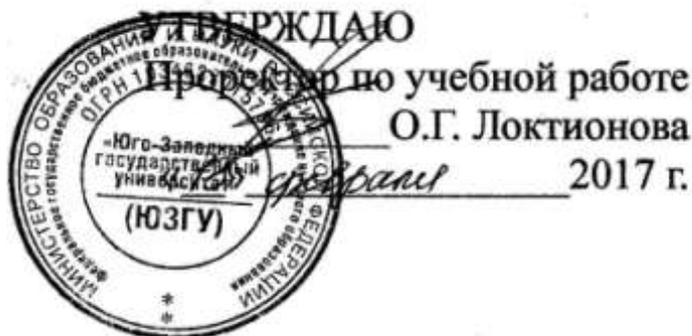


Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 03.03.2022 10:14:27
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb43a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра промышленное и гражданское строительство



**ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ
В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ**
Методические указания к практическим занятиям
для студентов направления подготовки 08.03.01

Курск 2017

УДК 69.05(076.5) +624.13(076.5)

Составитель: С.А. Кереб

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *А.А. Сморгков*

Технология возведения зданий в особых условиях: методические указания к практическим занятиям/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.С.А. Кереб.-Курск,2017. -60 с.: табл.27, прилож. 1.-Библиогр.: с.54.

Приведены примеры решения задач в области производства строительных работ в зимний период в соответствии с СП 48.13330.2011 «Организация строительства» (Актуализированная редакция СНиП 12-01-04). Приведены детальные расчеты всех необходимых разделов работы с технико-экономическим обоснованием выбора вариантных решений.

Методические указания соответствуют требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Предназначены для студентов по направлению подготовки 08.03.01 профилю подготовки «Промышленное и гражданское строительство», дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 3,5. Уч.-изд. л. 3,1. Тираж 100 экз. Заказ. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университета.

305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94

СОДЕРЖАНИЕ

1	Практическое занятие №1.	Стр.4
2	Практическое занятие №2.	Стр.7
3	Практическое занятие №3.	Стр.8
4	Практическое занятие №4.	Стр.11
5	Практическое занятие №5.	Стр.12
6	Практическое занятие №6.	Стр.15
7	Практическое занятие №7.	Стр.18
8	Практическое занятие №8.	Стр.20
9	Практическое занятие №9.	Стр.22
10	Практическое занятие №10.	Стр.24
11	Практическое занятие №11.	Стр.28
12	Практическое занятие №12.	Стр.30
13	Практическое занятие №13.	Стр.35
14	Практическое занятие №14.	Стр.37
15	Практическое занятие №15.	Стр.43
16	Практическое занятие №16.	Стр.48
17	Практическое занятие №17.	Стр.52
18	Практическое занятие №18.	Стр.53
	Библиографический список	Стр.54
	Приложение 1	Стр.55

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

Определение продолжительности изотермического прогрева бетона

Определить продолжительность изотермического прогрева бетона при температуре $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ в конструкции с $M_{II} = 4$ на портландцементе марки 400 до приобретения прочности $70\% R_{28}$ к концу остывания до $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Начальная температура бетона $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Скорость подъема температуры 10° в час, скорость ветра 15 м/с . Опалубка деревянная толщиной 25 мм .

Решение. Определяем величину относительной прочности за период подъема температуры. Продолжительность подъема температуры $\frac{70-10}{10} = 6$ при средней температуре $\frac{70+10}{2} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для этого из точки *A* (см. рис. 1б) проводим перпендикуляр до пересечения с кривой прочности при $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка *B*). Величина прочности за время подъема температуры определяется проекцией точки *B* на ось ординат (точка *B'*) и составляет 15% .

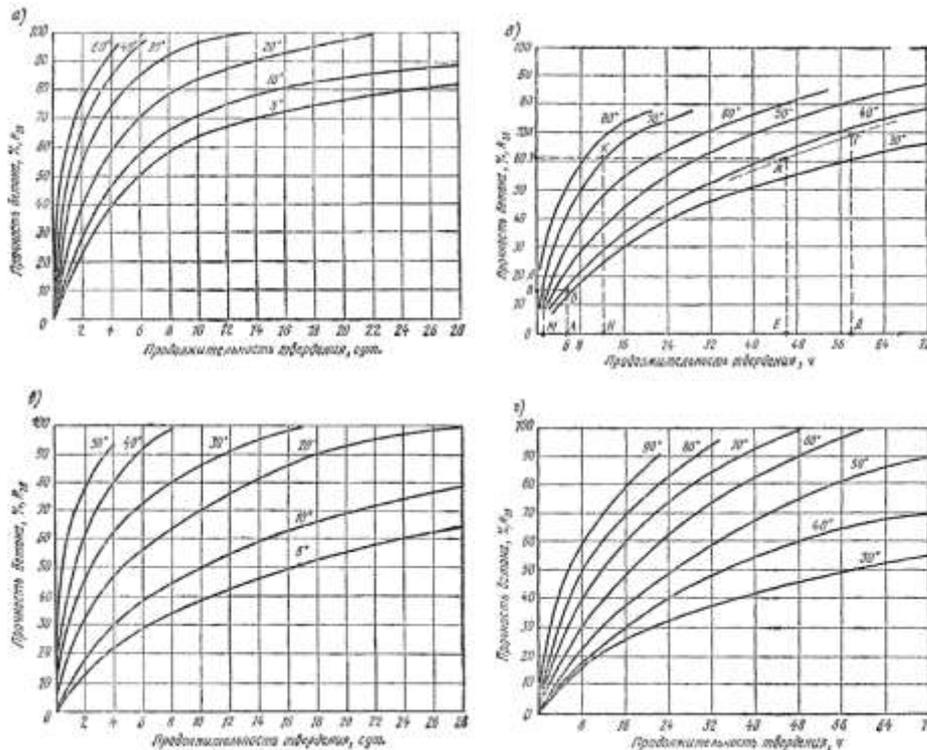


Рис 1 Графики нарастания прочности бетона марки M200 при разных температурах твердения *a, б* - на портландцементе марки 400, 500; *в, г* - на шлакопортландцементе марки 400

Определяем величину относительной прочности бетона при остывании. Используя формулу:

$$\tau = \frac{C_b \gamma_b (t_{бн} - t_{бк}) + ЦЭ}{3,6 K M_{п} (t_{б.сп} - t_{нв})},$$

где C_b - удельная теплоемкость бетона, принимается равной 1,05 кДж/(кг · °С);

γ_b - плотность бетона, кг/м³;

$Э$ - тепловыделение цемента, кДж/кг, за время твердения бетона;

$t_{н.в}$ - температура наружного воздуха; принимается средняя за время остывания бетона, град;

$t_{б.к}$ - температура бетона к концу остывания; для бетонов без противоморозных добавок рекомендуется принимать не ниже 5 °С;

$Ц$ - расход цемента в бетоне, кг/м³;

K - коэффициент теплопередачи опалубки или укрытия неопалубленных поверхностей, Вт/(м² · °С);

$t_{б.н}$ - начальная температура бетона после укладки, °С;

$t_{б.сп}$ - средняя температура за время остывания бетона, °С; приближенно может быть принята равной: $(t_{б.н} + 5) : 2$ для конструкций с $M_{п} \leq 4$; $t_{б.н} : 2$ при $M_{п}$ от 5 до 8; $t_{б.н} : 3$ при $M_{п}$ от 9 до 12.

и пренебрегая тепловыделением цемента, которое по окончании изотермического прогрева незначительно, определяем продолжительность остывания бетона:

$$\tau = \frac{1,05 \cdot 2400(70 - 5)}{3,6 \cdot 5,98 \cdot 4[35,3 - (-30)]} = 12 \text{ ч.}$$

При этом значения удельной теплоемкости бетона, его объемной массы и коэффициент теплопередачи опалубки принимаем по данным нормативных документов, а среднюю температуру остывания определяем

$$t_{б.сп} = t_{бк} + \frac{t_{бн} - t_{бк}}{1,03 + 0,181 M_{п} + 0,006(t_{бн} - t_{бк})}.$$

Подставляя исходные данные для нашего примера, получим

$$t_{б.сп} = 5 + \frac{70 - 5}{1,03 + 0,181 \cdot 4 + 0,006(70 - 5)} = 36 \text{ °С.}$$

Определим прочность бетона, приобретенную в процессе остывания.

Из точки Γ , находящейся на пересечении прямой, соответствующей $70 \% R_{28}$, с кривой прочности при $36 \text{ }^\circ\text{C}$, опускаем перпендикуляр на ось абсцисс (точка Δ), откладываем влево от точки Δ отрезок, соответствующий продолжительности остывания 12 ч (точки E), и проводим из точки E перпендикуляр к оси абсцисс до пересечения с кривой прочности при $36 \text{ }^\circ\text{C}$ (точка Ж). Проекция отрезка $\Gamma\text{Ж}$ на ось ординат характеризует прочность бетона, приобретенную в процессе остывания (точки 3-И), и составляет $9 \% R_{28}$.

Определяем продолжительность изотермического прогрева как проекцию отрезка КЛ кривой прочности при $70 \text{ }^\circ\text{C}$ на ось абсцисс (отрезок МН), которая составляет 12 ч .

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

Определение прочности бетона в конструкции

Определить прочность бетона в конструкции с $M_{п} = 4$ на портландцементе марки 400 при скорости подъема температуры $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в час, температуре изотермического прогрева $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, его продолжительности 12 ч и остывании со скоростью $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в час до конечной температуры $8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Решение. Определяем величину относительной прочности бетона за период подъема температуры, как и в примере [1](#). Она составляет 15% R_{28} (точка *B* на оси ординат рис. [1, б](#)).

Определяем прирост относительной прочности при изотермическом прогреве за 12 ч как проекцию участка (точки *L, K*) кривой прочности при $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (отрезок *BЗ*), что соответствует 46% R_{28} .

Определяем прирост прочности бетона за 12 ч остывания по кривой прочности при $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ как проекцию участка *ЖГ* на ось ординат. Отрезок *ЗИ* соответствует 9% R_{28} .

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

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

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

Подбор состава бетона с добавками

Требуется подобрать состав бетона марки М200 на неотогретых заполнителях. Расход материалов на 1 м³ бетона, применявшегося в летних условиях при подвижности бетонной смеси 2 - 3 см, составляет: портландцемента 310 кг, песка 620 кг, щебня 1315 кг, воды 155 л. Расчетная температура твердения бетона минус 10 °С. В качестве противоморозной добавки приняты хлорид кальция с нитритом натрия.

Решение. При использовании неотогретых заполнителей для бетона с $V/C = 0,5$ и при температуре твердения минус 10 °С по табл. 36 назначаем добавки в количестве 9 % (ХК + НН) при соотношении по массе 1:1.

Количество добавок с расходом 4,5 % ХК + 4,5 % НН от массы цемента составляет:

$$\text{ХК} - 310 \cdot 0,045 = 13,9 \text{ кг};$$

$$\text{НН} - 310 \cdot 0,045 = 13,9 \text{ кг}.$$

По табл. 1 находим, что в 1 л концентрированного раствора хлорида кальция с плотностью 1,293 г/см³ при 20 °С содержится 0,401 кг CaCl₂, а в 1 л концентрированного раствора нитрита натрия с плотностью 1,183 г/см³ при 20 °С - 0,308 кг NaNO₂.

Таблица 1

Расчетная температура бетона, °С		Количество безводных добавок, % массы цемента						
от	до	НН	ХН + ХН	НКМ НК + М*	ННК + М, НК + М	НХХ К ХК + НН*	ННХК + М	П
0	-5	4 - 6	(0 + 3) ÷ (2 + 3)	3 - 5	(3 + 1) ÷ (4 + 1,5)	3 - 5	(2 + 1) ÷ (4 + 1)	5 - 6
-6	-10	6 - 8	(3,5 + 3,5) ÷ (2,5 + 4)	6 - 9	(5 + 1,5) ÷ (7 + 2,5)	6 - 9	(4,5 + 1,5) ÷ (7 + 2,5)	7 - 8
-11	-15	8 - 10	(4,5 + 3) ÷ (5 + 3,5)	7 - 10	(6 + 2) ÷ (8 + 3)	7 - 10	(6 + 2) ÷ (8 + 3)	8 - 10
-16	-20	9 - 10	(6 + 2,5) ÷ (7 + 3)	9 - 12	(7 + 3) ÷ (9 + 4)	8 - 12	(7 + 2) ÷ (9 + 4)	10 - 12
-21	-25	-	-	-	-	10 - 14	(8 + 3) ÷ (10 + 4)	12 - 15

* При соотношении компонентов 1:1 по массе в расчете на сухое вещество.

Примечания: 1. Оптимальное количество добавок при данной температуре твердения бетона при использовании холодных материалов назначается в зависимости от водоцементного отношения, а при применении подогретых материалов - от вида цемента и его минералогического состава:

а) при работе на холодных материалах в бетоны с $B/C < 0,5$ следует назначать меньшее из указанных пределов количество добавки, а с $B/C \geq 0,5$ - большее;

б) при работе на подогретых заполнителях меньшее количество ХК + ХН, НК + М, ННК + М, ННХК + М, П следует вводить в бетоны на портландцементе, содержащих 6 % и более трехкальциевого алюмината C_3A ; меньшее количество НН к ХК + НН следует вводить при изготовлении бетона на портландцементе с содержанием C_3A до 6 %.

2. Концентрация раствора затворения (с учетом влажности заполнителей) не должна превышать: 30 % для П; 26 % для НКМ; НК + М, ННК + М, ННХК, ННХК + М, ХК + ХН, ХК + НН и 20 % для НН.

3. При температурах бетона выше минус 5 °С вместо ХН возможно применение ХК в количестве до 3 % массы цемента.

4. С целью увеличения удобоукладываемости и сроков схватывания бетонных смесей целесообразно вводить добавки НКМ, ННХКМ, НН + ХК в количествах: при средней температуре наружного воздуха до минус 5 °С - 2 - 4 %, до минус 10 °С - 4 - 6 %, до минус 35 °С - 6 - 9 % массы цемента в сочетании с предварительным твердением под слоем утеплителя до набора бетоном требуемой прочности. Вид и толщину утеплителя назначают в соответствии с данными теплотехнического расчета.

5. При температурах наружного воздуха до минус 10 °С возможно применение мочевины в количестве до 10 % массы цемента.

Следовательно, для введения в бетон необходимого количества концентрированных растворов солей на 1 м³ смеси требуется:

$$\text{ХК} - 13,9 : 0,401 = 34,7 \text{ л};$$

$$\text{НН} - 13,9 : 0,308 = 45,1 \text{ л}.$$

В найденных количествах растворов солей воды содержится:

$$1,293 \cdot 34,7 - 13,9 = 31,1 \text{ л};$$

$$1,183 \cdot 45,1 - 13,9 = 39,6 \text{ л};$$

$$31,1 + 39,6 = 70,7 \text{ л}.$$

Учитывая влажность имеющихся материалов (песка 3 %, щебня 1,5 %), количество воды следует уменьшить еще на

$$620 \cdot 0,03 + 1315 \cdot 0,015 = 38,3 \text{ л}.$$

Тогда количество воды для затворения 1 м³ бетонной смеси уменьшится до

$$155 - 70,7 - 38,3 = 46 \text{ л},$$

а расход материалов на 1 м³ бетона с добавками ХК + НН (в расчете на влажные материалы) составит:

цемента - 310 кг;

раствора ХК - 34,7 л;

песка (620 · 1,03) - 638,6 кг;

раствора НН - 45,1 л;

щебня (1315 · 1,015) - 1334,7 кг;

воды - 46 л.

Устанавливается соотношение смешения концентрированных растворов ХК, НН и воды для получения раствора рабочей концентрации:

$$\text{ХК} : \text{НН} : \text{H}_2\text{O} = \frac{34,7}{34,7} : \frac{45,1}{34,7} : \frac{46}{34,7} = 1 : 1,3 : 1,33.$$

Определяется процентное содержание в растворе:

$$\text{ХК или НН} = \frac{13,9 \cdot 100}{34,7 \cdot 1,293 + 45,1 \cdot 1,183 + 46} = 9,7\%.$$

Находится по табл. 1 температура замерзания раствора ХК при концентрации 9,7 % (-5,6 °С) и НН при той же концентрации (-4,7 °С). Температура замерзания раствора комплексной добавки (-5,6° + (-4,7 °С) = -10,3 °С.

Устанавливается, что температура бетонной смеси после укладки и уплотнения не должна быть ниже (-10,3 °С) + 5 °С = -5,3 °С.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

Выбор способа зимнего бетонирования

Исходные данные: фундаменты двухступенчатые, нижняя ступень 5200×3700 мм, высота ступени 600 мм; верхняя ступень 3200×1700 мм, высотой 600 мм; подколонник 1600×1700 мм, высотой 2700 мм. Бетон марки М200 на шлакопортландцементе марки 400, расход цемента 340 кг/м³. Заданная прочность к моменту заморзания должна быть не менее 50 % R_{28} . Бетонирование производится при температуре -15 °С в феврале в Челябинске. Скорость ветра не более 4 м/с. Суточный поток бетонной смеси 40 м³. Опалубка применяется деревянная щитовая толщина 25 мм, в качестве утеплителя приняты минераловатные плиты. Фундамент армирован сетками АЕ 20 мм, вес сеток до 300 кг.

Указанные фундаменты могут быть забетонированы согласно рекомендациям раздела [1](#), способами термоса, с предварительным электроразогревом бетонной смеси, с периферийным электропрогревом, с применением греющей опалубки, а также с применением бетона с противоморозными добавками.

Определяем технико-экономические показатели вышеперечисленных способов зимнего бетонирования.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

Способ термоса

1. Определяем модуль поверхности

$$M_{\text{п}} = \frac{F_{\text{охл}}}{V} = \frac{67,5}{18} = 3,8 \text{ м}^{-1} = 4 \frac{1}{\text{м}},$$

где

$$F_{\text{охл}} = 2 \cdot 5,2 \cdot 3,7 + 0,6 \cdot 17,8 + 0,6 \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,7 \cdot 2,7 + 2 \cdot 1,6 \cdot 2,7 = 38,48 + 10,68 + 5,9 + 3,8 + 8,64 = 67,5 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{опал}} = 0,6 \cdot 17,8 + 0,6 \cdot 9,8 + 2 \cdot 0,7 \cdot 2,7 + 2 \cdot 1,6 \cdot 2,7 = 29,1 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{отк}} = 5,2 \cdot 3,7 = 19,24 \text{ м}^2;$$

$$V = 5,2 \cdot 3,7 \cdot 0,6 + 3,2 \cdot 1,7 \cdot 0,6 + 1,6 \cdot 0,7 \cdot 2,73 = 18 \text{ м}^3.$$

При расчете $\tau_{\text{охл}}$ принято ориентировочно, что коэффициент теплопередачи в грунт и опалубку равны.

2. Согласно формулы (2) и табл. 4, определим $t_{\text{б.н}}$ для условия: $t_{\text{см}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$, время транспортирования бетонной смеси 20 мин, автосамосвалом МАЗ-500, время укладки бетонной смеси 10 мин,

$$t_{\text{б.н}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}.$$

3. Определяем среднюю температуру остывания по формуле (7):

$$t_{\text{б.ср}} = 5 + \frac{30 - 5}{1,03 + 0,181 \cdot 4 + 0,006 \cdot 30} = 17,6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

4. Определяем по табл. 26 для $t_{\text{б.ср}} = 17,6 \text{ }^\circ\text{C}$, время набора прочности 50 % R_{28} $\tau = 144 \text{ ч}$.

5. Определяем коэффициент теплопередачи ограждения по формуле (12):

$$K = \frac{30 \cdot 2512,8 + 192 \cdot 340}{3,6 \cdot 144 \cdot 4(17,6 + 15)} = 2,08 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

6. Так как для опалубки из досок ($\delta = 25 \text{ мм}$) при скорости ветра 4 м/с $K = 4,66 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ (табл. 21), следовательно, требуется утепление. По формуле (13) находим толщину утеплителя:

$$2,08 = \frac{1}{\frac{1}{20,8} + \frac{0,025}{0,20} + \frac{\delta_{\text{ут}}}{0,046}},$$

откуда $\delta_{\text{ут}} = 0,014 \text{ м}$.

Принимаем по табл. 22 один слой минераловатных плит толщиной 20 мм. Утеплитель открытой горизонтальной поверхности принимаем из слоя пергамина и минераловатных плит толщиной 40 мм, так как плиты выпускаются толщиной 20 и 40 мм.

7. Определяем затраты:

а) затраты по установке и разборке опалубки, армированию и укладке бетонной смеси по данным п. [17.6](#):

$$Z_{\text{опал}} = 1,15 \cdot 0,359 \frac{29,1}{18} = 0,667 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{опал}} = 0,081 \frac{29,1}{18} = 0,131 \text{ чел.-дн/м}^3,$$

где 1,15 - районный коэффициент для района Челябинска;
0,359 руб/м², 0,081 чел.-дн/м² - соответственно расценка и норма времени на установку и разборку опалубки (табл. [73](#));

$$Z_{\text{арм}} = 1,15 (0,237 \cdot 1 + 0,442 \cdot 4) : 18 = 0,128 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{арм}} = (0,055 \cdot 1 + 0,102 \cdot 4) : 18 = 0,026 \text{ чел.-дн/м}^3,$$

где 0,237 и 0,442 руб/шт., 0,055 и 0,102 чел.-дн/шт. - соответственно расценки и нормы времени на установку сеток; 1 и 4 - соответственно количество горизонтальных и вертикальных сеток в фундаменте;

$$Z_{\text{укл}} = 1,15 \cdot 0,157 = 0,181 \text{ руб/м}^3; T_{\text{укл}} = 0,034 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

б) затраты на подогрев воды и заполнителей по п. 17.7: $C_{\text{пвз}}$ по табл. [74](#) для $t_{\text{н.в}} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{см}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ с учетом того, что в Челябинске стоимость пара 3,5 руб. за 1 Гкал (табл. [75](#)), следовательно,

$$C_{\text{пвз}} = 0,225 \frac{3,5}{4,62} = 0,17 \text{ руб/м}^3;$$

$$Z_{\text{пвз}} = 1,15 \cdot 0,031 = 0,036 \text{ руб/м}^3; T_{\text{пвз}} = 0,01 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

в) затраты на установку и разборку утеплителя по п. [17.8](#) (см. табл. [69](#)):

$$Z_{\text{ут}} = 1,15 \cdot 0,019 \frac{19,2 \cdot 1}{18} + 1,15 \cdot 0,060 \frac{29,1 \cdot 1}{18} = 0,135 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{ут}} = 0,005 \frac{19,2 \cdot 1}{18} + 0,014 \frac{29,1 \cdot 1}{18} = 0,028 \text{ чел.-дн/м}^2;$$

$$C_{\text{ут}} = \frac{33,9 \cdot 0,04 \cdot 19,2 + 0,12 \cdot 19,2}{5 \cdot 18} + \frac{33,9 \cdot 0,02 \cdot 29,1}{5 \cdot 18} = 0,534 \text{ руб/м}^3;$$

где 0,019 и 0,060 руб/м²; 0,05 и 0,014 чел.-дн/м² - соответственно расценки и нормы времени по установке и разборке утепления горизонтальных и вертикальных поверхностей (табл. [73](#));

33,9 руб/м³ - стоимость минераловатных прошивных матов (табл. [22](#));

0,04 и 0,02 м - толщина утеплителя соответственно открытой и опалубливаемой поверхности;

5 - оборачиваемость утеплителя (табл. [22](#));

г) затраты по контролю качества (см. п. [17.9](#))

$$Z_x = 1,15 \cdot 0,049 \left(30 + \frac{144 - 96}{24} \right) \frac{6}{18} + 0,026 \frac{6}{18} = 0,605 \text{ руб/м}^3.$$

$$T_x = 0,0125 \cdot 32 \frac{6}{18} + 0,005 \frac{6}{18} = 0,122 \text{ чел. - дн/м}^3;$$

где 0,049 и 0,0125 руб/замер; 0,0125 и 0,005 чел.-дн/замер - по табл. [73](#); 6 - количество скважин в фундаменте.

8. Общие дополнительные затраты по формулам ([85](#)) - ([90](#)):

$$C'_{\text{мат}} = 0,534 \text{ руб/м}^3; C''_{\text{мат}} = 0,17 \text{ руб/м}^3;$$

$$Z_T = (1,16 - 1) (0,667 + 0,128 + 0,181) + 0,135 + 0,036 + 0,605 = 0,932 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_T = 0,16 (0,131 + 0,026 + 0,034) + 0,01 + 0,028 + 0,12 = 0,189 \text{ чел. - дн/м}^3,$$

где 1,16 - $K_{\text{нр}}$ (табл. [72](#)), так как бетонирование ведется в феврале,

$$S_T = P_T = 1,09 \cdot 0,534 + 0,17 + 1,15 \cdot 0,932 = 1,81 \text{ руб/м}^3.$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

Предварительный электроразогрев бетонной смеси

1. $t_{\text{раз}} = 80^\circ$ (принимаем по п. [7.9](#)).
2. Согласно формуле ([2](#)), табл. [4](#) определяем начальную температуру бетона после укладки $t_{\text{б.н}}$ для следующих условий: $t_{\text{б.см}} = 80^\circ\text{C}$, время транспортирования 5 мин автосамосвалом МАЗ-500, время укладки бетонной смеси 10 мин:

$$t_{\text{б.н}} = 75^\circ\text{C}.$$

3. Определим среднюю температуру остывания по формуле ([7](#)):

$$t_{\text{б.ср}} = 5 + \frac{75 - 5}{1,03 + 0,181 \cdot 4 + 0,006 \cdot 75} = 36,8^\circ\text{C}.$$

4. Для $t_{\text{б.ср}} = 36,8^\circ\text{C}$ и $R = 50\%$ R_{28} находим из табл. [26](#):

$$\tau_{\text{ост}} = 48 \text{ ч}.$$

5. По табл. [20](#), по $\tau_{\text{ост}}$ и $t_{\text{б.ср}}$ находим тепловыделение:

$$\mathcal{E} = 153,6 \text{ кДж/кг}.$$

$$K = \frac{2512,8 \cdot 75 + 153,6 \cdot 340}{48 \cdot 4(36,8 + 15)3,6} = 6,7 \text{ ВВт/(}^2 \cdot \text{град)}.$$

6. Так как K - требуемое больше K опалубки - 4,66 (табл. [21](#)), уменьшаем температуру разогрева.

7. Принимаем $t_{\text{см}} = 60^\circ\text{C}$, аналогично вышеизложенному находим:

$$t_{\text{б.н}} = 55^\circ\text{C};$$

$t_{\text{б.ср}} = 29,5^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{ост}} = 2,75 \text{ сут} = 66 \text{ ч}$; $\mathcal{E} = 165 \text{ кДж/кг}$ и вновь определяем

$$K = \frac{2512,8 \cdot 55 + 165 \cdot 340}{66 \cdot 4(29,5 + 15)3,6} = 4,6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)};$$

$$K_{\text{требуемое}} = K_{\text{опал}}$$

8. По формуле ([20](#)) определим P :

$$P = \frac{2512,8(60 - 5)1,16 \cdot 1,1 \cdot 60 \cdot 3,2}{10^3 \cdot 4,18 \cdot 0,95 \cdot 13} = 630 \text{ кВт},$$

где $3,2 \text{ м}^3$ - объем разогреваемой бетонной смеси.

9. По табл. [66](#) принимаем трансформатор ТМ-630/6 стоимостью 1600 руб.

10. По формуле ([28](#)) определяем расход электроэнергии:

$$W = \frac{630 \cdot 13}{60 \cdot 3} = 45,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

11. По формуле (122) находим $C_{\text{обор}}$:

$$C_{\text{обор}} = \frac{1600 \cdot 0,064 + 2140 \cdot 0,33}{342 \cdot 96} + \frac{0,08(1600 + 2140)}{342 \cdot 96} + \frac{38 \cdot 1}{342 \cdot 96} = 0,04 \text{ руб/м}^3,$$

где $K_1 = 1600$ (табл. 66); $K_2 = 2140$ руб.; $n_{3,см} = 342$ (табл. 76);

$$П_{см} = \eta \frac{V_m \cdot 8}{0,20} = 0,75 \frac{3,2 \cdot 8}{0,2} = 96 \text{ м}^3,$$

где $0,20$ r - среднее время обслуживания одной машины;

V_m - объем разогреваемой бетонной смеси;

8 - продолжительность смены, ч;

η - коэффициент использования установки по времени, равный 0,75.

Удельные капитальные затраты

$$K = \frac{1600 + 2140}{342 \cdot 96} = 0,11 \text{ руб/м}^3.$$

12. Затраты на опалубку, армирование и укладку бетонной смеси принимаем такие, как для способа термоса:

$$Z_i = (1,16 - 1,0) (0,667 + 0,128 + 0,181) = 0,156 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_i = 0,16 (0,131 + 0,026 + 0,034) = 0,03 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

13. Затраты на подогрев воды и заполнителей аналогичны затратам при способе термоса:

$$Z_{\text{пвз}} = 0,036 \text{ руб/м}^3; T_{\text{пвз}} = 0,01 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

для $t_{см} = 10$ °С $t_{н.в} = -15$ °С

из табл. 74 для Мосэнерго

$$C_{\text{пвз}} = 0,109,$$

для Челябинска

$$C_{\text{пвз}} = 0,109 \frac{3,5}{4,62} = 0,082 \text{ руб/м}^3.$$

14. Заработная плата и трудоемкость, связанная с простоем транспорта на посту разогрева, определена на основании калькуляции, составленной трестом Челябметаллургстрой:

$$Z_{\text{тр}} = \frac{12 \cdot 0,035}{3,2} = 0,13 \text{ руб/м}^3; T_{\text{тр}} = \frac{0,2}{3,2} = 0,062 \text{ чел. - дн/м}^3;$$

где 12 мин (0,2 ч) - среднее время разогрева бетонной смеси в кузове автомашины; 0,035 руб. - плата за 1 мин простоя автотранспорта;

$3,2 \text{ м}^3$ - объем разогреваемой бетонной смеси.

15. По расчету опалубка не утепляется, поэтому считаем только затраты на утепление горизонтальной поверхности ($\delta_{\text{ут}} = 0,02$ м и слой пергамина):

$$C_{\text{ут}} = \frac{33,9 \cdot 0,02 \cdot 19,2 + 0,12 \cdot 19,2}{5 \cdot 18} = 0,17 \text{ руб/м}^3;$$

$$Z_{\text{ут}} = 1,15 \cdot 0,019 \frac{19,2 \cdot 1}{18} = 0,023 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{ут}} = 0,005 \frac{19,2 \cdot 1}{18} = 0,005 \text{ чел. - дн/м}^3;$$

16. Затраты по контролю качества (см. п. [17.9](#)):

$$Z_{\text{к}} = 1,15 \cdot 0,049 \left(12 + \frac{66 - 24}{4} \right) \frac{6}{18} + 0,026 \frac{6}{18} = 0,380 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{к}} = 0,0125 \cdot 22,5 \frac{6}{18} + 0,005 \frac{6}{18} = 0,10 \text{ чел. - дн/м}^3.$$

17. Оплата за электроэнергию по формуле ([125](#))

$$C_{\text{ж}} = \frac{17,9 \cdot 630 \cdot 1}{342 \cdot 96} + 0,0068 \cdot 45,5 = 0,65 \text{ руб/м}^3;$$

где $C_1 = 17,9$; $C_3 = 0,0068$ (табл. [77](#) - для Челябэнерго).

18. Затраты на обслуживание установок прогрева по п. [17.12](#).

$$Z_{\text{обсл}} = 11,564/96 = 0,12 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{обсл}} = 2/96 = 0,02 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

19. Общие дополнительные затраты по формулам ([85](#)), ([86](#)), ([91](#)) - ([94](#)):

$$C'_{\text{мат}} = 0,04 + 0,17 = 0,21 \text{ руб/м}^3;$$

$$C''_{\text{мат}} = 0,082 + 0,65 = 0,732 \text{ руб/м}^3;$$

$$Z_{\text{пр.р}} = 0,156 + 0,036 + 0,023 + 0,38 + 0,12 = 0,695 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{пр.р}} = 0,03 + 0,01 + 0,005 + 0,1 + 0,02 = 0,165 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$S_{\text{пр.р}} = 1,09 \cdot 0,21 + 0,732 + 1,15 \cdot 0,695 = 1,76 \text{ руб/м}^3;$$

$$П_{\text{пр.р}} = 1,76 + 0,15 \cdot 0,11 = 1,78 \text{ руб/м}^3.$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7

Электропрогрев

Дополнительные условия: $t_{и} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $P = 5 \text{ град/ч}$; электроды нашивные сечением $40 \times 3 \text{ мм}$.

1. Аналогично вышеизложенному [формула (2), табл. 4] для $t_{б.н} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ находим при времени транспортирования 15 мин автосамосвалом МАЗ-500 и времени укладки 10 мин - $t_{см} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

2. Согласно примера 1 (разд. 4) определяем продолжительность изотермического выдерживания $\tau_{и} = 16 \text{ ч}$ для следующих условий:

средняя температура за период подъема $(5 + 40) : 2 = 22,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

время подъема температуры $(40 - 5) : 5 = 7 \text{ ч}$;

средняя температура за период остывания до $5 - 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

время остывания конструкции без учета экзотермии цемента 40 ч .

3. Мощность в период подъема температуры $P_{п} = 1,51 \text{ кВт/м}^3$ [формула (8)], мощность в период изотермического выдерживания $P_{и} = 1,1 \text{ кВт/м}^3$.

4. Мощность установки на период подъема температуры с учетом сменного потока бетона 40 м^3 :

$$P_{п} = 1,51 \cdot 40 = 60,4 \text{ кВт};$$

Следовательно, для прогрева необходим один прогревный трансформатор ТМОБ-63.

5. Расход электроэнергии по формуле (11)

$$W = 1,51 \cdot 7 \cdot 1,1 \cdot 16 = 28,17 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3.$$

6. Затраты на опалубку, армирование и укладку бетонной смеси из расчета для способа термоса:

$$Z_i = 0,156 \text{ руб/м}^3; T_i = 0,03 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

7. Затраты на подогрев воды и заполнителей, а также по утеплению аналогичны затратам при способе предварительного электроразогрева:

$$Z_{пвз} = 0,036 \text{ руб/м}^3; T_{пвз} = 0,01 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$C_{пвз} = 0,082 \text{ руб/м}^3; Z_{ут} = 0,023 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{ут} = 0,005 \text{ чел.-дн/м}^3; C_{ут} = 0,17 \text{ руб/м}^3.$$

8. По формуле (124) определяем $C_{обор}$:

$$C_{обор} = \frac{280 \cdot 0,064 \cdot 1 + 462 \cdot 0,5}{342 \cdot 40} \cdot \frac{23}{8} + \frac{0,08 \cdot 280}{342 \cdot 40} \cdot \frac{9 \cdot 23}{342 \cdot 40} = 0,067 \text{ руб/м}^3.$$

где 280 - стоимость трансформатора ТМОБ-63 (табл. [67](#));
0,064 и 0,5 - норма амортизационных отчислений;

1 - число трансформаторов;

23 - количество перестановок трансформатора в год.

Удельные капитальные затраты

$$K_i = \frac{280 + 462}{342 \cdot 40} = 0,05 \text{ руб/м}^3.$$

9. Стоимость электроэнергии по формуле ([125](#))

$$C_{\text{эл}} = \frac{17,9 \cdot 63 \cdot 23}{342 \cdot 40 \cdot 8} + 0,00068 \cdot 28,17 = 0,427 \text{ руб/м}^3.$$

10. Заработная плата, трудоемкость и стоимость электродов по п. [17.13](#) и табл. [73](#).

Для нашивных электродов по табл. [73](#)

$$Z_{\text{эл}} = 1,15 \cdot 0,144 \frac{29,1}{18} = 0,258 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{эл}} = 0,038 \cdot 1,617 = 0,06 \text{ чел.-дн/м}^3,$$

где 29,1 и 18 - соответственно опалубливаемая поверхность и объем конструкций;

$$C_{\text{эл}} = 0,12 \frac{2,82}{5} 1,617 = 0,11 \text{ руб/м}^3,$$

где 0,12 руб. - стоимость 1 кг стали;

2,82 кг - масса нашивных электродов на 1 м² опалубки;

5 - оборачиваемость электродов.

11. Затраты на обслуживание установок прогрева по п. [17.12](#):

$$Z_{\text{обсл}} = 11,564/40 = 0,29 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{обсл}} = 2/40 = 0,05 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

12. Затраты по контролю качества по п. [17.9](#)

$$Z_{\text{к}} = 1,15 \cdot 0,049 \left(\frac{7}{2} + \frac{16 + 40}{4} \right) 0,3 + 0,0125 \cdot 0,3 = 0,29 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{к}} = 0,0125 \cdot 17 \cdot 0,3 + 0,005 \cdot 0,3 = 0,066 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

13. Дополнительные затраты по формулам ([85](#)), ([86](#)) и ([95](#)) - ([98](#)):

$$C'_{\text{мат}} = 0,17 + 0,067 + 0,11 = 0,347 \text{ руб/м}^3;$$

$$C''_{\text{мат}} = 0,082 + 0,427 = 0,509 \text{ руб/м}^3;$$

$$Z_{\text{эл}} = 0,156 + 0,036 + 0,023 + 0,29 + 0,29 + 0,258 = 1,053 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{эл}} = 0,03 + 0,01 + 0,005 + 0,066 + 0,05 + 0,06 = 0,221 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$S_{\text{эл}} = 1,09 \cdot 0,347 + 0,509 + 1,15 \cdot 1,053 = 2,1 \text{ руб/м}^3;$$

$$П_{\text{эл}} = 2,1 + 0,15 \cdot 0,05 = 2,11 \text{ руб/м}^3.$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8

Греющая опалубка

Дополнительные условия: греющая опалубка из стальных щитов с минераловатными матами толщиной 40 мм и фанерой толщиной 3 мм, с нагревательным кабелем КНМС (коэффициент теплопередачи опалубки из табл. [45](#) - 3,44 Вт/(м² · град)).

1. Аналогично вышеизложенному для электропрогрева $t_{см} = 10$ °С; продолжительность изотермического выдерживания 13 ч для обеспечения требуемой прочности 50 % марочной выбрана для следующих условий:

температура изотермического прогрева - 40 °С;

средняя температура за период подъема - 22,5 °С;

время подъема температуры - 7 ч;

средняя температура за период остывания - до 5 - 23 °С;

время остывания конструкции без учета экзотермии цемента - 54 ч.

2. Мощность, необходимую для подъема температуры, определяем по формуле ([45](#)):

$$P_{п} = 0,58 \cdot 64,6 \cdot 1,3 = 48,7 \text{ кВт};$$

где 0,58 кВт/м² - удельная мощность нагревателей (см. рис. [37](#));

$\frac{29,1}{18} \cdot 40 = 64,6 \text{ м}^2$ - площадь опалубливаемой поверхности при суточном потоке бетона, равном 40 м³;

1,3 - коэффициент, учитывающий наличие открытых ребер каркаса опалубки.

Для мощности $P_{п} = 48,7$ кВт необходима одна установка для электропитания термоактивной опалубки мощностью 63 кВт, стоимостью 2400 руб. (п. [17.10](#)).

3. Расход электроэнергии по формуле ([11](#))

$$W = 1,22 \cdot 7 + 1,22 \cdot 0,85 \cdot 13 = 22 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где 0,85 - коэффициент, учитывающий отключение группы щитов по достижении расчетных температур (см. п. [9.56](#)).

4. Аналогично пп. [6](#) и [7](#) для электропрогрева находим:

$$Z_i = 0,156 \text{ руб/м}^3; T_i = 0,03 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$Z_{пвз} = 0,036 \text{ руб/м}^3; T_{пвз} = 0,01 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$C_{пвз} = 0,082 \text{ руб/м}^3; Z_{ут} = 0,023 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{ут}} = 0,005 \text{ чел.-дн/м}^3; C_{\text{ут}} = 0,17 \text{ руб/м}^3.$$

5. По формуле (124) определяем

$$C_{\text{обор}} = \frac{2400 \cdot 0,06474}{342 \cdot 40 \cdot 8} + \frac{0,08 \cdot 2400}{342 \cdot 40} = 0,133 \text{ руб/м}^3.$$

Удельные капитальные затраты

$$K_i = \frac{2400}{342 \cdot 40} = 0,175 \text{ руб/м}^3.$$

6. Стоимость электроэнергии по формуле (125)

$$C_{\text{э}} = \frac{17,9 \cdot 6320}{342 \cdot 40 \cdot 8} + 0,0068 \cdot 22 = 0,356 \text{ руб/м}^3.$$

7. Затраты по контролю качества по п. 17.9:

$$z_k = 0,056 \left(\frac{7}{2} + \frac{13+54}{4} \right) 0,3 + 0,026 \cdot 0,3 = 0,35 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_k = 0,0125(3,5 + 16,75)0,3 + 0,005 \cdot 0,3 = 0,08 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

8. Затраты на обслуживание установок прогрева по п. 17.12:

$$z_{\text{обсл}} = 11,564/40 = 0,29 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{\text{обсл}} = 2/40 = 0,05 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

9. Стоимость дополнительных материалов для греющей опалубки по п. 17.6:

$$C_{\text{опал}} = 41,27 \cdot 1,617 - \frac{30 \cdot 1,617}{100} = 0,182 \text{ руб/м}^3;$$

где $41,27 \text{ руб/м}^2$ - стоимость греющей опалубки (по расчету ЦНИИОМТП); 30 руб/м^2 - стоимость стальной опалубки (по расчету ЦНИИОМТП); 100 - оборачиваемость опалубки.

10. Дополнительные затраты по формулам (85), (86) и (99) - (102):

$$C'_{\text{мат}} = 0,182 + 0,17 + 0,133 = 0,485 \text{ руб/м}^3;$$

$$C''_{\text{мат}} = 0,082 + 0,356 = 0,438 \text{ руб/м}^3;$$

$$z_{\text{гр.о}} = 0,156 + 0,023 + 0,036 + 0,35 + 0,29 = 0,855 \text{ руб/м}^3.$$

$$T_{\text{гр.о}} = 0,03 + 0,005 + 0,01 + 0,08 + 0,05 = 0,175 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$S_{\text{гр.о}} = 1,09 \cdot 0,485 + 0,438 + 1,15 \cdot 0,855 = 1,95 \text{ руб/м}^3;$$

$$П_{\text{гр.о}} = 1,95 + 0,15 \cdot 0,175 = 1,98 \text{ руб/м}^3.$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9

Бетон с противоморозными добавками

1. Принимаем $t_{см} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Аналогично вышеизложенному находим $t_{б.н} = 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

2. Расчетную конечную температуру для добавки 10 % НН принимаем $t_{б.к} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Средняя температура за период остывания по формуле (7) $t_{б.ср} = -14 \text{ }^\circ\text{C}$.

4. По табл. 34 находим время набора прочности, равной 30 % марочной; $\tau = 10$ сут.

5. Так как количество добавки взято 10 % НН; следовательно, утепление не требуется ($Z_{ут} = 0$; $T_{ут} = 0$; $C_{ут} = 0$).

6. Аналогично пп. 6 и 7 для электропрогрева находим:

$$Z_i = 0,156 \text{ руб/м}^3; \quad T_i = 0,03 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$Z_{пвз} = 0,036 \text{ руб/м}^3; \quad T_{пвз} = 0,01 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$C_{пвз} = 0,048 \text{ руб/м}^3;$$

7. Затраты на контроль качества:

$$Z_x = 0,056 \frac{24 \cdot 10}{8} 0,3 + 0,026 \cdot 0,3 = 0,36 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_k = 0,0125 \cdot 30 \cdot 0,3 + 0,005 \cdot 0,3 = 0,08 \text{ чел.-дн/м}^3.$$

8. Затраты, связанные с внесением противоморозных добавок

$$Z_{хд} = 0,155 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{хд} = 0,022 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$C_{хд} = 0,10 \cdot 340 \cdot 0,1 = 3,4 \text{ руб/м}^3;$$

где 0,10 - количество добавок от массы цемента;

340 кг - количество цемента в 1 м^3 бетона;

0,1 руб. - стоимость 1 кг НН.

9. Дополнительные затраты:

$$C'_{\text{мат}} = 3,40 \text{ руб/м}^3;$$

$$C''_{\text{мат}} = 0,048 \text{ руб/м}^3;$$

$$Z_{хд} = 0,156 + 0,036 + 0,36 + 0,155 = 0,707 \text{ руб/м}^3;$$

$$T_{хд} = 0,03 + 0,01 + 0,08 + 0,022 = 0,142 \text{ чел.-дн/м}^3;$$

$$S_{хд} = П_{хд} = 1,09 \cdot 3,40 + 0,048 + 1,15 \cdot 0,707 = 4,56 \text{ руб/м}^3.$$

10. Сравнение вариантов производства работ различными способами дано в табл. [87](#).

Таблица 87

№ п.п.	Способ бетонирования	S_i , руб/м ³	T_i , чел.-дн/м ³	Π_i , руб/м ³
1	Термоса	1,81	0,19	1,81
2	Предварительный электропрогрев	1,76	0,16	1,78
3	Электропрогрев	2,10	0,22	2,11
4	Греющая опалубка	1,95	0,18	1,98
5	Противоморозные добавки	4,56	0,14	4,56

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №10

Подбор конструкции опалубки при термосном остывании бетона

1. Расчет по формуле Б.Г. Скрамтаева

Требуется подобрать конструкцию опалубки при условии, что бетон должен приобрести 70 % прочности марочной в течение 6 сут остывания.

Исходные данные: железобетонный фундамент размером $1,2 \times 1,5 \times 2$ м из бетона марки М200, портландцемента марки 400 с расходом 300 кг/м^3 бетонируется в условиях строительной площадки. Температура наружного воздуха минус $10 \text{ }^\circ\text{C}$ при скорости ветра 10 м/с . Температура бетона начальная $t_{б.н} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Расчет производим следующим образом.

Определяем объем бетона в конструкции:

$$V = hBL = 1,2 \cdot 1,5 \cdot 2 = 3,6 \text{ м}^3,$$

где h , B и L - соответственно толщина, высота и длина бетонируемой конструкции.

Определяем площадь поверхности охлаждения конструкции F :

$$F = 2(hB + BL + hL) = 2(2 \cdot 1,2 + 1,2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,5) = 14,4 \text{ м}^2.$$

Определяем модуль поверхности конструкции $M_{п}$:

$$M_{п} = \frac{F}{V} = \frac{14,4}{3,6} = 4 \text{ м}^{-1}.$$

Согласно графику набора прочности бетоном (см. рис. [2](#), а), находим среднюю температуру твердения бетона $t_{б.ср}$, равную $20 \text{ }^\circ\text{C}$, при которой в течение приблизительно 6 сут бетон конструкции приобретает 70 % прочности марочной.

Исходя из формулы Б.Г. Скрамтаева (12), определяем (ориентировочно) коэффициент теплопередачи опалубки K , принимая $t_{б.к} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$K = \frac{C_b \gamma_b (t_{б.н} - t_{б.к}) + ЦЭ}{\tau M_{п} (t_{б.ср} - t_{в})} = \frac{1,047 \cdot 2400(25 - 5) + 300 \cdot 260}{6 \cdot 24 \cdot 4[20 - (-10)]} = 7,42 \text{ кДж/кг} = 2,05 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)}. \quad (12)$$

По табл. [21](#) ориентировочно назначаем конструкцию опалубки, состоящую из доски хвойных пород толщиной 25 мм, слоя толя тол-

щиной 1 мм, слоя минеральной ваты объемной массой 150 кг/м³ (толщиной 50 мм) и слоя фанеры толщиной 4 мм.

Толщина слоя теплоизоляции в принятом типе опалубки (V) (табл. 21) соответствует коэффициенту теплопередачи при скорости ветра 10 м/с $K \gg 1,09 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, а по расчету требуется, чтобы K был равен $2,05 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

В связи с тем, что полученный коэффициент теплопередачи опалубки отличается от табличного, рассчитываем требуемую толщину слоя теплоизоляции (ваты минеральной).

Для этого определяем теплопроводность материалов, составляющих конструкцию опалубки, зависящую от изменения температуры материалов.

Температура на наружной поверхности опалубки t_b равна минус 10 °С.

Расчетную температуру нагрева опалубки $t_{\text{оп}}^p$ определяем как среднеарифметическое значение температуры наружного воздуха и начальной температуры бетона:

$$t_{\text{оп}}^p = \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{в}}}{2} = \frac{25 + (-10)}{2} = 7,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Согласно эмпирической формуле О.Е. Власова, теплопроводность материалов λ_t , составляющих конструкцию опалубки, нагретых до $t_{\text{оп}}^p$ определяют по формуле

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + 0,0025 t_{\text{оп}}^p),$$

где λ_0 - коэффициент теплопроводности материалов опалубки при 0 °С, принимаемый по табл. 22.

Для доски из хвойных пород (поперек волокон)

$$\lambda_d = 0,17(1 + 0,0025 \cdot 7,8) = 0,173 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C});$$

для фанеры клееной

$$\lambda_{\text{ф}} = 0,17(1 + 0,025 \cdot 7,5) = 0,173 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C});$$

для толя

$$\lambda_t = 0,17(1 + 0,0025 \cdot 7,5) = 0,173 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C});$$

для ваты минеральной объемной массой $\gamma = 150 \text{ кг}/\text{м}^3$

$$\lambda_{\text{в}} = 0,055(1 + 0,0025 \cdot 7,5) = 0,056 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Ввиду незначительной величины прироста коэффициентов теплопроводности материалов опалубки [менее 0,01 Вт/(м · °С)] за счет повышения их температуры в практических расчетах ими можно пренебречь.

Толщину теплоизоляционного слоя $\delta_{из}$ определяют исходя из формулы (13) без учета теплоотдачи опалубки конвекцией и излучением:

$$\delta_{из} = \lambda_{из} \left[\frac{1}{K} - \left(\frac{\delta_{п}}{\lambda_{п}} + \frac{\delta_{ф}}{\lambda_{ф}} + \frac{\delta_{т}}{\lambda_{т}} \right) \right] = 0,055 \left[\frac{1}{2,05} - \left(\frac{0,025 + 0,004 + 0,001}{0,17} \right) \right] = 0,017 \text{ м} \approx 17 \text{ мм.}$$

В итоге установлено, что конструкция опалубки должна состоять из сосновой доски толщиной 25 мм, одного слоя толя толщиной 1 мм, слоя минеральной ваты толщиной 17 мм и фанеры толщиной 4 мм.

2. Расчет с использованием таблиц основных параметров выдерживания бетона.

1. Определяем принципиальную возможность выдерживания бетона марки М300 на шлакопортландцементе марки 400 (расход цемента 400 кг/м^3) при температуре наружного воздуха $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ в конструкции колонны с металлической обечайкой диаметром 1 м, высотой 5 м. Температура уложенной бетонной смеси может быть обеспечена равной $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Расчет

Определяем модуль поверхности:

$$M_i = \frac{4}{d} + \frac{2}{h} = \frac{4}{1} + \frac{2}{5} = 4,4 \text{ м}^{-1}.$$

Для получения 40, 70 и 100 % от R_{28} по табл. 18, 18а, 18б при $M_{п} = 4$ соответственно имеем:

$$\begin{aligned} R_{т40} &= 0,53 \text{ м}^2 \cdot \text{град/Вт}; & \tau_{40} &= 77 \text{ ч}; \\ R_{т70} &= 1 \text{ м}^2 \cdot \text{град/Вт}; & \tau_{70} &= 144 \text{ ч}; \\ R_{т100} &= 2,53 \text{ м}^2 \cdot \text{град/Вт}; & \tau_{100} &= 391 \text{ ч}. \end{aligned}$$

Для изоляции типа шлаковата толщины слоев составят:

$$\begin{aligned} \delta_{40} &= R_{т40} \lambda_{ш} = 0,53 \cdot 0,058 = 0,0308 \text{ м}; \\ \delta_{70} &= R_{т70} \lambda_{ш} = 1,0 \cdot 0,058 = 0,058 \text{ м}; \\ \delta_{100} &= R_{т100} \lambda_{ш} = 2,53 \cdot 0,058 = 0,147 \text{ м}. \end{aligned}$$

Из анализа полученных величин следует, что термосный метод при заданных условиях может быть рекомендован для получения 40 %- и 70 %-ной прочности от марки.

2. Какую прочность и в какие сроки можно получить при термомном выдерживании бетона марки М200 на портландцементе марки 400 при следующих условиях:

расход цемента - 230 кг/м³;

конструкция - колонна 0,354×0,354×3 м;

район строительства - г. Владивосток;

период строительства - ноябрь месяц.

Расчет

а) Определяем модуль поверхности:

$$M_i = \frac{4}{0,34} = 11,8.$$

б) Расчетная температура наружного воздуха по прил. 1 составит - 10 °С.

в) Для портландцемента марки 400 по табл. 17 и 17а при $M_{п} = 10$ и расходе цемента 226 кг/м³ (в запас прочности) для получения 40 % от R_{28} :

$$R_{т40} = 0,62 \text{ м}^2 \cdot \text{град/Вт}; \quad t_{б.н} = +7 \text{ °С}; \quad \tau_{40} = 49 \text{ ч}$$

или

$$R_{т40} = 0,73 \text{ м}^2 \cdot \text{град/Вт}; \quad t_{б.н} = +12 \text{ °С}; \quad \tau_{40} = 40 \text{ ч.}$$

Для получения 70 % от R_{28} :

$$R_{т70} = 1,48 \text{ м}^2 \cdot \text{град/Вт}; \quad t_{б.н} = +5 \text{ °С}; \quad \tau_{70} = 125 \text{ ч.}$$

Выдерживание при заданных условиях до получения 100 % от R_{28} не рекомендуется.

г) Перерасчет полученных значений термосопротивлений на условные толщины изоляции (например, шлаковаты):

$$\delta_{40} = 0,62 \cdot 0,058 = 0,036 \text{ м}; \quad \delta_{40} = 0,73 \cdot 0,58 = 0,0424 \text{ м}; \quad \delta_{70} = 1,48 \cdot 0,058 = 0,086 \text{ м}$$

показывает реальную возможность осуществления этих режимов выдерживания.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №11

Определение тепловых параметров термосного остывания монолитной бетонной плиты, бетонизируемой на мерзлом основании

Определить тепловые параметры бетонирования методом термоса монолитной бетонной плиты толщиной 0,2 м при следующих исходных данных:

требуемая прочность бетона $R_0 = 50 \% R_{28}$;

весовая влажность грунта $W = 5 \%$;

температура грунта $t_r = -10 \text{ }^\circ\text{C}$;

начальная температура бетонной смеси после укладки в конструкцию $t_{б.н} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;

температура воздуха $t_b = -15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Решение

По графику рис. 6 при наборе бетоном плиты прочности до замерзания $R_0 = 50 \% R_{28}$ при ее бетонировании на мерзлом грунтовой основе с влажностью $W = 5 \%$ определяем термическое сопротивление тепловой изоляции и максимальную глубину протаивания грунта под подошвой плиты.

Из точки на оси ординат, соответствующей температуре грунта $t_r = -10 \text{ }^\circ\text{C}$, восстанавливаем перпендикуляр влево и вправо от оси до пересечения с кривой, соответствующей начальной температуре бетонной смеси после укладки $t_{б.н} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Находим абсциссу полученной в правой части графика точки пересечения, соответствующей требуемой величине термического сопротивления изоляции $R = 2,42 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ при температуре воздуха, равной температуре грунта $t_b = t_r = -10 \text{ }^\circ\text{C}$.

По абсциссе точки пересечения, полученной в левой части графика, определяется максимальная глубина протаивания грунта под подошвой плиты $h = 0,2 \text{ м}$.

Время остывания $\tau_{ост}$ и средняя температура бетона t_0 за это время находится по графику на рис. 7. Для этого восстанавливают перпендикуляр к оси абсцисс из точки, соответствующей начальной температуре уложенного бетона $t_{б.н} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, до пересечения с кривыми времени остывания бетона до замерзания $\tau_{ост}$ и средней

температуры бетона за это время t_6 . По ординате соответствующих точек определяются $\tau_{\text{ост}} = 260 \text{ с}$, $t_6 = 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Необходимое термическое сопротивление тепловой изоляции (R') при заданной температуре воздуха $t_{\text{в}} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ определяется по формуле (16):

$$R' = 2,8 \frac{2 - (-15)}{2 - (-10)} = 3,42 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Толщина теплового ограждения d [(при использовании в качестве утеплителя пенопласт плиточный с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,041 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ из табл. 19] определяется по формуле

$$d = R'\lambda = 3,42 \cdot 0,041 = 0,139 \text{ м} \gg 14 \text{ см}.$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №12

Определение расчетной температуры твердения бетона, расчет утепления конструкции

Необходимо определить расчетную температуру твердения бетона марки М300, приготовленного на гранитном щебне и портландцементе марки М400 с расходом 350 кг/м^3 , если средняя температура воздуха в текущей декаде по данным месячного прогноза ожидается минус $21 \text{ }^\circ\text{C}$, а скорость ветра 4 м/с . В качестве противоморозной добавки выбран нитрит натрия. Конструкцию с модулем поверхности 6 м^{-1} намечается возводить в опалубке типа 6 (по табл. [18](#)), а температура бетонной смеси после уплотнения будет около $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Согласно п. [1.5](#) критическая прочность для бетона марки М300 составляет 25% . Тогда, подставляя известные из условия задачи величины в формулы [\(7\)](#) и [\(17\)](#) и принимая $t_{\text{б.к}} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ согласно п. [6.6а](#), находим:

$$t_{6,\text{ф}}^{-15} = -15 + \frac{10 + 15}{1,03 + 0,181 \cdot 6 + 0,006(10 + 15)} = -4 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau_{25}^{-15} = \frac{2400 \cdot 1,047(10 + 15) + 0,014 \cdot 350 \cdot 335 \cdot 25}{86,4 \cdot 1,27 \cdot 6(-4 + 21)} = \frac{62820 + 1641,5 \cdot 25}{11192,3} = 9,3 \text{ сут.}$$

По имеющимся экспериментальным данным, по интенсивности твердения бетона на применяемом на объекте строительства цементе, приведенным на рис. [76](#), находим, что при средней температуре твердения минус $4 \text{ }^\circ\text{C}$ за $9,3 \text{ сут}$ бетон приобретет прочность около 40% марочной.

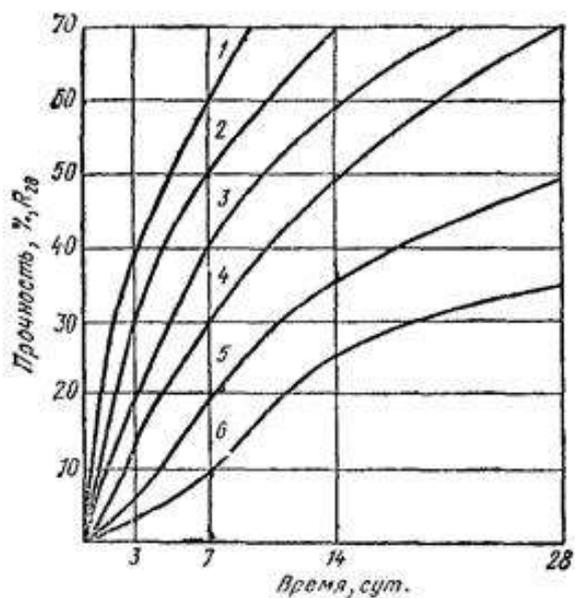
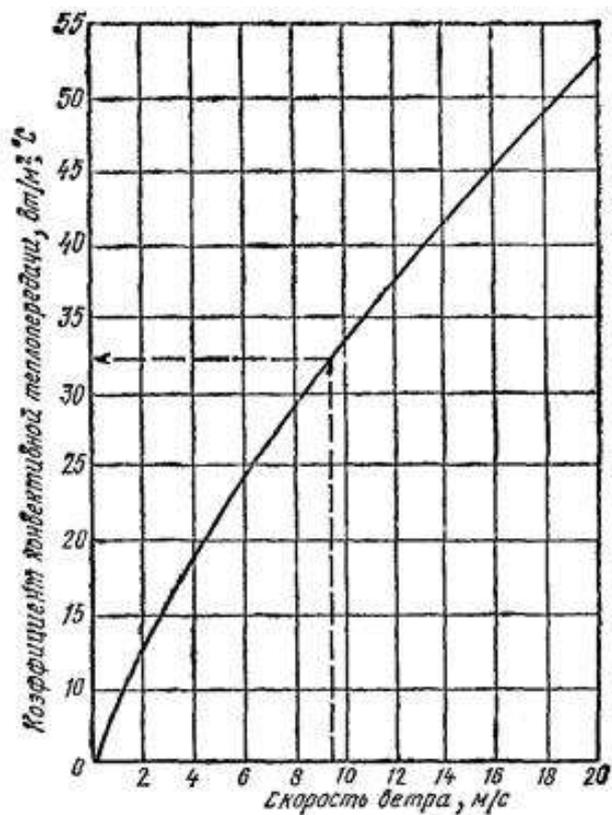


Рис. 76. Нарастание прочности бетона с добавкой НН при 10 °С (1), 5 °С (2), 0 °С (3), -5 °С (4), -10 °С (5) и -15 °С (6)

Тогда уточненное время остывания бетона составит

$$\tau_{40}^{-15} = \frac{62820 + 1641,5 \cdot 40}{11192,3} = 11,5 \text{ сут.}$$

За 11,5 сут, как это следует из рис. 76, бетон приобретает не 40, а 45 % марочной прочности. Тогда уточненное еще раз время остывания бетона до -15 °С составит

$$\tau_{45}^{-15} = \frac{62820 + 1641,5 \cdot 45}{11192,3} = 12,2 \text{ сут.}$$

Принимая $R = 50$ % из-за несоответствия полученной по предыдущему расчету прочности с опытными данными, находим:

$$\tau_{50}^{-15} = \frac{62820 + 1641,5 \cdot 50}{11192,3} = 12,9 \text{ сут.}$$

Сопоставляя эти расчетные данные с экспериментальными (по рис. 76), находим, что за 12,9 сут твердения при температуре минус 4 °С бетон действительно набирает прочность в размере 50 % марочной.

Для установления времени набора бетоном критической (или иной) прочности при остывании его до более высоких температур выполняются расчеты времени охлаждения бетона до -10; -5; 0 и 5 °С, сопоставляя каждый раз расчетные данные с опытными. Находим:

при $t_{б.к} = -10$ °С,	при $t_{б.к} = -5$ °С;	при $t_{б.к} = 0$ °С,	при $t_{б.к} = 5$ °С,
$t_{б.сп}^{-10} = -1$ °С	$t_{б.сп}^{-5} = 1,8$ °С	$t_{б.сп}^0 = 4,6$ °С	$t_{б.сп}^5 = 7,3$ °С
$\tau_{25}^{-10} = 6,7$ сут,	$t_{б.сп}^{-5} = 4,9$ сут,	$\tau_{25}^0 = 3,4$ сут,	$\tau_{25}^5 = 2,3$ сут,
$\tau_{40}^{-10} = 8,5$ сут,	$\tau_{25}^{-5} = 6,3$ сут,	$\tau_{35}^0 = 4,2$ сут,	$\tau_{30}^5 = 2,6$ сут,
$\tau_{45}^{-10} = 9$ сут;	$\tau_{40}^{-5} = 6,7$ сут;	$\tau_{40}^0 = 4,6$ сут;	$\tau_{35}^5 = 2,9$ сут.

Из результатов расчетов, приведенных на рис. 77, следует, что в данном случае за расчетную температуру твердения бетона может быть принята температура минус 5, 10 или минус 15 °С, поскольку бетон набирает критическую прочность при остывании примерно до -2,5 °С.

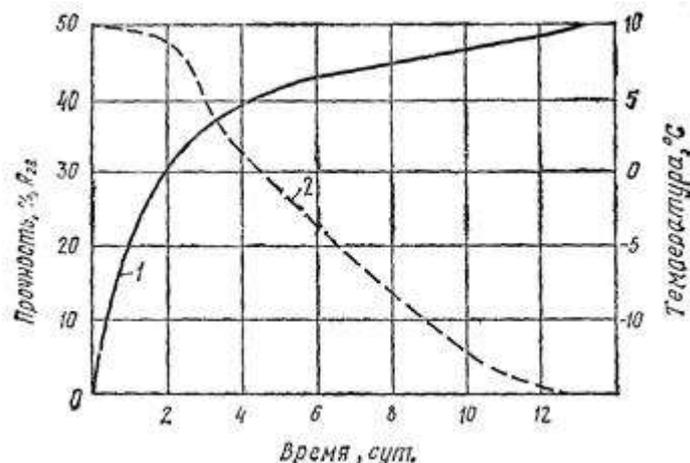


Рис. 77. Нарастание прочности (1) и изменение температуры (2) в процессе выдерживания бетона с добавкой НН

Какую из указанных температур принять за расчетную с введением в состав бетонной смеси добавки нитрита натрия соответственно в количестве 4 - 6, 6 - 8 или 8 - 10 % массы цемента в зависимости от его минералогического состава, необходимо решить применительно к конкретным условиям производства исходя из нарастания прочности бетона и удорожания его стоимости с увеличением количества вводимой добавки.

При расчетной температуре -5°C до замерзания бетон наберет прочность порядка 43 % марочной. В дальнейшем она будет заметно увеличиваться при оттаивании бетона до температуры -5°C и выше. При расчетной температуре -10°C к моменту замерзания бетон приобретет около 45 % марочной прочности и будет твердеть при оттаивании до -10°C и выше, а прочность бетона к моменту замерзания при расчетной температуре -15°C составит порядка 50% марочной с последующим заметным ее приростом с повышением температуры выше расчетной.

Однако при расчетной температуре -5°C расход добавки на 1 м^3 бетона составит в среднем 7 кг при удорожании его стоимости за счет этого на 0,9 руб., в то время как при расчетной температуре -15°C расход добавки и удорожание бетона составят уже соответственно 21 кг и 2,7 руб.

Распалубливание конструкции в данном случае может производиться через 1,5 сут независимо от количества вводимой добавки, так как ко времени набора бетоном критической прочности он охладится примерно до $-2,5^{\circ}\text{C}$. Однако в случае распалубливания

конструкции по достижении бетоном критической прочности время его остывания до $-10, -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ не будет соответствовать установленному ранее расчетами из-за изменения величины K . Для его определения необходимо выполнить расчеты, учитывающие изменение коэффициента теплопередачи, используя описанный метод расчета.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №13

Необходимо определить расчетную температуру твердения бетона при возведении конструкции с модулем поверхности 10 м^{-1} при остальных условиях, соответствующих указанному в примере [1](#) данного приложения.

Принимая $t_{б.к} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$, находим:

$$t_{6,сп}^{-15} = -15 + \frac{10+15}{1,03+0,181 \cdot 10+0,006(10+15)} = -6,6 \text{ }^\circ\text{C};$$
$$\tau_{25}^{-15} = \frac{2400 \cdot 1,047(10+15)+0,014 \cdot 350 \cdot 335 \cdot 25}{86,4 \cdot 1,27 \cdot 10(-6,6+21)} = 6,6 \text{ сут.}$$

Сопоставляя расчетные данные с экспериментальными (по рис. [76](#)), находим, что за 6,6 сут твердения при температуре $-6,6 \text{ }^\circ\text{C}$ бетон действительно набирает прочность в размере 25 % марочной.

Следовательно, в данном случае за расчетную температуру твердения бетона следует принять $-15 \text{ }^\circ\text{C}$, а в состав бетонной смеси ввести добавку нитрита натрия в количестве 8 - 10 % массы цемента в зависимости от минералогического состава последнего.

Уложенный бетон к моменту остывания до $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ (через 6,6 сут) приобретает критическую прочность и в последующем будет заметно увеличивать свою прочность при температуре $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ и выше.

Для условий, идентичных указанным в примере [1](#), необходимо определить расчетную температуру твердения бетона при возведении конструкции с модулем поверхности 14 м^{-1} .

Принимая $t_{б.к} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$, находим:

$$t_{6,сп}^{-15} = -15 + \frac{10+15}{1,03+0,181 \cdot 14+0,006(10+15)} = -8,3 \text{ }^\circ\text{C};$$
$$\tau_{25}^{-15} = \frac{2400 \cdot 1,047(10+15)+0,014 \cdot 350 \cdot 335 \cdot 25}{86,4 \cdot 1,27 \cdot 14(-8,3+21)} = 5,3 \text{ сут.}$$

По рис. [76](#) находим, что за 5,3 сут твердения при температуре $-8,3 \text{ }^\circ\text{C}$ бетон приобретет прочность порядка 15 % марочной, т.е. меньше критической.

Чтобы получить критическую прочность бетона к моменту остывания его до $-15 \text{ }^\circ\text{C}$, конструкцию необходимо дополнительно утеплить, тем самым увеличить время остывания бетона до расчетной

температуры $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, чтобы к моменту остывания бетон успел набрать критическую прочность.

По рис. 76 находим, что при температуре твердения $-8,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ бетон может приобрести критическую прочность (25 % марочной) за 8 сут. Чтобы время охлаждения до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ составило 8 сут, бетон необходимо выдерживать в опалубке с

$$K = \frac{2400 \cdot 1,047(10+15) + 0,014 \cdot 350 \cdot 335 \cdot 25}{86,4 \cdot 8 \cdot 14(-8,3+21)} = 0,85.$$

При необходимости получения критической прочности в более короткие сроки расчет следует производить при более высоких значениях температуры $t_{\text{б.к}}$ и в соответствии с нею назначать количество добавки в бетон.

Например, если принять $t_{\text{б.к}} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (с введением в бетон 6 - 8 % нитрита натрия от массы цемента в зависимости от его минералогического состава), то

$$t_{\text{б.к}}^{-10} = -10 + \frac{10+10}{1,03+0,181 \cdot 14+0,006(10+10)} = -4,6\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

По рис. 76 находим, что при температуре твердения $-4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ бетон может приобрести критическую прочность за 5,4 сут, а чтобы остывание бетона до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ продолжалось в течение этого времени, бетон необходимо выдерживать в опалубке, имеющей

$$K = \frac{2400 \cdot 1,047(10+10) + 0,013 \cdot 350 \cdot 335 \cdot 25}{86,4 \cdot 5,4 \cdot 14(-4,6+21)} = 0,82.$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №14

Расчет электропрогрева бетона

Дано: железобетонный ростверк высотой 0,6 м, шириной 0,7 м, длиной 16 м и прогреть до приобретения бетоном марки М200 на портландцементе марки 400 70 % R_{28} при температуре воздуха минус 10 °С. Опалубка деревянная толщиной 40 мм, скорость ветра 0,5 м/с. Трансформатор для электропрогрева бетона типа ТМОБ-63. Удельное сопротивление бетона $\rho_{\text{расч}} = 8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Решение.

Вычисляем модуль поверхности ростверка:

$$M_{\text{п}} = \frac{F}{V} = \frac{2(0,6 \cdot 0,7 + 0,6 \cdot 16 + 0,7 \cdot 16)}{0,6 \cdot 0,7 \cdot 16} = \frac{40,44}{6,71} = 6,6 \text{ м}^{-1}.$$

Принимаем скорость подъема температуры 8 °С в час, так как ростверки густо армированы, а температуру изотермического прогрева 70 °С. Определяем требуемую удельную мощность по табл. 8 (пренебрегая несколько большей скоростью ветра, что дает незначительную погрешность), интерполируя между значением мощности для $M_{\text{п}} = 6$ и $M_{\text{п}} = 10$, $t_{\text{п}} = 60$ °С и $t_{\text{п}} = 80$ °С.

Получаем $P = 6,3 \text{ кВт/м}^3$.

Электропрогрев ростверка возможно осуществить стержневыми электродами или путем периферийного прогрева полосовыми электродами.

В связи с необходимостью бетонирования только одного ростверка выбираем не периферийный прогрев с помощью электродов на инвентарных щитах, а прогрев стержневыми электродами, размещенными в шахматном порядке, так как в верхней части ростверка располагается сетка с квадратными ячейками 0,15×0,15 м. Принимаем в соответствии с размерами ячеек сетки расстояния между электродами $b = 0,15$ м. По графику на рис. 21 находим, что требуемая мощность обеспечивается при $b = 0,15$ м в случае применения напряжения 85 В для $\rho_{\text{расч}} = 8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Определим продолжительность изотермического прогрева бетона. Учитывая, что при прогреве стержневыми электродами конструкций с армированием, аналогичных нашему ростверку, перепады температуры соответствуют примерно 15 °С, т.е. температура

на наименее нагретых участках составляет $70 - 15 = 55$ °С. Пользуясь графиком на рис. 2, б, находим, что за время подъема температуры с 2 до 55 °С со скоростью 8 °С в час в течение $\frac{55 - 2}{8} = 6,5$ ч (средняя температура примерно 30 °С) бетон приобретает прочность 13 % R_{28} . Остальную долю прочности до 70 % бетон при температуре 55 °С приобретает за 33 ч (прочностью, приобретаемой бетоном в процессе остывания, пренебрегаем).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №14

Расчет индукционных систем

Выбрать режим и рассчитать параметры индукционного прогрева колонны сечением $0,4 \times 0,4$ м, высотой $h = 3$ м, армированной четырьмя стержнями диаметром 30 мм и жестким каркасом из двух швеллеров № 16, сваренных полками. Деревянная опалубка имеет толщину 40 мм; начальная температура бетона 5 °С; температура воздуха - минус 15 °С; скорость ветра 3 м/с. Бетон марки М200, приготовленный на портландцементе марки 400 с расходом 350 кг/м³. Требуемая относительная прочность к концу термообработки должна составлять 50 % от R_{28} . Модуль поверхности конструкции составляет $M_{\Pi} = 10$ м⁻¹; коэффициент теплопередачи опалубки $K = 2,67$ кВт/(м² · °С). Напряжение принимаем 49 В.

1. Максимальную температуру прогрева бетона для заданных условий принимаем 70 °С.
2. Скорость подъема температуры бетона по табл. [55](#) принимаем 10 °С/ч.
3. Активная электрическая мощность, необходимая для разогрева бетона со скоростью 10 °С/ч составит [см. формулы [\(50\)](#) и [\(8\)](#)]

$$P_{\text{эс}} = P_{\Pi} U = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,05 \cdot 2400 \cdot 10}{3630} + \frac{2,73 \cdot 700 \cdot 0,04 \cdot 10}{3630} \frac{10}{2} + \\ + \frac{2,67 \cdot 10 [70 - (-15)]}{1000} - 0,8 \end{array} \right\} 0,48 = 4,6 \text{ кВт,}$$

где $2,73$ - удельная теплоемкость материала опалубки (дерево), кДж/(кг · °С);

700 - объемная масса материала опалубки (дерево), кг/м³;

$0,48$ - объем прогреваемого бетона, м³.

4. Активная поверхность S_a металла составит

$$S_a = n p d h + 2(a_{\text{ш}} + 2b_{\text{ш}}) h = 4p \cdot 0,03 \cdot 3 + 2(0,16 + 2 \cdot 0,08) 3 = 3,05 \text{ м}^2,$$

где n - количество арматурных стержней, шт.;

d - диаметр арматурных стержней, м;

h - высота (длина) арматурных стержней, м;

$a_{\text{ш}}$ - высота швеллера, м;

$b_{\text{ш}}$ - ширина полки швеллера, м.

5. Удельная активная мощность ΔP определяется по формуле [\(51\)](#):

$$\Delta P = \frac{4,6}{3,05} = 1,51 \text{ кВт/м}^2.$$

6. Напряженность магнитного поля H и удельное поверхностное сопротивление ρ_n , соответствующие найденному значению ΔP , определяем по графику рис. 52 так, как это показано пунктирной линией. В результате имеем: определенному в п. 5 значению $\Delta P = 1,51 \text{ кВт/м}^2$ соответствует $H = 4200 \text{ А/м}$ и $\rho_n = 8,75 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$.

7. Расчет параметров индукционной системы ведем по схеме индуктивной катушки с железом.

8. Для определения коэффициентов сопротивления F_s и Q_s предварительно вычисляем по формуле (49) глубину проникновения тока Δ_s :

$$\Delta_s = \frac{20 \cdot 10^{-8}}{8,75 \cdot 10^{-5}} = 0,0023 \text{ м} = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

9. Коэффициенты сопротивлений F_s и Q_s определяем для швеллеров по графику рис. 53 и для стержневой арматуры по графику рис. 54.

Для швеллеров:

средняя толщина сечения швеллера № 16 (по сортаменту) $\Delta = 0,007 \text{ м}$;

отношение $\frac{2\Delta}{\Delta_s} = \frac{2 \cdot 0,007}{0,0023} = 6$;

для $\frac{2\Delta}{\Delta_s} = 6$ величина $F_s = Q_s = 1$.

Для стержневой арматуры:

радиус арматурного стержня АЕ 30 составляет $r = 0,015 \text{ м}$;

отношение $\frac{r\sqrt{2}}{\Delta_s} = \frac{1,4 \cdot 0,015}{0,0023} = 9,1$;

для $\frac{r\sqrt{2}}{\Delta_s} = 9,1$ величина $F_s = Q_s = 1$.

10. Коэффициент формы индуктора m находим по графику рис. 55:

при высоте индуктора $h_i = 300 \text{ см}$ отношение $\frac{h_i}{R_i} = \frac{3}{0,29} = 10$;

для $\frac{h_i}{R_i} = 10$ величина $m = 1$.

11. Определяем сумму периметров сечения металла в сечении конструкции:

$$S\Pi_s = n_{cp}d_c + n_{ж}(a + 2b) = 4p \cdot 0,03 + 2(0,16 + 2 \cdot 0,08) = 1,02 \text{ м,}$$

где n - количество стержней арматуры в сечении, шт.;

d_c - диаметр стержневой арматуры, м;

$n_{ж}$ - количество элементов жесткого каркаса (швеллера), шт.;

a - высота швеллера, м;

b - ширина полки швеллера, м.

12. Определяем площадь сечения индуктора

$$S_i = (0,4 + 0,04 + 0,01)^2 + 0,2 \text{ м}^2.$$

13. Условное активное сопротивление системы r_0 определяем по формуле (54):

$$r_0 = 1,1 \cdot 8,75 \cdot 10^{-5} \cdot 1,02 \cdot 1 = 9,81 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

14. Условное индуктивное сопротивление системы ωL_0 определяем по формуле (55):

$$\omega L_0 = 4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,2 \cdot 1 + 8,75 \cdot 10^{-5} \cdot 1,02 \cdot 1 = 17 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

15. Полное условное сопротивление системы Z_0 определяем по формуле (53):

$$Z_0 = \sqrt{(9,81 \cdot 10^{-5})^2 + (17 \cdot 10^{-5})^2} = 19,6 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$$

16. Число витков индуктора при выбранном напряжении 49 В определяется по формуле (52):

$$N = \frac{49}{19,6 \cdot 10^{-5} \cdot 4200} = 59.$$

17. Ожидаемая сила тока определяется по формуле (56):

$$I = \frac{4200 \cdot 3}{59} = 213 \text{ А.}$$

18. Коэффициент мощности системы $\cos \varphi$ определяется по формуле (57):

$$\cos \varphi = \frac{9,81 \cdot 10^{-5}}{19,6 \cdot 10^{-5}} = 0,5.$$

19. Если в наличии имеется другой провод, например медный сечением 35 мм^2 , у которого допустимая токовая нагрузка составляет 170 А, пересчитывается количество витков:

$$N = \frac{Hh}{I} = \frac{4200 \cdot 3}{170} = 74$$

и напряжение, определяемое по формуле (52),

$$U = 74 \cdot 19,6 \cdot 10^{-5} \cdot 4200 = 62 \text{ В.}$$

20. Расчет параметров для стадии изотермического прогрева:

$$P_{as} = KM_{п}(t_{из} - t_{нв})\beta U = 2,67 \cdot 10 \cdot [70 - (-15)] \cdot 1,2 \cdot 0,48 = 1,15 \text{ кВт.}$$

Тогда

$$\Delta P = \frac{1,15}{3,05} = 0,38 \text{ кВт/м}^2.$$

При $\Delta P = 0,38 \text{ кВт/м}^2$ по графику рис. 52 находим $H = 1700 \text{ А/м}$; $\rho_H = 11 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$. Z определяем по формулам (53) - (55):

$$Z_0 = \sqrt{(1,1 \cdot 11 \cdot 10^{-5} \cdot 1,02 \cdot 1)^2 + (4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,2 \cdot 1 + 11 \cdot 10^5 \cdot 1,02 \cdot 1)^2} = 22,6 \cdot 10^{-5} \text{ Ом},$$

$$U_{\text{из}} = NZH = 74 \cdot 22,6 \cdot 10^{-5} \cdot 1700 = 29 \text{ В};$$

$$I_{\text{из}} = \frac{Hh}{N} = \frac{1700 \cdot 3}{74} = 69 \text{ А}.$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №15

Расчет параметров инфракрасных установок

1. Расчет параметров инфракрасной установки для обогрева железобетонной плиты перекрытия

Исходные данные. Перекрытие толщиной 0,12 м (см. рис. 82).

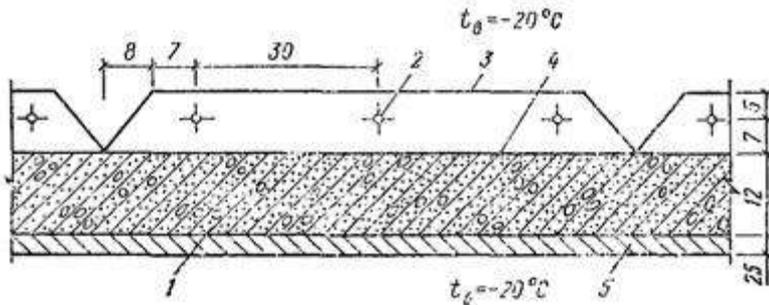


Рис. 82. Схема к расчету и конструированию инфракрасной установки для обогрева плиты перекрытия

1 - плита; 2 - трубчатые инфракрасные излучатели; 3 - короб-отражатель; 4 - полиамидная пленка; 5 - деревянная опалубка

Бетон объемной массы $\gamma_b = 2400 \text{ кг/м}^3$, удельной теплоемкостью $C_b = 1,05 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$.

Арматура удельной теплоемкостью $C_a = 0,4810^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$, расход арматуры $\Delta m_a = 150 \text{ кг/м}^3$ бетона.

Опалубка деревянная толщиной 0,025 м, объемной массой $\gamma_{оп} = 700 \text{ кг/м}^3$, удельной теплоемкостью $C_{оп} = 2,72 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$, с коэффициентом теплопередачи $K = 5,2 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$.

Плита обогревается с неопалубленной стороны с помощью инфракрасных установок типа «короб» размерами в плане $0,9 \times 1,12 \text{ м}$ и высотой $h = 0,12 \text{ м}$. Отражатель выполнен из полированного алюминия.

Начальная температура бетона $t_{б.н} = +10$ °С.

Температура бетона на стадии изотермического прогрева на облучаемой поверхности $t_{и} = 80$ °С, на опалубленной поверхности $t_{и} = 70$ °С.

Температура наружного воздуха $t_{в} = -20$ °С.

Продолжительность периода разогрева $\tau_{п} = 4$ ч.

Продолжительность периода изотермического прогрева $\tau_{и} = 8$ ч.

Режим термообработки принят из условия обеспечения прочности бетона, равной 70 % от R_{28} по графику рис. [82](#).

Экзотермия цемента ввиду малой массивности плиты в расчетах не учитывается.

ХОД РАСЧЕТА

1. Средняя температура бетона конструкции составит:

за период разогрева [формула [\(69\)](#)].

$$t_{\Phi}^{\pi} = \frac{10 + 80}{2} = 45 \text{ °С};$$

за период изотермического прогрева [формула [\(70\)](#)]

$$t_{\Phi}^{\pi} = \frac{80 + 70}{2} = 75 \text{ °С}.$$

2. Температура стенок инфракрасной установки составит:

в период разогрева [формула [\(71\)](#)]

$$t_{\gamma}^{\pi} = \frac{45 - 20}{2} = 12,5 \text{ °С};$$

в период изотермического прогрева [формула [\(72\)](#)]

$$t_{\gamma}^{\pi} = \frac{75 - 20}{2} = 27,5 \text{ °С}.$$

3. Коэффициент теплоотдачи облучаемой поверхности [формула (68)] составит:

в период разогрева

$$\alpha_{\circ}^{\pi} = \frac{4,62}{45+20} \left[\left(\frac{273+45}{100} \right)^4 - \left(\frac{273-20}{100} \right)^4 \right] + 2,91 \cdot 10^{-4} \frac{1}{0,12^2} \frac{546+45+12,5}{45-12,5} = 4,73 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

в период изотермического прогрева

$$\alpha_{\circ}^{\pi} = \frac{4,62}{75+20} \left[\left(\frac{273+75}{100} \right)^4 - \left(\frac{273-20}{100} \right)^4 \right] + 2,91 \cdot 10^{-4} \frac{1}{0,12^2} \frac{546+75+27,5}{75-27,5} = 5,41 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

4. Объем бетона, прогреваемого одним коробом:

$$V_{\circ} = 0,9 \cdot 1,12 \cdot 0,12 = 0,121 \text{ м}^3.$$

5. Площадь конструкции, обогреваемая одним коробом:

$$F_{\circ} = F_{\text{оп}} = 0,9 \cdot 1,12 = 1,008 \text{ м}^2.$$

6. Масса арматурной стали в прогреваемом объеме

$$m_a = \Delta m_a V_{\circ} = 150 \cdot 0,121 = 18,15 \text{ кг}.$$

7. Мощность, требуемая на период разогрева бетона одним коробом [формула (66)]:

$$P_{\pi} = 2,78 \cdot 10^{-4} (1,05 \cdot 10^3 \cdot 2400 \cdot 0,121 + 0,48 \cdot 10^2 \cdot 18,5 + 2,72 \cdot 10^3 \cdot 700 \cdot 0,025 \cdot 1,008) \frac{45-10}{4} + 1,008 \cdot (4,73 + 5,2)(45 + 20) = 1530 \text{ Вт}.$$

8. Мощность, требуемая на период изотермического прогрева бетона одним коробом [формула (67)]:

$$P_{\text{и}} = 4,73 \cdot 1,008 (80 + 20) + 5,2 \cdot 1,008 (70 + 20) = 848 \text{ Вт}.$$

9. По табл. 56 для бетона находим, что степень черноты

$$\varepsilon = 0,65 - 0,85.$$

Примем $\varepsilon = 0,7$.

10. Энергетическая освещенность [формула (65)], требуемая на стадиях:

разогрева

$$E_{\text{н}} = \frac{1530}{0,7 \cdot 1,008} = 2168 \text{ Вт/м}^2 = 2,17 \text{ кВт/м}^2;$$

изотермического прогрева

$$E_{\text{н}} = \frac{848}{0,7 \cdot 1,008} = 1200 \text{ Вт/м}^2 = 1,2 \text{ кВт/м}^2.$$

Примем

$$E_{\text{н}} = 2,17 \text{ кВт/м}^2.$$

11. Зададимся следующими параметрами инфракрасной установки.

Разместим под коробом три ТЭНа диаметром $d = 18$ мм с расстоянием между ними $S = 300$ мм (см. рис. 82). Тогда:

$$\frac{S}{d} = \frac{300}{18} = 16,7;$$

$$\frac{a_1}{h} = \frac{900}{120} = 7,5;$$

$$\frac{a_2}{h} = \frac{1120}{120} = 10.$$

По табл. 57, используя правило интерполяции, получим

$$\varphi_{\text{н-п}} = \varphi_{\text{н-о}} = 0,480 + \frac{0,482 - 0,480}{10} (16,7 - 10) = 0,481;$$

$$\varphi_{\text{о-п}} = 0,151 + \frac{0,077 - 0,151}{10} (16,7 - 10) = 0,101.$$

Аналогично по табл. 58 получим

$$\varphi_{\text{о-п}} = 0,729 + \frac{0,812 - 0,729}{5} (7,5 - 5) = 0,77.$$

12. По табл. [56](#) для полированного алюминия находим

$$\varepsilon_0 = 0,04 - 0,06.$$

Примем $\varepsilon_0 = 0,05$.

13. По формуле ([75](#)) определим коэффициент облученности:

$$\varphi = 0,481 + [(1 - 0,05)0,481 \cdot 0,77 - 0,101] = 0,731.$$

14. По формуле ([74](#)) получим

$$P_{\text{уст}} = \frac{2,17}{0,731} 1,008 = 2,97 \text{ кВт}.$$

15. Принимаем ТЭНы с погонной мощностью

$$N = \frac{2,97}{3 \cdot 1,12} = 0,88 \text{ кВт/м} = 0,9 \text{ кВт/м}.$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №16

Расчет параметров инфракрасной установки для термообработки железобетонной стены, возводимой в скользящей опалубке

Исходные данные. Стена толщиной 0,16 м. Бетон объемной массы $\gamma_b = 2400 \text{ кг/м}^3$, удельной теплоемкости $C_b = 1,05 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$. Арматура удельной теплоемкости $C_a = 0,48 \times 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$, расход арматуры на 1 м^3 бетона 180 кг.

Стена обогревается с помощью инфракрасной установки типа «короб» толщиной $h = 0,25 \text{ м}$ под тепляком (рис. 83). Отражатель выполнен из оцинкованного железа.

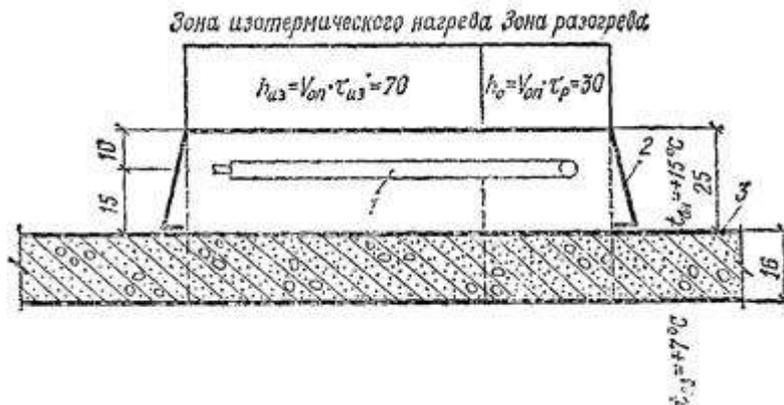


Рис. 83. Схема к расчету параметров инфракрасной установки для обогрева стены, возводимой в скользящей опалубке

1 - инфракрасный излучатель; 2 - короб-отражатель; 3 - бетон

Начальная температура бетона $t_n = 10 \text{ °C}$;

Температура изотермического прогрева на облучаемой поверхности $t_{и} = 80 \text{ °C}$.

То же, на необлучаемой поверхности $t_{и} = 60 \text{ °C}$.

Температура воздуха на наружных подвесных лесах $t_{н.в} = 15 \text{ °C}$.

То же, на внутренних подвесных лесах $t_{в.в} = 7 \text{ °C}$.

Коэффициент теплоотдачи открытой поверхности стены примем $\alpha = 20 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$.

Скорость подъема опалубки $v = 2,4 \text{ м/сут} = 0,1 \text{ м/ч}$.

Продолжительность периода разогрева $\tau_{п} = 3 \text{ ч}$.

То же, изотермического прогрева $\tau_{и} = 7 \text{ ч}$.

Ход расчета

1. Высота зоны разогрева [формула (77)]

$$h_{п} = 0,1 \cdot 3 = 0,3 \text{ м};$$

высота зоны изотермического прогрева [формула (78)]

$$h_{и} = 0,1 \cdot 7 = 0,7 \text{ м.}$$

2. Объем прогреваемого бетона в зонах:

$$\text{разогрева } V_{\delta}^{\text{н}} = 0,3 \cdot 0,16 = 0,048 \text{ м}^3;$$

$$\text{изотермического прогрева } V_{\delta}^{\text{н}} = 0,7 \cdot 0,16 = 0,112 \text{ м}^3.$$

3. Масса арматурной стали в зонах:

$$\text{разогрева } m_a^{\text{н}} = \Delta m_a V_{\delta}^{\text{н}} = 180 \cdot 0,048 = 8,64 \text{ кг};$$

$$\text{изотермического прогрева } m_a^{\text{н}} = 180 \cdot 0,112 = 20,16 \text{ кг.}$$

4. Средняя температура бетона в период:

разогрева [формула (69)]

$$t_{\Phi}^{\text{н}} = \frac{10+80}{2} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

изотермического прогрева [формула (70)]

$$t_{\Phi}^{\text{н}} = \frac{80+60}{2} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

5. Температура стенок установки в зонах:

разогрева [формула (71)]

$$t_y^{\text{н}} = \frac{45+15}{2} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

изотермического прогрева [формула (72)]

$$t_y^{\text{н}} = \frac{70+15}{2} = 42,5 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

6. Коэффициент теплоотдачи облучаемой поверхности [формула (68)] в зонах:

разогрева

$$\alpha_o^{\text{н}} = \frac{4,62}{45-15} \left[\left(\frac{273+45}{100} \right)^4 - \left(\frac{273+15}{100} \right)^4 \right] +$$

$$+ 2,91 \cdot 10^{-4} \frac{1}{0,25^2} \frac{546+45+30}{45-30} = 5,19 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C});$$

изотермического прогрева

$$\alpha_o^{\text{н}} = \frac{4,62}{70-15} \left[\left(\frac{273+70}{100} \right)^4 - \left(\frac{273+15}{100} \right)^4 \right] +$$

$$+ 2,91 \cdot 10^{-4} \frac{1}{0,25^2} \frac{546+70+42,5}{70-42,5} = 5,95 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}).$$

7. Мощность, требуемая для:

разогрева [формула (66)]

$$P_{\text{н}} = 2,78 \cdot 10^{-4} (1,05 \cdot 10^3 \cdot 2400 \cdot 0,018 + 0,48 \cdot 10^3 \cdot 8,64) \frac{45-10}{3} +$$

$$+ (5,19 + 20) 0,3(45-15) = 632 \text{ Вт};$$

изотермического прогрева [формула (67)]

$$P_{\text{и}} = 5,95 \cdot 0,7(80 - 15) + 20 \cdot 0,7(70 - 7) = 1153 \text{ Вт.}$$

8. По табл. 56 для бетона принимаем $\varepsilon = 0,7$.

9. Энергетическая освещенность [формула (65)] в зонах:

разогрева

$$E_{\text{н}} = \frac{632}{0,7 \cdot 0,3} = 3000 \text{ Вт/м}^2 = 3 \text{ кВт/м}^2;$$

изотермического прогрева

$$E_{\text{н}} = \frac{1153}{0,7 \cdot 0,7} = 2353 \text{ Вт/м}^2 = 2,35 \text{ кВт/м}^2.$$

10. Зададимся следующими параметрами инфракрасной установки.

Диаметр излучателей примем равным $d = 18$ мм, расстояния между ними $S = 250$ мм.

$$\text{Тогда } \frac{S}{d} = \frac{250}{18} = 13,9 \approx 14$$

, а отношения длины (a_1) и ширины (a_2) к высоте h :

в зоне разогрева

$$\frac{a_1}{h} = \frac{1000}{250} = 4; \quad \frac{a_2}{h} = \frac{300}{250} = 1,2;$$

в зоне изотермического прогрева

$$\frac{a_1}{h} = \frac{1000}{250} = 4; \quad \frac{a_2}{h} = \frac{700}{250} = 2,8.$$

По табл. 57, используя правило интерполяции, получим:

$$\varphi_{\text{н-п}} = \varphi_{\text{н-о}} = 0,480 + \frac{0,482 - 0,480}{10}(14 - 10) = 0,481;$$

$$\varphi_{\text{о-п}} = 0,151 + \frac{0,077 - 0,151}{10}(14 - 10) = 0,101.$$

По табл. 58 получим аналогично для зон:

разогрева $\varphi_{\text{о-п}} = 0,259$;

изотермического прогрева $\varphi_{\text{о-п}} = 0,307$.

11. По табл. 56 находим для оцинкованного железа $\varepsilon_0 = 0,23$.

12. По формуле (75) находим для зон:

разогрева

$$\varphi = 0,481 + [(1 - 0,23)0,481 \cdot 0,259 - 0,121] = 0,456;$$

изотермического прогрева

$$\varphi = 0,481 + [(1 - 0,23)0,481 \cdot 0,307 - 0,121] = 0,474.$$

13. Минимальная мощность инфракрасной установки в зонах:

разогрева

$$P_{\text{уст}}^{\text{п}} = \frac{3}{0,456} 0,3 = 1,97 \text{ кВт},$$

изотермического прогрева

$$P_{\text{уст}}^{\text{к}} = \frac{2,35}{0,474} 0,7 = 4,06 \text{ кВт}.$$

14. Общая мощность инфракрасной установки на 1 м длины периметра сооружения составит

$$P_{\text{уст}}^{\text{общ}} = P_{\text{уст}}^{\text{п}} + P_{\text{уст}}^{\text{к}} = 1,97 + 4,06 = 6,03 \text{ кВт}.$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №17

Примеры расчета толщины оттаиваемой прослойки грунта

Пример 1. Определить толщину оттаивания вечномерзлого суглинка, характеризующегося $t_r = -2$ °С, $W = 21$ %, $W_H = 16$ %, $\gamma_{ск} = 1750$ кг/м³, при бетонировании столбчатого фундамента сечением $1 \times 1,5$ м в плане и с глубиной заложения 3,5 м. Используется электропрогрев бетона на глубину 2 м. Бетон марки М200 на портландцементе марки 400. Состав бетона Ц:П:Щ = 1:2,6:3,1. Расход цемента 320 кг/м³.

$\gamma_6 = 2350$ кг/м³; $B/C = 0,6$; $C = 10$ °С.

Глубина сезонного оттаивания 2 м.

По формуле (82) находим относительный радиус оттаивания

$$A = \sqrt{1 + \frac{0,7(0,2 \cdot 2350 + 0,8 \cdot 192)(10 + 2) + 64 \cdot 320 + 4300 \cdot \frac{2}{3,5}}{80 \cdot 1750 \cdot \frac{21 - 16}{100}}} = 2,5;$$

$b = 1:2 = 0,5$; $\Delta = 0,5 (2,5 - 1) = 0,75$ м.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №18

Пример 2. определить толщину оттаивания вечномерзлого грунта в примере 1, если температура уложенного бетона равна 10 °с.

по формуле (82) находим

$$\delta = 0,5 (1,92 - 1) = 0,46 \text{ м.}$$

если использовать теплоизолирующую прослойку в виде деревянной плиты толщиной 10 см ($\lambda = 0,35 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°с)}$), то:

при использовании электропрогрева бетона по формуле (83) получим без использования электропрогрева

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юдина А.Ф., Верстов В.В., Бадьин Г.М. Технологические процессы в строительстве. – М.: «Академия», 2013. – 304 с.
2. Хамзин С.И., Карасев А.К. Технология строительного производства. Курсовое и дипломное проектирование: – М.: ООО, БАСТЕТ, 2007. – 216 с.
3. Куценко О.И., Кереб С.А. Руководство по разработке технологических карт в строительстве. Учебное пособие: – Курск, ЮЗГУ, 2013. – 256 с.
5. СНиП 12-01-04. Организация строительства / Госстрой России. – М.: Стройиздат, 2004г.
6. СП 48.13330.2011 (Актуализированная редакция СНиП 12-01-04). Организация строительства. – М.: Стройиздат, 2011г.
7. СНиП 12-03-01. Безопасность труда в строительстве ч.1. Общие требования. / Госстрой России. – М.: Стройиздат, 2001г.
8. СНиП 12-04-02. Безопасность труда в строительстве ч.2. Строительное производство. / Госстрой России. – М.: Стройиздат, 2002г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Приложение 1

Данные для выбора сечения кабелей и проводов

Допускаемые длительные токовые нагрузки на проложенные открыто провода в резиновой и полихлорвиниловой изоляции с максимально допускаемой температурой жил 55 °С при температуре воздуха 25 °С

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Допускаемые нагрузки А при числе жил				Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Допускаемые нагрузки А при числе жил			
	одной	двух	трех	четырёх		одной	двух	трех	четырёх
0,5	10	-	-	-	16	90/70	75/55	70/55	65/50
0,75	13	-	-	-	25	125/95	100/75	90/70	80/50
1	15	-	-	-	35	150/115	120/90	110/85	100/75
1,5	20	17	15	14	50	190/145	165/125	150/115	135/105
2,5	27/21	24/18	22/17	21/16	70	240/185	200/155	185/145	165/145
4	36/28	34/25	31/22	27/20	95	290/225	245/190	225/175	200/155
6	46/35	41/32	37/28	35/27	120	340/260	280/215	225/195	230/175
10	70/50	60/45	53/42	45/35	150	390/300	320/245	290/225	-

Примечание. В числителе - допускаемая нагрузка на медные провода, в знаменателе - на алюминиевые.

Допускаемые длительные токовые нагрузки на проложенные открыто кабели типа КРТП, ГПШ, ГРШ6 легких и средних переносных шланговых проводов ШРПЛ, ШРПС при температуре воздуха 25 °С

Сечение токо- проводящих жил, мм ²	Допускаемые нагруз- ки А при числе жил		Сечение токо- проводящих жил, мм ²	Допускаемая на- грузка А при числе жил	
	трех	четырёх		трех	четырёх
1,5	18	-	35	125/95	120/95
2,5	28/22	-	50	155/120	145/110
4	37/29	35/-	70	200/155	185/140
6	45/35	45/35	95	245/190	215/165
10	60/46	60/45	120	285/220	260/-
16	80/60	80/60	150	330/255	300/-
25	105/80	100/75	-	-	-

Примечание. В числителе - допускаемые нагрузки на медные жилы, в знаменателе - на алюминиевые.

Допускаемые длительные токовые нагрузки на голые провода при температуре окружающего воздуха 25 °С

Медные		Алюминиевые		Стальные	
сечение, мм ²	нагрузки, А	сечение, мм ²	нагрузки, А	сечение, мм ²	нагрузки, А
4	50	10	75	3	23
6	70	16	105	3,5	26
10	95	25	135	4	30
16	130	35	170	5	35

Медные		Алюминиевые		Стальные	
сечение, мм ²	нагрузки, А	сечение, мм ²	нагрузки, А	сечение, мм ²	нагрузки, А
25	180	50	215	6	-
35	220	-	-	-	-
50	270	-	-	-	-
70	340	-	-	-	-

Технические характеристики наиболее эффективных установок и устройств для электротермообработки бетона

Установка для предварительного электроразогрева бетонной смеси в кузовах автосамосвалов

Мощность силового трансформатора 6/0,4	630 кВ · А
Расчетная производительность засезон (130 раб. дней)	30 тыс. м ³
Число постов разогрева	2
Максимальный объем порции разогреваемой смеси при разогреве смеси на 60 °С в течение 7 мин	2,6 м ³
Напряжение на электродах	380 В
Обслуживающий персонал	1 оператор
Автоматизация работы	Управление пульта, блокировка подачи напряжения после закрытия шлагбаума
Мобильность	Перевозится двумя трейлерами

Поворотный бункер для предварительного электроразогрева бетонной смеси

Емкость	1,1 м ³
Требуемая электрическая мощность (номинальная)	215 кВт · А
Продолжительность разогрева при температуре 70 °С	12 мин
Количество электродов	3
Характеристика электродов	Пластинчатые с горизонтальными прорезями
Напряжение на электродах	220 или 380 В
Затвор	Секторный, ручной
Масса	590 кг
Калькодержатель	Новосибирский инженерно-строительный институт (Новосибирск)

Передвижная автоматизированная установка для электропрогрева бетона

Расчетная производительность (объем прогреваемого бетона)	25 м ³ /сут
Мощность	126 кВт · А
Количество постов (понижающих трансформаторов с автоматическими устройствами для регулирования температуры бетона)	6
Регулирование температуры бетона	Автоматическое
Тип понижающего трансформатора	ТСПК-20А

Мощность трансформатора	21 кВ · А
Первичное напряжение	380 В
Вторичное напряжение (линейное)	48, 62, 74 и 101 В
Обслуживающий персонал	1 оператор
Масса	6400 кг
Транспортное средство	Автоприцеп грузоподъемностью не менее 6,5 или 2 тракторных прицепа грузоподъемностью по 4 т
Калькодержатель	ЭПКБ Минтяжстроя СССР (Ростов-на-Дону, ул. Нансена, 148)
Номер проекта	42189-08.00.00.00.000

Установка импульсного прогрева бетона

Расчетная производительность (объем прогреваемого бетона)	120 м ³ /сут
Мощность	600 кВ · А
Регулирование температуры бетона	Автоматическое
Питающее напряжение	380 В
Рабочее напряжение	220 В
Обслуживающий персонал	1 оператор
Масса	4000 кг
Транспортирование	Установка скомпонована в двухосном автофургоне
Калькодержатель	Бюро внедрения ЦНИИОМТП Госстроя СССР (Москва, 127434, Дмитровское ш. 9)
Номер проекта	2125-1.00.00.000

Установка для электропитания греющей опалубки

Производительность (объем прогреваемого бетона)	До 30 м ³
Мощность	126 кВт · А
Регулирование температуры бетона	Автоматическое
Трансформатор	ТМОБ-63,2 шт.
Первичное напряжение	380 В
Вторичное напряжение	49, 60, 70, 85, 103, 121 В
Обслуживающий персонал	1 оператор
Масса	5700 кг
Транспортирование	Установка выполнена на салазках, перевозится автомашиной
Калькодержатель	ЦЭКБ Строймехавтоматика ЦНИИОМТП Госстроя СССР (Москва 127434, Дмитровское, ш. 9)
Номер проекта	1342.00.000

Комплектная трансформаторная подстанция для обогрева бетона КТП-

Производительность (объем обогреваемого бетона)	До 12 м ³ /сут
Мощность	63 кВт · А
Регулирование температуры	Ручное
Первичное напряжение	380 В
Вторичное напряжение	49, 60, 70, 85, 103, 121 В
Обслуживающий персонал	1 электрик
Масса	900 кг