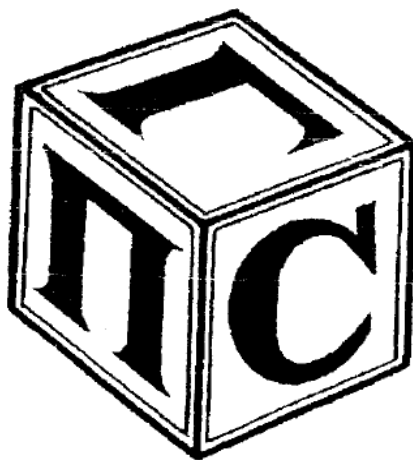


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Промышленное и гражданское строительство»

# ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ

*Методические рекомендации к практическим занятиям  
для студентов специальности  
7-07-0732-01 «Строительство зданий и сооружений»  
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2026

УДК 69.059  
ББК 38.683  
Т38

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»  
«28» ноября 2025 г., протокол № 4

Составитель канд. техн. наук, доц. С. В. Данилов

Рецензент Т. А. Полякова

В методических рекомендациях представлены теоретическая часть и порядок проведения практических занятий.

Учебное издание

## ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ

Ответственный за выпуск	С. В. Данилов
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 56 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2026

## Содержание

Введение .....	4
1 Практическое занятие № 1. Определение параметров понижения уровня грунтовых вод и выбор комплекта оборудования для водопонижения при устройстве выемок .....	5
2 Практическое занятие № 2. Расчет параметров выдерживания бетонной смеси методом «термоса». Определение продолжительности остывания бетона и величины набранной им за это время прочности .....	10
3 Практическое занятие № 3. Расчет параметров выдерживания бетонной смеси методом «термоса». Подбор конструкции опалубки и ее утеплителя при заданных продолжительности остывания бетона и его прочности .....	13
4 Практическое занятие № 4. Выбор эффективного способа выдерживания бетонной смеси в зимнее время года .....	15
5 Практическое занятие № 5. Проектирование технологических решений по ремонтно-восстановительным работам ограждающих конструкций .....	26
6 Практическое занятие № 6. Выбор конструктивно-технологических решений по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных конструкций .....	30
Список литературы .....	35
Приложение А .....	36
Приложение Б .....	37
Приложение В .....	40
Приложение Г .....	41
Приложение Д .....	44
Приложение Е .....	45

## Введение

Методические рекомендации к практическим занятиям для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» используются при изучении дисциплины «Технология строительства в особых условиях».

Дисциплина «Технология строительства в особых условиях» является прикладной научной дисциплиной, содержащей совокупность знаний в области техники, организации и экономики производственных процессов, осуществляемых на строительных площадках в особых условиях производства работ. Под особыми условиями понимают сложные гидрогеологические и климатические условия, производство работ в условиях реконструкции и технического перевооружения предприятий.

Целями преподавания дисциплины являются получение студентами основополагающих знаний в области технологии строительства с учетом выполнения строительных работ и процессов в сложных условиях производства работ, приобретение навыков организационно-технологического проектирования с учетом дестабилизирующих факторов, характерных для этих условий.

Целью проведения практических занятий является изучение технологических особенностей выбора комплекта механизмов для водопонижения уровня грунтовых вод с помощью легких иглофильтровых установок.

Задания на практические занятия выбираются для каждого студента индивидуально. Результаты изучения технологических особенностей ремонтно-восстановительных работ строительных конструкций (согласно выбранному заданию) оформляются в отчете для практических работ.

Изучение дисциплины должно выполняться на основе передовых методов труда, предусматривающих комплексную механизацию процессов производства работ с учетом дестабилизирующих факторов, повышение производительности труда, безопасные методы ведения работ.

Материал дисциплины базируется на знании технологии строительного производства, строительных материалов и архитектуры.

## **1 Практическое занятие № 1. Определение параметров понижения уровня грунтовых вод и выбор комплекта оборудования для водопонижения при устройстве выемок**

При устройстве выемок, расположенных ниже уровня грунтовых вод, необходимо осушать водонасыщенный грунт и обеспечивать его разработку в нормальных условиях, а также предотвращать попадание грунтовой воды в котлованы, ямы, траншеи в период производства работ.

При значительном притоке грунтовых вод рекомендуется использовать метод искусственного понижения с помощью иглофильтровых установок. В практике искусственного водопонижения применяется понижение уровня грунтовых вод легкими иглофильтровыми установками (ЛИУ), инжекторными иглофильтровыми установками (ЭИУ), с использованием водопонижающих скважин.

Наиболее широкое применение получили контурная схема установки и легкие иглофильтровые установки. Легкие иглофильтровые установки отличаются мобильностью установки и перестановки, быстротой погружения в грунт, надежностью в эксплуатации. Комплект ЛИУ состоит из иглофильтров, водосборного коллектора, рабочего и резервного насосов.

**Задача.** Рассчитать водопонизительную систему из легких иглофильтровых установок при следующих исходных данных (таблица А.1):

- размеры котлована по контуру иглофильтров  $20 \times 104$  м;
- размеры по контуру всасывающего коллектора  $21 \times 105$  м;
- глубина залегания грунтовых вод от поверхности земли  $h_2 = 1$  м;
- мощность водоносного слоя  $H = 12$  м;
- заглубление котлована ниже уровня грунтовых вод  $h = 2,3$  м;
- коэффициент фильтрации грунта  $K_\phi = 32$  м/сут;
- иглофильтры без обсыпки;
- высота оси насоса от поверхности земли  $h_n = 0,5$  м (рисунок 1.1).

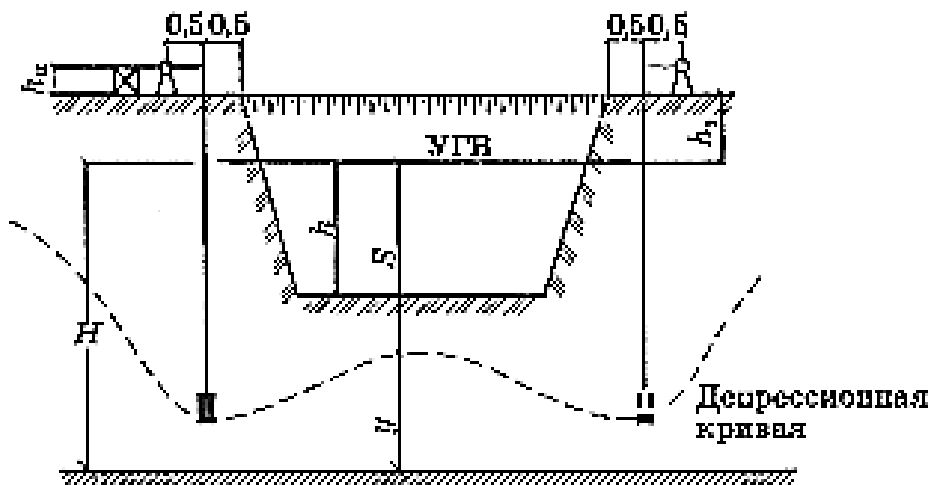


Рисунок 1. 1 – Схема разреза котлована

Для легкой иглофильтровой установки при определении требуемого уровня понижения грунтовых вод  $S$  должно соблюдаться условие

$$h + L + 0,5 \leq S \leq 1,5h, \quad (1.1)$$

где  $h$  – заглубление котлована ниже уровня грунтовых вод, м;

$L$  – высота капиллярного поднятия грунтовых вод, м.

Высота поднятия грунтовых вод

$$L = \frac{1}{\sqrt{K_\phi}}, \quad L = \frac{1}{\sqrt{32}} = 0,2 \text{ м}, \quad (1.2)$$

где  $K_\phi$  – коэффициент фильтрации грунта водоносного слоя, м/сут.

Тогда требуемый уровень понижения грунтовых вод рассчитываем по формуле (1.1):

$$S = 2,3 + 0,2 + 0,5 = 3 \text{ м.}$$

Приведенный радиус водопонизительной системы определяется по формуле с учетом того, что  $F = 20 \cdot 104 = 2080 \text{ м}^2$ :

$$A = \sqrt{\frac{F}{\pi}}, \quad A = \sqrt{\frac{20 \cdot 104}{3,14}} = 25,7 \text{ м}, \quad (1.3)$$

где  $F$  – площадь, ограниченная водопонизительными устройствами,  $\text{м}^2$ .

Радиус влияния (депрессии) системы вычисляется по формуле

$$R = A + 2S\sqrt{K_\phi H}, \quad R = 25,7 + 2 \cdot 3\sqrt{32 \cdot 12} = 143,3 \text{ м}, \quad (1.4)$$

где  $H$  – мощность водоносного слоя, м.

При этом напор в расчетной точке находится из условия

$$y = H - S, \quad y = 12 - 3 = 9 \text{ м.} \quad (1.5)$$

Ожидаемый приток воды к системе  $Q_c$  определяется по формуле

$$Q_c = \frac{2\pi m K_\phi (H - y)}{\ln \frac{R}{A}}, \quad Q_c = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 10,5 \cdot 32(12 - 9)}{\ln \frac{143,3}{25,7}} = 3680 \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (1.6)$$

где  $m$  – толщина водоносного слоя при напорной фильтрации или средняя толщина потока при безнапорной, м:

$$m = \frac{H + y}{2}, \quad m = \frac{12 + 9}{2} = 10,5 \text{ м.} \quad (1.7)$$

Ожидаемый приток воды к системе  $Q'_c$  рассчитывается по формуле

$$Q'_c = \frac{Q_c}{24}, \quad Q'_c = \frac{3680}{24} = 153,3 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (1.8)$$

Для легкой иглофильтровой установки в первом приближении длина коллектора, количество насосов и иглофильтров рассчитываются следующим образом. Для определения требуемого числа установок и длины коллектора на одну установку определяют проектируемую длину коллектора на одну установку:

$$l_k = \frac{P_k}{N}, \quad l_k = \frac{252}{3} = 84 \text{ м}, \quad (1.9)$$

где  $P_k$  – общая длина коллектора системы, м;

$N$  – количество установок в системе, шт.

При общей длине коллектора  $P_k = 2 \cdot 21 + 2 \cdot 105 = 252$  м и притоке воды  $153,3 \text{ м}^3/\text{ч}$  по графику (рисунок 1.2) определяем, что предельная длина коллектора на один насос ЛИУ-6 (насосы 1 и 2) составляет 105 м.

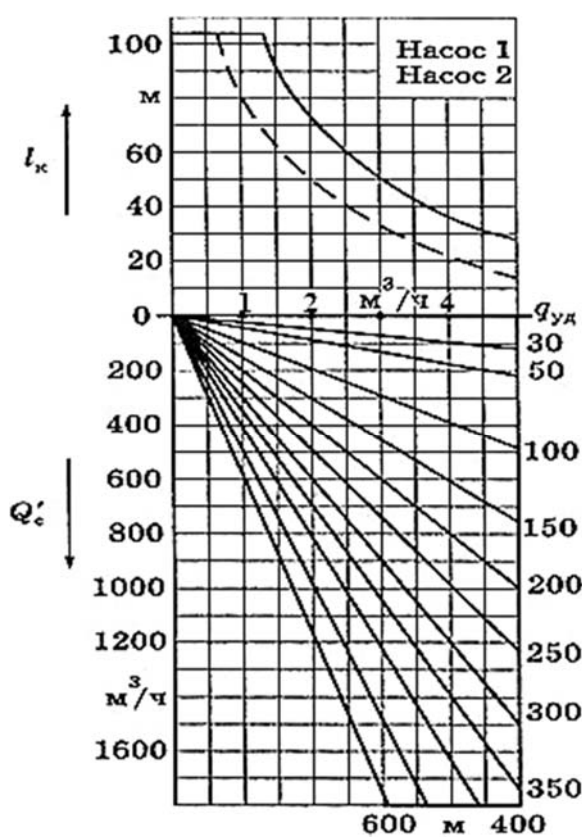


Рисунок 1.2 – График предельной длины всасывающего коллектора на один насосный агрегат ЛИУ-6

Требуемое число установок, длину коллектора на одну установку и приток воды к установке рассчитываем по формулам (1.9)–(1.11).

Количество установок в системе вычисляем по формуле

$$N = \frac{P_k}{L_k}, \quad N = \frac{252}{105} = 2,4 \text{ шт.}, \quad (1.10)$$

где  $L_k$  – предельная длина коллектора на одну установку, м;  
 $N = 3$  шт.

Число иглофильтров  $n$  при различном их шаге рассчитывается по формуле

$$n = \frac{l_k}{2\sigma}, \quad (1.11)$$

где  $2\sigma$  – шаг иглофильтров, кратный 0,75 м.

Предельно допустимый дебит одного иглофильтра в зависимости от коэффициента фильтрации грунта водоносного слоя определяется по справочной литературе или из графика на рисунке 1.2.

Приток воды  $q$  к каждому иглофильтру при различном их шаге рассчитывается по формуле

$$q = \frac{Q'_y}{n}, \quad (1.12)$$

где  $n$  – число иглофильтров в установке, шт.;

$Q'_y$  – приток воды к установке, м<sup>3</sup>/ч.

Приток воды к установке

$$Q'_y = \frac{Q'_c}{N}. \quad (1.13)$$

В сутки

$$Q_y = \frac{3680}{3} = 1226,7 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

В час

$$Q'_y = \frac{153,3}{3} = 51,1 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Приток воды к одной установке меньше производительности любого насосного агрегата ЛИУ-6 (таблица В.1), каждую установку может обслуживать два насосных агрегата ЛИУ-6 (рабочий и резервный) в любом сочетании. Следовательно, для всей системы требуется шесть насосных агрегатов ЛИУ-6 (три комплекта).



По заданию по коэффициенту фильтрации грунта  $K_f$  находим предельный дебит одного иглофильтра, равный  $2,8 \text{ м}^3/\text{ч}$  (рисунок 1.3).

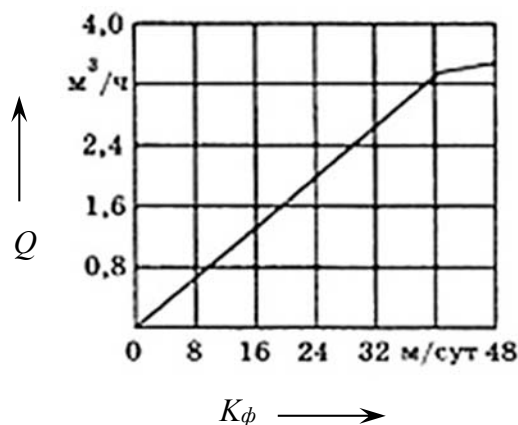


Рисунок 1.3 – Предельно допустимый дебит одного иглофильтра в зависимости от коэффициента фильтрации водоносного слоя

Определим число иглофильтров  $n$  и приток воды  $q$  к каждому из них при различном шаге иглофильтров  $2\sigma$  по формулам (1.11) и (1.12).

Шаг иглофильтров увеличивается до значения, при котором приток воды не превышает предельно допустимого дебита иглофильтров (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Результаты расчетов

$2\sigma$ , м	$n$ , шт.	$q$ , $\text{м}^3/\text{ч}$
0,75	112	0,46
1,5	56	0,91
2,25	37	1,38
3,0	28	1,83
3,75	23	2,22
4,5	19	2,68
5,25	16	3,19

Таким образом, на одну установку необходимо 19 иглофильтров, коллектор длиной 84 м, два насоса (рабочий и резервный). На всю систему из трех установок потребуется 57 иглофильтров, коллектор длиной 252 м, шесть насосов.

## 2 Практическое занятие № 2. Расчет параметров выдерживания бетонной смеси методом «термоса». Определение продолжительности остывания бетона и величины набранной им за это время прочности

Для решения задачи термосного выдерживания бетона необходимо рассчитать:

- объем бетонируемой конструкции  $V$ ,  $\text{м}^3$ ;
- величину поверхности охлаждения конструкции, для чего суммируют площади поверхностей, соприкасающихся с охлаждающим конструкцию наружным воздухом,  $S$ ,  $\text{м}^2$ ;
- модуль поверхности конструкции  $M_n = F/V$ ,  $\text{м}^{-1}$ ;
- начальное теплосодержание бетона  $Q_1$ ,  $\text{кДж}$ .

Железобетонный фундамент (рисунок 2.1) с размерами  $A = 2,4$  м,  $B = 1,8$  м,  $C = 1,2$  м,  $H = 5,6$  м,  $h = 0,6$  м из бетона класса  $\text{C}^{20/25}$  на портландцементе марки 400 с расходом цемента  $300 \text{ кг/м}^3$  и стали  $100 \text{ кг/м}^3$  бетонируют в зимнее время. Температура наружного воздуха во время твердения бетона  $-20^\circ\text{C}$ , скорость ветра  $-10 \text{ м/с}$  (таблица Б.1).

В момент укладки в опалубку бетонная смесь имеет температуру  $70^\circ\text{C}$ . Опалубка выполнена из доски толщиной 40 мм.

Определить продолжительность остывания конструкции и прочность бетона к моменту достижения им температуры  $+5^\circ\text{C}$ .

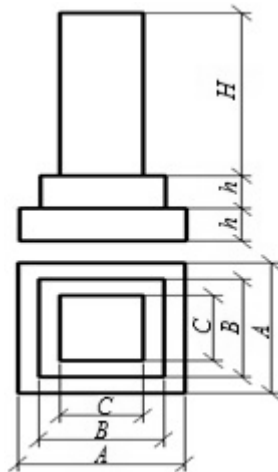


Рисунок 2.1 – Расчетная схема фундамента, бетонируемого методом «термоса»

Объем бетона в одном фундаменте

$$V = 2,4 \cdot 2,4 \cdot 0,6 + 1,8 \cdot 1,8 \cdot 0,6 + 1,2 \cdot 1,2 \cdot 5,6 = 13,46 \text{ м}^3. \quad (2.1)$$

Поверхность охлаждения бетона

$$F = 4 \cdot 2,4 \cdot 0,6 + 4 \cdot 1,8 \cdot 0,6 + 4 \cdot 1,2 \cdot 5,6 + 2,4 \cdot 2,4 = 42,72 \text{ м}^2. \quad (2.2)$$

Модуль поверхности бетонируемого фундамента

$$M_n = F/V = 42,72/13,46 = 3,17 \text{ м}^{-1}. \quad (2.3)$$

Начальное теплосодержание бетона

$$Q_1 = C_{\delta} \cdot \gamma_1 \cdot V \cdot t_{\delta.n} = 1,05 \cdot 2500 \cdot 13,46 \cdot 70 = 2473275 \text{ кДж}, \quad (2.4)$$

где  $C_{\delta}$  – удельная теплоемкость бетона,  $C_{\delta} = 1,05 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$\gamma_1$  – плотность железобетона,  $\gamma_1 = 2500 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

$V$  – объем бетона в одном фундаменте,  $\text{м}^3$ ;

$t_{\delta.n}$  – начальная температура бетона (задается условием задачи),  $^\circ\text{C}$ .

Температура системы «бетон + арматура»

$$\begin{aligned} t' &= \frac{C_{\delta} \cdot \gamma_1 \cdot t_{\delta.n} + C_3 \cdot P_1 \cdot t_4}{C_{\delta} \cdot \gamma_1 + C_3 \cdot P_1} = \\ &= \frac{1,05 \cdot 2500 \cdot 70 + 0,48 \cdot 100 \cdot (-20)}{1,05 \cdot 2500 + 0,48 \cdot 100} = 68,4 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned} \quad (2.5)$$

где  $C_3$  – теплоемкость арматурной стали,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$P_1$  – расход стали на  $1 \text{ м}^3$  бетона (задается условием задачи),  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$t_4$  – температура арматурной стали, численно равная температуре наружного воздуха (задается условием задачи); обозначение остальных символов приведено выше.

Количество тепла, расходуемого на нагрев арматуры,

$$Q_2 = C_3 \cdot P_1 \cdot V \cdot (t' - t_4) = 0,48 \cdot 100 \cdot 13,46 \cdot [68,4 - (-20)] = 57113 \text{ кДж}. \quad (2.6)$$

Расчетная температура нагрева опалубки

$$t_{on} = \frac{t' + t_{н.в}}{2} = \frac{68,4 + (-20)}{2} = 24,2 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2.7)$$

Тепло, расходуемое на нагрев опалубки,

$$\begin{aligned} Q_3 &= C_2 \cdot F_{ox.n} \cdot \delta_1 \cdot \gamma_2 \cdot (t_{on} - t_4) = \\ &= 2,52 \cdot 42,72 \cdot 0,04 \cdot 550 \cdot [24,2 - (-20)] = 104683 \text{ кДж}, \end{aligned} \quad (2.8)$$

где  $C_2$  – удельная теплоемкость дерева, из которого выполнена опалубка (таблица Б.4),  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$F_{ox.n}$  – площадь охлаждаемой поверхности,  $\text{м}^2$ ;

$\delta_1$  – толщина опалубки,  $\text{м}$ ;

$\gamma_2$  – средняя плотность в сухом состоянии дерева (см. таблицу Б.4),  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Температура бетона к началу остывания конструкции

$$t_{\bar{o}.н} = \frac{Q_1 - (Q_2 + Q_3)}{C_{\bar{o}} \cdot \gamma_1 \cdot V} = \frac{2473275 - (57113 + 104683)}{1,05 \cdot 2500 \cdot 13,46} = 65,42 \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (2.9)$$

Средняя температура твердения бетона за время остывания конструкции

$$t_{\bar{o}.cp} = t_{\bar{o}.к} + \frac{t_{\bar{o}.н} - t_{\bar{o}.к}}{1,03 + 0,181 \cdot M_n + 0,006 \cdot (t_{\bar{o}.н} - t_{\bar{o}.к})} =$$

$$= 5 + \frac{65,42 - 5}{1,03 + 0,181 \cdot 3,17 + 0,006 \cdot (65,42 - 5)} = 35,73 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (2.10)$$

где  $t_{\bar{o}.к}$  – температура бетона к концу остывания (задается условием задачи),  $^{\circ}\text{C}$ .

Значение коэффициента теплопередачи опалубки

$$K = 1 / \left( \frac{1}{\alpha} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) = 1 / \left( \frac{1}{33,18} + \frac{0,04}{0,17} \right) = 3,77 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}, \quad (2.11)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплопередачи у наружной поверхности ограждения, зависящий от скорости ветра, Вт/(м<sup>2</sup>·°C) (таблица Б.2);

$\delta_i$  – толщина опалубки или утеплителя, м;

$\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности материала опалубки или утеплителя, Вт/(м<sup>2</sup> · °C).

Продолжительность остывания конструкции без учета влияния экзотермии цемента

$$\tau' = \frac{C_{\bar{o}} \cdot \gamma_1 \cdot (t_{\bar{o}.н} + t_{\bar{o}.к})}{3,6 \cdot K \cdot M_n \cdot (t_{\bar{o}.cp} - t_{н.в})} = \frac{1,05 \cdot 2500 \cdot (65,42 - 5)}{3,6 \cdot 3,77 \cdot 3,17 \cdot (35,73 - (-20))} = 66 \text{ ч}, \quad (2.12)$$

где  $t_{н.в}$  – температура наружного воздуха (задается условием задачи),  $^{\circ}\text{C}$ ;

Величина тепловыделения 1 кг цемента за 66 ч при средней температуре твердения бетона  $t_{\bar{o}.cp} = 35,73 \text{ }^{\circ}\text{C}$  составляет  $\mathcal{E} = 248 \text{ кДж/кг}$ .

Продолжительность остывания конструкции с учетом влияния экзотермии цемента

$$\tau = \frac{C_{\bar{o}} \cdot \gamma_1 \cdot (t_{\bar{o}.н} + t_{\bar{o}.к}) + \mathcal{E} \cdot \mathcal{E}}{3,6 \cdot K \cdot M_n \cdot (t_{\bar{o}.cp} - t_{н.в})} =$$

$$= \frac{1,05 \cdot 2500 \cdot (65,42 - 5) + 300 \cdot 248}{3,6 \cdot 3,77 \cdot 3,17 \cdot (35,73 - (-20))} = 97 \text{ ч}. \quad (2.13)$$

Прочность бетона, которую он наберет за 97 ч при средней температуре твердения бетона  $t_{\bar{o}.cp} = 35,73 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , составляет 79 % от гарантируемой прочности в возрасте 28 сут, что выше значения критической прочности (таблица Б.3). Поэтому набор бетоном требуемой прочности и его сохранность будут обеспечены.

### 3 Практическое занятие № 3. Расчет параметров выдерживания бетонной смеси методом «термоса». Подбор конструкции опалубки и ее утеплителя при заданных продолжительности остывания бетона и его прочности

Железобетонная балка размером  $0,5 \times 1,2 \times 6,0$  м из бетона класса  $C^{20}/_{25}$  на портландцементе марки 500 с расходом цемента  $300 \text{ кг/м}^3$  и стали  $200 \text{ кг/м}^3$  бетонируется в зимнее время в условиях стройплощадки при температуре наружного воздуха  $-25^\circ\text{C}$  и скорости ветра  $15 \text{ м/с}$ . Температура бетонной смеси в момент укладки ее в опалубку составляет  $60^\circ\text{C}$ . К моменту остывания балки до температуры  $+5^\circ\text{C}$  через трое суток прочность бетона должна составлять  $70\%$  от гарантируемой прочности в возрасте 28 сут (см. таблицу В.1). Подобрать конструкцию опалубки для обеспечения требуемых условий.

При решении задачи термосного выдерживания бетона последовательно определяют:

– объем бетона в бетонируемой конструкции:

$$V = a \cdot h \cdot L = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 6,0 = 3,6 \text{ м}^3; \quad (3.1)$$

– поверхность охлаждения бетонируемой конструкции:

$$\begin{aligned} F &= 2 \cdot a \cdot h + 2 \cdot a \cdot L + 2 \cdot h \cdot L = \\ &= 2 \cdot 0,5 \cdot 1,2 + 2 \cdot 0,5 \cdot 6 + 2 \cdot 1,2 \cdot 6 = 21,6 \text{ м}^2; \end{aligned} \quad (3.2)$$

– модуль поверхности бетонируемой конструкции:

$$M_n = F/V = 21,6 / 3,6 = 6 \text{ м}^{-1}; \quad (3.3)$$

– температуру бетона  $t_{\delta,n}$  с учетом тепла, израсходованного бетоном на нагрев арматуры, согласно формуле (1.6):

$$t' = \frac{C_{\delta} \cdot \gamma_1 \cdot t_{\delta,n} + C_3 \cdot P_1 \cdot t_4}{C_{\delta} \cdot \gamma_1 + C_3 \cdot P_1} = \frac{1,05 \cdot 2500 \cdot 60 + 0,48 \cdot 200 \cdot (-25)}{1,05 \cdot 2500 + 0,48 \cdot 200} = 57^\circ\text{C}; \quad (3.4)$$

– среднюю температуру твердения бетона в процессе его остывания в течение 3 сут можно определить по формуле, как в предыдущем примере. Бетон класса  $C^{20}/_{25}$  на портландцементе марки 500 наберет  $70\%$  от гарантируемой прочности через 3 дня при температуре  $27^\circ\text{C}$  ( $t_{\delta,cr} = 27^\circ\text{C}$ );

– экзотермию цемента по известным данным о средней температуре твердения бетона  $t_{\delta,cr}$  и времени твердения бетона;

– тепловыделение цемента марки 500 за трое суток при  $t_{\delta,cr} = 27^\circ\text{C}$ , согласно таблице Б.5,  $\Theta = 266 \text{ кДж/кг}$ ;

– расчетный коэффициент теплопередачи опалубки и утеплителя

$$K_p = \frac{C_{\bar{\sigma}} \cdot \gamma_1 \cdot (t' - t_{\bar{\sigma},k}) + \Pi \cdot \Xi}{\tau \cdot 24 \cdot (t_{\bar{\sigma},cp} - t_{н,в})} = \frac{1,05 \cdot 2500 \cdot (57 - 5) + 300 \cdot 266}{3 \cdot 24 \cdot 6 \cdot (27 - (-25))} = 9,63 \text{ кДж/кг} = 2,66 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}; \quad (3.5)$$

– ориентировочно назначают конструкцию опалубки, соблюдая условие  $K_p \geq K_{табл}$ ;

– по таблице ориентировочно выбираем конструкцию опалубки, соблюдая условие  $K_p \geq K_{табл}$ . Для данного случая этому условию соответствует четвертый тип опалубки, состоящий из доски толщиной 25 мм, минеральной ваты – 50 мм и слоя фанеры – 4 мм.  $K_{табл} = 1,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$  при скорости ветра 15 м/с;

– если расчетный коэффициент теплопередачи значительно отличается от табличного, то требуемую толщину слоя теплоизоляции находят по формуле: в связи с тем, что расчетный коэффициент теплопередачи значительно отличается от табличного, уточним требуемую толщину слоя теплоизоляции (ваты минеральной):

$$\delta_{из} = \lambda_{из} \left( \frac{1}{K_p} - \sum \frac{\delta_{он}}{\lambda_{он}} \right) = 0,055 \cdot \left( \frac{1}{2,66} - \left( \frac{0,025}{0,17} - \frac{0,004}{0,17} \right) \right) = 0,11 \text{ м} = 11 \text{ мм}, \quad (3.6)$$

где  $\lambda_{из}$  – коэффициент теплопроводности изоляционного материала, Вт/(м · °C);

$K_p$  – расчетный коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup> · °C);

$\delta_{он}$ ,  $\lambda_{он}$  – толщина и коэффициент теплопроводности отдельных слоев опалубки соответственно. Например, опалубка может состоять из слоя досок, прокладки толя, слоя минеральной ваты и слоя фанеры. В таком случае нужно суммировать отношения толщин соответствующих слоев к их коэффициентам теплопроводности: в итоге устанавливаем, что конструкция опалубки должна состоять из основной доски толщиной 25 мм, слоя минеральной ваты – 11 мм и фанеры – 4 мм.

$$\sum \frac{\delta_{он}}{\lambda_{он}} = \frac{\delta_D}{\lambda_D} + \frac{\delta_T}{\lambda_T} + \frac{\delta_B}{\lambda_B} + \frac{\delta_\Phi}{\lambda_\Phi}, \quad (3.7)$$

где  $\delta_D$ ,  $\delta_T$ ,  $\delta_B$ ,  $\delta_\Phi$  – толщина слоя досок, толя, ваты и фанеры соответственно;

$\lambda_D$ ,  $\lambda_T$ ,  $\lambda_B$ ,  $\lambda_\Phi$  – коэффициенты теплопроводности соответственно.

Для более точных расчетов используют эмпирическую формулу, учитывающую повышение теплопроводности материалов конструкции опалубки, нагретых теплом бетона, укладываемого в опалубку. Расчетная температура нагрева опалубки определяется как среднеарифметическое значение температуры наружного воздуха и начальной температуры бетона:

$$t_{он}^p = \frac{t' + t_{н,в}}{2} = \frac{57 - (-25)}{2} = 41. \quad (3.8)$$

Установим коэффициенты теплопроводности материалов опалубки, нагретых до температуры 41 °С.

Тогда теплопроводность материалов конструкции опалубки

$$\lambda_{ym} = \lambda_0 \cdot (1 + 0,0025 \cdot t_{on}^p), \quad (3.9)$$

где  $\lambda_0$  – коэффициент теплопроводности материалов опалубки при 0 °С.

Для доски из хвойных пород дерева

$$\lambda'_d = 0,17 \cdot (1 + 0,0025 \cdot 41) = 0,187 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}.$$

Для фанеры клееной

$$\lambda'_\phi = 0,17 \cdot (1 + 0,0025 \cdot 41) = 0,187 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}.$$

Для минеральной ваты плотностью 100 кг/м<sup>3</sup>

$$\lambda'_b = 0,049 \cdot (1 + 0,0025 \cdot 41) = 0,054 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}.$$

С учетом уточненных коэффициентов теплопроводности требуемая толщина слоя минеральной ваты

$$\delta_B = 0,054 \cdot \left( \frac{1}{2,66} - \left( \frac{0,025}{0,187} - \frac{0,004}{0,187} \right) \right) = 0,011 \text{ м} = 11 \text{ мм}. \quad (3.10)$$

При методе «термоса» постоянно следят за температурой бетона в конструкции. Контроль ведется с момента укладки до тех пор, пока температура в конструкции не понизится до –2 °С. Контролировать нужно не менее двух раз в сутки. Измеряют температуру техническими термометрами, которые опускают в специальные скважины глубиной 50 мм, устроенные в бетоне. Результаты замера заносят в журнал. По частному от деления суммы показаний термометра на количество отсчетов устанавливают среднюю температуру твердения бетона.

Распалубливать несущие бетонные и железобетонные конструкции следует после достижения бетоном прочности, указанной в таблице Б.3.

#### **4 Практическое занятие № 4. Выбор эффективного способа выдерживания бетонной смеси в зимнее время года**

Выбор эффективного способа зимнего бетонирования фундаментов под колонны промышленного здания размером 30 × 72 м с сеткой колонн 6 × 6 м осуществляется при следующих условиях (приложение Г):

– фундаменты двухступенчатые, нижняя ступень в плане имеет размеры 2500 × 2500 мм, верхняя – 1500 × 1500 мм, высота каждой ступени – 800 мм;

- бетон марки 200 на портландцементе марки 400, расход цемента – 360 кг/м<sup>3</sup>;
- прочность бетона в конструкции к моменту замерзания должна быть не менее 50 % от  $f_{c,cube}^G$ ;
- температура наружного воздуха – 15 °С, скорость ветра – 5 м/с;
- опалубка деревянная щитовая из досок толщиной 25 мм с утеплением минераловатными плитами;
- опалубка устанавливается только у боковых граней фундамента;
- суточный поток бетона при укладке его в конструкцию 40 м<sup>3</sup>;
- фундамент армирован металлическими сетками из арматуры диаметром до 18 мм, масса сеток – до 300 кг;
- строительство осуществляется в Могилевской области в январе.

### Решение

Модуль поверхности фундамента

$$F_{охл} = a \cdot b + h_1 \cdot a \cdot 4 + h_2 \cdot c \cdot 4 = 2,5 \cdot 2,5 + 0,8 \cdot 2,5 \cdot 4 + 0,8 \cdot 1,5 \cdot 4 = 19,05 \text{ м}^2;$$

$$V = (a \cdot b + c \cdot d) \cdot h_1 = (2,5 \cdot 2,5 + 1,5 \cdot 1,5) \cdot 0,8 = 6,8 \text{ м};$$

$$M_n = \frac{F_{охл}}{V} = \frac{19,05}{6,8} = 2,8 \text{ м}^{-1}. \quad (4.1)$$

При расчете принимаем, что коэффициенты теплопередачи в грунт и опалубку одинаковые.

Определим возможные способы бетонирования. Согласно рекомендациям, приведенным в [1], рассматриваемые фундаменты можно забетонировать различными способами:

- «термоса»;
- с периферийным электропрогревом.

Для выбора наиболее эффективного способа необходимо определить технико-экономические показатели по каждому из них.

### Расчет технико-экономических показателей способа бетонирования методом «термоса».

1 Найдем начальную среднюю температуру бетонной смеси после ее укладки в опалубку, учитывая, что при выходе из бетономешалки температура её составляла 40 °С, время транспортирования бетона автосамосвалами МАЗ-503 – 15 мин, время укладки бетонной смеси – 10 мин. Согласно формуле

$$t_{б.н} = t_{см} \cdot (1 - \sum \Delta t_{тр}) + t_{н.в} \cdot \sum \Delta t_{тр} = 40 \cdot (1 - 0,1535) - 15 \cdot 0,1535 = 31,56 \quad (4.2)$$

примем  $t_{б.н} = 32^\circ \text{ С}$ , где



$$\sum \Delta t_{mp} = \Delta t_n + \Delta t_{mp} + \Delta t_{nep} + \Delta t_{kp} + \Delta t_{ynl} =$$

$$= 0,032 + 0,0025 \cdot 15 + 0,032 + 0,0022 \cdot 10 + 0,003 \cdot 10 = 0,1535;$$

$\Delta t_n, \Delta t_{mp}, \Delta t_{nep}, \Delta t_{kp}, \Delta t_{ynl}$  – снижение температуры бетонной смеси соответственно при погрузке ее в автосамосвал, перевозке в течение 10 мин, выгрузке в бады, подаче смеси краном на высоту (глубину) до 10 м, укладке ее и уплотнении.

2 Средняя температура остывания бетона

$$\begin{aligned} \Delta t_{\bar{c.p}} &= t_{\bar{c.k}} + \frac{t_{\bar{c.n}} - t_{\bar{c.k}}}{1,03 + 0,181 \cdot M_n + 0,006 \cdot (t_{\bar{c.n}} - t_{\bar{c.k}})} = \\ &= 5 + \frac{32 - 5}{1,03 + 0,181 \cdot 2,8 + 0,006 \cdot (32 - 5)} = 19,43 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned} \quad (4.3)$$

3 Время, необходимое для набора прочности бетоном до 50 %  $f_{c,cube}^G$ .

4 Коэффициент теплопередачи ограждения

$$\begin{aligned} K &= \frac{C_{\bar{c}} \cdot \gamma_{\bar{c}} \cdot (t_{\bar{c.u}} - t_{\bar{c.k}}) + \Pi \cdot \Xi}{3,6 \cdot \tau \cdot M_n \cdot (t_{\bar{c.c.p}} - t_{n.v})} = \\ &= \frac{1,05 \cdot 2400 \cdot (32 - 5) + 360 \cdot 209}{3,6 \cdot 72 \cdot 2,8 \cdot (19,43 + 15)} = 4,32 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}. \end{aligned} \quad (4.4)$$

5 Значение коэффициента теплопередачи для опалубки из досок толщиной 25 мм при скорости ветра 5 м/с  $K = 5,2 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}$ . Следовательно, нужно утепление.

6 Толщина утепления из минераловатных плит

$$\begin{aligned} \delta_{ym} &= (1/K - 1/\alpha - \delta_{on}/\lambda_{on}) \cdot \lambda_{ym} = \\ &= (1/4,32 - 1/26,56 - 0,025/0,17) \cdot 0,048 = 0,002 \text{ м}^2. \end{aligned} \quad (4.5)$$

Принимаем один слой утеплителя минераловатных прошивных плит толщиной 20 мм (плиты выпускаются толщиной 20 и 40 мм).

Для открытой горизонтальной поверхности бетона выберем в качестве утеплителя один слой пергамина и один слой минераловатных плит толщиной 20 мм:

$$\delta_{ym} = (1/K - 1/\alpha - \delta_n/\lambda_n) \lambda_{ym} = (1/4,32 - 1/26,56 - 0,002/0,17) 0,048 = 0,008 \text{ м}^2.$$

7 Затраты на установку и разборку опалубки, армирование и укладку бетонной смеси

$$Z_{on} = K_{up} (P' + P'') F_{on} / V_{\bar{c}} = 1,18 (0,291 + 0,068) \cdot 12,8 / 6,8 = 0,8 \text{ р./м}^3, \quad (4.6)$$

где  $K_{нр}$  – усредненный поправочный коэффициент к нормам времени и расценкам. Для Могилевской области в январе он равен 1,18;

$P', P''$  – расценки по ЕНиР § 4-1-27, т. 2, п. 26 за установку и разборку опалубки соответственно;

$F_{об}$  – площадь опалубки одного фундамента,

$$F_{он} = 4 \cdot 2,5 \cdot 0,8 + 4 \cdot 1,5 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ м}^2;$$

$V_{б}$  – объем бетона в одном фундаменте,  $\text{м}^3$ ,

$$V_{б} = 2,5 \cdot 2,5 \cdot 0,8 + 1,5 \cdot 1,5 \cdot 0,8 = 6,8 \text{ м}^3.$$

$$\begin{aligned} T_{он} &= K_{нр} \cdot [(H'_{вр} + H''_{вр}) \cdot F_{он} / (V \cdot t_{см})] = \\ &= 1,18 \cdot 0,52 + 0,13 \cdot 12,8 / 8,2 \cdot 6,8 = 0,176 \text{ чел.-дн./м}^3, \end{aligned} \quad (4.7)$$

где  $H'_{вр}, H''_{вр}$  – норма времени на установку и разборку опалубки соответственно;

$t_{см}$  – продолжительность рабочей смены,  $t_{см} = 8,2$  ч;

$$З_{арм} = K_{нр} (P' + P'') F_{он} / V_{б} = 1,18 \cdot (0,237 \cdot 1 + 0,442 \cdot 4) \cdot 12,8 / 6,8 = 0,35 \text{ р./м}^3; \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} T_{арм} &= K_{нр} [(H'_{вр} + H''_{вр}) \cdot F_{он} / (V \cdot t_{св})] = \\ &= 1,18 (0,45 \cdot 1 + 0,84 \cdot 4) 12,8 / (6,8 \cdot 8,2) = 0,08 \text{ чел.-дн./м}^3, \end{aligned} \quad (4.9)$$

где 0,237; 0,442 – расценка за установку горизонтальных и вертикальных сеток [5, § 4-1-33, т. 1, п. 1, 2] соответственно;

1, 4 – количество горизонтальных и вертикальных сеток в фундаменте;

0,45; 0,84 – норма времени за установку горизонтальных и вертикальных сеток [5, § 4-1-33, т. 1, п. 1, 2] соответственно;

6,8 – объем бетона в одном фундаменте,  $\text{м}^3$ ;

8,2 – количество рабочих часов в смене.

$$З_{укл} = K_{нр} \cdot P' = 1,18 \cdot 0,184 = 0,217 \text{ р./м}^3; \quad (4.10)$$

$$T_{укл} = K_{нр} \cdot H'_{вр} = 1,18 \cdot 0,33 / 8,2 = 0,047 \text{ чел.-дн./м}^3, \quad (4.11)$$

где  $З_{укл}, T_{укл}$  – заработная плата и трудоемкость укладки бетонной смеси в конструкцию соответственно;

0,184; 0,33 – расценка и норма времени, определенные по [5, § 4-1-37, таблица 2, п. 3] соответственно.

Затраты на подогрев воды и заполнителей при условии выхода бетонной смеси из бетоносмесителя с  $t = 35$  °С

$$C_{н.в.з} = C \cdot C_1 / C_2 = 0,294 \cdot 3,64 / 4,62 = 0,18 \text{ р./м}^3, \quad (4.12)$$

где 0,294 – затраты на подогрев воды и заполнителей;  
 3,64 – стоимость 1 Гкал пара для Могилевской области;  
 4,62 – стоимость 1 Гкал пара для Минской области.

$$З_{н.в.з} = K_{нр} \cdot P' = 1,18 \cdot 0,031 = 0,037 \text{ р./м}^3; \quad (4.13)$$

$$T_{н.в.з} = K_{нр} \cdot H'_{вр} = 1,18 \cdot 0,01 = 0,012 \text{ чел.-дн./м}^3, \quad (4.14)$$

где 0,031 – затраты на заработную плату при подогреве воды и заполнителей.

Затраты на установку и разборку утеплителя

$$\begin{aligned} Z_{ут} &= K_{нр} [P'(F_{отк} \cdot n_{сл} / V_{\bar{o}}) + P''(F_{он} \cdot n_{сл} / V_{\bar{o}})] = \\ &= 1,18 [0,019 (6,25 \cdot 1 / 6,8 + 0,06 (12,8 / 6,8))] = 0,154 \text{ р./м}^3, \end{aligned} \quad (4.15)$$

где 0,019; 0,06 – расценки по утеплению и разборке утеплителя на горизонтальных и вертикальных поверхностях соответственно;

$F_{отк}$  – площадь открытой неопалубливаемой поверхности конструкции,

$$F_{отк} = 2,5 \cdot 2,5 = 6,25 \text{ м}^2;$$

$n_{сл}$  – количество слоев утеплителя ( $n = 1$  слой, см. расчет выше);

$F_{он}$  – площадь опалубливаемой поверхности,  $\text{м}^2$ ,

$$F_{он} = 0,8 \cdot 4 \cdot 2,5 + 0,8 \cdot 4 \cdot 1,5 = 12,8 \text{ м}^2.$$

$$\begin{aligned} T_{ут} &= K_{нр} \cdot [H'_{вр} \cdot (F_{отк} \cdot n_{сл} / V_{\bar{o}}) + H''_{вр} \cdot (F_{он} \cdot n_{сл} / V_{\bar{o}})] = \\ &= 1,18 \cdot [0,005 \cdot (6,25 \cdot 1 / 6,8 + 0,014 \cdot (12,8 / 6,8))] = 0,037 \text{ чел.-дн./м}^3, \end{aligned} \quad (4.16)$$

где  $H'_{вр}$ ,  $H''_{вр}$  – нормы времени по устройству и разборке утепления на горизонтальных и вертикальных поверхностях соответственно,  $H'_{вр} = 0,005$ ,  $H''_{вр} = 0,014$  ;

$$\begin{aligned} C_{ут.} &= \frac{C'_{ут} F_{отк} \delta n_{сл}}{O_1 V_{\bar{o}}} + \frac{C''_{ут} F_{он} \delta n_{сл}}{O_2 V_{\bar{o}}} = \\ &= \frac{33,9 \cdot 6,25 \cdot 0,02 \cdot 1}{5 \cdot 6,28} + \frac{33,9 \cdot 12,8 \cdot 0,02 \cdot 1}{10 \cdot 6,28} = 0,135 + 0,138 = 0,273 \text{ р./м}^3, \end{aligned} \quad (4.17)$$

где  $C'_{ут}$ ,  $C''_{ут}$  – стоимость утеплителя (плиты минераловатные прошивные), уложенного на горизонтальной и вертикальной поверхностях соответственно (см. таблицу Г.2),  $\text{р./м}^2$ ;

$F_{om}$  – площадь открытой неопалубливаемой поверхности конструкции, м<sup>2</sup>;

$\delta$  – толщина слоя утеплителя, м ( $\delta = 2$  см, см. расчет выше);

$n_{cl}$  – количество слоев утеплителя (по расчету  $n_{cl} = 1$ );

$O_1, O_2$  – оборачиваемость утеплителя, уложенного на горизонтальные и вертикальные поверхности соответственно.

Затраты по контролю качества при методе «термос» зависят от времени остывания и определяются по формулам:

– если  $\tau_{ост} \leq 24$  ч,

$$\begin{aligned} Z_{\kappa} &= P' \frac{\tau_{ост}}{2} \cdot \frac{q}{V_{\delta}} + P'' \frac{q}{V_{\delta}}; \\ T_{\kappa} &= H'_{\text{вп}} \frac{\tau_{ост}}{2} \cdot \frac{q}{V_{\delta}} + H''_{\text{вп}} \frac{q}{V_{\delta}}; \end{aligned} \quad (4.18)$$

– если  $24 < \tau_{ост} < 96$  ч,

$$\begin{aligned} Z_{\kappa} &= P' \left( 12 + \frac{\tau_{ост} - 24}{4} \right) \frac{q}{V_{\delta}} + P'' \frac{q}{V_{\delta}}; \\ T_{\kappa} &= H'_{\text{вп}} \left( 12 + \frac{\tau_{ост} - 24}{4} \right) \frac{q}{V_{\delta}} + H''_{\text{вп}} \frac{q}{V_{\delta}}; \end{aligned} \quad (4.19)$$

– если  $\tau_{ост} > 96$  ч,

$$\begin{aligned} Z_{\kappa} &= P' \left( 30 + \frac{\tau_{ост} - 96}{24} \right) \frac{q}{V_{\delta}} + P'' \frac{q}{V_{\delta}}; \\ T_{\kappa} &= H'_{\text{вп}} \left( 30 + \frac{\tau_{ост} - 96}{24} \right) \frac{q}{V_{\delta}} + H''_{\text{вп}} \frac{q}{V_{\delta}}, \end{aligned} \quad (4.20)$$

где  $P', H'_{\text{вп}}$  – расценка и норма времени по замеру температур соответственно;

$\tau_{ост}$  – время остывания конструкции;

$q$  – количество температурных скважин на конструкцию, шт.;

$P'', H''_{\text{вп}}$  – расценка и норма времени по изготовлению пробок соответственно.

Согласно п. 3 решения данной задачи  $\tau = 72$  ч, поэтому для расчета  $Z_{\kappa}$  и  $T_{\kappa}$  используем формулы, приведенные в п. 6:

$$\begin{aligned} Z_{\kappa} &= 1,18 \cdot \left[ 0,049 \cdot \left( 12 + \frac{72 - 24}{4} \right) \cdot \frac{4}{6,8} + 0,0125 \cdot \frac{4}{6,8} \right] = 0,823 \text{ р./м}^3; \\ T_{\kappa} &= 1,18 \cdot \left[ 0,0125 \cdot \left( 12 + \frac{72 - 24}{4} \right) \cdot \frac{4}{6,8} + 0,005 \cdot \frac{4}{6,8} \right] = 0,211 \text{ (чел.-дн.)}/\text{м}^3. \end{aligned} \quad (4.21)$$

Дополнительные затраты:  $C'_{\text{мат}} = C_{\text{шт}} = 0,273 \text{ р./м}^3$ ;  $C''_{\text{мат}} = C_{\text{п.в.з.}} = 0,18 \text{ р./м}^3$ ;

$$\begin{aligned}
Z_m &= (1,18-1) \cdot (Z_{on} + Z_{арм} + Z_{укл}) + Z_{ум} + Z_{п.в.з} + Z_{к} = \\
&= (1,18-1) \cdot (0,8 + 0,35 + 0,217) + 0,154 + 0,037 + 0,823 = 1,260 \text{ р./м}^3,
\end{aligned} \quad (4.22)$$

где 1,18 – усредненный поправочный коэффициент к нормам времени и расценкам;

$$\begin{aligned}
T_m &= (1,18-1) \cdot (T_{on} + T_{арм} + T_{укл}) + T_{ум} + T_{п.в.з} + T_{к} = \\
&= (1,18-1) \cdot (0,176 + 0,08 + 0,047) + 0,037 + 0,012 + 0,211 = 0,315 \text{ чел.-дн./м}^3.
\end{aligned}$$

Общая стоимость способа «термос»

$$S_m = \Pi_m = 1,09C'_{\text{мат}} + C''_{\text{мат}} + 1,15 \cdot Z_m = 1,09 \cdot 0,273 + 0,18 + 1,15 \cdot 1,260 = 1,927 \text{ р./м}^3,$$

где  $S_m$  – общая стоимость способа «термос», р./м<sup>3</sup>;

$C'_{\text{мат}}$  – стоимость материалов, р./м<sup>3</sup>;

$C''_{\text{мат}}$  – стоимость остальных материалов, р./м<sup>3</sup>;

$Z$  – заработная плата, р./м<sup>3</sup>;

$\Pi_m$  – приведенные затраты по методу «термос».

### **Расчет технико-экономических показателей бетонирования с электродным прогревом бетона.**

Дополнительные условия:

- температура изотермического прогрева  $t_u = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- скорость подъема температуры  $P = 5 \text{ град/ч}$ ;
- электроды нашивные сечением  $40 \times 3 \text{ мм}$ ;
- время транспортирования бетонной смеси в автосамосвале  $t_{mp} = 15 \text{ мин}$ ;
- продолжительность укладки и уплотнения бетона  $t_{укл} = 10 \text{ мин}$ .

1 Требуемая температура бетона на выходе из бетономешалки при условии, что к моменту электропрогрева  $t_{б.н} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

$$t_{см} = \frac{t_{б.н} - t_{н.в} \sum \Delta t_{mp}}{1 - \sum \Delta t_{mp}} = \frac{5 - (-15)0,1535}{1 - 0,1535} = 8,6 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (применяем } t_{см} = 9 \text{ }^\circ\text{C)}, \quad (4.23)$$

где

$$\begin{aligned}
\sum \Delta t_{mp} &= \Delta t_n + \Delta t_{mp} + \Delta t_{пер} + \Delta t_{кр} + \Delta t_{укл} = \\
&= 0,032 + 0,0025 \cdot 15 + 0,032 + 0,0022 \cdot 10 + 0,003 \cdot 10 = 0,1535.
\end{aligned} \quad (4.24)$$

2 Определим продолжительность изотермического прогрева бетона при температуре  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  до приобретения прочности  $50 \% f_{c,cube}^G$  к концу остывания до  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ , если скорость подъема температуры  $P = 5 \text{ град/ч}$ , опалубка из досок толщиной  $25 \text{ мм}$ , скорость ветра –  $5 \text{ м/с}$ :

- продолжительность подъема температуры  $t_n = (40 - 5) / 5 = 7 \text{ ч}$ ;

– средняя температура  $t_{\bar{o}.cp} = (40 + 5)/2 = 22,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

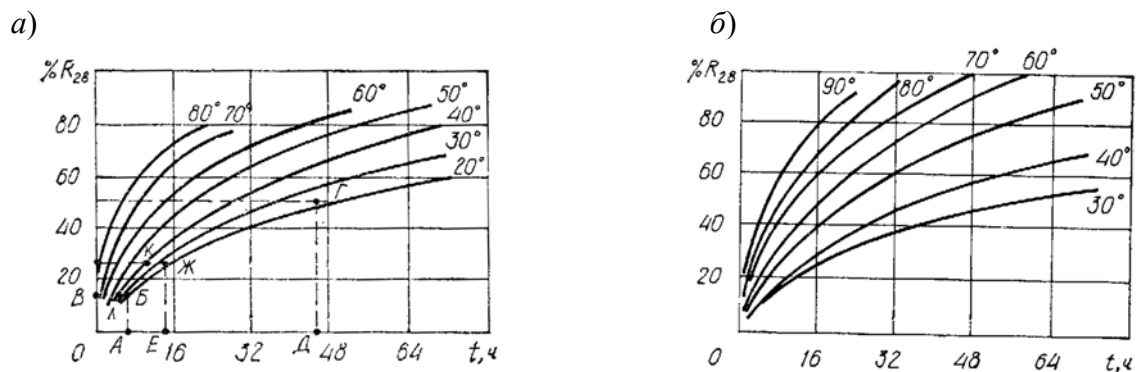
– величина прочности бетона за время подъема температуры определяется по рисунку 4.1 следующим образом: из точки **A** на оси абсцисс, например, соответствующей времени 7 ч, проводим перпендикуляр до пересечения с кривой прочности при температуре  $22,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  в точке **B**; проекция точки **B** на ось ординат (точка **B**) укажет величину прочности за время подъема температуры (7 ч); в данном случае это 14 %  $f_{c,cube}^G$ ;

– найдем величину относительной прочности при остывании, для чего, используя формулу Б. Г. Скрамтаева (2.12) и пренебрегая тепловыделением цемента, которое по окончании изотермического прогрева незначительно, подсчитаем сначала продолжительность остывания бетона:

$$\tau_{ост} = \frac{C_{\bar{o}} \gamma_{\bar{o}} (t_n - t_{\bar{o}.к})}{3,6 K M_n (t_{\bar{o}.cp} - t_{н.в})} = \frac{1,05 \cdot 2400 (40 - 5)}{3,6 \cdot 5,2 \cdot 3,72 (23 + 15)} = 33 \text{ ч};$$

$$t_{\bar{o}.cp} = t_{\bar{o}.к} + \frac{t_{\bar{o}.н} - t_{\bar{o}.к}}{1,03 + 0,181 M_n + 0,006 (t_{\bar{o}.н} - t_{\bar{o}.к})} = 5 + \frac{40 - 5}{1,03 + 0,181 \cdot 3,72 + 0,006 (45 - 5)} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

3 Затем определим прочность бетона, приобретенную в процессе остывания. Для этого из точки **Г** на пересечении прямой, соответствующей 50 %  $f_{c,cube}^G$ , с кривой прочности при  $23^{\circ}$  (рисунок 4.1, а) опускаем перпендикуляр на ось абсцисс (точка **Д**). От точки **Д** откладываем влево отрезок, соответствующий продолжительности остывания – 33 ч (точка **Е**). Из точки **Е** восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой прочности при  $23^{\circ}\text{C}$  (точка **Ж**). Проекция **ЕЖ** на ось ординат соответствует значению прочности бетона, приобретенной в процессе остывания. Она составляет 27 %  $f_{c,cube}^G$ .



а – на портландцементе марки 400, 500; б – на шлакопортландцементе марки 400

Рисунок 4.1 – Графики нарастания прочности бетона (процент от  $f_{c,cube}^G$ ) марки 200 в зависимости от продолжительности и температуры твердения

Продолжительность изотермического прогрева определяется проекцией на ось абсцисс отрезка **KL**, соответствующего 9 %  $f_{c,cube}^G$  и лежащего на кривой прочности при 40 °С. Величина этой проекции в данном случае равна 5 ч ( $\tau_{ост} = 5$  ч). Точка **K** находится на пересечении с кривой прочности при 40 °С проецирующей линией на ось ординат из точки **Ж**, а точка **L** – на пересечении с кривой при 40 °С проецирующей на ось ординат линией из точки **Б**.

Требуемая удельная мощность в период подъема температуры должна быть  $P'_n = 3,875$  кВт/м<sup>3</sup>.

Требуемая удельная мощность в период изотермического прогрева должна быть  $P_n = 1,145$  кВт/м<sup>3</sup>.

4 Мощность установки на период подъема температуры с учетом сменного потока бетона, равного 40 м<sup>3</sup>,

$$P_n = 3,875 \cdot 40 = 155 \text{ кВт}.$$

Для обеспечения данной мощности принимаем трансформатор марки ТМ 160/6 мощностью 160 кВт·А, и стоимостью 560 р.

5 Расход электроэнергии

$$W = P_n \tau_n + P_u \tau_u = 3,875 \cdot 7 + 1,145 \cdot 5 = 33 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3.$$

6 Затраты на опалубку, армирование и укладку бетонной смеси такие же, как и при использовании метода «термос»:

$$Z_i = (1,18 - 1,0) \cdot (0,8 + 0,35 + 0,217) = 0,246 \text{ р./м}^3;$$

$$T_i = (1,18 - 1,0) \cdot (0,176 + 0,08 + 0,047) = 0,055 \text{ чел.-дн./м}^3.$$

7 Затраты на подогрев воды, заполнителей и на утепление такие же, как при способе предварительного электроразогрева:

$$T_{н.в.з} = 0,012 \text{ чел.-дн./м}^3; \quad C_{н.в.з} = 0,086 \text{ р./м}^3;$$

$$Z_{ym} = 0,021 \text{ р./м}^3; \quad T_{ym} = 0,0045 \text{ чел.-дн./м}^3;$$

$$C_{ym} = 0,086 \text{ р./м}^3.$$

## 8 Стоимость оборудования

$$\begin{aligned}
C_{обор} &= \frac{K_i A_i n_i (\tau_n + \tau_u)}{n_{э.см} \Pi_{см} \cdot 8} + \frac{0,08 K_i}{n_{э.см} \Pi_{см}} + \frac{9 n_{пер}}{n_{э.см} \Pi_{см}} = \\
&= \frac{560 \cdot 0,064 \cdot 1 + 465 \cdot 0,5 \cdot (7 + 5)}{372 \cdot 40 \cdot 8} + \frac{0,8 \cdot (560 + 465)}{372 \cdot 40} + \frac{9 \cdot 23}{372 \cdot 40} = \\
&= 0,027 + 0,0056 + 0,014 = 0,0465 \text{ р./м}^3, \quad (4.25)
\end{aligned}$$

где 560 – стоимость трансформатора, р.;

465 – стоимость комплекта кабелей и проводов, р.;

0,064; 0,5 – процент амортизационных отчислений на трансформатор и на комплект проводов и кабелей соответственно;

7 – продолжительность подъема температуры, ч;

5 – продолжительность изотермического прогрева, ч;

372 – количество смен работы трансформатора в году;

40 – производительность установки в смену, м<sup>3</sup> /смену;

23 – число перестановок трансформатора в году.

Удельные капитальные затраты  $K_{эн} = (560 + 465)/(372 \cdot 40) = 0,069 \text{ р./м}^3$ .

## 9 Стоимость электроэнергии

$$\begin{aligned}
C_{эн} &= \frac{C_i P_i n_i (\tau_n + \tau_u)}{n_{э.см} \Pi_{см} \cdot 8} + CW = \\
&= \frac{26,6 \cdot 160 \cdot 1(7 + 5)}{372 \cdot 40 \cdot 8} + 0,0064 \cdot 33 = 0,429 + 0,211 = 0,640 \text{ р./м}^3, \quad (4.26)
\end{aligned}$$

где  $C_i$  – основная плата за год, за 1 кВт·А оплачиваемой мощности ( $C_i = 26,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ ;  $C = 0,0064 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ );

$P_i$  – мощность трансформатора, кВт,  $P_i = 160 \text{ кВт}$ ;

$n_i$  – количество трансформаторов, шт.,  $n_i = 1 \text{ шт.}$ ;

$W$  – расход электроэнергии, кВт · ч на 1 м<sup>3</sup> бетона,  $W = 33 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  на 1 м<sup>3</sup>.

## 10 Сумма заработной платы, трудоемкость и стоимость электродов:

– заработная плата и трудоемкость по изготовлению, установке и разборке электродов

$$Z_{эл} = K_{нр} P' \cdot (F_{он} / V) = 1,18 \cdot 0,144 \cdot (12,8/6,8) = 0,32 \text{ р./м}^3; \quad (4.27)$$

$$T_{эл} = K_{нр} H_{вр} \cdot (F_{он} / V) = 1,18 \cdot 0,038 \cdot (12,8/6,8) = 0,084 \text{ чел.-дн./м}^3, \quad (4.28)$$

где  $P'$  – расценка за установку и нашивку электродов на 1 м<sup>2</sup> опалубки;

$F_{он}$  – площадь опалубки одного фундамента, м<sup>2</sup>;

$V$  – объем бетона в одном фундаменте м<sup>3</sup>.



$$C_{эл} = C_{ст} \cdot (m_{эл} / O_{эл}) \cdot (F_{он} / V) = 0,12 \cdot (4,56 / 5) \cdot (12,8 / 6,8) = 0,21 \text{ р./м}^3, \quad (4.29)$$

где  $C_{ст}$  – стоимость 1 кг стали (0,12 р.);

$m_{эл}$  – масса электродов (по расчету) на 1 м<sup>2</sup> опалубки;

$O_{эл}$  – оборачиваемость электродов (принимается равной 5).

11 Затраты на обслуживание установок прогрева

$$З_{обс} = K_{нр} \cdot З'_{об} \cdot n / П_{см} = 1,18 \cdot 10,56 \cdot 1/40 = 0,30 \text{ р./м}^3; \quad (4.30)$$

$$T_{обс} = K_{нр} \cdot T'_{об} \cdot n / П_{см} = 1,18 \cdot 2 \cdot 1/40 = 0,06 \text{ чел. – дн./м}^3, \quad (4.31)$$

где  $З'_{об}$ ,  $T'_{об}$  – заработная плата и трудоемкость обслуживания установок прогрева за смену соответственно, р. и чел.-дн.;

$n$  – число установок;

$П_{см}$  – производительность в смену, м<sup>3</sup>/смену.

12 Затраты по контролю качества

$$\begin{aligned} Z_{\kappa} &= K_{нр} \cdot \left[ P' \cdot \left( \frac{\tau_n}{2} + \frac{\tau_u + \tau_{ост}}{4} \right) \cdot \frac{q}{V} + P''_{вр} \cdot \frac{q}{V} \right] = \\ &= 1,18 \cdot \left[ 0,049 \cdot \left( \frac{7}{2} + \frac{5+33}{4} \right) \cdot \frac{4}{6,8} + 0,0125 \cdot \frac{4}{6,8} \right] = 0,45 \text{ р./м}^3; \end{aligned} \quad (4.32)$$

$$\begin{aligned} T_{\kappa} &= K_{нр} \cdot \left[ H'_{вр} \cdot \left( \frac{\tau_n}{2} + \frac{\tau_u + \tau_{ост}}{4} \right) \cdot \frac{q}{V} + H''_{вр} \cdot \frac{q}{V} \right] = \\ &= 1,18 \cdot \left[ 0,0125 \cdot \left( \frac{7}{2} + \frac{5+33}{4} \right) \cdot \frac{4}{6,8} + 0,005 \cdot \frac{4}{6,8} \right] = 0,099 \text{ чел.-дн./м}^3, \end{aligned} \quad (4.33)$$

где  $P'$ ,  $H'_{вр}$  – расценка и норма времени по замеру температур соответственно, р., чел.-дн.;

$P''$ ,  $H''_{вр}$  – то же, на изготовление пробок;

$q$  – количество температурных скважин.

Дополнительные затраты, согласно п. 7, 8, 10, 11, 12,

$$C'_{\text{мат}} = C_{\text{ут}} + C_{\text{обор}} + C_{\text{эл}} = 0,147 + 0,0465 + 0,21 = 0,404 \text{ р./м}^3;$$

$$C''_{\text{мат}} = C_{\text{п.в.з}} + C_{\text{эн}} = 0,086 + 0,640 = 0,726 \text{ р./м}^3;$$

$$З_{\text{эн}} = З_i + З_{\text{п.в.з}} + З_{\text{ут}} + З_{\text{эл}} + З_{\text{обс}} + З_{\kappa} =$$

$$= 0,246 + 0,037 + 0,021 + 0,32 + 0,30 + 0,45 = 1,37 \text{ р./м}^3;$$

$$T_{эм} = T_i + T_{н.в.з} + T_{ум} + T_k + T_{эл} + T_{обс} =$$

$$0,054 + 0,012 + 0,0045 + 0,084 + 0,06 + 0,099 = 0,314 \text{ чел.-дн./м}^3.$$

Общая стоимость данного способа работ

$$C_{эл} = 1,09C'_{мат} + C''_{мат} + 1,153 = 1,09 \cdot 0,404 + 0,726 + 1,15 \cdot 1,37 = 2,74 \text{ р./м}^3.$$

Приведенные затраты по данному способу

$$П_{эн} = C_{эн} + 0,15K_{эн} = 2,74 + 0,15 \cdot 0,069 = 2,75 \text{ р./м}^3.$$

Сравним результаты расчетов (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Техничко-экономические показатели разных способов производства работ

Способ бетонирования	$C$ , р./м <sup>3</sup>	$T$ , чел.-дн./ м <sup>3</sup>	$П$ , р./м <sup>3</sup>
«Термос»	1,927	0,315	1,927
Электронагрев	2,74	0,314	2,75

Как видно из таблицы 4.1, наиболее дешевый – способ «термос». Его и следует принять в данном случае в производстве.

## 5 Практическое занятие № 5. Проектирование технологических решений по ремонтно-восстановительным работам ограждающих конструкций

Задания на практические занятия выбираются для каждого студента индивидуально (приложение Д).

### Технология выполнения работ.

Для эффективного проведения ремонтных работ необходимо, прежде всего, установить причины, степень и объем повреждений.

Объем работ определяется в зависимости от исходного состояния восстанавливаемой поверхности, наличия интенсивной коррозии арматуры и отслоения бетона от поврежденной арматуры.

Ремонт стен (для несущих и ограждающих конструкций в случае коррозии арматуры с отслоением бетона от поврежденной арматуры).

Поверхность при производстве ремонтных работ предварительно очищают от пыли, загрязнений, жировых пятен, солевого налета и других веществ, способных оказать отрицательное воздействие на адгезию. Очистка поверхности производится с помощью стальных щеток, шпателей или струйным методом.

Жировые пятна удаляют с помощью различных растворителей и специальных составов. После удаления загрязнений поверхность обеспыливают сжатым воздухом (при наружной отделке).

Срубку поврежденного бетона производят вручную с помощью зубил, молотков с двойным заострением, скарпелей. На больших площадях применяются электро- и пневмомолотки, электрические щетки, водо- или пескоструйные аппараты. При этом арматура, подверженная коррозии, должна быть освобождена от бетона на 2 см больше в обе стороны от начала коррозионной зоны. Бетон удаляется под углом 45°.

Освобожденная от бетона арматура очищается от ржавчины при помощи водо- или пескоструйного аппарата или металлических щеток. После чего обработанная поверхность очищается от пыли струей воздуха.

Оставшаяся после обработки водо- или пескоструйными аппаратами или металлическими щетками ржавчина удаляется с помощью следующих составов:

- состав для очистки и защиты металла от ржавчины «ЗиМ»;
- преобразователь ржавчины ТУ РБ 07615101.030-96) и др.

На подготовленную поверхность старого бетона кистью наносится грунтовка «Полимикс-грунт укрепляющий», обладающая высокой проникающей способностью, с целью укрепления поверхностного слоя. «Полимикс-грунт укрепляющий» наносится в 1–2 слоя и высыхает в течение 20...30 мин в зависимости от условий среды и структуры основания.

Подготовленная арматура обрабатывается полимерминеральной грунтовкой-праймером, которая гарантирует защиту от коррозии внутри общей системы. Грунтовка наносится кистью толщиной не более 1 мм в 1–2 слоя с интервалом в 1...1,5 ч (рисунок 5.1).

С помощью щетки (кистью) наносится адгезионный слой (полимерминеральная грунтовка-праймер) между старым бетоном и ремонтным составом. Грунтовку наносят в 1–2 слоя толщиной не менее 1 мм. Первый слой следует тщательно втирать в «старую» бетонную поверхность. На подготовленную поверхность не более чем через 10...15 мин наносится ремонтный состав «Полимикс – ШС<sub>р</sub>».

Способ обработки – «мокрое на мокрое», в противном случае возникает опасность того, что промежуточный слой для лучшего сцепления превратится в разделительный слой. Ремонтный состав наносится вручную.

Ремонтные штукатурные составы могут наноситься в один слой толщиной 25...30 мм. При толщине свыше указанной необходимо наносить несколько слоев. При этом каждый последующий слой наносится после схватывания предыдущего (2...3 ч). Если нижний слой «пересох» (более чем 24 ч), необходимо его смочить водой или при необходимости огрунтовать «Полимикс-грунт». Армирующую сетку следует применять согласно строительным нормам при толщине штукатурки более 20 мм (при ремонте на больших площадях).

Для уменьшения водо- и газопроницаемости конструкций (с целью дальнейшего снижения скорости карбонизации) на подготовленную поверхность вместо состава «Полимикс-Ш» наносится гидроизоляционный состав «Полимикс-ГС эластичный». Толщина слоя регламентируется проектом.



### Организация труда.

Ремонтные работы выполняются бригадой штукатуров-маляров в количестве 7 человек, в том числе: пескоструйщик 4 разряда – 1; пескоструйщик 3 разряда – 1; штукатур-маляр 4 разряда – 1; штукатур-маляр 3 разряда – 2; штукатур-маляр 2 разряда – 2.

Состав работ, выполняемых отделочниками при подготовке поверхности и при нанесении составов, приведен в таблицах 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Состав работ

Вид работы	Профессия	Разряд	Количество человек	Выполняемая операция
Подготовка поверхности	Штукатур (маляр)	2	1	Срубка бетона, зачистка поверхности и арматуры
Очистка поверхности и арматуры пескоструйными аппаратами	Пескоструйщик	4 3	1 1	Обработка поверхности бетона и арматуры пескоструйным аппаратом
Огрунтовка поверхности бетона	Штукатур (маляр)	3	1	Нанесение «Полимикс-грунт укрепляющий»
Огрунтовка арматуры	Штукатур (маляр)	3	1	Нанесение грунтовки полимерминеральной
Нанесение ремонтных составов	Штукатур (маляр)	4 3	1 1	Нанесение «Полимикс-ШС <sub>р</sub> » и других составов. Приготовление составов

### Пример расчета.

Таблица 5.2 – Калькуляция затрат труда на ремонт стен

Обоснование	Наименование работы	Единица измерения	Объем работ	Норма времени на ед. изм. чел.-ч/ маш.-ч	Состав звена			Норма времени на весь объем, чел.-ч/ маш.-ч
					Профессия	Разряд	Количество	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Е8-1-15 т. 4 п. 7б	Очистка поверхности с обеспыливанием сжатым воздухом	100 м <sup>2</sup>	0,418	<u>0,31</u> 0,31	Штукатур	2	1	<u>0,1296</u> 0,1296
Е8-1-1 т. 2 п. 2д	Срубка бетона вручную	100 м <sup>2</sup>	0,084	124	Штукатур	2	1	10,416
Е8-1-15 т. 12 п. 1в	Очистка арматуры от ржавчины	100 м <sup>2</sup>	0,0418	16,5	Штукатур			0,6897
Е20-1-176 п. 2	Очистка арматуры от ржавчины с помощью пескоструйного аппарата	100 м <sup>2</sup>	0,0418	<u>9</u> 4,5	Пескоструйщик	<u>4</u> 3	<u>1</u> 1	<u>0,3762</u> 0,1881

Окончание таблицы 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Е20-1-188 т. 4 п. 11а	Грунтование поверхности бетона составом «Полимикс-грунт» укрепляющий кистью в один слой	100 м <sup>2</sup>	0,418	2,8	Маляр	3	1	1,1704
Е8-1-15 т. 12 п. 3в к = 2	Грунтование арматуры полимерминеральной грунтовкой-праймер кистью за 2 раза	100 м <sup>2</sup>	0,0418	26	Маляр	3	1	1,0868
Е20-1-188 т. 4 п. 11а	Нанесение адгезионного слоя полимерминеральной грунтовкой-праймер один слой	100 м <sup>2</sup>	0,418	2,8	Маляр	3	1	1,1704
Е8-1-2 т. 2 п. 4	Нанесение ремонтного состава «Полимикс-ШСр» вручную в один слой толщиной 25...30 мм	100 м <sup>2</sup>	0,418	26,5	Штукатур	$\frac{4}{3}$	$\frac{1}{1}$	11,077
Е8-1-15 т. 6 п. 16	Нанесение шпатлевочного состава «Полимикс-Ш»	100 м <sup>2</sup>	0,418	11,5	Маляр	3	1	4,807

## 6 Практическое занятие № 6. Выбор конструктивно-технологических решений по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных конструкций

Задание на практические занятия выбирается для каждого студента индивидуально согласно таблице Е.1.

### Категории технического состояния железобетонных колонн.

Железобетонные колонны относятся к конструкциям первой степени ответственности [3, с. 18], локальный отказ которых может привести к полному или ограниченному отказу системы элементов (здания или сооружения), к значительному снижению показателей эксплуатационных качеств конструкций или помещений, существенному ухудшению основных технико-экономических показателей.

Оценку технического состояния железобетонных колонн производят по следующим категориям [3].

Категория I – исправное (хорошее) состояние – конструкция железобетонной колонны удовлетворяет предъявляемым требованиям по прочности (устойчивости), жесткости и трещиностойкости. Долговечность колонны по сравнению с проектной не снижена.

Категория II – работоспособное (удовлетворительное) состояние – конструкция железобетонной колонны удовлетворяет предъявляемым требованиям по прочности (устойчивости), жесткости и трещиностойкости. Имеются признаки снижения долговечности колонны по сравнению с проектной.

Категория III – ограниченно работоспособное (не вполне удовлетворительное) состояние – конструкция железобетонной колонны удовлетворяет предъявляемым требованиям по прочности (устойчивости), жесткости и трещиностойкости. Долговечность колонны существенно снижена. Опасность обрушения отсутствует.

Категория IV – неработоспособное (неудовлетворительное) состояние – конструкция железобетонной колонны не удовлетворяет предъявленным к ней требованиям по прочности (устойчивости) или жесткости.

Категория V – предельное (предаварийное) состояние – конструкция железобетонной колонны не удовлетворяет предъявленным к ней требованиям по прочности (устойчивости). Существует опасность обрушения и угроза безопасности работающих.

Техническое состояние железобетонных колонн характеризуется классами дефектов и степенью их распространения по длине колонны.

Класс дефектов следует устанавливать по данным, приведенным в таблице Е.1.

Степень распространения дефектов устанавливают из выражения

$$C_k = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{l_k}, \quad (6.1)$$

где  $l_i$  – длина поврежденного участка колонны, м;

$l_k$  – длина всей колонны, м;

$n$  – число поврежденных участков.

Категорию технического состояния следует определять по сочетанию наиболее значимого класса дефекта и степени их распространения по длине колонны (таблица 6.1).

В зависимости от категории технического состояния принимают решение о выполнении необходимых мероприятий по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн.

### **Мероприятия по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн.**

Мероприятия по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн планируют, исходя из категории их технического состояния.

В соответствии с рекомендациями технической литературы и действующими нормативными документами и практикой усиления конструктивные и организационно-технологические мероприятия по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.1 – Категории технического состояния железобетонных колонн

Класс дефекта	Категория технического состояния железобетонных колонн		
	Степень распространения дефектов по длине колонны, %		
	Единичные (до 10)	Многочисленные (от 10 до 40)	Массовые (св. 40)
Класс 3 (малозначительные дефекты) – уменьшение поперечного сечения до 10 %: шелушение граней и поверхности бетона отслоение лещадок бетона сколы бетона на гранях, выбоины, раковины усадочные трещины	I, II	II	III
Класс 2 (значительные дефекты) – уменьшение поперечного сечения от 10 % до 40 %: трещины вдоль продольной арматуры, обнажение и коррозия арматуры трещины вдоль поперечной арматуры, обнажение и коррозия арматуры сколы бетона, обнажение и коррозия рабочей арматуры	III	IV	V
Класс 1 (критические дефекты) – уменьшение поперечного сечения св. 40 %: трещины в консолях и в местах опирания балок продольные силовые трещины поперечные (нормальные) силовые трещины разрушение сечения колонны, коррозия и разрывы рабочей арматуры	IV	IV, V	V

Таблица 6.2 – Мероприятия по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн

Категория технического состояния железобетонных колонн	Вид дефекта	Мероприятие по восстановлению железобетонных колонн
1	2	3
<b>I – исправное (хорошее) состояние.</b> Физический износ – до 10 %. <i>Дефекты устраняются в процессе технического обслуживания</i>	<i>Единичные малозначительные дефекты, не снижающие несущую способность и долговечность колонны:</i> волосные трещины в растянутой зоне небольшие сколы и раковины в пределах защитного слоя рабочей арматуры	Покрытие защитными составами во время технического обслуживания колонн



Окончание таблицы 6.2

1	2	3
<b>II – неисправное</b> <i>(удовлетворительное)</i> <b>состояние.</b> Физический износ – от 11 % до 30 %. <i>Дефекты устраняются в процессе технического обслуживания и текущего ремонта</i>	<i>Единичные или многочисленные малозначительные дефекты, существенно не снижающие несущую способность колонны:</i> шелушение граней и поверхности бетона отслоение лещадок бетона сколы бетона, выбоины, раковины до 5 % сечения колонны усадочные трещины и трещины (ширина раскрытия трещин до 0,3 мм)	Затирка трещин ремонтными составами, восстановление защитного слоя бетона во время текущего ремонта колонн
<b>III – ограниченно работоспособное</b> <i>(не вполне удовлетворительное)</i> <b>состояние.</b> Физический износ – от 31 % до 40 %. <i>Дефекты устраняются в процессе ремонта и усиления</i>	<i>Многочисленные малозначительные или единичные значительные дефекты:</i> маслянистые пятна, отслоение лещадок бетона, сколы и выбоины, достигающие 30 % всего сечения колонны (глубиной до 5 мм не более трех на 1 м <sup>2</sup> ) следами коррозии на рабочей арматуре с уменьшением ее площади до 5 % трещины в растянутой зоне (ширина раскрытия трещин до 0,5 мм)	Ремонт с частичной разборкой бетона, исправление поврежденной арматуры, перебетонирование сколов и выбоин, инъектирование трещин, увеличение сечения и усиление поврежденных участков колонн
<b>IV – неработоспособное</b> <i>(неудовлетворительное)</i> <b>состояние.</b> Физический износ – от 41 % до 60 %. <i>Дефекты устраняются в процессе капитального ремонта и усиления посредством увеличения поперечного сечения с предварительной разгрузкой</i>	<i>Многочисленные значительные или единичные, многочисленные критические дефекты:</i> пропитка бетона нефтепродуктами трещины в консолях и в местах опирания балок (ширина раскрытия трещин до 1 мм) трещины вдоль продольной и поперечной арматуры (ширина раскрытия трещин до 1 мм) с нарушением ее сцепления с бетоном оголение и коррозия арматуры с уменьшением ее площади св. 5 % глубокие сколы бетона от 30 % до 50 % всего сечения колонны коррозия и разрывы арматуры от 30 % до 50 % рабочей арматуры	Усиления с увеличением поперечного сечения на всю высоту колонн путем устройства железобетонных обойм, односторонних и двухсторонних наращиваний, стальных обойм и стальных обойм с обетонированием
<b>V – предельное</b> <i>(предварийное)</i> <b>состояние.</b> Физический износ – от 61 % до 80 %. <i>Требуется вывод людей из опасной зоны, срочная разгрузка колонн и (или) устройство временных креплений с последующей разборкой и заменой</i>	<i>Массовые значительные или многочисленные, массовые критические дефекты:</i> массовые продольные и поперечные силовые трещины по всему сечению колонны (ширина трещин до 2 мм) сквозные трещины в основании колонны и на уровне верха консоли или оголовка, коррозия и разрывы арматуры св. 50 % рабочей арматуры разрушение св. 50 % всего сечения искривление колонны	В отдельных случаях применяют технические решения, характерные для IV категории технического состояния либо разборку и замену конструкции колонны

Для железобетонных колонн I и II категорий технического состояния требуется техническое обслуживание и текущий ремонт.

Для железобетонных колонн, относящихся к III категории технического состояния, выполняют ремонт с частичной разборкой бетона, исправлением поврежденной арматуры, перебетонированием сколов и выбоин, инъектированием трещин, а зачастую и с усилением поврежденных участков колонн.

Железобетонные колонны, относящиеся к IV категории технического состояния, усиливают посредством увеличения их поперечного сечения в виде железобетонных обойм, односторонних и двухсторонних наращиваний, стальных обойм и стальных обойм с обетонированием.

При повреждении поперечного сечения свыше 50 % (V категория технического состояния) колонны относятся в основном к разрушенным, хотя в некоторых случаях могут быть восстановлены с применением технических решений, характерных для IV категории технического состояния.

### **Технические решения по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн.**

При выборе технического решения восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн следует учитывать факторы, определяющие возможность применения того или иного технического решения в данных условиях с учетом агрессивности среды и пожароопасности производственных помещений, недопустимости запыленности и сварочных работ во взрывоопасных помещениях, а также стесненных условий производства работ.

Для восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн существует значительное число технических решений, среди которых наибольшее распространение получили следующие: *ремонт и восстановление с помощью сухих ремонтных составов; устройство железобетонных обойм; одностороннее и двухстороннее наращивания сечения колонны; усиление стальными обоймами без обетонирования и с обетонированием стальных обойм.*

## Список литературы

- 1 Техническое состояние зданий и сооружений: СН 1.04.01–2020. – Введ. 27.10.2020 (с отменой ТКП 45-1.04-305–2016). – Мн. : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 68 с.
- 2 Ремонт и модернизация зданий и сооружений: СП 1.04.01–2021. – Введ. 02.02.2021 (с отменой ТКП 45-1.04-206–2010). – Мн. : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2022. – 13 с.
- 3 Возведение строительных конструкций зданий и сооружений: СН 1.03.01–2019. – Введ. 29.11.2019 (с отменой ТКП 45-1.03-314–2008). – Мн. : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 358 с.
- 4 Обследование и усиление каменных и армокаменных конструкций: СП 1.04.03–2022. – Введ. 25.05.2022 (введен впервые). – Мн. : Минстройархитектуры, 2022. – 78 с.
- 5 Обследование и усиление стальных конструкций: СП 1.04.03–2022. – Введ. 17.04.2023 (с отменой ТКП 45-5.04-49–007 и П1-04 к СНиП II-23–81\*). – Мн. : Минстройархитектуры, 2023. – 129 с.
- 6 Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений: СН 1.04.02–2022. – Введ. 05.05.2022 (с отменой ТКП 45-1.04-37–2008). – Мн. : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2022. – 72 с.
- 7 Снос зданий и сооружений: СН 1.03.03–2019. – Введ. 29.11.2019 (с отменой ТКП 45-1.03-312–2018). – Мн. : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 28 с.
- 8 Здания и сооружения. Оценка степени физического износа: ТКП 45-1.04-119–2008. – Введ. 29.10.08. – Мн. : Стройтехнорм, 2009. – 43 с.
- 9 Бетонные и железобетонные конструкции: СП 5.03.01–2020. – Введ. 16.09.2020 (с отменой СНиП 2.03.01-84 и СНБ 5.03.01–02). – Мн. : Минстройархитектуры, 2020. – 245 с.

## Приложение А (рекомендуемое)

Таблица А.1 – Варианты заданий для практической работы № 1

Номер варианта	Размер выемки поверху, м <sup>2</sup>	Глубина котлована $h_1$ , м	Глубина залега- ния грунтовых вод $h_2$ , м	Мощность водоносного слоя $H$ , м	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут
1	18 × 72	3,5	1,5	10	24
2	36 × 80	2,8	1,3	12	30
3	3 × 100	3,0	1,5	11	32
4	12 × 60	2,4	1,6	9	28
5	24 × 64	2,6	1,7	10	27
6	36 × 48	2,7	1,6	9	25
7	5 × 200	3,0	1,8	12	32
8	48 × 144	3,2	1,2	10	40
9	48 × 100	4,2	2,0	10	36
10	4 × 80	3,4	2,5	9	30
11	18 × 72	4,0	1,4	12	28
12	5 × 120	2,7	2,0	11	26
13	18 × 54	3,6	1,8	10	32
14	36 × 72	3,5	1,5	10	24
15	18 × 80	2,8	1,3	12	30
16	6 × 100	3,0	1,5	11	32
17	18 × 60	2,4	1,6	9	28
18	12 × 64	2,6	1,7	10	27
19	48 × 48	2,7	1,6	9	25
20	6 × 200	2,8	1,4	10	32
21	24 × 144	3,2	1,2	10	40
22	18 × 100	4,2	2,0	10	36
23	6 × 80	3,4	2,5	9	30
24	24 × 72	6,0	1,6	9	28
25	12 × 120	2,7	2,0	11	26
26	24 × 54	3,6	1,8	10	32
27	4 × 80	3,4	2,5	9	30
28	18 × 72	4,0	1,4	12	28
29	5 × 120	2,7	2,0	11	26
30	18 × 54	3,6	1,8	10	32

## Приложение Б (рекомендуемое)

Таблица Б.1 – Варианты заданий для практической работы № 2

Номер варианта	Размер, м					Бетон класса	ПЦ марки	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$P$ , кг/м <sup>3</sup>	$t_{н.в.}$ , °C	Ско- рость ветра, м/с
	$A$	$B$	$C$	$H$	$h$						
1	2,4	1,8	1,2	4,2	0,1	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	300	110	–18	1
2	2,1	1,5	0,0	2,1	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	310	90	–20	1
3	1,8	1,8	1,2	4,2	0,6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	300	110	–18	1
4	2,1	1,8	1,2	4,0	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	290	100	–18	1
5	2,7	2,1	1,5	3,0	0,6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	300	100	–20	1
6	2,7	2,1	1,5	3,0	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	320	120	–20	1
7	1,8	1,2	1,2	2,1	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	300	100	–18	1
8	1,8	1,2	1,2	2,1	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	310	120	–20	1
9	2,7	2,1	1,5	3,0	0,6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	300	100	–22	3
10	2,4	1,8	1,2	4,0	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	300	90	–20	3
11	2,7	2,1	1,5	2,1	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	250	100	–20	3
12	2,7	2,1	1,5	4,0	0,6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	280	110	–22	3
13	2,7	2,1	1,5	3,0	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	100	–24	3
14	2,4	2,1	1,2	1,8	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	290	100	–20	3
15	2,4	2,1	1,5	1,5	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	100	–24	3
16	2,4	1,8	1,2	1,8	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	110	–25	3
17	2,4	1,8	1,5	1,8	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	250	100	–25	3
18	2,4	1,8	1,5	1,5	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	250	110	–20	5
19	2,1	1,5	1,5	1,5	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	250	100	–18	5
20	2,1	1,5	0,3	1,5	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	110	–25	5
21	2,4	1,8	1,2	1,5	0,6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	250	10	–18	5
22	2,4	1,8	1,2	2,4	0,6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	100	–20	5
23	2,4	1,8	1,2	2,4	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	310	120	–25	5
24	2,4	1,8	1,2	2,4	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	300	110	–25	5
25	2,1	1,8	1,2	2,1	0,6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	310	110	–18	5
26	2,1	1,5	0,9	3,0	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	300	30	–22	10
27	2,4	1,8	1,2	2,1	0,6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	300	100	–25	10
28	2,4	1,8	1,2	3,0	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	290	110	–25	15
29	1,8	1,2	1,2	3,0	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	200	110	–25	15
30	1,8	1,2	1,2	2,1	0,3	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	300	100	–25	10

Таблица Б.2 – Значения коэффициента теплопередачи у наружной поверхности ограждения в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	Скорость ветра, м/с	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
0	3,77	10	33,18
1	3,88	15	43,15
3	14,96	20	52,50
5	26,56		

Таблица Б.3 – Требования к производству бетонных работ

Наименование показателей, технические требования	Значение показателей, единицы измерения
1 Прочность бетона монолитных и сборномонолитных конструкций к моменту замерзания (критическая прочность)	
1.1 Для бетона без противоморозных добавок: конструкций, эксплуатирующихся внутри зданий, фундаментов под оборудование, не подвергающихся динамическим воздействиям, подземных конструкций конструкций, подвергающихся атмосферным воздействиям в процессе эксплуатации, для классов прочности на сжатие: C <sup>8</sup> / <sub>10</sub> от C <sup>12</sup> / <sub>15</sub> до C <sup>20</sup> / <sub>25</sub> C <sup>25</sup> / <sub>30</sub> и выше	Не менее 5 МПа  % от проектной прочности, не менее  50 40 30
1.2 Для бетона с противоморозными добавками	К моменту охлаждения бетона до температуры, на которую рассчитано количество добавок – не менее 20 % от проектной прочности
2 Температура в процессе выдерживания и тепловой обработки для бетона на: портландцементе шлакопортландцементе	Определяется расчетом, но не выше, °C: 80 90
3 Скорость подъема температуры при тепловой обработке бетона: для конструкций с модулем поверхности, м <sup>-1</sup> : до 4 от 5 до 10 включ. св. 10 и скользящих опалубок для стыков	°C/ч, не более  5 10 15 20
4 Скорость остывания бетона по окончании тепловой обработки для конструкций с модулем поверхности, м <sup>-1</sup> : до 4 от 5 до 10 включ. св. 10	Определяется расчетом 5 °C/ч 10 °C/ч
5 Разность температур наружных слоев бетона и воздуха при распалубке с коэффициентом армирования до 1 % включ., св. 1 % до 3 % включ. и более 3 % должна быть, соответственно, для конструкций с модулем поверхности, м <sup>-1</sup> : от 2 до 5 включ. св. 5	°C, не более 20, 30, 40 30, 40, 50

Таблица Б.4 – Теплотехнические параметры материалов

Материал	Средняя плотность в сухом состоянии, $\text{кг/м}^3$	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии $\lambda$ , $\text{Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$	Коэффициент теплопроводности (расчетное значение) $\lambda'$ , $\text{Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$	Удельная теплоемкость в сухом состоянии $c$ , $\text{кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$
Фанера водостойкая ламинированная	700	0,12	0,18	2,3
Этафом	100	0,036	0,04	1,34
Снег рыхлый сухой	300	0,29	—	2,1
Лед	900	2,32	—	1,8
Песчаное и гравийное основание (мерзлое) при $W_m = 5 \dots 20 \%$	1600	1,10...2,73	1,10...2,73	1,05...1,47
Песчаное и гравийное основание (мерзлое) при $W_m = 5 \dots 20 \%$	1800	1,51...2,84	1,51...2,84	1,05...1,34
Песчаное и гравийное основание (мерзлое) при $W_m = 5 \dots 10 \%$	2000	2,14...2,90	2,14...2,90	1,05...1,13
Супеси пылеватые (мерзлые) при $W_m = 5 \dots 30 \%$	1600	0,87...1,97	0,87...1,97	1,05...1,55
Супеси пылеватые (мерзлые) при $W_m = 5 \dots 20 \%$	1800	0,99...1,97	0,99...1,97	1,05...1,34
Суглинки и глины (мерзлые) при $W_m = 5 \dots 30 \%$	1600	0,64...1,97	0,64...1,86	1,05...1,55
Суглинки и глины (мерзлые) при $W_m = 5 \dots 20 \%$	1800	0,75...1,80	0,75...1,80	1,05...1,34
Бетон (тяжелый) мерзлый	2400	1,6	1,9	1,05
Хвойные породы дерева поперек волокна	550	0,093	0,17	2,52
Лиственные породы дерева поперек волокна	700	0,104	0,23	2,52
Пенопласт плиточный	100	0,041	0,043	1,34
Пенопласт плиточный	150	0,046	0,049	1,34
Вата минеральная	100	0,04	0,049	0,76
Вата минеральная	150	0,05	0,06	0,76
Плиты минераловатные прошивные	100	0,044	0,048	0,76
Плиты минераловатные прошивные	200	0,053	0,06	0,76

## Приложение В (рекомендуемое)

Таблица В.1 – Варианты заданий для практической работы № 3

Номер варианта	Размер балки, м	Класс бетона	Марка це- мента	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$R$ , кг/м <sup>3</sup>	$t_{н.в}$	Ско- рость ветра, м/с	$t_{б.н}$	$t_{б.к}$	$\tau$	Про- цент от R <sub>28</sub>
1	0,5 × 1,2 × 6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	200	–25	1	60	5	3	70
2	0,6 × 1,2 × 6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	200	–25	1	60	5	3	70
3	0,8 × 1,2 × 6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	200	–25	1	70	5	3	70
4	0,5 × 1,5 × 6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	310	200	–20	3	60	5	3	70
5	0,6 × 1,5 × 6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	310	200	–20	3	60	5	5	90
6	0,8 × 1,5 × 6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	200	–20	3	60	5	5	90
7	0,4 × 1,5 × 6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	200	–20	3	60	5	7	80
8	0,4 × 1,2 × 6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	200	–18	3	60	5	7	80
9	0,3 × 1,2 × 6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	200	–18	3	60	5	7	80
10	0,3 × 1,5 × 6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	200	–18	3	60	5	7	90
11	0,3 × 1,2 × 12	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	200	–18	3	60	5	7	90
12	0,3 × 1,5 × 12	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	200	–18	3	60	10	7	90
13	0,3 × 1,8 × 12	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	200	–18	3	60	5	7	90
14	0,3 × 1,8 × 6	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	200	–18	3	60	5	7	90
15	0,4 × 1,8 × 12	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	230	–20	5	60	5	7	90
16	0,4 × 1,5 × 12	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	220	–18	5	60	5	5	80
17	0,4 × 1,5 × 12	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	210	–20	10	60	5	5	70
18	0,4 × 1,2 × 12	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	220	–20	10	60	5	5	80
19	0,3 × 2,1 × 12	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	250	–20	10	60	5	5	70
20	0,3 × 2,1 × 12	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	400	250	–25	5	60	5	7	90
21	0,3 × 2,1 × 12	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	400	300	–18	5	60	5	7	80
22	0,3 × 2,1 × 12	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	400	300	–20	10	60	5	7	80
23	0,5 × 2,1 × 12	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	400	300	–20	10	60	5	7	80
24	0,5 × 2,1 × 9	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	400	310	–25	10	60	5	7	80
25	0,5 × 2,1 × 9	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	400	310	–20	10	60	5	7	70
26	0,4 × 2,1 × 9	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	300	310	–18	5	60	5	5	70
27	0,4 × 2,1 × 9	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	300	310	–18	5	60	5	5	70
28	0,4 × 2,1 × 9	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	400	310	–20	5	60	5	7	70
29	0,4 × 2,1 × 9	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	300	320	–18	5	60	5	7	70
30	0,4 × 2,1 × 9	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	400	300	310	–18	5	60	5	7	70



## Приложение Г (рекомендуемое)

Таблица Г.1 – Варианты заданий для практической работы № 4

Но- мер ва- ри- анта	Размер двухступенчатого фундамента		Класс бетона	Мар- ка це- мента	Рас- ход це- мента, кг/м <sup>3</sup>	$t_{нв,х},$ °С	Ско- рость ветра, м/с	% $f_{c,cube}^G$
	Нижней ступени	Верхней ступени						
1	3000 × 3000 × 600	1800 × 1800 × 1200	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	400	350	−15	5	50
2	2700 × 2700 × 600	1500 × 1500 × 1200	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	400	300	−10	5	50
3	2400 × 2400 × 600	1200 × 1200 × 1200	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	400	320	−5	5	50
4	2100 × 2100 × 600	900 × 900 × 1200	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	400	360	−12	5	50
5	3300 × 3300 × 600	2100 × 2100 × 1200	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	400	310	−17	5	50
6	3000 × 3000 × 450	1800 × 1800 × 1500	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	400	350	−18	7	60
7	2700 × 2700 × 450	1500 × 1500 × 1500	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	400	300	−20	7	60
8	2400 × 2400 × 450	1200 × 1200 × 1500	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	400	320	−22	7	60
9	2100 × 2100 × 450	900 × 900 × 1500	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	400	360	−24	7	60
10	3300 × 3300 × 450	2100 × 2100 × 1500	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	400	310	−25	7	60
11	3000 × 3000 × 450	2100 × 2100 × 1800	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	400	350	−20	5	40
12	2700 × 2700 × 450	1800 × 1800 × 1800	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	400	300	−10	5	40
13	2400 × 2400 × 450	1500 × 1500 × 1800	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	400	320	−12	5	40
14	2100 × 2100 × 450	1200 × 1200 × 1800	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	400	360	−15	5	40
15	3300 × 3300 × 450	2400 × 2400 × 1800	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	400	310	−17	5	40
16	3600 × 3600 × 450	2700 × 2700 × 1800	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	350	−20	10	50
17	3000 × 3000 × 600	2100 × 2100 × 1200	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	−22	10	50
18	2700 × 2700 × 600	1800 × 1800 × 1200	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	320	−23	10	50
19	2400 × 2400 × 600	1500 × 1500 × 1200	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	360	−12	10	50
20	2100 × 2100 × 600	1200 × 1200 × 1200	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	310	−10	10	50
21	3300 × 3300 × 600	2400 × 2400 × 1200	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	400	350	−10	5	60
22	3600 × 3600 × 600	2700 × 2700 × 1200	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	400	300	−12	5	60
23	4200 × 4200 × 600	2400 × 2400 × 1500	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	400	320	−8	5	60
24	3000 × 3000 × 450	1800 × 1800 × 1500	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	400	360	−8	5	60
25	2700 × 2700 × 450	1500 × 1500 × 1500	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	400	310	−12	5	60
26	2400 × 2400 × 450	1200 × 1200 × 1500	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	400	350	−15	7	40
27	2100 × 2100 × 450	900 × 900 × 1500	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	300	−16	7	40
28	2400 × 2400 × 450	1500 × 1500 × 1800	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	320	−17	7	40
29	2400 × 2400 × 600	1500 × 1500 × 1200	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	360	−15	5	40
30	2100 × 2100 × 600	1200 × 1200 × 1200	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	310	−10	5	40

Таблица Г.2 – Теплофизическая характеристика строительных и теплоизоляционных материалов

Материал	Объемная масса в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, Вт/(м·°С)	Расчетная величина коэффициента теплопроводности, Вт/(м·°С)	Удельная теплоемкость в сухом состоянии, кДж/(кг·°С)	Стоимость, р./м <sup>3</sup>	Оборачиваемость утепления
1	2	3	4	5	6	7
Железобетон	2500	1,68	2,03	0,84	—	—
Бетон на гравии или щебне из природного камня	2400	1,56	1,86	0,84	—	—
Шлакобетон на топливных (котельных) шлаках и бетон на аглопорите	1800	0,7	0,93	0,84	—	—
То же	800	0,23	0,35	0,84	—	—
Шлакобетон на доменных гранулированных шлаках	1800	0,58	0,81	0,84	—	—
То же	1000	0,29	0,41	0,84	—	—
Керамзитобетон	1600	0,52	0,75	0,84	—	—
То же	600	0,16	0,23	0,84	—	—
Шлак	600	0,14	0,29	—	7	—
То же	800	0,17	0,34	—	7,5	—
Вата минеральная	100	0,04	0,49	0,76	9,3	—
То же	150	0,05	0,06	0,76	—	—
Вата минеральная	100	0,04	0,49	0,76	9,3	—
То же	150	0,05	0,06	0,76	—	—
Плиты мягкие, полужесткие и жесткие минераловатные:						
на синтетическом вяжущем	100	0,046	0,052	0,76	24,3	5(10)
на битумном вяжущем	200	0,058	0,067	0,92	31	5(10)
То же	300	0,069	0,081	0,92	29,5	5(10)
	100	0,046	0,062	0,92	15	5(10)
Плиты минераловатные прошивные	100	0,044	0,048	0,76	33,9	5(10)
То же	200	0,053	0,06	0,76	32,2	5(10)
Маты минераловатные рулонированные на синтетическом вяжущем	50	0,039	0,046	0,75	—	—
То же	75	0,043	0,049	0,76	—	—
Маты полосы из стеклянного волокна	175	0,049	0,056	0,84	—	—

Окончание таблицы Г.2

1	2	3	4	5	6	7
Хвойные породы дерева поперек волокон	550	0,093	0,17	2,52	30...40	—
Лиственные породы дерева поперек волокон	700	0,104	0,23	2,52	—	—
Фанера клееная	600	0,116	0,17	2,52	178	—
Плиты древесноволокнистые и древесностружечные	1000	0,15	0,29	2,1	—	—
То же	600	0,104	0,16	2,1	—	—
	400	0,081	0,14	2,1	—	—
	200	0,058	0,08	2,1	—	—
Рубероид, пергамин, толь кровельные	600	0,17	0,17	1,47	0,12	2(5)
Сталь	7600	52	—	0,48	—	—
Снег рыхлый, сухой	300	0,29	—	2,1	—	—

## Приложение Д (рекомендуемое)

Таблица Д.1 – Варианты заданий для практической работы № 5

Последняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вариант задания (рисунки Д.1 и Д.2)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

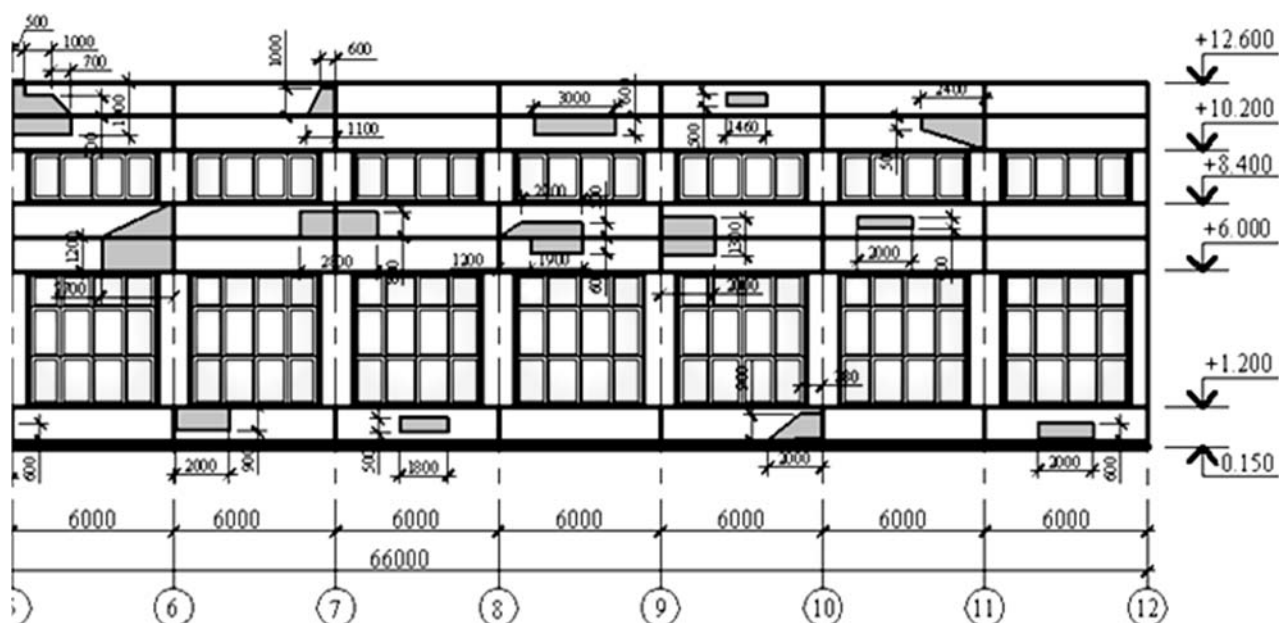


Рисунок Д.1 – Вариант № 1

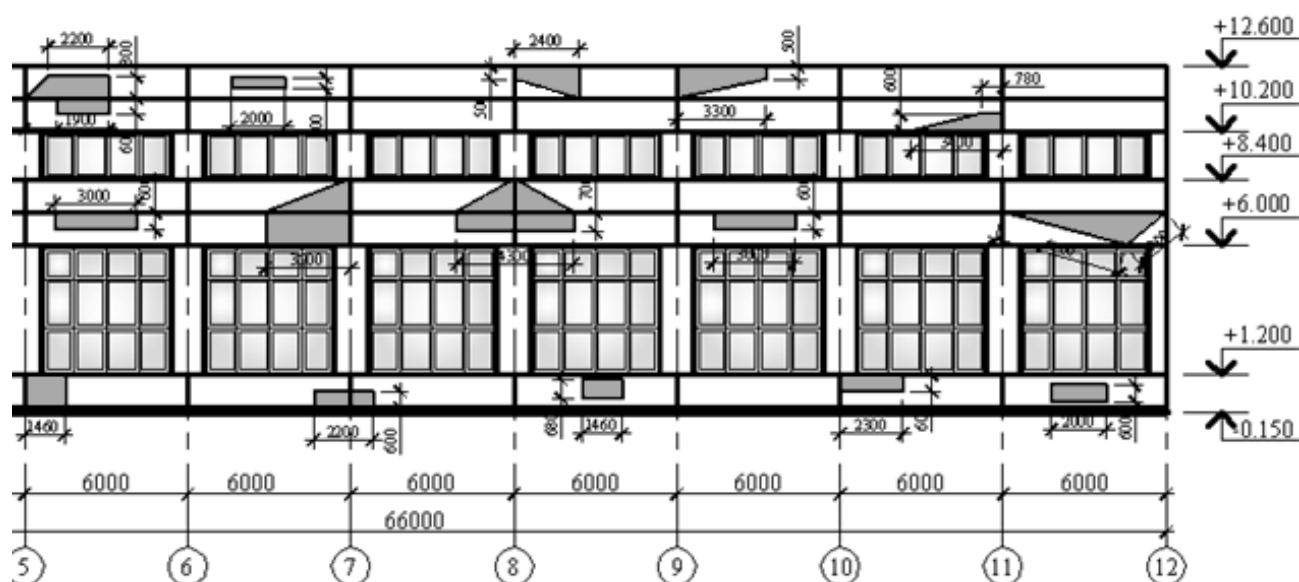


Рисунок Д.2 – Вариант № 2

## Приложение Е (рекомендуемое)

Таблица Е.1 – Выбор варианта задания для практической работы

Вариант задания	Геометрический размер железобетонной колонны		Дефект и повреждение железобетонной колонны / уменьшение поперечного сечения $\Delta$ , %	Длина поврежденного участка колонны, мм	Условие производства работы
	Поперечное сечение, мм	Длина, мм			
1	400 × 400	3600	Сколы бетона на гранях, выбоины, раковины / 5 %	1200	Сжатые сроки проведения работ
2	500 × 500	4200		420	
3	600 × 600	4800	Усадочные трещины / 10 %	1800	
4	400 × 400	3000	Шелушение граней и поверхности бетона / 5 %	1200	
5	500 × 500	3600		1000	
6	600 × 600	5200	Отслоение лещадок бетона / 5 %	2000	
7	400 × 400	3600		1400	
8	400 × 400	3300	Трещины вдоль продольной арматуры, обнажение и коррозия арматуры / 11 %	1200	Ограничен доступ с двух сторон
9	500 × 500	4200		1600	Увеличение несущей способности
10	600 × 600	4800		1800	
11	600 × 600	5400		2100	Сжатые сроки проведения работ
12	400 × 400	3600	Трещины вдоль поперечной арматуры, обнажение и коррозия арматуры / 25 %	1400	
13	500 × 500	4800		1600	
14	600 × 600	5400		1800	
15	400 × 400	4200	Сколы бетона, обнажение и коррозия рабочей арматуры / 30 %	1200	Сжатые сроки проведения работ и увеличение несущей способности
16	500 × 500	4800		1600	
17	600 × 600	6000		2300	
18	600 × 600	5400		2100	
19	400 × 400	4200	Разрушение сечения колонны, коррозия и разрывы рабочей арматуры / 51 %	400	Увеличение несущей способности
20	500 × 500	5400		500	
21	600 × 600	4800		400	
22	400 × 400	4800	Поперечные (нормальные) силовые трещины / 41 %	400	Сжатые сроки проведения работ
23	500 × 500	4200		400	
24	600 × 600	5400		500	
25	400 × 400	3600	Продольные силовые трещины / 41 %	1200	Ограничен доступ с двух сторон
26	500 × 500	4200		1500	
27	600 × 600	6000		2100	
28	400 × 400	3600	Трещины вдоль поперечной арматуры, обнажение и коррозия арматуры / 20 %	1400	Увеличение несущей способности
29	500 × 500	4800		1600	
30	600 × 600	5400		1800	

Таблица Е.2 – Калькуляция затрат труда на восстановление и усиление колонн

Обосно- вание	Наименование работы	Еди- ница изме- рения	Норма вре- мени на единицу, чел.-ч	Состав звена		
				Профессия	Разряд	Ко- личе- ство
1	2	3	4	5	6	7
1 Установка и разборка подмостей						
Е6-3 т. 2 п. 1в	Установка инвентарных подмо- стей	1 м <sup>2</sup>	0,16	Плотник	4	1
				Плотник	2	1
Е6-3 т. 2 п. 5в	Переустановка подмостей	1 м <sup>2</sup>	0,21	Плотник	4	1
				Плотник	2	1
Е6-3-2 т. 2 п. 5в	Разборка инвентарных подмо- стей	1 м <sup>2</sup>	0,12	Плотник	4	1
				Плотник	2	1
2 Подготовка поврежденных участков колонны						
Е8-1-1 т. 2 п. 2д	Срубка слабопрочного бетона вручную	100 м <sup>2</sup>	124	Штукатур	2	1
Е8-1-15 т. 12 п.1в	Очистка арматуры от ржав- чины вручную	100 м <sup>2</sup>	16,5	Штукатур	2	1
Е8-1-15 т. 4 п. 7б	Очистка поверхности сжатым воздухом	100 м <sup>2</sup>	0,31	Штукатур	2	1
3 Восстановление поврежденных участков колонны						
Е20-1- -188 п. 11а	Грунтование бетона составом «Полимикс-грунт»	100 м <sup>2</sup>	2,8	Маляр	3	1
Е8-1-15 т. 12 п. 3в	Грунтование арматуры грун- товкой за два раза	100 м <sup>2</sup>	26,0	Маляр	3	1
Е20-1- -188 п. 11а	Нанесение адгезионного слоя, один слой	100 м <sup>2</sup>	2,8	Маляр	3	1
Е1-19 п. 1а	Подъем ремонтного состава на 1 м вручную	1 т	1,10	Штукатур	2	1
Е1-19 п. 1б	Подъем ремонтного состава на каждый следующий 1 м высоты	1 т	0,36	Штукатур	2	1
Е8-1-2 т. 2 п. 4в	Нанесение ремонтного состава «Полимикс-ШСр» 10 мм	100 м <sup>2</sup>	36,0	Штукатур	4	1
				Штукатур	3	1
Е8-1-15 т. 6 п. 1б	Нанесение шпатлевочного состава «Полимикс-Ш»	100 м <sup>2</sup>	11,5	Маляр	3	1
4 Устройство стальной обоймы усиления						
Е5-1-1 т. 1 п. 3	Сортировка стальных элемен- тов вручную до 50 кг	1 т	10,0	Монтажник	3	1
Е5-1-18 т. 1 п. 1г+2г	Установка стальных элементов обоймы с прихваткой	1 т	14,5	Монтажник	4	1
				Монтажник	3	1
				Сварщик	4	1
Е5-1-18 т. 1 п. 1в+2в	Установка опорного башмака и оголовка	1 т	18,4	Монтажник	4	1
				Монтажник	3	1
				Сварщик	4	1
Е22-1-6 п. 1г, к=1,5	Сварка стальных элементов внахлестку	10 м	3,75	Сварщик	4	1

Окончание таблицы Е.2

1	2	3	4	5	6	7
5 Устройство железобетонной обоймы усиления						
Е4-1-46 т. 1 п. 4б	Установка и вязка арматуры диаметром до 8 мм	1 т	21,5	Арматурщик Арматурщик	5 2	1 1
Е4-1-46 т. 1 п. 4г	Установка и вязка арматуры диаметром до 18 мм	1 т	12,0	Арматурщик Арматурщик	5 2	1 1
Е22-1-6 т. 1 п. 6д	Односторонняя сварка стыков каратышей	10 м	4,60	Сварщик	5	1
Е4-1-34 т. 3 п. 2а	Установка щитовой опалубки с технологическими отверстиями	1 м <sup>2</sup>	0,40	Плотник Плотник	4 2	1 1
Е4-1-47 п. 1+2+3	Загрузка ковша бетоносмесителя вручную	1 м <sup>3</sup>	1,40	Бетонщик	2	1
Е4-1-47 т. 3 п. 3г	Приготовление бетонной смеси ( $V < 250$ л)	1 м <sup>3</sup>	0,30	Бетонщик	2	1
Е1-19 п. 1а	Подъем бетонной смеси на 1 м вручную	1 т	1,10	Бетонщик	2	1
Е1-19 п. 1б	Подъем бетонной смеси на каждый следующий 1 м высоты	1 т	0,36	Бетонщик	2	1
Е4-1-54 п. 9	Увлажнение бетонной поверхности колонн	100 м <sup>2</sup>	0,14	Бетонщик	2	1
Е4-1-53 п. 2б	Укладка бетонной смеси в конструкцию вручную	1 м <sup>3</sup>	1,7	Бетонщик Бетонщик	4 2	1 1
Е4-1-34 т. 3 п. 2б	Разборка щитовой опалубки с технологическими отверстиями	1 м <sup>2</sup>	0,15	Плотник Плотник	4 2	1 1
6 Устройство двухстороннего железобетонного наращивания						
Е4-1-46 т. 1 п. 4б	Установка и вязка арматуры диаметром до 8 мм	1 т	21,5	Арматурщик Арматурщик	5 2	1 1
Е4-1-46 т. 1 п. 4г	Установка и вязка арматуры диаметром до 18 мм	1 т	12,0	Арматурщик Арматурщик	5 2	1 1
Е22-1-6 т. 1 п. 6д	Односторонняя сварка стыков каратышей	10 м	4,60	Сварщик	5	1
Е4-1-34 т. 3 п. 2а	Установка щитовой опалубки с технологическими отверстиями	1 м <sup>2</sup>	0,40	Плотник Плотник	4 2	1 1
Е4-1-47 п. 1+2+3	Загрузка ковша бетоносмесителя вручную	1 м <sup>3</sup>	1,40	Бетонщик	2	1
Е4-1-47 т. 3 п. 3г	Приготовление бетонной смеси ( $V < 250$ л)	1 м <sup>3</sup>	0,30	Бетонщик	2	1
Е1-19 п. 1а	Подъем бетонной смеси на 1 м вручную	1 т	1,10	Бетонщик	2	1
Е1-19 п. 1б	Подъем бетонной смеси на каждый следующий 1 м высоты	1 т	0,36	Бетонщик	2	1
Е4-1-54 п. 9	Увлажнение бетонной поверхности колонн	100 м <sup>2</sup>	0,14	Бетонщик	2	1
Е4-1-53 п. 2б	Укладка бетонной смеси в конструкцию вручную	1 м <sup>3</sup>	1,7	Бетонщик Бетонщик	4 2	1 1
Е4-1-34 т. 3 п. 2б	Разборка щитовой опалубки с технологическими отверстиями	1 м <sup>2</sup>	0,15	Плотник Плотник	4 2	1 1