

Рис. 20. Кривые набора прочности бетоном при различных температурах его выдерживания:
а, в – для бетона класса В25 на портландцементе активностью 400–500; б, г – для бетона класса В25 на шлакопортландцементе активностью 300–400

Определяем приrost относительной прочности при изотермическом прогреве за 12 ч как проекцию участка (точки Л и К) кривой прочности при 70 °С (отрезок В-3), что соответствует 46 % от R_{28} .

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

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

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

Пример определения прочности по графику приведен на рис. 21.

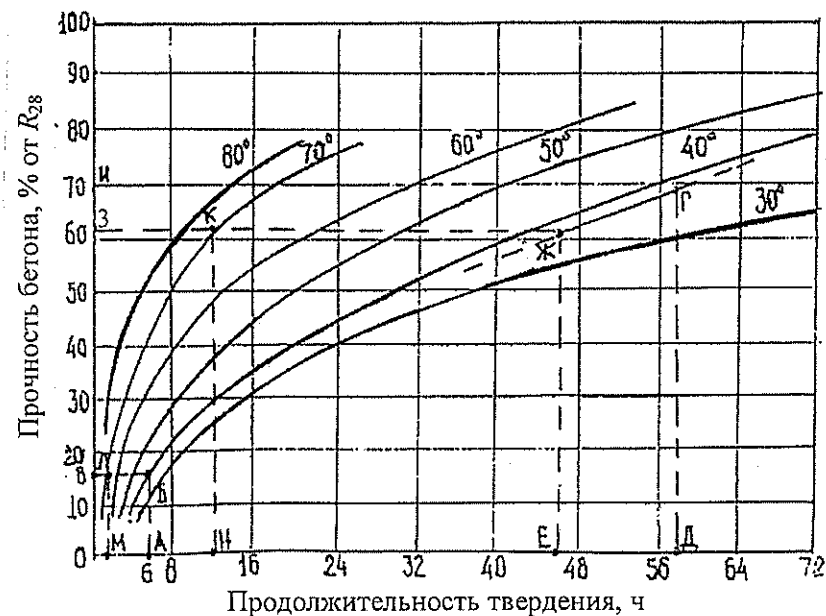


Рис. 21. Пример определения прочности бетона по графику

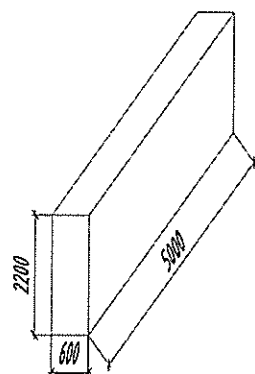
В зависимости от расположения электродов и места прохождения электрического тока прогрев подразделяют на *сквозной* и *периферийный*. При сквозном прогреве ток протекает через всю массу бетона, и тепловая энергия выделяется в теле конструкции. В случае периферийного прогрева ток протекает через бетон между электродами, установленными по наружной поверхности конструкции. Бетон прогревается при передаче тепловой энергии от периферии вовнутрь конструкции, а также за счет экзотермии цемента.

Для осуществления электропрогрева бетона применяют пластинчатые, полосовые (ленточные), стержневые, струнные, а также кольцевые типы электродов.

В табл. 42 приведены виды электродов, применяемые для электропрогрева бетонных конструкций, и область их применения.

- мощность электропрогрева должна соответствовать мощности, требуемой по тепловому расчету;
- электрические и температурные поля по сечению конструкции должны быть по возможности равномерными;
- электроды желательно располагать снаружи прогреваемой конструкции с целью обеспечения минимального расхода металла;
- установку электродов нужно производить до начала бетонирования (при использовании наружных электродов);
- расход стали на электроды должен быть минимальным.

5.1.2. Пример расчета электропрогрева (электродного прогрева) бетонной смеси



Исходные данные:

Город	г. Чара
Месяц	январь
Температура изотермическая	$t_{из} = +40 \text{ }^\circ\text{C}$
Время перевозки	$\tau_{тр} = 8 \text{ мин}$
Высота подъема краном	$H_{под} = 12 \text{ м}$
Марка автомобиля	МАЗ-503
Время укладки	$\tau_y = 10 \text{ мин}$
Тип опалубки	V
Класс бетона	B15
Расход цемента	$\rho = 350 \text{ кг/м}^3$
Марка цемента	M400
Расход арматуры	$\rho_a = 70 \text{ кг/м}^3$
Температура бетона конечная	$t_{б,к} = +5 \text{ }^\circ\text{C}$
Температура бетона начальная	$t_{б,н} = +5 \text{ }^\circ\text{C}$

Решение:

1. Определим объем бетона в конструкции:

$$V_6 = 5 \cdot 2,2 \cdot 0,6 = 6,6 \text{ м}^3.$$

2. Рассчитаем поверхность охлаждения конструкции:

$$F_{охл} = 2 \cdot 2,2 \cdot 0,6 + 2 \cdot 5 \cdot 2,2 + 5 \cdot 0,6 = 27,64 \text{ м}^2.$$

3. Определим модуль поверхности конструкции:

$$M_n = \frac{F_{охл}}{V_6} = \frac{27,64}{6,6} = 4,19 \text{ м}^{-1}.$$

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

4.1. При транспортировании

$$\Delta t_{тр} = \Delta t'_{тр} \cdot \tau_{тр} = 0,0025 \cdot 8 = 0,02 \text{ }^\circ\text{C/}^\circ\text{C},$$

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

4.2. При перемещении краном:

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

4.3. При перегрузке и погрузке

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

4.4. При укладке и уплотнении

$$\Delta t_y = \Delta t'_y \cdot \tau_y = 0,007 \cdot 10 = 0,07 \text{ }^\circ\text{C/}^\circ\text{C},$$

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:

$$\sum \Delta t_{тр} = \Delta t_{тр} + \Delta t_{пер} + \Delta t_n + \Delta t_y = 0,02 + 0,0264 + 0,032 + 0,07 = 0,1484 \text{ }^\circ\text{C/}^\circ\text{C}.$$

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

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

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

$$t_{см} = \frac{(5 - (-33,8)0,1484)}{1 - 0,1484} = 11,78 \text{ °С}; \quad t_{см} \approx 12 \text{ °С}.$$

6. Определим время подъема температуры:

$$\tau_p = \frac{t_{max} - t_{б.н}}{V_p} = \frac{40 - 5}{8} = 4,38 \text{ ч},$$

где V_p – скорость подъема температуры, °С/ч; $\tau_p = 0,18$ сут.

7. Определим среднюю температуру бетона за период подъема:

$$t_p^{cp} = \frac{t_{из} + t_{б.н}}{2} = \frac{40 + 5}{2} = 22,5 \text{ °С}.$$

8. За время подъема температуры 4,38 ч, при средней температуре подъема 22,5 °С, определяем, что бетон наберет 10 % от R_{28} .

9. Определим среднюю температуру остывания бетона:

$$t_{б.ср} = t_{б.к} + \frac{t_{из} - t_{б.к}}{1,03 + 0,181 \cdot M_n + 0,006(t_{из} - t_{б.к})} =$$

$$= 5 + \frac{40 - 5}{1,03 + 0,181 \cdot 4,19 + 0,006(40 - 5)} = 22,5 \text{ °С}.$$

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

$$\tau_{ост} = \frac{C_b \cdot \gamma_b (t_{из} - t_{б.к})}{3,6 \cdot K_r \cdot M_n (t_{б.ср} - t_{н.в})} = \frac{1,05 \cdot 2400(40 - 5)}{3,6 \cdot 1,07 \cdot 4,19(22,5 - (-33,8))} = 97 \text{ ч};$$

$$\tau_{ост} = 4,05 \text{ сут},$$

где K_r – коэффициент теплопередачи опалубки зависит от конструкции опалубки и скорости ветра (табл. П.4.4).

11. Определим прочность, которую наберет бетон за время остывания, $\tau_{ост} = 97$ ч и средней температуры остывания бетона $t_{б.ср} = 22,5$ °С. По номограмме рис. П.4.1 для бетона марки М200 (В15) на портландцементе М400 бетон набирает 35 % от R_{28} .

12. По той же номограмме определим время изотермического прогрева $\tau_{из} = 0,67$ сут. = 16 ч, за которое бетон набирает 25 % от R_{28} , оставшиеся от 70 %.

13. Определим требуемую удельную мощность в период подъема температуры (табл. 44–46):

$$P_p^{уд} = 5,315 \text{ кВт/м}^3.$$

14. Определим требуемую удельную мощность в период изотермического прогрева бетона (табл. 47–49):

$$P_{из}^{уд} = 0,388 \text{ кВт/м}^3.$$

15. Определим мощность установки на период подъема температуры с учетом сменного потока бетона:

$$P_p = P_p^{уд} \cdot V_6 = 5,315 \cdot 6,6 = 35,08 \text{ кВт},$$

где V_6 – объем бетона в конструкции, м³.

Принимаем трансформатор мощностью 50 кВт типа ТМОА-50. Напряжение на выходе данного трансформатора 49, 60, 70, 85, 103, 121 В определяется по табл. П.4.6.

16. Расход электрической энергии

$$W = P_p^{уд} \cdot \tau_p + P_{из}^{уд} \cdot \tau_{из} = 5,315 \cdot 4,38 + 0,388 \cdot 16 = 29,49 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3.$$

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

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

Сборник задач по технологии бетонных работ в зимних условиях

Окончание табл. 44

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

5. Технология бетонирования с применением прогретых методов

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

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

Сборник задач по технологии бетонных работ в зимних условиях

Окончание табл. 45

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

5. Технология бетонирования с применением прогретых методов

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

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

Сборник задач по технологии бетонных работ в зимних условиях

Окончание табл. 46

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

5. Технология бетонирования с применением прогретых методов

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

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

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

Температура наружного воздуха, °С	Мощность, кВт/м ³ , при модуле поверхности														
	4			6			10			15			20		
	Температура изотермического прогрева, °С														
	40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80
0	0,83	1,25	1,67	1,25	1,88	2,5	2,09	3,13	4,18	3,13	4,7	6,26	4,18	6,26	8,35
-10	1,04	1,46	1,88	1,57	2,2	2,82	2,61	3,65	4,7	3,91	5,48	7,04	5,28	7,31	9,39
-20	1,25	1,67	2,09	1,88	2,5	3,13	3,13	4,18	5,22	4,7	6,26	7,83	6,26	8,35	10,44
-30	1,46	1,88	2,3	2,2	2,82	3,44	3,65	4,7	5,74	5,48	7,04	8,61	7,31	9,39	11,48
-40	1,67	2,09	2,5	2,5	3,13	3,76	4,18	5,22	6,26	6,26	7,83	9,4	8,35	10,44	12,53

Таблица 49

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

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

5. Технология бетонирования с применением прогревных методов

17. Рассмотрим несколько схем включения бетона в электрическую цепь.

17.1. Первая схема – пластинчатые электроды (сквозной прогрев).

Область применения: ростверки, ленточные фундаменты.

При данной схеме включения мощность для подъема температуры от 5 до 40 °С будет равна:

$$P_{уд} = \frac{10^{-3} \cdot U^2}{\rho_{расч} \cdot B^2} \geq P_p^{уд},$$

где U – напряжение, В; B – расстояние между электродами, м; $\rho_{расч}$ – расчетное удельное электрическое сопротивление бетона, Ом·м:

$$\rho_{расч} = \frac{\rho_{нач} + \rho_{мин}}{2} = \frac{10,6 + 6,9}{2} = 8,75 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где $\rho_{нач}$ – начальное удельное электрическое сопротивление бетона, Ом·м (табл. П.4.7); $\rho_{мин}$ – минимальное удельное электрическое сопротивление бетонной смеси в процессе разогрева, Ом·м (табл. П.4.7). Принимаем Сухоложский цемент.

Из данного выражения необходимо выразить напряжение:

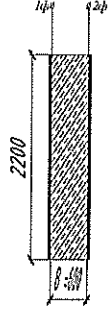
$$U = \sqrt{\frac{P_p^{уд} \cdot B^2 \cdot \rho_{расч}}{10^{-3}}} = \sqrt{\frac{5,315(0,6)^2 8,75}{10^{-3}}} = 129,4 \text{ В}.$$

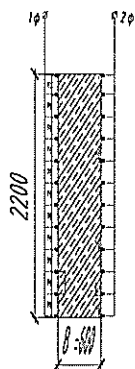
Данное напряжение больше, чем максимальное напряжение трансформатора $U_{max} = 121 \text{ В}$, следовательно данная схема включения не подходит.

17.2. Вторая схема – полосовые электроды (сквозной прогрев).

Область применения: ростверки, ленточные фундаменты.

При данной схеме включения мощность для подъема температуры от 5 до 40 °С будет равна:





$$P_{уд} = \frac{10^{-3} \cdot U^2}{B^2 \cdot \rho_{расч} \left(1 + \frac{\alpha \cdot b}{\pi \cdot B} \ln \frac{b}{2 \cdot a} \right)} \geq P_p^{уд},$$

где U – напряжение, В; B – расстояние между электродами, м; $\rho_{расч}$ – расчетное удельное электрическое сопротивление бетона, Ом·м:

$$\rho_{расч} = \frac{\rho_{нач} + \rho_{мин}}{2} = \frac{10,6 + 6,9}{2} = 8,75 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где $\rho_{нач}$ – начальное удельное электрическое сопротивление бетона, Ом·м (табл. П.4.7); $\rho_{мин}$ – минимальное удельное электрическое сопротивление бетонной смеси в процессе разогрева, Ом·м (табл. П.4.7); принимаем Сухоложский цемент; α – коэффициент, зависящий от схемы включения бетона в цепь: при трехфазном токе $\alpha = 3/2$, а при однофазном токе $\alpha = 2$; b – расстояние между осями электродов, м (0,1–0,8); a – ширина полосы электрода, м (20–50 мм).

Из данного выражения необходимо выразить напряжение:

$$U = \sqrt{\frac{P_p^{уд} \cdot B^2 \cdot \rho_{расч} \left(1 + \frac{\alpha \cdot b}{\pi \cdot B} \ln \frac{b}{2 \cdot a} \right)}{10^{-3}}} =$$

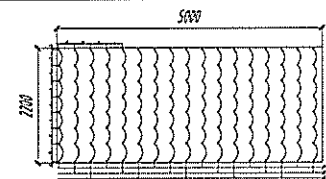
$$= \sqrt{\frac{5,315(0,6)^2 8,75 \left(1 + \frac{1,5 \cdot 0,2}{3,14 \cdot 0,6} \ln \frac{0,2}{2 \cdot 0,03} \right)}{10^{-3}}} = 198 \text{ В}.$$

Данное напряжение больше, чем максимальное напряжение трансформатора $U_{max} = 121 \text{ В}$, следовательно данная схема включения не подходит.

17.3. Третья схема – стержневые электроды, в виде плоских групп.

Область применения: все виды конструкций.

При данной схеме включения мощность для подъема температуры от 5 до 40 °С будет равна:



$$P_{уд} = \frac{3,14 \cdot 10^{-3} \cdot U^2}{\rho_{расч} \cdot b \cdot h \left(\alpha \ln \frac{h}{\pi \cdot d} + \frac{\pi \cdot b}{h} \right)} \geq P_p^{уд},$$

где U – напряжение, В; $\rho_{расч}$ – расчетное удельное электрическое сопротивление бетона, Ом·м; $\rho_{нач}$ – начальное удельное электрическое сопротивление бетона, Ом·м (табл. П.4.7); $\rho_{мин}$ – минимальное удельное электрическое сопротивление бетонной смеси в процессе разогрева, Ом·м (табл. П.4.7); α – коэффициент, зависящий от схемы включения бетона в цепь: при трехфазном токе $\alpha = 3/2$, а при однофазном токе $\alpha = 2$; b – расстояние между соседними группами электродов, м (20–40 см); h – расстояние между одноименными электродами в группе, м (20–40 см); d – диаметр электрода, м (6–12 мм).

Из данного выражения необходимо выразить напряжения:

$$U = \sqrt{\frac{P_p^{уд} \cdot b \cdot h \cdot \rho_{расч} \left(\alpha \ln \frac{h}{\pi \cdot d} + \frac{\pi \cdot b}{h} \right)}{3,14 \cdot 10^{-3}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{5,315 \cdot 0,3 \cdot 0,3 \cdot 8,75 \left(1,5 \ln \frac{0,3}{3,14 \cdot 0,01} + \frac{3,14 \cdot 0,3}{0,3} \right)}{3,14 \cdot 10^{-3}}} = 93,29 \text{ В}.$$

Принимаем напряжение в большую сторону в соответствии со списком напряжений принятого трансформатора: $U = 103 \text{ В}$. Проверяем неравенство:

$$P_{\text{уд}} = \frac{3,14 \cdot 10^{-3} (103)^2}{8,75 \cdot 0,3 \cdot 0,3 \left(1,5 \ln \frac{0,3}{3,14 \cdot 0,01} + \frac{3,14 \cdot 0,3}{0,3} \right)} = 6,48 \geq 5,315 \text{ кВт},$$

что удовлетворяет условию, соответственно принимаем схему включения № 3.

5.2. Тепловая обработка бетона греющим проводом

Область применения

Обогрев бетона греющими проводами используют при возведении (устройстве) разнообразных бетонных и железобетонных строительных конструкций с модулем поверхности ($M_n \geq 5$). Способ наиболее эффективен при высокой степени (коэффициенте) армирования, сложной конфигурации и высоком модуле поверхности ($M_n \geq 20$) конструкций и обогреве бетона стыков сборных элементов.

Полученный опыт прогрева тонкостенной, плохо защищенной от охлаждения конструкции, позволил оценить используемый метод электропрогрева как высокоэффективный и достаточно надёжный в экстремальных условиях выдерживания бетона, где применение электродного прогрева затруднено или невозможно.

Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов производится при температуре окружающего воздуха, как правило, до -20°C .

Сущность метода

Сущность обогрева бетона токоизолированными греющими (нагревательными) проводами заключается в том, что при

прохождении по ним электрического тока провода разогреваются, и от них благодаря теплопроводности разогревается бетон.

С целью теплоотдачи греющие провода располагаются внутри бетона, в основном в его периферийных слоях (особенно при прогреве массивных конструкций) в виде плоского или объемного змеевика с расстоянием между ветвями провода (шагом) в 50–150 мм. При прогреве стыков сборных конструкций шаг составляет примерно 25–70 мм, а при устройстве подготовок под основания и бетонных оснований – 150–200 мм; рекомендуемое расстояние до палубы опалубки 30–50 мм.

В качестве греющих или нагревательных используют в основном провода с жилой из стальной оцинкованной проволоки диаметром 1,1–3 мм, покрытых слоем изоляции.

Обогрев бетона осуществляют в диапазоне напряжения тока $U \approx 24\text{--}121$ В. При заземлении арматуры железобетонных конструкций допускается использовать ток $U \approx 220$ В, а при обогреве бетонных $U \approx 220\text{--}380$ В.

В железобетонных конструкциях провод крепят к арматуре, обычно с наружной стороны каркасов, но всегда в зонах с наименьшим риском возможного нарушения токоизоляции провода при укладке и уплотнении бетона. Если существует опасность перегрева провода и возможного оплавления изоляции (при превышении расчетной температуры нагрева подошвы ее дополнительно усиливают токоизолирующими прокладками (кембриком, трубками и пр.) в местах крепления к арматуре и касания металлических частей опалубки.

Обогрев бетона греющими проводами используют при возведении (устройстве) разнообразных бетонных и железобетонных строительных конструкций. Способ наиболее эффективен при высокой степени (коэффициенте) армирования, сложной конфигурации и высоком модуле (≥ 20) поверхности конструкций и обогреве бетона стыков сборных элементов.

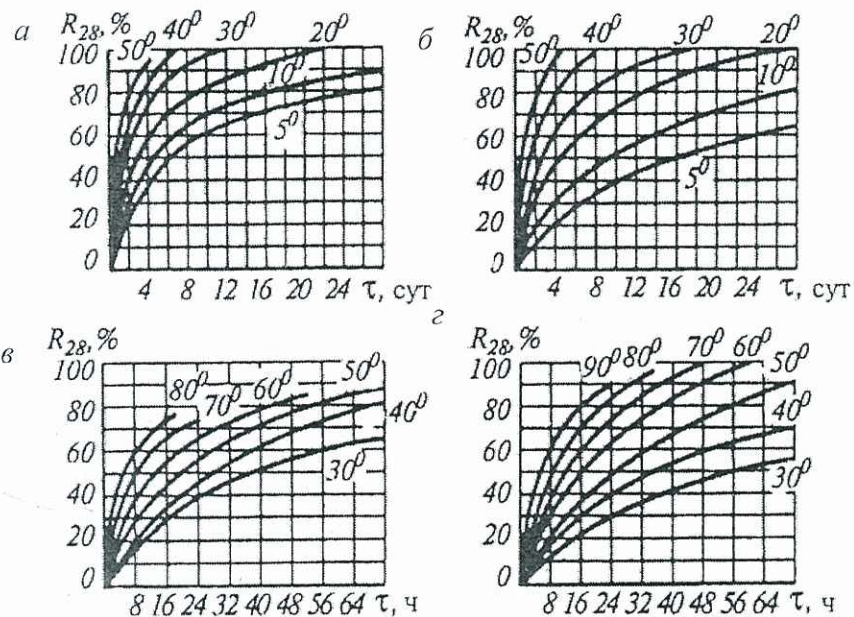


Рис. П.4.1. Кривые набора прочности бетоном классов В15–В22,5: а – при температуре твердения до 50 °С на портландцементе М400–500; б – то же, при температуре твердения до 80 °С; в – при температуре твердения до 50 °С на шлакопортландцементе М400–500; г – то же, при температуре до 90 °С

Таблица П.4.5

Техническая характеристика масляных трёхфазных силовых трансформаторов

Марка	Мощность, кВ·А
ТМ 63/6	63
ТМ 63/10	
ТМ 100/6	100
ТМ 100/10	
ТМ 160/6	160
ТМ 160/10	
ТМ250/6	250
ТМ 250/10	

Окончание табл. П.4.5

Марка	Мощность, кВ·А
ТМ 400/6	400
ТМ 400/10	
ТМ 630/6	630
ТМ 630/10	
ТМ 1000/6	1000
ТМ 1000/10	

Таблица П.4.6

Техническая характеристика понижающих трансформаторов

Марка	Мощность, кВт	Напряжение, В		Сила тока, А		Масса, кг	Габариты, мм
		первичное	вторичное	первичное	вторичное		
ТСПК-20А	20	380, 220	6, 12, 22, 38, 48, 62, 101	–	480, 320, 240, 160, 120	260	775×775×740
ТМОА-50	50	380	49, 60, 70, 85, 103, 121	76, 65, 53	418, 239	473	980×930×1232
ТМОБ-63	63	380	49, 60, 70, 85, 103, 121	96, 82, 69	520, 301	900	1150×1200×890
ТМО-50/10	50	380, 220	50, 61, 87, 106	131, 76	670, 470, 320, 270	890	1450×1290×890
ТМ-75/6	50	380, 220	50, 61, 87, 106	131, 76	572, 470, 330, 272	650	1050×1290×740
КТП-06-63	63	380	49, 60, 70, 85, 103, 121	–	–	900	–

Таблица П.4.7

Удельное электрическое сопротивление бетона на ПЩ
разных заводов

Завод-изготовитель цемента	Величина удельного электросопротивления бетона, Ом·м	
	$R_{нач}$	$R_{мин}$
Алексеевский	7,2	4,3
Белгородский	18,8	12,2
Воскресенский	7,2	4,9
Николаевский	6,2	4
Ростовский	8,5	7,2
Сухоложский	10,6	6,9
Чернореченский	7,9	5,5

Таблица П.4.8

Значение коэффициентов лучистого потока $\Phi_{н-н}$, $\Phi_{н-0}$, $\Phi_{0-н}$

Коэффициенты	Значения коэффициентов при S/d , равном					
	1	2	5	10	20	50
$\Phi_{н-н}$, $\Phi_{н-0}$	0,318	0,417	0,466	0,48	0,482	0,49
$\Phi_{0-н}$	1	0,656	0,293	0,151	0,077	0,031

Примечание. Для промежуточных значений S/d величина Φ определяется по правилу линейной интерполяции.

Таблица П.4.9

Значение коэффициента лучистого потока $\Phi_{0-н}$

Величина α_1/h	Значения $\Phi_{0-н}$ при α_2/h , равном							
	0,1	1	5	10	50	100	500	10000
0,1	0	0,013	0,032	0,034	0,041	0,048	0,049	0,049
1	0,015	0,195	0,358	0,388	0,411	0,412	0,413	0,414
5	0,032	0,299	0,564	0,793	0,8	0,815	0,818	0,819
10	0,04	0,385	0,729	0,812	0,822	0,895	0,9	0,905
50	0,044	0,469	0,813	0,866	0,959	0,968	0,977	0,98
100	0,045	0,6	0,815	0,893	0,967	0,972	0,98	0,985

Окончание табл. П.4.9

Величина α_1/h	Значения $\Phi_{0-н}$ при α_2/h , равном							
	0,1	1	5	10	50	100	500	10000
500	0,046	0,681	0,818	0,9	0,974	0,983	0,993	0,998
1000	0,05	0,707	0,82	0,905	0,98	0,99	0,998	0,999

Примечание. Для промежуточных значений α_1/h и α_2/h величина $\Phi_{0-н}$ определяется по правилу линейной интерполяции.

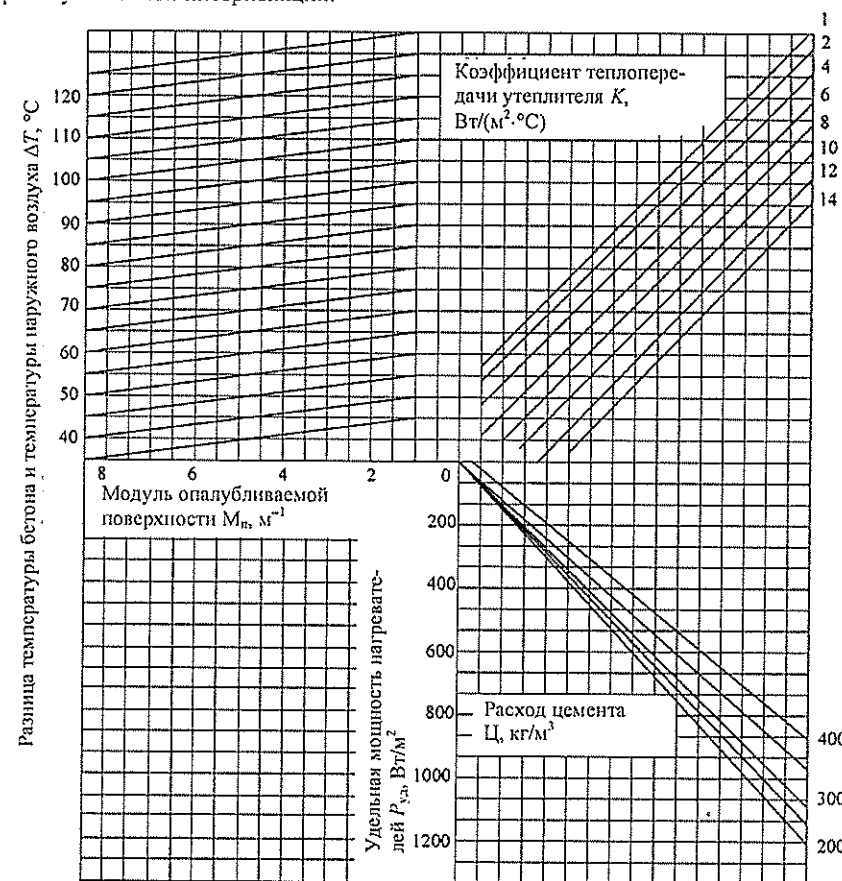


Рис. П.4.2. Номограмма для определения удельной мощности нагрева бетона