

## ЗАДАНИЕ № 1.

### Расчет модуля поверхности ( $M_n$ ) монолитных конструкций

#### Выполнить:

1. Рассчитать модуль поверхности ( $M_n$ ) монолитных конструкций:
  - 1) столбчатого фундамента (под монолитную колонну);
  - 2) фундамента стаканного типа (под сборную железобетонную колонну);
  - 3) монолитной колонны;
  - 4) балки монолитного перекрытия.
2. Выполнить схемы конструкций с указанием их габаритных (опалубочных) размеров, примеры схем фундамента приведены:
  - столбчатого фундамента под монолитную колонны (рис. 1),
  - стаканного типа под сборную железобетонную колонну (рис.2).
3. Результаты расчета по определению «Модуля поверхности» конструкций свести в табличную форму (табл. 1).

#### 1. Определение модуля охлаждаемой поверхности ( $M_n$ ) столбчатого монолитного фундамента предназначенного под металлическую колонну

##### 1. Комплектование данных для расчета

1. Размеры фундамента принять по соответствующему варианту (табл. 2); таблица принята из «Пособия по проектированию фундаментов на естественном основании под колонны зданий и сооружений».
2. Принять условие центрального нагружения фундамента (т.е. рассматривать вариант квадратного исполнения ступеней).
3. Для данной конструкции предусмотреть 2 варианта расчета:
  - с предварительным отогревом подбетонки до температуры  $+2^{\circ}\text{C}$ ,
  - без предварительного отогрева подбетонки под фундамент.

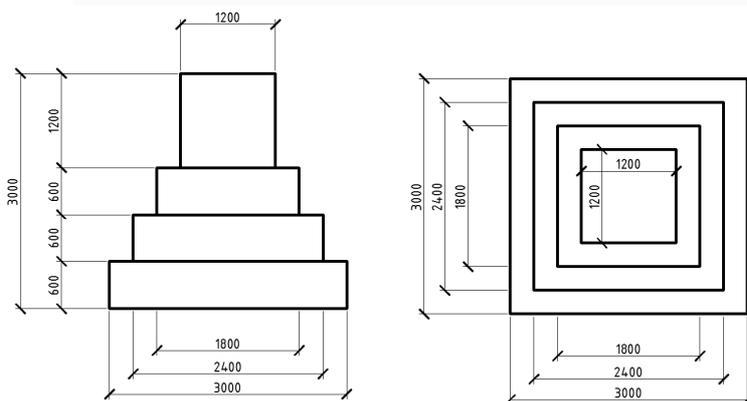


Рис. 1 Схемы столбчатого монолитного фундамента, предназначенного под металлическую колонну

##### 2. Основные положения

Основные положения приведены в «Пособии по проектированию фундаментов на естественном основании под колонны зданий и сооружений» (к СНиП 2.03.01-84 и СНиП 2.02.01-83), нумерация пособия сохранена.

4.3. Монолитные фундаменты рекомендуется проектировать ступенчатого типа, плитная часть которых имеет от одной до трех ступеней.

4.4. Все размеры фундамента следует принимать кратными 300 мм (3 М в соответствии с ГОСТ 23478-79) из условия их изготовления с применением инвентарной щитовой опалубки.

При соответствующем обосновании в случае массового применения или для отдельных индивидуальных фундаментов разрешается принимать размеры, кратные 100 мм в соответствии с ГОСТ 23477-79.

4.5. При центральной нагрузке подошву фундамента следует принимать квадратной. При внецентренной нагрузке, соответствующей основному варианту нагружения, подошву рекомендуется принимать прямоугольной с соотношением сторон не менее 0,6.

4.6. Высота фундамента (h) назначается с учетом глубины заложения подошвы и уровня обреза фундамента. Обрез фундамента следует принимать на 0,15 м выше поверхности обратной засыпки.

## 2. Определение модуля охлаждаемой поверхности ( $M_n$ ) фундамента стаканного типа предназначенного под сборную железобетонную колонну

### 1. Комплектование данных для расчета

1. Размеры фундамента принять по соответствующему варианту (табл. 3), таблица принята из «Пособия по проектированию фундаментов на естественном основании под колонны зданий и сооружений»

2. Принять условие центрального нагружения фундамента (т.е. рассматривать вариант квадратного исполнения ступеней фундамента).

3. Для данной конструкции предусмотреть 2 варианта расчета:

- с предварительным отоплением подбетонки до температуры  $+2^{\circ}\text{C}$ ;
- без предварительного отопления подбетонки под фундамент.

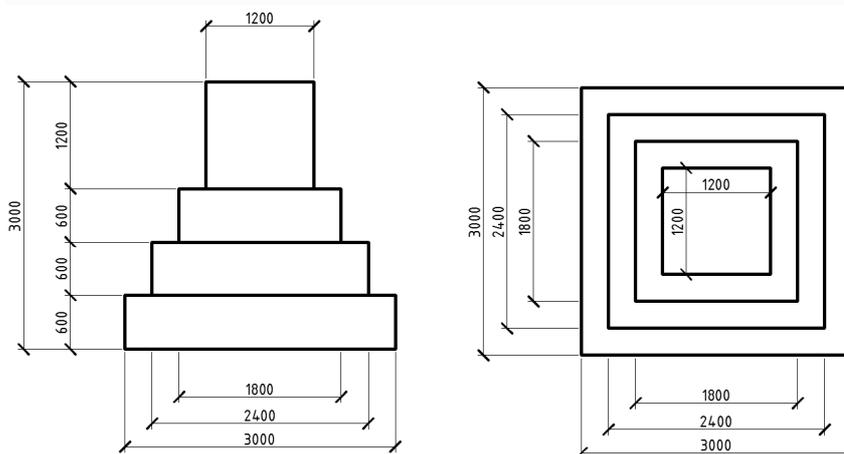


Рис. 2 Схемы монолитного фундамента стаканного типа, предназначенного под сборную железобетонную колонну.

## 3. Определение модуля охлаждаемой поверхности ( $M_n$ ) монолитной колонны и балки монолитного перекрытия.

### 1. Комплектование данных для расчета

к.т.н., доц. Бочкарева Т.М., каф. СПГ, ПНИПУ

Размеры монолитной колонны принять по табл. 4, размеры балки монолитного перекрытия принять по табл. 5 в соответствии с вариантом. Некоторые схемы поперечных сечений монолитных балок перекрытия приведены на рис. 3.

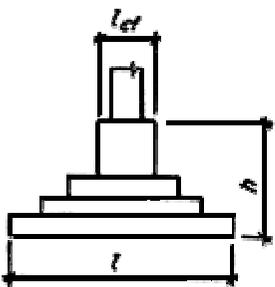
Расчет «Модуля поверхности» монолитных конструкций

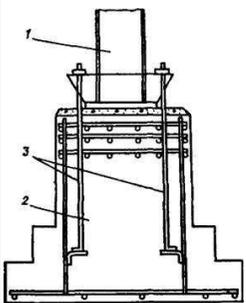
Таблица 1

Наименование и эскиз конструкции	Основные размеры Конструкции, м.		Дополнительные размеры конструкции (например, ступеней фундаментов), м.	Объем конструкции, м <sup>3</sup>	Площадь, учитываемая в расчете, м <sup>2</sup>	Формула расчета $M_{п}$	Модуль поверхности конструкции, м <sup>-1</sup>	Тип массивности конструкции	
	Размеры сечения								Высота (длина)
	a	b							

Варианты размеров столбчатого монолитного фундамента под металлические колонны

Таблица 2

Эскиз фундамента	Модульные размеры фундамента, м, при модуле, равном 0,3								Фамилии студентов	
	Высота фундамента, м $h$	Общая высота ступеней, м $h_{pl}$	Соответственно Высота ступеней, м $h_{pl}$			подошвы		подколонника		
			$h_1$	$h_2$	$h_3$	квадратной $b \times l$	прямоугольной $b \times l$	под рядовые колонны $b_{cf} \times l_{cf}$		под колонны в температурных швах $b_{cf} \times l_{cf}$
	1,5	0,3	0,3	-	-	1,5x1,5	1,5x1,8	0,6x0,6	0,6x1,8	Адамов Евгений
	1,8	0,6	0,3	0,3	-	1,8x1,8	1,8x2,1	0,6x0,9	0,9x2,1	Галева Жанна
	2,1	0,9	0,3	0,3	0,3	2,1x2,1	1,8x2,4	0,9x0,9	1,2x2,1	Гуменный Илья
	2,4	1,2	0,3	0,3	0,6	2,4x2,4	2,1x2,7	0,9x1,2	1,5x2,1	Мустакимов Анур
	2,7	1,5	0,3	0,6	0,6	2,7x2,7	2,4x3,0	0,9x1,5	1,8x2,1	Плюснин Кирилл

	3,0	1,8	0,6	0,6	0,6	3,0x3,0	2,7x3,3	1,2x1,2	2,1x2,1	Ременников Николай
	3,6	-	-	-	-	3,6x3,6	3,0x3,6	1,2x1,5	2,1x2,4	Решетов Игорь
	4,2	-	-	-	-	4,2x4,2	3,3x3,9	1,2x1,8	2,1x2,7	Шабаров Олег
	Далее с шагом 0,3 м или 0,6 м	-	-	-	-	4,8x4,8	3,6x4,2	1,2x2,1	-	Шардакова Юлия
						5,4x5,4	3,9x4,5	1,2x2,4	-	
		-	-	-	-	-	4,2x4,8	1,2x2,7	-	
		-	-	-	-	-	4,5x5,1	-	-	
		-	-	-	-	-	4,8x5,4	-	-	

Варианты размеров монолитного фундамента стаканного типа под сборные железобетонные колонны

Таблица 3

Эскиз монолитного фундамента стаканного типа	N вариант а	Размеры подошвы, м		Размеры подколонника, м		Высота плитной части, м $h_{pl}$	Число ступеней		Класс бетона	Расход бетона, м <sup>3</sup>	Расход арматуры по классам		Вариант или Ф.И.О. студента
		a	b	$l_{cf}$	$b_{cf}$		по l	по b			A-I	A-III	
	2		4,2	0,9	0,9	0,9	3	3	B12,5	10,0	78	691	
	3		4,2	0,9	0,9	0,9	3	3	B15	10,0	78	602	
	4		4,2	1,2	0,9	0,9	3	3	B12,5	10,57	82	477	
	5		4,2	1,2	1,2	0,9	3	3	B12,5	11,49	76	374	
	6		4,2	1,2	1,2	0,75	2	2	B15	12,08	63	374	

	7	4,2	4,2	1,5	1,2	0,75	2	2	B12,5	12,89	72	343	
	8	4,2	4,2	1,5	1,2	0,75	2	2	B15	12,89	58	343	
	9	4,8	3,6	0,9	0,9	1,05	3	2	B15	9,83	78	634	
	10	4,8	3,6	1,2	0,9	1,05	3	2	B15	10,35	79	425	
	11	4,8	3,6	1,5	0,9	0,9	3	3	B12,5	11,19	73	344	
	12	4,8	3,6	1,5	0,9	0,9	3	2	B15	10,76	68	438	
	13	4,8	3,6	1,2	1,2	1,05	3	2	B12,5	11,38	75	368	
	14	4,8	3,6	1,2	1,2	0,9	3	2	B15	11,16	63	408	
	15	4,8	3,6	1,5	1,2	0,9	3	2	B12,5	11,92	78	413	

Варианты размеров монолитных колонн

Таблица 4

Число этажей	Монолитная Ж.Б. колонна Квадратного сечения	Расход материала, кг		Вариант или Ф.И.О. студента
		Арматурная сталь	Бетон	
Данные приняты в соответствии с «Пособие по проектированию фундаментов на естественном основании под колонны зданий и сооружений»				
3	300 x 300	8,5	690	
9	400 x 400	112	1312	
17	500 x 500	248	2052	
25	600 x 600	442	2946	
35	700 x 700	761	4006	
Произвольно назначенные размеры сечения колонны				
	500 x 600			
	600 x 800			
	350 x 350			
	450 x 450			
Диаметр круглых колонн				
	152			
	350			
	400			
	500			
	600			

**ПРИМЕЧАНИЕ:** Высоту колонн принять равной 3,2 м.

Варианты размеров монолитных балок покрытия

Рекомендуемые размеры прямоугольных поперечных сечений балок

Таблица 5

Ширина сечения. мм	Высота сечения, мм									Вариант или Ф.И.О. студента
	300	400	500	600	700	800	1000	1200	Далее кратно 300	
150	+	+								
200		+	+	+						
300				+	+	+				
400						+	+	+		
500							+	+		
Далее кратно 100								+	+	
Следующие варианты размеров монолитной балки принять из соотношения: ширина поперечного сечения балки равна $1/3$ высоты сечения										
100										
120										
150										
200										
220										
250										

**ПРИМЕЧАНИЕ:**

1. Длину монолитной балки принять в соответствии с соотношением высоты балки к ее длине, равным  $1/20$
2. Ширину поперечного сечения балок принимают равной  $1/3 - 1/2$  высоты сечения, а именно 100, 120, 150, 200, 220, 250 мм и далее кратной 50 мм.
3. Некоторые схемы сечений монолитных балок приведены на рис. 3.

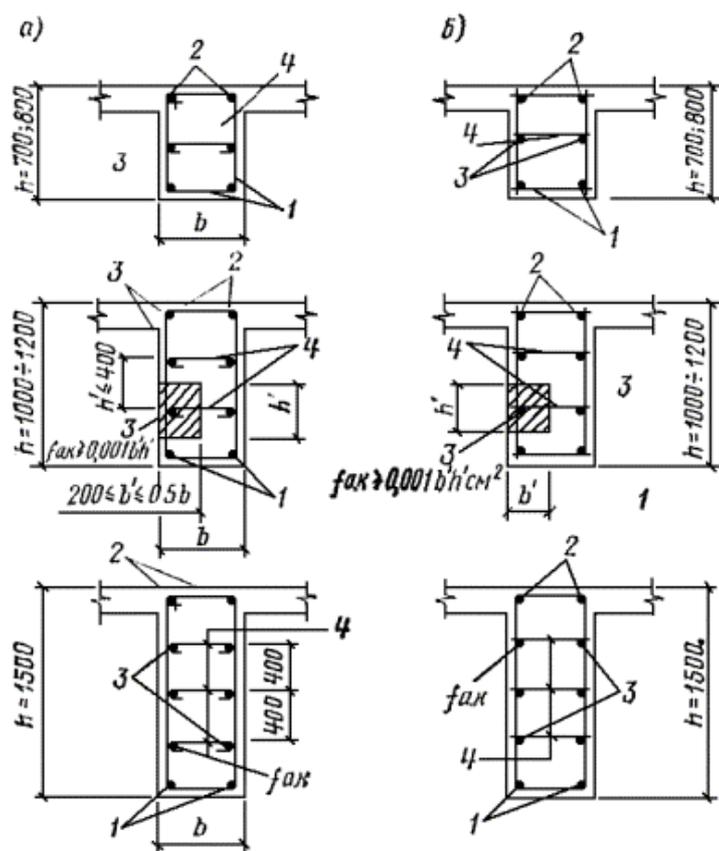


Рис.3. Схемы поперечных сечений монолитных балок перекрытия

## ЗАДАНИЕ № 2

### 2. Расчет параметров выдерживания бетона методом «Термоса»

#### 2.1 Комплектование исходных данных

**Выполнить:**

1. Исходные данные принять по вариантам (табл. 6).
2. На основании расчетов модуля поверхности монолитных конструкций (задание №1) и рекомендаций (табл.7) принять «массивные» конструкции, выдерживаемые методом обычного «Термоса».
3. Марка и вид цемента принимают в зависимости от модуля поверхности охлаждения конструкции, метода ее выдерживания и температуры наружного воздуха (табл.8); в расчетной работе (для всех вариантов) рекомендуется принять портландцемент М400, не исключается применение в РР (в расчетной работе) данных для цементов М300 и М 500.
4. Принять класс бетона (табл. 9, табл. 10).
5. Определить критическую прочность бетона ( $R_{кр}$ ) к моменту распалубливания монолитной конструкции (п. 2.1).
6. Указать методы выдерживания монолитных конструкций в холодное время года, данные свести в табличную форму (табл. 11).

Варианты заданных температур,

Таблица 6

	Вид и марка цемента	Температура наружного воздуха $t_{н.в.},$ °C	Температура инертных заполнителей (песка и крупного заполнителя) и воды °C	Температура бетонной смеси на выходе смесителей (РБУ), °C	Температура бетона начальная (после укладки и уплотнения), °C
	Портланд-цемент М400 (рекомендуется)	- 15	<b>Температуру инертных заполнителей и воды определить методом расчетного подбора</b>	25	20
		-17		28	22
		- 18		30	26
		- 19		32	28
		- 20		25	20
		- 19		28	22
		- 18		30	26
		- 17		32	28
		- 16		27	25

**ПРИМЕЧАНИЕ:**

1. Температуру инертных заполнителей и воды определить методом расчетного подбора, ориентируясь на максимально допустимую температуру бетонной смеси на выходе технологической линии РБУ, равной 35°C.
2. При назначении температуры инертных заполнителей и воды учитывать минимальность трудозатрат при разогреве воды по сравнению с разогревом инертных заполнителей, т.е. температуру воды назначать выше.
3. Температура инертных заполнителей и воды не должны превышать предельно допустимых значений (табл. 12)

## 2.1. Выбор метода выдерживания монолитных конструкций, назначение планируемой «Критической» прочности бетона

### 1. Основные положения термосного выдерживания монолитных конструкций

1. Метод “термоса” применяют:

- 1) для конструкций с  $M_{п} < 6$ ,
- 2) при предварительном разогреве бетона до 60 - 80 °С (для конструкций с  $M_{п} = 8 - 10$ ) применяется «Горячий термос».

2. Допустимое время нахождения бетонной смеси в пути от момента выгрузки из бетоносмесителя РБУ до начала укладки в конструкцию, устанавливается строительной лабораторией в зависимости от вида цемента, состояния погоды и начальной температуры бетонной смеси. Допустимое время, исходя из условий удобоукладываемости, не должно превышать:

- 30 мин при температуре бетонной смеси  $t_{б.с.} = 40$  °С
- 45 мин при температуре бетонной смеси  $t_{б.с.} = 20 - 30$  °С
- 120 мин при температуре бетонной смеси  $t_{б.с.} = 5 - 10$  °С.

3. Перепад температуры между открытой поверхностью бетонируемой конструкции и наружным воздухом в момент распалубливания, с целью предотвращения появления трещин в конструкциях, не должен превышать:

- $\Delta t = 20$  °С для конструкций с  $2 < M_{п} < 5$ ,
- $\Delta t = 30$  °С для конструкций с  $M_{п} \geq 5$

При снятии с бетонируемых конструкций опалубки и теплоизоляции соблюдаются следующие требования:

- не допускается распалубливание или снятие теплоизоляции с конструкции, если температура бетона в ее центре продолжает повышаться;

- снятие с конструкции опалубки и теплоизоляции разрешается не ранее достижения в контрольной точке требуемой прочности.

- опалубка или тепловая изоляция конструкции снимается, когда температура бетона в наружных слоях конструкции достигает + 5 °С, но не позже, чем слои остынут до 0 °С (не допускается примерзание опалубки, гидро- и теплоизоляции к бетону);

- распалубка и снятие теплозащиты с монолитных массивных конструкций с  $M_{п} < 2$  допускается при перепаде температур между центром конструкции и средней температурой наружного воздуха (в ближайшие 10 дней после распалубки):

- 1) не более 30 °С при оптимальной теплоизоляции,
- 2) 27° С при теплоизоляции выше оптимальной;

4. Не допускается замерзание бетона в конструкциях до достижения им критической прочности, которая должна составлять от проектной:

1) для бетонных и железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой:

- |                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| B15 (M200) и ниже         | - 50 % $R_{28}$   |
| B22,5 - B25 (M300 - M350) | - 40 % $R_{28}$ ; |
| B30 (M400) и выше         | - 30 % $R_{28}$ ; |

2) для конструкций с предварительно напрягаемой арматурой - 80 %  $R_{28}$ .

3) критическая прочность назначается  $R_{кр.} = 70\% R_{28}$  в случаях бетонирования:

- конструкций, работающих сезонно,
- несущих монолитных конструкций,
- монолитных перекрытий;

4) критическая прочность назначается  $R_{кр.} = 100\% R_{28}$  – в случаях бетонирования конструкций:

- под динамическую нагрузку,
- водонепроницаемых конструкций и сооружений,
- газонепроницаемых конструкций и сооружений,
- морозостойких конструкций и сооружений.

Ориентировочно применимость метода «Термоса» можно определить по табл. 7 и по табл.8.

Выбор наиболее экономичного метода выдерживания бетона при зимнем бетонировании монолитных конструкций

Таблица 7

Вид конструкции	Минимальная температура воздуха, °С, до	Способ бетонирования
Массивные бетонные и железобетонные фундаменты, блоки и плиты с $M_n \leq 3$	-15 -20	<b>термос</b> ускоренный термос
Фундаменты под конструкции зданий и оборудование, массивные стены и т.п с $M_n = 3 - 6$	-15	<b>термос,</b> ускоренный термос
Колонны, балки, прогоны, элементы рамных конструкций, свайные ростверки, стены, перекрытия с $M_n = 6 - 10$	-15	ускоренный термос, ускоренный термос с электропрогревом или электрообогревом

Рекомендуемая номенклатура монолитных конструкций, выдерживаемых с применением метода «Термоса»

Таблица 8

Mп	Температура наружного воздуха $t_{нв}$ , °С	Конструкции	Температурные условия укладки бетонной смеси					
			с температурой укладываемой бетонной смеси до т.н. = 25°C ( <b>max 30°C</b> ) «Обычный термос»			с температурой укладываемой бетонной смеси т.н. = 50 °С («Горячий термос»)		
			способ выдерживания бетона	цемент	марка цемента	способ выдерживания бетона	цемент	марка цемента
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До 3	До -20	Массивные фундаменты	Без добавок	шлакопортландцемент	300 - 400 300	Без добавок	Пуццолановый портландцемент Портландцемент	300 - 400 300
	От -21 до -30	То же	С добавками - ускорителями твердения	Портландцемент	400 500	То же	Портландцемент	400 - 500 400
4 - 5	До -20	Фундаменты, массивные плиты и стены толщиной 40 - 50 см, балки	То же	То же	400 500	То же	То же	400 300

Мп	Температура наружного воздуха $t_{нв}$ , °С	Конструкции	Температурные условия укладки бетонной смеси						
			с температурой укладываемой бетонной смеси до $t_{б.н.} = 25^{\circ}\text{C}$ ( <b>max 30°C</b> ) «Обычный термос»			с температурой укладываемой бетонной смеси $t_{б.н.} = 50^{\circ}\text{C}$ («Горячий термос»)			
			способ выдерживания бетона	цемент	марка цемента	способ выдерживания бетона	цемент	марка цемента	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
		высотой 70 см							
6 - 8	До -20	Фундаменты, колонны сечением 50 - 70 см и балки высотой 50 - 70 см, стены и плиты толщиной 25 - 30 см	То же	То же	500 - 600	С добавками - ускорителями твердения	То же	400 - 500	
6 - 8	От -21 до -30	То же	То же	То же	600	С добавками - ускорителями твердения	То же	500 - 600	
8 - 12	До -20	Рамные конструкции, колонны сечением 30 - 40 см, плиты и стены толщиной 20 - 25 см, балки высотой 30 - 40 см, покрытие дорог	В сочетании с греющей опалубкой	То же	500 - 600	С добавками - ускорителями твердения и нитритом натрия	То же	500 - 600	
	От -21 до -30		Не рекомендуется	-	-	В сочетании с греющей опалубкой	То же	500 - 600	

### **2.3. Определение температуры воды и инертных заполнителей, необходимых для приготовления бетонной смеси в холодное время года**

#### **1. Назначение класса бетона монолитной конструкции**

Класс бетона для конструкций, выдерживаемых методом термоса, можно принять конструктивно по данным табл. 9 и табл. 10 (НПРМ Раздел 01. Фундаменты под здания и сооружения).

Рекомендуемые классы (марки) бетона для монолитных конструкций  
(представлена часть нормативной таблицы)

Таблица 9

Класс бетона	Ближайшая марка бетона	Область применения
B25 B30	M350 M400	Применяется для изготовления монолитных фундаментов, свайно-ростверковых ЖБК, плит перекрытий, колонн, ригелей, балок, монолитных стен, чаш бассейнов и иных ответственных конструкций. Используется при высотном монолитном строительстве (30 этажей). Наиболее используемый бетон при производстве ЖБИ. В частности, из конструкционного бетона м-350 делают аэродромные дорожные плиты ПАГ, предназначенные для эксплуатации в условиях экстремальных нагрузок. Многopустотные плиты перекрытий тоже производятся из этой марки бетона. Производство возможно на гравийном и гранитном щебне.

НПРМ Раздел 01. «Фундаменты под здания и сооружения»

Таблица 10

Конструктивные решения	Рекомендуемый класс (В) бетонной смеси и марку (М) растворной смеси
Ригели, плиты перекрытий, стеновые панели	B15
Колонны	B25
Балки, ригели, перемычки	B15
	M50
Плиты перекрытий и покрытий	B10
Плиты покрытий	M100
Плиты покрытий и перекрытий	B15
Стены, перегородки	M50
Лестничные марши и площадки	B15, M100
Ячейки закровов	B15, M50
Балки кольцевые, стены, плиты покрытия силосов	B15, M200
Балки криволинейные силосов	B25
Столбы железобетонные	B15
Столбы металлические	B7.5
Панели стен, перегородки емкостных сооружений	M300
Опоры из плит и колец, лотки	B22.5, M100
Конструкции вентиляционных градирен	B25
Стены силосов зернохранилищ и предприятий по переработке зерна	B15, M200, M300
Конструкции конденсаторных и зольных полов ТЭС	B15, M50, M100
Колонны ТЭС	B40
Ригели, распорки ТЭС	B30
Балки ТЭС	B12.5
Плиты перекрытий и покрытий ТЭС	B22.5, B15
	M100, M200
Стеновые панели ТЭС	M50, M100
Лестницы, бункера, распределительные устройства ТЭС	B25
Балки, колонны и щиты перекрытий распределительных устройств ТЭС	B12.5, M100
Блоки стен подвалов	M100
Колонны	B15, B22.5, M300
Балки, ригели, перемычки	M100

Конструктивные решения	Рекомендуемый класс (В) бетонной смеси и марку (М) растворной смеси
Панели покрытий и перекрытий	M100
Панели покрытий и перекрытий	B15, B22.5, M100
Лестничные площадки и марши	M100
Блоки стен	M100
Стеновые панели	B15, M100
Внутренние стеновые панели, диафрагмы жесткости	B25, M100, M200
Стеновые панели	M25, M100
Крупнопанельные перегородки	M75, M100
Плиты лоджий, козырьков	M100
Объемные блоки	M100
Шахты лифтов и вентблоки	M100
Ступени лестничные	M50

**ПРИМЕЧАНИЕ:**

Марка бетона, в зависимости от его класса, определяется по формуле:  $R = B/0,778$

Комплектование данных для расчета параметров выдерживания бетона методом «Термоса»

Таблица 11

Наименование и эскиз конструкции	Модуль поверхности конструкции	Тип массивности конструкции	Температура наружного воздуха, °С $t_{н.в.}$	Температура бетонной смеси на выходе смесителей РБУ, °С	Температура бетона начальная, в момент укладки в опалубку, °С	Цемент, марка цемента	Класс бетона	Способ выдерживания бетона	Планируемая критическая прочность
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

2. Определение температуры воды и инертных заполнителей, необходимых для приготовления бетонной смеси в холодное время года (в условиях РБУ)

**Выполнить:**

1. Принять температуру воды и инертных заполнителей на основании ниже изложенных положений или по данным табл. 12, при условии обеспечения требуемой температуры бетонной смеси на выходе их бетоносмесителей РБУ не более + 35°С, (при использовании сухих инертных заполнителей):

1) для бетонов на портландцементе и шлакопортландцементе М400 и выше температура воды и инертных заполнителей не должна превышать практических рекомендаций (табл. 12);

2) температура воды не должна превышать 60 °С; температуру воды можно рассчитать (а не принимать методом подбора), используя формулу определения температуры бетонной смеси ( $t_{см.}$ ), изложенной ниже по тексту, ориентируясь на максимально допустимую температуру готовой бетонной смеси на выходе технологической линии РБУ, равной от + 25° до + 35°С в зависимости от вида цемента. (СНиП 3.03.01-87).

к.т.н., доц. Бочкарева Т.М., каф. СПГ, ПНИПУ

- Учитывать температуру крупного заполнителя и песка не более 40° С.
- Цемент вводится в бетоносмеситель без подогрева, температуру цемента принять самостоятельно из условия его складского хранения.

Допустимая температура воды, инертных заполнителей при загрузке бетоносмесителя и температуры бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя РБУ

Таблица 12

Вид цемента	Наибольшая допустимая температура, °С		
	воды	инертных заполнителей	бетонной смеси
Портландцемент и шлакопортландцемент марки 400 и выше	60	40	35

#### 2.4. Определение температуры бетонной смеси на выходе из бетоносмесителя

Температура бетонной смеси на выходе из бетоносмесителя устанавливается теплотехническим расчетом, в основу которого положено уравнение теплового баланса

$$Q_c = Q_{см}$$

Где:

$Q_c$  - количество тепла, содержащегося в составляющих бетонной смеси перед загрузкой их в смеситель, кДж/м<sup>3</sup>;

$Q_{см}$  - то же в готовой бетонной смеси, кДж/м<sup>3</sup>.

##### 2.4.1. Количество тепла инертных заполнителей (компонентов) бетонной смеси:

$$Q_c = Q_c + Q_p + Q_{кз.} + Q_v = q_c t_c c_c + q_p t_p c_p + q_{кз.} t_{кз.} c_{кз.} + q_v t_v + c_v = 0,84(q_c t_c + q_p t_p + q_{кз.} t_{кз.}) + 4,2 q_v t_v$$

где  $Q_c$ ;  $Q_p$ ;  $Q_{кз.}$ ;  $Q_v$  - количество тепла, содержащегося соответственно в цементе, песке, крупном заполнителе и воде, кДж/м<sup>3</sup>;

$q_c$ ;  $q_p$ ;  $q_{кз.}$ ;  $q_v$  - соответственно массы цемента (табл.13, табл. 14), песка, крупного заполнителя (подобрать на основании данных, представленных в весовых частях от массы цемента табл. 15, табл. 16, табл. 17) и воды в 1 м<sup>3</sup> (табл. 17).

$t_c$ ;  $t_p$ ;  $t_{кз.}$ ;  $t_v$  - соответственно температура цемента, песка, крупного заполнителя и воды перед загрузкой их в бетоносмеситель, указанные температуры принять в соответствии с вариантом задания. Цемент перед использованием не нагревается, температуру условий складирования цемента принять самостоятельно.

$c_c$ ;  $c_p$ ;  $c_{кз.}$ ;  $c_v$  - соответственно удельная теплоемкость цемента, песка, крупного заполнителя и воды, кДж/(кг-град).

Удельная теплоемкость составит:

1) для цемента, песка и крупного заполнителя

$$c_c + c_p + c_{кз.} = 0,84 \text{ кДж/(кг-град);}$$

2) для воды  $c_v = 4,2 \text{ кДж/(кг-град)}$ .

##### 2.4.2. Количество тепла, содержащегося в готовой бетонной смеси, кДж/м<sup>3</sup>

к.т.н., доц. Бочкарева Т.М., каф. СПГ, ПНИПУ

Количество тепла, содержащегося в готовой бетонной смеси,  $\text{кДж/м}^3$ , определяется по формуле:

$$Q_{\text{см}} = 0,84(q_{\text{ц}} + q_{\text{п}} + q_{\text{к.з.}})t_{\text{см}} + 4,2q_{\text{в}}t_{\text{см}},$$

где  $t_{\text{см}}$  - температура бетонной смеси на выходе из бетоносмесителя, град.

Начальное теплосодержание  $1\text{м}^3$  нагретой на  $1^\circ\text{C}$  бетонной смеси составляет

$$Q_{\text{б}} = c_{\text{б}} \cdot \rho \cdot t = 1,05 \cdot 2400 \cdot 1 = 2520 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \text{ } ^\circ\text{C}),$$

#### 2.4.3. Определение температуры бетонной смеси на выходе из бетоносмесителя (на объекте)

Приравнивая правые части уравнения теплового баланса, значение температуры бетонной смеси ( $t_{\text{см}}$ ) может быть определено по формуле:

$$t_{\text{см}} = \frac{0,84(q_{\text{ц}}t_{\text{ц}} + q_{\text{п}}t_{\text{п}} + q_{\text{к.з.}}t_{\text{к.з.}}) + 4,2q_{\text{в}}t_{\text{в}}}{0,84(q_{\text{ц}} + q_{\text{п}} + q_{\text{к.з.}}) + 4,2q_{\text{в}}}$$

Расчеты представить в виде формул отображающими все индексы и все расчетные значения, результаты расчета свести в табличную форму (табл. 18), пример расчета приведен ниже.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ**

1. Данную формулу можно трансформировать для определения температуры нагрева воды с целью получения заданной температуры бетонной смеси, либо температуру воды определяют методом подбора без трансформации формулы.

**ПРИМЕР** определения температуры готовой бетонной смеси на выходе из бетоносмесителей РБУ методом подбора температуры воды и инертных заполнителей в случае бетонирования столбчатого фундамента под монолитную колонну:

$$t_{\text{см}} = \frac{0,84(350 \cdot 5 + 560 \cdot 40 + 945 \cdot 40) + 4,2 \cdot 175 \cdot 60}{0,84(350 + 560 + 945) + 4,2 \cdot 175} = 41,92^\circ\text{C}$$

Так как температура бетонной смеси не должна превышать  $35^\circ\text{C}$ , то уменьшаются исходные данные:

- температура воды  $30^\circ\text{C}$ .
- температура инертных заполнителей (песка и крупного заполнителя) не меняется от ранее принятой и составляет  $40^\circ\text{C}$ .

Расход цемента (марки 400) для бетонов монолитных бетонных и железобетонных конструкций

Таблица 13

Класс бетона по прочности на сжатие	Базовые нормы расхода цемента марки 400 для монолитных конструкций, $\text{кг/м}^3$
B7,5	180
B10	200
B12,5	225
B15	260
B20	320

В22,5	350
В25	380
В30	440

**ПРИМЕЧАНИЕ:**

1. Нормы расхода цемента приведены на 1 м<sup>3</sup> бетона
2. При применении цемента марки 500 базовые нормы расхода цемента следует умножать на коэффициент 0,88;
3. При применении цемента марки 300 базовые нормы расхода цемента следует умножать на коэффициент 1,13.
4. При использовании шлакопортландцемента и сульфатостойкого шлакопортландцемента базовые значения умножают на коэффициент 1,1.
5. При применении пуццоланового портландцемента базовые нормы расхода цемента умножают на коэффициенты:
  - 1) для бетонов проектного класса до В22,5 включительно — 1,08 ;
  - 2) для бетонов проектных классов В25–В30 — 1,15

Ориентировочный расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонов

Таблица 14

Марка бетона	Марка цемента			
	М300	М400	М500	М600
В10	210 – 265 кг/м <sup>3</sup>			
В12,5	230 – 290 кг/м <sup>3</sup>	210 – 265 кг/м <sup>3</sup>		
В15	255 – 320 кг/м <sup>3</sup>	220 – 275 кг/м <sup>3</sup>	200 – 240 кг/м <sup>3</sup>	
В20	300 – 385 кг/м <sup>3</sup>	265 – 330 кг/м <sup>3</sup>	235 – 293 кг/м <sup>3</sup>	
В25		310 – 395 кг/м <sup>3</sup>	265 – 335 кг/м <sup>3</sup>	
В30		355 – 455 кг/м <sup>3</sup>	310 – 355 кг/м <sup>3</sup>	
В35			355 – 455 кг/м <sup>3</sup>	320 – 405 кг/м <sup>3</sup>
В40			415 – 520 кг/м <sup>3</sup> к	370 – 465 кг/м <sup>3</sup>
В45				400 – 530 кг/м <sup>3</sup>

Таблица пропорций компонентов бетона (цемент, песок, щебень) при использовании портландцемента марки М400

Таблица 15

Класс (марка) бетона	Массовый состав, Цемент:Песок:Щебень (кг)		Объемный состав на 10 л цемента, Песок:Щебень (л)	
	В7,5 (М100)	1 : 4,6 : 7,0		41 : 61
В12,5 (М150)	1 : 3,5 : 5,7		32 : 50	
В15 (М200)	1 : 2,8 : 4,8		25 : 42	
В20 (М250)	1 : 2,1 : 3,9		19 : 34	

B22,5 (M300)	1 : 1,9 : 3,7	17 : 32
B25 (M350)	1 : 1,6 : 2,7	
B30 (M400)	1 : 1,2 : 2,7	11 : 24
B35 (M450)	1 : 1,1 : 2,5	10 : 22

Марка щебня из природного камня должна быть не ниже:

- для бетона класса М-200 (В15) и ниже применяется марка щебня- 300;
- для бетона класса М-250 (В20) применяется марка щебня - 400;
- для бетона класса М-350 - М400 (В25 - В30) применяется марка щебня - 800;
- для бетона класса М-550 (В40) применяется марка щебня - 1000;
- для бетона класса М-600 (В45) и выше применяется марка щебня - 1200.

В нормах (сб. НПРМ) предусмотрено применение щебня с наибольшей крупностью 40 мм., отвечающего требованиям ГОСТ 8267, 10260.

Расход цемента и инертных заполнителей бетона

Таблица 16

Марка бетона	Цемент, кг	Песок, м <sup>3</sup>	Щебень, м <sup>3</sup>
M100	220	0,6	0,8
M200	280	0,5	0,8
M250	330	0,5	0,8
M300	380	0,5	0,8

Расход воды, цемента и инертных заполнителей бетона

Таблица 17

Марка бетона	Подвижность смеси	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup>				Примечание
		Цемент М500, кг	Песок, кг	Щебень, фр. 5-20 мм, кг	Вода, л	
B15	П1	212	414	1637	180	требуется вибрирование
B20		240	390	1637	180	требуется вибрирование
B15	П3	235	434	1487	200	вибрирование не требуется
B20		303	530	1324	200	вибрирование не требуется

Результаты определение температуры бетонной смеси

Таблица 18

Наименование массивных конструкций с $M_{п} \leq 8$	Объем конструкции, м <sup>3</sup>	Класс бетона	Состав: Цемент:Песок: Щебень (кг)	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Расход песка, кг/м <sup>3</sup>	Расх. крупного заполнителя, кг/м <sup>3</sup>	Расход воды, кг/м <sup>3</sup>	Масса цемента, кг	Масса песка, кг	Масса крупного заполнителя, кг	Масса воды, кг	Температура цемента, °С	Температура песка, °С	Температура крупного заполнителя, °С	Температура воды, °С	Темп. бетонной смеси, °С
1. Столбчатый фундамент, предназначенный для монолитной колонны																
2. Фундамент стаканного типа, предназначенных под сборные железобетонные колонны																
3. Монолитная колонна																
4. Балка монолитного перекрытия																

## 2.5 Расчет продолжительности охлаждения бетона под теплоизоляцией (метод «Термоса»)

### Выполнить:

1. Определить среднюю температуру бетона за период охлаждения монолитной конструкции.
2. Рассчитать продолжительность охлаждения бетона под теплоизоляцией, выдерживаемого методом «Термоса», расчетное значение, полученное в часах, перевести в сутки.

### 2.5.1 Температура бетона начальная

Расчет средней температуры бетона произвести конструктивно, т.е. по заданным значениям начальной температуры ( $t_{б.н.}$ ), бетона после ее укладки в опалубку, а именно принять по вариантам задания (табл. 6). В реальных условиях данные температуры бетона определяются на основании периодических замеров термометрами или термодатчиками в условиях строительной площадки.

Требуемая температура бетона начальная  $t_{б.н.}$  (после укладки и уплотнения в опалубочном блоке) предварительно может быть рассчитана с учетом теплотерь бетонной смесью при ее отгрузке в транспорт, при транспортировании, возможной перекладки в технологическую оснастку, при укладке и уплотнении в опалубке. В случае отсутствия предварительного отогрева опалубки и арматуры, расчетом учитываются также и данные теплотери бетонной смесью.

В составе РР температура бетона начальная  $t_{б.н.}$  назначена по вариантам с целью сокращения объема работ в сжатые сроки ее выполнения.

### 2.5.2. Средняя температура бетона за время охлаждения монолитной конструкции

Средняя температура бетона за время охлаждения ( $t_{б.ср.}$ ) может быть определена приближенно по практическим рекомендациям или рассчитывается по эмпирической формуле:

1) практические рекомендации назначения средней температуры бетона за время охлаждения (в РР принимать не рекомендуется):

$(t_{б.н.} + 5)/2$  для конструкций с  $M_{п}$  до 4;

$t_{б.н.} \cdot \sqrt{2}$  для конструкций с  $M_{п}$  от 5 до 8,

$t_{б.н.} \cdot \sqrt{3}$  для конструкций с  $M_{п}$  от 9 до 12.

2) расчет средней температуры бетона за время охлаждения может быть выполнен по эмпирической формуле (рекомендуется рассчитать):

$$t_{б.ср.} = t_{б.н.} / (1.03 + 0.181 M_{п.} + 0.006 t_{б.н.})$$

$t_{б.н.}$  – температура бетона начальная (после ее укладки и уплотнения в опалубку) °С

$M_{п.}$  – модуль поверхности бетона

### 2.5.3. Продолжительность охлаждения бетона под теплоизоляцией, выдерживаемого методом «Термоса»

Продолжительность охлаждения бетона, выдерживаемого методом термоса, определяется по формуле Скрамтаева Б.Г.:

$$T_{охл.} = [C * Y (t_{б.н.} - t_{б.к.}) + Э * Ц] / [3,6 * K * M_{п} (t_{б.ср.} - t_{н.в.})]$$

$C$  – удельная теплоемкость бетона, кДж/кг. °С

к.т.н., доц. Бочкарева Т.М., каф. СПГ, ПНИПУ

$Y$  – объемная масса бетонной смеси (2400 кг/м<sup>3</sup>),

$t_{б.к.}$  – температура бетона конечная, °С, равная + 5 °С; (опалубка или тепловая изоляция конструкции снимается, когда температура бетона в наружных слоях конструкции достигает +5 °С (ТТК);

$t_{б.н.}$  – температура бетона начальная, °С, (в РР принятая по варианту);

$\mathcal{E}$  – экзотермия цемента (тепловыделение 1 кг цемента за период набора бетоном распалубочной прочности твердения) при температуре 20 °С, кДж;

$\mathcal{C}$  – расход цемента на 1 м.<sup>3</sup>, кг;

$K$  – коэффициент теплопередачи опалубки и утепления определяется расчетом (п.3) или принимается по табл. 19, табл. 20, табл. 21, по ПРИЛОЖЕНИЮ 1 (табл.1, табл.2, табл.3).

$M_{п.}$  – модуль поверхности бетона;

$t_{б.ср.}$  – средняя температура бетона, °С;

$t_{н.в.}$  ( $t_{в.}$ ) – температура наружного воздуха.

### НАПРИМЕР,

При  $t_{б.ср.} = +30^{\circ}\text{C}$ , и при  $t_{н.в.} = -10^{\circ}\text{C}$  разность указанных температур составит

$(t_{б.ср.} - t_{н.в.}) = 30 - |-10| = 40^{\circ}\text{C}$

## 3. Подбор типа опалубки, вида утеплителя и определение его толщины

### Выполнить:

1. Выбрать вид и основные параметры системы утепления бетона: определить толщину теплоизоляции.

#### 1. Определение необходимой толщины утеплителя:

Принять тип защитного покрытия (материал опалубки и утеплителя) по данным табл. 19, табл. 20, табл. 21,

Необходимая толщина системы защитного покрытия: опалубки и утеплителя определяется по формуле:

$$b_2 = \lambda_2 (1/K - 1/a - b_1/\lambda_1), \text{ м}$$

Где:

$\lambda_1, \lambda_2$  - коэффициент теплопроводности соответственно опалубки и утеплителя, Вт/(м<sup>2</sup> °С).

$K$  - необходимый коэффициент теплопередачи ( $K$ ) опалубки и утеплителя;

$b_2, b_1$  - толщина соответственно опалубки и утеплителя, м;

Необходимый коэффициент теплопередачи ( $K$ ) опалубки и утеплителя можно принять по данным (табл. 19, табл. 20, табл. 21), по ПРИЛОЖЕНИЮ 1 (табл.1, табл.2, табл.3) или рассчитать по формуле:

$$K = c_{бгб} (t_{б.н.} - t_{б.к.}) + q_{ц} \mathcal{E} / 3,6 \tau M_{п.} 24 (t_{б.ср.} - t_{н.в.}),$$

$$K = 1: (1/a + b_1/\lambda_1 + b_2/\lambda_2),$$

где  $a$  - коэффициент теплопередачи у наружной поверхности ограждения Вт/(м<sup>2</sup>-град), определяется по данным табл. 22 (скорость ветра принять самостоятельно).

Величины теплофизических характеристик строительных и теплоизоляционных материалов

Таблица 19

№ п/п	Материал	Объемная масса в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Расчетная величина коэффициента теплопроводности, Вт/(м·°С)	Удельная теплоемкость С, кДж/(кг·°С)
1	Железобетон ( $W_B = 3\%$ )	2500	2,03	0,84
2	Бетон ( $W_B = 3\%$ )	2200...2400	1,86	0,84
3	Бетон влажный	2400	2,05	1,05
4	Керамзитобетон ( $W_B = 10\%$ )	1600	0,75	0,84
		600	0,23	0,84
5	Шлак	600	0,29	0,75
6	Плиты мягкие, полужесткие и жесткие минераловатные на синтетическом связующем ( $W_B = 3\%$ )	100	0,052	0,76
		175	0,06	0,76
7	Маты минераловатные прошивные	100	0,048	0,076
8	Древесина (поперек вол.) - хвойные породы - лиственные породы	500	0,17	2,52
		700	0,23	2,52
9	Фанера клееная ( $W_B = 13\%$ )	600	0,17	2,52
10	Плиты ДВП и ДСП ( $W_B = 12\%$ )	200; 400; 600; 1000	0,08; 0,14; 0,16; 0,29	2,1
11	Пенопласт плиточный	100; 150; 200	0,043; 0,049; 0,06	1,34
12	Опилки	250	0,24	1,8

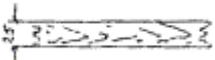
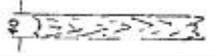
Физические показатели материалов

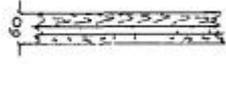
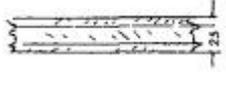
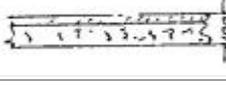
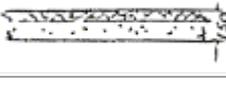
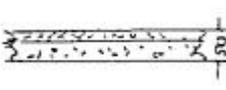
Таблица 20

Материал	Объемная масса, кг/м	Удельная теплоемкость, кДж/кг·°С	Коэффициент теплопроводности Вт/м·°С
Сосна и ель поперек волокон	550	2,51	0,17
Фанера клееная	600	2,51	0,17
Толь (рубероид, пергамин)	600	1,47	0,17
Вата минеральная	200	0,75	0,07

Коэффициенты теплопередачи опалубок различной конструкции

Таблица 21

Тип опалубки	Конструкции опалубки	Материал опалубки	Толщина слоя, мм	Коэффициент К, Вт/м <sup>2</sup> ·°С при скорости 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

Тип опалубки	Конструкции опалубки	Материал опалубки	Толщина слоя, мм	Коэффициент К, Вт/м <sup>2</sup> ·°С при скорости ветра, м/с		
				0	5	15
		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 минеральная	50			
		Фанера	4			
VI		Металл	3	1,02	1,27	1,33
		Вата минеральная	50			
		Фанера	4			
VII *		Фанера	10	2,44	5,1	5,8
		Асбест	4			
		Фанера	10			
VIII		Толь	-	0,74	0,89	0,9
		Опилки	100			
IX		Толь	-	1,27	1,77	1,87
		Шлак	150			
X		Толь	-	1,01	1,31	1,37
		Вата минеральная	50			

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  у наружной поверхности ограждения

Таблица 22

Скорость ветра, м/с	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	Скорость ветра, м/с	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
0	3,77	5	26,56
1	3,88	10	33,18
3	14,96	15	43,15

#### 4. Сопоставление результатов расчета с конструктивными значениями продолжительности выдерживания бетона методом «Термоса»

##### Выполнить:

1. Сопоставить результаты расчета по определению продолжительности охлаждения монолитной конструкции ( $T_{\text{охл.}}$ ) с продолжительностью выдерживания бетона, представленной на графике «Наращение прочности бетона» в зависимости от его «Критической прочности» и температуры выдерживания (рис.4); на данном рисунке приведен график нарастания прочности бетоном, выполненном на портландцементе М400. Для бетонов, выполненных на других видах и марках цемента, потребуется найти (и привести в РР) соответствующие графики.

2. Сопоставить результаты расчета по определению продолжительности охлаждения монолитной конструкции ( $T_{охл.}$ ) с данными ПРИЛОЖЕНИЯ 1 (табл. 1, табл. 2, табл. 3).

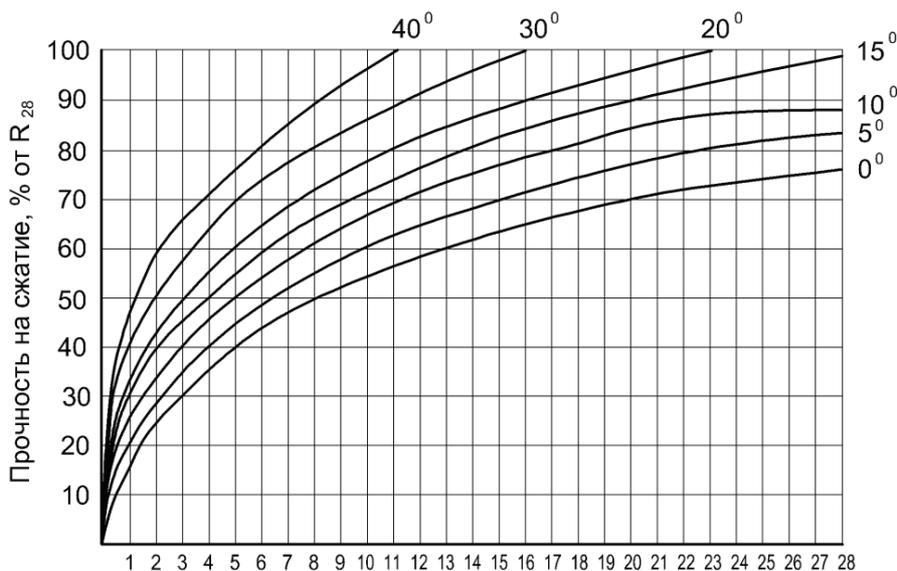


Рис.4. График нарастания прочности бетона на портландцементе М400 (значения по горизонтали – сутки)

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### 1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕРМОСТНОГО ВЫДЕРЖИВАНИЯ БЕТОНА (ОБЫЧНЫЙ ТЕРМОС)

**Портландцемент 400,**  
(без предварительного электроразогрева на стройплощадке)

**Конечная прочность бетона 40 % от  $R_{28}$**

Таблица 1

Класс бетона, марка цемента	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Начальная температура бетона, °С	Температура наружного воздуха, °С	Продолжительность остывания, ч	Коэффициент теплопередачи «К» Вт/м <sup>2</sup> °С при модуле поверхности			
					2	4	6	8
В15 М-300 портландцемент	250	10	-5	170	5	2,5	1,67	1,25
			20	125	7,5	3,75	2,5	1,87
		20	-10	110	5	2,5	1,67	1,25
			-15	103	4,4	2,3	1,47	1,1
			-20	97	3,8	1,9	1,27	0,95
			-5	108	9,25	4,62	3,08	2,31
		30	-10	96	7	3,50	2,33	1,75
			-15	90	6,25	3,12	2,08	1,56
	-20		84	5,51	2,75	1,84	1,38	
	-5		125	6	3	2	1,5	
	450	10	-10	120	3,5	1,75	1,17	0,87
			-20	95	8,8	4,4	2,93	2,2
20		-5	85	6,5	3,25	2,17	1,62	
		-10	85	6,5	3,25	2,17	1,62	

Класс бетона, марка цемента	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Начальная температура бетона, °С	Темпера тура наружного воздуха, °С	Продолжительность остывания, ч	Коэффициент теплопередачи «К» Вт/м <sup>2</sup> °С при модуле поверхности			
					2	4	6	8
		30	-15	81	5,55	2,77	1,85	1,38
			-20	77	4,6	2,3	1,53	1,15
			-5	83	11,1	5,55	3,7	2,77
			-10	74	8,25	4,12	2,75	2,06
			-15	69	7,47	3,73	2,49	1,82
			-20	65	6,7	3,35	2,23	1,67
В25 М-400 портландцемент	200	10	-5	115	8	4	2,67	2
			-10	112	5,5	2,75	1,83	1,37
		20	-5	86	10	5	3,3	2,5
			-10	81	7,5	3,75	2,5	1,87
			-15	78	6,25	3,12	2,08	1,56
			-20	76	5	2,5	1,67	1,25
В25 М-400 портландцемент	200	30	-5	73	13,7	6,85	4,57	3,42
			-10	67	10,7	5,35	3,57	2,60
			-15	65	9,2	4,61	3,07	2,30
			-20	62	7,75	3,87	2,58	1,94
В25 М-400 портландцемент	400	10	-5	100	8,8	4,4	2,93	2,2
			-10	98	6	3	2	1,5
		20	-5	80	11	5,5	3,65	2,75
			-10	75	7,5	3,75	2,5	1,61
			-15	72	6,7	3,55	2,23	1,54
			-20	70	5,9	2,95	1,97	1,47
		30	-5	63	16	8	5,33	4,0
			-10	58	12,70	6,35	4,23	3,17
			-15	56	11,4	5,60	3,73	2,79
			-20	54	9,7	4,85	3,23	2,42
В35 М-500 портландцемент	450	10	-5	90	9,8	4,9	3,27	2,45
			-10	89	6	3	2	1,5
		20	-5	70	13	6,5	4,33	3,25
			-10	69	8,5	4,25	2,83	2,12
			-15	68	7,5	3,75	2,50	1,87
			-20	67	6,5	3,25	2,17	1,62
		30	-5	58	18,7	9,35	6,23	4,67
			-10	53	13,7	6,85	4,57	3,42
			-15	48	12,2	6,10	4,07	3,04
			-20	44	10,7	5,35	3,57	2,67

### Конечная прочность бетона 50 % R<sub>28</sub>

Продолжение табл. 2

Класс бетона, марка цемента	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Начальная температура бетона, °С	Темпера тура наружного воздуха, °С	Продолжительность остывания, ч	Коэффициент теплопередачи «К» Вт/м <sup>2</sup> °С при модуле поверхности			
					2	4	6	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
В15 М-300 портландцемент	250	10	-5	235	3,5	1,75	1,17	0,87
			20	-5	160	6	3	2
		-10		145	4,1	2,05	1,37	1,02
		-15		137	3,65	1,77	1,18	0,88
		-20	130	3	1,5	1,0	0,75	
В15 М-300 портландцемент	250	30	-5	143	7	3,5	2,67	1,75
			-10	127	5,56	2,78	1,85	1,39
			-15	118	4,84	2,42	1,61	1,21
			-20	110	4,12	2,06	1,37	1,03
	450	10	-5	180	4,5	2,25	1,50	1,12
			-10	170	3,3	1,65	1,10	0,85

Класс бетона, марка цемента	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Начальная температура бетона, °С	Темпера тура наружного воздуха, °С	Продолжительность остывания, ч	Коэффициент теплопередачи «К» Вт/м <sup>2</sup> °С при модуле поверхности					
					2	4	6	8		
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
		20	-5	125	7,2	3,6	2,4	1,80		
			-10	114	5	2,5	1,67	1,25		
			-15	108	4,25	2,12	1,42	1,06		
			-20	103	3,5	1,75	1,17	0,87		
		30	-5	97	8,45	4,23	2,82	2,21		
			-10	94	6,75	3,37	2,25	1,69		
			-15	92	5,95	2,97	1,98	1,49		
			-20	90	5,15	2,57	1,72	1,29		
		В25 М-400 портландцемент	200	10	-5	180	6,25	3,12	2,08	1,56
					-10	170	3,70	1,85	1,23	0,92
				20	-5	145	7,5	3,75	2,5	1,87
					-10	135	5	2,50	1,67	1,25
-15	130				4,3	2,15	1,43	1,07		
-20	125				3,6	1,80	1,20	0,9		
30	-5			118	9,75	4,87	3,25	2,44		
	-10			170	8,37	4,18	2,79	2,08		
	-15			101	7,69	3,84	2,56	1,96		
	-20			96	7	3,50	2,33	1,75		
В25 М-400 портландцемент	400			10	-5	125	7,5	3,75	2,5	1,87
					-10	123	5,5	2,75	1,83	1,37
		20	-5	105	9	4,5	3	2,25		
			-10	100	7	3,5	2,33	1,75		
			-15	88	6	3	2	1,5		
			-20	87	5	2,5	1,67	1,25		
		30	-5	91	12,25	6,12	4,08	3,06		
			-10	82	10	5	3,33	2,5		
			-15	78	8,9	4,4	2,96	2,2		
			-20	74	7,75	3,90	2,60	1,93		
		В35 М-500 портландцемент	450	10	-5	125	8	4	2,67	2
					-10	102	6,15	3,07	2,07	1,54
20	-5			92	10,1	5	3,37	2,52		
	-10			91	7,5	3,75	2,5	1,87		
	-15			90	6,2	3,1	2,06	1,49		
	-20			90	4,9	2,45	1,63	1,22		
30	-5			81	14	7,02	4,68	3,5		
	-10			76	11	5,5	3,67	2,75		
	-15			74	9,4	4,73	3,16	2,25		
	-20			71	7,9	3,97	2,65	1,74		

**Конечная прочность бетона 70 % от R<sub>28</sub>**

Продолжение табл. 3

Класс бетона, марка цемента	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Начальная температура бетона, °С	Темпера тура наружного воздуха, °С	Продолжительность остывания, ч	Коэффициент теплопередачи «К» Вт/м <sup>2</sup> °С при модуле поверхности			
					2	4	6	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
В15 М-300 портландцемент	250	20	-5	310	2,9	1,45	0,97	0,72
		30	-5	295	3,3	1,65	1,1	0,82
	450	20	-5	250	3,6	1,8	1,2	0,9
		30	-5	225	3,9	1,95	1,3	0,97
В25 М-400 портландцемент	200	10	-5	350	3,2	1,6	1,07	1,80
		20	-5	250	4	2	1,33	1
		30	-5	215	5,12	2,51	1,71	1,23

Класс бетона, марка цемента	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Начальная температура бетона, °С	Темпера тура наружного воздуха, °С	Продолжительность остывания, ч	Коэффициент теплопередачи «К» Вт/м <sup>2</sup> °С при модуле поверхности				
					2	4	6	8	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	400		-10	210	3,85	1,92	1,28	0,96	
			10	-5	280	4,25	2,12	1,42	1,06
			20	-5	240	5	2,5	1,66	1,25
			30	-5	188	8	4	2,67	2
			-10	160	5	2,5	1,67	1,25	
В35 М500 портландцемент	450	10	-5	225	4,8	2,4	1,6	1,2	
			-10	220	3,1	1,55	1,03	0,77	
			20	-5	200	6	3	2	1,5
				-10	150	4,2	2,1	1,4	1,05
			30	-5	168	7,5	3,75	2,5	1,87
				-10	158	5,85	2,92	1,95	1,46