

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет»

Кафедра строительного производства и экспертизы недвижимости

**РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ БЕТОНА
ПРИ БЕТОНИРОВАНИИ
КОНСТРУКЦИЙ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ**

Методические указания к практическим
занятиям по курсу «Строительство в зимних условиях»
для студентов специальности 270102
«Промышленное и гражданское строительство»

Составитель Ю. П. Черкаев

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 7 от 31.03.2009

Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
специальности 270102
Протокол № 31 от 31.03.2009

Электронная копия находится
в библиотеке ГУ КузГТУ

Кемерово 2009

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Задачами практической работы студентов по расчету режимов тепловой обработки бетона при бетонировании конструкций в зимнее время являются:

– углубление знаний в области технологии возведения монолитных бетонных и железобетонных конструкций в зимних условиях;

– приобретение навыков, связанных с проектированием режимов бетонирования в зимних условиях, обеспечивающих возможность достижения требуемой прочности бетона;

– закрепление навыков самостоятельной работы по разработке технологических решений, связанных с бетонированием конструкций при отрицательных температурах наружного воздуха;

– приобретение навыков работы со специальной литературой по технологии производства бетонных работ.

Настоящие методические указания составлены с учетом основных положений по выбору современных, наиболее эффективных способов тепловой обработки бетона при бетонировании в зимнее время.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

2.1. Расчет параметров, определяющих режим набора прочности бетона конструкции при заданном способе тепловой обработки.

2.2. Разработка принципиальных конструктивно-технологических решений для условий зимнего бетонирования.

3. СВЕДЕНИЯ О РАСЧЕТАХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ БЕТОНА

3.1. Положения настоящих указаний учитывают требования, которые должны выполняться в период производства бетонных работ при ожидаемой среднесуточной температуре наружного воздуха ниже $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ или при минимальной суточной температуре ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.2. Проектно-технологические решения по бетонированию конструкций в зимних условиях следует учитывать в специально разработанных технологических картах, в которых должны быть приведены:

а) особенности технологии приготовления и транспортирования бетонной смеси, обеспечивающие возможность получения заданной температуры ее у места укладки в опалубку конструкции;

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

в) способы и температурно-влажностные режимы выдерживания бетона с учетом температуры наружного воздуха в период набора им требуемой прочности;

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

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

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

ж) схема размещения и подключения электродов или электронагревателей, требуемые электрическая мощность, напряжение и сила тока, тип понижающего трансформатора, сечение и длина проводов;

з) сроки и порядок распалубливания и загрузки забетонированных конструкций;

и) основные указания по технике безопасности при производстве бетонных работ.

3.3. Режим тепловой обработки бетона должен обеспечить достижение им заданной (или критической) прочности и других показателей, указанных в рабочих чертежах конструкций.

Режим тепловой обработки бетона зависит от основных факторов: массивности конструкции (характеризуется значением модуля поверхности $M_{\text{п}}$), температуры окружающей среды, материала опалубки, наличия и материала утеплителя опалубки и неопалубленной поверхностей бетона, вида и марки цемента, тре-

бований к прочности бетона на момент его распалубки. При назначении режима следует учитывать необходимость экономии энергетических ресурсов, расходуемых на тепловую обработку бетона.

3.4. Температурные режимы тепловой обработки бетона включают следующие периоды:

- предварительное выдерживание от момента окончания укладки бетонной смеси до начала прогрева;
- подъем температуры (разогрев бетона);
- изотермический прогрев;
- остывание.

Применяют следующие режимы тепловой обработки с учетом продолжительности периодов разогрева, изотермического прогрева и остывания бетона конструкций (в часах):

а) режим электротермоса (рис. 1). Состоит из периода разогрева бетона в течение τ_p от $t_{\text{бн}}$ до t_{max} и периода остывания в течение τ_o . Прочность бетон набирает при остывании конструкции до температуры $t_{\text{БК}}$. Этот режим применяется для конструкций с $M_{\text{п}}$ до 4;

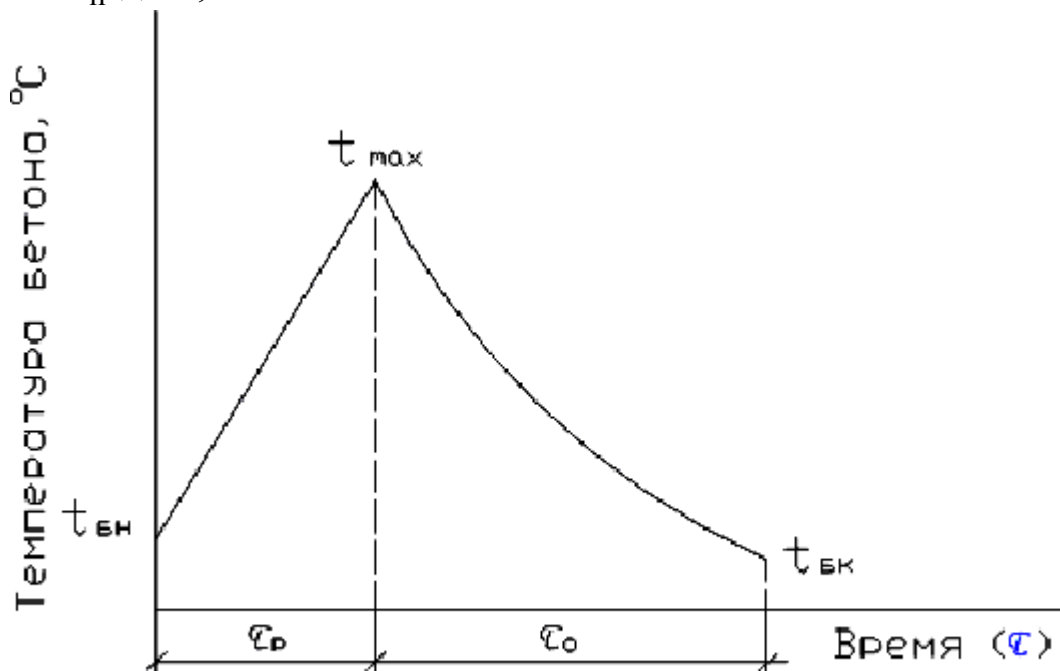


Рис. 1. Режим термообработки бетона «электротермос»

б) изотермический режим (рис. 2). Состоит из периода разогрева бетона от $t_{\text{бн}}$ до t_{max} и изотермического прогрева при этой температуре в течение периода $\tau_{\text{и}}$, назначаемого из условия получения заданной прочности бетона к моменту окончания прогрева. Режим применяется для конструкций с $M_{\text{п}} > 10$;

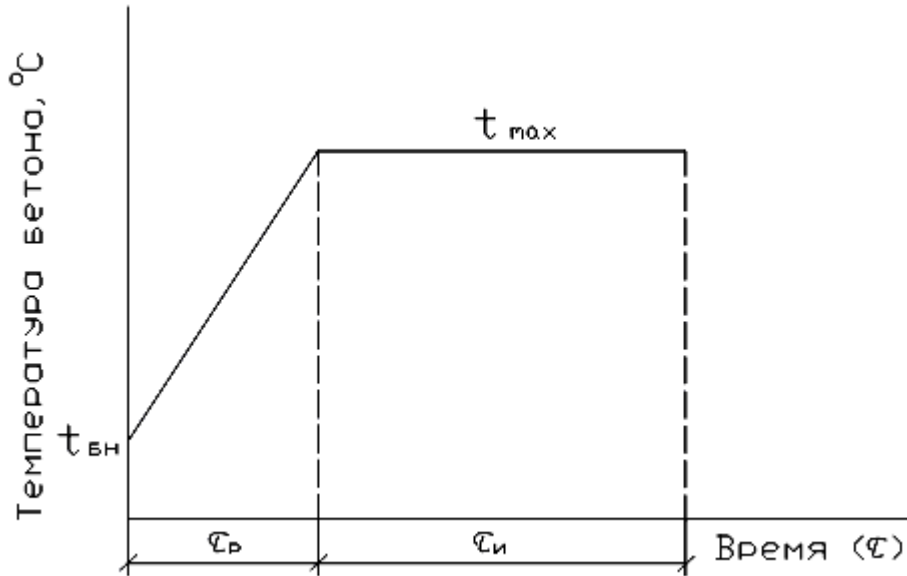


Рис. 2. Изотермический режим термообработки бетона

в) изотермический режим с остыванием (рис. 3) представляет собой комбинацию двух предыдущих режимов, применяется для конструкций с $M_{\text{п}}$ от 4 до 10;

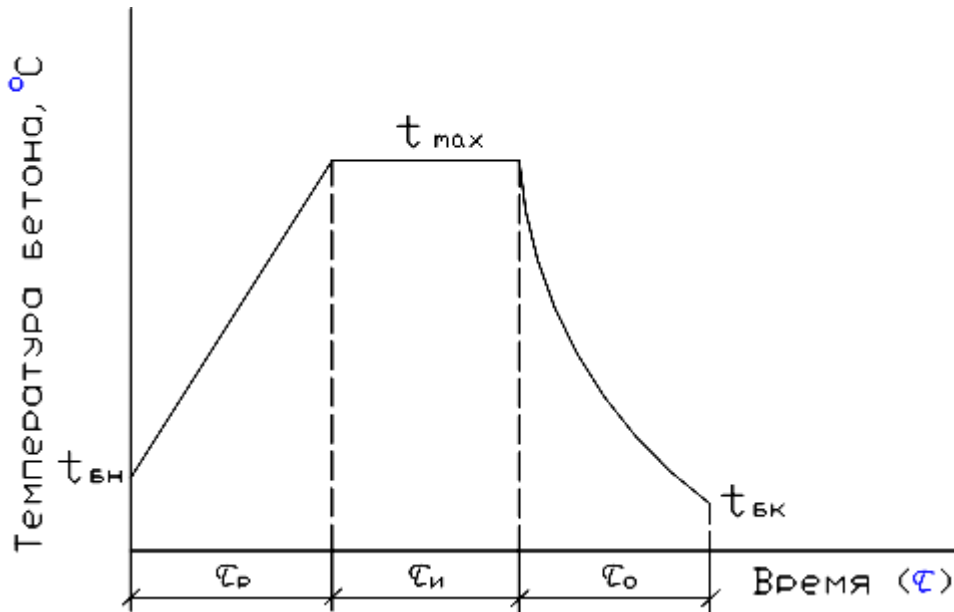


Рис. 3. Режим термообработки бетона изотермический с остыванием

г) ступенчатый режим (рис. 4) применяют для тепловой обработки главным образом преднапряженных конструкций;

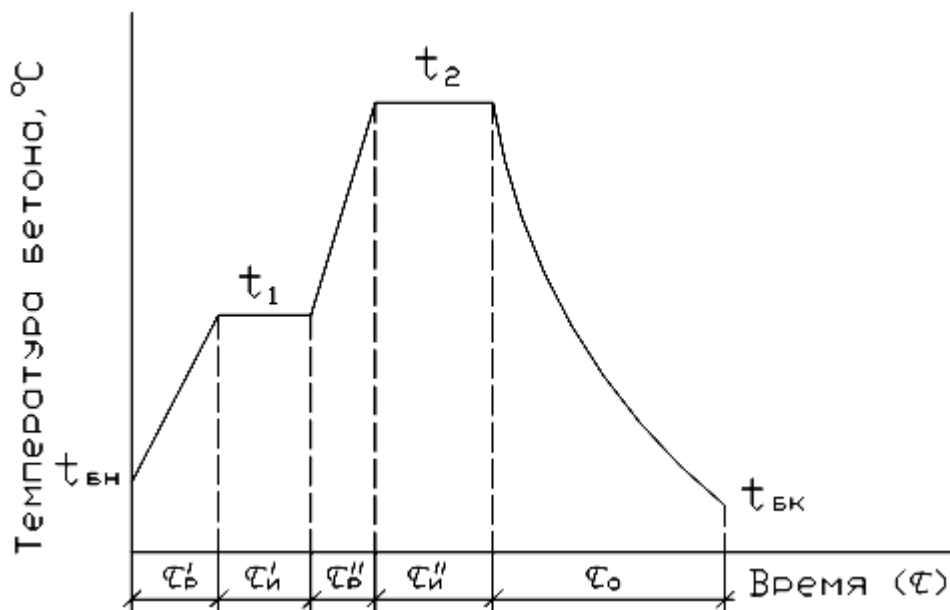


Рис. 4. Ступенчатый режим термообработки бетона

д) режим остывания (рис. 5), по окончании которого бетон приобретает заданную прочность. Применяют при бетонировании с предварительным электроразогревом бетонной смеси;

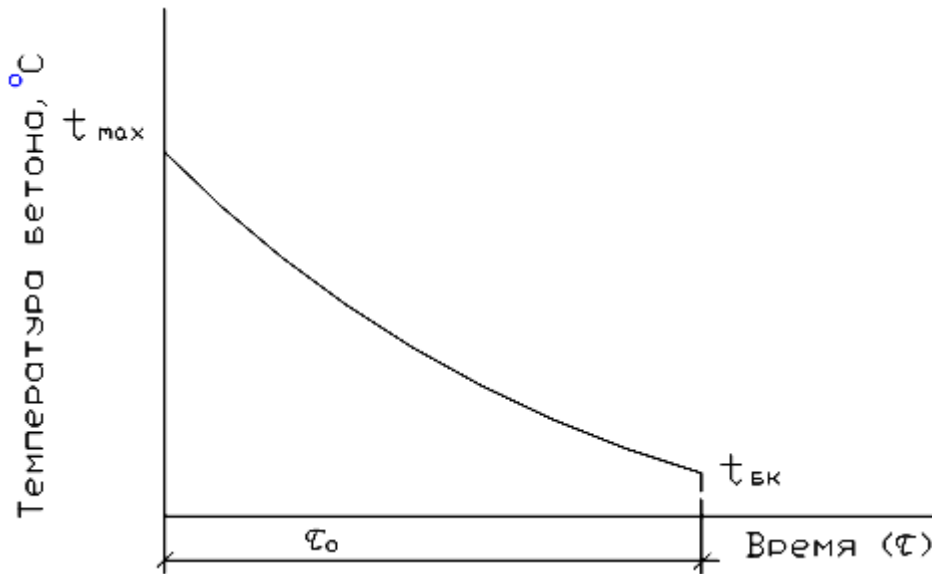


Рис. 5. Режим остывания бетона

е) саморегулирующийся режим (рис. 6). Используют только при электродном прогреве с постоянной величиной напряжения на электродах (изменение температуры бетона при этом обратно пропорционально изменению удельного электрического сопротивления бетона; температура вначале повышается, достигает максимальной величины, затем медленно снижается). Режим применяют при электропрогреве бетона большого числа одинаковых конструкций, например стыков, включаемых под напряжение постоянной величины по мере окончания их бетонирования.

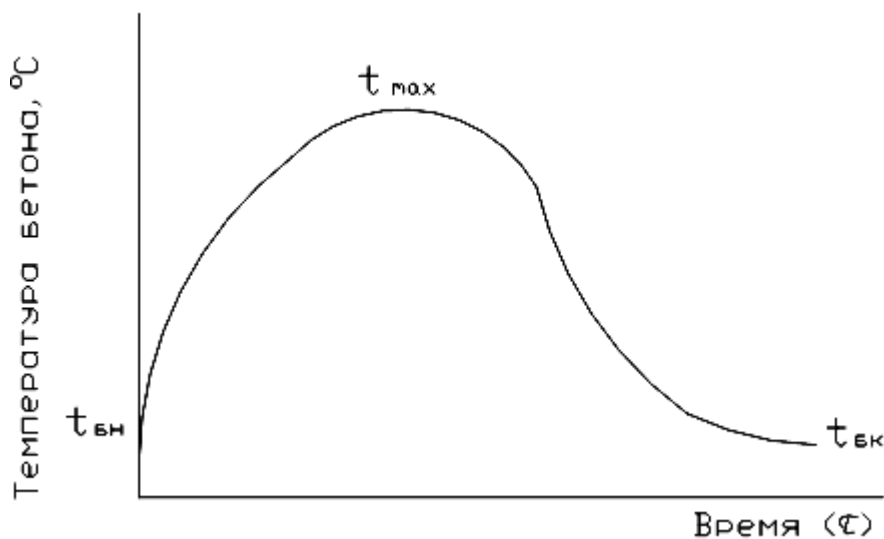


Рис. 6. Саморегулирующийся режим термообработки бетона

3.5. Температура бетонной смеси, уложенной в опалубку, к началу термообработки бетона в зимнее время $t_{\text{бн}}$ не должна быть ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Скорость подъема температуры при тепловой обработке бетона должна составлять: при модуле поверхности ($M_{\text{п}}$) до 4 – не более $5\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$, при $M_{\text{п}}$ от 5 до 10 – не более $10\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$, при $M_{\text{п}}$ равном 10–15 $^{\circ}\text{C/ч}$.

Скорость остывания бетона по окончании тепловой обработки для конструкций с модулем поверхности $M_{\text{п}}$:

до 5 – не более $2...3\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$;

от 5 до 10 – не более $5\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$;

свыше 10 – не более $10\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$.

Температура изотермического прогрева бетона t_{max} не должна превышать значений, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Максимально допустимые температуры бетона
при электропрогреве

Цемент	Максимальные температуры t_{max} , $^{\circ}\text{C}$, для конструкций с модулем поверхности		
	6–9	10–15	16–20
Шлакопортландцемент и пуццолановый цемент	80	70	60
Портландцемент и быстротвердеющий портландцемент	70	65	55

4. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ПРОГРЕВА БЕТОНА

Исходными данными для расчета служат:

- вид и марка цемента;
- содержание цемента в бетоне (кг/м^3);

- требуемая прочность бетона к моменту окончания термообработки;
- соотношения размеров конструкции, определяющие ее массивность M_{Π} ;
- материал опалубки и ее толщина $\delta_{оп}$. Соотношения учитываемых параметров для различных конструкций опалубок приведены в табл. 2;
- начальная температура бетона $t_{н}$;
- конечная температура бетона $t_{к}$;
- температура наружного воздуха, $t_{нв}$;
- скорость ветра U .

Расчет ведется в такой последовательности. Зная размеры конструкции и принятую систему опалубки ее, определяют модуль поверхности по формуле

$$M_{\Pi} = \frac{F}{V},$$

где F – площадь охлаждаемой поверхности бетонной конструкции; V – объем бетонной конструкции.

За охлаждаемые принимаются боковые и верхние поверхности. Нижняя поверхность не учитывается, т. к. бетон должен укладываться на отогретое до положительной температуры основание.

Зная M_{Π} конструкции и вид цемента, задают допустимую скорость подъема температуры и максимальную температуру. По этим величинам определяют время разогрева бетона:

$$\tau_p = \frac{t_{\max} - t_{бн}}{U_p},$$

где U_p – скорость разогрева бетона.

С учетом времени разогрева τ_p и средней температуры разогрева t_p^{cp} определяют прочность бетона при разогреве (пример определения прочности бетона за время разогрева приводится на рис. 7).

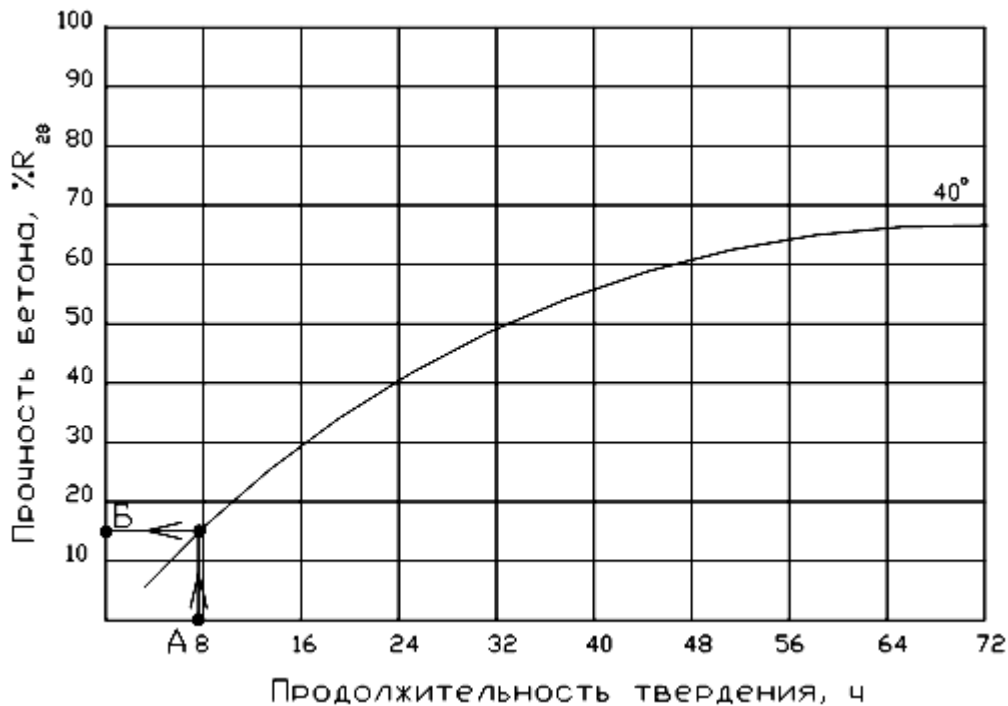


Рис. 7. График нарастания прочности бетона за время разогрева:

- средняя температура разогрева бетона $t_p^{cp} = 40^\circ$;
- продолжительность разогрева $\tau_p = 7,6$ ч;
- получаемая прочность при разогреве $15\% R_{28}$.

Затем находят время остывания конструкции τ_o от t_{max} до $t_{ок}$ ($t_{ок}$ следует принимать равной не более 5°C и не менее 0°C).

Время остывания конструкции определяют по формуле Б. Г. Скрамтаева:

$$\tau_o = \frac{C_b \gamma_b (t_{max} - t_{ок}) + ЦЭ}{3,6 K M_{II} (t_o^{cp} - t_{нв})},$$

где C_b – удельная теплоемкость бетона, принимаемая равной $1,05$ кДж/(кг·°C); γ_b – плотность бетона, кг/м³; Э – тепловыделение цемента, кДж/кг, за время твердения бетона, определяемое по [2, табл. 20] (при изотермическом режиме с остыванием по рис. 3 и при ступенчатом режиме с остыванием по рис. 4 тепловыделением цемента можно пренебречь, т. к. после окончания изотермического прогрева конструкции с температурой t_{max} оно незна-

чительно); C – расход цемента в бетоне, $\text{кг}/\text{м}^3$; K – коэффициент теплопередачи опалубки или укрытия неопалубленных поверхностей, $\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; t_{max} – температура изотермического прогрева (температура начала остывания бетонной конструкции), $^\circ\text{C}$; t_o^{cp} – средняя температура за время остывания бетона, $^\circ\text{C}$. Определяется по формуле

$$t_o^{\text{cp}} = t_{\text{ок}} + \frac{t_{\text{max}} - t_{\text{ок}}}{1,03 + 0,181M_{\text{II}} + 0,006(t_{\text{max}} - t_{\text{ок}})}.$$

В зависимости от вида цемента по графику нарастания прочности находят прочность бетона, полученную за время его остывания. Пример определения прочности бетона за время остывания приведен на рис. 8.

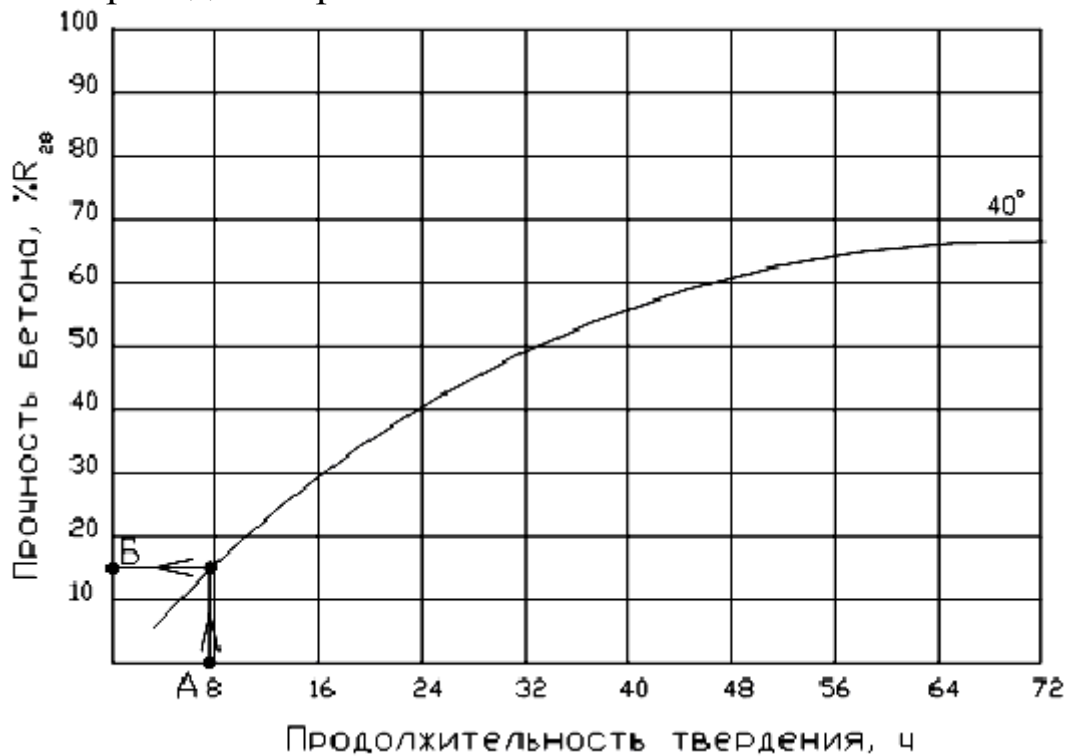


Рис. 8. График нарастания прочности бетона за время остывания:

- требуемая прочность бетона $70\% R_{28}$;
- средняя температура остывания бетона $t_o^{\text{cp}} = 37\text{ }^\circ\text{C}$;
- продолжительность остывания $\tau_o = 17\text{ ч}$;

– полученное значение прочности за время остывания бетона равно $13 (70 - 57)\% R_{28}$.

По сумме значений прочности, полученной при разогреве и остывании, учитывают:

– если прочность соответствует требуемой к концу термообработки (за время подъема температуры до t_{\max} и за время остывания бетона от t_{\max} до $t_{\text{бк}}$), то задается электротермосный режим;

– если же прочность ниже требуемой, то назначают тепловую обработку с использованием изотермического режима или изотермического режима с остыванием. При этом недостающее до заданного значение прочности (определяемое как разница между прочностью, требуемой к концу термообработки, и суммарным значением прочности, полученным за периоды τ_p и τ_o) намечается получить за время изотермического прогрева. В этом случае по графику нарастания прочности бетона определяют время, в течение которого следует назначить изотермический прогрев (для достижения прочности, равной $R_{\text{треб}} - (R_p + R_o)$). Пример определения продолжительности изотермического прогрева приведен на рис. 9.

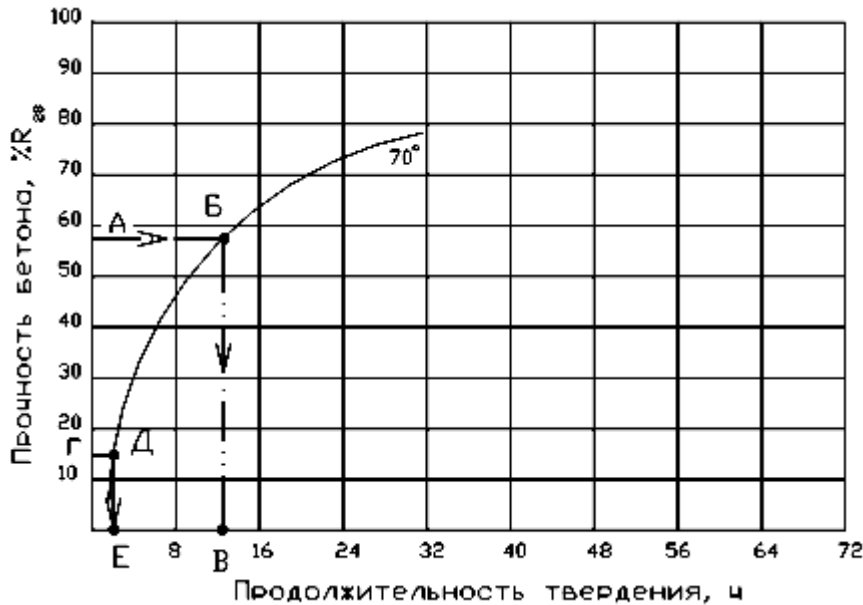


Рис. 9. График нарастания прочности бетона за время изотермического прогрева:

- максимальная температура прогрева бетона $t_{\max} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$;
- достигнутая прочность за время разогрева $R_p = 15 \%$;
- полученная прочность при остывании бетона $13 \% R_{28}$;
- требуемая прочность при изотермическом прогреве:

$$R_{\text{и}} = R_{\text{треб}} - (R_p + R_o) = 70 - (15 + 13) = 42 \% \cdot R_{28};$$

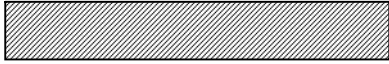
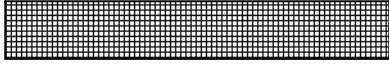

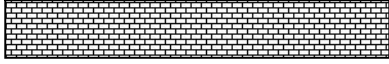
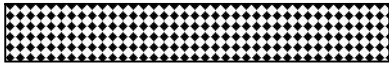
- продолжительность изотермического прогрева $\tau_{\text{и}} = 11 \text{ ч}$.

Таблица 2

Коэффициенты теплопередачи опалубок и укрытий неопалубленной поверхности бетона

Тип опалубки	Конструкция опалубки	Материал опалубки	Толщины слоев	Коэффициент K , Вт/м ² ·°C, при скорости ветра, м/с		
				0	5	15
		Доска	25	2,44	5,2	5,98

Продолжение табл. 2

Тип опалубки	Конструкция опалубки	Материал опалубки	Толщины слоев	Коэффициент K , Вт/м ² °С, при скорости ветра, м/с		
				0	5	15
II		Доска	40	2,03	3,6	3,94
III		Доска	25	1,8	3	3,25
		Толь Доска	– 25			
IV		Доска	25	0,67	0,8	0,82
		Пенопласт	30			
		Фанера	4			
V		Доска	25	0,87	1,07	1,1
		Толь	–			
		Вата мине- ральная Фанера	50 4			
VI		Металл	3	1,02	1,27	1,33
		Вата мине- ральная	50			
		Фанера	4			

Приложение

ЗАДАНИЕ

и исходные данные для расчета режима термообработки бетона

1. Определить продолжительность изотермического прогрева бетона при температуре t_{\max} в конструкции с массивностью M_{Π} , на цементе марки 400 до приобретения прочности $R_{\text{треб}}$ к концу остывания до $t_{\text{ок}}$. Начальная температура бетона $t_{\text{бн}}$, скорость ветра U . Исходные данные принять по таблице.

2. Начертить графики температурных режимов термообработки бетона и нарастания его прочности.

Исходные данные

№ вар.	t_{\max}	$M_{\text{п}}$	Вид цемента	$t_{\text{бн}}$	$t_{\text{бк}}$	Тип опалубки	$U, \text{м/с}$	$R_{\text{пр}}$
1	65	3	ПЦ	5	5	II	12	70
2	55	4	ШПЦ	7	3	V	7	80
3	70	5	ПЦ	12	5	I	9	60
4	60	5,2	ПЦ	5	5	II	12	70
5	50	7	ШПЦ	7	3	V	14	80
6	55	5	ПЦ	12	5	II	9	50
7	65	3	ПЦ	5	5	II	12	70
8	55	4	ШПЦ	7	3	V	7	100
9	60	7	ПЦ	12	5	I	9	60
10	70	5	ШПЦ	6	5	III	9	60
11	60	6,3	ПЦ	10	5	II	10	50
12	50	7	ШПЦ	7	3	V	14	100
13	55	6	ПЦ	17	5	I	9	90
14	65	3	ПЦ	5	5	IV	12	70
15	55	7	ПЦ	7	3	V	7	80
16	70	5	ПЦ	12	5	I	9	70
17	45	5,2	ПЦ	5	5	II	12	70
18	50	7	ПЦ	7	3	IV	13	100
19	45	4	ПЦ	5	5	II	10	70
20	55	4,5	ШПЦ	7	3	I	5	50
21	50	3	ПЦ	12	5	I	9	60
22	60	5	ПЦ	5	5	I	10	70
23	70	6	ШПЦ	6	3	V	4	80
24	55	5	ПЦ	12	5	II	7	50
25	65	7	ПЦ	5	5	III	9	100
26	50	4	ПЦ	8	3	V	11	80
27	50	8	ПЦ	10	5	I	6	60
28	40	5	ШПЦ	6	5	II	8	60
29	60	5,3	ПЦ	10	5	II	12	50

Продолжение табл.

№ вар.	t_{\max}	M_{Π}	Вид цемента	$t_{\text{бн}}$	$t_{\text{бк}}$	Тип опалубки	U , м/с	$R_{\text{пр}}$
30	50	7	ПЦ	4	5	IV	10	100
31	45	6	ПЦ	17	5	I	14	90
32	45	3	ПЦ	5	5	IV	14	70
33	55	6	ШПЦ	6	5	V	7	80
34	60	5	ПЦ	10	5	I	6	70
35	55	8	ПЦ	5	5	III	13	70
36	70	5	ШПЦ	9	5	I	6	100

Список рекомендуемой литературы

1. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции. – Стройиздат, 1988.
2. Теличенко, В. И. Технология возведения зданий и сооружений: учеб для вузов. / В. И. Теличенко, О. М. Терентьев, А. А. Лapidус. – М.: ФГУП, Высш. шк., 2002.
3. Евдокимов, Н. И. Технология монолитного бетона и железобетона: учеб. пособ. для строительных вузов / Н. И. Евдокимов, А. Ф. Мацкевич, В. С. Сытник. – М.: Высш. шк., 1980.
4. Бетонные и железобетонные работы: Справочник строителя. – М.: Стройиздат, 1987.
5. Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях, районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера. ЦНИИОМТП Госстроя СССР – М.: ЦНИИОМТП Госстроя СССР, Стройиздат, 1982.
6. Афанасьев, А. А. Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона. – М.: Стройиздат, 1990.
7. Балицкий, В. С. Бетонные работы. Технология и организация/ В. С. Балицкий, Л. С. Марченко. – Киев: Будивельник, 1977.
8. Методические указания по расчету режимов тепловой обработки бетона при бетонировании конструкций в зимних условиях для студентов специальности 290300 «Промышленное и гражданское строительство» / сост. Ю. П. Черкаев; КузГТУ. – Кемерово, 2000.
9. Методические указания по выполнению расчета параметров обогрева бетона греющим стальным проводом для студентов специальности 290300 «Промышленное и гражданское строительство» / сост. Ю. П. Черкаев; КузГТУ, – Кемерово, 2000.
10. Методические указания по выполнению расчета и подбору конструкции опалубки при бетонировании в условиях отрицательных температур для студентов специальности 290300 «Промышленное и гражданское строительство» / сост. Ю. П. Черкаев; КузГТУ. – Кемерово, 1999.

Составитель
Юрий Павлович Черкаев

**РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ БЕТОНА ПРИ
БЕТОНИРОВАНИИ
КОНСТРУКЦИЙ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ**

Методические указания к практическим
занятиям по курсу «Строительство в зимних условиях»
для студентов специальности 270102
«Промышленное и гражданское строительство»

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 26.05.2009. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Уч.-изд. л. 0,9. Тираж 36 экз. Заказ

ГУ КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Типография ГУ КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4 А