 м/с. В качестве противоморозной добавки выбран нитрит натрия. Конструкцию с модулем поверхности 6 $м^{-1}$ намечается возводить в опалубке типа 6 (по табл. 18), а температура бетонной смеси после уплотнения будет около 10° С.

Согласно п. 1.5 критическая прочность для бетона марки М 300 составляет 25%. Тогда, подставляя известные из условия задачи величины в формулы (7) и (17) и принимая $t_{б.к}=-15°$ С согласно п. 6.6а, находим:

$$t_{б.ср}^{-15}=-15+\frac{10+15}{1{,}03+0{,}181\cdot 6+0{,}006\,(10+15)}=-4°\text{ С};$$

$$\tau_{25}^{-15}=\frac{2400\cdot 1{,}047\,(10+15)+0{,}014\cdot 350\cdot 335\cdot 25}{86{,}4\cdot 1{,}27\cdot 6\,(-4+21)}=$$

$$=\frac{62\,820+1641{,}5\cdot 25}{11192{,}3}=9{,}3\text{ сут}.$$

По имеющимся экспериментальным данным, по интенсивности твердения бетона на применяемом на объекте строительства цементе, приведенным на рис. 76, находим, что при средней температуре твердения минус 4° С за 9,3 сут бетон приобретет прочность около 40% марочной.

Тогда уточненное время остывания бетона составит

$$\tau_{40}^{-15}=\frac{62\,820+1641{,}5\cdot 40}{11192{,}3}=11{,}5\text{ сут}.$$

За 11,5 сут, как это следует из рис. 76, бетон приобретает не 40, а 45% марочной прочности. Тогда уточненное еще раз время остывания бетона до —15° С составит

$$\tau_{45}^{-15}=\frac{62\,820+1641{,}5\cdot 45}{11192{,}3}=12{,}2\text{ сут}.$$

Принимая $R=50\%$ из-за несоответствия полученной по предыдущему расчету прочности с опытными данными, находим:

$$\tau_{50}^{-15}=\frac{62\,820+1641{,}5\cdot 50}{11192{,}3}=12{,}9\text{ сут}.$$

Сопоставляя эти расчетные данные с экспериментальными (по рис. 76), находим, что за 12,9 сут твердения при температуре минус 4° С бетон действительно набирает прочность в размере 50% марочной.

Для установления времени набора бетоном критической (или иной) прочности при остывании его до более высоких температур выполняются расчеты времени охлаждения бетона до —10; —5; 0 и 5° С, сопоставляя каждый раз расчетные данные с опытными. Находим:

при $t_{б.к} = -10°$ С,

$t^{-10}_{б.ср} = -1°$ С

$\tau^{-10}_{25} = 6{,}7$ сут,

$\tau^{-10}_{40} = 8{,}5$ сут,

$\tau^{-10}_{45} = 9$ сут;

при $t_{б.к} = -5°$ С,

$t^{-5}_{б.ср} = 1{,}8°$ С

$\tau^{-5}_{25} = 4{,}9$ сут,

$\tau^{-5}_{40} = 6{,}3$ сут,

$\tau^{-5}_{45} = 6{,}7$ сут;

при $t_{б\,к} = 0°$ С,

$t^{0}_{б.ср} = 4{,}6°$ С

$\tau^{0}_{25} = 3{,}4$ сут,

$\tau^{0}_{35} = 4{,}2$ сут,

$\tau^{0}_{40} = 4{,}6$ сут;

при $t_{б.к} = 5°$ С,

$t^{5}_{б.ср} = 7{,}3°$ С

$\tau^{5}_{25} = 2{,}3$ сут,

$\tau^{5}_{0} = 2{,}6$ сут,

$\tau^{5}_{35} = 2{,}9$ сут.

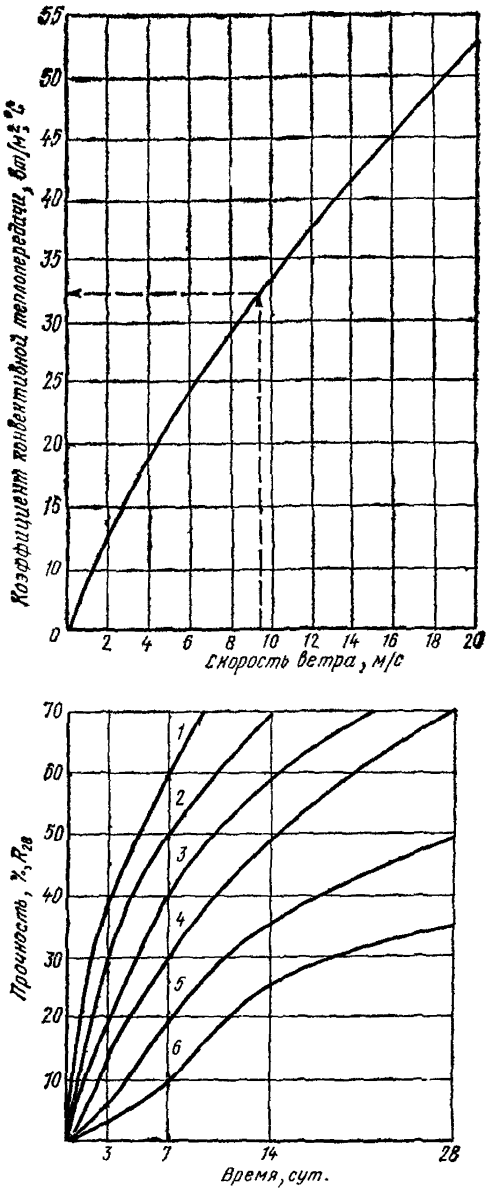


Рис. 76. Нарастание прочности бетона с добавкой НН при 10° С (1), 5° С (2), 0° С (3), —5° С (4), —10° С (5) и —15° С (6)

Из результатов расчетов, приведенных на рис. 77, следует, что в данном случае за расчетную температуру твердения бетона может быть принята температура минус 5, 10 или минус 15° С, поскольку бетон набирает критическую прочность при остывании примерно до —2,5° С.

Какую из указанных температур принять за расчетную с введением в состав бетонной смеси добавки нитрита натрия соответственно в количестве 4—6, 6—8 или 8—10% массы цемента в зависимости от его минералогического состава, необходимо решить применительно к конкретным условиям производства исходя из нарастания прочности бетона и удорожания его стоимости с увеличением количества вводимой добавки.

При расчетной температуре —5° С до замерзания бетон наберет прочность порядка 43% марочной. В дальнейшем она будет заметно увеличиваться при оттаивании бетона до температуры —5° С и выше. При расчетной температуре —10° С к моменту замерзания бетон приобретет около 45% марочной прочности и будет твердеть при оттаивании до —10° С и выше, а прочность бетона к моменту замерзания при расчетной температуре —15° С составит порядка 50% марочной с последующим заметным ее приростом с повышением температуры выше расчетной.

Однако при расчетной температуре —5° С расход добавки на 1 м³ бетона составит в среднем 7 кг при удорожании его стоимости за счет этого на 0,9 руб., в то время как при расчетной температуре —15° С расход добавки и удорожание бетона составят уже соответственно 21 кг и 2,7 руб.

Распалубливание конструкции в данном случае может производиться через 1,5 сут независимо от количества вводимой добавки, так как ко времени набора бетоном критической прочности он охла-

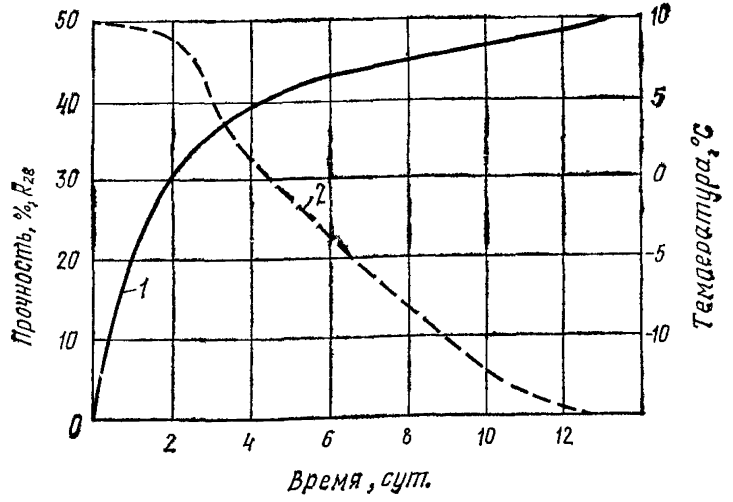


Рис. 77. Нарастание прочности (*1*) и изменение температуры (*2*) в процессе выдерживания бетона с добавкой НН

дится примерно до —2,5° С. Однако в случае распалубливания конструкции по достижении бетоном критической прочности время его остывания до —10, —15° С не будет соответствовать установленному ранее расчетами из-за изменения величины K. Для его определения необходимо выполнить расчеты, учитывающие изменение коэффициента теплопередачи, используя описанный метод расчета.

Пример 2. Необходимо определить расчетную температуру твердения бетона при возведении конструкции с модулем поверхности 10 $м^{-1}$ при остальных условиях, соответствующих указанным в примере 1 данного приложения.

Принимая $t_{б.к.} = -15°$ С, находим:

$$t_{б.ср}^{-15} = -15 + \frac{10 + 15}{1{,}03 + 0{,}181 \cdot 10 + 0{,}006\,(10 + 15)} = -6{,}6° \text{ С};$$

$$\tau_{25}^{-15} = \frac{2400 \cdot 1{,}047\,(10 + 15) + 0{,}014 \cdot 350 \cdot 335 \cdot 25}{86{,}4 \cdot 1{,}27 \cdot 10\,(-6{,}6 + 21)} = 6{,}6 \text{ сут}.$$

Сопоставляя расчетные данные с экспериментальными (по рис. 76), находим, что за 6,6 сут твердения при температуре —6,6° С бетон действительно набирает прочность в размере 25% марочной.

Следовательно, в данном случае за расчетную температуру твердения бетона следует принять —15° С, а в состав бетонной смеси ввести добавку нитрита натрия в количестве 8—10% массы цемента в зависимости от минералогического состава последнего.

Уложенный бетон к моменту остывания до —15° С (через 6,6 сут) приобретает критическую прочность и в последующем будет заметно увеличивать свою прочность при температуре —15° С и выше.

Пример 3. Для условий, идентичных указанным в примере 1, необходимо определить расчетную температуру твердения бетона при возведении конструкции с модулем поверхности 14 $м^{-1}$.

Принимая $t_{б\,к} = -15°$ С, находим:

$$t_{ср}^{-15} = -15 + \frac{10 + 15}{1{,}03 + 0{,}181 \cdot 14 + 0{,}006\,(10 + 15)} = -8{,}3° \text{ С};$$

$$\tau_{25}^{-15} = \frac{2400 \cdot 1{,}047\,(10 + 15) + 0{,}014 \cdot 350 \cdot 335 \cdot 25}{86{,}4 \cdot 1{,}27 \cdot 14\,(-8{,}3 + 21)} = 5{,}3 \text{ сут}.$$

По рис. 76 находим, что за 5,3 сут твердения при температуре —8,3° С бетон приобретет прочность порядка 15% марочной, т. е. меньше критической.

Чтобы получить критическую прочность бетона к моменту остывания его до —15° С, конструкцию необходимо дополнительно утеплить, тем самым увеличить время остывания бетона до расчетной температуры —15° С, чтобы к моменту остывания бетон успел набрать критическую прочность.

По рис. 76 находим, что при температуре твердения —8,3° С бетон может приобрести критическую прочность (25% марочной) за 8 сут. Чтобы время охлаждения до —15° С составило 8 сут, бетон необходимо выдерживать в опалубке с

$$K = \frac{2400 \cdot 1{,}047\,(10 + 15) + 0{,}014 \cdot 350 \cdot 335 \cdot 25}{86{,}4 \cdot 8 \cdot 14\,(-8{,}3 + 21)} = 0{,}85.$$

При необходимости получения критической прочности в более короткие сроки расчет следует производить при более высоких значениях температуры $t_{б.к}$ и в соответствии с нею назначать количество добавки в бетон.

Например, если принять $t_{б.к.}=-10°$ С (с введением в бетон 6—8% нитрита натрия от массы цемента в зависимости от его минералогического состава), то

$$t_{б.ср}^{-10} = -10 + \frac{10+10}{1{,}03+0{,}181\cdot 14+0{,}006\,(10+10)} = -4{,}6°\text{C}.$$

По рис. 76 находим, что при температуре твердения —4,6° С бетон может приобрести критическую прочность за 5,4 сут, а чтобы остывание бетона до —10° С продолжалось в течение этого времени, бетон необходимо выдерживать в опалубке, имеющей

$$K = \frac{2400\cdot 1{,}047\,(10+10)+0{,}013\cdot 350\cdot 335\cdot 25}{86{,}4\cdot 5{,}4\cdot 14\,(-4{,}6+21)} = 0{,}82.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Методика определения реакционной способности заполнителей

Заполнители, содержащие аморфный кремнезем (опал, халцедон, обсидиан и др.), при взаимодействии с щелочами, образующимися в жидкой фазе бетона с добавками поташа, нитрита натрия и хлористого натрия, могут привести к значительным внутренним напряжениям в бетоне, вплоть до его разрушения.

Существуют три метода определения реакционной способности заполнителя: петрографический, химический и метод измерения деформацией. Определения реакционной способности заполнителей по первым двум методам должны выполняться специализированными организациями и лабораториями по методикам, изложенным в ГОСТ 8735—75.

Определение реакционной способности заполнителей по методу, который является основным для окончательного заключения о реакционной способности горных пород и заполнителей для бетона, должна производить строительная лаборатория по приводимой ниже методике.

Испытанию методом измерения деформаций подвергаются горные породы и заполнители для бетона в том случае, если величина растворенного кремнезема, полученная химическим методом, превышает 50 моль/л.

Для этих определений навеску пробы песка берут с таким расчетом, чтобы после рассева на стандартных ситах получить не менее 0,2 кг каждой фракции. Из щебня (гравия) отбирают среднюю пробу в соответствии с табл. 78.

Таблица 78

Крупность щебня (гравия), мм	Масса пробы, кг, не менее	Крупность щебня (гравия), мм	Масса пробы, кг, не менее
10	5	40	20
20	10	70	30

Пробу измельчают до крупности не менее 5 мм и рассеивают на стандартных ситах. Из остатков берут по 200 г каждой фракции и смешивают в пробу для испытаний общей массой 1 кг.

При испытании песка подготовка пробы производится аналогичным способом, но без предварительного размельчения.

Испытание проводят на образцах цементного раствора состава 1 : 2 по массе при $В/Ц=0{,}5$. В случае водоотделения допускается уменьшение значения водоцементного отношения до 0,47. При этом растекаемость раствора должна составлять 110—120 мм при испытании на встряхивающем столике по ГОСТ 310.4—76 после десяти встряхиваний.

Для приготовления образцов цементно-песчаного раствора используют портландцемент с содержанием щелочей в пересчете на Na_2O не менее 1,5%. При меньшем содержании щелочей в цементе их количество увеличивают искусственно путем введения в воду затворения едкого натра (NaOH) с пересчетом его количества на Na_2O. Содержание C_3A в портландцементе не должно превышать 10%.

Для каждого испытания изготовляют четыре образца с эффективной длиной (расстояние между торцовыми поверхностями упоров) от 220 до 250 мм. Перед укладкой раствора формы покрывают тонким слоем минерального масла. После смазки устанавливают упоры из нержавеющей стали так, чтобы предупредить попадание масла на поверхность упора, и закрепляют их стопорными винтами.

Для предупреждения вытекания раствора сопряжения поддона формы и боковых стенок должны быть покрыты смесью парафина и канифоли, взятых в массовом отношении 3 : 5, предварительно подогретых до температуры 110—120° С.

Раствор перемешивают путем непрерывного растирания и перелопачивания смеси. Чаша при приготовлении раствора заполняется в следующем порядке: 210 $см^3$ воды и 0,5 кг цемента перемешивают 30 с, добавляют половину заполнителя и перемешивают еще 30 с, затем добавляют вторую половину заполнителя и перемешивают 1,5 мин.

Сразу после перемешивания форму заполняют раствором за два приема, тщательно трамбуют в углах и вокруг упоров. Затем раствор уплотняют на встряхивающем столике путем 30-кратного встряхивания, поверхность образца выравнивают со стенками формы и форму помещают в камеру с относительной влажностью воздуха не менее 95%.

Степень развития коррозионного взаимодействия оценивают по относительным линейным деформациям расширения образцов в процессе твердения во влажностных условиях при температуре 38±1° С.

Образцы в камере устанавливают в вертикальном положении над водой таким образом, чтобы вес образца не передавался на упор. За 2—4 ч перед очередным замером образцы извлекают из камеры и охлаждают до температуры 20±2° С.

Замер деформаций осуществляют на консольном приборе с индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм.

При помощи эталона проверяют правильность установки индикатора и устанавливают начало отсчета. Образец на консольном приборе прокручивают вокруг продольной оси до тех пор, пока стрелка индикатора не примет фиксированного положения.

Величину относительного линейного расширения подсчитывают как среднее арифметическое по четырем образцам.

Если значение относительной деформации расширения превышает 0,1% при испытании в течение 1 года, заполнитель следует считать реакционноспособным.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Технологическая схема и расчеты при изготовлении растворов добавок

Вариант 1.

Добавка со склада *1* (рис. 78) через дозатор *4* подается в приготовительную емкость *8* или *9*. В нее через дозатор *7* подается необходимое количество воды.

Приготовительные емкости должны быть оборудованы системой трубопроводов для перемешивания сжатым воздухом, а при необходимости — и паровыми регистрами для подогрева.

При введении в бетон двух или трех добавок вторая и третья добавки со складов *2* и *3* через дозаторы *5* и *6* подаются[1] в приготовительную емкость *8* и *9*. Из приготовительной емкости раствор рабочей концентрации подается в расходную емкость *10*, а из нее через дозаторы воды *12* и *13* — в бетоносмесители *14* и *15*. В расходной емкости целесообразно установить датчики уровня *11* с соответствующей автоматикой.

При работе узла по этой схеме особое внимание следует уделять правильности дозирования компонентов в приготовительной

[1] Для подачи растворов ХН и ХК насос и трубопроводы целесообразно применять из химически стойких материалов. Введение добавки нитрита натрия в количестве 20—30% значительно уменьшает коррозию оборудования и трубопроводов под воздействием хлористых солей.

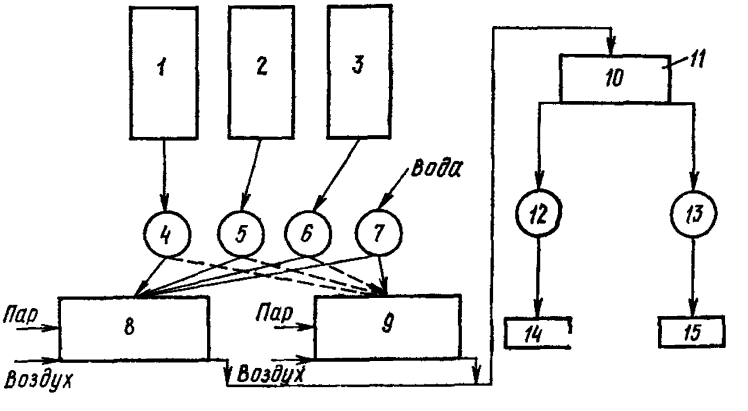


Рис. 78. Схема технологического процесса при предварительном приготовлении раствора добавки рабочей концентрации

1, 2, 3 — склады; *4—7* — дозаторы; *8, 9* — приготовительные емкости; *10* — расходная емкость; *11* — датчики уровня; *12, 13* — дозаторы воды; *14, 15* — бетоносмесители

емкости, по возможности определять плотность приготовленного раствора после подачи в емкость каждой добавки.

В качестве дозаторов *4*, *5* и *6* при применении добавок в виде твердых или пастообразных продуктов необходимо использовать весы с соответствующим пределом взвешивания, а при применении добавок в виде жидких продуктов — дозаторы для воды или точно оттарированные емкости.

Для получения раствора добавки требуемой концентрации из твердого или пастообразного продукта последний растворяется из расчета содержания сухого вещества на 1 л воды (табл. 79). При

Таблица 79

Требуемая концентрация раствора, %	Содержание безводного продукта, кг, на 1 л воды	Требуемая концентрация раствора, %	Содержание безводного продукта, кг на 1 л воды	Требуемая концентрация раствора, %	Содержание безводного продукта, кг, на 1 л воды
2	0,02	16	0,19	30	0,429
4	0,042	18	0,22	32	0,47
6	0,064	20	0,25	34	0,515
8	0,087	22	0,282	36	0,563
10	0,111	24	0,316	38	0,613
12	0,136	26	0,351	40	0,667
14	0,163	28	0,391	42	0,721

приготовлении растворов, состоящих из буры и поташа, а также мочевины и нитрата кальция, необходимо сначала приготовить раствор поташа или нитрата кальция, а затем добавлять буру или мочевину.

При приготовлении раствора добавок из жидких продуктов P, *л*, необходимое количество последних для заправки одной приготовительной емкости определяется по формуле

$$P = \frac{QЦC}{100\,ВД}, \qquad (136)$$

где Q — объем приготовляемого раствора, *л*;
$Ц$ — расход цемента на 1 м³ бетона, кг;
C — дозировка добавки, % от массы цемента;
B — расход воды на 1 м³ бетона, *л*;
$Д$ — содержание безводного вещества добавки в 1 *л* продукта, кг (находится по таблицам прил. 10).

Необходимое количество воды $Ф$, *л*, для заправки одной приготовительной емкости определяется по формуле

$$Ф = Q - P. \qquad (137)$$

Плотность раствора затворения d, г/см³, определяется по формуле

$$d = \frac{PУ + Ф}{Q}, \qquad (138)$$

где $У$ — плотность жидкого продукта, г/см³.

Расход раствора A, л, рабочей концентрации на 1 м³ бетона определяется по формуле

$$A = \frac{100B + ЦC}{100d}. \qquad (139)$$

Пример. Необходимо приготовить 1000 кг раствора рабочей концентрации для затворения бетона с расходом цемента 320 кг/м³, воды 160 л с добавкой 0,005% СНВ+0,5% СДБ+8% П.

Исходные продукты: КБЖ (50%), СНВ и П в виде твердых продуктов.

Расходы СДБ, СНВ и П составят соответственно:

$$\frac{1000 \cdot 320 \cdot 0{,}5}{100 \cdot 160 \cdot 0{,}635} = 15{,}8 \text{ л};$$

$$\frac{320 \cdot 0{,}005}{100} = 0{,}016 \text{ кг};$$

$$\frac{320 \cdot 8}{100} = 25{,}6 \text{ кг}.$$

По формулам (137) и (138) находим:

$$Ф = 1000 - 15{,}8 = 984{,}2 \text{ л};$$

$$d = \frac{15{,}8 \cdot 1{,}266 + 0{,}016 + 25{,}6 + 984{,}2 \cdot 1}{1000} = 1{,}03 \text{г/см}^3;$$

Таким образом, для приготовления раствора в приготовительной емкости необходимо смешать 0,016 кг СНВ, 25,6 кг П, 15,8 л раствора СДБ и 984,2 л воды. Расход этого раствора на 1 м³ бетона составит

$$A = \frac{100 \cdot 160 + 320 \cdot 0{,}005 + 320 \cdot 0{,}5 + 320 \cdot 8}{100 \cdot 1{,}03} = 181{,}8 \text{ л};$$

или $\qquad 181{,}8 \cdot 1{,}03 = 187{,}2, \text{ кг}.$

Вариант 2

Добавка со склада *1* (рис. 79) через дозатор *2* подается в приготовительную емкость *3*, оборудованную системой трубопроводов для перемешивания раствора сжатым воздухом, автоматической системой поддерживания температуры с точностью ±2° С при помощи паровых регистров и датчика температуры *4*. Через дозатор 5 в емкость подается вода.

В случае применения второй добавки она со склада *6* через дозатор *7* подается в приготовительную емкость *8*, оборудованную подобно емкости *3*. Вода в эту емкость подается через дозатор *5*.

Из приготовительных емкостей *3* и *8* растворы подаются в соответствующие расходные емкости *9* и *10*, в которых целесообразно установить датчики уровня *11* с соответствующей автоматикой.

Из расходных емкостей *9* и *10* растворы повышенной концентрации через жидкостные дозаторы добавок *12* и *13* подаются в дозаторы воды *14* и *15*. В последние вода подается из расчета получения в них растворов рабочей концентрации, которые и поступают затем в бетоносмесители *16* и *17*.

При работе по этой схеме в приготовительные емкости раствор

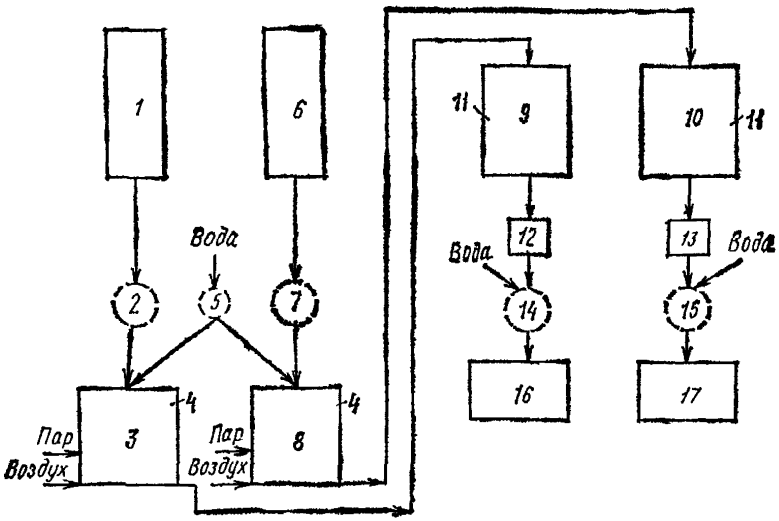


Рис. 79. Схема технологического процесса при приготовлении раствора добавки рабочей концентрации в дозаторе воды

1, 6 — склады; *2, 5, 7* — дозаторы; *3, 8* — приготовительные емкости; *4* — паровые регистры и датчики температуры; *9, 10* — расходные емкости; *11* — датчики уровня; *12, 13* — жидкостные дозаторы добавок; *14, 15* — дозаторы воды; *16, 17* — бетоносмесители

воздухововлекающей добавки (СНВ, СПД) рекомендуется готовить 3%-ной концентрации, пластифицирующей добавки (СДБ, ПАЩ-1)— 10%-ной концентрации, а противоморозной добавки —20—30%-ной концентрации.

При приготовлении растворов, состоящих из буры и поташа, а также мочевины и нитрата кальция, необходимо сначала приготовлять раствор поташа или нитрата кальция, а затем в приготовленный раствор добавлять буру или мочевину.

Растворы добавок из твердых или пастообразных продуктов приготовляются из расчета содержания сухого вещества на 1 л воды (см. табл. прил. 10). После полного растворения проверяется плотность раствора и доводится до заданной добавлением продукта или воды.

Необходимое количество добавки в виде жидкого продукта P, л, для заправки приготовительной емкости определяется по формуле

$$P = \frac{QД_1}{Д}, \qquad (140)$$

где Q — объем приготовляемого раствора, л;
$Д_1$ — содержание безводного вещества добавки в 1 л раствора требуемой концентрации, кг (определяется по таблицам прил. 10);
$Д$ — то же, в 1 л жидкого продукта.

Необходимое количество воды $Ф$, л, для заправки приготовительной емкости определяется по формуле (137).

Расход приготовительного раствора A, л, на 1 м^3 бетона определяется по формуле

$$A' = \frac{СЦ}{Kd}, \qquad (141)$$

где C — дозировка добавки, % массы цемента;
$Ц$ — расход цемента на 1 м³, кг;
K — концентрация приготовленного раствора, %;
d — плотность приготовленного раствора, г/см³.

Недостающее количество воды H, л, определяется по формуле

$$H = B - A, \qquad (142)$$

где B — расход воды на 1 м³, л.

Пример. Требуется определить расход 5%-ного раствора СНВ, 10%-ного раствора СДБ и 30%-ного раствора поташа для затворения бетона с расходом цемента 320 кг/м³, воды 160 л с добавкой 0,01% СНВ+1% СДБ+6% П.

Плотность имеющихся растворов СНВ, СДБ и П составляет соответственно 1,015; 1,043 и 1,298 г/см³ (см. табл. прил. 10).

Тогда по формулам (141) и (142) находим:

$$A'_{СНВ} = \frac{0{,}01 \cdot 320}{5 \cdot 1{,}015} = 0{,}6 \text{ л};$$

$$A'_{СДБ} = \frac{1 \cdot 320}{10 \cdot 1{,}043} = 30{,}7 \text{ л};$$

$$A'_{П} = \frac{6 \cdot 320}{30 \cdot 1{,}298} = 49{,}3 \text{ л};$$

$$H = 160 - 0{,}6 - 30{,}7 - 49{,}3 = 79{,}4 \text{ л}.$$

Таким образом, в дозатор воды необходимо подавать 0,6 л (0,6·1,015=0,6 кг) 5%-ного раствора СНВ, 30,7 л (30,7·1,043=32 кг) 10%-ного раствора СДБ, 49,3 л (49,3·1,298=64 кг) 30%-ного раствора П и 79,4 л (79,4·1=79,4 кг) воды.

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Основные показатели водных растворов добавок

Таблица 80

Показатели водных растворов противоморозных добавок

Концентрация раствора, %	Плотность раствора при 20°С, кг/м³	Температурный коэффициент плотности раствора	Содержание безводных солей, кг		Температура замерзания раствора, °С
			в 1 л раствора	в 1 кг раствора	
		Хлорид натрия ХН			
2	1,013	0,00024	0,02	0,02	—1,2
8	1,056	0,00034	0,084	0,08	—5,2
14	1,101	0,00042	0,154	0,14	—10,1
19	1,14	0,00048	0,217	0,19	—15,3
23	1,172	0,00052	0,27	0,23	—21,1

Концентрация раствора, %	Плотность раствора при 20°С, кг/м³	Температурный коэффициент плотности раствора	Содержание безводных солей, кг		Температура замерзания раствора, °С
			в 1 л раствора	в 1 кг раствора	
		Хлорид кальция ХК			
4	1,032	0,00025	0,041	0,04	—2
10	1,084	0,00031	0,108	0,1	—5,7
14	1,12	0,00035	0,157	0,14	—9,5
19	1,168	0,00041	0,222	0,19	—15,9
31	1,293	0,00053	0,401	0,31	—55
		Нитрит натрия НН			
4	1,024	0,00027	0,041	0,04	—1,8
12	1,078	0,00039	0,129	0,12	—5,8
19	1,129	0,00049	0,214	0,19	—10
25	1,176	0,0006	0,293	0,25	—15,7
28	1,198	0,00065	0,336	0,28	—19,6
		Поташ П			
4	1,035	0,00027	0,041	0,04	—1,3
14	1,129	0,00039	0,158	0,14	—5,4
22	1,211	0,00046	0,266	0,22	—10,3
27	1.265	0,00049	0,341	0,27	—15,1
32	1,321	0,00052	0,423	0,32	—21 5
34	1,344	0,00053	0,457	0,34	—24,8
38	1,39	0,00054	0,528	0,38	—32,5
40	1,414	0,00055	0,566	0,4	—36,5
		Нитрат кальция НК			
5	1,04	0,00029	0,058	0,053	—1,7
15	1,12	0,00041	0,17	0,15	—5,1
24	1,20	0,00046	0,285	0,237	—10,1
30	1,26	0,0005	0,38	0,3	—15,6
39	1,36	0,00056	0,536	0,393	—21,6
43	1,42	0,00059	0,62	0,427	—28,2

Продолжение табл. 80

Концентрация раствора, %	Плотность раствора при 20°С, кг/м³	Температурный коэффициент плотности раствора	Содержание безводных солей, кг		Температура замерзания раствора, °С
			в 1 л раствора	в 1 кг раствора	
		Мочевина М			
5	1,015	0,00024	0,058	0,047	—2
17	1,05	0,0003	0,182	0,173	—5,6
30	1,085	0,00036	0,305	0,297	—8,3
		Нитрит-нитрат кальция ННК			
12	1,103	0,00031	0,132	0,12	—5,4
18	1,149	0,00037	0,207	0,18	—9,2
24	1,205	0,00044	0,289	0,24	—14,3
30	1,255	0,00051	0,377	0,30	—21,5
35	1,298	0,00055	0,427	0,35	—29,4
		Нитрат кальция с мочевиной НКМ			
4	1,018	0,00023	0,04	0,04	—1,2
18	1,093	0,00035	0,197	0,18	—5,5
32	1,185	0,00046	0,379	0,32	—9,9
42	1,263	0,00053	0,53	0,42	—15
48	1,321	0,00058	0,64	0,48	—21,7
		Нитрит-нитрат-хлорид кальция ННХК			
12	1,105	0,00033	0,133	0,12	—8,6
18	1,157	0,00039	0,208	0,18	—16,6
24	1,21	0,00045	0,29	0,24	—29,4
30	1,263	0,00052	0,379	0,3	—48

Примечание. При необходимости учет плотности раствора и количества содержащейся в нем соли при температурах, отличающихся от 20° С, производится по формулам:

$$d_t = d_{20} - A(t-20); \quad m_t = m_{20} d_t : d_{20},$$

где d_t — плотность раствора при требуемой температуре;
d_{20} — плотность раствора при 20° С;
A — температурный коэффициент плотности;
m_t — содержание соли в 1 л раствора при требуемой температуре, кг;
m_{20} — то же, при 20° С, кг;
t — температура раствора, °С.

Таблица 81

Показатели водных растворов добавок замедлителей схватывания, ускорителей твердения, пластифицирующих и воздухововлекающих

Концентрация раствора, %	Плотность раствора при 20°С, г/см³	Содержание безводного продукта, кг	
		в 1 л раствора	в 1 кг раствора
Жидкое стекло ЖС состава $Na_2O \cdot 1{,}69\ SiO_2$			
4	1,036	0,041	0,04
12	1,119	0,134	0,12
22	1,235	0,274	0,22
30	1,339	0,404	0,3
38	1,456	0,553	0,38
Жидкое стекло ЖС состава $Na_2O \cdot 2{,}06\ SiO_2$			
4	1,035	0,041	0,04
12	1,113	0,134	0,12
22	1,225	0,271	0,22
30	1,321	0,388	0,3
38	1,423	0,541	0,38
Жидкое стекло ЖС состава $Na_2O \cdot 2{,}4\ SiO_2$			
4	1,034	0,041	0,04
12	1,11	0,133	0,12
22	1,218	0,272	0,22
30	1,309	0,393	0,3
38	1,415	0,537	0,38
Жидкое стекло ЖС состава $Na_2O \cdot 3{,}36\ SiO_2$			
4	1,03	0,041	0,04
12	1,102	0,133	0,12
22	1,2	0,264	0,22
30	1,29	0,387	0,3
38	1,393	0,529	0,38
Сульфитно-дрожжевая бражка СДБ			
5	1,021	0,051	0,05
10	1,043	0,104	0,1
15	1,068	0,16	0,15
20	1,091	0,218	0,2
30	1,144	0,343	0,3
40	1,202	0,48	0,4
50	1,266	0,633	0,5
Пластификатор адипиновый щелочной ПАЩ-1			
5	1,031	0,051	0,05
10	1,066	0,106	0,1
15	1,099	0,165	0,15

Продолжение табл. 81

Концентрация раствора, %	Плотность раствора при 20°С, г/см³	Содержание безводного продукта, кг	
		в 1 л раствора	в 1 кг раствора
20	1,132	0,226	0,2
24	1,159	0,278	0,24
Смола нейтрализованная воздухововлекающая СНВ			
3	1,009	0,031	0,03
5	1,015	0,051	0,05
10	1,03	0,103	0,1
15	1,045	0,157	0,15
20	1,06	0,212	0,2
30	1,089	0,327	0,3
Синтетическая поверхностно-активная добавка СПД			
3	1,003	0,03	0,03
5	1,009	0,051	0,05
10	*1,021*	*0,102*	*0,1*
15	1,032	0,154	0,15
20	1,042	0,209	0,2
30	1,061	0,318	0,3
40	1,08	0,432	0,4
Сульфат натрия СН			
3	1,026	0,031	0,03
5	1,044	0,052	0,05
10	1,092	0,109	0,1
15	1,141	0,171	0,15

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Методика определения подвижности бетонной смеси, разогретой электрическим током

Подвижность бетонной смеси, разогретой электрическим током, определяется на вибровискозиметре, который представляет собой короб с внутренними размерами 200×200×200 мм (рис. 80). Его днище и две противоположные стенки изготовляются из токонепроводящего материала — текстолита, гетинакса и т. п. Две другие стенки выполняются из стали и используются в качестве пластинчатых электродов. На их внутренних поверхностях предусмотрены вертикальные пазы, в которых свободно перемещается перегородка, изготовленная также из токонепроводящего материала. В пазах стенок-электродов устроены сквозные отверстия с резьбой для винтов, которые могут фиксировать перегородку в любом положении по высоте. Боковые поверхности и днище короба утеплены, например дощечками толщиной 25 мм.

Перед испытанием прибор устанавливается на лабораторный вибростол, и перегородка фиксируется в крайнем нижнем положении боковыми винтами. В одну из двух полостей загружается бетонная смесь в два слоя со штыковкой каждого по 25 раз с помощью стального стержня диаметром 16 мм. Верхняя поверхность смеси заглаживается мастерком вровень с кромками коробка. В зависимости от имитируемых условий электроразогрева смеси на производстве верхнюю поверхность смеси в вибровискозиметре можно оставить открытой или укрыть пленкой или пластинкой из текстолита.

К стенкам-электродам подводится напряжение, величина которого регулируется с помощью лабораторного трансформатора («Латр») для осуществления разогрева по заданному режиму. Температура смеси измеряется техническим термометром.

По окончании электроразогрева напряжение отключают. Перед определением укладываемости среднюю перегородку поднимают на 40—70 см в зависимости от подвижности смеси и максимального размера заполнителя, фиксируют стопорными винтами, после чего включают вибростол. Смесь начинает поступать через щель под перегородкой в соседнюю полость короба. Продолжительность перетекания смеси до совпадения ее уровня в обеих полостях измеряется секундомером и характеризует укладываемость смеси. Обработку полученных результатов применительно к осадке конуса смеси или ее жесткости производят по данным тарировки вибровискозиметра на холодных смесях разной подвижности с одновременным определением укладываемости по техническому вискозиметру или стандартному конусу.

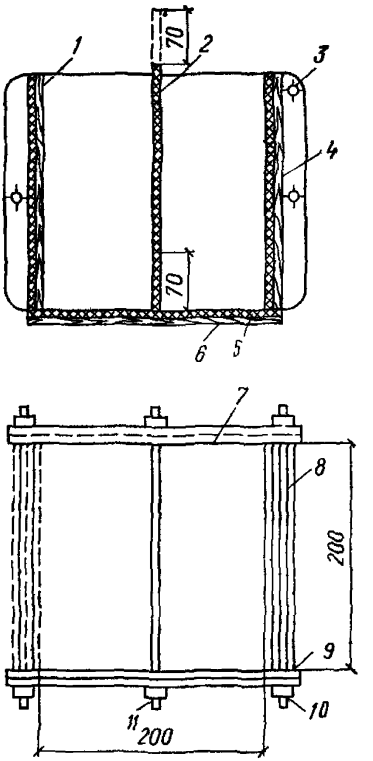


Рис. 80. Вибровискозиметр для определения виброобрабатываемости и удельного электрического сопротивления бетонной смеси при электроразогреве

1, 2, 5 — соответственно стенка, перегородка и поддон из токонепроводящего материала; *3* — болт для присоединения проводов от «Латра»; *4, 6* — теплоизоляция; *7* — стальная стенка-электрод; *8* — стяжка-шпилька; *9, 10* — шайба и втулка из токонепроводящего материала; *11* — винт для фиксации перегородки

С помощью вибровискозиметра в процессе разогрева смеси определяется и ее удельное электрическое сопротивление по схеме «амперметр — вольтметр». При определении ρ в вибровискозиметре его величина вычисляется по формуле

$$\rho = 10\frac{U}{I}, \qquad (143)$$

где U — показания вольтметра, В;
I — показания амперметра, А;

После начала прогрева удельное сопротивление уменьшается от начальной величины до минимальной, затем начинает расти. После достижения минимальной величины ρ прогрев образца и измерения следует продолжать для более надежного фиксирования минимума на кривой удельного сопротивления.

Расчетная величина удельного электрического сопротивления вычисляется по формуле (29) по результатам не менее чем трех опытов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Удельное электрическое сопротивление бетона на портландцементах разных заводов

Завод-изготовитель цемента	Величины удельного электрического сопротивления бетона, Ом·м	
	начального	минимального
Акмянский	8,9	6,5
Алексеевский	7,4	4,9
Амвросиевский	4,8	3,5
«Арарат»	8,4	6
Белгородский	18,8	12,2
«Большевик»	12,4	8,6
Брянский	11,6	8,1
Воркутинский	8,7	6,2
Воскресенский	7,2	4,9
«Гигант»	10	6
Жигулевский	9,6	7 4
Каспский	6,6	5
Николаевский	6,2	4
Новоздолбуновский	11,6	9,4
Новотроицкий	12,1	6,7
Подольский	11,5	9,7
Первомайский	9,8	6,6
Ростовский	8,5	7,2
Себряковский	14	9,9
Сенгилеевский	23,4	16,3
Сланцевский	3	2
Спасский	8	4,9
Старооскольский	10	7
Сухоложский	10,6	6,9
Ульяновский	7,4	4,8
Чернореченский	7,9	5,5

Примечание. Приведенные величины ρ являются ориентировочными. Они получены для бетонов с расходом цемента 415 кг/м³ и воды 185 л/м³ при скорости подъема температуры 10° С в час и температуре изотермического прогрева 70° С. Величины ρ могут изменяться при поступлении на завод сырья из другого карьера или при изменении схемы отсоса газов и пыли в обжиговых печах.

Методика определения удельного электрического сопротивления бетона

Определение удельного электрического сопротивления бетона производится на образце-кубе с размером ребра 20 см. Бетонная смесь заданного состава уплотняется глубинным вибратором в деревянной форме, два противоположных борта которой обшиваются изнутри кровельной сталью и служат электродами. Свободная поверхность бетона укрывается пароизоляцией и утеплителем.

Предварительное выдерживание бетона перед началом прогрева должно быть таким же, как и в натуральных условиях. Температура бетона перед подачей на электроды напряжения должна соответствовать температуре в производственных условиях и составлять не ниже 2° С. Прогрев образца осуществляется путем пропускания через бетон переменного тока. Заданный температурный режим выдерживается путем регулирования напряжения на электродах с помощью лабораторного трансформатора (латер-1 или латер-2).

Измерение электрического сопротивления бетона производится по схеме «амперметр — вольтметр» (рис. 81).

Удельное электрическое сопротивление вычисляется по формуле

$$\rho = 20\frac{V}{I}\ \text{ом}\cdot\text{см}, \qquad (144)$$

где V — показания вольтметра, В;
I — показания амперметра, А.

После начала прогрева удельное электрическое сопротивление уменьшается от начальной величины до минимальной, затем начинает расти. После достижения минимальной величины прогрев образца и измерения следует продолжить для наиболее надежного фиксирования минимума на кривой удельного сопротивления.

Расчетная величина удельного электрического сопротивления $\rho_{\text{расч}}$ вычисляется по формуле (29) как среднее арифметическое результатов не менее чем трех опытов.

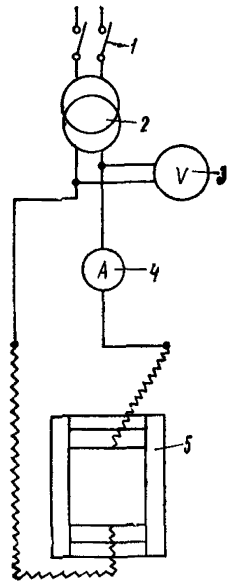


Рис. 81. Схема определения удельного сопротивления бетона

1 — рубильник; *2* — трансформатор; *3* — вольтметр; *4* — амперметр; *5* — форма

Пример расчета электропрогрева

Дано: железобетонный ростверк высотой 0,6 м, шириной 0,7 м, длиной 16 м и прогреть до приобретения бетоном марки М200 на портландцементе марки 400 70% R_{28} при температуре воздуха минус 10° С. Опалубка деревянная толщиной 40 мм, скорость ветра 0,5 м/с. Трансформатор для электропрогрева бетона типа ТМОБ-63. Удельное сопротивление бетона $\rho_{\text{расч}}=8$ Ом·м.

Решение.

Вычисляем модуль поверхности ростверка:

$$M_{\text{п}}=\frac{F}{V}=\frac{2(0{,}6\cdot 0{,}7+0{,}6\cdot 16+0{,}7\cdot 16)}{0{,}6\cdot 0{,}7\cdot 16}=\frac{40{,}44}{6{,}71}=6{,}6\ \text{м}^{-1}.$$

Принимаем скорость подъема температуры 8° С в час, так как ростверки густо армированы, а температуру изотермического прогрева 70° С. Определяем требуемую удельную мощность по табл. 8 (пренебрегая несколько большей скоростью ветра, что дает незначительную погрешность), интерполируя между значением мощности для $M_{\text{п}}=6$ и $M_{\text{п}}=10$, $t_{\text{п}}=60°$ С и $t_{\text{п}}=80°$ С.

Получаем $P=6{,}3$ кВт/м³.

Электропрогрев ростверка возможно осуществить стержневыми электродами или путем периферийного прогрева полосовыми электродами.

В связи с необходимостью бетонирования только одного ростверка выбираем не периферийный прогрев с помощью электродов на инвентарных щитах, а прогрев стержневыми электродами, размещенными в шахматном порядке, так как в верхней части ростверка располагается сетка с квадратными ячейками 0,15×0,15 м. Принимаем в соответствии с размерами ячеек сетки расстояния между электродами $b=0{,}15$ м. По графику на рис. 21 находим, что требуемая мощность обеспечивается при $b=0{,}15$ м в случае применения напряжения 85 В для $\rho_{\text{расч}}=8$ Ом·м.

Определим продолжительность изотермического прогрева бетона. Учитывая, что при прогреве стержневыми электродами конструкций с армированием, аналогичных нашему ростверку, перепады температуры соответствуют примерно 15° С, т. е. температура на наименее нагретых участках составляет 70—15=55° С. Пользуясь графиком на рис. 2, *б*, находим, что за время подъема температуры с 2 до 55° С со скоростью 8° С в час в течение $\frac{55-2}{8}=6{,}5$ ч (средняя температура примерно 30° С) бетон приобретает прочность 13% R_{28}. Остальную долю прочности до 70% бетон при температуре 55° С приобретает за 33 ч (прочностью, приобретаемой бетоном в процессе остывания, пренебрегаем).

ПРИЛОЖЕНИЕ 15

Пример пользования номограммой на рис. 31

Определить оптимальное термическое сопротивление теплоизоляции греющей опалубки при следующих расчетных данных:

удельная мощность нагревателей; $P^{\text{уд}}=600$ Вт/м²; модуль опа-

лубливаемой поверхности возводимых монолитных конструкций $M_{оп}=4$ м$^{-1}$; расчетная температура наружного воздуха минус 15° С; повышение температуры бетона (разность конечной и начальной температуры бетона); $t_1=60-10=50$° С; доля опалубливаемой поверхности от общей $x=0{,}6$; коэффициент d, характеризующий утеплитель, для минераловатных матов, $d=\lambda_{ут}(C_{ут}+150)=0{,}058(25+150)=10$, где $\lambda_{ут}$ — коэффициент теплопроводности минераловатных матов; $C_{ут}$ — стоимость 1 м^3 утеплителя в деле (определяется по калькуляции, руб/м^3); разность между средними температурами бетона во время обогрева и наружного воздуха; $t_2=(50+10)-0{,}5+15=45$° С; стоимость электроэнергии $Ц=0{,}025$ руб/кВт·ч (Прейскурант № 09-01 «Тарифы на электрическую и тепловую энергию», М., Прейскурантгиз, 1966).

Для приведенных данных получаем (ход решения стрелками указан на номограмме) оптимальное термическое сопротивление:

$$R_{опт}=1{,}11\ (м^2\cdot°\ С)/Вт;$$

толщина слоя теплоизоляции составит

$$\delta=R_{опт}\lambda_{ут}=1{,}11\cdot 0{,}058=0{,}064\ м=6{,}4\ см.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 16

Технология изготовления ТАГП

1. ТАГП с углеграфитными лентами

Общие требования

1. Изготовлением ТАГП должна заниматься специализированная обученная бригада под руководством инженерно-технического работника.

2. Заготовительные и сборочные работы следует производить в сухом и светлом помещении, оборудованном приточно-вытяжной вентиляцией на специальных стеллажах и монтажном столе размером 1,5×6 м.

3. Модель ТАГП-2/5Ш изготавливается путем сшивки отдельных элементов на швейной машине с промстолом класса АМ-23 (или АМ-26).

4. Модель ТАГП-1/3,7К изготавливается путем склейки с помощью горячего прессования отдельных элементов, включающих стеклоткань, покрытую невулканизированной резиной. Для этих целей рекомендуется использовать рамные гидравлические прессы с паровым обогревом плит или пригрузочные плиты с электрообогревом. Температура при прессовании должна находиться в пределах 120—140° С, давление должно быть 0,1—0,2 кгс/см^2, продолжительность прессования должна быть в пределах 8—15 мин.

5. Изготовление ТАГП начинается с заготовки материалов на требуемый комплект;

а) нарезаются по шаблону прорезиненная ткань, стеклоткань, холстопрошивной стекломатериал, углеродные и хлопчатобумажные ленты;

б) производится меднение концов углеродных ленточных электронагревателей;

в) пропитывается огнезащитным составом хлопчатобумажная лента;

г) заготавливаются металлические полосы, монтажные кольца, клеммники, пеналы под термодатчики, болты, гайки и шайбы по проекту;

д) заготавливаются коммутационные медные провода, полосы латунной сетки, кабельные выводы с штепсельными разъемами.

Требования к изготовлению и сборке модели ТАГП-2/5Ш

1. Сшивается защитный чехол из прорезиненной ткани с вшивкой соединительных хлопчатобумажных лент, края швов по периметру склеиваются резиновым клеем.

2. Изготовляется нагревательная панель путем пришивки конструкционной стеклонитью к вязально-прошивной стеклоткани марки ВПР-10 ленточных углеродных электронагревателей.

3. Производится коммутация ленточных углеродных нагревателей и термодатчиков к клеммникам, устанавливаются кабельные выводы с штепсельными разъемами.

4. На монтажном столе собирается пакет из теплоизоляции, состоящей из четырех слоев холстопрошивного полотна марки ХПСТ-2,5, нагревательной панели и прокладки из стеклоткани марки Т.

5. Рядом с пакетом располагается вывернутый наизнанку защитный чехол, производится соединение с помощью хлопчатобумажных лент торцов чехла и пакета. Постепенно выворачивая чехол, надвигают его на пакет и закрепляют соединительными лентами.

6. Концы открытого торца чехла заворачивают и сжимают вместе с торцом пакета двумя металлическими полосами на болтовых соединениях.

7. Наносятся через трафарет на поверхность чехла несмываемой краской основные электротехнические характеристики ТАГП.

Правила приемки

Каждое ТАГП должно подвергаться приемо-сдаточным испытаниям, при этом проверяются: габаритные размеры, правильность сборки, работа ТАГП на обогрев в течение 0,5 ч при максимальной рабочей нагрузке, соответствие электротехнических характеристик проектным, комплектность и маркировка.

Требования к изготовлению и сборке модели ТАГП-1/3,7К

1. Производится припайка оловянно-свинцовым припоем углеродных ленточных электронагревателей и кабельного ввода к полосам из латунной сетки.

2. Производится обмазка резиновым клеем марки 4НБУВ (ТУ 38-105236-76) заготовок из трех слоев прорезиненной стеклоткани и сборка пакета нагревательной панели. Между вторым и третьим слоем закладывается смонтированный углеродный электронагреватель.

3. Пакет подвергается горячему прессованию до полной вулканизации резины.

4. На полученную гибкую электронагревательную панель, со стороны более тонкого резинового слоя, в центральной части над ленточным электронагревателем крепится термодатчик. Затем укладываются четыре слоя холсто-прошивного полотна и слой прорезиненной ткани. Края ткани по периметру приклеиваются к нагревательной панели.

5. Через трафарет несмываемой краской на внешнюю поверхность ТАГП наносятся электротехнические характеристики.

2. ТАГП с греющим стальным проводом

Конструкция ТАГП

1. Основными конструктивными элементами ТАГП являются: запрессованный в резину нагревательный элемент и коммутационные устройства; теплоизоляционный слой с отражающим экраном; гидроизоляция.

2. Нагреватель ТАГП состоит из одной или нескольких секций греющих проводов, соединенных между собой последовательно или параллельно.

3. Нагревательный элемент (греющий провод) запрессовывается между двумя слоями сырой резины и армируется одним слоем стеклоткани (со стороны рабочей поверхности покрытия). Резина, применяемая для изготовления нагревателя, предназначена для электроизоляции нагревательных элементов и обеспечения необходимой гибкости и прочности покрытия.

4. Отражающий экран состоит из одного слоя алюминиевой фольги или металлизированного лавсана. Отражающий экран может быть соединен непосредственно с теплоизоляционным слоем (некоторые виды теплоизоляции с экранирующим слоем выпускаются отечественной промышленностью).

5. Гидроизоляция из прорезиненной ткани предназначена для защиты теплоизоляционного слоя от влаги и обеспечения целостности покрытия в целом.

Технология изготовления

Греющий провод необходимой длины с припаянными (в скрутку) коммутационными выводами на кондукторе сборки укладывается «змейкой» между двумя листами сырой резины и запрессовывается с усилием 3—5 кгс/см^2. Собранный элемент передается на пост вулканизации. Вулканизацию нагревательного элемента можно производить двумя способами: в прессе с греющими плитами и в автоклаве.

В прессе при температуре плит 150—155° С и давлении 3—5 кгс/см^2 время вулканизации составляет 35—40 мин и время остывания в прессе 20—30 мин.

В автоклаве при температуре 150—155° С и давлении паровой

среды 5—5,5 ати время вулканизации составляет 30 мин и время сброса давления 10—15 мин.

После вулканизации на греющий элемент ТАГП укладываются отражающий слой (алюминиевая фольга)и утеплитель. Затем укладывается гидроизоляционное покрытие (прорезиненная ткань) и тщательно приклеивается.

По контуру ТАГП монтируются монтажные приспособления. После сборки ТАГП и проверки его по электрическим и теплотехническим параметрам ему присваивается порядковый номер. Данные испытания записываются в паспорт изделия.

Испытание ТАГП на электробезопасность производится по ТУ 152—77.

Расчет ТАГП

1. Задается максимальное значение температуры поверхности обогреваемого бетона.

2. Определяется рабочая температура поверхности нагревателя:

$$t_{раб} = 1{,}3t_б^\circ\,C, \tag{145}$$

где 1,3 — коэффициент, определен экспериментально.

3. Рассчитывается полезная удельная мощность ТАГП:

$$P_{пол} = 6{,}35t_{раб}, Вт/м^2.$$

4. Рассчитывается дополнительная удельная мощность ТАГП для компенсации потерь тепла в атмосферу при известной температуре наружного воздуха $t_{н.в}$:

$$P_{доп} = \frac{t_{раб} - t_{н.в}}{\frac{1}{\alpha} + R_м}, Вт/м^2. \tag{146}$$

где α — коэффициент теплоотдачи между теплоизолированной поверхностью ТАГП и наружным воздухом 20 Вт/(м²·°С);
$R_м$ — термическое сопротивление ТАГП;

$$R_м = 0{,}75\ (м^2 \cdot °C)/Вт.$$

5. Определяется полная удельная мощность ТАГП:

$$P_{тр} = P_{пол} + P_{доп}, Вт/м. \tag{147}$$

6. Определяется полная мощность одного ТАГП:

$$P_м = P_{тр} F_м, Вт/м^2, \tag{148}$$

где $F_м$ — площадь ТАГП.

7. Определяется рабочее напряжение ТАГП:

$$U = \frac{1}{n}\sqrt{P_м \frac{\rho_0 (1 + \beta t)\, l}{S}}, В, \tag{149}$$

где ρ_0 — удельное электрическое сопротивление проволоки при 0°С, Ом·мм²/м (для стального провода ρ_0=0,125 Ом·мм²/м);
β — термический коэффициент сопротивления, град$^{-1}$ (для стального провода β=0,00544 град$^{-1}$;

t — максимально допустимая температура нагревательного провода, в изоляции, °С;
l — длина нагревательного провода, м.

8. Определяется длина греющего провода

$$l = \frac{U^2 S}{\rho_t P_{тр}}, \text{м} \qquad (150)$$

где S — сечение провода, мм²;
ρ_t — удельное сопротивление провода при максимально допустимой температуре провода в изоляции.

9. Определяется число рядов провода при укладке его «змейкой»:

$$n = \frac{l - l_{нагр}}{b}, \qquad (151)$$

где b — ширина активной части ТАГП, т. е. длина одного полувитка «змейки»;
$l_{нагр}$ — длина активной части ТАГП.

На стадии конструирования длина нагревательного провода может оказаться слишком коротка, и шаг раскладки не будет обеспечивать равномерность обогрева или длина провода слишком велика, и провод будет укладываться слишком тесно, тогда следует произвести перерасчет на другие значения напряжения и сечения провода.

ПРИЛОЖЕНИЕ 17

Примеры расчета индукционных систем

Пример 1. Выбрать режим и рассчитать параметры индукционного прогрева колонны сечением 0,4×0,4 м, высотой h=3 м, армированной четырьмя стержнями диаметром 30 мм и жестким каркасом из двух швеллеров № 16, сваренных полками. Деревянная опалубка имеет толщину 40 мм; начальная температура бетона 5° С; температура воздуха — минус 15° С; скорость ветра 3 м/с. Бетон марки М 200, приготовленный на портландцементе марки 400 с расходом 350 кг/м³. Требуемая относительная прочность к концу термообработки должна составлять 50% от R_{28}. Модуль поверхности конструкции составляет $M_п$=10 м$^{-1}$; коэффициент теплопередачи опалубки K=2,67 кВт/(м²·°С). Напряжение принимаем 49 В.

1. Максимальную температуру прогрева бетона для заданных условий принимаем 70° С.

2. Скорость подъема температуры бетона по табл. 55 принимаем 10° С/ч.

3. Активная электрическая мощность, необходимая для разогрева бетона со скоростью 10° С/ч составит [см. формулы (50) и (8)]

$$P_{as} = P_п U = \left\{ \frac{1{,}05 \cdot 2400 \cdot 10}{3630} + \frac{2{,}73 \cdot 700 \cdot 0{,}04 \cdot 10}{3630} \cdot \frac{10}{2} + \right.$$

$$\left. + \frac{2{,}67 \cdot 10\,[70 - (-15)]}{1000} - 0{,}8 \right\} 0{,}48 = 4{,}6 \text{ кВт},$$

где 2,73 — удельная теплоемкость материала опалубки (дерево) кДж/(кг·°С);
700 — объемная масса материала опалубки (дерево), кг/м³;
0,48 — объем прогреваемого бетона, м³.

4. Активная поверхность S_a металла составит

$$S_a = n\pi dh + 2(a_ш + 2b_ш)h = 4\pi \cdot 0{,}03 \cdot 3 + 2(0{,}16 + 2 \cdot 0{,}08)3 = 3{,}05 \text{ м}^2,$$

где n — количество арматурных стержней, шт;
d — диаметр арматурных стержней, м;
h — высота (длина) арматурных стержней, м;
$a_ш$ — высота швеллера, м;
$b_ш$ — ширина полки швеллера, м.

5. Удельная активная мощность ΔP определяется по формуле (51):

$$\Delta P = \frac{4{,}6}{3{,}05} = 1{,}51 \text{ кВт/м}^2.$$

6. Напряженность магнитного поля H и удельное поверхностное сопротивление $\rho_н$, соответствующие найденному значению ΔP, определяем по графику рис. 52 так, как это показано пунктирной линией. В результате имеем: определенному в п. 5 значению $\Delta P = 1{,}51$ кВт/м² соответствует $H = 4200$ А/м и $\rho_н = 8{,}75 \cdot 10^{-5}$ Ом.

7. Расчет параметров индукционной системы ведем по схеме индуктивной катушки с железом.

8. Для определения коэффициентов сопротивления F_s и Q_s предварительно вычисляем по формуле (49) глубину проникновения тока Δ_s:

$$\Delta_s = \frac{20 \cdot 10^{-8}}{8{,}75 \cdot 10^{-5}} = 0{,}0023 \text{ м} = 2{,}3 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

9. Коэффициенты сопротивлений F_s и Q_s определяем для швеллеров по графику рис. 53 и для стержневой арматуры по графику рис. 54.

Для швеллеров:
средняя толщина сечения швеллера № 16 (по сортаменту) $\Delta = 0{,}007$ м;

отношение $\frac{2\Delta}{\Delta_s} = \frac{2 \cdot 0{,}007}{0{,}0023} = 6$;

для $\frac{2\Delta}{\Delta_s} = 6$ величина $F_s = Q_s = 1$.

Для стержневой арматуры:
радиус арматурного стержня ∅ 30 составляет $r = 0{,}015$ м;

отношение $\frac{r\sqrt{2}}{\Delta_s} = \frac{1{,}4 \cdot 0{,}015}{0{,}0023} = 9{,}1$;

для $\frac{r\sqrt{2}}{\Delta_s} = 9{,}1$ величина $F_s = Q_s = 1$.

10. Коэффициент формы индуктора m находим по графику рис. 55:

при высоте индуктора h_i=300 см отношение $\frac{h_i}{R_i}=\frac{3}{0{,}29}=10$;

для $\frac{h_i}{R_i}=10$ величина $m=1$.

11. Определяем сумму периметров сечения металла в сечении конструкции:

$$\Sigma\Pi_s = n_c \pi d_c + n_ж (a + 2b) = 4\pi \cdot 0{,}03 + 2\,(0{,}16 + 2 \cdot 0{,}08) = 1{,}02 \text{ м},$$

где n — количество стержней арматуры в сечении, шт.;

d_c — диаметр стержневой арматуры, м;

$n_ж$ — количество элементов жесткого каркаса (швеллера), шт.;

a — высота швеллера, м.

b — ширина полки швеллера, м.

12. Определяем площадь сечения индуктора

$$S_i = (0{,}4 + 0{,}04 + 0{,}01)^2 + 0{,}2 \text{ м}^2.$$

13. Условное активное сопротивление системы r_0 определяем по формуле (54):

$$r_0 = 1{,}1 \cdot 8{,}75 \cdot 10^{-5} \cdot 1{,}02 \cdot 1 = 9{,}81 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

14. Условное индуктивное сопротивление системы ωL_0 определяем по формуле (55):

$$\omega L_0 = 4 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}2 \cdot 1 + 8{,}75 \cdot 10^{-5} \cdot 1{,}02 \cdot 1 = 17 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

15. Полное условное сопротивление системы Z_0 определяем по формуле (53):

$$Z_0 = \sqrt{(9{,}81 \cdot 10^{-5})^2 + (17 \cdot 10^{-5})^2} = 19{,}6 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

16. Число витков индуктора при выбранном напряжении 49 В определяется по формуле (52):

$$N = \frac{49}{19{,}6 \cdot 10^{-5} \cdot 4200} = 59.$$

17. Ожидаемая сила тока определяется по формуле (56):

$$I = \frac{4200 \cdot 3}{59} = 213 \text{ А}.$$

18. Коэффициент мощности системы cos φ определяется по формуле (57):

$$\cos\varphi = \frac{9{,}81 \cdot 10^{-5}}{19{,}6 \cdot 10^{-5}} = 0{,}5.$$

19. Если в наличии имеется другой провод, например медный сечением 35 мм², у которого допустимая токовая нагрузка составляет 170 А, пересчитывается количество витков:

$$N = \frac{Hh}{I} = \frac{4200 \cdot 3}{170} = 74$$

и напряжение, определяемое по формуле (52),

$$U = 74 \cdot 19{,}6 \cdot 10^{-5} \cdot 4200 = 62 \text{ В}.$$

20. Расчет параметров для стадии изотермического прогрева:

$P_{as} = KM_п(t_{из} - t_{нв})\beta U = 2{,}67 \cdot 10 \cdot [70 - (-15)] \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}48 = 1{,}15$ кВт.

Тогда $$\Delta P = \frac{1{,}15}{3{,}05} = 0{,}38 \text{ кВт/м}^2.$$

При $\Delta P = 0{,}38$ кВт/м² по графику рис. 52 находим $H = 1700$ А/м; $\rho_н = 11 \cdot 10^{-5}$ Ом. Z_0 определяем по формулам (53) — (55):

$$Z_0 = \sqrt{(1{,}1 \cdot 11 \cdot 10^{-5} \cdot 1{,}02 \cdot 1)^2 + (4 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}2 \cdot 1 + 11 \cdot 10^5 \cdot 1{,}02 \cdot 1)^2} =$$

$$= 22{,}6 \cdot 10^{-5} \text{ Ом};$$

$$U_{из} = NZ\ H = 74 \cdot 22{,}6 \cdot 10^{-5} \cdot 1700 = 29 \text{ В};$$

$$I_{из} = \frac{Hh}{N} = \frac{1700 \cdot 3}{74} = 69 \text{ А}.$$

Пример 2. Рассчитать электрические параметры индукционной установки для термообработки железобетонных труб диаметром 1000 мм, высотой 4,1 м при толщине стенок 60 мм. Кольцевая арматура 15∅ 10 мм. Скорость подъема температуры бетона в период разогрева 25° С/ч. Изотермический прогрев — при t 85° С. Температура наружного воздуха 0° С. Начальная t бетона 15° С. Коэффициент теплопередачи ограждения $K = 4{,}64$ кВт/(м²·°С). Удельное электросопротивление стали равно $20 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

1. Расчет ведется по схеме трансформатора с сердечником.

2. Тепловым расчетом устанавливается электрическая активная мощность, необходимая на период разогрева бетона: $P_{а.}$ = 21 кВт.

3. Сумма периметров сечения металла

$$S_а = 2\pi 1{,}12 \cdot 4{,}1 + 15\pi 1{,}1\pi 1{,}0 = 3 \text{ м}^2.$$

4. Необходимая удельная активная мощность определяется по формуле (51):

$$\Delta P = \frac{21 \text{ кВт}}{30 \text{ м}^2} = 0{,}7 \text{ кВт/м}^2.$$

5. Удельной активной мощности $\Delta P = 0{,}7$ кВт/м² соответствует напряженность магнитного поля $H = 2350$ А/м (рис. 52).

6. Площадь зазора между индуктором на магнитопроводе и нагреваемым изделием при радиусе индуктора 25 см составляет

$$S_з = \pi (0{,}56^2 - 0{,}25^2) = 0{,}78 \text{ м}^2.$$

7. Полная мощность системы определяется по формуле (60):

$$P_с = \sqrt{1{,}2 \cdot 21^2 + (1{,}1 \cdot 21 + 1{,}6 \cdot 10^{-8} \cdot 4{,}1 \cdot 50 \cdot 0{,}78 \cdot 2350^2)^2} = 38 \text{ кВ·А}.$$

8. При выбранном напряжении 220 В число витков индуктора (намагничивающей обмотки) определяется по формуле (59):

$$N = 1{,}4 \cdot 10^{-3} \frac{2350 \cdot 4{,}1 \cdot 220}{38} = 78.$$

9. Сила тока в индукторе определяется по формуле (61):

$$I = \frac{38}{220} 10^3 = 170 \text{ А}.$$

10. Коэффициент мощности установки согласно формуле (62)

$$\cos \varphi = 1{,}1 \frac{21}{38} = 0{,}6.$$

Примеры расчетов параметров инфракрасных установок

1. Расчет параметров инфракрасной установки для обогрева железобетонной плиты перекрытия

Исходные данные. Перекрытие толщиной 0,12 м (см. рис. 82).

Бетон объемной массы $\gamma_б = 2400$ кг/м³, удельной теплоемкостью $C_б = 1{,}05 \cdot 10^3$ Дж/(кг·° С).

Арматура удельной теплоемкостью $C_а = 0{,}48 \cdot 10^3$ Дж/(кг·° С), расход арматуры $\Delta m_а = 150$ кг/м³ бетона.

Опалубка деревянная толщиной 0,025 м, объемной массой $\gamma_{оп} = 700$ кг/м³, удельной теплоемкостью $C_{оп} = 2{,}72 \cdot 10^3$ Дж/(кг·°С), с коэффициентом теплопередачи $K = 5{,}2$ Вт/(м²·°С).

Плита обогревается с неопалубленной стороны с помощью инфракрасных установок типа «короб» размерами в плане 0,9×1,12 м и высотой $h = 0{,}12$ м. Отражатель выполнен из полированного алюминия.

Начальная температура бетона $t_{б.н} = +10°$ С.

Температура бетона на стадии изотермического прогрева на облучаемой поверхности $t_и = 80°$ С, на опалубленной поверхности $t_и = 70°$ С.

Температура наружного воздуха $t_в = -20°$ С.

Продолжительность периода разогрева $\tau_п = 4$ ч.

Продолжительность периода изотермического прогрева $\tau_и = 8$ ч.

Режим термообработки принят из условия обеспечения прочности бетона, равной 70% от R_{28} по графику рис. 82.

Экзотермия цемента ввиду малой массивности плиты в расчетах не учитывается.

ХОД РАСЧЕТА

1. Средняя температура бетона конструкции составит:

за период разогрева [формула (69)].

$$t_{ср}^{п} = \frac{10 + 80}{2} = 45° \text{ С};$$

за период изотермического прогрева [формула (70)]

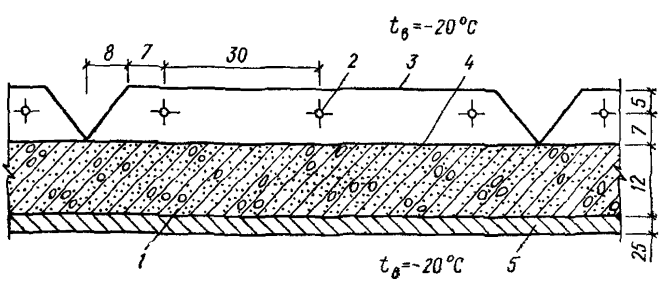


Рис. 82. Схема к расчету и конструированию инфракрасной установки для обогрева плиты перекрытия

1 — плита; *2* — трубчатые инфракрасные излучатели; *3* — короб-отражатель; *4* — полиамидная пленка; *5* — деревянная опалубка

$$t_{ср}^{п} = \frac{80 + 70}{2} = 75° \text{ С}.$$

2. Температура стенок инфракрасной установки составит: в период разогрева [формула (71)]

$$t_{у}^{и} = \frac{45 - 20}{2} = 12{,}5° \text{ С};$$

в период изотермического прогрева [формула (72)]

$$t_{у}^{и} = \frac{75 - 20}{2} = 27{,}5° \text{ С}.$$

3. Коэффициент теплоотдачи облучаемой поверхности [формула (68)] составит:

в период разогрева

$$\alpha_{о}^{п} = \frac{4{,}62}{45 + 20}\left[\left(\frac{273 + 45}{100}\right)^{4} - \left(\frac{273 \cdot 20}{100}\right)^{4}\right] +$$

$$+ 2{,}91 \cdot 10^{-4} \frac{1}{0{,}12^{2}} \frac{546 + 45 + 12{,}5}{45 - 12{,}5} = 4{,}73 \text{ Вт/(м}^{2} \cdot °\text{С)};$$

в период изотермического прогрева

$$\alpha_{о}^{и} = \frac{4{,}62}{75 + 20}\left[\left(\frac{273 + 75}{100}\right)^{4} - \left(\frac{273 - 20}{100}\right)^{4}\right] +$$

$$+ 2{,}91 \cdot 10^{-4} \frac{1}{0{,}12^{2}} \frac{546 + 75 + 27{,}5}{75 - 27{,}5} = 5{,}41 \text{ Вт/(м}^{2} \cdot ° \text{С)}.$$

4. Объем бетона, прогреваемого одним коробом:

$$V_{б} = 0{,}9 \cdot 1{,}12 \cdot 0{,}12 = 0{,}121 \text{ м}^{3}.$$

5. Площадь конструкции, обогреваемая одним коробом:

$$F_{о} = F_{оп} = 0{,}9 \cdot 1{,}12 = 1{,}008 \text{ м}^{2}.$$

6. Масса арматурной стали в прогреваемом объеме

$$m_{а} = \Delta m_{а} V_{б} = 150 \cdot 0{,}121 = 18{,}15 \text{ кг}.$$

7. Мощность, требуемая на период разогрева бетона одним коробом [формула (66)]:

$$P_{п} = 2{,}78 \cdot 10^{-4}(1{,}05 \cdot 10^{3} \cdot 2400 \cdot 0{,}121 + 0{,}48 \cdot 10^{3} \cdot 18{,}5 +$$

$$+ 2{,}72 \cdot 10^{3} \cdot 700 \cdot 0{,}025 \cdot 1{,}008)\frac{45 - 10}{4} + 1{,}008 \cdot (4{,}73 + 5{,}2)(45 + 20) =$$

$$= 1530 \text{ Вт}.$$

8. Мощность, требуемая на период изотермического прогрева бетона одним коробом [формула (67)]:

$$P_{и} = 4{,}73 \cdot 1{,}008\,(80 + 20) + 5{,}2 \cdot 1 \cdot 008\,(70 + 20)\,848 \text{ Вт}.$$

9. По табл. 56 для бетона находим, что степень черноты

$$\varepsilon = 0{,}65 - 0{,}85. \quad \text{Примем} \quad \varepsilon = 0{,}7.$$

10. Энергетическая освещенность [формула (65)], требуемая на стадиях:

разогрева

$$E_{\text{п}} = \frac{1530}{0{,}7 \cdot 1{,}008} = 2168 \text{ Вт/м}^2 = 2{,}17 \text{ кВт/м}^2;$$

изотермического прогрева

$$E_{\text{и}} = \frac{848}{0{,}7 \cdot 1{,}008} = 1200 \text{ Вт/м}^2 = 1{,}2 \text{ кВт/м}^2.$$

Примем

$$E_{\text{п}} = 2{,}17 \text{ кВт/м}^2.$$

11. Зададимся следующими параметрами инфракрасной установки. Разместим под коробом три ТЭНа диаметром $d=18$ мм с расстоянием между ними $S=300$ мм (см. рис. 82). Тогда:

$$\frac{S}{d} = \frac{300}{18} = 16{,}7;$$

$$\frac{a_1}{h} = \frac{900}{120} = 7{,}5;$$

$$\frac{a_2}{h} = \frac{1120}{120} = 10.$$

По табл. 57, используя правило интерполяции, получим

$$\varphi_{\text{и}-\text{п}} = \varphi_{\text{п}-\text{о}} = 0{,}480 + \frac{0{,}482 - 0{,}480}{10}(16{,}7 - 10) = 0{,}481;$$

$$\varphi_{\text{о}-\text{п}} = 0{,}151 + \frac{0{,}077 - 0{,}151}{10}(16{,}7 - 10) = 0{,}101.$$

Аналогично по табл. 58 получим

$$\varphi_{\text{о}-\text{п}} = 0{,}729 + \frac{0{,}812 - 0{,}729}{5}(7{,}5 - 5) = 0{,}77.$$

12. По табл. 56 для полированного алюминия находим $\varepsilon_{\text{о}} = 0{,}04 - 0{,}06$. Примем $\varepsilon_{\text{о}} = 0{,}05$.

13. По формуле (75) определим коэффициент облученности:

$$\varphi = 0{,}481 + [(1 - 0{,}05)\, 0{,}481 \cdot 0{,}77 - 0{,}101] = 0{,}731.$$

14. По формуле (74) получим

$$P_{\text{уст}} = \frac{2{,}17}{0{,}731} 1{,}008 = 2{,}97 \text{ кВт}.$$

15. Принимаем ТЭНы с погонной мощностью

$$N = \frac{2{,}97}{3 \cdot 1{,}12} = 0{,}88 \text{ кВт/м} = 0{,}9 \text{ кВт/м}.$$

2. Расчет параметров инфракрасной установки для термообработки железобетонной стены, возводимой в скользящей опалубке

Исходные данные. Стена толщиной 0,16 м. Бетон объемной массы $\gamma_б = 2400$ кг/м³, удельной теплоемкости $C_б = 1{,}05 \cdot 10^3$ Дж/(кг·°С). Арматура удельной теплоемкости $C_а = 0{,}48 \times 10^3$ Дж/(кг·°С), расход арматуры на 1 м³ бетона 180 кг.

Стена обогревается с помощью инфракрасной установки типа «короб» толщиной $h = 0{,}25$ м под тепляком (рис. 83). Отражатель выполнен из оцинкованного железа.

Начальная температура бетона $t_н = 10°$ С;

Температура изотермического прогрева на облучаемой поверхности $t_и = 80°$ С.

То же, на необлучаемой поверхности $t'_и = 60°$ С.

Температура воздуха на наружных подвесных лесах $t_{н.в} = 15°$ С.

То же, на внутренних подвесных лесах $t_{в.в} = 7°$ С.

Коэффициент теплоотдачи открытой поверхности стены примем $\alpha = 20$ Вт/(м²·° С).

Скорость подъема опалубки $v = 2{,}4$ м/сут $= 0{,}1$ м/ч.

Продолжительность периода разогрева $\tau_п = 3$ ч.

То же, изотермического прогрева $\tau_и = 7$ ч.

Ход расчета.

1. Высота зоны разогрева [формула (77)]

$h_п = 0{,}1 \cdot 3 = 0{,}3$ м;

высота зоны изотермического прогрева [формула (78)]

$h_и = 0{,}1 \cdot 7 = 0{,}7$ м.

2. Объем прогреваемого бетона в зонах:

разогрева $V_б^н = 0{,}3 \cdot 0{,}16 = 0{,}048$ м³;

изотермического прогрева $V_б^н = 0{,}7 \cdot 0{,}16 = 0{,}112$ м³.

3. Масса арматурной стали в зонах:

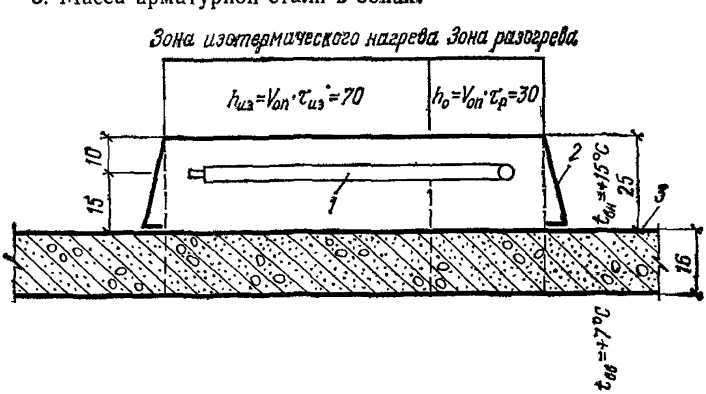


Рис. 83. Схема к расчету параметров инфракрасной установки для обогрева стены, возводимой в скользящей опалубке

1 — инфракрасный излучатель; 2 — короб-отражатель; 3 — бетон

разогрева $m_а^п = \Delta m_а V_б^п = 180 \cdot 0{,}048 = 8{,}64$ кг;

изотермического прогрева $m_б^и = 180 \cdot 0{,}112 = 20{,}16$ кг.

4. Средняя температура бетона в период:
разогрева [формула (69)]

$$t_{ср}^п = \frac{10 + 80}{2} = 45° \text{ С};$$

изотермического прогрева [формула (70)]

$$t_{ср}^и = \frac{80 + 60}{2} = 70° \text{ С}.$$

5. Температура стенок установки в зонах:
разогрева [формула (71)]

$$t_у^п = \frac{45 + 15}{2} = 30° \text{ С};$$

изотермического прогрева [формула (72)]

$$t_у^и = \frac{70 + 15}{2} = 42{,}5° \text{ С}.$$

6. Коэффициент теплоотдачи облучаемой поверхности [формула (68)] в зонах:
разогрева

$$\alpha_о^п = \frac{4{,}62}{45 - 15}\left[\left(\frac{273 + 45}{100}\right)^4 - \left(\frac{273 + 15}{100}\right)^4\right] +$$

$$+ 2{,}91 \cdot 10^{-4} \frac{1}{0{,}25^2} \cdot \frac{546 + 45 + 30}{45 - 30} = 5{,}19 \text{ Вт/(м}^2 \cdot °\text{С)};$$

изотермического прогрева

$$\alpha_о^и = \frac{4{,}62}{70 - 15}\left[\left(\frac{273 + 70}{100}\right)^4 - \left(\frac{273 + 15}{100}\right)^4\right] +$$

$$+ 2{,}91 \cdot 10^{-4} \frac{1}{0{,}25^2} \frac{546 + 70 + 42{,}5}{70 - 42{,}5} = 5{,}95 \text{ Вт/(м}^2 \text{ °С)}.$$

7. Мощность, требуемая для:
разогрева [формула (66)]

$$P_п = 2{,}78 \cdot 10^{-4} (1{,}05 \cdot 10^3 \cdot 2400 \cdot 0{,}048 + 0{,}48 \cdot 10^3 \cdot 8{,}64) \frac{45 - 10}{3} +$$

$$+ (5{,}19 + 20)\, 0{,}3\, (45 - 15) = 632 \text{ Вт};$$

изотермического прогрева [формула (67)]

$$P_и = 5{,}95 \cdot 0{,}7\, (80 - 15) + 20 \cdot 0{,}7\ (70 - 7) = 1153 \text{ Вт}.$$

8. По табл. 56 для бетона принимаем $\varepsilon = 0{,}7$.
9. Энергетическая освещенность [формула (65)] в зонах:
разогрева

$$E_п = \frac{632}{0{,}7 \cdot 0{,}3} = 3000 \text{ Вт/м}^2 = 3 \text{ кВт/м}^2;$$

изотермического прогрева

$$E_{и} = \frac{1153}{0{,}7 \cdot 0{,}7} = 2353 \text{ Вт/м}^2 = 2{,}35 \text{ кВт/м}^2.$$

10. Зададимся следующими параметрами инфракрасной установки. Диаметр излучателей примем равным $d = 18$ мм, расстояния между ними $S = 250$ мм.

Тогда $\frac{S}{d} = \frac{250}{18} = 13{,}9 \approx 14$, а отношения длины ($a_1$) и ширины ($a_2$) к высоте h:

в зоне разогрева

$$\frac{a_1}{h} = \frac{1000}{250} = 4; \quad \frac{a_2}{h} = \frac{300}{250} = 1{,}2;$$

в зоне изотермического прогрева

$$\frac{a_1}{h} = \frac{1000}{250} = 4; \quad \frac{a_2}{h} = \frac{700}{250} = 2{,}8.$$

По табл. 57, используя правило интерполяции, получим:

$$\varphi_{п-п} = \varphi_{п-о} = 0{,}480 + \frac{0{,}482 - 0{,}480}{10}(14 - 10) = 0{,}481;$$

$$\varphi_{о-п} = 0{,}151 + \frac{0{,}077 + 0{,}151}{10}(14 - 10) = 0{,}133.$$

По табл. 58 получим аналогично для зон:
разогрева $\varphi_{о-п} = 0{,}259$;
изотермического прогрева $\varphi_{о-п} = 0{,}307$.

11. По табл. 56 находим для оцинкованного железа $\varepsilon_0 = 0{,}23$.

12. По формуле (75) находим для зон:
разогрева

$$\varphi = 0{,}481 + [(1 - 0{,}23)\, 0{,}481 \cdot 0{,}259 - 0{,}121] = 0{,}456;$$

изотермического прогрева

$$\varphi = 0{,}481 + [(1 - 0{,}23)\, 0{,}481 \cdot 0{,}307 - 0{,}121] = 0{,}474.$$

13. Минимальная мощность инфракрасной установки в зонах:
разогрева

$$P^{п}_{уст} = \frac{3}{0{,}456}\, 0{,}3 = 1{,}97 \text{ кВт};$$

изотермического прогрева

$$P^{и}_{уст} = \frac{2{,}35}{0{,}474}\, 0{,}7 = 4{,}06 \text{ кВт}.$$

14. Общая мощность инфракрасной установки на 1 м длины периметра сооружения составит

$$P^{общ}_{уст} = P^{п}_{уст} + P^{и}_{уст} = 1{,}97 + 4{,}06 = 6{,}03 \text{ кВт}.$$

Примеры расчета толщины оттаиваемой прослойки грунта

Пример 1. Определить толщину оттаивания вечномерзлого суглинка, характеризующегося $t_г = -2°$ С, $W = 21\%$, $W_н = 16\%$, $\gamma_{ск} = 1750$ кг/м³, при бетонировании столбчатого фундамента сечением $1 \times 1{,}5$ м в плане и с глубиной заложения 3,5 м. Используется электропрогрев бетона на глубину 2 м. Бетон марки М 200 на портландцементе марки 400. Состав бетона $Ц : П : Щ = 1 : 2{,}6 : 3{,}1$. Расход цемента 320 кг/м³.

$$\gamma_б = 2350 \text{ кг/м}^3; \quad В/Ц = 0{,}6; \quad t_б = 10° \text{ С};$$

Глубина сезонного оттаивания 2 м.

По формуле (82) находим относительный радиус оттаивания

$$A = \sqrt{1 + \frac{0{,}7(0{,}2 \cdot 2350 + 0{,}8 \cdot 192)(10+2) + 64 \cdot 320 + 4300\frac{2}{3{,}5}}{80 \cdot 1750 \dfrac{21-16}{100}}} =$$

$$= 2{,}5;$$

$$b = 1{:}2 = 0{,}5; \quad \Delta = 0{,}5(2{,}5 - 1) = 0{,}75 \text{ м}.$$

Пример 2. Определить толщину оттаивания вечномерзлого грунта в примере 1, если температура уложенного бетона равна 10° С.

По формуле (82) находим

$$A = \sqrt{1 + \frac{0{,}7(0{,}20 \cdot 2350 + 0{,}8 \cdot 192)(10+2) + 61 \cdot 320}{80 \cdot 1750 \dfrac{21-16}{100}}} = 1{,}92;$$

$$\Delta = 0{,}5(1{,}92 - 1) = 0{,}46 \text{ м}.$$

Если использовать теплоизолирующую прослойку в виде деревянной плиты толщиной 10 см ($\lambda = 0{,}35$ Вт/(м·°С)), то:

при использовании электропрогрева бетона по формуле (83) получим

$$\Delta_t = 0{,}75 \frac{0{,}1}{0{,}1 + \dfrac{0{,}1}{0{,}35}} = 0{,}17 \text{ м};$$

без использования электропрогрева

$$\Delta_t = 0{,}46 \frac{0{,}1}{0{,}1 + \dfrac{0{,}1}{0{,}3}} = 0{,}11 \text{ м}.$$

Пример 3. Определить прочность бетона в конструкции при бетонировании по способу термоса без использования добавок — ускорителей твердения. Срок выдерживания бетона 1 и 6 мес. Проектная марка бетона М 200.

По табл. 62 принимаем значения технологических коэффициентов. Тогда прочность бетона в месячном возрасте составит $200 \times 0{,}65 = 130$ кгс/см², в шестимесячном — $200 \cdot 0{,}75 = 150$ кгс/см².

Последовательность операций и применяемое оборудование для возведения свай-стоек с замоноличиванием нижнего конца свай (по опыту строительства в Норильске)

Таблица 82

Наименование операций, рабочих приемов, применяемого оборудования

№ п.п.	Операции и рабочие приемы	Профессия исполнителей, разряд—число рабочих	Применяемое оборудование, инструменты и приспособления для выполнения приемов	Норма времени на выполнение рабочего приема, чел.-ч	Затраты на выполнение рабочего приема, руб.
	С электропрогревом монолитного бетона (раствора), применяемого для защемления сваи-стойки (условная длина сваи 9 м)				
1	Очистить поверхность сваи от снега, льда, грязи металлическими щетками	Такелажник II—1	Металлические щетки, лопата	0,23	0—19
2	Обвязка сваи электродами с изоляцией резиновыми трубками и монтаж температурной трубки	Электрик II—1	Ломик Ø 25 мм, l=130 см, молоток P=2 кг, топор, пассатижи	0,36	0—30
3	Приемка бетона (раствора) из кузова самосвала с зачисткой кузова	Такелажник II—1	Бункер V=1,8 м³, лопата	0,08	0—08
4	Сборка инвентарных хоботов для подачи бетона (раствора) и установка их в скважину краном	Машинист крана V—1; бетонщики IV—1, III—1	Передвижной кран, инвентарные хобота, ломики Ø 25 мм, l=130 м, строп, ключи	0,96	1—02
5	Бетонирование стакана скважины через хобот	Машинист крана V—1; бетонщик IV—1; такелажник II—1;	Передвижной кран, инвентарные хобота, строп, бункер	0,39	0,41

6	Установка железобетонных свай в скважину краном	Машинист крана V—1; такелажник II—1	Передвижной кран, строп	1,16	1—19
7	Установка и закрепление вибропогружателей на верхний конец сваи	Машинист крана V—1; бетонщик II—1	Передвижной кран, строп, вибропогружатель	0,5	0,57
8	Погружение сваи в раствор вибропогружателем с последующим демонтажем вибропогружателя	Машинист крана V—1; такелажник II—1	То же	0,07	0—09
9	Подключение прогревных трансформаторов к источнику питания с прокладкой электрокабеля ГРШ сечением 70—90 мм² на инвентарных козлах, l=120 м	Электрики: VI—1, V—1, III—1, II—3	Инвентарные козлы, строп, ключи, пассатижи, клещи токоизмерительные	0,61	0—61
10	Прокладка магистрального кабеля АПР Ø 120—180 мм², l=70 м от прогревного трансформатора с установкой раздаточной коробки (ЯРП)	Электрики: VI—1; III—1, II—3	Инвентарные козлы, пассатижи, ключи	0,36	0,35
11	Прокладка ветвевых электрокабелей типа АС Ø 20 мм², l=10 м с подключением их к прогревным электродам сваи на скрутку	Электрики: VI—1; III—1, II—3	Инвентарные козлы, пассатижи, клещи токоизмерительные	0,71	0—70
12	Прогрев сваи с круглосуточным контролем за электропрогревом	Электрики: V—3, II—3	Термометр, пассатижи, ключи, клещи токоизмерительные	13,3	14—29
13	Демонтаж прогревных трансформаторов, ЯРПов, электрокабелей	Электрики: VI—1, V—1, III—3, II—3	Передвижной кран, автомашины, пассатижи, строп, ключи	0,48	0—48
			Итого	19,21	20—28

Продолжение табл. 82

№ п.п.	Операции и рабочие приемы	Профессия исполнителей, разряд—число рабочих	Применяемое оборудование, инструменты и приспособления для выполнения приемов	Норма времени на выполнение рабочего приема, чел.-ч	Затраты на выполнение рабочего приема, руб.
	При защемлении свай-стойки монолитным бетоном (раствором) с противоморозными добавками (без электропрогрева)				
1	Очистить поверхность сваи от снега, льда, грязи металлическими щетками	Такелажник II—1	Лопата, металлические щетки	0,23	0—19
2	Приемка бетона (раствора) из кузова самосвала с зачисткой кузова	Такелажник II—1	Бункер $V=1{,}8$ м³, лопата	0,08	0—08
3	Сборка инвентарных хоботов для подачи бетона (раствора) и установки их в скважину краном	Машинист крана V—1 Бетонщики: IV—1, III—1	Передвижной кран, инвентарные хоботы, строп, ключи, ломики	0,96	1—02
4	Бетонирование стакана скважины через хобота	Машинист крана V—1; бетонщики: IV—1, II—1	Передвижной кран, инвентарные хоботы, строп, бункер	0,26	0,25
5	Установка железобетонных свай в скважину краном	Машинист крана V—1; такелажник II—1	Передвижной кран, строп	1,16	1—19
6	Установка и закрепление вибропогружателя на верхний конец сваи	Машинист крана V—1; такелажник II—1	Передвижной кран, вибропогружатель, строп	0,5	0,57
7	Погружение сваи в раствор вибропогружателем с последующим демонтажем вибропогружателя	Машинист крана V—1; такелажник II—1	Передвижной кран, строп, вибропогружатель	0.07	0—09
			Итого	3,26	3—39

Примечания: 1. Затраты по подключению прогревных трансформаторов и прокладки магистральных линий приняты из расчета единовременного монтажа для прогрева 20 свай.

2. Нормы времени и расценки применены на основании ЕНиР, отд. 4-2; 9-1; 11-50; 14; 23-4 и временных местных норм Норильского горно-металлургического комбината (по фактическим затратам).

Таблица 83

Технологическая характеристика и стоимость оборудования, инструмента, приспособлений, оснастки, инвентаря на рабочем месте и затраты материалов при возведении свай-стоек с замоноличиванием нижнего конца сваи

№ п.п.	Наименование	Техническая характеристика	Стоимость единицы, руб.	Технология с применением			
				электропрогрева		противоморозных добавок	
				число	сумма затрат, руб.	число	сумма затрат, руб.
		Оборудование					
1	Прогревной трансформатор типа ТМ-100	Напряжение 380 (110) 65 В, ток 150 (900) 450 А, масса 30 кг, масло трансформ. 200 кг	1147—00	1	—	—	—
2	Ящик ЯРВ трехфазный	Напряжение 380 В, ток 600 А, масса 30 кг	57—55	2	—	—	—
3	Разъединители трехполюсные	Ток 1000 А	55—50	1	—	—	—
4	Кабель питающий типа ГРШ, м	Сечение 3×70+1×10	5—57	120/0,09	0—50	—	—
5	Провод АПР, м	Сечение 120+180 мм²	0—30	70/0,05	0—02	—	—
6	Провод АС, м	Сечение 120 мм²	0—30	30/0,67	0—20	—	—
7	Передвижной кран, маш.-смена	Кран К-161 грузоподъемностью 16 т, длина стрелы 15 м	26 300	1/1,57	13—22	1/1,57	13—22
8	Бункер для бетона	Емкость 1,8 м³ с двумя вибраторами С-357	487—26	2	—	2	—
9	Инвентарные хоботы с воронкой	Длина хоботов 9 м, диаметр трубы 213 мм	70—00	1	—	1	—

Продолжение табл. 83

№ п.п.	Наименование	Техническая характеристика	Стоимость единицы, руб.	Технология с применением электропрогрева: число	электропрогрева: сумма затрат, руб.	противоморозных добавок: число	противоморозных добавок: сумма затрат, руб.
10	Строп	Четырехветвевой грузоподъемностью 5 т	18—24	1	—	1	—
11	Вибропогружатель ВПП-2М	Возмущающее усилие 25 тс, мощность электродвигателя 40 кВт, масса 2600 кг	—	1	—	—	—
12	Инвентарные козлы для прокладки кабеля	Трехрожковые металлические высотой 1100 мм, масса 6 кг	2—30	50	—	—	—
		Итого	—	—	13—94	—	13—22
			Инструмент				
1	Клещи токоизмерительные	—	38—00	1	—	—	—
2	Термометры технические	Шкала от 0 до 100° С	1—30	2	—	2	—
3	Ключи гаечные	Комплект 4 шт.	1—05	4 шт. (1 компл.)	—	—	—
4	Пассатижи	—	1—00	1	—	—	—
5	Отвертка	Длиной 200 мм, длиной 120 мм	0—57	2	—	—	—
6	Лопата штыковая		0—47	1	—	2	—
7	Щетки металлические	—	1—90	2	—	1	—
8	Топор	—	0—70	1	—	2	—
9	Ломик	Длиной 1300 мм	1—90	2	—		

Материалы единовременного расхода с противоморозными добавками

1	Сборный железобетон, сваи типа НС, м³	Содержание арматуры 140 кг на 1 м³	196—40	0,918	184—00	0,918	184—00
2	Цементный раствор, м³	Марка М 250	96—12	0,22	21—19	0,22	21—19
3	Грунтовый раствор, м³	—	28—41	0,66	18—75	0,66	18—75
4	Лента смоляная, кг	—	2—02	0,15 кг	0—30	—	—
5	Трубы температурные	Диаметр 42,3×3,2 мм	0,64	9 м	5—76	1 м	0—64
6	Трубка резиновая (шланг)	Диаметр 9+20 мм	0—65	1 м	0—65	—	—
7	Проволока электродная	Диаметр 6+8 мм	0—37	12 кг	4—44	—	—
8	Болты крепления	Диаметр М 10	0—76	0,12»	0—09	—	—
9	Зажимы линейные	Длина зажима 95—120 мм	0—58	2 шт.	0—70	—	—
10	Электроэнергия, кВт·ч	$\frac{100\text{кВ}\cdot\text{А}\cdot 75\text{ч}}{7\text{ шт.}}$	0,0297	1070	31—80	—	—
		Итого	—	—	267—68	—	224—58

Данные для выбора сечения кабелей и проводов

Таблица 84

Допускаемые длительные токовые нагрузки на проложенные открыто провода в резиновый и полихлорвиниловой изоляции с максимально допускаемой температурой жил 55° С при температуре воздуха 25° С

Сечение токопроводящей жилы, мм²	Допускаемые нагрузки А при числе жил				Сечение токопроводящей жилы, мм²	Допускаемые нагрузки А при числе жил			
	одной	двух	трех	четырех		одной	двух	трех	четырех
0,5	10	—	—	—	16	90/70	75/55	70/55	65/50
0,75	13	—	—	—	25	125/95	100/75	90/70	80/60
1	15	—	—	—	35	150/115	120/90	110/85	100/75
1,5	20	17	15	14	50	190/145	165/125	150/115	135/105
2,5	27/21	24/18	22/17	21/16	70	240/185	200/155	185/145	165/145
4	36/28	34/25	31/22	27/20	95	290/225	245/190	225/175	200/155
6	46/35	41/32	37/28	35/27	120	340/260	280/215	225/195	230/175
10	70/50	60/45	53/42	45/35	150	390/300	320/245	290/225	—

Примечание. В числителе — допускаемая нагрузка на медные провода, в знаменателе — на алюминиевые.

Таблица 85

Допускаемые длительные токовые нагрузки на проложенные открыто кабели типа КРТП, ГПШ, ГРШ6 легких и средних переносных шланговых проводов ШРПЛ, ШРПС при температуре воздуха 25° С

Сечение токопроводящих жил, мм²	Допускаемые нагрузки А при числе жил		Сечение токопроводящей жилы, мм²	Допускаемая нагрузка А при числе жил	
	трех	четырех		трех	четырех
1,5	18	—	35	125/95	120/95
2,5	28/22	—	50	155/120	145/110
4	37/29	35/—	70	200/155	185/140
6	45/35	45/35	95	245/190	215/165
10	60/46	60/45	120	285/220	260/—
16	80/60	80/60	150	330/255	300/—
25	105/80	100/75	—	—	

Примечание. В числителе — допускаемые нагрузки на медные жилы, в знаменателе — на алюминиевые.

Таблица 86

Допускаемые длительные токовые нагрузки на голые провода при температуре окружающего воздуха 25° С

Медные		Алюминиевые		Стальные	
сечение, мм²	нагрузки, А	сечение, мм²	нагрузки, А	сечение, мм²	нагрузки, А
4	50	10	75	3	23
6	70	16	105	3,5	26
10	95	25	135	4	30
16	130	35	170	5	35
25	180	50	215	6	—
35	220	—	—	—	—
50	270	—	—	—	—
70	340	—	—	—	—

ПРИЛОЖЕНИЕ 22

Технические характеристики наиболее эффективных установок и устройств для электротермообработки бетона

Установка для предварительного электроразогрева бетонной смеси в кузовах автосамосвалов

Мощность силового трансформатора 6/0,4	630 кВ·А
Расчетная производительность за сезон (130 раб. дней)	30 тыс. м³
Число постов разогрева	2
Максимальный объем порции разогреваемой смеси при разогреве смеси на 60° С в течение 7 мин	2,6 м³
Напряжение на электродах	380 В
Обслуживающий персонал	1 оператор
Автоматизация работы	Управление с пульта, блокировка подачи напряжения после закрытия шлагбаума
Мобильность	Перевозится двумя трайлерами
Калькодержатель	Объединения Череповецметаллургхимстрой (Череповец Вологодской обл.)

Поворотный бункер для предварительного электроразогрева бетонной смеси

Емкость	1,1 м³
Требуемая электрическая мощность (номинальная)	215 кВ·А
Продолжительность разогрева при температуре 70 °С	12 мин
Количество электродов	3
Характеристика электродов	Пластинчатые с горизонтальными прорезями
Напряжение на электродах	220 или 380 В
Затвор	Секторный, ручной
Масса	590 кг
Калькодержатель	Новосибирский инженерно-строительный институт (Новосибирск)

Передвижная автоматизированная установка для электропрогрева бетона

Расчетная производительность (объем прогреваемого бетона)	25 м³/сут
Мощность	126 кВ·А
Количество постов (понижающих трансформаторов с автоматическими устройствами для регулирования температуры бетона)	6
Регулирование температуры бетона	Автоматическое
Тип понижающего трансформатора	ТСПК-20А
Мощность трансформатора	21 кВ·А
Первичное напряжение	380 В
Вторичное напряжение (линейное)	48, 62, 74 и 101В
Обслуживающий персонал	1 оператор
Масса	6400 кг
Транспортное средство	Автоприцеп грузоподъемностью не менее 6,5 или 2 тракторных прицепа грузоподъемностью по 4 т
Калькодержатель	ЭПКБ Минтяжстроя СССР (Ростов-на-Дону, ул. Нансена, 148)
Номер проекта	42189.-08.00.00.00.000

Продолжение

Установка импульсного прогрева бетона

Расчетная производительность (объем прогреваемого бетона)	120 м³/сут
Мощность	600 кВ·А
Регулирование температуры бетона	Автоматическое
Питающее напряжение	380 В
Рабочее напряжение	220 В
Обслуживающий персонал	1 оператор
Масса	4000 кг
Транспортирование	Установка скомпонована в двухосном автофургоне
Калькодержатель	Бюро внедрения ЦНИИОМТП Госстроя СССР (Москва, 127434, Дмитровское ш. 9)
Номер проекта	2125-1.00.00.000

Установка для электропитания греющей опалубки

Производительность (объем прогреваемого бетона)	До 30 м³
Мощность	126 кВ·А
Регулирование температуры бетона	Автоматическое
Трансформатор	ТМОБ-63,2 шт.
Первичное напряжение	380 В
Вторичное напряжение	49, 60, 70, 85, 103, 121 В
Обслуживающий персонал	1 оператор
Масса	5700 кг
Транспортирование	Установка выполнена на салазках, перевозится автомашиной
Калькодержатель	ЦЭКБ Строймехавтоматика ЦНИИОМТП Госстроя СССР (Москва 127434, Дмитровское, ш. 9)
Номер проекта	1342.00.000

Комплектная трансформаторная подстанция *для обогрева бетона КТП-ОБ-63*

Производительность (объем обогреваемого бетона)	До 12 м³/сут
Мощность	63 кВ·А
Регулирование температуры	Ручное
Первичное напряжение	380 В
Вторичное напряжение	49, 60, 70, 85, 103, 121 В
Обслуживающий персонал	1 электрик
Масса	900 кг
КТП	Изготовляет минский электротехнический з-д им. В. И. Козлова

Пример выбора способа зимнего бетонирования

Исходные данные: фундаменты двухступенчатые, нижняя ступень 5200×3700 мм, высота ступени 600 мм; верхняя ступень 3200×1700 мм, высотой 600 мм; подколонник 1600×1700 мм, высотой 2700 мм. Бетон марки М 200 на шлакопортландцементе марки 400, расход цемента 340 кг/м³. Заданная прочность к моменту замерзания должна быть не менее 50% R_{28}. Бетонирование производится при температуре —15° С в феврале в Челябинске. Скорость ветра не более 4 м/с. Суточный поток бетонной смеси 40 м³. Опалубка применяется деревянная щитовая толщина 25 мм, в качестве утеплителя приняты минераловатные плиты. Фундамент армирован сетками ∅ 20 мм, вес сеток до 300 кг.

Указанные фундаменты могут быть забетонированы согласно рекомендациям раздела 1, способами термоса, с предварительным электроразогревом бетонной смеси, с периферийным электропрогревом, с применением греющей опалубки, а также с применением бетона с противоморозными добавками.

Определяем технико-экономические показатели вышеперечисленных способов зимнего бетонирования.

Способ термоса

1. Определяем модуль поверхности

$$M_{\text{п}} = \frac{F_{\text{охл}}}{V} = \frac{67{,}5}{18} = 3{,}8 \text{ м}^{-1} = 4\ \frac{1}{M},$$

где $F_{\text{охл}} = 2 \cdot 5{,}2 \cdot 3{,}7 + 0{,}6 \cdot 17{,}8 + 0{,}6 \cdot 0{,}8 + 2 \cdot 0{,}7 \cdot 2{,}7 +$

$+ 2 \cdot 1{,}6 \cdot 2{,}7 = 38{,}48 + 10{,}68 + 5{,}9 + 3{,}8 + 8{,}64 = 67{,}5$ м²;

$F_{\text{опал}} = 0{,}6 \cdot 17{,}8 + 0{,}6 \cdot 9{,}8 + 2 \cdot 0{,}7 \cdot 2{,}7 + 2 \cdot 1{,}6 \cdot 2{,}7 = 29{,}1$ м²;

$F_{\text{отк}} = 5{,}2 \cdot 3{,}7 = 19{,}24$ м²;

$V = 5{,}2 \cdot 3{,}7 \cdot 0{,}6 + 3{,}2 \cdot 1{,}7 \cdot 0{,}6 + 1{,}6 \cdot 0{,}7 \cdot 2{,}73 = 18$ м³.

При расчете $\tau_{\text{охл}}$ принято ориентировочно, что коэффициент теплопередачи в грунт и опалубку равны.

2. Согласно формулы (2) и табл. 4, определим $t_{\text{б.н}}$ для условия: $t_{\text{см}} = 35°$ С, время транспортирования бетонной смеси 20 мин, автосамосвалом МАЗ-500, время укладки бетонной смеси 10 мин,

$$t_{\text{б.н}} = 30° \text{ С}.$$

3. Определяем среднюю температуру остывания по формуле (7):

$$t_{\text{б.ср}} = 5 + \frac{30 - 5}{1{,}03 + 0{,}18 \cdot 1{,}4 + 0{,}006 \cdot 30} = 17{,}6° \text{ С}.$$

4. Определяем по табл. 26 для $t_{\text{б.ср}} = 17{,}6°$ С, время набора прочности 50% R_{28} $\tau = 144$ ч.

5. Определяем коэффициент теплопередачи ограждения по формуле (12):

$$K = \frac{30 \cdot 2512{,}8 + 192 \cdot 340}{3{,}6 \cdot 144 \cdot 4\,(17{,}6 + 15)} = 2{,}08 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

6. Так как для опалубки из досок ($\delta = 25$ мм) при скорости ветра

4 м/с $K=4{,}66$ Вт/(м²·град) (табл. 21), следовательно, требуется утепление. По формуле (13) находим толщину утеплителя:

$$2{,}08=\frac{1}{\frac{1}{20{,}8}+\frac{0{,}025}{0{,}20}+\frac{\delta_{ут}}{0{,}046}},\quad \text{откуда } \delta_{ут}=0{,}014 \text{ м}.$$

Принимаем по табл. 22 один слой минераловатных плит толщиной 20 мм. Утеплитель открытой горизонтальной поверхности принимаем из слоя пергамина и минераловатных плит толщиной 40 мм, так как плиты выпускаются толщиной 20 и 40 мм.

7. Определяем затраты:

а) затраты по установке и разборке опалубки, армированию и укладке бетонной смеси по данным п. 17.6:

$$З_{опал}=1{,}15\cdot 0{,}359\frac{29.1}{18}=0{,}667 \text{ руб/м}^3;$$

$$Т_{опал}=0{,}081\frac{29{,}1}{18}=0{,}131 \text{ чел.-дн/м}^3,$$

где 1,15 — районный коэффициент для района Челябинска; 0,359 руб/м², 0,081 чел.-дн/м² — соответственно расценка и норма времени на установку и разборку опалубки (табл. 73);

$$З_{арм}=1{,}15\,(0{,}237\cdot 1+0{,}442\cdot 4):18=0{,}128 \text{ руб/м}^3;$$

$$Т_{арм}=(0{,}055\cdot 1+0{,}102\cdot 4):18=0{,}026 \text{ чел.-дн/м}^3,$$

где 0,237 и 0,442 руб/шт., 0,055 и 0,102 чел.-дн/шт. — соответственно расценки и нормы времени на установку сеток; 1 и 4 — соответственно количество горизонтальных и вертикальных сеток в фундаменте;

$З_{укл}=1{,}15\cdot 0{,}157=0{,}181$ руб/м³; $Т_{укл}=0{,}034$ чел.-дн/м³;

б) затраты на подогрев воды и заполнителей по п. 17.7: $С_{пвз}$ по табл. 74 для $t_{н.в}=-15°$ С, $t_{см}=35°$ С с учетом того, что в Челябинске стоимость пара 3,5 руб. за 1 Гкал (табл. 75), следовательно,

$$С_{пвз}=0{,}225\frac{3{,}5}{4{,}62}=0{,}17 \text{ руб/м}^3;$$

$$З_{пвз}=1{,}15\cdot 0{,}031=0{,}036 \text{ руб/м}^3;\quad Т_{пвз}=0{,}01 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

в) затраты на установку и разборку утеплителя по п. 17.8 (см. табл. 69):

$$З_{ут}=1{,}15\cdot 0{,}019\frac{19{,}2\cdot 1}{18}+1{,}15\cdot 0{,}060\frac{29{,}1\cdot 1}{18}=0{,}135 \text{ руб/м}^3;$$

$$Т_{ут}=0{,}005\frac{19{,}2\cdot 1}{18}+0{,}014\frac{29{,}1\cdot 1}{18}=0{,}028 \text{ чел.-дн/м}^2;$$

$$С_{ут}=\frac{33{,}9\cdot 0{,}04\cdot 19{,}2+0{,}12\cdot 19{,}2}{5\cdot 18}+$$

$$+\frac{33{,}9\cdot 0{,}02\cdot 29{,}1}{5\cdot 18}=0{,}534 \text{ руб/м}^3,$$

где 0,019 и 0,060 руб/м²; 0,05 и 0,014 чел.-дн/м² — соответственно расценки и нормы времени по установке и разборке утепления горизонтальных и вертикальных поверхностей (табл. 73);

33,9 руб/м³ — стоимость минераловатных прошивных матов (табл. 22);

0,04 и 0,02 м — толщина утеплителя соответственно открытой и опалубливаемой поверхности;

5 — оборачиваемость утеплителя (табл. 22);

г) затраты по контролю качества (см. п. 17.9)

$$З_к = 1{,}15 \cdot 0{,}049 \left(30 + \frac{144 - 96}{24}\right) \frac{6}{18} + 0{,}026 \frac{6}{18} = 0{,}605 \text{ руб/м}^3.$$

$$T_к = 0{,}0125 \cdot 32 \frac{6}{18} + 0{,}005 \frac{6}{18} = 0{,}122 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

где 0,049 и 0,0125 руб/замер; 0,0125 и 0,005 чел.-дн/замер — по табл. 73; 6 — количество скважин в фундаменте.

8. Общие дополнительные затраты по формулам (85)—(90):

$$C'_{мат} = 0{,}534 \text{ руб/м}^3; \; C''_{мат} = 0{,}17 \text{ руб/м}^3;$$

$$З_т = (1{,}16 - 1)(0{,}667 + 0{,}128 + 0{,}181) + 0{,}135 + 0{,}036 + 0{,}605 = 0{,}932 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_т = 0{,}16(0{,}131 + 0{,}026 + 0{,}034) + 0{,}01 + 0{,}028 + 0{,}12 = 0{,}189 \text{ чел.-дн/м}^3,$$

где 1,16 — $K_{нр}$ (табл. 72), так как бетонирование ведется в феврале,

$$S_т = П_т = 1{,}09 \cdot 0{,}534 + 0{,}17 + 1{,}15 \cdot 0{,}932 = 1{,}81 \text{ руб/м}^3.$$

Предварительный электроразогрев бетонной смеси

1. $t_{раз} = 80°$ (принимаем по п. 7.9).

2. Согласно формуле (2), табл. 4 определяем начальную температуру бетона после укладки $t_{б.н}$ для следующих условий: $t_{б.см} = 80°$ С, время транспортирования 5 мин автосамосвалом МАЗ-500, время укладки бетонной смеси 10 мин:

$$t_{б.н} = 75° \text{ С}.$$

3. Определим среднюю температуру остывания по формуле (7):

$$t_{б.ср} = 5 + \frac{75 - 5}{1{,}03 + 0{,}181 \cdot 4 + 0{,}006 \cdot 75} = 36{,}8° \text{ С}.$$

4. Для $t_{б.ср} = 36{,}8°$ С и $R = 50\%$ R_{28} находим из табл. 26:

$$\tau_{ост} = 48 \text{ ч}.$$

5. По табл. 20, по $\tau_{ост}$ и $t_{б.ср}$ находим тепловыделение:

$$Э = 153{,}6 \text{ кДж/кг}.$$

6. $$K = \frac{2512{,}8 \cdot 75 + 153{,}6 \cdot 340}{48 \cdot 4(36{,}8 + 15)3{,}6} = 6{,}7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

Так как K — требуемое больше K опалубки — 4,66 (табл. 21), уменьшаем температуру разогрева.

7. Принимаем $t_{см}=60°$ С, аналогично вышеизложенному находим:

$$t_{б.н}=55°\text{ С};$$

$t_{б.ср}=29{,}5°$ С, $\tau_{ост}=2{,}75$ сут$=66$ ч; $Э=165$ кДж/кг и вновь определяем

$$K=\frac{2512{,}8\cdot 55+165\cdot 340}{66\cdot 4\,(29{,}5+15)\,3{,}6}=4{,}6\ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{град)};$$

$$K_{\text{требуемое}}=K_{\text{опал}}$$

8. По формуле (20) определим P:

$$P=\frac{2512{,}8\,(60-5)\,1{,}16\cdot 1{,}1\cdot 60\cdot 3{,}2}{10^3\cdot 4{,}18\cdot 0{,}95\cdot 13}=630\ \text{кВт},$$

где 3,2 м^3 — объем разогреваемой бетонной смеси.

9. По табл. 66 принимаем трансформатор ТМ-630/6 стоимостью 1600 руб.

10. По формуле (28) определяем расход электроэнергии:

$$W=\frac{630\cdot 13}{60\cdot 3}=45{,}5\ \text{кВт-ч}.$$

11. По формуле (122) находим $C_{обор}$:

$$C_{обор}=\frac{1600\cdot 0{,}064+2140\cdot 0{,}33}{342\cdot 96}+\frac{0{,}08\,(1600+2140)}{342\cdot 96}+$$

$$+\frac{38\cdot 1}{342\cdot 96}=0{,}04\ \text{руб/м}^3,$$

где $K_1=1600$ (табл. 66); $K_2=2140$ руб.; $n_{з.см}=342$ (табл. 76);

$$П_{см}=\eta\frac{V_м\cdot 8}{0{,}20}=0{,}75\frac{3{,}2\cdot 8}{0{,}2}=96\ \text{м}^3,$$

где 0,20 r — среднее время обслуживания одной машины;
$V_м$ — объем разогреваемой бетонной смеси;
8 — продолжительность смены, ч;
η — коэффициент использования установки по времени, равный 0,75.
Удельные капитальные затраты

$$K=\frac{1600+2140}{342\cdot 96}=0{,}11\ \text{руб/м}^3.$$

12. Затраты на опалубку, армирование и укладку бетонной смеси принимаем такие, как для способа термоса:

$$З_i=(1{,}16-1{,}0)\,(0{,}667+0{,}128+0{,}181)=0{,}156\ \text{руб/м}^3;$$

$$T_i=0{,}16\,(0{,}131+0{,}026+0{,}034)=0{,}03\ \text{чел.-дн/м}^3.$$

13. Затраты на подогрев воды и заполнителей аналогичны затратам при способе термоса:

$$З_{пвз}=0{,}036\ \text{руб/м}^3;\quad T_{пвз}=0{,}01\ \text{чел.-дн/м}^3;$$

для $t_{см}=10°$ С $t_{н.в}=-15°$ С.
из табл. 74 для Мосэнерго

$$C_{\text{пвз}} = 0,109,$$

для Челябинска

$$C_{\text{пвз}} = 0,109\frac{3,5}{4,62} = 0,082 \text{ руб/м}^3.$$

14. Заработная плата и трудоемкость, связанная с простоем транспорта на посту разогрева, определена на основании калькуляции, составленной трестом Челябметаллургстрой:

$$З_{\text{тр}} = \frac{12 \cdot 0,035}{3,2} = 0,13 \text{ руб/м}^3; \quad T_{\text{тр}} = \frac{0,2}{3,2} = 0,062 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

где 12 мин (0,2 ч) — среднее время разогрева бетонной смеси в кузове автомашины; 0,035 руб. — плата за 1 мин простоя автотранспорта;
3,2 м³ — объем разогреваемой бетонной смеси.

15. По расчету опалубка не утепляется, поэтому считаем только затраты на утепление горизонтальной поверхности ($\delta_{\text{ут}}$=0,02 м и слой пергамина):

$$C_{\text{ут}} = \frac{33,9 \cdot 0,02 \cdot 19,2 + 0,12 \cdot 19,2}{5 \cdot 18} = 0,17 \text{ руб/м}^3;$$

$$З_{\text{ут}} = 1,15 \cdot 0,019\frac{19,2 \cdot 1}{18} = 0,023 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{ут}} = 0,005\frac{19,2 \cdot 1}{18} = 0,005 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

16 Затраты по контролю качества (см. п. 17.9):

$$З_{\text{к}} = 1,15 \cdot 0,049\left(12 + \frac{66-24}{4}\right)\frac{6}{18} + 0,026\frac{6}{18} = 0,380 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{к}} = 0,0125 \cdot 22,5\frac{6}{18} + 0,005\frac{6}{18} = 0,10 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

17. Оплата за электроэнергию по формуле (125)

$$C_{\text{эн}} = \frac{17,9 \cdot 630 \cdot 1}{342 \cdot 96} + 0,0068 \cdot 45,5 = 0,65 \text{ руб/м}^3;$$

где C_1=17,9; C_3=0,0068 (табл. 77 — для Челябэнерго).

18. Затраты на обслуживание установок прогрева по п. 17.12.

$$З_{\text{обсл}} = 11,564/96 = 0,12 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{обсл}} = 2/96 = 0,02 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

19. Общие дополнительные затраты по формулам (85), (86), (91)—(94):

$$C'_{\text{мат}} = 0,04 + 0,17 = 0,21 \text{ руб/м}^3;$$

$$C''_{\text{мат}} = 0,082 + 0,65 = 0,732 \text{ руб/м}^3;$$

$$З_{пр.р} = 0,156 + 0,036 + 0,023 + 0,38 + 0,12 = 0,695 \text{ руб/м}^3;$$

$$Т_{пр.р} = 0,03 + 0,01 + 0,005 + 0,1 + 0,02 = 0,165 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$S_{пр.р} = 1,09 \cdot 0,21 + 0,732 + 1,15 \cdot 0,695 = 1,76 \text{ руб/м}^3;$$

$$П_{пр.р} = 1,76 + 0,15 \cdot 0,11 = 1,78 \text{ руб/м}^3.$$

Электропрогрев

Дополнительные условия: $t_н = 40°$ С; $P = 5$ град/ч; электроды нашивные сечением 40×3 мм.

1. Аналогично вышеизложенному [формула (2), табл. 4] для $t_{б.н} = 5°$ С находим при времени транспортирования 15 мин автосамосвалом МАЗ-500 и времени укладки 10 мин — $t_{см} = 10°$ С.

2. Согласно примера 1 (разд. 4) определяем продолжительность изотермического выдерживания $\tau_и = 16$ ч для следующих условий:

средняя температура за период подъема $(5+40) : 2 = 22,5°$ С;

время подъема температуры $(40—5) : 5 = 7$ ч;

средняя температура за период остывания до 5 —23° С; время остывания конструкции без учета экзотермии цемента 40 ч.

3. Мощность в период подъема температуры $P_п = 1,51$ кВт/м³ [формула (8)], мощность в период изотермического выдерживания $P_и = 1,1$ кВт/м³.

4. *Мощность установки на период подъема температуры с учетом* сменного потока бетона 40 м³:

$$P_п = 1,51 \cdot 40 = 60,4 \text{ кВт};$$

Следовательно, для прогрева необходим один прогревный трансформатор ТМОБ-63.

5. Расход электроэнергии по формуле (11)

$$W = 1,51 \cdot 7 \cdot 1,1 \cdot 16 = 28,17 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3.$$

6. Затраты на опалубку, армирование и укладку бетонной смеси из расчета для способа термоса:

$$З_i = 0,156 \text{ руб/м}^3; \quad Т_i = 0,03 \text{ чел -дн/м}^3;$$

7. Затраты на подогрев воды и заполнителей, а также по утеплению аналогичны затратам при способе предварительного электроразогрева:

$$З_{пвз} = 0,036 \text{ руб/м}^3; \quad Т_{пвз} = 0,01 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$С_{пвз} = 0,082 \text{ руб/м}^3; \quad З_{ут} = 0,023 \text{ руб/м}^3;$$

$$Т_{ут} = 0,005 \text{ чел.-дн/м}^3; \quad С_{ут} = 0,17 \text{ руб/м}^3.$$

8. По формуле (124) определяем $С_{обор}$:

$$С_{обор} = \frac{280 \cdot 0,064 \cdot 1 + 462 \cdot 0,5}{342 \cdot 40} \cdot \frac{23}{8} + \frac{0,08 \cdot 280}{342 \cdot 40} \cdot \frac{9 \cdot 23}{342 \cdot 40} = 0,067 \text{ руб/м}^3.$$

где 280 — стоимость трансформатора ТМОБ-63 (табл. 67); 0,064 и 0,5 — норма амортизационных отчислений;
1 — число трансформаторов;
23 — количество перестановок трансформатора в год.
Удельные капитальные затраты

$$K_i = \frac{280 + 462}{342 \cdot 40} = 0{,}05 \text{ руб/м}^3.$$

9. Стоимость электроэнергии по формуле (125)

$$C_{эн} = \frac{17{,}9 \cdot 63}{342 \cdot 40} \frac{23}{8} + 0{,}00068 \cdot 28{,}17 = 0{,}427 \text{ руб/м}^3.$$

10. Заработная плата, трудоемкость и стоимость электродов по п. 17.13 и табл. 73.

Для нашивных электродов по табл. 73

$$З_{эл} = 1{,}15 \cdot 0{,}144 \frac{29{,}1}{18} = 0{,}258 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{эл} = 0{,}038 \cdot 1{,}617 = 0{,}06 \text{ чел.-дн/м}^3,$$

где 29,1 и 18 — соответственно опалубливаемая поверхность и объем конструкций;

$$C_{эл} = 0{,}12 \frac{2{,}82}{5} 1{,}617 = 0{,}11 \text{ руб/м}^3,$$

где 0,12 руб. — стоимость 1 кг стали;
2,82 кг — масса нашивных электродов на 1 м² опалубки;
5 — оборачиваемость электродов.

11. Затраты на обслуживание установок прогрева по п. 17.12:

$$З_{обсл} = 11{,}564/40 = 0{,}29 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{обсл} = 2/40 = 0{,}05 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

12. Затраты по контролю качества по п. 17.9

$$З_к = 1{,}15 \cdot 0{,}049 \left(\frac{7}{2} + \frac{16 + 40}{4} \right) 0{,}3 + 0{,}0125 \cdot 0{,}3 = 0{,}29 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_к = 0{,}0125 \cdot 17 \cdot 0{,}3 + 0{,}005 \cdot 0{,}3 = 0{,}066 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

13. Дополнительные затраты по формулам (85), (86) и (95)—(98):

$$C'_{мат} = 0{,}17 + 0{,}067 + 0{,}11 = 0{,}347 \text{ руб/м}^3;$$

$$C''_{мат} = 0{,}082 + 0{,}427 = 0{,}509 \text{ руб/м}^3;$$

$$З_{эп} = 0{,}156 + 0{,}036 + 0{,}023 + 0{,}29 + 0{,}29 + 0{,}258 = 1{,}053 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{эп} = 0{,}03 + 0{,}01 + 0{,}005 + 0{,}066 + 0{,}05 + 0{,}06 = 0{,}221 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$S_{эп} = 1{,}09 \cdot 0{,}347 + 0{,}509 + 1{,}15 \cdot 1{,}053 = 2{,}1 \text{ руб/м}^3;$$

$$П_{эп} = 2{,}1 + 0{,}15 \cdot 0{,}05 = 2{,}11 \text{ руб/м}^3.$$

Греющая опалубка

Доколнительные условия: греющая опалубка из стальных щитов с минераловатными матами толщиной 40 мм и фанерой толщиной 3 мм, с нагревательным кабелем КНМС (коэффициент теплопередачи опалубки из табл. 45—3,44 Вт/(м²·град).

1. Аналогично вышеизложенному для электропрогрева $t_{см}=10°$ С; продолжительность изотермического выдерживания 13 ч для обеспечения требуемой прочности 50% марочной выбрана для следующих условий:

температура изотермического прогрева — 40° С;

средняя температура за период подъема —22,5° С;

время подъема температуры —7 ч;

средняя температура за период остывания — до 5—23° С;

время остывания конструкции без учета экзотермии цемента— 54 ч.

2. Мощность, необходимую для подъема температуры, определяем по формуле (45):

$$P_{п}=0{,}58\cdot 64{,}6\cdot 1{,}3=48{,}7 \text{ кВт};$$

где 0,58 кВт/м² — удельная мощность нагревателей (см. рис. 37); $\frac{29{,}1}{18}40=64{,}6$ м² — площадь опалубливаемой поверхности при суточном потоке бетона, равном 40 м³;

1,3 — коэффициент, учитывающий наличие открытых ребер каркаса опалубки.

Для мощности $P_{п}=48{,}7$ кВт необходима одна установка для электропитания термоактивной опалубки мощностью 63 кВт, стоимостью 2400 руб. (п. 17.10).

3. Расход электроэнергии по формуле (11)

$$W=1{,}22\cdot 7+1{,}22\cdot 0{,}85\cdot 13=22 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где 0,85 — коэффициент, учитывающий отключение группы щитов по достижении расчетных температур (см. п. 9,56).

4. Аналогично пп. 6 и 7 для электропрогрева находим:

$$З_{i}=0{,}156 \text{ руб/м}^3;\quad T_{i}=0{,}03 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$З_{пвз}=0{,}036 \text{ руб/м}^3;\quad T_{пвз}=0{,}01 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$C_{пвз}=0{,}082 \text{ руб/м}^3;\quad З_{ут}=0{,}023 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{ут}=0{,}005 \text{ чел.-дн/м}^3;\quad C_{ут}=0{,}17 \text{ руб/м}^3.$$

5. По формуле (124) определяем

$$C_{обор}=\frac{2400\cdot 0{,}064}{342\cdot 40}\,\frac{74}{8}+\frac{0{,}08\cdot 2400}{342\cdot 40}=0{,}133 \text{ руб/м}^3.$$

Удельные капитальные затраты

$$K_{i}=\frac{2400}{342\cdot 40}=0{,}175 \text{ руб/м}^3.$$

6. Стоимость электроэнергии по формуле (125)

$$C_{эн}=\frac{17{,}9\cdot 63}{342\cdot 40}\,\frac{20}{8}+0{,}0068\cdot 22=0{,}356 \text{ руб/м}^3.$$

7. Затраты по контролю качества по п. 17.9:

$$З_к = 0{,}056\left(\frac{7}{2} + \frac{13+54}{4}\right)0{,}3 + 0{,}026 \cdot 0{,}3 = 0{,}35 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_к = 0{,}0125\,(3{,}5 + 16{,}75)\,0{,}3 + 0{,}005 \cdot 0{,}3 = 0{,}08 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

8. Затраты на обслуживание установок прогрева по п. 17.12:

$$З_{обсл} = 11{,}564/40 = 0{,}29 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{обсл} = 2/40 = 0{,}05 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

9. Стоимость дополнительных материалов для греющей опалубки по п. 17.6:

$$C_{опал} = 41{,}27 \cdot 1{,}617 - \frac{30 \cdot 1{,}617}{100} = 0{,}182 \text{ руб/м}^3;$$

где 41,27 руб/м^2 — стоимость греющей опалубки (по расчету ЦНИИОМТП); 30 руб/м^2 — стоимость стальной опалубки (по расчету ЦНИИОМТП); 100 — оборачиваемость опалубки.

10. Дополнительные затраты по формулам (85), (86) и (99)—(102):

$$C'_{мат} = 0{,}182 + 0{,}17 + 0{,}133 = 0{,}485 \text{ руб/м}^3;$$

$$C''_{мат} = 0{,}082 + 0{,}356 = 0{,}438 \text{ руб/м}^3;$$

$$З_{гр.о} = 0{,}156 + 0{,}023 + 0{,}036 + 0{,}35 + 0{,}29 = 0{,}855 \text{ руб/м}^3.$$

$$T_{гр.о} = 0{,}03 + 0{,}005 + 0{,}01 + 0{,}08 + 0{,}05 = 0{,}175 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$S_{гр.о} = 1{,}09 \cdot 0{,}485 + 0{,}438 + 1{,}15 \cdot 0{,}855 = 1{,}95 \text{ руб/м}^3;$$

$$П_{гр.о} = 1{,}95 + 0{,}15 \cdot 0{,}175 = 1{,}98 \text{ руб/м}^3.$$

Бетон с противоморозными добавками

1. Принимаем $t_{см} = 5°$ С. Аналогично вышеизложенному находим $t_{б.н} = 2°$ С.

2. Расчетную конечную температуру для добавки 10% НН принимаем $t_{б.к} = -15°$ С.

3. Средняя температура за период остывания по формуле (7) $t_{б.ср} = -14°$ С.

4. По табл. 34 находим время набора прочности, равной 30% марочной; $\tau = 10$ сут.

5. Так как количество добавки взято 10% НН; следовательно, утепление не требуется ($З_{ут} = 0$; $T_{ут} = 0$; $C_{ут} = 0$).

6. Аналогично пп. 6 и 7 для электропрогрева находим:

$$З_i = 0{,}156 \text{ руб/м}^3; \quad T_i = 0{,}03 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$З_{пвз} = 0{,}036 \text{ » }; \quad T_{пвз} = 0{,}01 \text{ » };$$

$$C_{пвз} = 0{,}048 \text{ » };$$

7. Затраты на контроль качества:

$$З_к = 0{,}056\frac{24 \cdot 10}{8}\,0{,}3 + 0{,}026 \cdot 0{,}3 = 0{,}36 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_к = 0{,}0125 \cdot 30 \cdot 0{,}3 + 0{,}005 \cdot 0{,}3 = 0{,}08 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

8. Затраты, связанные с внесением противоморозных добавок

$$З_{хд} = 0,155 \text{ руб/м}^3;$$

$$Т_{хд} = 0,022 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$С_{хд} = 0,10 \cdot 340 \cdot 0,1 = 3,4 \text{ руб/м}^3;$$

где 0,10 — количество добавок от массы цемента;
340 кг — количество цемента в 1 м³ бетона;
0,1 руб. — стоимость 1 кг НН.

9. Дополнительные затраты:

$$С'_{мат} = 3,40 \text{ руб/м}^3;$$

$$С''_{мат} = 0,048 \text{ руб/м}^3;$$

$$З_{хд} = 0,156 + 0,036 + 0,36 + 0,155 = 0,707 \text{ руб/м}^3;$$

$$Т_{хд} = 0,03 + 0,01 + 0,08 + 0,022 = 0,142 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$С_{хд} = П_{хд} = 1,09 \cdot 3,40 + 0,048 + 1,15 \cdot 0,707 = 4,56 \text{ руб/м}^3.$$

10. Сравнение вариантов производства работ различными способами дано в табл. 87.

Таблица 87

№ п.п.	Способ бетонирования	$С_i$, руб/м³	$Т_i$, чел.-дн/м³	$П_i$, руб/м³
1	Термоса	1,81	0,19	1,81
2	Предварительный электроразогрев	1,76	0,16	1,78
3	Электропрогрев	2,10	0,22	2,11
4	Греющая опалубка	1,95	0,18	1,98
5	Противоморозные добавки	4,56	0,14	4,56

Ориентировочные нормы расхода тепловой и электрической энергии при зимнем бетонировании

Способ зимнего бетонирования	Область применения по модулю поверхности конструкции $M_п$	Расход энергоресурсов на 1 м³ бетона					
		на подогрев заполнителей при приготовлении смеси, тыс. ккал		на разогрев смеси или тепловую обработку бетона на стройплощадке, кВт·ч			
		в пределах области применения	при $M_п$-6	при модуле поверхности конструкции			
				3—6	6—10	10—15	15—20
Термоса	3—8	22—24	23	—	—	—	—
Применение бетонов с противоморозными добавками	3—20	10—12	11	—	—	—	—
Предварительный электроразогрев бетонной смеси	3—10	14	14	24—36	36—48	—	—
Электроразогрев бетона	3—20	16	16	17—52	52—95	95—140	140—175
Обогрев в греющей опалубке и с применением греющих матов	3—8	16	16	17—52	52—95	95—140	140—175
Индукционный нагрев	6—15	16	16	—	67—125	125—175	—
Инфракрасный обогрев	3—20	16	16	30—87	87—140	140—25	205—265

Примечание. Приведенные данные относятся к выдерживанию бетона в утепленной опалубке при температуре наружного воздуха минус 20° С.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3
1. Общие положения 5
2. Приготовление и транспортирование бетонной смеси . 9
3. Укладка бетонной смеси 16
4. Режимы тепловой обработки бетона и требуемая мощность 20
5. Выдерживание бетона способом термоса 36
6. Применение бетонов с противоморозными добавками . 70
7. Предварительный электроразогрев бетонной смеси . . 84
8. Электропрогрев бетона 95
9. Обогрев бетона в греющей опалубке 130
10. Индукционный нагрев бетона 161
11. Инфракрасный обогрев бетона 169
12. Бетонирование в тепляках. Паропрогрев бетона . . . 177
13. Замоноличивание стыков 182
14. Особенности производства бетонных работ в Северной строительно-климатической зоне 193
15. Электрооборудование 204
16. Контроль за производством работ и качеством бетона . 217
17. Экономическое обоснование выбора способа зимнего бетонирования 222
18 Техника безопасности 240
Приложение 1. Расчетная температура наружного воздуха и скорость ветра для зимнего периода для различных пунктов территории СССР по месяцам 246
Приложение 2. Методика расчета тепловыделения цемента 250
Приложение 3. Примеры подбора конструкции опалубки при термосном остывании бетона 251
Приложение 4. Пример определения тепловых параметров термосного остывания монолитной бетонной плиты, бетонируемой на мерзлом основании 254
Приложение 5. Методика определения коррозионного воздействия добавок на бетон 255
Приложение 6. Методика определения образования высолов на поверхности бетона 255
Приложение 7. Определение расчетной температуры твердения бетона, расчет утепления конструкции 256
Приложение 8. Методика определения реакционной способности заполнителей 260
Приложение 9. Технологическая схема и расчеты при изготовлении растворов добавок 262
Приложение 10. Основные показатели водных растворов добавок 266
Приложение 11. Методика определения подвижности бетонной смеси, разогретой электрическим током 270
Приложение 12. Удельное электрическое сопротивление бетона на портландцементах разных заводов 272
Приложение 13. Методика определения удельного электрического сопротивления бетона 273
Приложение 14. Пример расчета электропрогрева . . . 274
Приложение 15. Пример пользования номограммой на рис. 31 274
Приложение 16. Технология изготовления ТАГП . . . 275

Стр.

Приложение 17. Примеры расчета индукционных систем . 279
Приложение 18. Примеры расчетов параметров инфракрасных установок 283
Приложение 19. Примеры расчета толщины оттаиваемой прослойки грунта 289
Приложение 20. Последовательность операций и применяемое оборудование для возведения свай-стоек с замоноличиванием нижнего конца свай (по опыту строительства в Норильске) 290
Приложение 21. Данные для выбора сечения кабелей и проводов 296
Приложение 22. Технические характеристики наиболее эффективных установок и устройств для электротермообработки бетона 298
Приложение 23. Пример выбора способа зимнего бетонирования 301
Приложение 24. Ориентировочные нормы расхода тепловой и электрической энергии при зимнем бетонировании . . . 311

ЦНИИОМТП Госстроя СССР

РУКОВОДСТВО
ПО ПРОИЗВОДСТВУ БЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ, РАЙОНАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА, СИБИРИ И КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией *Г. А. Жигачева*
Редактор *С. В. Беликина*
Мл. редакторы *Л. И. Месяцева, И. А. Баринова, А. Н. Ненашева*
Технический редактор *Ю. Л. Циханкова*
Корректор *Н. П. Чугунова*

Н/К

Сдано в набор 23.10.82. Подписано в печать 15.02.82. Т-03187. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 16,38. Усл. кр.-отт. 16,70. Уч.-изд. л. 19,61. Тираж 20 000 экз. Изд. № XII-9447. Заказ № 901. Цена 1 р. 10 к.

Стройиздат
101442, Москва, Каляевская, 23а

gost.e-ecolog.ru

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли 600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7