

Продолжение табл. 41

Технические требования	Величина параметра	Контроль (метод, объем)
4. Загрузка конструкций расчетной нагрузкой допускается после достижения бетоном прочности	Не менее 100 % от проектной	Измерительный, 2 раза в смену, журнал работ
5. Температура воды и бетонной смеси на выходе из смесителя, приготовленной:		
на портландцементе, шлакопортландцементе, пуццолановом портландцементе марок ниже М600	Воды не более 70 °С, смеси не более 35 °С	Измерительный, в местах, определенных ППР, журнал работ
на быстротвердеющем портландцементе и портландцементе марки М600 и выше	Воды не более 60 °С, смеси не более 30 °С	Измерительный, в местах, определенных ППР, журнал работ
на глиноземистом портландцементе	Воды не более 40 °С, смеси не более 25 °С	Измерительный, в местах, определенных ППР, журнал работ
8. Температура в процессе выдерживания и тепловой обработки для бетона на:	Определяется расчетом, но не выше, °С:	Измерительный, через каждые 2 ч, журнал работ
портландцементе	80	
шлакопортландцементе	90	
9. Скорость подъема температуры при тепловой обработке бетона:	Не более, °С/ч:	Измерительный, журнал работ
для конструкций с модулем поверхности:		
до 4	5	
от 5 до 10	10	
св. 10	15	
для стыков	20	

Окончание табл. 41

Технические требования	Величина параметра	Контроль (метод, объем)
10. Скорость остывания бетона по окончании тепловой обработки для конструкций с модулем поверхности:		Измерительный, журнал работ
до 4	Определяется расчетом Не более 5 °С/ч Не более 10 °С/ч	
от 5 до 10		
св. 10		
11. Разность температур наружных слоев бетона и воздуха при распалубке с коэффициентом армирования от 1 до 3 % и более должна быть соответственно для конструкций с модулем поверхности:		Измерительный, журнал работ
от 2 до 5	Не более 20, 30, 40 °С Не более 30, 40, 50 °С	
св. 5		

#### 4.3.2. Расчет определения параметров выдерживания бетона с применением противоморозных добавок

Исходные данные:

Конструкция – ростверк  
Город  
Месяц  
Температура бетонной смеси  
Время перевозки  
Высота подъема краном  
Марка автомобиля  
Время укладки  
Тип опалубки  
Класс бетона  
Расход цемента

0,6×0,5(h)×6,5 м  
г. Минусинск  
декабрь  
 $t_{см} = +10$  °С  
 $\tau_{тр} = 8$  мин  
 $H_{под} = 12$  м  
ЗИЛ ММЗ-555  
 $\tau_y = 10$  мин  
V  
В15  
Ц = 350 кг/м<sup>3</sup>

Марка цемента	M400
Расход арматуры	$P_a = 70 \text{ кг/м}^3$

Решение:

1. Определим объем бетона в конструкции:

$$V_6 = 0,6 \cdot 6,5 \cdot 0,5 = 1,95 \text{ м}^3.$$

2. Рассчитаем поверхность охлаждения конструкции:

$$F_{\text{охл}} = 2 \cdot 0,6 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,5 \cdot 6,5 + 0,6 \cdot 6,5 = 11,6 \text{ м}^2.$$

3. Определим модуль поверхности конструкции:

$$M_n = \frac{F_{\text{охл}}}{V_6} = \frac{11,6}{1,95} = 5,95 \text{ м}^{-1}.$$

4. Определим суммарное относительное снижения температуры бетонной смеси при всех операциях: при транспортировании, перегрузке, укладке и уплотнении.

4.1. При транспортировании:

$$\Delta t_{\text{тр}} = \Delta t'_{\text{тр}} \cdot \tau_{\text{тр}} = 0,003 \cdot 8 = 0,024 \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{C},$$

где  $\Delta t'_{\text{тр}}$  – относительное снижение средней температуры бетонной смеси при транспортировке (табл. П.4.1).

4.2. При перемещении краном:

$$\Delta t_{\text{пер}} = 0,0022 \cdot H_{\text{под}} = 0,0022 \cdot 12 = 0,0264 \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{C}.$$

4.3. При перегрузке и погрузке:

$$\Delta t_n = 0,032 \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{C}.$$

4.4. При укладке и уплотнении:

$$\Delta t_y = \Delta t'_y \cdot \tau_y = 0,004 \cdot 10 = 0,04 \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{C},$$

где  $\Delta t'_y$  – относительное снижение средней температуры бетонной смеси при уплотнении и укладке (табл. П.4.2).

4.5. Определим суммарное относительное снижение температуры:

$$\begin{aligned} \sum \Delta t_{\text{тр}} &= \Delta t_{\text{тр}} + \Delta t_{\text{пер}} + \Delta t_n + \Delta t_y = \\ &= 0,024 + 0,0264 + 0,032 + 0,04 = 0,1224 \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

5. Определим начальную среднюю температура бетонной смеси после укладки в опалубку, уплотнения и укрытия:

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

где  $t_{\text{б.н}}$  – температура бетона начальная,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{см}}$  – бетонной смеси при выходе из транспортного средства,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{н.в}}$  – температура наружного воздуха,  $^\circ\text{C}$  (табл. П.4.3).

$$t_{\text{б.н}} = t_{\text{см}} (1 - \sum \Delta t_{\text{тр}}) + t_{\text{н.в}} \sum \Delta t_{\text{тр}};$$

$$t_{\text{б.н}} = 10(1 - 0,1224) + (-17,8)0,1224 = 6,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6. Определим температуру бетона с учетом нагрева арматуры:

$$t'_{\text{б.н}} = \frac{C_6 \cdot \gamma_6 \cdot t_{\text{б.н}} + C_a \cdot P_a \cdot t_{\text{н.в}}}{C_6 \cdot \gamma_6 + C_a \cdot P_a},$$

где  $C_a$  – удельная теплоемкость арматуры,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ,  $C_a = 0,48 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $C_6$  – удельная теплоемкость бетона,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ,  $C_6 = 1,047 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $\gamma_6$  – объемная масса бетона,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\gamma_6 = 2400 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $P_a$  – расход арматуры,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $t_{\text{б.н}}$  – температура бетона начальная,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{н.в}}$  – температура наружного воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

$$t'_{\text{б.н}} = \frac{1,05 \cdot 2400 \cdot 6,6 + 0,48 \cdot 70 \cdot (-17,8)}{1,05 \cdot 2400 + 0,48 \cdot 70} = 6,28 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

7. Определим вид противоморозной добавки в зависимости от температуры наружного воздуха.

При  $t_{н.в} = -17,8$  °С, В/Ц = 0,65 принимаем противоморозную добавку поташ  $K_2CO_3$ , равную 14,65 %. Рассчитываем количество добавки поташ от расхода цемента:  $350 \cdot 0,1465 = 51,28$  кг/м<sup>3</sup>.

8. Определим среднюю температуру остывания бетона. Расчетную конечную температуру для добавки 6,06 % поташ принимаем  $t_{б.к} = t_{н.в} = -17,8$  °С.

$$t_{б.ср} = t_{б.к} + \frac{t'_{б.н} - t_{б.к}}{1,03 + 0,181 \cdot M_n + 0,006(t'_{б.н} - t_{б.к})};$$

$$t_{б.ср} = -17,8 + \frac{6,28 - (-17,8)}{1,03 + 0,181 \cdot 5,95 + 0,006(6,28 - (-17,8))} = -7,1 \text{ °С.}$$

9. Пренебрегая тепловыделением цемента (экзотермия), определим время остывания бетона по формуле Б.Г. Скрамтаева:

$$\tau_o = \frac{C_b \cdot \gamma_b (t'_{б.н} - t_{б.к})}{86,4 \cdot K_T \cdot M_n (t_{б.ср} - t_{н.в})},$$

где  $K_T$  – коэффициент теплопередачи опалубки, зависит от конструкции опалубки и скорости ветра (табл. П.4.4);

$$\tau_{ост} = \frac{1,05 \cdot 2400 (6,28 - (-17,8))}{86,4 \cdot 1,07 \cdot 5,95 (-7,1 - (-17,8))} = 10,3 \text{ сут.}$$

10. Определим прочность, которую наберет бетон за время остывания  $\tau_{ост} = 10,3$  сут и при средней температуре остывания бетона  $t_{б.ср} = -7,1$  °С. По табл. 26 для бетона марки М200 (В15) на портландцементе М400 бетон набирает 50,93 % от  $R_{28}$ .

## 5. ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРЕВНЫХ МЕТОДОВ ВЫДЕРЖИВАНИЯ БЕТОНА

### 5.1. Электропрогрев (электродный прогрев) бетонной смеси

#### Область применения

Областью применения электродного прогрева монолитных конструкций являются монолитные бетонные и малоармированные конструкции. Применение этого метода наиболее эффективно для фундаментов, колонн, стен и перегородок, плоских перекрытий, бетонных подготовок под полы с модулем поверхности  $M_n =$  от 5 до 20 м<sup>-1</sup>.

В зависимости от принятой схемы расстановки и подключения электродов электродный прогрев разделяется на сквозной, периферийный и с использованием в качестве электродов арматуры.

#### Сущность метода

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

В целях экономии стали стремятся к расположению электродов на наружной поверхности прогреваемой конструкции, что позволяет снять их после окончания прогрева, в случае же внутренней установки электродов расход стали должен быть

4. ООО «Алума-Опалубка» (ЦНИИИОМТП, г. Москва):

а) крупнощитовая алюминиевая (и стальная) опалубка для стен и колонн;

б) опалубка колонн из универсальных щитов и шкворней;

в) опалубка колонн с креплением щитов на угловых элементах;

г) опалубка перекрытий на алюминиевых и стальных рамах;

д) опалубка перекрытий на телескопических стойках;

е) опалубка перекрытий на фермах (перекатывающихся столах).

5. ЗАО «Строительные технологии» (г. Омск) – стальная щитовая опалубка Модуль-А – бетонирование стен, колонн, пилонов, перекрытий, элементов лестничного узла, лифтовых шахт и др.

6. ООО «МоноПласт» (г. Красноярск):

а) опалубка стен;

б) опалубка колонн на универсальных щитах;

в) опалубка колонн на угловых щитах;

г) опалубка колонн на линейных щитах с применением углового элемента;

д) опалубка колонн на линейно-торцевых щитах;

е) опалубка лифтовых шахт;

ж) опалубка перекрытий на телескопических стойках;

з) опалубка перекрытий на объемных стойках.

7. ООО «ДАК» (г. Красноярск) – разборно-переставная алюминиевая крупнощитовая опалубка стен, колонн и перекрытий (на телескопических стойках, на рамах).

Таблица П.4.1

Изменение температуры  $\Delta t'_{тр}$  при транспортировке различными автосредствами

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

Таблица П.4.2

Изменение температуры  $\Delta t'_y$  при укладке и уплотнении

Относительное снижение температуры при укладке $\Delta t'_y$	Толщина конструкции, мм
0,03	60
0,018	100
0,012	150
0,009	200
0,007	300
0,005	400
0,004	500
0,003	600

Таблица П.4.3

## Средняя месячная температура воздуха, °С

Край, область, пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Алтайский край												
Барнаул	-17,5	-16,1	-9,1	2,1	11,4	17,7	19,8	16,9	10,8	2,5	-7,9	-15
Рубцовск	-17,5	-16,4	-8,9	3,6	12,6	18,7	20,5	17,7	11,8	3,7	-7,1	-14,9
Читинская область												
Чара	-33,8	-29,7	-18,3	-4,9	4,4	12,7	16,2	13	5,2	-6,4	-22	-31,9
Чита	-26,2	-22,2	-11,1	-0,4	8,4	15,7	17,8	15,2	7,7	-1,8	-14,3	-23,5
Кемеровская область												
Кемерово	-18,8	-16,9	-9,8	1	9,7	16,3	18,8	15,4	9,5	1,3	-9,6	-16,9
Киселевск	-17,2	-15,5	-8,1	2	10	16,6	18,8	15,8	10	2,2	-8,3	-15,4
Новокузнецк	-17,2	-15,5	-8,1	2	10	16,6	18,8	15,8	10	2,2	-8,3	-15,4
Прокопьевск	-17,2	-15,5	-8,1	2	10	16,6	18,8	15,8	10	2,2	-8,3	-15,4
Мариинск	-17,8	-16,2	-9,3	0,8	9	15,9	18,3	15,2	9,1	1	-9,1	-16,2
Красноярский край												
Ачинск	-17,7	-15,6	-9,1	0,4	8,6	15,6	17,9	15	9	0,6	-9,3	-16,3
Красноярск	-17,7	-15,6	-9,1	0,4	8,6	15,6	17,9	15	9	0,6	-9,3	-16,3
Минусинск	-20,8	-19	-8,9	3	10,5	17,2	19,8	16,9	10	1,9	-8,9	-17,8
Томская область												
Асино	-19,1	-16,9	-9,9	0	8,7	15,4	18,3	15,1	9,3	0,8	-10,1	-17,3
Колпашево	-20,7	-18,7	-10,8	-0,7	7,3	15,2	18	14,4	8,7	0,1	-11,4	-19,4
Томск	-19,1	-16,9	-9,9	0	8,7	15,4	18,3	15,1	9,3	0,8	-10,1	-17,3
Новосибирская область												
Новосибирск	-18,8	-17,3	-10,1	1,5	10,3	16,7	19	15,8	10,1	1,9	-9,2	-16,5
Иркутская область												
Иркутск	-20,6	-18,1	-9,4	1	8,5	14,8	17,6	15	8,2	0,5	-10,4	-18,4

Таблица П.4.4

Коэффициент теплопередачи опалубки различной конструкции  $K_T$ 

Тип опалубки	Материал	Толщина слоя, мм	Коэффициент		
			Скорость ветра, м/с		
			0	5	15
I	Доска	25	2,44	5,2	5,98
II	Доска	40	2,03	3,6	3,94
III	Доска	25	1,8	3	3,25
	Толь	—			
IV	Доска	25	0,67	0,8	0,82
	Пенопласт	30			
V	Фанера	4	0,87	1,07	1,1
	Доска	25			
	Толь	—			
VI	Вата минеральная	50	1,02	1,27	1,33
	Фанера	4			
VII*	Фанера	10	2,44	5,1	5,8
	Асбест	4			
VIII	Фанера	10	0,74	0,89	0,9
	Толь	—			
IX	Опилки	100	1,27	1,77	1,87
	Толь	—			
X	Шлак	150	1,01	1,31	1,37
	Толь	—			
	Вата минеральная	50			

\* Применяется с сетчатым нагревателем, расположенным между слоями асбеста.

Окончание табл. 25

Модуль поверхности конструкции $M_n$	Наименование конструкции	Средняя температура воздуха за период выдерживания, °С	Метод выдерживания бетона до набора им прочности, % от проектной				
			20–30	50–70 в сроки		80–100 в сроки	
				28 сут и менее	более 28 сут	28 сут и менее	более 28 сут
Свыше 16	Стыки сборных конструкций	До -25	1; 2; 3	2; 3	1; 2	3	1; 2
		Ниже -25	3	3	–	3	–

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

При выборе противоморозной добавки целесообразно руководствоваться следующими положениями:

1. Бетон с противоморозными добавками допускается применять, если во время выдерживания до приобретения критической прочности температура бетона с максимально допускаемыми дозировками добавок не опустится ниже:

– 15 °С – при применении добавки НН;

– 20 °С – при применении добавок ХК + ХН, НК + М, НКМ, НК + М;

– 25 °С – при применении добавок П, ХК + НН, ННХК, ННХК + М.

2. Прочность бетона в зависимости от добавки, продолжительности твердения и расчётной температуры ориентировочно достигает значений, приведённых в табл. 26, а после 28-суточного выдерживания при температурах выше 0 °С бетон, как правило, приобретает проектную прочность. Данные табл. 26 для выбранной добавки должны уточняться применительно к ис-

## 4. Технология бетонирования с применением безпрогревных методов

пользуемому на стройке цементу, так как темп твердения бетона с добавками зависит от вида и состава цемента.

Таблица 26

## Наращение прочности бетона с противоморозными добавками на портландцементях

Добавки	Расчётная температура твердения бетона, °С	Прочность, % от проектной, при твердении на морозе за период, сут			
		7	14	28	90
НН	–5	30	50	70	90
	–10	20	35	55	70
	–15	10	25	35	50
ХК + ХН	–5	35	65	80	100
	–10	25	36	45	70
	–15	15	25	35	50
	–20	10	15	20	40
НКМ НК + М ННК + М	–5	30	50	70	90
	–10	20	35	50	70
	–15	15	25	35	60
	–20	10	20	30	50
ННХК ННХК + М ХК + НН	–5	40	60	80	100
	–10	25	40	50	80
	–15	20	35	45	70
	–20	15	30	40	60
	–25	10	15	25	40
П	–5	50	65	75	100
	–10	30	50	70	90
	–15	25	40	65	80
	–20	25	40	55	70
	–25	20	30	50	60

3. Бетонные смеси с добавками НН и ХК + НН и температурой 15–20 °С, как правило, хорошо укладываются и характеризуются обычными сроками загустевания (начало – 2,0–2,5 ч, конец – 4–8 ч); смеси с более низкими температурами, особенно ниже 5 °С, имеют более длительные сроки загустевания (нача-

$$t_n = (0,84(q_n + q_{ц} + q_{ш})t_{см} + 4,2q_{в}t_{см} - 0,84(q_{ц}t_{ц} + q_{ш}t_{ш}) - 4,2q_{в}t_{в}) / 8,4q_n$$

где  $q_{ц}$ ,  $q_n$ ,  $q_{ш}$ ,  $q_{в}$  — соответственно, масса цемента, песка, щебня и воды в  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси;  $t_{ц}$ ,  $t_{см}$ ,  $t_{ш}$ ,  $t_{в}$  — соответственно, температура цемента, бетонной смеси, щебня и воды перед загрузкой их в бетоносмеситель.

Время перемешивания бетонной смеси в бетоносмесителе должно быть больше, по сравнению с летними условиями, на 25 %.

Установленное в соответствии с рекомендациями количество химических добавок вводят при приготовлении бетонных смесей в виде водных растворов рабочей концентрации. Растворы солей готовят на подогретой до  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  воде в смесителях. Основные показатели водных растворов противоморозных и пластифицирующих добавок приведены в табл. 36–38.

Таблица 36

**Концентрация противоморозных добавок в зависимости от температуры наружного воздуха**

Расчетная температура бетона, $0 \text{ }^\circ\text{C}$		Количество безводных добавок, % от массы цемента						
От	До	НН	ХН + ХК	НКМ НК + М	ННК + М, НК + М	ННХК ХК + НН	ННХК + М	П
0	-5	4-6	(0+3) - -(2+3)	3-5	(3+1) - -(4+1,5)	3-5	(2+1) - -(4+1)	5-6
-6	-10	6-8	(3,5+3,5) - -(2,5+4)	6-9	(5+1,5) - -(7+2,5)	6-9	(4,5+1,5) - -(7+2,5)	7-8
-11	-15	8-10	(4,5+3) - -(5+3,5)	7-10	(6+2) - -(8+3)	7-10	(6+2) - -(8+3)	8-10
-16	-20	9-10	(6+2,5) - -(7+3)	9-12	(7+3) - -(9+4)	8-12	(7+2) - -(9+4)	10-12
-21	-25	-	-	-	-	10-14	(8+3) - -(10+4)	12-15

Таблица 37

**Рекомендуемые виды пластифицирующих добавок**

Вид добавки	Обозначение	Основной эффект
Суперпластификатор	С-3	Водопонижение на 20 %, замедляет схватывание
Суперпластификатор	ЛСТМ	Увеличивает подвижность, снижает расход воды на 20 %
Сульфитно-дрожжевая бражка	СДБ	Снижает водопотребность на 10 %. Замедляет схватывание и твердение бетона
Тетраборат натрия	ТН	Замедляет схватывание поташа
Тринатрийфосфат	ТНФ	Замедляет схватывание поташа

Таблица 38

**Рекомендуемое количество комплексных противоморозных добавок**

Компоненты	Количество добавки в расчете на сухое вещество, % от массы цемента	Основной эффект
СДБ + (НН, НК)	(0,1-0,3) + (0,3-1,5)	Водопонижение на 10 %
П + СДБ	(5-6) + (0,2-0,3)	Нормальные сроки схватывания, водопонижение на 10 %
М + ННК	(1-1,2) + (2-4)	Нормальные сроки схватывания
М + НК	(1,5-2,5) + (1,5-2,5)	Поставляется в готовом виде в полиэтиленовых мешках
НКМ	3-5	Поставляется в готовом виде в полиэтиленовых мешках
С-3 + ННК	(0,5-0,7) + (2-4)	Водопонижение на 25 %, ускорение твердения в 1,15 раза
С-3 + НК	(0,5-0,7) + (1,0-1,5)	Водопонижение на 25 %, ускорение твердения в 1,15 раза
С-3 + П	(0,5-0,7) + (5-6)	Нормальные сроки схватывания, водопонижение на 25 %
П + ТН	(5-6) + (1-1,2)	При содержании СЗА до 5 %
П + ТНФ	(5-6) + (1-1,2)	При содержании СЗА до 10 %