ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ
ОРГАНИЗАЦИИ, МЕХАНИЗАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ
СТРОИТЕЛЬСТВУ ГОССТРОЯ СССР

РУКОВОДСТВО

ПО ПРОИЗВОДСТВУ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
Москва — 1967

gost.e-ecolog.ru

УДК 693.547.3

Руководство разработано в развитие главы СНиП III-В.1-62* «Бетонные и железобетонные конструкции монолитные. Общие правила производства и приемки работ»; содержит рекомендации по технологии производства бетонных и железобетонных работ в зимних условиях, требования к составляющим бетонной смеси, приготовлению, транспортированию и укладке ее, данные по выдерживанию бетона безобогревным методом и с прогревом; требования по контролю качества работ; составлено с учетом результатов научно-исследовательских работ и современного опыта строительства.

Основные положения руководства распространяются на все климатические зоны Советского Союза. Особенности организации бетонных работ в районах Крайнего Севера и распространения вечномерзлых грунтов изложены в приложении. Предназначено руководство для работников проектных, строительных, строительно-монтажных организаций, бетонных заводов, преподавателей и студентов вузов и техникумов.

Руководство разработано Центральным научно-исследовательским и проектно-экспериментальным институтом организации, механизации и технической помощи строительству (ЦНИИОМТП) Госстроя СССР.

Для удобства пользования руководством текст, заимствованный из глав СНиП III-В.1-62* и III-В.5-62, отмечен на полях слева вертикальной чертой, а таблицы обозначены двойной нумерацией.

С целью составления общесоюзного нормативного документа ЦНИИОМТП просит все замечания и пожелания по данному руководству направлять по адресу: Москва, И-434, Дмитровское шоссе, дом 9.

3—2—4
План IV кв., 1965 г., № 45

Предисловие

Из общего объема монолитного бетонирования 50% выполняются в зимних условиях. Производство бетонных работ в зимнее время является исключительно важным ввиду широкого развития строительства в районах Крайнего Севера и Сибири. На территории многих районов зимние методы производства бетонных и железобетонных работ являются ведущими, их приходится применять и в летние месяцы сурового климата. В практике строительства получили развитие методы, направленные к сохранению температурно-влажностных условий твердения бетона в зимнее время. Эти методы делятся на безобогревные и методы искусственного прогрева.

К безобогревному методу выдерживания бетона в зимних условиях относятся способ термоса и термос с противоморозными добавками. К методу искусственного прогрева относятся электропрогрев, паро- и воздухопрогрев. Выдерживание бетона способом замораживания категорически запрещается.

Метод термоса основан на том, что количество тепла, аккумулированного бетонной смесью при изготовлении из нагретых материалов и экзотермического тепла цемента, достаточно для набора бетоном требующейся прочности за время охлаждения бетона до момента замерзания.

Метод термоса с противоморозными добавками основан на свойстве бетона набирать прочность при отрицательных температурах. В качестве противоморозных добавок широкое распространение получили хлористый кальций, хлористый натрий, азотнокислый натрий и углекислый калий.

Метод искусственного прогрева уложенного в дело бетона заключается в повышении температуры бетона до расчетной и поддержании ее в течение определенного времени, за которое бетон набирает заданную прочность, после чего производится распалубка и нагружение конструкции.

В зависимости от массивности конструкции, метеорологических условий, заданной прочности, наличия электроэнергии и теплоносителя определяется метод выдерживания бетона в зимних условиях. Для составления технико-экономических расчетов в руководстве приведены необходимые цифровые данные.

Методику технико-экономических расчетов следует принимать по «Инструкции по определению годового экономического эффекта, получаемого в результате внедрения новой техники в строительстве» (СН 248—63).

Основой разработки данного руководства явились государственные общесоюзные стандарты, строительные нормы и правила и ранее изданные документы: «Инструкция по производству бетонных и железобетонных работ в промышленном и гражданском строительстве в зимних условиях» (1959 г.), «Справочное пособие по строительным работам в зимнее время» (1961 г.), «Руководство по электропрогреву бетонных и железобетонных конструкций и изделий» (1964 г.), «Инструкция по применению бетона с добавками солей, твердеющего на морозе» (СН 42—59), «Временные указания по применению бетонов, твердеющих на морозе с добавкой поташа» (1962 г.), «Рекомендации по применению в строительстве растворов и бетонов с добавками поташа и нитрита натрия в зимних условиях без прогрева» (1964 г.), «Временные указания на приготовление и применение в зимних условиях строительных растворов с добавкой нитрита натрия» (НИИМосстрой Главмосстроя, 1965 г.).

Руководство разработано лабораторией зимних работ ЦНИИОМТП.

Подготовка материалов выполнена: разделы 1, 2, 5, 6, 7 и приложения 1—8 — кандидатами технических наук В. И. Муха, П. И. Ковалевским; разделы 3, 9 и приложение 9 — канд. техн. наук Б. И. Березовским; раздел 4 — инж. Б. П. Самохлебовым; раздел 8 — инж. С. П. Федоровым. В оформлении рукописи к печати принимали участие инженеры В. М. Ланько, С. Г. Завражина и техн. Н. К. Полозова.

Составление и подготовка к изданию руководства выполнены кандидатами технических наук В. И. Муха и П. И. Ковалевским.

Дирекция ЦНИИОМТП

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Бетонные и железобетонные работы в зимних условиях выполняются при наличии проектов (или технологических карт) производства работ.

1.2. Выдерживание бетона после укладки его в дело производится способом термоса, термоса с противоморозными добавками, электропрогрева, паропрогрева и воздухопрогрева.

1.3. Наиболее эффективным является способ термоса с применением:

быстротвердеющих цементов;

добавок, ускоряющих твердение бетона;

бетонных смесей, нагретых перед укладкой в конструкцию на месте бетонирования.

1.4. При отсутствии условий для осуществления метода термоса прогрев бетона, уложенного в дело, производится электроэнергией, паром или горячим воздухом.

1.5. Выбор способа выдерживания бетона зависит от массивности конструкции — модуля поверхности охлаждения, температуры наружного воздуха, сроков работы, вида цемента и утеплителей, наличия энергии и пара и от других хозяйственных возможностей строительства.

Предварительные соображения по выбору способа выдерживания бетонных и железобетонных конструкций составляются на основе данных табл. 1 и 2.

1.6. Предусмотренные проектом способы выдерживания бетонных и железобетонных конструкций должны обеспечивать достижение прочности бетона к моменту замерзания не ниже 50 $кГ/см^2$ и не менее 50% R_{28}, а бетона с повышенными добавками хлористых солей в условиях отрицательной температуры не ниже 50 $кГ/см^2$ и не менее 25% R_{28}.

1.7. В процессе твердения бетона необходимо создавать наиболее экономичный режим выдерживания, обеспечивающий требуемое нарастание прочности бетона в заданные сроки. Для предварительного определения

Таблица 1

Рекомендуемые способы выдерживания бетонных и железобетонных конструкций

Наименование конструкций	Модуль поверхности	Рекомендуемый способ
Массивные бетонные и железобетонные фундаменты	До 3	Способ термоса. Способ термоса с применением ускорителей твердения бетона при температуре наружного воздуха ниже —20° С
Ленточные фундаменты зданий и массивные стены	3—5	Способ термоса с применением ускорителей твердения и цемента активностью не ниже 300. Способ электропрогрева при наружной температуре ниже —20° С и необходимости получения бетоном более 50% R_{28}
Фундаменты под колонны и оборудование	4—6	Способ термоса с применением ускорителей твердения бетона и цемента активностью не ниже 300. Термос с противоморозными добавками. При значительной глубине заложения фундаментов — термос с использованием теплоты непромерзшего грунта. Простейшие местные тепляки (полиэтиленовые пленки по легкому каркасу или надувные) с обогревом теплым воздухом от калориферных установок
Колонны, рандбалки, подкрановые балки, элементы рамных конструкций	5—8	Электропрогрев. Паропрогрев (вертикальных конструкций)
Перегородки, полы, покрытия откосов земляных сооружений	8—10	Термос с противоморозными добавками. Электропрогрев. Паропрогрев, воздухопрогрев
Перекрытия зданий	Более 10	Электропрогрев. Устройство местных тепляков с использованием выложенных стен как ограждений и обогрев теплым воздухом от калориферных установок. Паропрогрев

Примечание. Определение модуля поверхности охлаждения конструкции приведено в приложении 1.

Таблица 2

Рекомендуемые цементы для бетона (тяжелого и легкого) в зависимости от способа выдерживания

Способ выдерживания	Рекомендуемые вяжущие	Минимальная марка (активность цемента)	Минералогическая характеристика
Термос	Быстротвердеющий портландцемент, портландцемент и глиноземистый цемент	Для тяжелого бетона $R_ц \geqslant 1{,}2\,R_б$; для легкого бетона $R_ц \geqslant 1{,}8\,R_б$, но не менее $R_ц = 300$ кГ/см²	Алюминатный или алюминато-алитовый; $\eta < 2$
Электропрогрев	Портландцемент, пуццолановый портландцемент, шлакопортландцемент	Для тяжелого бетона $R_ц \geqslant 1{,}5\,R_б$; для легкого бетона $R_ц \geqslant 1{,}8\,R_б$, но не более $R_ц = 400$ кГ/см²	Алитовый, алитово-алюминатный, алитово-алюмоферритовый; $2 < \eta < 4$
Паропрогрев	Пуццолановый портландцемент, шлакопортландцемент и портландцемент	Для тяжелого бетона $R_ц \geqslant 1{,}5\,R_б$; для легкого бетона $R_ц \geqslant 1{,}8\,R_б$	Алитово-алюмо-ферритовый и смешанные портландцементы с алитовым клинкером; $\eta > 4$

Примечание. Минералогическая характеристика цемента (η) определяется согласно «Временным техническим указаниям на ускоренное испытание портландцементов методом ЦНИПС-2» и характеризуется величиной

$$\eta = \frac{R_{пр.п}}{R_{н.т}},$$

где η — минералогическая характеристика цемента;

$R_{пр.п}$ — суточная прочность цементного камня после пропаривания;

$R_{н.т}$ — то же, при твердении в нормальных условиях.

сроков выдерживания бетона можно пользоваться данными о нарастании прочности бетона при различных температурах, представленными в табл. 3.

1.8. Прогретые конструкции нельзя подвергать до остывания действию ударных или динамических нагрузок, так как неостывший бетон обладает повышенной хрупкостью.

Таблица 3

Относительная прочность бетона на цементах при различных температурах твердения бетонов

Цементы	Срок твердения бетона в сутках	Температура бетона в *град*							
		1	5	10	15	20	25	30	35
		Прочность бетона в % от 28-дневной при твердении в нормальных условиях							
		Активность цемента 300; 400; 500							
Портландцемент	3	12; 14; 17	17; 21; 22	24; 30; 29	33; 37; 34	40; 46; 42	44; 52; 47	50; 58; 52	53; 62; 56
	5	20; 21; 26	26; 30; 34	35; 38; 40	45; 47; 47	50; 56; 57	56; 63; 64	62; 69; 69	67; 74; 73
	7	27; 27; 35	35; 37; 43	42; 47; 52	52; 55; 61	59; 64; 68	66; 72; 75	70; 77; 78	18; 83; 83
	10	37; 36; 46	45; 47; 55	53; 57; 65	64; 67; 75	72; 75; 82	78; 83; 87	84; 88; 91	90; 93; 95
	15	47; 49; 57	57; 60; 70	68; 72; 80	77; 83; 89	86; 92; 99	92; 97; 0	97; 0; 0	0; 0; 0
	28	65; 70; 75	78; 80; 86	90; 91; 95	100; 100; 100	0; 0; 0	0; 0; 0	0; 0; 0	0; 0; 0
Шлакопортландцемент и пуццолановый портландцемент	3	3; 5; 8	7; 10; 11	13; 14; 15	20; 20; 20	35; 25; 26	31; 32; 30	37; 40; 35	44; 50; 42
	5	3; 11; 12	15; 17; 12	20; 24; 25	28; 32; 32	37; 37; 38	42; 47; 42	48; 56; 48	58; 67; 55
	7	12; 15; 17	19; 23; 25	27; 32; 34	35; 41; 43	45; 50; 47	51; 58; 53	58; 68; 60	65; 78; 67
	10	17; 22; 25	26; 32; 35	36; 44; 45	47; 54; 55	56; 68; 60	68; 72; 66	70; 82; 73	77; 90; 82
	15	26; 32; 36	37; 45; 50	50; 58; 62	63; 71; 74	73; 80; 80	80; 88; 86	88; 97; 93	95; 0; 100
	28	40; 46; 50	58; 68; 70	78; 86; 90	100; 100; 100	0; 0; 0	0; 0; 0	0; 0; 0	0; 0; 0

1.9. Техника безопасности при производстве бетонных и железобетонных работ в зимних условиях должна соответствовать действующим нормативным указаниям.

1.10. На производство обогревных способов бетонирования в зимних условиях в каждом случае необходимо иметь согласование с местной пожарной инспекцией.

1.11. Технический персонал и рабочие по производству бетонных работ в зимнее время должны пройти соответствующий инструктаж.

1.12. Все виды сварки арматуры должны производиться электросварщиками, прошедшими испытание и имеющими удостоверения, устанавливающие их квалификацию и характер работ, к которым они допущены.

1.13. Арматура железобетонных конструкций должна изготовляться и монтироваться в полном соответствии с рабочими чертежами и с учетом требований главы СНиП III-В.1-62*.

1.14. Арматурные сетки и каркасы из стали фасонного проката, а также несущие арматурные каркасы должны изготовляться с соблюдением требований главы СНиП III-В.5-62. «Металлические конструкции. Правила производства и приемки работ».

1.15. Сварка, как правило, должна производиться при температуре окружающего воздуха не ниже —30° С.

При особой необходимости сварка арматуры допускается при более низкой температуре при условии применения временных устройств, обеспечивающих повышенную температуру на рабочем месте сварщика и вокруг сварного соединения (ограждение, шатер с отоплением и др.).

При отрицательной температуре окружающего воздуха для сварки должен применяться сварочный ток повышенной величины; повышение тока должно составлять 5% при температуре до —15° С и 10% при температуре до —30° С.

1.16. Ручную и полуавтоматическую сварку стальных конструкций при температурах ниже указанных в табл. 4(2) следует производить, согласно главе СНиП III-В.5-62, с подогревом стали в зоне выполнения сварки до 100—150° С на ширину 100 *мм* с каждой стороны соединения.

Таблица 4(2)

Минимально допустимая начальная температура стали при ручной и полуавтоматической дуговой сварке без предварительного подогрева в °С

Толщина стали в *мм*	Углеродистая сталь		Низколегированная сталь	
	Швы конструкций			
	решетчатых	листовых, объемных и сплошностенчатых	решетчатых	листовых и сплошностенчатых
До 16 (включительно)	—30	—30	—20	—20
Свыше 16 до 30 . .	—30	—20	—20	0
Свыше 30 до 40 . .	—10	—10	0	+ 5
Свыше 40	0	0	— 5	+10

2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

2.1. В бетонных смесях применяются цементы по ГОСТ 970—61 «Портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент и их разновидности».

Быстротвердеющие портландцемент и шлакопортландцемент через 3 суток твердения в нормальных условиях должны соответственно иметь прочность 200 и 150 *кГ/см²*, а в 28-суточном возрасте оба цемента — 350 *кГ/см²*.

Марка цемента определяется в соответствии с требованием ГОСТ 310—60 «Цементы. Методы физических и механических испытаний».

2.2. При выдерживании бетонов способом термоса рекомендуется применять цемент марки 400 и выше.

2.3. Для бетона с противоморозной добавкой поташа рекомендуется применять портландцементы с содержанием трехкальциевого алюмината не более 8% *, причем марка цемента должна быть не менее 300 *кГ/см²*.

Применение бетонов на пуццолановых портландцементах с добавками поташа или нитрита натрия допускается только в опытном порядке.

---

* Содержание трехкальциевого алюмината в клинкере цемента устанавливается заводом-поставщиком по запросу строительной организации.

Для бетонов с противоморозной добавкой нитрита натрия следует применять портланд- и шлакопортландцементы марки не ниже 300.

2.4. Для бетонов с противоморозными добавками хлористых солей содержание добавки гипса в цементе не должно превышать 2%. Рекомендуется использовать портландцементы с содержанием в клинкере трехкальциевого силиката (C_3S) более 45% и трехкальциевого алюмината (C_3A) не более 10%. При повышенных требованиях к морозостойкости бетона (Мрз$\geqslant$ 50) следует применять портландцементы с содержанием трехкальциевого алюмината не более 6% при активности цемента выше 300.

Желательно применение указанных цементов в виде пластифицированных (с добавкой сульфитно-спиртовой барды), при этом применение глиноземистого цемента и цемента, изготовленного на его основе, запрещается.

Применение шлакопортландцемента и пуццоланового портландцемента нежелательно. Но в бетонных конструкциях, где не предъявляются требования по морозостойкости, такие цементы допускаются при марке выше 300, при этом следует учитывать замедленное твердение бетонов на этих цементах.

2.5. При пропаривании бетона следует отдавать предпочтение пуццолановым портландцементам и шлакопортландцементам, которые обеспечивают наибольшую относительную прочность бетона к моменту окончания тепловой обработки. Применение глиноземистого цемента и гидрофобного портландцемента для пропариваемых бетонов запрещается.

2.6. В качестве вяжущего для бетонных и железобетонных конструкций, подвергаемых электропрогреву, применяются цементы, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 970—61, с содержанием трехкальциевого силиката (C_3S) 50—60%, трехкальциевого алюмината (C_3A) 5—9% и 2,5—3,5% SO_3, активных кремнеземистых добавок (трепела, шлака и др.) не более 10%. Пуццолановые портландцементы применяются в том случае, когда это необходимо по условиям службы конструкции, если это указано в проекте.

Применение пластифицированных и гидрофобных цементов для бетонов, подвергаемых электропрогреву при температуре 50° С и выше, а также добавка пластификаторов на месте могут быть допущены только после пред-

варительной проверки нарастания прочности таких бетонов при принятых режимах прогрева и их морозостойкости.

2.7. Песок, применяемый для бетонных смесей, должен удовлетворять требованиям ГОСТ 8736—62 «Песок для строительных работ. Общие требования». Испытания песка проводятся согласно ГОСТ 9735—58.

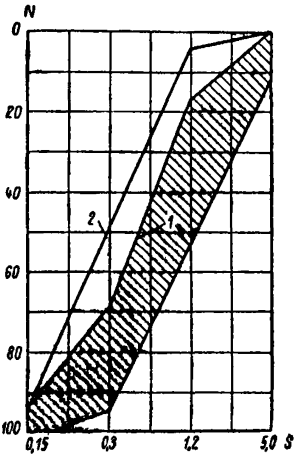

Рис. 1. График гранулометрического состава песка.

N — полные остатки на ситах в %; *S* — размер сит в *мм*; границы рассева: *1* — рекомендуемая; *2* — допустимая

При обогащении мелких песков крупным естественным или искусственным песком для морозостойкого бетона следует готовить пески, кривая просеивания которых укладывается в пределах заштрихованной зоны (рис. 1).

2.8. Крупный заполнитель бетонной смеси должен отвечать требованиям ГОСТ 8268—62 «Гравий для строительных работ. Общие требования», ГОСТ 8267—64 «Щебень из естественного камня для строительных работ. Общие требования», ГОСТ 10260—62 «Щебень из гравия для строительных работ. Общие требования» и ГОСТ 8269—64 «Щебень из естественного камня, гравий и щебень из гравия для строительных работ. Методы испытаний».

Заполнители для приготовления бетонов с добавкой поташа не должны содержать включений опала, халцедона и вулканического стекла.

2.9. Вода для бетонной смеси и растворов должна отвечать требованиям ГОСТ 2874—54, располагать значением водородного показателя $P_н \leqslant 4$ и не содержать сульфата более 2700 *мг/л* в пересчете на SO_4, а всех солей не более 5000 *мг/л*.

Морская вода и другие засоленные воды могут применяться для приготовления бетонной смеси и растворов,

за исключением случаев бетонирования конструкций жилых и общественных зданий, а также бетонирования надводных железобетонных сооружений в местностях с жарким и сухим климатом, так как соли выступают на поверхности бетона и вызывают коррозию стальной арматуры.

Следует учитывать, что морская вода может привести к снижению прочности бетона. Не допускается затворение бетонов и растворов сточной водой, содержащей жиры, сахар и другие органические вещества.

2.10. Для ускорения твердения бетона при низких положительных температурах (от 0 до 10° С) применяются добавки-ускорители: хлористый кальций ($CaCl_2$) и соляная кислота (HCl).

Для снижения температуры замерзания бетона применяются противоморозные добавки: хлористый кальций, хлористый натрий (NaCl), нитрит натрия ($NaNO_2$) и поташ (K_2CO_3).

Указанные добавки должны отвечать требованиям соответствующих ГОСТов (табл. 5).

Таблица 5

Химические добавки, применяемые при приготовлении бетонной смеси при бетонировании в зимнее время

Наименование	Разновидность	ГОСТ
Хлористый кальций	Технический Гранулированный Плавленый Кристаллический	450—58 4161—48* 4460—48* 4141—48*
Хлористый натрий	Соль поваренная пищевая Технический	153—57* 4233—48*
Углекислый калий	Технический (поташ)	10690—63
Азотистокислый натрий (нитрит натрия)	Технический	6194—52*
Соляная кислота	Техническая	1382—42*

Примечание. Применение добавок других солей допускается только при положительных результатах их опытной проверки.

2.11. Применение добавок хлористого кальция и соляной кислоты как ускорителей твердения бетона целесообразно для бетонов на пуццолановых портландцементах без ограничения их марок. Целесообразность применения ускорителей твердения и их количество при бетонировании с термообработкой устанавливаются строительной лабораторией [1].

2.12. Тонкомолотые добавки из гранулированного шлака, трепела, кварцевого песка и др. допускается применять только после экспериментальной проверки влияния этих добавок на сроки твердения бетона при намеченных способах его выдерживания.

3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ

3.1. Подготовка заполнителей в зимнее время заключается в размораживании или дроблении смерзшихся глыб, подогреве и промывке с последующим обезвоживанием.

Размораживание и подогрев заполнителей бетонной смеси может производиться в открытых и закрытых штабелях, бункерах, сушильных барабанах, вибротранспортных и других устройствах.

3.2. Цемент и тонкомолотые добавки при приготовлении бетонной смеси используются без подогрева.

3.3. Подогрев воды для бетонной смеси наиболее просто и эффективно осуществляется пуском пара в холодную воду.

3.4. Подбор состава бетона для производства зимних работ не имеет специфических особенностей. Однако жесткость и осадку конуса смеси следует определять при ее рабочей температуре. Эти показатели смеси должны отвечать данным табл. 6(9).

3.5. Водоцементное отношение для бетонных смесей рекомендуется принимать не более величин, указанных в табл. 7. Следует учитывать, что при введении в бетон химических добавок уменьшается расход воды на 6—8% (ввиду пластифицирующего действия солей).

---

[1] При применении соляной кислоты необходимо строго соблюдать правила техники безопасности, добавляя кислоту в воду (наливать воду в соляную кислоту категорически запрещается).

Таблица 6(9)

Рекомендуемые осадки конуса и показатели жесткости бетонной смеси (на месте укладки)

Вид конструкций	Осадка конуса в *мм*	Показатель жесткости в *сек*
1. Подготовка под фундаменты и полы; основания дорог и аэродромов	0	60—50
2. Покрытия дорог и аэродромов; полы; массивные неармированные или малоармированные конструкции (подпорные стены, фундаменты, блоки массивов)	0—20	35—25
3. Массивные армированные конструкции; плиты; балки; колонны большого и среднего сечения	20—40	25—15
4. Железобетонные конструкции, сильно насыщенные арматурой; тонкие стенки, бункера, силосы, тонкие колонны, балки и плиты малого сечения и т. п.; конструкции, бетонируемые в скользящей опалубке	50—80	12—10

Таблица 7

Максимальное водоцементное отношение для бетонов в зимних условиях

Активность цемента	Ожидаемая прочность бетона в *кГ/см²* через							
	28 дней				90 дней			
	200	300	400	500	200	300	400	500
300	0,55 / 0,6	0,4 / 0,43	—	—	0,67 / 0,71	0,46 / 0,5	0,4 / 0,43	—
400	0,63 / 0,71	0,5 / 0,54	0,4 / 0,43	—	—	0,57 / 0,62	0,5 / 0,54	0,4 / 0,43
500	—	0,6 / 0,63	0,46 / 0,5	0,4 / 0,43	—	0,67 / 0,71	0,6 / 0,63	0,46 / 0,5
600	—	0,63 / 0,68	0,5 / 0,58	0,43 / 0,5	—	—	0,63 / 0,67	0,5 / 0,55

Примечания: 1. В числителе указаны *В/Ц* для составов на гравий, в знаменателе — на щебне.

2. Бетоны марки 200 и выше рекомендуется приготовлять на щебне.

В бетонах, применяемых в зимних условиях, следует стремиться к снижению водоцементного отношения.

3.6. Приготовление бетонной смеси должно производиться с соблюдением следующих требований:

а) наименьшая продолжительность перемешивания составляющих подвижной бетонной смеси в смесителях цикличного действия, считая с момента загрузки всех материалов в смеситель до начала выгрузки смеси из него, должна приниматься по табл. 8;

б) продолжительность перемешивания составляющих умеренно жестких и малоподвижных бетонных смесей должна устанавливаться строительной лабораторией опытным путем и указываться в выдаваемой на бетонный завод заявке о составе бетонной смеси;

Таблица 8

Наименьшая продолжительность перемешивания бетонной смеси в смесителях цикличного действия

Емкость смесителя по объему выдаваемой бетонной смеси в *л*	Для бетонной смеси объемным весом более 2200 *кг/м³* с осадкой конуса в *мм*		Для бетонной смеси объемным весом от 1800 до 2200 *кг/м³*
	20—60	более 60	
	Продолжительность перемешивания смеси в *сек*		
До 300	90	68	270
800	180	135	360
1500	225	180	—

Примечания: 1. Приведенные данные продолжительности перемешивания бетонной смеси в зимних условиях превышают на 50% соответствующие значения, рекомендованные СНиП III-В. 1-62* (п. 4.24) для летнего времени.

2. Продолжительность перемешивания смеси в смесителях непрерывного действия зависит от конструкции смесителя и определяется паспортом.

в) загружать смеситель сухими материалами следует в соответствии с его номинальной (паспортной) емкостью, допускаемое отклонение ±10%.

3.7. Требуемая температура бетонной смеси, уложенной в опалубку ($t_{б.н}$), определяется теплотехническим расчетом принятого метода выдерживания бетона.

Температура бетонной смеси ($t_{см}$) при выдаче с завода определяется по формуле

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

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

$\Delta t_{тр}$ — снижение температуры бетонной смеси на каждой операции при транспортировании и перегрузке, при перепаде между температурой бетонной смеси и наружного воздуха в 1° С;

$\Sigma\Delta t_{тр}$ — суммарное снижение температуры бетонной смеси при всех операциях транспортирования и перегрузках.

Значения $\Delta t_{тр}$ определяются:

а) при горизонтальном транспортировании бетонной смеси по формуле

$$\Delta t_{тр.г} = \Delta t'_{тр.г}\tau,$$

где τ — продолжительность транспортирования в *мин*;

$\Delta t'_{тр.г}$ — снижение температуры смеси при транспортировании в течение 1 *мин* в *град* (табл. 9);

Таблица 9

Значения $\Delta t'_{тр.г}$ — теплопотерь бетонной смеси при транспортировании различными средствами

Способ транспортирования	Тип или марка транспортирующего устройства	Объем перевозимой смеси в $м^3$	$\Delta t'_{тр.г}$ в °С
Автосамосвалы	СМ-1	1	0,004
	ЗИЛ-585	1 4	0,0037
	МАЗ-205	2	0,003
В бадьях на автомобилях	Вибробадья прямоугольная	0,3	0,0035
	То же	0,6—0,8	0,002
	Бадья опрокидная прямоугольная	0,3	0,0022
	Бадья прямоугольная с двустворчатым затвором	1,6	0,0013
	Бадья цилиндрическая со шторно-роликовым затвором	1,6	0,0009
В вагонетках узкой колеи	Вагонетка с утепленным кузовом	0,75	0,01

б) при перемещении бетонной смеси шахтным подъемником (в утепленной шахте) — по формуле $\Delta t_{тр.ш} = 0{,}0011H$; при перемещении башенным краном — по формуле $\Delta t_{тр.к} = 0{,}0022H$, где H — высота подъема в *м*;

в) при погрузках и перегрузках на каждую операцию принимается $\Delta t_{тр.п} = 0{,}032$.

Теплопотери бетонной смеси в период укладки и уплотнения определяются по формуле

$$\Delta t_{тр.у} = \Delta t'_{тр.у}\tau,$$

где τ — продолжительность укладки смеси в *мин*;

$\Delta t'_{тр.у}$ — снижение температуры смеси при укладке за 1 *мин* в *град* (табл. 10).

Таблица 10

Значения $\Delta t'_{тр.у}$ теплопотерь бетонной смеси при укладке

Плиты толщиной в *мм*	Балки высотой в *мм*	$\Delta t'_{тр.у}$ в °С
60	—	0,03
80	—	0,022
100	—	0,018
120	—	0,015
150	—	0,012
200	—	0,009
250	250	0,008
300	300	0,007
400	400	0,005
500	500	0,004
—	600	0,003
—	700	0,003

Примечание. Снижение температуры при укладке смеси в колонны и стены можно не учитывать. Снижение температуры при бетонировании ступенчатых башмаков можно учитывать по данным для плит толщиной, равной высоте ступени.

3.8. Температура составляющих бетонной смеси определяется по номограмме (рис. 2) или по формуле

$$t_{см} = \frac{(0{,}2 + i_п)\, q_п t_п + (0{,}2 + i_г)\, q_г t_г + (q_в - i_г q_г - i_п q_п)\, t_в}{0{,}2\,(q_ц + q_г + q_п) + q_в}, \qquad (2)$$

где $i_п$ — относительная влажность песка по весу;

$q_п$ — вес песка в 1 $м^3$ бетонной смеси в *кг*;

$t_п$ — температура песка при загрузке в смеситель в *град*;

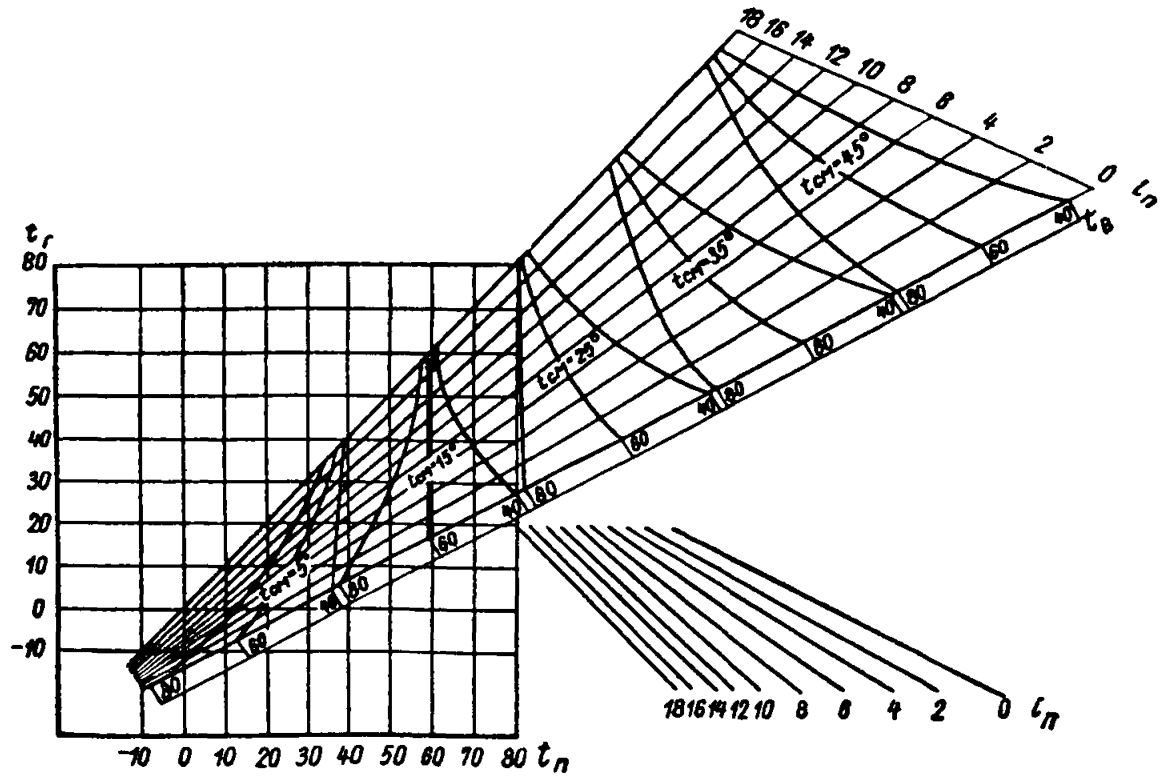

Рис. 2. Номограмма для подбора температур составляющих бетонной смеси. Значения осей

$t_п$, $t_г$, $t_в$ — соответственно температура в *град* песка, гравия (щебня), воды затворения; $i_п$ — влажность песка в %

$t_г$, $q_г$, $t_г$ — те же показатели для гравия или щебня;
$q_в$ — количество воды в *л* в 1 $м^3$ смеси;
$t_в$ — температура воды в *град*;
$q_ц$ — количество цемента в 1 $м^3$ смеси в *кг*.

Температура нагрева составляющих устанавливается с учетом потерь тепла за время перемещения материалов от нагревательных устройств к смесителю.

3.9. Сухой щебень крупностью до 70 *мм*, не содержащий наледи на зернах, при наружной температуре выше —5° С может загружаться в смеситель в неотогретом состоянии при условии, если это допускает тепловой баланс бетонной смеси.

Рекомендуемая температура подогрева составляющих представлена в табл. 11(14).

Таблица 11(14)

Наибольшая допустимая температура бетонной смеси и ее составляющих

Вид цемента	Наибольшая допустимая температура в *град*		
	составляющих при загрузке в смеситель		бетонной смеси при выходе из смесителя
	воды	заполнителей	
1. Портландцемент марки 300 и шлакопортландцемент марок 300 и 400	90	60	45
2. Портландцемент марки 400 и пуццолановый портландцемент марки 300	80	50	40
3. Портландцемент марки 500 и пуццолановый портландцемент марки 400	60	40	35
4. Глиноземистый цемент	40	20	25

3.10. Приготовление концентрированных растворов солей, используемых в качестве противоморозных доба-

вок и добавок-ускорителей в бетонных смесях, должно осуществляться в установках с перемешиванием солевого раствора механическими мешалками, горячим воздухом или острым паром. Перед загрузкой установки соль следует дробить. При пользовании механическими мешалками необходимо подавать воду с температурой 40—60° С, это ускоряет растворение солей.

Приготовление растворов соли также осуществляется в установках фильтрацией воды через слой соли толщиной до 1 *м*.

Для удобства хранения растворы солей рекомендуется готовить насыщенными.

Насыщенные растворы служат исходными для определения количества добавки и приготовления водного раствора.

3.11. Составы бетонов с противоморозными добавками хлористых солей должны удовлетворять следующим условиям: а) марка бетона 100 и выше; б) расход цемента 350 *кг* и более на 1 $м^3$; в) водоцементное отношение $В/Ц \leqslant 0{,}65$, а для бетонов, к которым предъявляются требования морозостойкости, $В/Ц \leqslant 0{,}5$; г) осадка конуса бетонной смеси 10—40 *мм*.

3.12. Температура бетонной смеси с противоморозными добавками хлористых солей ($CaCl_2 + NaCl$) с содержанием их более 5% от веса воды затворения (так называемый «холодный» бетон) и бетонной смеси с добавкой поташа при выходе из смесителя назначается с учетом сроков схватывания строительной лабораторией, но не ниже —5° С.

3.13. Бетонная смесь, укладываемая в дело с температурой от 0 до —5° С, может готовиться в отапливаемом и холодном помещении при соблюдении следующих правил: заполнители применяются в холодном состоянии; песок просеивается для удаления смерзшихся комьев крупнее 5 *мм* (отсеянные смерзшиеся комья подвергаются дроблению или оттаиванию); ледяные включения не допускаются;

вода для затворения бетонной смеси не подогревается;

бетонная смесь с 70% воды затворения перемешивается в течение 1,5—2 *мин*, затем вводится 30% оставшейся воды с требуемой концентрацией солей, и смесь дополнительно перемешивается; общее время перемешивания — согласно табл. 8.

3.14. Бетонная смесь с добавкой нитрита натрия готовится обычным способом. Добавка нитрита натрия не влияет на сроки схватывания бетонной смеси.

3.15. Бетонная смесь с добавкой поташа может быстро схватываться (быстрое загустевание). Замедлить скорость схватывания можно:

а) увеличением расхода воды и одновременным снижением начальной температуры смеси;

б) введением замедлителя схватывания (ссб, абиетаты натрия или калия).

Расход замедлителей схватывания в % от веса цемента:

ссб — в смесь на портландцементах (содержащих до 5% алюминатов в клинкере) 0,1—0,5%;

ссб — в смесь на портландцементах, содержащих более 5% алюминатов в клинкере, и шлакопортландцементах до 3%;

абиетаты натрия и калия, отходы соапстока — до 0,05%.

3.16. При отсутствии цементов, отвечающих требованиям п. 2.3, бетонные смеси с добавкой поташа следует готовить на месте производства работ из сухих товарных смесей, поставляемых с централизованного узла или завода.

3.17. При заготовке сухой смеси материалы в смеситель вводят в сухом виде. После перемешивания до однородного состояния смесь затаривают в мешки, снабжают паспортом и биркой с указанием рабочей плотности затворителя, температуры смеси на выходе из смесителя и сроков укладки в дело.

3.18. На строительных объектах мешки с сухой смесью хранят в контейнерах до употребления. Смесь пригодна, если:

а) мешок, в котором она хранится, не разорван, не подмочен, снабжен биркой;

б) смесь не содержит слежавшихся комьев, а растворная часть ее проходит полностью через сито с размером ячеек 2,5×2,5 *мм*.

3.19. Приготовляя бетон из сухой смеси, последнюю засыпают в смеситель, затем наливают подогретый водный раствор поташа рабочей плотности (в объеме, указанном на бирке) и при необходимости эмульсию замедлителя схватывания; после перемешивания смесь выдают на рабочее место, где она должна быть использована в сроки, указанные на бирке.

Во избежание обмерзания механизмы и машины для затворения сухой смеси устанавливают в закрытом помещении, где температура должна быть не ниже —5° С.

3.20. Перевозка сухой смеси осуществляется в инвентарных контейнерах, защищенных от атмосферной влаги.

3.21. При транспортировании бетонной смеси должны строго соблюдаться правила перевозки и приниматься меры, обеспечивающие предохранение от охлаждения, для этого необходимо:

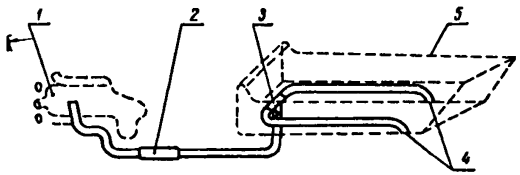

Рис. 3. Схема устройства системы подогрева кузова

1 — двигатель автомашины; *2* — глушитель; *3* — тройник; *4*—продольные трубы подогрева; *5* — кузов

а) перегрузки свести до минимума; перевозку смесей производить в бункерах, контейнерах и др., обеспечивающих подачу смесей с транспорта на рабочее место;

б) пункты погрузки и выгрузки бетонной смеси защищать от ветра, а погрузку, перевозку и разгрузку бетонной смеси выполнять возможно быстрее;

в) при температурах наружного воздуха ниже —15° С и перевозке смеси автомашинами использовать отходящие газы для обогрева кузова (рис. 3), укрывать перевозимую смесь деревянными щитами, брезентом; при температуре до —10° С можно ограничиться только укрытием;

г) утеплять и отапливать галереи магистральных транспортеров, помещения, предназначенные для бетононасосов, заключать в отепленные короба распределительные транспортеры;

д) утеплять войлоком или шлаковатой с покрытием пергамином или толем и обмоткой утепления проволокой бетоноводы, а также хоботы и виброхоботы, находящиеся на открытом воздухе;

е) отогревать бетоноводы перед началом работ паром или горячим воздухом.

3.22. Транспортирование бетонной смеси, приготовленной с противоморозными добавками хлористых солей, может производиться без утепления с защитой от попадания снега и испарения влаги.

3.23. Продолжительность транспортирования бетонной смеси до мест укладки должна рассчитываться с учетом начала схватывания (потери удобоукладываемости). Ориентировочные данные представлены в табл. 12.

Таблица 12

Предельно допустимое время транспортирования бетонной смеси к месту укладки

Температура бетонной смеси в *град*	Время в *мин*
20—30	45
10—20	90
5—10	120

Примечание. Время сохранения удобоукладываемости смеси уточняется опытным путем строительной лабораторией.

4. ПОДГОТОВКА ОСНОВАНИЯ И УКЛАДКА БЕТОННОЙ СМЕСИ

4.1. Состояние основания, на которое укладывается бетонная смесь, а также метод ее укладки должны исключать возможность замерзания бетона в контактном слое с основанием и деформации последнего.

4.2. При незамерзших пучинистых грунтах бетонная смесь укладывается на грунтовое основание; уложенный бетон до приобретения им необходимой прочности должен предохраняться от замерзания.

Мерзлые пучинистые грунты должны отогреваться до положительной температуры на глубину не менее 50 *см* и защищаться от промерзания до укладки бетонной смеси.

4.3. На мерзлые непучинистые грунты или каменное (бетонное) основание, очищенное от снега, наледи, грязи и цементной пленки, бетонная смесь укладывается без предварительного прогрева основания. Если по расчету обеспечить незамерзаемость бетона в контакте с

основанием не удается, то последнее необходимо отогреть на глубину 30 *см*.

4.4. При выдерживании бетона без электропрогрева температура основания не должна быть ниже —10 ÷ —15° С, а температура бетонной смеси должна обеспечить незамерзаемость контактного слоя. Для этого необходимо применять бетонную смесь с положительной температурой (не ниже 15—25° С) и производить укладку бетона слоями с интенсивностью 40 *см* в час.

Целесообразно использовать комбинированный способ теплозащиты бетона, уложенного на неотогретое основание, с применением дополнительного электропрогрева в углах бетонируемых блоков.

Укладка бетонной смеси на неотогретое основание с температурой от —15 до —25° С допускается при условии выдерживания бетона с электропрогревом и интенсивностью укладки слоями по 30 *см* в час.

4.5. Холодные элементы сооружений (замерзшие бетонные, каменные и другие конструкции), с которыми будет соприкасаться вновь укладываемый бетон, должны быть предварительно отогреты до расчетной температуры укладываемой бетонной смеси, а после укладки ее тщательно утеплены или перекрыты термоопалубкой. Отогрев элементов производится на глубину не меньше 30 *см* (от места соприкосновения с новым бетоном).

Это требование не распространяется на работы с применением бетонов, содержащих противоморозные добавки.

4.6. Оттаивание основания и соприкасающихся элементов может выполняться:

а) в местных тепляках из брезента, полиэтилена, фанеры, обогреваемых печами сопротивления или воздухоподогревателями, работающими на любом топливе;

б) электропрогревом при помощи вертикальных или горизонтальных электродов.

Не допускается оттаивание мерзлых грунтов поливкой горячей воды или раствора хлористых солей, а также пуск пара в котлован на поверхность грунта.

4.7. Опалубка и арматура перед бетонированием очищаются от снега и наледи струей горячего воздуха под брезентовым или полиэтиленовым укрытием с высушиванием поверхностей. Запрещается снимать наледь с помощью пара и горячей воды.

4.8. При температуре наружного воздуха ниже

—10° С арматура диаметром более 25 *мм* и массивные металлические закладные детали (балки, жесткая арматура, трубы и т. д.) должны быть прогреты перед бетонированием до температуры 5° С.

Прогрев арматуры производится, например, индукционным методом или под легким брезентовым, полиэтиленовым укрытием с помощью горячего воздуха.

4.9. Перед укладкой бетонной смеси на очищенное и прогретое каменное или бетонное основание следует нанести слой подогретого цементного раствора толщиной 1—1,5 *см* того же состава, что и раствор бетона. Не допускается промывка поверхности основания цементным молоком и припудривание цементом.

4.10. Все открытые поверхности укладываемого бетона после окончания бетонирования, а также на время перерывов в бетонировании должны утепляться.

4.11. Укладка бетонной смеси с противоморозными добавками хлористых солей должна производиться с соблюдением требований п. 4.3 и следующих условий:

а) при укладке бетонной смеси на грунт под полы промышленных зданий, покрытия дорог и т. п. требования к уплотнению основания предъявляются такие же, как и при укладке бетона в летнее время;

б) укладка может производиться на промерзшие непучинистые основания, уложенные и уплотненные в летнее время (желательно устройство основания из песчаных или супесчаных грунтов);

в) выравнивание основания перед укладкой бетонной смеси производится сухим или талым песком;

г) до укладки холодного бетона в дорожные покрытия, одежды откосов и т. п. необходимо произвести соответствующую подготовку основания: удалить пучинистый грунт и тщательно уплотнить поверхность во избежание последующих просадок и повреждений конструкций;

д) места соприкосновения с вновь укладываемым бетоном необходимо тщательно очистить от снега и льда; обогрев стыкуемой поверхности не требуется;

е) в случае задержки с укладкой бетонной смеси и появления загустевания ее следует интенсивно перемешать, восстанавливая удобоукладываемость;

ж) при бетонировании армированных конструкций необходимо тщательно следить за соблюдением толщины защитного слоя.

4.12. Во избежание деформации опалубки при замерзании и оттаивании грунта стойки, поддерживающие опалубку, следует опирать на готовые конструкции, а при их отсутствии — на лежни или подкладки, уложенные на непучинистое грунтовое основание.

4.13. Послойное бетонирование массивных монолитных конструкций надлежит вести так, чтобы температура бетона в уложенном слое до перекрытия его следующим слоем не падала ниже предусмотренной расчетом.

Температура воздуха, соприкасающегося с бетоном, укладываемым в отапливаемом пространстве, должна быть не ниже 5° С .

5. ВЫДЕРЖИВАНИЕ БЕТОНА СПОСОБОМ ТЕРМОСА

5.1. Выдерживание конструкций способом термоса состоит в том, что уложенный бетон набирает заданную прочность за время остывания от своей начальной температуры ($t_{б.н}$) до 0°.

5.2. Положительная температура бетона, необходимая для достижения им требуемой прочности, обеспечивается количеством тепла Q, полученного при подогреве составляющих, и экзотермического тепла, выделяемого цементом в процессе твердения бетона:

$$Q = C_{об} t_{б.н} + q_ц Э, \qquad (3)$$

где $C_{об}$ — объемная теплоемкость бетона в *ккал/м*³;
$q_ц$ — расход цемента в *кг* на 1 *м*³ бетонной смеси;
$Э$ — тепловыделение в *ккал* на 1 *кг* цемента за период твердения бетона (рис. 4);
$t_{б.н}$ — начальная температура уложенного бетона.

5.3. Количество тепла Q в бетоне должно соответствовать его расходу (теплопотерям) при остывании конструкций до 0°:

$$Q = \tau K M_п (t_{б.ср} - t_{н.в}), \qquad (4)$$

где τ — время остывания бетона от $t_{б.н}$ до 0° в *ч*;
K — коэффициент теплопередачи опалубки и теплоизоляции в *ккал/м*²·*ч*·*град*;

$$K = \frac{\beta}{0{,}05 + \sum_{z=1}^{z=n} \frac{h_z}{\lambda_z}}; \qquad (5)$$

h_z — толщина каждого z-го слоя ограждения, в том числе опалубки в *м*;

λ_z — коэффициент теплопроводности материала каждого z-го слоя в *ккал/м · ч · град*;

β — поправочный коэффициент, учитывающий влияние ветра на скорость охлаждения (см. приложение 2);

$M_п$ — модуль поверхности, равный $\frac{F}{V}$;

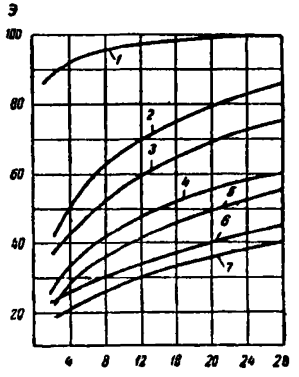

Рис. 4. Тепловыделение различных цементов (*Э*) в процессе твердения

Кривые тепловыделения: *1* — глиноземистого цемента; *2* — портландского быстротвердеющего цемента; *3* — портландцемента марки 500; *4* — портландцемента марки 400; *5* — шлакопортландцемента и пуццоланового портландцемента марки 400; *6* — портландцемента марки 300; *7* — шлакопортландцемента и пуццоланового портландцемента марок 300; *4, 8, 12, 16, 20, 24, 28* — время в сутках

F — поверхность охлаждения бетона в $м^2$;

V — объем бетона конструкции в $м^3$;

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

$t_{б.ср}$ — средняя температура бетона за время остывания в *град*;

$$t_{б.ср} = \frac{t_{б.н}}{1{,}03 + 0{,}181 K M_п + 0{,}006 t_{б.н}}. \qquad (6)$$

По формулам (3), (4), (5) и (6) выполняется приближенный расчет охлаждения бетонных конструкций до 0° с модулем поверхности $25 \geqslant M_п \geqslant 3$.

Для конструкций с $M_п < 3$, например блоки гидротехнических сооружений, режим выдерживания рассчитывается по методу проф. В. С. Лукьянова [1].

5.4. Возможность и целесообразность применения метода термоса в каждом отдельном случае устанавлива-

[1] В. С. Лукьянов. Расчеты температурного режима бетонных и каменных конструкций при зимнем производстве работ. Трансжелдориздат, 1934.

ются теплотехническим расчетом и технико-экономическими обоснованиями. Подбор условий термосного выдерживания бетона может быть осуществлен по данным приложения 3.

5.5. Выдерживание монолитных бетонных и железобетонных конструкций в зимних условиях по способу термоса должно производиться с соблюдением следующих указаний:

а) конструкции должны укрываться немедленно вслед за окончанием бетонирования;

б) термическое сопротивление укрытия должно быть не ниже, чем опалубки;

в) для обеспечения одинаковых условий остывания частей конструкций, имеющих различную толщину, тонкие элементы, выступающие углы и другие части, остывающие быстрее основной конструкции, должны иметь усиленное утепление; длина участка с усиленным утеплением назначается в проекте производства работ;

г) при необходимости бетонирования по способу термоса смежных блоков порядок снятия укрытия и опалубки должен устанавливаться проектом производства работ. Прочность бетона забетонированного блока должна быть не ниже 25% проектной. При этом должны соблюдаться требования п. 1.6 о минимальной прочности бетона к моменту его возможного замерзания;

д) металлические закладные части должны быть тщательно укрыты с усиленным утеплением, термическое сопротивление которого должно быть в 2 раза больше, чем опалубки.

5.6. Для предупреждения возникновения при твердении бетона значительных температурных напряжений (при бетонировании крупных массивов) целесообразно:

а) укладывать бетонную смесь с умеренной положительной температурой 5—10° С, чтобы после укладки следующего слоя ранее уложенный слой имел бы температуру не выше 10° С;

б) утеплять опалубку для предохранения периферийных слоев массива от быстрого остывания.

Следует отметить, что по теплотехническому расчету остывания бетона этого утепления может не требоваться.

5.7. Применение способа термоса ограничено: им пользуются для выдерживания конструкций с модулем до 8. Расширяя область его применения на конструкции меньшей массивности, следует учитывать рекомендации

п. 1.3. использовать тепло котлованов и траншей, аккумулированное в слоях грунта, расположенных ниже уровня промерзания. Для сохранения в укрытом пространстве котлована положительной температуры необходимо к началу бетонирования из котлована выбрать грунт на 30% ниже глубины его промерзания, а после укладки бетонной смеси с температурой не ниже 10° С котлован или траншею закрыть утепленными щитами так, чтобы края щитов перекрывали бровки не менее чем на 0,75 *м*.

Эти мероприятия позволяют применять способ термоса для выдерживания железобетонных конструкций с модулем 18—20 и бетонных конструкций с модулем до 40.

5.8. Как ускорители твердения добавки хлористого кальция (в расчете на безводную соль) допускаются в следующих количествах от веса цемента:

а) для неармированных и конструктивно-армированных конструкций — до 3%;

б) для конструкций, армированных по расчету, — до 2%.

Добавка соляной кислоты допускается в количестве 0,5—1%.

Для предварительно напряженных конструкций применение добавок хлористых солей и соляной кислоты не допускается.

Дозировка ускорителей твердения должна уточняться на основании результатов испытаний опытных образцов, изготовленных из пробных замесов бетонной смеси того же состава и на том же цементе, что и бетонная смесь, предназначенная для укладки в сооружение.

Добавки — ускорители твердения допускается применять в случае эксплуатации возведенных конструкций в сухих условиях. Бетон возводимых конструкций укладывается с вибрацией; защитный слой должен быть не менее 15 *мм*.

5.9. Прочность бетона с добавками — ускорителями твердения при термосном выдерживании в условиях положительных температур (15—20° С) ориентировочно определяется по табл. 3 с учетом данных табл. 13.

5.10. Для сокращения срока выдерживания бетона следует кроме применения быстротвердеющих цементов и ускорителей твердения укладывать бетонную смесь с максимально допустимой температурой, а теплозащиту

Таблица 13

Увеличение прочности бетона с добавками-ускорителями, твердеющего при положительной температуре 15—20° С

Возраст бетона в сутках	Количество добавки в % от веса цемента			
	бетон на портландцементе		бетон на пуццолановом портландцементе	
	1 %	2 %	1 %	2 %
2	1 4	1,65	1,5	2
3	1 3	1,5	1,4	1,7
5	1,2	1,3	1,3	1,4
7	1,15	1,2	1,2	1,25
28	1,05	1,1	1,1	1,15

Примечания: 1. Ожидаемую прочность бетона устанавливают путем умножения данных табл. 3 на соответствующие величины табл. 13.

2. Приведенные в этой таблице данные должны быть уменьшены, если бетон твердеет при положительной $t=0\div5°$ С — на 25%; при положительной $t=5\div10°$ С — на 15%.

применять с повышенным термическим сопротивлением.

5.11. Введение в бетонную смесь двухкомпонентной добавки (3% $CaCl_2$+5% $NaNO_2$ от веса воды затворения) не только ускоряет процесс твердения, но и обеспечивает твердение бетона при отрицательной температуре до —8° С.

Температура смеси при выходе из смесителя должна соответствовать требованиям табл. 11(14).

С понижением температуры твердения бетона в теле конструкции происходит частичная потеря конечной прочности. Поэтому рекомендуется обеспечить в бетоне температуру 15° С на 1 сутки или 7° С на 2 суток. Это достигается утеплением, которое сохраняется до приобретения бетоном прочности, позволяющей его распалубить и загрузить нагрузками, действующими при весеннем потеплении. Поверхность конструкций и опалубки в местах их соприкасания с вновь укладываемым бетоном необходимо обогревать до температуры +7° С и выше. При температуре наружного воздуха ниже —15° С температура бетонной смеси с добавками солей при укладке в дело должна быть не ниже 20° С, но не выше температур, приведенных в табл. 11(14).

Не допускается применение бетонных смесей с указанными добавками солей в конструкциях, возводимых в непосредственной близости к источникам тока высокого напряжения, электростанций, трансформаторных подстанций и в конструкциях, работающих в воздушной среде с повышенной влажностью (цехи с большими паровыделениями, бани, прачечные и другие помещения с влажностью воздуха более 80%, железобетонные резервуары для воды).

Для железобетонных конструкций бетонная смесь с добавками указанных солей применяется только на портландцементе, а для бетонных конструкций, также и на шлако- и пуццолановом портландцементах марки не ниже 300; водоцементное отношение не должно превышать 0,65; толщина защитного слоя не менее 30 *мм*.

При термосном выдерживании бетона необходимо:

а) предохранять бетонную смесь во время укладки от попадания в нее снега и воды;

б) укрывать поверхность уложенного бетона листовым материалом — толем, фанерой, картоном — с последующей засыпкой сухим утеплителем (слоем песка, опилок, торфа, соломенной резки, снега и т. п.); не допускается без листового материала утеплять снегом и материалами, разрушающими поверхность бетона;

в) снимать утепление при достижении бетоном не менее 50% проектной прочности;

г) производить распалубку конструкций согласно требованиям СНиП III-В.1-62*.

Когда эти мероприятия не обеспечивают условий термосного выдерживания, следует применять искусственный прогрев уложенного бетона. Электропрогрев конструкций с модулем поверхности более 20 применять не следует.

5.12. В районах, где устойчивые температуры воздуха доходят до —40° С, рекомендуется доставлять на объект бетонную смесь с температурой около 5° С, с добавками хлористых солей до 2%. На объекте смесь подвергают электронагреву до температуры 70—80° С и укладывают в конструкции.

Электронагрев бетонной смеси осуществляется при помощи пластинчатых электродов в бункерах (рис. 5) и бадьях (рис. 6).

Метод термоса с электронагревом бетонной смеси перед укладкой применяется при бетонировании железобе-

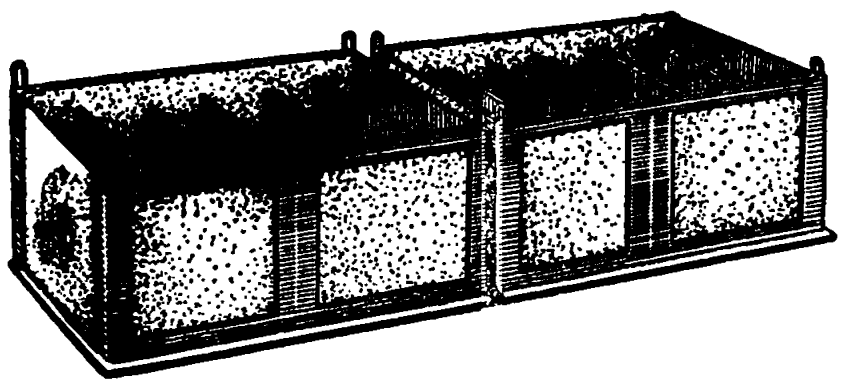

Рис. 5. Общий вид бункеров для электроподогрева бетонной смеси

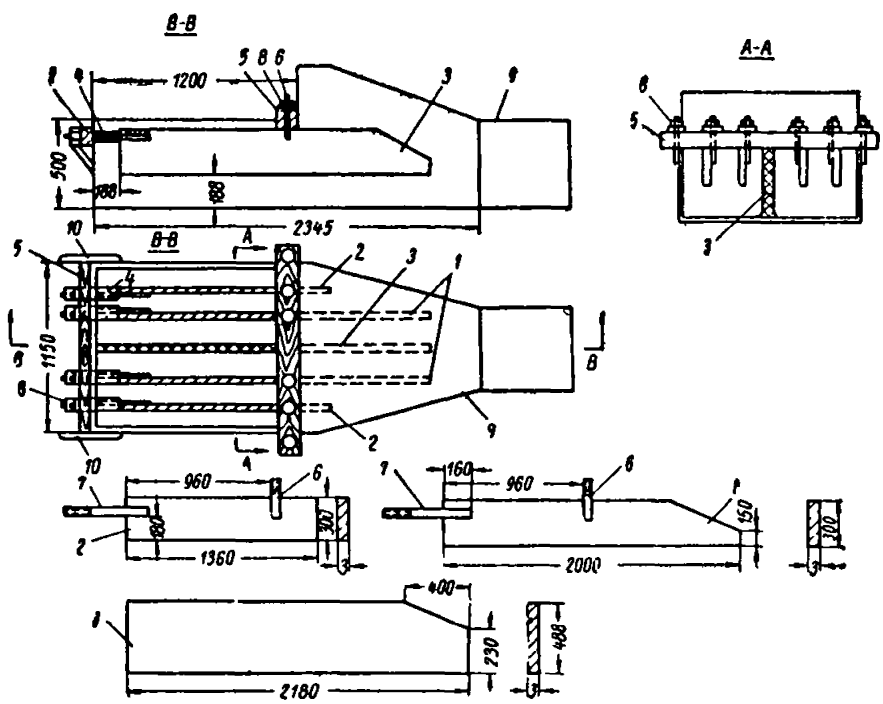

Рис. 6. Бадья с пластинчатыми электродами

1, 2, 3 — электроды толщиной 3 *мм*; *4* — изоляционная резиновая трубка; *5* — деревянный брусок для крепления электродов; *6* — штырь с резьбой длиной 120 *мм*; *7* — штырь с резьбой длиной 280 *мм*; *8* — гайки; *9* — стенки бадьи.

тонных и бетонных конструкций с модулем поверхности до 12.

6. ВЫДЕРЖИВАНИЕ БЕТОНА С ПРОТИВОМОРОЗНЫМИ ДОБАВКАМИ

6.1. Применение бетонной смеси с противоморозными добавками хлористых солей более 5% веса воды затворения позволяет значительно снизить температуру замерзания бетонов; температура твердеющего бетона должна быть не ниже —15° С. Такие бетоны называются холодными бетонами.

6.2. Рост прочности холодного бетона ориентировочно соответствует данным табл. 14.

Таблица 14

Рост прочности холодного бетона

Срок твердения в сутках	Относительная прочность в % от R_{28} бетона того же состава без добавок, твердевшего в нормальных условиях
7	20—25
28	40—50
60	60—70
90	80—90
180	100

6.3. Применение холодного бетона допускается в неармированных (бетонных и камне-бетонных) конструкциях и в конструкциях, армированных конструктивной (нерасчетной) арматурой, при условии отсутствия в проекте сооружения указаний о недопустимости применения таких бетонов и при соблюдении указаний пп. 6.4—6.10.

6.4. Применение холодных бетонов не допускается:

а) в конструкциях, подверженных динамическим нагрузкам;

б) в конструкциях, подвергающихся при эксплуатации систематическому нагреванию до температуры выше 60° С;

в) в частях конструкций, расположенных в зоне переменного уровня воды;

г) в конструкциях с выпусками арматуры или выступающими металлическими закладными частями без специальных мер защиты последних;

д) в конструкциях, находящихся в непосредственной близости к источникам тока высокого напряжения (до 100 *м*);

е) в конструкциях, соприкасающихся с агрессивными водами, содержащими примеси кислот, щелочей и сульфатов;

ж) в конструкциях, внешний вид которых определяется архитектурными соображениями (ввиду возможности образования высолов).

6.5. Приготовление и укладка холодного бетона должны производиться с соблюдением правил настоящего руководства и при постоянном надзоре за работами осведомленного технического персонала и строительной лаборатории.

Установленные лабораторией состав бетона и дозировка солей утверждаются главным инженером строительства.

6.6. Холодные бетоны должны применяться с соблюдением следующих требований:

а) общее количество вводимых в бетонную смесь солей (хлористого кальция и хлористого натрия) нормируется от веса цемента и не должно превышать (считая на безводные соли) 7,5% веса цемента, а для массивов с модулем поверхности $M_п \leqslant 2$ составлять 5% веса цемента.

Количество добавок хлористых солей в зависимости от температуры твердения бетона приведено в табл. 15.

Таблица 15

Рекомендуемые величины добавок хлористых солей для холодных бетонных смесей в % от веса воды затворения

Температура твердеющего бетона в *град*	Величины добавок в %	
	NaCl	$CaCl_2$+NaCl
До—5	5	—
От—6 до—10	—	3+7
От—11 до—15	—	9+6

Количество солевых добавок в холодный бетон назначается с учетом температуры твердеющего бетона, но не температуры наружного воздуха. Соответственно температура бетона может регулироваться путем различного его утепления;

б) допускается сочетание применения добавок хлористых солей с пластифицирующими добавками в соответствии с указаниями строительной лаборатории;

в) бетонная смесь в момент укладки не должна содержать частиц льда, снега и смерзшихся комьев материала;

г) предельная продолжительность транспортирования и допустимые сроки укладки бетонной смеси должны устанавливаться опытным путем строительной лабораторией с учетом сроков загустевания смеси и потери ее подвижности;

д) подготовка поверхности старого бетона в рабочих швах должна производиться по правилам п. 4.11; отогрев поверхностей старого бетона не требуется;

е) выдерживание холодного бетона без последующего обогрева (с укрытием открытых поверхностей) допускается в течение первых 15 суток твердения при температуре в бетоне не ниже расчетной для принятой концентрации солей, добавляемых в бетонную смесь;

ж) при понижении температуры наружного воздуха в период первых 15 суток после укладки холодного бетона его следует утеплять или обогревать, чтобы температура уложенного бетона не снижалась ниже расчетной.

6.7. Поверхности холодного бетона, не защищенные опалубкой, должны быть укрыты во избежание вымораживания влаги из бетона; выдерживание под укрытием должно прекращаться не ранее чем через 10—15 дней после достижения бетоном прочности, указанной в п. 1.6.

6.8. При затворении бетонной смеси на незамерзающей жидкости необходимо учитывать количество влаги, содержащейся в заполнителях: на 1 $м^3$ бетонной смеси ее должно быть не более 54 $л$ при применении жидкости повышенной концентрации (15% солей) и 64 $л$ при применении жидкостей средней концентрации (10% солей). Если заполнитель содержит больше воды, то соответственно увеличивается концентрация водных растворов.

6.9. Для холодного бетона вместо гравия рекомендуется применять щебень, обеспечивающий более высокую прочность бетона.

6.10. Выдерживание холодного бетона во избежание его быстрого остывания и потери влаги выполняется при соблюдении следующих правил:

после укладки поверхность бетона оставляется в течение 0,5—1 *ч* открытой, затем затирается деревянными терками, укрывается листовым материалом (бумагой, картоном, толем, фанерой) и засыпается слоем сухого грунта, песка, опилок, торфа, соломенной резки или снега;

не допускается повреждать поверхность уложенного бетона при устройстве укрытия;

утепление выполняется сухими опилками слоем 10—15 *см*, сухим песком 30—40 *см*, снегом 40—60 *см*; толщина утепления принимается в зависимости от температуры воздуха и может быть уточнена теплотехническим расчетом.

6.11. Бетон с противоморозной добавкой поташа, твердея на морозе, набирает в 7-суточном возрасте 25—35%, в 28-суточном 50—90%, а в 3-месячном 100% R_{28} обычного бетона.

Бетонные смеси с добавкой поташа рекомендуется применять в бетонных и железобетонных конструкциях марки не более 300.

Не допускается применение бетонов с добавкой поташа в несущих железобетонных конструкциях пролетных строений мостов; в фермах, балках, плитах перекрытий пролетом более 6 *м*; в железобетонных дымовых и вентиляционных трубах, градирнях; в предварительно напряженных конструкциях; в конструкциях, подверженных воздействию агрессивной водной среды (с примесями кислот и щелочей); подвергающихся динамическим нагрузкам; расположенных в зоне переменного уровня воды; находящихся в непосредственной близости к источникам тока высокого напряжения; подверженных нагреванию выше 60° С, и при изготовлении железобетонных изделий с применением тепловой обработки.

Количество поташа в процентах от веса цемента, вводимое в смесь, назначается по табл. 16 в зависимости от температуры бетона, при которой происходит его твердение. Температура бетона определяется теплотехническим расчетом, где учитываются принятый тип опалубки и температура наружного воздуха в первые 14 суток после укладки бетона.

Бетон с добавкой поташа при повышении температуры среды до положительных значений продолжает интенсивно твердеть, не обнаруживает высолов на поверхности и обеспечивает сцепление с арматурой, но обла-

Таблица 16

Величина добавок поташа в растворы и бетоны

Температура твердеющего бетона в *град*	Добавка в %
До 6	5
6—16	10
16—20	15

Примечание. Максимальная добавка поташа не должна превышать 15% веса цемента.

дает повышенной усадкой и пониженной морозостойкостью. Уход за твердеющим бетоном с добавкой поташа осуществляется с соблюдением указаний п. 6.10.

6.12. Количество противоморозной добавки нитрита натрия в процентах от веса цемента, вводимое в бетонную смесь, назначается по табл. 17.

Таблица 17

Величина добавки нитрита натрия

Температура твердеющего бетона в *град*	Добавка в %
До—5	5
5—10	

Бетон с добавкой нитрита натрия, твердея на морозе, набирает ориентировочно в 7-суточном возрасте 5—25%, в 28-суточном 35—90%, а в 3-месячном 100%. Уход за твердеющим бетоном с добавкой нитрита натрия осуществляется с соблюдением указаний п. 6.10.

7. ЭЛЕКТРОПРОГРЕВ БЕТОНА

7.1. Электропрогрев бетонных и железобетонных конструкций основан на преобразовании электрической энергии в тепловую при прохождении тока через бетон конструкции. Электропрогрев бетона и железобетона следует производить при наличии технологических карт. Для каждой прогреваемой конструкции должны быть указаны:

прочность бетона после прогрева в процентах от R_{28};
вид и марка цемента;
температура и продолжительность прогрева;
схема расположения электродов;
начальное напряжение, максимальная потребная мощность и расход электроэнергии на 1 $м^3$ бетона;
план расположения электрооборудования.

7.2. Для выдерживания конструкций с модулем поверхности выше 6 целесообразно применять электродный метод прогрева; в конструкциях с модулем поверхности ниже 6 электропрогрев не применяется.

7.3. Когда безобогревные методы выдерживания не обеспечивают необходимую прочность бетона, может быть применен либо периферийный электропрогрев, предохраняющий лишь наружные слои бетона от замерзания, либо электропрогрев в сочетании с термосным выдерживанием, при котором уложенный бетон прогревается электрическим током до расчетной температуры. Требуемая прочность бетона достигается к моменту его остывания до 0°.

7.4. Электропрогрев бетона в сочетании с термосным выдерживанием целесообразно применять не только зимой, но и в осенне-весенний период, когда пониженная температура наружного воздуха может значительно задержать срок распалубки конструкций.

7.5. Для предотвращения выпаривания влаги и пересушивания бетона необходимо производить укрытие бетона на все время прогрева пароизоляционными материалами.

7.6. Для предохранения бетона от потерь тепла необходимо открытые поверхности конструкции утеплять термоизоляционными материалами. Кроме того, при сильном обветривании (скорость ветра более 4 *м/сек*) желательно опалубку с наружной стороны обивать слоем толя или полиэтиленовой пленки.

7.7. Режим электропрогрева устанавливается проектом организации работ, в котором предусматривается достижение бетоном требуемой прочности к моменту окончания его прогрева. При этом учитываются модуль поверхности конструкции, вид и марка цемента, бетона и дополнительная прочность, накапливаемая бетоном за время остывания прогретой конструкции.

7.8. В зависимости от сочетания исходных данных режим электропрогрева может быть приведен к четырем разновидностям (рис. 7):

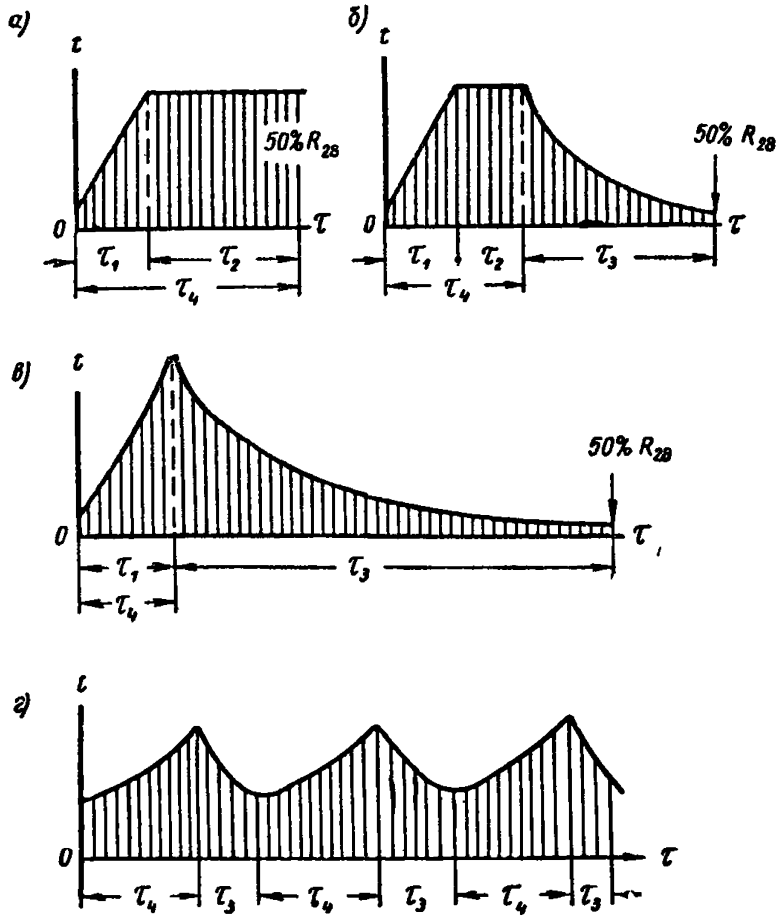

Рис. 7. Температурные режимы электропрогрева бетона

а — режим, не учитывающий нарастания прочности бетона при его остывании; *б, в, г* — режимы, учитывающие нарастание прочности бетона при остывании; τ_1 — продолжительность разогрева бетона в *ч*; τ_2 — продолжительность изотермического прогрева, τ_3 — продолжительность остывания; τ_4 — продолжительность электропрогрева

а) режим из двух периодов (рис. 7, *а*): разогрева и изотермического прогрева. При этом режиме к моменту выключения тока обеспечивается заданная прочность бетона. Этот режим рекомендуется при электропрогреве конструкций с модулем поверхности выше 15;

б) режим из трех периодов (рис. 7, *б*): разогрева, изотермического прогрева и остывания. Этот режим обеспечивает заданную прочность бетона к концу остывания прогретой конструкции и применяется при электропрогреве конструкций с модулем поверхности в пределах 6—15;

в) режим из двух периодов (рис. 7, *в*): разогрева и остывания. Этот режим рекомендуется для массивных конструкций с модулем поверхности до 6;

г) режим (рис. 7, *г*), при котором после периода разогрева до заданной температуры прогрев ведется с периодическим включением и выключением тока.

7.9. В целях экономии электроэнергии следует:

а) проводить электропрогрев в возможно короткие сроки с максимально допустимой для применяемого бетона температурой, указанной в табл. 18 (15);

Таблица 18(15)

Наивысшие допустимые температуры бетона при электропрогреве

Вид цемента	Марка цемента	Наивысшие температуры в *град* для конструкций с модулями поверхности		
		6—9	10—15	16—20
1. Шлакопортландцемент	300—500	80	65	50
2. Пуццолановый портландцемент	300—400	80	65	50
3. Портландцемент	300—400	70	60	50
4. Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ)	500—600	65	55	40

Примечание. Максимальная температура прогрева монолитных каркасных и рамных конструкций с жесткой заделкой узлов сопряжений и при периферийном электропрогреве конструкций с модулем поверхности менее 6 не должна превышать 40° С.

б) выдерживать бетон под током до приобретения им 50% прочности от R_{28}. В случае необходимости получения сразу после прогрева 70% прочности следует использовать жесткие и малоподвижные бетонные смеси с

осадкой конуса не более 20 *мм*, готовить бетон на быстротвердеющих цементах, вводить в бетонную смесь добавки-ускорители. В отдельных случаях разрешается повышать проектную марку бетона.

7.10. Скорость подъема температуры в конструкциях с модулем поверхности менее 6 не должна превышать 8°, а с модулем поверхности более 6—10° в час. Для каркасных тонкостенных конструкций небольшой длины (до 6 *м*) и конструкций, возводимых в скользящей опалубке, допускается увеличение скорости подъема температуры до 15° в час.

7.11. Скорость остывания бетона по окончании прогрева должна составлять 12° в час для конструкций с модулем поверхности более 10 и 5° в час для конструкций с модулем поверхности 6—10. Для более массивных конструкций скорость остывания должна определяться расчетом с целью уточнения условий, предотвращающих трещинообразования в поверхностных слоях бетона. Поэтому для равномерного остывания частей конструкций, имеющих различную толщину, тонкие участки, углы и другие выступающие части должны дополнительно утепляться.

Скорость остывания бетона сильно армированных конструкций с модулем поверхности более 10 рекомендуется принимать не более 15° в час с соблюдением допустимых перепадов температур при распалубке, указанных в п. 7.12.

7.12. Опалубку и теплозащиту прогретых конструкций разрешается снимать после остывания бетона в наружных слоях до 5° С; примерзание опалубки к бетону не допускается. Разность температур открытых поверхностей бетона и наружного воздуха при остывании и распалубке не должна превышать следующих величин:

а) 20° С для конструкций с модулями поверхности до 6;

б) 30° С для конструкций с модулями поверхности 6 и выше.

Если эти условия не могут быть обеспечены, то поверхность бетона после электропрогрева и распалубливания должна быть утеплена (укрыта брезентом, толем и т. п.).

7.13. Длительность электропрогрева конструкций определяют теплотехническим расчетом, предусматривая, что прочность бетона конструкций к моменту его за-

мерзания должна соответствовать требованиям п. 1.6, а к моменту распалубливания — требованиям проекта, а температура бетона при электропрогреве в различных точках конструкций (балок, колонн, линейных поверхностей) не должна отличаться более чем на 15° С по длине и на 10° С по сечению элемента.

7.14. Включение обогреваемого бетона в электрическую цепь как сопротивления осуществляется при помощи электродов из арматурной или сортовой стали, закладываемых внутрь бетона или располагаемых по его поверхности.

По своему расположению электроды разделяются на внутренние (стержневые и струнные) и поверхностные (пластинчатые, плоские, нашивные, плавающие). К поверхностным электродам относятся также электродные нагревательные панели.

7.15. Стержневые электроды изготовляют из арматурной стали диаметром 6—10 *мм* и применяют для электропрогрева балок, колонн, массивных плит, фундаментных башмаков небольшого объема, боковых поверхностей массивных конструкций (периферийный электропрогрев), пересечений и узлов сборных железобетонных конструкций и т. п.

Стержневые электроды устанавливают через открытую поверхность или отверстия, просверленные в опалубке конструкции.

7.16. Струнные электроды изготовляются также из арматурной стали диаметром 6—10 *мм*, укладываются в конструкцию перед бетонированием параллельно оси отдельными звеньями длиной 2,5—3,5 *м* и закрепляются специальными крюками. Концы звеньев загибают и выпускают из бетона или опалубки для подключения к сети.

Струнные электроды применяют для прогрева слабоармированных стенок, балок, колонн, подколонников, плит толщиной более 20 *см* с одиночной арматурой. Применяются они и при периферийном прогреве массивных конструкций и поверхностей бетона, соприкасающихся с промерзшим основанием.

7.17. Полосовые и пластинчатые электроды изготовляют из кровельной или полосовой стали и применяют при электропрогреве слабоармированных конструкций, стенок, плит, полов, арматура которых имеет защитный слой не менее 5 *см*, при периферийном электропрогреве

массивных конструкций, а также при прогреве поверхностей бетона, соприкасающихся с мерзлым грунтом.

7.18. Нашивные электроды изготовляют из арматурной стали диаметром 6 *мм*, листовой стали или отходов от штамповки (высечки).

Нашивные электроды, прикрепляемые к опалубке с внутренней ее стороны, оставляют на бетоне следы. Это

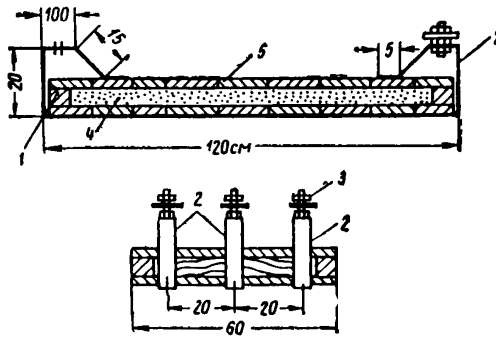

Рис. 8. Электродная панель инвентарного типа для электропрогрева горизонтальных поверхностей

1 — рама из брусьев 5×5 *см*; *2* — стальная полоса 40×4 *мм*; *3* — болты $^5/_8''$ с гайками и шайбами или оконцеватели; *4*—опилки; *5* — щит из досок 2 *см*

следует учитывать при возведении конструкций, к которым предъявляются повышенные архитектурные требования.

7.19. Плавающие электроды изготовляют из арматурной стали диаметром 6—12 *мм*. Их втапливают в бетон сразу после его укладки на глубину 3—4 *см*. Плавающие электроды применяют главным образом при прогреве бетонных горизонтальных конструкций (полов) и при периферийном прогреве верхних (не огражденных опалубкой) поверхностей массивных конструкций.

7.20. Электродные панели состоят из закрытых коробов, отепленных термовкладышами, к которым прикрепляют полосовые электроды (рис. 8).

7.21. Мощность P_1, необходимая для нагрева 1 $м^3$ бетона, определяется по формуле (7), а мощность P_2 для поддержания температуры — по формуле (8):

$$P_1 = 116 \cdot 10^{-5} \left[C\gamma\Delta t + KM_{\text{п}} \left(\frac{t_{\text{б.н}} + t_{\text{р}}}{2} - t_{\text{н.в}} \right) \right]; \quad (7)$$

$$P_2 = 116 \cdot 10^{-5} KM_{\text{п}} (t_{\text{р}} - t_{\text{н.в}}), \quad (8)$$

где P_1 — мощность, необходимая для поднятия температуры бетона от $t_{\text{б.н}}$ до расчетной $t_{\text{р}}$ с учетом теплопотерь, в *квт/м*³;

P_2 — мощность, необходимая для поддержания температуры бетона на постоянном уровне, в *квт/м*³;

C — удельная теплоемкость бетона в *ккал/кг*;

γ — объемный вес бетона в *кг/м*³;

Δt — скорость разогрева в *град/ч*;

K — коэффициент общей теплопередачи в *ккал/м*² × × *ч* · *град* (приложение 4);

$M_{\text{п}}$ — модуль поверхности конструкции в 1/*м*;

$t_{\text{б.н}}$ — температура в начале прогрева в *град*;

$t_{\text{р}}$ — температура изотермического разогрева в *град*;

$t_{\text{н.в}}$ — температура наружного воздуха в *град*.

Величина мощности, потребная для нагрева 1 *м*³ бетона, может быть определена также по данным приложения 5 и рис. 9.

Чтобы найти по номограмме требующуюся мощность для нагрева 1 *м*³ бетона, необходимо определить величину температурного коэффициента A, значение которого в номограмме соответствует наклонным прямым:

для P_1 $\quad A = \frac{t_{\text{б.н}} + t_{\text{р}}}{2} - t_{\text{н.в}}$;

для P_2 $\quad A = t_{\text{р}} - t_{\text{н.в}}$.

В формулах (7) и (8) и приложении 5 не учтены экзотермия цемента и мощность, расходуемая на нагрев опалубки. При учете этих факторов можно пользоваться данными табл. 19, определяя суммарную потребную мощность соответственно по формулам

$$\left.\begin{aligned} P' &= P_1 - P_{\text{э}}; \\ P'' &= P_2 - P_{\text{э}}. \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

7.22. Требуемый расход электроэнергии W в *квт* · *ч* на 1 *м*³ бетона может быть рассчитан по формуле

$$W = P_1\tau_1 + P_2\tau_2 = P_1 \frac{t_{\text{р}} - t_{\text{б.н}}}{\Delta t} + P_2\tau_2, \quad (10)$$

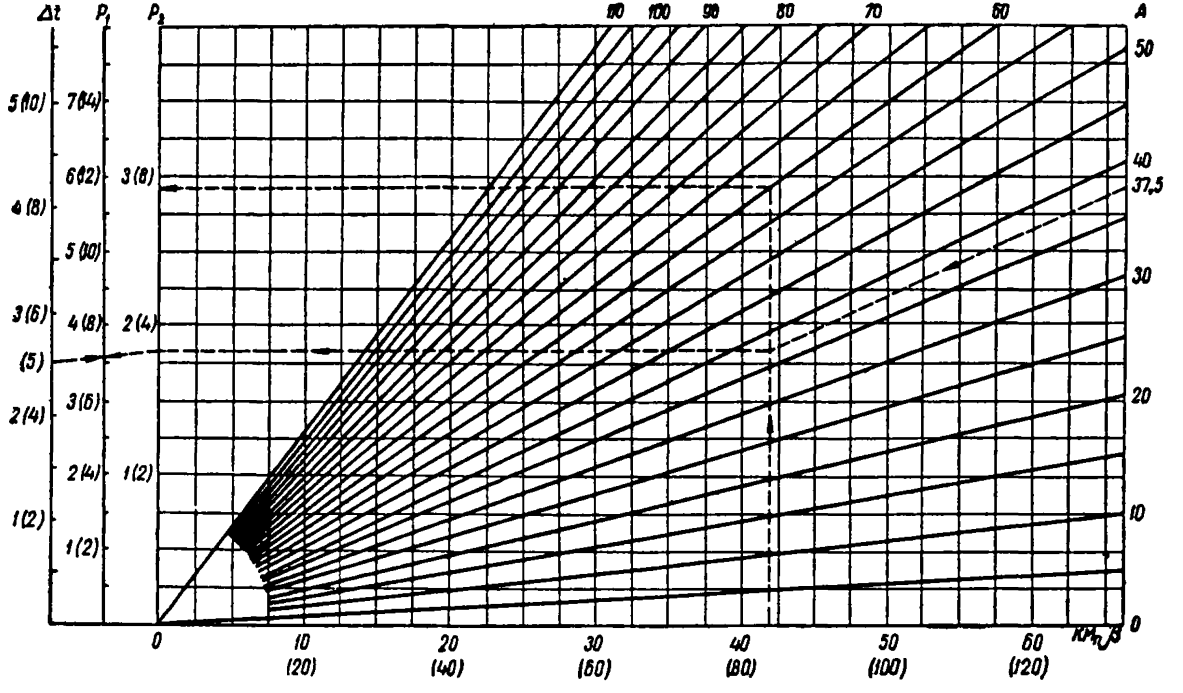

Рис. 9. Номограмма для определения необходимой мощности P_1P_2 при электропрогреве бетона; шкала с цифрами в скобках применяется при $KM_n\,\beta > 65$; Δt — скорость разогрева бетона в *град/ч*

Таблица 19

Снижение удельной мощности, вызываемое совместным влиянием экзотермии цемента и нагревом опалубки

Модуль поверхности конструкции $M_п$ в 1/м	Снижение удельной мощности $P_э$ в квт/м³
5	0,65
8	0,57
10	0,51
12	0,45
15	0,36
18	0,26
20	0,21

где τ_1 — длительность разогрева бетона в *ч*;

τ_2 — длительность изотермического прогрева в *ч*.

Расход энергии в *квт · ч/м³* бетона при прогреве конструкций с различными модулями поверхности и при различной температуре прогрева, обеспечивающей 50% проектной прочности бетона, может быть определен по данным приложения 6.

7.23. Правильное расположение электродов в бетоне должно обеспечить соответствие между электрической мощностью тока и мощностью, требуемой по тепловому расчету, и равномерный нагрев конструкции, причем в приэлектродных зонах бетона температурный перепад не должен превышать 1° на 1 *см* радиуса зоны.

7.24. Для выполнения этих условий прогрева необходимо:

соблюдать следующие минимально допустимые расстояния между электродами и арматурой:

5	*см*	при	напряжении	в	начале	прогрева	51	*в*
7	»	»	»	»	»	»	65	»
10	»	»	»	»	»	»	87	»
15	»	»	»	»	»	»	106	»
50	»	»	»	»	»	»	220	»

при невозможности соблюдения указанных максимально допустимых расстояний следует устраивать местную изоляцию электродов (рис. 10);

применять групповой способ размещения электродов по расчету, при котором в каждую из трех фаз питающей сети включается не один, а группа электродов (рис. 11):

при напряжении 51 и 65 *в* — не менее двух электродов в группе;

при напряжении 87 и 106 *в* — не менее трех;

при напряжении 220 *в* — не менее пяти;

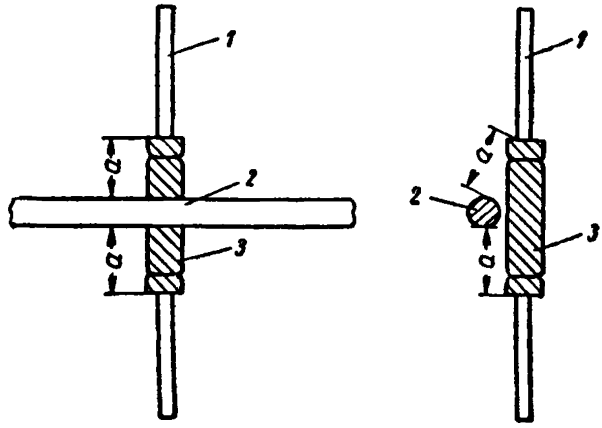

Рис. 10. Схема изоляции электрода от арматуры

1 — электрод; *2* — арматура; *3* — изоляция из толя или эбонита; *a* — допускаемое расстояние от электрода до арматуры

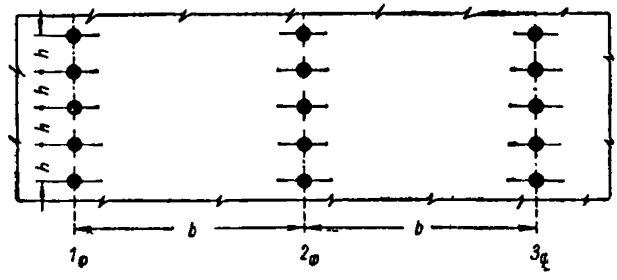

Рис. 11. Схема включения электродных групп

h — расстояние между электродами в группе; *b* — расстояние между группами электродов

при прогреве железобетонных конструкций с применением струнных электродов из стали диаметром 5 *мм* последние рекомендуется изготовлять в виде парных струн (рис. 12);

при прогреве железобетонных конструкций, насыщенных арматурой, не позволяющей разместить требуе-

мое количество групповых электродов, следует применять одиночные электроды с расстоянием между ними не более:

20—25 *см* при напряжении 50— 65 *в*
30—42 » » » 87—106 ».

7.25. Расстояние между групповыми электродами устанавливается по номограмме рис. 13. При составлении

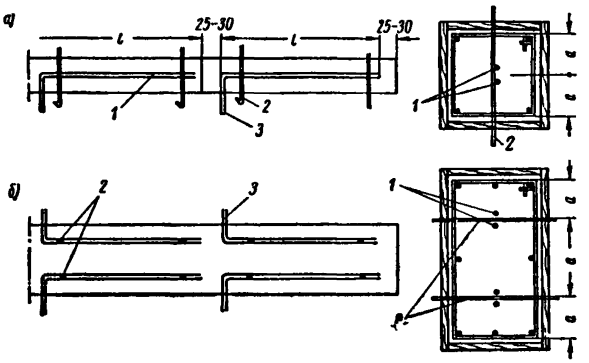

Рис. 12. Схема размещения струнных электродов в колоннах

а — квадратного сечения; *б* — прямоугольного; *1* — парные струнные электроды; *2* — крюки для временного крепления электродов; *3* — отгибы электродов для присоединения к питающей сети

номограммы удельное сопротивление бетона принято равным 500 *ом·см*. Для бетона с минимальным удельным сопротивлением, не равным 500 *ом·см*, расстояние между электродами b' можно определить по номограмме (см. рис. 9), корректируя его по формуле

$$b' = b\sqrt{\frac{500}{\rho}}\ см, \qquad (11)$$

где b — расстояние между электродами в *см*, найденное по номограмме;
ρ — минимальное удельное сопротивление бетона в конкретном случае в *ом·см*.

7.26. При электропрогреве конструкций рекомендуется определять удельное омическое сопротивление бетона опытным путем. Для этого деревянная (лучше эбони-

товая) форма 10×10×10 *см* (точность размеров ±2 *мм*) заполняется доверху бетоном. С противоположных сторон формы устанавливаются металлические пластинча-

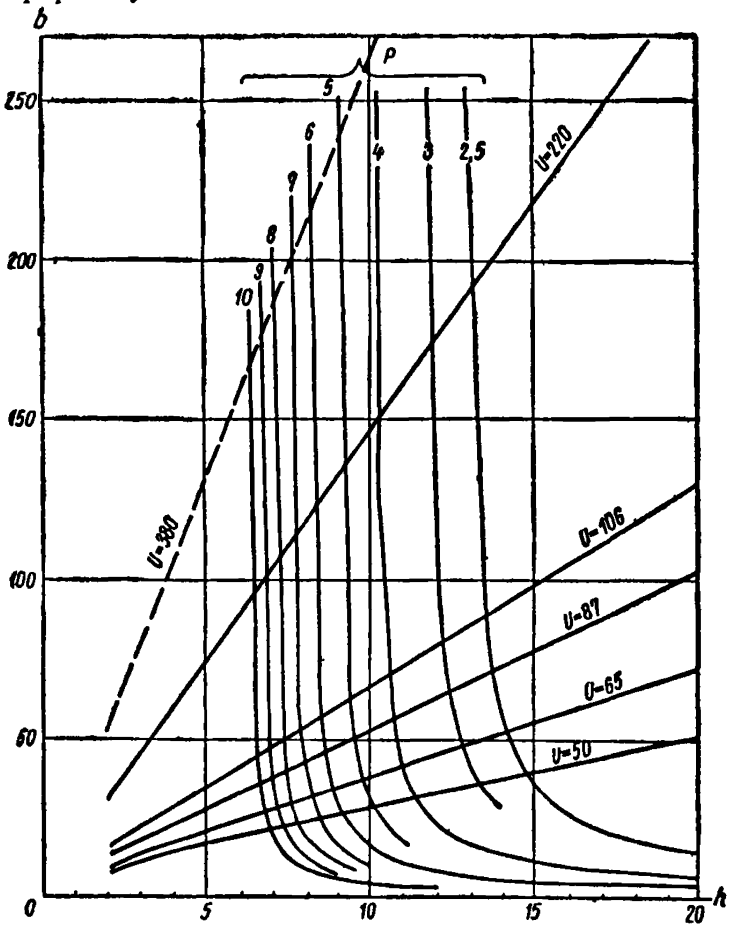

Рис. 13. Номограмма для расчета расстояний между групповыми электродами при диаметре электродов 0,6 *см*, плотности тока 2,6 *а/дм²*, скорости разогрева 5° С в 1 *ч*

U — напряжение тока в *в*; *P* — удельная мощность в *квт/м³*; *h* — расстояние между электродами; *b* — расстояние между группами электродов

тые электроды, соответствующие внутреннему размеру формы.

Удельное сопротивление бетона подсчитывается по формуле

$$\rho = 10 \frac{U}{I} \text{ ом} \cdot \text{см}, \qquad (12)$$

где ρ — удельное сопротивление бетона в *ом · см*;

U — напряжение в *в*;
I — сила тока в *а*.

Удельное сопротивление (величина, обратная удельной электропроводности) пластичной свежеуложенной бетонной массы при температуре 5—10° С колеблется в пределах от 800 до 1500 *ом·см*. При нагревании удельное сопротивление бетона принимает значение 500—1000 *ом·см*, а при достижении 50—60% проектной прочности оно увеличивается до 3000 *ом·см* и более.

7.27. Электродный метод прогрева производится при пониженных напряжениях тока (50—120 *в*), что позволяет обеспечить более точное соблюдение заданного режима выдерживания бетона. Применение напряжения 127—380 *в* допускается при прогреве неармированного бетона.

7.28. Напряжение на электроды подается от распределительного щита через софиты. Софиты должны устраиваться в соответствии со следующими указаниями:

а) инвентарные софиты изготовляют из досок длиной 3—3,5 *м* с проложенными по ним на роликах изолированными проводами ПР15—25 *мм*². Через каждые 0,4—0,6 *м* к этим проводам в местах установки роликов припаивают отрезки шнура ПР1,5—2,5 *мм*², длиной 0,8—1 *м*, свободные концы которых присоединяют к установленным в бетоне электродам;

б) применяются софиты в виде деревянных коробов с шинами из круглой арматурной стали или труб диаметром 16—18 *мм;* стальные шины или трубы крепят деревянными клицами, снабженными изолирующими втулками;

в) допускаются софиты со стальными стержнями, скрепленными деревянными клицами; концы крайних стержней софитов отгибаются в стороны под прямым углом, что облегчает присоединение проводов;

г) при использовании в софитах голых проводов и стальных стержней присоединение отпаек к ним производится простой окруткой, винтом или наваркой стержня;

д) софиты устанавливаются по длине прогреваемых конструкций или вдоль торцов электродных панелей;

е) установку софитов по свежеуложенному бетону производят по деревянным козелкам, поставленным на доски, уложенные по бетону;

ж) соединение софитов производят при помощи перемычек из провода ПР15—25 *мм*², длиной до 0,7 *м*. Концы

соединительных проводов должны иметь наконечники или приспособления для скрепления болтами.

7.29. Контакты на плавающих и стержневых электродах, устанавливаемые после укладки бетона, следует осуществлять до установки электродов путем присоединения к последним коротких проводников из шнура или голого провода сечением 1,5—2,5 *мм*^{2}.

Проводники после установки электродов присоединяют к отпайкам софитов, что обеспечивает экономию времени по сравнению с устройством контактов на электродах.

7.30. Установки для электропрогрева состоят из одного или нескольких трансформаторов и распределительного устройства с главным и групповыми щитами.

В условиях строительных площадок наиболее удобными для электропрогрева являются передвижные установки. Стационарные установки используются главным образом при прогреве сборных железобетонных конструкций и изделий на полигонах, а также при прогреве больших объемов монолитного бетона, сосредоточенных на одной строительной площадке.

Для электропрогрева рекомендуются трехфазные трансформаторы. Однофазные трансформаторы следует соединять в трехфазные группы, состоящие из трех или шести трансформаторов. Это дает возможность получить дополнительные ступени напряжения, равномернее загружать трехфазную сеть и уменьшать расход проводов.

Основные технические данные о трансформаторах различных типов, используемых в практике электропрогрева, приведены в приложении 7.

7.31. Места установки трансформаторов, щитов и схемы канализации тока для прогрева данной конструкции необходимо выбирать так, чтобы обеспечить:

а) возможно меньшее количество перемещений трансформаторов и щитов;

б) экономный расход проводов;

в) наименьшую трудоемкость обслуживания.

Трансформаторы и провода следует размещать вне зоны движения транспорта и в стороне от рабочих мест бетонирования.

7.32. Кабели, питающие трансформаторы, групповые щиты и софиты, могут быть расположены на земле. При пересечении дорог кабели подвешиваются на высоте бо-

лее 5 *м* или укладываются в деревянном коробе, заглубленном в землю.

7.33. Все провода, кроме воздушных питающих сетей, должны быть изолированными. Провода, подающие ток низкого напряжения к групповому щиту и от группового щита к софитам, должны быть расположены на переносных козлах или изолирующих прокладках.

7.34. Для уменьшения падения напряжения в сети расстояния между отдельными элементами установки для электропрогрева не должны превышать:

между главной линией и трансформаторами 50 *м*;

между трансформатором и распределительным устройством 25—30 *м*;

между распределительными устройствами и софитами 20—25 *м*.

7.35. При монтаже электрооборудования должны быть очищены и проверены на плотность затяжки и все контактные соединения; отшлифованы контактные поверхности рубильников; очищены от окислов наконечники присоединяемых проводов и отремонтирована поврежденная изоляция проводов; установлены на нуле стрелки электроизмерительных приборов на щитах; проверен уровень масла в трансформаторах с масляным охлаждением; проверены на обрыв и изоляцию одна от другой и относительно корпуса обмотки трансформаторов; при отсутствии меггера или индуктора проверка производится лампочкой накаливания.

7.36. По окончании монтажа следует:

проверять правильность расстановки электродов, качество контактов между ними и подводящими проводами, а также равномерность распределения нагрузки между фазами питающей сети;

не допускать перегрузки трансформаторов и распределительных устройств; снижать нагрузки или временно выключать их из работы в случае чрезмерного нагрева;

следить за температурой проводов и контактов; в случае искрения в контактах, чрезмерного нагрева, обнаружения запаха горящей изоляции проводов и т. п. немедленно следует выключить ток, а неисправность устранить.

7.37. При производстве бетонных работ с электропрогревом необходимо соблюдать следующие правила.

Начинать прогрев при температуре бетона не ниже 5° С.

Применять пластичные бетонные смеси и укладывать смесь с температурой не менее 5° С при бетонировании конструкций с модулем поверхности 6—15, когда расстановка и монтаж электродов уже произведены; при модуле поверхности конструкций более 15 и при установке электродов после укладки бетонной смеси температура укладываемой смеси должна быть не ниже 10° С.

Во избежание местного перегрева бетона и короткого замыкания во время бетонирования электроды не должны смещаться с первоначального положения и не прикасаться к арматуре.

В местах соприкосновения прогреваемого бетона с замерзшей каменной кладкой или замерзшим бетоном размещать дополнительные электроды, обеспечивающие усиленный прогрев участка, примыкающего к холодным поверхностям.

Балки следует бетонировать целиком по длине; балки ребристых перекрытий бетонировать одновременно с плитой; избегать скопления на поверхности плит воды или цементного молока; следить за прогревом опорных участков балок и плит.

Следить за сохранением проектной толщины верхнего защитного слоя бетона и его ровной поверхностью. Это обеспечивает плотность контакта бетона с поверхностными электродами.

Принимать такие размеры бетонируемых участков плиты, чтобы всю поверхность свежего бетона укрывать электропанелями; если небольшие участки уложенного бетона остаются незакрытыми, то последние прогревать при помощи плавающих электродов.

На внешнюю сторону опалубки выносить отметку верха бетона при бетонировании с перерывами высоких колонн и элементов рамных конструкций.

Включать повторно крайние электроды в уже прогретом участке конструкции, примыкающем к вновь прогреваемому бетону.

Применять в начальный период прогрева для снижения максимальной мощности напряжение 50—60 *в*, увеличивая его по мере твердения бетона.

7.38. Порядок бетонирования конструкций, а также размещение рабочих швов должны исключать возникновение значительных температурных напряжений. Для этого электропрогрев бетона при изотермической темпе-

ратуре выше 40° С должен производиться с соблюдением следующих требований:

а) железобетонные балки, опирающиеся на ранее забетонированные конструкции, должны быть отделены прокладками из металлических листов; если это мероприятие не может быть проведено и дополнительные температурные напряжения не учтены расчетом, бетонирование и прогрев балок следует вести с разрывами длиной $^1/_8$ пролета, но не менее 0,7 *м*; заполнение разрывов бетонной смесью и прогрев бетона в разрывах должны производиться после остывания уложенного ранее бетона до 15° С;

б) прогрев неразрезных балок, не связанных жестко с опорами, должен производиться одновременно на участках длиной не более 20 *м*;

в) бетонирование и прогрев неразрезных ригелей многопролетных рам (при отношении высоты стойки рамы к высоте ее сечений в плоскости рамы до 15) должны производиться с разрывами длиной $^1/_8$ пролета, располагаемыми через два пролета при пролетах рамы до 8 *м* и через один пролет при большей величине;

г) прогрев балок, расположенных параллельно и жестко связанных между собой (например, двух подкрановых балок, расположенных на одной колонне и жестко связанных с ней), должен производиться одновременно.

7.39. При периферийном электропрогреве до начала бетонирования должны быть закончены работы по установке электродов, подводке электроэнергии и другие электромонтажные работы, чтобы прогрев блока можно было начать сразу же после окончания укладки бетонной смеси.

Во избежание неравномерного прогрева и пересушивания бетона, а также в целях обеспечения безопасности работ электропрогрев следует вести при низких напряжениях (48, 54, 84 *в*).

Расстояние между электродами рекомендуется принимать в углах блока 200—250 *мм*, на остальных участках 300—350 *мм*. Расстояние между электродами и арматурой должно быть не менее 50 *мм*. При меньших расстояниях арматура изолируется от электродов полосками пергамина или толя шириной 50—100 *мм*, обернутыми вокруг электрода. Электрод крепится на изолированном участке к арматуре проволокой.

Предельная температура обогрева бетона должна быть не выше 35° С при скорости подъема температуры 20° в час. Продолжительность и режим прогрева устанавливаются строительной лабораторией в зависимости от температур наружного воздуха и уложенного бетона.

8. ПРОГРЕВ БЕТОНА ПАРОМ И ГОРЯЧИМ ВОЗДУХОМ

8.1. Порядок бетонирования конструкций и выполнение рабочих швов, выдерживаемых с применением пара и теплого воздуха, должны осуществляться с соблюдением всех требований, ранее перечисленных.

8.2. При прогреве скорость повышения температуры бетона в конструкции не должна превышать 5° в час при $M_п \leqslant 6$ и 8° в час при $M_п > 6$.

При паропрогреве температура бетона с применением быстротвердеющего цемента не должна превышать 70° С, портландцемента — 80° С, шлакопортландцемента и пуццоланового портландцемента — 95° С.

8.3. Скорость остывания монолитного бетона по окончании прогрева должна соответствовать требованиям, аналогичным электропрогреву.

8.4. Продолжительность прогрева устанавливается расчетом.

Требуемая прочность конструкций с модулем поверхности более 15 должна быть обеспечена к концу прогрева без учета ее нарастания в процессе остывания бетона.

Длительность изотермического прогрева конструкций с модулем поверхности от 6 до 15 может быть сокращена путем учета нарастания прочности в процессе остывания конструкции до 0°.

Рекомендуется при прогреве конструкций с модулем поверхности менее 6 ограничиваться разогревом бетона до допускаемой предельной температуры, если расчет показывает, что при принятом утеплении опалубки и укрытии можно получить требуемую прочность бетона.

8.5. Для обеспечения одинаковых условий остывания всех частей конструкций, имеющих различную массивность, ее тонкие элементы, выступающие углы и другие быстро остывающие части должны быть соответственно утеплены.

8.6. Если разность температуры наружного воздуха и бетона превышает 30°, открытые поверхности бетона

после распалубки необходимо укрыть брезентом, толем, шевелином или другими утеплителями во избежание возникновения значительных температурных напряжений и потерь влаги в бетоне.

8.7. Прогрев бетона насыщенным паром должен производиться с соблюдением следующих требований:

а) паровые рубашки колонн и стен надлежит разделить на отсеки высотой 3—4 *м*, причем пар должен подаваться в каждый отсек самостоятельно и прогрев конструкций должен осуществляться равномерно;

б) ввод пара в паровые рубашки прогонов, балок, ригелей и арок осуществляется через 2—3 *м* по их длине, а в паровые рубашки плит — один ввод на каждые 5—8 $м^2$ поверхности;

в) паропрогрев в капиллярной опалубке (с каналами для пропуска пара, расположенными в толще самой опалубки) допускается только для колонн и стен;

г) в конструкции должны быть предусмотрены мероприятия для удаления конденсата и предотвращения образования наледи.

8.8. Паропрогрев бетонных и железобетонных конструкций применяют при бетонировании балок, прогонов, плит и других элементов.

Принципиальные схемы устройства опалубки при паропрогреве и воздухопрогреве приведены на рис. 14 и 15.

8.9. При пропаривании монолитных конструкций в паровых рубашках необходимо соблюдать следующие требования:

ребристые перекрытия следует прогревать в опалубке из утепленных щитов, устанавливаемых под плитой, вокруг ребер и балок; сверху плита должна быть укрыта термоизоляционным материалом так, чтобы между ограждением и плитой оставалась воздушная прослойка 15—20 *см*;

в паровую рубашку пар подводится снизу; для прохода пара под верхнюю термоизоляцию в плите устраиваются специальные отверстия размером 10×10 *см*;

при пропаривании горизонтальных конструкций (рандбалок, подкрановых балок и т. п.) пар следует подавать в паровую рубашку через каждые 1,5—2 *м* по длине.

8.10. В целях уменьшения расхода пара и лесоматериалов прогрев отдельно стоящих колонн и балок осуществляется пропуском пара по стальным трубам, зало-

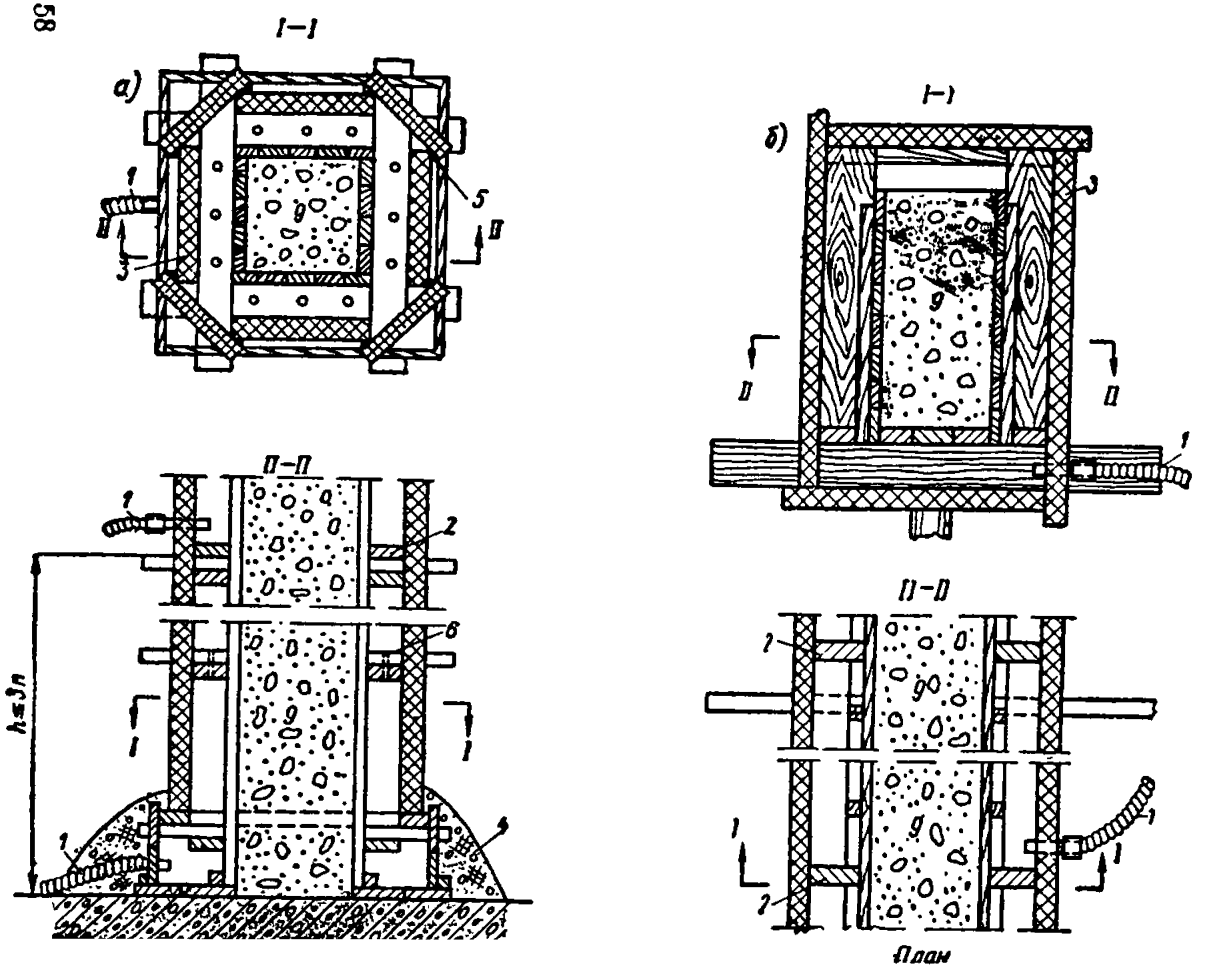

Рис. 14. Схемы устройства опалубки при обогреве бетонных и железобетонных конструкций паром или горячим воздухом

а — колонн; *б* — балок; *1* — гибкий шланг; *2*—заглушка; *3* — утепленные щиты; *4* — опилки; *5* — конопатка щелей войлоком; *6* — отверстия в схватках

женным внутри бетонной конструкции. Диаметр труб принимается в зависимости от сечения конструкции в пределах 13—50 *мм*. При закладке в конструкциях нескольких труб их следует соединять в гребенки с общим вводом пара.

Для многократного использования металлических труб и во избежание сцепления их с бетоном рекомендуется поверхность труб смазывать канифольно-петролатумной смазкой.

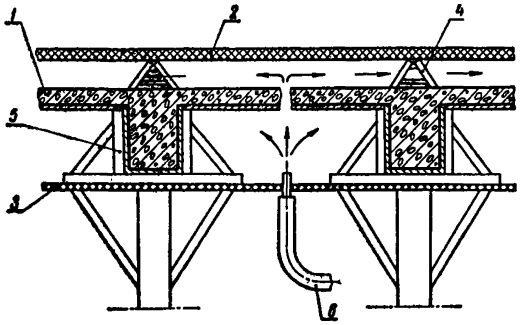

Рис. 15. Схема устройства опалубки при обогреве паром или воздухом ребристого перекрытия

1 — прогреваемый бетон; *2* — утепление; *3* — фанера; *4* — козелки; *5* — опалубка; *6* — гибкий шланг

8.11. Воздушно-тепловой обогрев бетонных изделий и конструкций основан на предпосылках, что излишняя вода при повышенной температуре в замкнутом пространстве интенсивно испаряется из бетона и повышает влажность окружающего воздуха, чем создаются благоприятные условия для твердения бетона.

8.12. При прогреве теплым воздухом продолжительность и максимально допустимая температура воздушно-теплового прогрева для достижения бетоном 50% прочности от проектной принимается по табл. 20 и уточняется в соответствии с практическими результатами прогрева бетона в лаборатории строительства.

Прогрев бетона, приготовленного с добавкой сульфитно-спиртовой барды, при температуре свыше 40° С не допускается; для ускорения твердения бетона рекомен-

Таблица 20

Продолжительность и максимальная температура прогрева

Вид цемента	Температура прогрева в *град*	Продолжительность прогрева в ч
Портландцемент	40	20
	60	16
	80	12
Шлако-и пуццолановый портландцемент	40	24
	60	18
	80	14

дуется введение добавки хлористого кальция в бетонную смесь в количестве до 2% веса цемента.

8.13. Воздушно-тепловой прогрев может быть осуществлен различными типами обогревателей (печи сопротивления, топки воздушные и огневые) с различными видами теплоносителей (пар, вода, топочные газы, электроэнергия и т. п.). Во время прогрева не следует допускать соприкосновения источника высокой температуры, например спирали, с бетоном [1].

8.14. Если ограждения обогреваемого пространства не обеспечивают сохранения в нем испаряемой из бетона влаги, то рекомендуется повышать относительную влажность воздуха до 70—90%, помещая в тепляк или камеру открытые емкости с водой.

8.15. Прогрев нагревательными приборами горизонтальных бетонных и железобетонных конструкций (перекрытия, плиты, полы) рекомендуется проводить отражательными печами, плоскими электротепляками и электрощитами, мощность которых определяется расчетом (приложение 8).

Регулирование температуры нагрева достигается параллельным или последовательным включением, нагревателей, а также путем их периодического выключения.

[1] Отражательные печи, ТЭНы, электроцилиндры и другие аналогичные нагреватели, располагающие температурой поверхности не более 400° С, являются генераторами инфракрасного излучения малой мощности и воздействуют на процесс твердения бетона главным образом нагретым воздухом под кожухом печи. Генераторы инфракрасного излучения большой мощности, когда на бетон воздействует лучистая энергия, не нашли широкого применения для обработки монолитного бетона.

8.16. Применение объемных тепляков для выдерживания бетона, как правило, запрещается.

Допускается в отдельных случаях с технико-экономическим обоснованием применение легких местных тепляков из полимерных материалов, а также тепляков, создаваемых путем устройства перекрытия котлована плоским или шатровым ограждением, объем которых обогревается теплым воздухом от калорифера.

9. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РАБОТ

9.1. Контроль за технологией производства бетонных работ осуществляется инженерно-техническим персоналом и строительной лабораторией.

9.2. Строительная лаборатория осуществляет контроль за приготовлением бетонной смеси, приготовлением растворов солей, установкой арматуры и опалубки, а также за очисткой арматуры и опалубки от снега, льда и мусора, за укладкой бетонной смеси и уходом бетона в процессе выдерживания.

9.3. Контроль качества бетонирования в зимних условиях осуществляется предварительным испытанием цементов, добавок и заполнителей; наблюдением за температурой воды, заполнителей и бетонной смеси; проверкой подвижности бетонной смеси при выходе из смесителя; проверкой наличия скважин в теле бетона (глубиной 10—20 *см*) для измерения температуры; замером температуры твердеющего бетона; проверкой прочности контрольных образцов.

9.4. Замер температуры подогрева воды, заполнителей и подвижности смеси производить не реже 2 раз в смену с занесением результатов в журнал контроля.

9.5. Контроль температуры уложенного бетона производится регулярно.

Для измерения температуры в забетонированных конструкциях (колонны, балки и др.) устраиваются температурные скважины глубиной до 10 *см*, а в каркасных и в массивных конструкциях — до 20 *см*. Скважины нумеруют и наносят на плане сооружения; их устраивают в местах наиболее неблагоприятного температурного режима и располагают при бетонировании по методу термоса в наружных, прилегающих к опалубке слоях бетона.

При бетонировании способом термоса конструкций большой массивности предусматривают скважины для замера температуры как в периферийных, так и в глубинных слоях. При прогреве конструкций паром или горячим воздухом скважины следует располагать в слоях бетона, наиболее удаленных от поверхности. Кроме того, для контроля температуры пара или воздуха в опалубке необходимо предусматривать специальные закрывающиеся отверстия.

Температура измеряется техническим термометром до полного остывания бетона (0°), длительность каждого измерения 4—5 *мин* при изоляции термометра от влияния наружной температуры воздуха.

9.6. Контроль температуры бетона осуществлять:

при выдерживании бетона по способу термоса 2 раза в сутки до окончания выдерживания;

при прогреве бетона паром и горячим воздухом в первые 8 *ч* — через 2 *ч*, в последующие 16 *ч* — через 4 *ч*, а в остальное время прогрева и остывания — не реже 1 раза в смену;

при электропрогреве в первые 3 *ч* — через каждый час, а в остальное время прогрева — 3 раза в смену.

Для контроля температур в конструкциях рекомендуется применять дистанционные датчики температур.

9.7. При укладке в конструкцию бетонной смеси с противоморозными добавками осуществляется контроль:

за концентрацией раствора солей и состава бетона — 2 раза в смену;

за температурой наружного воздуха и составляющих бетонной смеси — не реже 3 раз в сутки, в том числе бетонной смеси — по выходе из бетономешалки и перед укладкой; уложенного бетона: первые 10 дней — не реже 3 раз в сутки, в последующие дни — 1 раз в сутки.

9.8. Прочность бетона в конце выдерживания устанавливается результатами лабораторного испытания прочности бетонных образцов размерами 20×20×20, 15×15×15 или 10×10×10 *см*, в зависимости от крупности заполнителя согласно ГОСТ 10180—62 «Бетон тяжелый. Методы определения прочности». Контрольные образцы изготовляются из смеси, применяемой при бетонировании. Выдерживание образцов должно производиться в одинаковых с бетонируемыми конструкциями температурно-влажностных условиях.

9.9. Контроль прочности бетонных образцов необходимо производить в следующем порядке:

количество подлежащих испытанию серий образцов бетона каждой марки для проверки прочности бетона должно назначаться из расчета одной серии (девять образцов-близнецов) на следующие объемы работ:

для фундаментов под конструкции — на каждые 100 $м^3$ уложенного бетона, но не менее одной серии на каждый блок[1];

для фундаментов объемом более 50 $м^3$ — на каждые 50 $м^3$ уложенного бетона не менее одной серии на каждый блок; при объеме менее 50 $м^3$ — не менее одной серии на каждый фундамент;

для каркасных и тонкостенных конструкций (колонн, балок, арок, плит и др.) — на каждые 20 $м^3$ уложенного бетона;

количество подлежащих испытанию серий образцов для оснований и покрытий цементно-бетонных дорог и аэродромов должно быть не менее двух (три образца-близнеца для испытания на сжатие и три образца-близнеца для испытания на растяжение при изгибе) на каждые 200 $м^3$ уложенного бетона, но не менее чем на объем бетона, уложенного за рабочую смену.

9.10. Три образца из девяти предназначаются для определения марки бетона (R_{28}); их хранят и испытывают при $t = +20°$ С и относительной влажности воздуха не менее 90%. Остальные шесть образцов хранят в условиях твердения бетона; три из них испытывают после того, как температура бетона в конструкции упадет до —2° С, а в конструкциях из холодного бетона — до расчетной температуры твердения, остальные три являются запасными.

Если результаты испытания первых трех из шести образцов вопреки предварительным расчетам покажут неудовлетворительную прочность бетона, необходимо немедленно принять меры к дополнительному обогреву конструкции. Для окончательной проверки прочности бетона в этом случае будут служить три запасных образца.

Примечание. При отсутствии возможности создания контрольным образцам производственного режима конечная прочность

[1] Под блоком следует понимать конструкцию, часть конструкции или группу конструктивных элементов, бетонируемых без перерыва. При объеме конструкции менее указанного должна изготовляться одна серия образцов.

бетона определяется по прочности кубов, хранящихся при $t = 15°$ С, с внесением поправок на фактическую температуру твердения.

Температура выдерживания бетона в конструкции принимается равной средней по времени температуре из полученных записей температурного журнала за весь срок выдерживания бетона в целом.

9.11. При снятии опалубки производятся оценка внешнего вида бетона конструкции и испытание его прочности без разрушения. Замерзший бетон вместо серого имеет зеленоватый или зеленовато-серый цвет; звук при простукивании не звонкий, а глухой; откалывание происходит с образованием выбоин.

Прочность бетона без разрушения конструкции определяется акустическим методом (ультразвуковыми импульсными приборами).

9.12. В течение всего времени бетонирования результаты контроля за производством работ, данные о составах бетонов, результаты испытания образцов и осмотра конструкции, а также регистрация температур наружного воздуха и твердеющего бетона заносятся в специальные журналы (см. приложения 2 и 3 СНиП III-В.1-62*).

Определение модуля поверхности охлаждения конструкции

Модуль поверхности охлаждения есть отношение площади охлаждаемых поверхностей конструкций F к их объему V:

$$M_{\text{п}} = \frac{F}{V} (1/м).$$

Модули поверхности охлаждения конструкций простых и наиболее распространенных очертаний (рис. 16) могут быть вычислены по формулам:

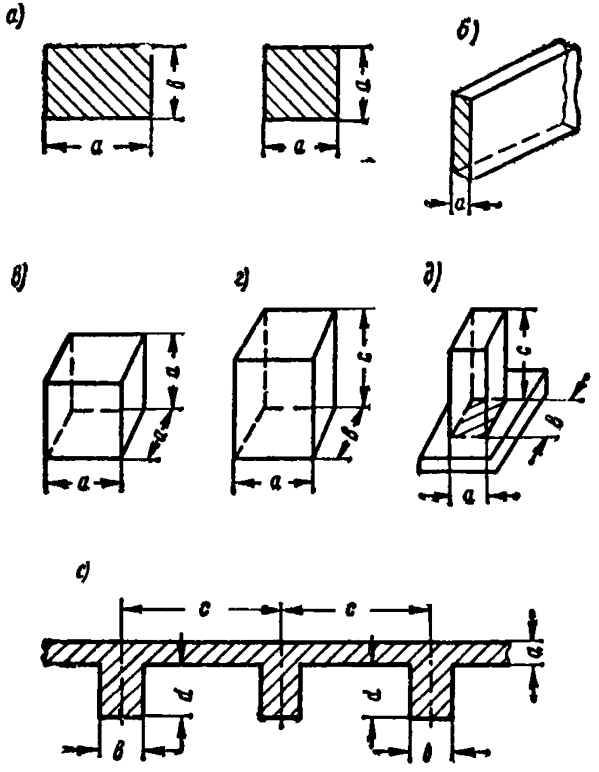

Рис. 16. Схема наиболее распространенных конструкций для определения их модуля поверхности охлаждения $M_{\text{п}}$

а — балок и колонн; *б* — стен и плит; *в* — куба; *г* — параллелепипеда; *д* — параллелепипеда, примыкающего к основному массиву (теплообмен через площадь примыкания не учитывается); *е* — ребристого перекрытия

для балок и колонн прямоугольного сечения

$$M_{\text{п}} = \frac{2}{a} + \frac{2}{b};$$

для квадратного сечения

$$M_{\text{п}} = \frac{4}{a},$$

для стен и плит

$$M_{\text{п}} = \frac{2}{a};$$

для куба

$$M_{\text{п}} = \frac{6}{a};$$

для параллелепипеда

$$M_{\text{п}} = \frac{2}{a} + \frac{2}{b} + \frac{2}{c};$$

для параллелепипеда, примыкающего к массиву;

$$M_{\text{п}} = \frac{2}{a} + \frac{2}{b} + \frac{1}{c};$$

для ребристого перекрытия

$$M_{\text{п}} = 2\,\frac{d+c}{bd+ca}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Значение коэффициента β, учитывающего влияние ветра на скорость охлаждения конструкции

Величина коэффициента β зависит от степени влаго- и воздухопроницаемости материалов опалубки и теплоизоляции. Легкопроницаемыми утеплителями являются камышит, соломит, войлок, опилки, шлак; труднопроницаемыми — толь, фанера и тщательно выполненная опалубка. Если ограждение покрыто слоем плотного материала (например, толем), то повышается эффективность теплозащиты. Значения коэффициента β приведены в таблице.

Значения коэффициента β

Характеристика ограждения	β_1	β_2
Из легкопроницаемых утеплителей . . .	2,6	3
С защитой со стороны бетона слоем труднопроницаемого утеплителя	2	2,3
С защитой с внешней стороны слоем труднопроницаемого утеплителя	1,6	1,9
С защитой с внешней и внутренней сторон слоем труднопроницаемого утеплителя . .	1,3	1,5
Из труднопроницаемых утеплителей . .	1,3	1,5

Примечание. Значения β_1 относятся к случаям обычного обветривания (скорость ветра до 4 *м/сек*) конструкций, расположенных на высоте до 25 *м*; β_2 — к случаям сильного обветривания, характерного для районов Крайнего Севера.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблицы для подбора условий термосного выдерживания бетона

Подбор наиболее рациональных условий термосного выдерживания бетона требует трудоемких расчетов, основанных на варьировании исходных данных (значений начальной температуры, срока выдерживания бетона, содержания цемента и т. д.).

Для облегчения подбора условий можно пользоваться нижеприведенными табл. 1 и 2, составленными для бетонов, приготовленных

Таблица 1

Бетон без добавки хлористого кальция ($CaCl_2$)

$K_0=KM_п$	$t_{н.в}$	$t_{б.н}$	$t_{б.к}$ в *град*	τ в сутках	Марка цемента	Расход цемента в *кг* на 1 $м^3$ бетона	R_τ в % от R_{28}
4,5	—10	10	6	4	300	200	30
		15	5	6	300	231	50
		25	3	10	400	244	70
	—15	10	5	5	400	231	34
					300	309	34
		20	5	6	400	267	53
		25	3	9,5	600	232	53
					500	260	70
	—20	12	5	4,5	400	253	32
		17	5	6	600	258	53
					500	260	53
		25	3	9	600	282	69
					500	315	69
	—25	15	5	4	400	254	33
		17	3	6	600	257	51
					500	288	51
		25	3	8	600	317	70
5,5	—10	15	3	3,5	300	222	29
		20	3	7	400	203	51
					300	271	51
		25	3	11	600	277	70
					500	310	70

Продолжение табл. 7

$K_0=KM_п$	$t_{н.в}$	$t_{б.н}$	$t_{б.к}$ в *град*	τ в сутках	Марка цемента	Расход цемента в *кг* на 1 $м^3$ бетона	$R_у$ в % от R_{28}
	—15	15	5	4	400	151	33
					300	287	33
		15	7	6	600	262	48
					500	293	48
		25	3	8	600	274	68
					500	306	68
	—20	20	3	4	400	184	31
					300	244	31
		20	5	6	600	269	50
					500	301	50
		25	1	7,5	600	280	60
					500	310	60
	—25	25	3	5	600	223	31
					400	233	31
		25	2	6	600	285	50
					500	319	50
6,5	—10	12	5	4	300	265	29
		25	3	6	300	238	50
		25	2	9	600	269	68
					500	304	68
	—15	17	5	4	400	239	33
		20	4	6	600	261	50
					500	292	50
		25	3	7	600	294	61
		21	5	4	500	229	34
					400	290	34
	—20	25	2	6	600	268	50
					500	300	50
	—25	23	3	4	500	241	33
		25	3	5	600	280	46
7,5	—10	15	5	4	400	230	31
		20	5	6	600	246	50
					500	275	50
					400	348	50
		25	2	8,5	600	314	68
	—15	18	5	4	500	243	32
					400	307	32
					600	275	49

Продолжение табл. 1

$K_0 = KM_п$	$t_{н.в}$	$t_{б.н}$	$t_{б.к}$ в *град*	τ в сутках	Марка цемента	Расход цемента в *кг* на 1 $м^3$ бетона	R_x в % от R_{28}
		20	5	5	500	308	49
		25	1	7,5	600	347	60
	—20	20	4	4	600	257	34
					500	289	34
		25	3	5	600	289	48
					500	324	48
	—25	22	5	3	600	239	28
					500	268	28
		25	0	5	400	339	41
					600	511	41
8,5	—10	20	3	4	300	234	30
					600	231	30
		25	3	6	500	250	50
					400	328	50
		25	2	7,5	600	313	59
	—15	18	7	3	600	236	29
					500	266	29
					400	333	29
		25	5	5	600	320	50
	—20	18	4	3	600	242	28
					500	270	28
					400	340	28
					600	295	40
		25	2	4,5	500	330	40
	—25	22	3	3	600	260	27
					500	290	27
		25	3	3,5	600	296	35
10	—10	15	3	3	600	236	27
					500	263	27
					400	334	27
		25	3	6	600	237	31
					500	321	31
	—15	22	3	3	600	222	23
					500	248	23
					400	301	49
		25	0	6	500	329	49

Продолжение табл. 1

$K_0=KM_п$	$t_{н.в}$	$t_{б.н}$	$t_{б.к}$ в *град*	τ в сутках	Марка цемента	Расход цемента в *кг* на 1 $м^3$ бетона	R_x в % от R_{28}
	—20	25	3	3	600	233	26
					500	264	26
					400	330	26
	—25	25	2	3	600	303	27

Таблица 2

Бетон с добавкой 2% хлористого кальция ($CaCl_2$)

$K_0=KM_п$	$t_{н.в}$	$t_{б.н}$	$t_{б.к}$ в *град*	τ в сутках	Марка цемента	Расход цемента в *кг* на 1 $м^3$ бетона	R_x в % от R_{28}
4,5	—10	10	9	2	300	215	33
		14	0	6	300	233	52
		18	—2	12	400	203	70
					300	270	70
	—15	10	6	3	300	223	34
		10	1	6	300	243	47
		20	—2	10	400	245	68
					300	326	68
	—20	10	2	4	300	237	34
		10	—1	6	400	214	47
					300	285	47
		23	—3	10	600	236	72
					500	264	72
					400	234	72
	—25	10	0	4	300	256	32
		15	—2	6	400	226	49
					300	302	49
		24	—2	8,5	600	251	70
					500	281	70
5,5	—10	10	8	2	300	220	31
		10	0	7	300	237	50
		15	0	10	500	240	70
					400	305	70

Продолжение табл. 2

$K_0=KM_п$	$t_{н.в}$	$t_{б.н}$	$t_{б.к}$	τ в сутках	Марка цемента	Расход цемента в *кг* на 1 $м^3$ бетона	R_x в % от R_{28}
	в *град*						
	—15	10	4	3	300	217	31
		10	—2	7	400	236	52
					300	316	52
		18	—1	9	600	234	68
					500	262	68
					400	328	68
	—20	10	0	4	300	252	32
					500	229	32
		15	—3	7	400	295	53
					300	292	53
		20	—2	8	600	274	67
					500	307	67
	—25	12	—3	4	300	222	30
					500	210	30
		20	—3	6	400	266	52
					500	254	52
		23	—2	7	600	279	67
					500	312	67
6,5	—10	10	6	3	300	249	32
		12	3	6	400	268	50
		17	—1	10	600	280	67
	—15	10	5	3	400	233	30
		12	0	6	500	234	50
					400	296	50
		25	—3	9,5	600	232	72
					500	315	72
	—20	10	5	3	500	243	30
					400	308	30
		15	3	6	600	244	50
					500	273	50
		25	—3	7,5	600	283	69
					500	316	69
	—25	12	4	3	600	233	30
					500	260	30
		20	0	5	600	248	50
					500	278	50
		25	—2	6,5	600	322	64
7,5	—10	10	4	3	300	244	30
		10	—1	7	500	202	49
					400	256	49
		20	—3	10	300	242	67
					600	237	67
					500	265	67

Продолжение табл. 2

$K_0=KM_п$	$t_{н.в}$	$t_{б.н}$	$t_{б.к}$	τ в сутках	Марка цемента	Расход цемента в *кг* на 1 $м^3$ бетона	$R_ж$ в % от R_{28}
	в *град*						
	—15	10	2	3	400	215	30
					300	283	30
		16	—3	7	500	253	50
					400	322	50
		25	—3	8,5	600	312	67
	—20	12	—1	4	500	227	35
					400	286	35
					300	380	35
		20	—3	6	600	256	52
					500	283	52
		25	—3	7	600	314	69
	—25	12	—1	3,5	500	206	28
					400	261	28
					300	346	28
		25	—3	5	600	244	53
					500	275	53
		25	—3	6	600	323	60
8,5	—10	10	4	3	400	241	32
					300	295	32
		15	0	6	400	261	50
					500	285	50
		25	—3	10	500	319	69
	—15	12	1	3	300	273	30
		17	—2	6	600	240	50
					500	265	50
		25	—3	8	600	337	64
	—20	15	0	3	400	236	30
		20	—3	3	600	270	50
					500	310	50
		25	—3	6	600	300	59
	—25	20	—3	3	300	251	31
		25	—3	6	600	262	50
					500	294	50
10	—10	15	0	4	300	330	35
		25	—2	6	400	220	51
					300	293	51
		25	—3	9	600	324	65
	—15	15	—3	4	400	219	30
		25	—3	7	600	269	50
					500	301	50
	—20	15	0	3	600	240	30
					500	268	30
		25	—2	4	600	283	48
					500	316	48

на портландцементах с добавкой и без добавки хлористого кальция. Таблицы содержат результаты подбора всех учитываемых при расчете факторов для наиболее часто встречающихся исходных условий (модуль поверхности, расчетная температура наружного воздуха и конечная относительная прочность бетона).

При высоких значениях $K_0 = KM_п (>6{,}5)$ и низких $t_{н.в}$ (—20° С) термосное выдерживание не может обеспечить относительную прочность бетона R_x, достаточно близкую к 50 и 70% R_{28}. В таблицах для этих условий приведены максимально достижимые R_x при термосном выдерживании с учетом предельно высокого содержания цемента ($Ц = 300 \div 320$ *кг/м*³) и предельной начальной температуры бетона ($t_{б.н} = 25°$ С).

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Определение коэффициента теплопередачи при электропрогреве

Определение коэффициента теплопередачи ограждения бетона K производится по формулам, учитывающим установленные опытом величины теплового сопротивления термоизоляции электродного прогрева:

при неутепленной опалубке толщиной $h_{оп}$ в *м*

$$K = \frac{1}{0{,}05 + 10h_{оп}}; \tag{13}$$

при опалубке, покрытой слоем утеплителя, толщиной $h_{ут}$ в *м*

$$K = \frac{1}{0{,}05 + 10h_{оп} + 0{,}7\,\frac{h_{ут}}{\lambda_{ут}}}; \tag{14}$$

если кроме опалубки имеется наружная деревянная обшивка толщиной $h_д$ и промежуточная засыпка толщиной $h_{ут}$, тогда

$$K = \frac{1}{0{,}05 + 10\,(h_{оп} + 0{,}5h_д) + \frac{h_{ут}}{\lambda_{ут}}}; \tag{15}$$

если ограждение состоит только из рыхлого утеплителя, уложенного по открытой поверхности бетона, засыпка опилками, соломой и др.:

$$K = \frac{1}{0{,}05 + 0{,}8\,\frac{h_{ут}}{\lambda_{ут}}}. \tag{16}$$

В приведенных формулах (14)—(16) $\lambda_{ут}$ — коэффициент теплопроводности материала ограждения, принимаемый по таблице данного приложения.

Коэффициент теплопроводности и удельная теплоемкость основных строительных материалов, применяемых в качестве утеплителей

Наименование материалов	Характеристика	Объемный вес в *кг/м*³	Коэффициент теплопроводности в *ккал/м·ч·град*	Удельная теплоемкость в *ккал/кг·град*
Асбестовая мелочь	Коротковолокнистый асбест	800	0,188—0,197	0,2
Асбестовый картон	Листы толщиной 1—5 *мм*	900	0,15	0,2
Водоросли	Сухие	280	0,048	0,4
Войлок строительный	Смесь шерсти и растительных волокон	150—250	0,04—0,05	0,45
Зола древесная	Воздушно-сухая	450—500	0,1—0,13	0,18
Камыш рубленый	Воздушно-сухой	175	0,05	0,36
Камышит	Плиты из стеблей камыша толщиной 5,7 и 10 *см*	260—360	0,05—0,09	0,36
Костра	Отходы обработки конопли, кенафа, кендыря	100—200	0,04—0,06	0,4
Мох болотный	Воздушно-сухой	135	0,04	0,4
Опилки древесные	Воздушно-сухие	150—250	0,05—0,08	0,6
Пакля	Отходы обработки пеньки и льна	160	0,04	0,4

Продолжение

Наименование материалов	Характеристика	Объемный вес в *кг/м³*	Коэффициент теплопроводности в *ккал/м·ч·°К*	Удельная теплоемкость в *ккал/кг·град*
Плиты пробковые	Изделия из пробковой крошки	250	0,06	0,5
Соломит	Плиты из соломы	220—360	0,05—0,09	0,36
Торфоплиты	Воздушно-сухие	170—250	0,05—0,06	0,5
Торфофанера	Торф, спрессованный между листами фанеры	240	0,06	0,5
Фанера древесная	Воздушно-сухая	600	0,15	0,65
Древесина	»	600	0,15	0,65
Вата шлаковая	»	200—300	0,05—0,06	0,38
Шевелин	Стеганые маты толщиной 12,5 и 25 *мм* из отходов льна, пакли и т. п. между листами бумаги типа «Геркулес»	100—260	0,04—0,045	0,45
Шлак котельный	Сухой	700—1000	0,06—0,25	0,18
Рубероид, толь	—	600	0,15—0,2	0,36
Песок	Сухой	1600—1800	1,7—2,1	0,2

Удельная мощность для электропрогрева бетона в *квт/м*³

Коэффициент, учитывающий влияние ветра β	Температура прогрева в *град*	Мощность	Модуль поверхности																			
			4				8				12				15				20			
			Температура наружного воздуха в *град*																			
			−10	−20	−30	−40	−10	−20	−30	−40	−10	−20	−30	−40	−10	−20	−30	−40	−10	−20	−30	−40
1	40	P_1	3,33	3,49	3,67	3,83	3,97	4,29	4,6	4,92	4,61	5,09	5,57	6,06	5,1	5,7	6,3	6,91	5,91	6,73	7,51	8,32
		P_2	0,81	0,97	1,13	1,3	1,63	1,95	2,28	2,6	2,44	2,92	3,4	3,89	3,04	3,64	4,25	4,86	4,06	4,86	5,74	5,43
	60	P_1	3,49	3,66	3,83	4	4,29	4,62	4,92	5,25	5,1	5,6	6,06	6,55	5,72	6,33	6,91	7,51	6,73	7,55	8,32	9,13
		P_2	1,14	1,3	1,46	1,65	2,28	2,6	2,91	3,25	3,4	3,89	4,37	4,87	4,25	4,86	5,46	6,1	5,68	6,48	7,28	8,12
	80	P_1	3,65	3,81	4	4,16	4,61	4,93	5,25	5,57	5,59	6,07	6,55	7,03	6,32	6,92	7,51	8,12	7,58	8,38	9,13	9,94
		P_2	1,46	1,65	1,78	1,94	2,91	3,25	3,55	3,88	4,37	4,87	5,34	5,83	5,46	6,1	6,69	7,32	7,28	8,12	8,91	9,72
1,5	40	P_1	3,6	3,84	4,1	4,35	4,5	4,98	5,45	5,93	5,4	6,12	6,85	7,58	6,09	6,99	7,89	8,8	7,23	8,43	9,64	10,86
		P_2	1,22	1,46	1,71	1,95	2,45	2,93	3,42	3,9	3,66	4,38	5,1	5,84	4,23	4,46	6,38	7,29	6,09	7,29	8,52	9,72
	60	P_1	3,84	4,09	4,35	4,58	4,98	5,48	5,94	6,43	6,14	6,89	7,58	8,3	7,02	7,94	8,8	9,72	8,46	9,69	10,85	12,09
		P_2	1,71	1,95	2,95	2,48	3,42	3,9	4,37	4,88	5,1	5,84	6,56	7,31	6,38	7,29	8,19	9,15	8,52	9,72	10,92	12,13
	80	P_1	4,08	4,32	4,58	4,82	5,46	5,94	6,43	6,91	6,87	7,59	8,3	9,03	7,92	8,82	9,72	10,63	9,66	10,86	12,09	13,3
		P_2	2,19	2,48	2,67	2,91	4,37	4,88	5,32	5,82	6,56	7,31	8,01	8,74	8,19	9,15	10,03	10,98	10,92	12,18	13,36	14,58
2	40	P_1	3,87	4,28	4,52	4,9	5	5,66	6,3	6,95	6,18	7,15	8,12	9,1	7,06	8,18	9,49	10,7	8,53	10,1	11,8	13,39
		P_2	1,62	1,94	2,26	2,6	3,26	3,9	4,56	5,2	4,88	5,84	6,8	7,78	6,08	7,28	8,5	9,72	8,12	9,72	11,48	12,95
	60	P_1	4,2	4,52	4,85	5,17	5,65	6,3	6,95	7,6	7,15	8,12	9,1	8,07	8,18	9,51	10,7	11,92	10,1	11,78	13,39	15,01
		P_2	2,28	2,6	2,92	3,3	4,56	5,2	5,82	6,5	6,8	7,78	8,74	9,74	8,5	9,72	10,92	12,2	11,36	12,96	14,56	16,24
	80	P_1	4,52	4,9	5,17	5,49	6,3	6,95	7,6	8,25	8,12	9,1	10,07	11,04	9,5	10,7	11,92	13,3	11,8	13,39	15,01	16,68
		P_2	2,92	3,3	3,56	3,88	5,82	6,5	7,1	7,76	8,74	9,74	10,68	11,66	10,92	12,21	13,38	14,64	14,56	16,24	17,82	19,44

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Расход электроэнергии в *квт · ч/м*³ при электропрогреве бетона

Коэффициент, учитывающий влияние ветра β	Температура прогрева в *град*	Модуль поверхности																			
		4				8				12				15				20			
		Температура наружного воздуха в *град*																			
		−10	−20	−30	−40	−10	−20	−30	−40	−10	−20	−30	−40	−10	−20	−30	−40	−10	−20	−30	−40
Бетон на портландцементе активностью 300 и 400																					
1	40	35	48	59	71	75	91	106	122	110	132	156	180	136	164	196	227	182	216	257	293
1,5		55	71	86	101	110	135	160	184	166	201	237	267	207	246	289	330	275	326	380	432
1	60	—	40	52	63	65	74	86	98	—	—	120	133	—	—	147	159	—	176	190	202
1,5			53	64	75	89	111	128	147	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	70	—	—	—	—	60	71	81	92	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,5						91	101	113	124												
Бетон на шлакопортландцементе активностью 300 и 400																					
1	40	46	56	65	75	87	106	125	144	127	155	179	204	157	189	223	256	208	250	295	333
1,5		66	79	91	104	127	158	192	226	188	236	280	324	234	289	340	394	310	393	469	544
1	60	61	49	54	60	75	87	99	112	107	124	145	165	131	152	179	205	173	200	236	271
1,5		54	66	75	85	106	123	140	158	160	181	209	236	197	226	262	297	261	276	303	509
1	80	—	—	—	—	69	74	80	85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,5						86	99	115	130												

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Таблица 1

Основные параметры стандартных трансформаторов, применяемых для электропрогрева бетона

Марка	Тип трансформатора	Мощность в *ква*	Напряжение в *в*		Сила тока в *а*		Вес в *кг*	Габаритные размеры в *мм*	Суточный поток бетона в $м^3$ при модуле поверхности					
			первичная обмотка	вторичная обмотка	первичная обмотка	вторичная обмотка			4	6	8	10	12	15
УПБ-60	Масляный однофазный (установка из трех трансформаторов ТБ-20)	60	380; 220	176; 102 88; 51	52,5; 91	195; 340 390; 675	—	1840×1350×1750	16,2	14,1	12,6	11,4	10,5	9,3
ТМО-50/10	Масляный трехфазный	50	380; 220	106,5 87,5 61,5 50,5	76; 131	270; 320 470; 670	890	1450×1290×890	13,5	11,7	10,5	9,5	8,8	7,7
ТМ-75/6	То же	50	380; 220	106,5 87,5 61,5 50,5	76; 131	272; 330 470; 572	650	1050×1290×740	14,8	15,4	13,7	12,4	11,3	9,9
ТМОА-50	»	50	380	121; 103 85; 70 60; 49	76; 65; 53	239; 418	473	980×932×1232	13,5	11,7	10,5	9,5	8,8	7,7
ТВ-35	Воздушный трехфазный	35	380; 220	68; 89 34	53; 92	171; 297 342; 594	382	625×990×680	9,4	8,3	7,4	6,7	6,1	5,4
ТБ-20	Масляный однофазный	20	380; 220	102; 51	52,5; 91	196; 322	260	600×700×400	5,4	4,7	4,2	3,8	3,5	3,1

Примечание. Суточный поток бетона определен для односменного бетонирования при скорости подъема температуры 5°С в час, температуре изотермического прогрева 50°С, температуре наружного воздуха —10°С и коэффициенте учета влияния ветра $\beta=1,5$.

Таблица 2

Основные параметры сварочных трансформаторов, применяемых для электроподогрева бетона

Марка	Тип трансформатора	Номинальная мощность в кв·а	Напряжение в в		Сила тока в а		Вес в кг	Габаритные размеры в мм	Суточный поток бетона в м³ при модуле поверхности					
			первичная обмотка	вторичная обмотка	первичная обмотка	вторичная обмотка			4	6	8	10	12	15
СТН-350	Воздушный однофазный	24,5	220	70	114	80—450	220	—	4,7	4,2	3,3	3,4	3,1	2,5
СТН-500	То же	32	380; 220	65	84; 145	150—700	270	796×410×840	6,3	5,6	5	4,7	4	3
СТН-700	»	48,6	380; 220	60	114; 198	200—900	380	796×423×840	8,6	7,6	8,8	6,4	5,5	4
ТСД-500	»	42	380; 220	40	108; 185	200—600	450	950×818×215	8,8	7,7	7	6,6	5,7	5
ТСД-1000	»	76	380; 220	42	200; 345	400—1200	585	950×818×1215	15,0	13,3	11,9	11,2	9,5	8
СТАН-1	»	24	380; 220	70	63; 11	60—480	185	870×520×800	4,6	4,1	3,7	3,3	3	2
СТЭ-24	Воздушный однофазный двухкорпусный	24	380; 220	65	63; 11	70—500	140 90	648×314×800 594×320×545	4,6	4,1	3,7	3,3	3	2,6
СТЭ-34	То же	34	380;220	60	90; 155	150—700	200 120	690×370×660 669×320×545	6,7	5,9	6,3	5	4,2	3,3

Примечания: 1. В таблице величина номинального вторичного напряжения указана при нагрузке.

2. В дробных числах в числителе даны вес и габариты трансформаторов, в знаменателе — дросселя.

3. Суточный поток бетона определен для односменного бетонирования при скорости подъема температуры 5° С в час, температуре изотермического прогрева 50° С, температуре наружного воздуха —10° С и коэффициенте учета влияния ветра $\beta = 1{,}5$.

Прогрев бетона электронагревательными приборами

При прогреве бетона электронагревательными приборами наружная поверхность бетона вместе с опалубкой частично или полностью покрывается тепляками, внутри которых установлены воздухонагреватели в виде электропечей различного типа. Иногда электросопротивление монтируют в открытом (снизу) кожухе. Тепловая мощность нагревателя должна обеспечивать нагрев бетона и его ограждений и компенсировать теплопотери тепляка. Температура воздуха в тепляке должна быть не выше 60° С; при прогреве тонких конструкций рекомендуется принимать температуру воздуха до 40° С во избежание пересушивания бетона.

Отдача тепла спиралями воздуху зависит от расположения их в нагревательном приборе. Поверхность спирали F принимается по формуле

$$F = \frac{\mu d l}{1000}\ м^2,$$

где μ — коэффициент, зависящий от характера расположения проводника в нагревателе;
d — диаметр проволоки в *мм*;
l — длина проволоки в *м*.

Для свободно расположенной натянутой проволоки $\mu = 1$; для проводников, имеющих форму цилиндрических (свободно висящих) спиралей, $\mu = 0{,}8$; для проволоки, навитой на изолированный держатель (например, трубу), $\mu = 0{,}6$.

Тепловой расчет производят в следующем порядке. Определяются расчетное значение напряжения питающего тока U и тепловая мощность Q по теплозатратам на разогрев бетона Q_1, нагрев опалубки и ограждений Q_2 и потери тепла в окружающий воздух Q_3:

$$Q_1 = 600\,(t_{гр.с} - t_{б.н});$$

$$Q_2 = 30\,M_п\,(t_{гр.с} - t_{н.в} + 30);$$

$$Q_3 = K M_п \tau\,(t_{гр.с} - t_{н.в}),$$

где $t_{гр.с}$ — температура греющей среды в *град* назначается по табл. 20;
$t_{б.н}$ — начальная температура бетона в *град*;
$M_п$ — модуль поверхности конструкции в $1/м$;
$t_{н.в}$ — температура наружного воздуха в *град*;
K — коэффициент теплопередачи ограждения в $ккал/м^2 \cdot ч \times$ $\times град$;
τ — время выдерживания бетона конструкции в *ч*.

Максимальная теплозатрата за 1 *ч* будет равна

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{\tau}.$$

В соответствии с наличием ассортимента выбирают материал и диаметр проволоки d; устанавливают температуру накала проволоки t;

по табл. 1 данного приложения определяют удельное сопротивление проволоки ρ

$$\rho = a + bt.$$

Коэффициенты a и b, соответствующие материалу проволоки, даны в табл. 1.

Таблица 1

Материал проволоки	Коэффициенты		Предел накала проволоки в °С
	a	b	
Сталь	0,1092	0,000540	400
Нихром	1,0945	0,002750	900
Фехраль	1,2478	0,000113	800
Константан	0,4795	0,000024	500
Никелин	0,4198	0,000008	500

Температуру воздуха в тепляке (значение α находят в табл. 2) определяют по формуле

$$t_в = t - 469{,}7\frac{\rho}{\mu\alpha}\cdot\frac{1}{d^3}\left(\frac{Q}{U}\right)^2 \text{ град}.$$

Полученное значение $t_в$ не должно быть ниже $t_{гр.с}$, принятого при теплотехническом определении величины Q. При неудовлетворительном результате определения $t_в$ производят пересчет на измененные условия (диаметр проволоки, ее материал, температура накала, напряжение). Если величина

$$A = 469{,}7\frac{\rho}{\mu\alpha d^3}\left(\frac{Q}{U}\right)^2$$

получается равной или превышающей разность температур $(t-t_в)$, (причем t — предел температуры накала, а $t_в = t_{гр.с}$), то нагреватель должен быть разделен на n отдельных элементов, включаемых параллельно. Расчет каждого элемента производится на тепловую мощность Q':

$$Q' = \frac{Q}{n}.$$

При этом величина A уменьшается обратно пропорционально квадрату величины n:

$$A' = \frac{A}{n^2}.$$

Полученные данные позволяют определить длину проводника в $м$:

$$l = 0{,}678\frac{U^2d^2}{\rho Q}.$$

При конструировании цилиндрических спиралей находят шаг спирали $h_{сп}$, т. е. расстояние между смежными витками $h_{сп} = md$, принимая $m = 2 \div 4$, определяют средний диаметр $D_{сп}$ спирали:

$$D_{сп} = kd.$$

Таблица 2

Значение коэффициента поверхностной теплоотдачи

Диаметр проволоки в *мм*	Значения α при температуре накала в °С									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0,3	77	83	99	109	120	132	152	169	200	234
0,4	69	75	87	95	103	113	130	154	179	214
0,5	61	68	81	88	95	107	122	139	172	204
0,6	55	64	74	82	90	102	118	136	165	192
0,7	53	61	70	77	86	98	112	130	152	181
0,8	50	57	66	72	82	94	110	126	148	172
0,9	49	55	62	70	80	91	108	124	145	169
1	48	53	60	68	78	88	105	122	142	166
1,1	47	52	57	63	75	83	100	121	138	163
1,2	45	49	55	61	73	82	98	118	136	160
1,3	43	48	53	60	71	80	97	117	135	158
1,4	42	47	52	59	69	79	95	115	135	157
1,5	40	45	51	57	66	77	93	114	134	152
2	38	42	48	53	63	72	85	106	123	143
2,5	36	40	46	49	60	69	82	100	118	140
3	36	39	44	49	58	67	79	96	115	139
3,5	36	39	44	49	58	66	78	93	113	139
4	36	39	43	49	57	65	76	91	112	138

Если проволока навивается на сердечник диаметром D_c, то средний диаметр спирали будет равен

$$D_{сп} = D_c + 2d.$$

Затем устанавливают длину $L_{сп}$ спирали по формуле

$$L_{сп} = \frac{m}{\pi k};$$

для нихрома $k = 6 \div 8$; фехрали и стали $k = 4 \div 6$.

Пример. Определить параметры нагревателя, состоящего из фехралевой проволоки $d = 0{,}6$ *мм*, навитой на изолированный стержень-держатель. Нагреватель должен обеспечивать теплопотребность $Q = 1800$ *ккал/ч · м*³ для выдерживания бетона в плоском тепляке при $t_{гр.с} = t_в = 60°$ С и напряжении $U = 220$ *в*.

Принимаем расчетное значение температуры накала фехралевой проволоки $t = 700°$ С.

Устанавливаем величину удельного сопротивления фехралевой проволоки при $t = 700°$ С:

$$\rho = a + bt = 1{,}2478 + 0{,}000113 \cdot 700 = 1{,}327 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}.$$

По табл. 2 данного приложения находим значение коэффициента поверхностной теплоотдачи проволоки диаметром $d = 0{,}6$ *мм* при $t = 700°$ С. $\alpha = 118$ *ккал/м² · ч · град*.

При расположении проводника в соответствии с условиями примера $\mu = 0{,}6$, тогда

$$A = 469{,}7\ \frac{1{,}327}{118 \cdot 0{,}6^3 \cdot 0{,}6}\left(\frac{1800}{200}\right)^2 = 2719\ ^\circ\text{C}.$$

По условиям задания $t = 700^\circ$ С температура нагретого воздуха должна быть не ниже $t_в = 60^\circ$ С; следовательно,

$$t - t_в = 700 - 60 = 640\ ^\circ\text{C}.$$

Поскольку $A > t - t_в$, необходимо разделить нагреватель на звенья, включаемые параллельно. Разделим спираль на два звена, тогда

$$A' = \frac{A}{n^2} = \frac{2719}{4} = 680\ град.$$

Температура воздуха составит $t_в = t - A' = 700 - 680 = 20^\circ$ С, полученное значение $t_в < t_{гр.с}$.

Увеличив расчетную температуру накала до 720° С и оставляя неизменным $d = 0{,}6$ *мм*, повторяем расчет.

Путем интерполяции чисел табл. 2 данного приложения находим $\alpha = 121{,}6$ *ккал/м²·ч·град*; ρ при $t = 720^\circ$ С составит

$$\rho = 1{,}2478 + 0{,}000113 \cdot 720 = 1{,}329\ ом \cdot мм^2/м.$$

$$\text{Тогда}\quad A' = 469{,}7\ \frac{1{,}329}{0{,}6^3 \cdot 121{,}6 \cdot 0{,}6}\left(\frac{900}{220}\right)^2 = 620\ ^\circ\text{C}.$$

Температура нагретого воздуха составит $t_в = t - A' = 720 - 660 = 60^\circ$ С.

Определяем длину проволоки в звене спирали:

$$l = 0{,}678\ \frac{(220 \cdot 0{,}6)^2}{1{,}329 \cdot 900} = 9{,}9\ м.$$

Устанавливаем основные данные для конструирования нагревателя: шаг спирали $m = 4 : h_{сп} = 4 \cdot 0{,}6 = 2{,}4$ *мм*.

Средний диаметр спирали определяем по конструктивным соображениям, принимая, что проволока навивается на стальную трубу наружным диаметром $D = 12$ *мм*, изолированную асбестом толщиной 1,5 *мм*; тогда средний диаметр спирали

$$D_{сп} = 12 + 2\,(1{,}5 + 0{,}6) = 16{,}2\ мм;$$

коэффициент сердечника в этом случае равен

$$k_с = \frac{D_{сп}}{d} = \frac{16{,}2}{0{,}6} = 27.$$

При этом длина спирали в звене нагревателя будет

$$L_{сп} = \frac{m}{\pi k_с} = \frac{4}{3{,}14 \cdot 27} = 0{,}47\ м.$$

Особенности производства бетонных работ в районах с суровыми климатическими условиями

Суровые климатические условия характеризуются низкими знакопеременными наружными температурами зимой и летом, сильными ветрами и снегозаносами, резкими изменениями относительной влажности воздуха, вечномерзлыми грунтами.

При производстве бетонных работ, пользуясь указаниями настоящего руководства, следует учитывать особенности климатических и грунтовых условий районов Крайнего Севера. При этом производство бетонных работ обусловлено:

длительными периодами стабильных низких отрицательных температур и возможных сильных ветров;

коротким летним периодом со средними низкими температурами наружного воздуха, которые не способствуют быстрому набору прочности бетона, твердеющего в естественных условиях;

наличием отрицательных температур в вечномерзлых грунтах, вследствие чего при возведении фундаментов необходимо обеспечивать набор 100%-ной прочности бетоном за время его выдерживания.

При возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций должны применяться бетонные смеси с водоцементным отношением не более 0,4—0,5, приготовленные на высокоактивных цементах.

Метод термоса, а также электроподогрев бетонной смеси перед укладкой используются для конструкций, имеющих модуль поверхности 8—10 при обычном обветривании и при сильном ветре — 4—6 баллов.

Для расширения области применения способа термоса для конструкций с модулем поверхности до 15 при безветренной погоде и до 10 при сильном ветре в бетонную смесь вводятся противоморозные добавки, обеспечивающие набор прочности бетоном при его отрицательной температуре до —15° С.

Метод искусственного прогрева (электропрогрев, паропрогрев, прогрев инфракрасным излучением и пр.) применяется в тех случаях, когда метод термоса не обеспечивает необходимого набора прочности бетоном. На строительных площадках с залеганием вечномерзлых грунтов использование способа паропрогрева должно производиться с принятием мер против попадания горячей воды в грунт.

Паропрогрев фундаментов во всех случаях здесь запрещается.

Жесткие климатические условия приводят к необходимости в ряде случаев применять способы зимнего бетонирования даже в летних условиях.

При производстве бетонных работ необходимо учитывать, что в большинстве районов Севера и Сибири цемент доставляется 1 раз в год (во время навигации) и используется в течение длительного времени. Цемент, доставляемый даже в бумажных или тканевых мешках, при хранении в необорудованных складских помещениях теряет активность до 30% и более, слеживается, образуя комки. Поэтому хранение цемента должно быть организовано в плотных деревянных или металлических закромах, защищенных от постоянного притока наружного воздуха.

Целесообразно доставлять на стройки цементный клинкер с последующим его помолом на местах по мере надобности.

Работа бетонных заводов осложняется необходимостью оттаивания заполнителей, удаления из них лишней воды, организации подогрева составляющих до заданных температур не только зимой, но и в летний период, так как подогрев воды затворения до температуры 95° С не обеспечивает получения требуемой температуры бетонной смеси. Учитывая трудности снабжения заполнителями бетонных заводов зимой, необходимо в теплое время предусматривать запасы материалов и обеспечивать условия их нормального хранения в течение зимнего периода.

Арматурные каркасы и щиты опалубки должны готовиться в утепленных цехах с последующей доставкой на строительные площадки.

В условиях Севера при доставке бетонной смеси на площадку необходимо принимать меры для сокращения времени перевозки, а также ликвидировать перегрузки и задержки в пути.

Подогрев бетонной смеси в кузовах автомашин осуществляется выхлопными газами двигателя. Для защиты бетонной смеси от остывания при транспортировании на расстояние свыше 15 *км* независимо от температуры воздуха зимой и при наружной температуре ниже —30° С независимо от дальности перевозки дополнительно предусматривается укрытие кузовов съемными деревянными крышками. При ветре и снегопадах укрытие бетонной смеси обязательно.

Особенностью бетонных работ является ускоренная и непрерывная укладка бетонной смеси.

Ускоренная укладка бетона приводит к перегрузке вибраторов. Целесообразно иметь два комплекта вибраторов и работать ими поочередно.

При укладке бетона в конструкции, насыщенные арматурой, сравнительно небольшие размеры сечений железобетонных конструкций и наличие теплоемкого холодного металла приводит к резкому охлаждению бетонной смеси и замерзанию. Так, при наружной отрицательной температуре 30—35° С даже при укладке в конструкцию подогретого бетона в местах с густым сплетением арматуры происходит примораживание частиц бетона к арматуре.

При проектировании железобетонных конструкций, предназначенных для бетонирования в зимнее время, необходимо подбирать сечения элементов с низким процентом армирования; увеличивать просвет между стержнями, в особенности в верхних зонах конструкций, за счет установки меньшего числа стержней большего диаметра или за счет расстановки их в два-три яруса по высоте; обеспечивать между стержнями арматуры одно или два сквозных рабочих просвета шириной не менее 70 *мм* для укладки бетона; бетонировать конструкции с густым сплетением арматуры бетонной смесью на оптимально мелком заполнителе.

Особенностью производства электропрогрева бетона является необходимость располагать надежным техническим оснащением, способным безотказно обеспечить поднятие температуры и длительное поддержание необходимой температуры в бетоне в холодное время.

При возведении монолитных бетонных фундаментов может использоваться способ укладки бетона враспор с мерзлым грунтом с использованием электропрогрева, а также применением добавок поташа и нитрита натрия. Размеры котлована при бетонировании

фундаментов враспор с мерзлым грунтом должны соответствовать габаритам фундамента. Бетонирование фундаментов враспор применяют только в зимнее время, в прочно сцементированной льдом мерзлоте или мягких полускальных грунтах, когда можно подготовить размеры котлована по габаритам фундамента.

В талых грунтах, несцементированной льдом сухой мерзлоте, грунтах, имеющих валунные включения, и при положительных температурах наружного воздуха использование способа бетонирования враспор с мерзлым грунтом запрещается.

Наиболее прогрессивным видом фундаментов на Севере являются свайные. При устройстве свайных фундаментов сокращаются объем и стоимость работ, облегчаются условия труда и эксплуатации сооружения, и в меньшей степени нарушается геотермический режим грунтов в основании.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3
1. Общие положения 5
2. Материалы для бетонных смесей 10
3. Приготовление и транспортирование бетонной смеси . . . 14
4. Подготовка основания и укладка бетонной смеси 24
5. Выдерживание бетона способом термоса 27
6. Выдерживание бетона с противоморозными добавками . . 34
7. Электропрогрев бетона 38
8. Прогрев бетона паром и горячим воздухом 56
9. Контроль качества работ 61
Приложение 1. Определение модуля поверхности охлаждения конструкции 65
Приложение 2. Значение коэффициента β, учитывающего влияние ветра на скорость охлаждения конструкции . . . 66
Приложение 3. Таблицы для подбора условий термосного выдерживания бетона 67
Приложение 4. Определение коэффициента теплопередачи при электропрогреве 73
Приложение 5. Удельная мощность для электропрогрева бетона 76
Приложение 6. Расход электроэнергии при электропрогреве бетона 77
Приложение 7. Основные параметры стандартных трансформаторов, применяемых для электропрогрева бетона . . . 78
Приложение 8. Прогрев бетона электронагревательными приборами 80
Приложение 9. Особенности производства бетонных работ в районах с суровыми климатическими условиями 84

gost.e-ecolog.ru