

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра "Технология строительного производства"

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМООБРАБОТКИ
БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ
КОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1-70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»

Минск 2004

УДК 693.55.033.13

ББК 38я7

Л 88

Авторы:

В.П.Лысов, Р.А.Минеев, Д.М.Пикус, И.Н.Громов,
Г.С.Ратушный, И.А.Горячева, С.А.Бородулин, Д.Н.Минченко

Рецензенты:

Э.И.Ботяновский, М.Ф.Марковский

Лысов В.П.

Л 88 Проектирование технологии термообработки бетона с использованием методов контактного электрообогрева: Учебно-метод. пособие для студ. спец. 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» / В.П.Лысов, Р.А.Минеев, Д.М.Пикус и др. – Мн.: БНТУ, 2004. – 59 с.

ISBN 985-479-088-6.

В настоящем пособии изложены основные положения технологии обогрева бетона греющими металлическими и полимерными проводами и греющими опалубками. Приведены методика расчета греющих устройств и технология производства бетонных работ.

Материалы пособия могут быть использованы студентами при изучении дисциплины «Технология строительного производства» (раздел «Производство бетонных работ»), а также при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Рекомендовано к изданию кафедрами «Технология строительного производства», «Организация строительства и управление недвижимостью» и советом строительного факультета БНТУ.

УДК 693.55.033.13

ББК 38я7

ISBN 985-479-088-6

© Лысов В.П., Минеев Р.А.,
Пикус Д.М. и др., 2004

Введение

Современный уровень строительного производства требует совершенно новых подходов к технологии монолитного бетона, внедрению методов интенсификации твердения бетона при возведении монолитных железобетонных конструкций зданий и сооружений.

В настоящее время помимо термосных методов с использованием противоморозных и ускоряющих твердение бетона добавок применяют методы контактного обогрева бетона с применением греющих опалубок, проводов, гибких электрообогревающих покрытий и других эффективных устройств.

В данном пособии описаны методики проектирования и конструирования греющих устройств, рекомендации по их применению при производстве бетонных работ с примерами технологических расчетов; рассмотрены вопросы технологии производства работ с обогревом бетона греющими металлическими и полимерными проводами и греющими опалубками. Приведены математические зависимости и справочные данные, необходимые для расчета различных видов греющих устройств.

Использование данного учебно-методического пособия при изучении курса «Технология строительного производства», а также в курсовом и дипломном проектировании, позволит студентам более глубоко ознакомиться с современными методами производства бетонных работ в зимних условиях и интенсификации твердения бетона при возведении монолитных железобетонных конструкций зданий и сооружений.

1. ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГРЕВА БЕТОНА ГРЕЮЩИМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОДАМИ

1.1. Общие положения

Сущность метода обогрева бетона греющими металлическими проводами заключается в обогреве бетона с помощью проводов, находящихся в свежееуложенном бетоне, которые, нагреваясь при пропускании тока, передают ему тепло. Способ применяется для сквозного прогрева конструкций с густым армированием, а также для обогрева конструкций с арматурой в периферийных зонах и при

замоноличивании стыков каркасных конструкций. В качестве греющих проводов используют стальную проволоку $\varnothing 1...2$ мм с электрическим сопротивлением $0,11...0,17$ Ом/м в полиэтиленовой изоляции со средней удельной мощностью $10...50$ Вт/м (в зависимости от используемого напряжения и силы тока). Могут применяться также провода марок ПОСХВ и ПОСХВТ диаметром $1,1...2,0$ мм. Использование проводов из цветных металлов заметного технического преимущества не дает и приводит лишь к удорожанию материала в $5...10$ раз по сравнению со стальными проводниками.

Греющие провода размещаются в конструкциях до укладки бетона и крепятся к арматуре или к опалубке таким образом, чтобы они не сдвигались во время бетонирования. При необходимости для крепления греющих проводов дополнительно используется проволока. Прокладка проводов может быть в виде петель и колец с обязательным захватом углов опалубки.

При обогреве стыков провода закладывают в раствор или бетон омоноличивания между стыкуемыми элементами по всей длине стыка (шва). Расход проводов в среднем составляет 60 м на 1 м^3 бетона. После прогрева провода остаются в бетоне. Прогрев с применением греющих проводов осуществляется с использованием понижающих трансформаторов. Необходимые параметры греющих проводов определяются теплотехническими расчетами по заданному режиму термообработки бетона и правилами техники безопасности.

Цикл тепловой обработки, включая предварительный обогрев, продолжается в среднем $25...30$ часов. Допустимое напряжение для прогрева – $40...103$ В, температура изотермического прогрева в наиболее нагретых зонах должна быть не выше 80°C . Технические характеристики нагревательных низкотемпературных проводов представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Технические характеристики провода

№	Показатели	Марка провода	
		ПОСХВ	ПОСХП
1	2	3	4
1	Материал	Телеграфная катанка	
2	Диаметр, мм	1,1	1,1

1	2	3	4
3	Омическое сопротивление, $\frac{\text{Ом/мм}^2}{\text{м}}$	0,14	0,14
4	Допустимая температура, °С	60	90
5	Материал изоляции	Полихлорвинил	Полиэтилен
6	Наружный диаметр, мм	2,9	2,3
7	Масса, г/м	14,9	10,2

1.2. Расчет обогрева бетона с использованием греющих металлических проводов

Проволочные нагреватели для обогрева бетона рассчитываются как омическое сопротивление. Целью расчета является установление связи между мощностью P , напряжением U , удельным электрическим сопротивлением ρ_0 выбранного материала нагревателя в горячем состоянии, его мощностью W_0 и геометрическими размерами.

Расчет осуществляется в следующей методической последовательности. Вначале определяется требуемая удельная электрическая (тепловая) мощность, обеспечивающая нагрев бетона до требуемой температуры 1 м³ бетона. В период подъема температуры мощность на нагрев определяется из суммы мощностей по формуле (1.1):

$$P_n = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \text{ кВт/м}^3, \quad (1.1)$$

где P_1 – мощность, необходимая для нагрева бетона;

P_2 – то же для нагрева опалубки и укрытия;

P_3 – то же для восполнения теплопотерь в атмосферу;

P_4 – среднее значение мощности, эквивалентное экзотермическому теплу, равное 0,8 кВт/м³.

В обобщенном виде с учетом названных факторов мощность на подъем температуры бетона (его нагрев) можно определить по формуле (1.2):

$$P_n = P_1 + P_2 + P_3 - P_4 = \frac{C_{\bar{o}} \cdot V_{\bar{o}} \cdot \rho}{3600} +$$

$$+ \frac{C_{on} \cdot V_{on} \cdot \delta_{on} \cdot M_n}{3600} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{k \cdot M_n \cdot (t_{np} - t_{нв})}{1000} - 0,8, \text{ кВт/м}^3, \quad (1.2)$$

где ρ – скорость подъема температуры бетона, °С/ч;

$C_{\bar{o}}$ и C_{on} – удельная теплоемкость бетона, слоев опалубки, утеплителя и укрытия неопалубленных поверхностей, кДж/(кг·°С);

$V_{\bar{o}}, V_{on}$ – объемная масса бетона, слоев опалубки, утепления и укрытия неопалубленных конструкций, кг/м³;

$t_{np}, t_{нв}$ – температура прогрева бетона и наружного воздуха, °С;

0,8 – усредненная мощность тепловыделения цемента при твердении;

M_n – модуль поверхности конструкции, м⁻¹, определяемый как отношение площади опалубливаемых и открытых поверхностей F , м², к объему бетона в конструкции $V_{\bar{o}}$, м³;

k – коэффициент теплопередачи от бетона через опалубку в окружающую среду, Вт/м² · °С.

Практически при расчетах требуемая мощность может быть выбрана для трех характерных случаев:

1) нагрев бетона с максимально допустимой скоростью, регламентируемой действующими нормами (температура изотермического выдерживания должна регулироваться во избежание местных перегревов);

2) нагрев бетона до вполне определенной температуры с подбором необходимой мощности для конкретных внешних условий по так называемому саморегулирующему режиму, при котором не требуется применение устройств для регулирования температуры бетона;

3) компенсация тепловых потерь бетонной смесью, уложенной в опалубку, по методу “управляемого термоса”.

При расчете мощности следует учитывать стадийность прогрева:

1) стадия разогрева бетона от начальной температуры до требуемой конечной (здесь электрическая мощность обусловлена теплоемкостью прогреваемой конструкции и скоростью разогрева);

2) стадия изотермического прогрева, когда к бетону должна подаваться мощность для возмещения теплопотерь в окружающую среду.

Скорость подъема температуры бетона не должна превышать 5 °С/ч – для конструкций с $M_n = 2 \dots 4 \text{ м}^{-1}$, 8 °С/ч – с $M_n = 4 \dots 6 \text{ м}^{-1}$, 10 °С/ч – с $M_n = 6 \dots 10 \text{ м}^{-1}$, 10°...15 °С/ч – для каркасных и тонкостенных конструкций с $M_n > 10 \text{ м}^{-1}$, 20 °С/ч – для прогрева стыков.

Температура прогрева бетона не должна быть выше 80°С. При периферийном размещении греющего провода температура прогрева не должна превышать 60° – для толщины конструкций свыше 60 см; 40...50° – для толщины от 40 до 60 см.

Требуемая мощность на период изотермического прогрева бетона определяется по формуле

$$P_{un} = \frac{k \cdot M_n \cdot (t_{np} - t_{нв})}{1000}, \text{ кВт/м}^3, \quad (1.3)$$

где P_{un} – требуемая мощность в период изотермического прогрева, кВт/м³;

k – коэффициент теплопередачи опалубки, Вт/м²·°С;

M_n – модуль поверхности конструкции, м⁻¹.

В упрощенном варианте требуемую мощность для подъема температуры бетона P_n можно определить по формуле, которая для тяжелого бетона имеет вид

$$P_n = 0,64 \cdot \rho + 0,0066 \cdot M_n \cdot \rho + 1,72 \cdot 10^{-2} \times \\ \times k \cdot M_n \cdot (t_u + t_{\bar{o}} + t_{нв}) \cdot \alpha - 0,8, \text{ кВт/м}^3, \quad (1.4)$$

где ρ – скорость подъема температуры, °С/ч;

t_u – температура изотермического прогрева, °С;

$t_{\bar{o}}$ – температура бетона перед началом прогрева, °С;

$t_{нв}$ – температура наружного воздуха, °С;

α – коэффициент, учитывающий влияние ветра, который ориентировочно можно принять: при скорости ветра 4 м/с – 1,05; 6...8 м/с – 1,1; 10...12 м/с – 1,15; 16...18 м/с – 1,2; 20...25 м/с – 1,26.

Расчет требуемого тепла или мощности также можно проводить более детально по следующей методике.

Общий расход тепла на тепловую обработку бетона в опалубке определяется по формуле

$$Q = U \cdot I \cdot \tau = \frac{U^2}{R} \cdot \tau, \text{ Дж}, \quad (1.5)$$

где U – напряжение электрического тока, В;

I – сила тока, А;

τ – время, с;

R – электросопротивление греющего провода, Ом.

Тепловой баланс прогрева можно описать уравнением

$$\begin{aligned} \frac{U^2}{R} \cdot \tau = Q_n + Q_{un} = Q_{\bar{o}} - Q_{xp} + Q'_e + \\ + Q_{on} + Q'_{nom} + Q''_e + Q''_{nom}, \text{ Дж}, \end{aligned} \quad (1.6)$$

где Q_n – общий расход тепла в период подъема температуры, Дж;

Q_{un} – расход тепла в период изотермического прогрева, Дж;

$Q_{\bar{o}}$ – расход тепла на нагрев бетонной смеси, Дж;

Q_{xp} – тепло, образуемое в бетоне от химических реакций (гидратация цемента), Дж;

Q'_e – расход тепла на испарение влаги в период подъема температуры, Дж;

Q_{on} – расход тепла на нагрев опалубки и слоев утеплителя, Дж;

Q'_{nom} – расход тепла на потери в окружающую среду в период подъема температуры, Дж;

Q''_e – расход тепла на испарение в период изотермического прогрева, Дж;

Q''_{nom} – расход тепла на потери в период изотермического прогрева, Дж.

Поскольку расход тепла в период подъема температуры в бетоне не равен расходу тепла на изотермический прогрев, для первого случая уравнение теплового баланса можно представить следующим образом:

$$\frac{U^2}{R} \cdot \tau_n = Q_n = Q_{\sigma} - Q_{xp} + Q'_{\sigma} + Q_{on} + Q'_{nom}, \text{ Дж}, \quad (1.7)$$

где τ_n – время подъема температуры, с.

При изотермическом прогреве уравнение теплового баланса следующее:

$$\frac{U^2}{R} \cdot \tau_{un} = Q''_{\sigma} + Q''_{nom}, \text{ Дж}, \quad (1.8)$$

где τ_{un} – время изотермического прогрева, с.

Для плоских конструкций (стен, перекрытий и т.п.) целесообразно рассчитывать теплофизические и электротехнические параметры на единицу площади конструкции, т.е. на 1 м^2 . Тогда идеальное количество тепла, необходимое для подъема температуры бетонной смеси от t'_{σ} до t''_{σ} , будет равно

$$q_n = \frac{Q_n}{F \cdot \tau_n}, \text{ Вт/м}^2. \quad (1.9)$$

Время подъема температуры рассчитывается по выражению

$$\tau_n = \frac{t''_{\sigma} - t'_{\sigma}}{3600 \cdot \Delta t}, \text{ с}. \quad (1.10)$$

Требуемая мощность греющих проводов, приходящихся на 1 м^2 поверхности, составит

$$P_{mpn} = \frac{q_n}{\tau_n} = \frac{U^2}{R}, \text{ Вт.} \quad (1.11)$$

Следует иметь в виду, что приток тепла на всей поверхности конструкции не должен превышать 70...80 °С, хотя на практике этого нелегко добиться из-за сложности форм и размеров. Поэтому в каждом конкретном случае сначала необходимо выполнить специальный расчет.

Расчет начинается с определения мощности греющего провода для конкретной ячейки поверхности:

$$P_{mpn я} = P_{mpn} \cdot F_{я}, \text{ Вт,} \quad (1.12)$$

где P_{mpn} – требуемая мощность провода, приходящаяся на 1 м² поверхности опалубки;

$F_{я} = l \cdot b$ – площадь ячейки, м².

Требуемое электрическое сопротивление греющего провода, приходящееся на ячейку, определится следующим образом:

$$R_{mpn я} = \frac{U^2}{P_{mpn я}}, \text{ Ом.} \quad (1.13)$$

Общее сопротивление складывается из общей необходимой мощности

$$R_{общ} = \frac{U^2}{P_{общ}}, \text{ Ом.} \quad (1.14)$$

По известным электротехническим зависимостям

$$P = U \cdot I; \quad R = U/I;$$

$$P = p_{уд} \cdot l; \quad P = U^2/R$$

можно далее подобрать сечение и длину греющих проводов.

В рассматриваемом варианте расчета длина греющего провода, приходящаяся на 1 м^2 стены или ячейки, определяется отношением мощности, требуемой на участок, к удельной мощности на провод:

$$L_{\text{гр н я}} = \frac{P_{\text{гр н я}}}{P_{\text{уд}}}, \text{ м.} \quad (1.15)$$

Общая длина греющих проводов определяется соответственно из суммы мощностей в отношении допустимой мощности на провод:

$$L_{\text{общ}} = \frac{P_{\text{общ}}}{P_{\text{уд}}}, \text{ м.} \quad (1.16)$$

По приведенной выше методике рассчитывается режим изотермического прогрева. Удельный тепловой поток (q), требуемый для компенсации потерь тепла, определяется по уравнению

$$q = \frac{Q_{\text{из н}}}{F \cdot \tau_{\text{н}}}, \text{ Вт/м}^2. \quad (1.17)$$

Если требуемая мощность для изотермического прогрева равна или меньше требуемой мощности на подъем температуры ($P_{\text{гри}} \leq P_{\text{гр н}}$), можно пользоваться расчетами на режим подъема. Рабочее напряжение электрического тока в этом случае рассчитывается по формуле

$$U = \sqrt{R_{\text{гр н н}} \cdot P_{\text{гр н}}}, \text{ В.} \quad (1.18)$$

В случае, когда $P_{\text{гри}} \geq P_{\text{гр н}}$, а также когда мощность проводов выше требуемой, можно использовать прерывистый подъем температуры или осуществлять по такому режиму изотермический прогрев. Время перерывов (режим) определяется по изложенной выше методике.

Например, требуется обеспечить прогрев бетонируемых стен из керамзитобетона толщиной 50 см в разборно-переставной опалубке из влагостойкой фанеры с теплоизоляцией из пенополиуретана “Ре-пор” $\gamma = 30 \text{ кг/м}^3$. Температура окружающей среды $t_{\text{нв}} = -20^\circ\text{C}$, а температура бетонной смеси перед прогревом $t_{\text{б}} = 10^\circ\text{C}$. Напряжение тока от трансформатора $U = 60 \dots 70 \text{ В}$. Предполагаем, что прогрев будет осуществляться по двухстадийному режиму (подъем температуры и изотермический прогрев).

Вначале следует определить составляющие расхода тепла, приходящегося на 1 м^2 бетонируемой стены.

Для разогрева уложенной бетонной смеси

$$Q_{\text{б}} = V_{\text{б}} \cdot C_{\text{б}} \cdot (t_{\text{пр}} - t_{\text{нач}}) = 0,5 \cdot 1400 \cdot 870 \cdot (70 - 10) = 36540000 \text{ Дж},$$

где $V_{\text{б}}$ и $C_{\text{б}}$ – соответственно объемный вес и теплоемкость бетонной смеси;

$t_{\text{нач}}$ и $t_{\text{пр}}$ – соответственно начальная и конечная температура бетона, $^\circ\text{C}$.

Количество тепла, образуемого в процессе экзотермии цемента при подъеме температуры $Q_{\text{хр}}$, составит

$$Q_{\text{хр}} = C_{\text{у}} \cdot q_{\text{хр}} = 350 \cdot (920 \cdot 0,5) = 163000 \text{ Дж},$$

где $C_{\text{у}}$ – удельный вес 1 м^2 стены, кг/м^2 ;

$q_{\text{хр}}$ – удельная теплоемкость 1 м^2 стены, Дж.

Количество тепла на нагрев арматуры

$$Q_{\text{а}} = 7850 \cdot 0,01 \cdot 0,5 \cdot 460 = 18055 \text{ Дж}.$$

Количество тепла на испарение влаги в процессе подъема температуры

$$Q'_{\text{б}} = W' \cdot q_{\text{и}} = 20 \cdot 4186 \cdot (100 - 10) = 7534800 \text{ Дж}.$$

Количество тепла на нагрев опалубки

$$Q_{on} = 0,004 \cdot 600 \cdot 2500 + 0,02 \cdot 1340 \cdot (70 - 10) = 8608 \text{ Дж.}$$

Потери тепла в окружающую среду

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{0,03}{0,0233}} + \frac{1}{\frac{1}{11,5} + \frac{0,03}{0,0233}} \right) \cdot 3600 \cdot 5 = 13320 \text{ Дж.}$$

Общее количество тепла, требуемого для подъема температуры (расчетное значение), Q_{pn} составит

$$Q_{pn} = 36540000 - 163000 + 18055 + 7534800 + \\ + 8608 + 13320 = 43951183 \text{ Дж.}$$

Осуществляем перевод требуемого количества тепла из джоулей в килокалории и ватты по известным цифровым значениям: 1 ккал = 4, 168 кДж; 1 кВт = 1000 Вт:

$$1 \text{ ккал} = 1,63 \text{ Вт} \cdot 10497559 = 17188203 \text{ Вт.}$$

Далее по формуле (1.17) определяем удельное количество тепла (в Вт/м²) в зависимости от скорости подъема температуры. По технологическим соображениям недопущения трещинообразования в бетоне и ограниченной исходной мощности на площадке скорость подъема температуры предварительно принимаем 10 °С/ч с разогревом до 70 °С:

$$P_{y\partial} = \frac{17111021}{3600 \cdot \frac{(70 - 10)}{10}} = 796 \text{ Вт/м}^2.$$

Определяем требуемую длину греющего провода в расчете, что он будет размещаться по двум наружным сторонам возводимой

стены, и ориентировочно принимаем, что будем использовать провод мощностью 30 Вт/м:

$$L_{\text{мпн}} = 792 / (2 \cdot 30) = 13 \text{ м.}$$

Обратным ходом по этому же выражению можно определить мощность провода.

Шаг размещения провода на каждой из сторон стены в 1 м будет составлять

$$b = 1000 / 13 \approx 80 \text{ мм.}$$

Таким образом, проведен укрупненный подбор и расчет требуемого прогрева бетонной стены толщиной 500 мм в условиях отрицательных температур (-20°C). Схема размещения провода представлена на рис 1.1.

Аналогично по данной методике можно провести расчет и для других видов возводимых конструкций. На рис 1.2 а, б и 1.6 приводятся примеры размещения греющих проводов. При необходимости снижения мощности, в том числе греющего провода и шага его раскладки, можно добиться путем утепления опалубки. Например, слой пенополиуретана “Репор” в 10...15 мм обеспечит сокращение теплотерь с 1 м² поверхности на 30...40 %, что можно определить по формуле

$$Q_{\text{ном}} = k \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{е}}) = \frac{1}{R} \cdot (t_{\text{нэ}} - t_{\text{ос}}), \text{ Дж/ч.} \quad (1.19)$$

С учетом того, что с 1 м² поверхности через опалубку в нашем примере теряется 400 Вт, потери не должны превышать

$$Q_{\text{ном}} = 400 \cdot 3600 \cdot 0,3 = 432000 \text{ Дж/ч.}$$

Например, слой пенополиуретана в 1 см снижает потери на 372600 Дж/ч, в 2 см – на 745200 Дж/ч. Сравнивая, видим, что вполне достаточен слой в 1 см, так как теплотери через слой в 1 см меньше требуемых по расчету ($372600 < 432000$).

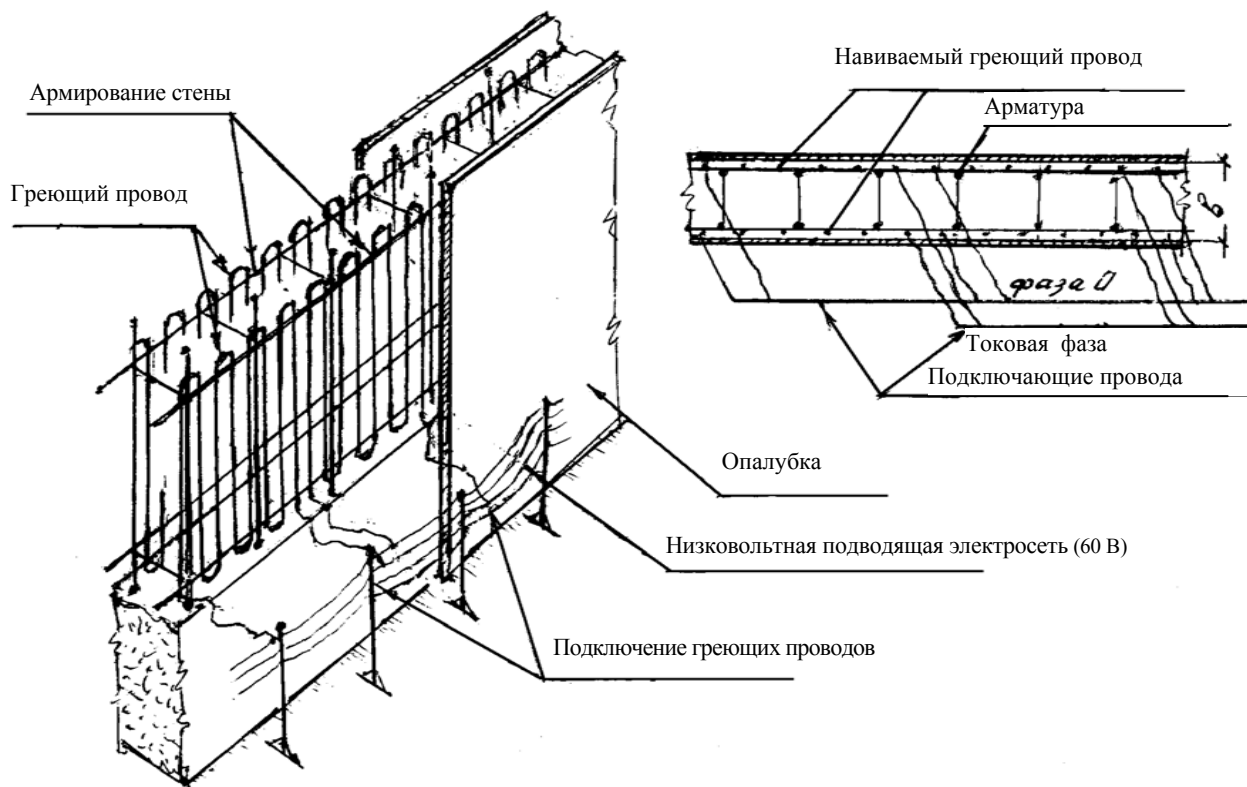


Рис. 1.1. Размещение греющего металлического провода при прогреве стены

а)

б)

Арматурный каркас

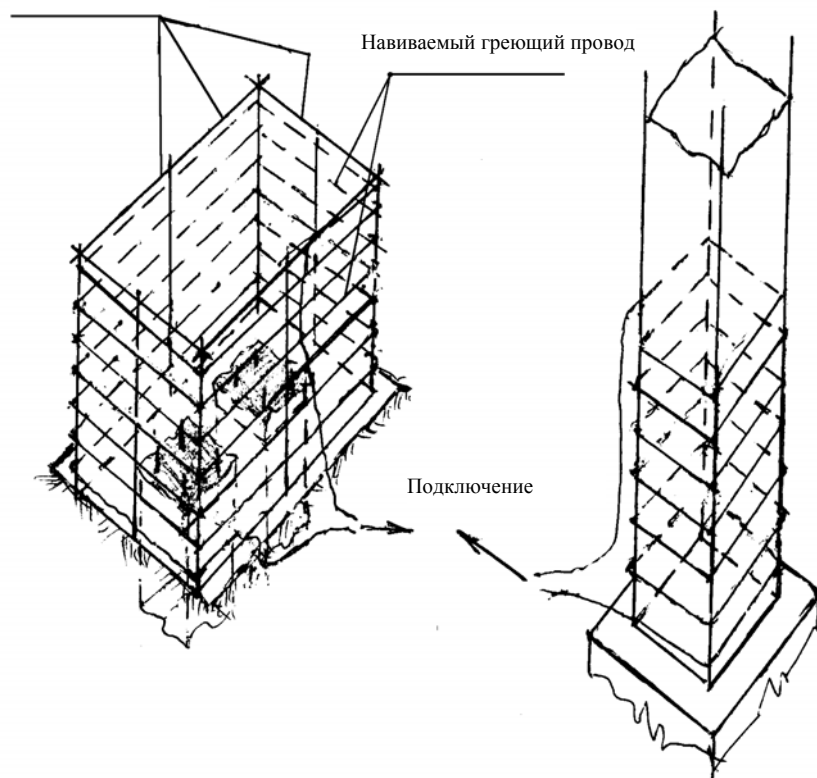


Рис. 1.2. Размещение греющего провода при прогреве:
а) свайного ростверка; б) колонны

Многие искомые показатели расчетов можно определить графически по номограммам, представленным на рис. 1.3, 1.4, 1.5. Получаемые с достаточной для практических целей точностью результаты графического расчета можно использовать при разработке технологических карт в ППР.



Рис. 1.3. График роста температуры свежеуложенного бетона в зависимости от расстояния между проводами греющей проволоки:
 1 – шаг 50 мм ($1,25 \text{ кВт/м}^2$); 2 – 100 мм ($0,63 \text{ кВт/м}^2$); 3 – 150 мм (кВт/м^2);
 4 – 200 мм (кВт/м^2); 5 – температура наружного воздуха

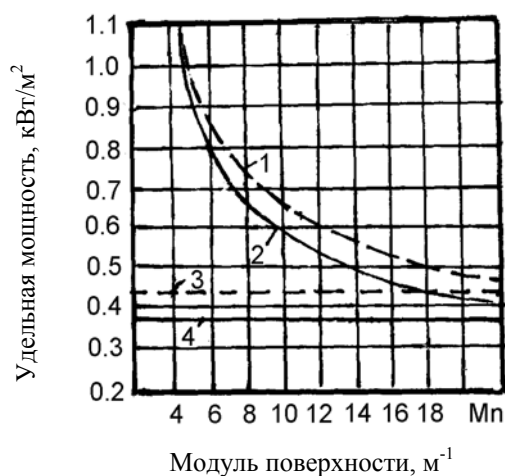
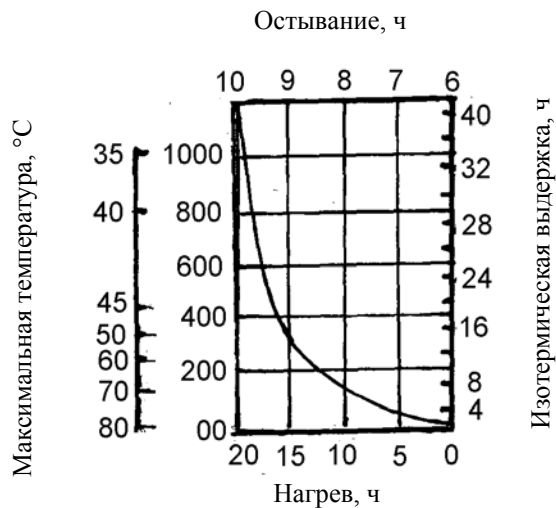


Рис. 1.4. Влияние модуля поверхности конструкции (ее массивности) на удельную мощность проволочного нагревателя при обогреве бетона, кВт/м^2 :
 1 – мощность в период подъема температуры до значения экзотермического прогрева 60°C ; 2 – то же до 40°C ; 3 – мощность изотермического прогрева при температуре 60°C ; 4 – то же при температуре 40°C

а)



б)

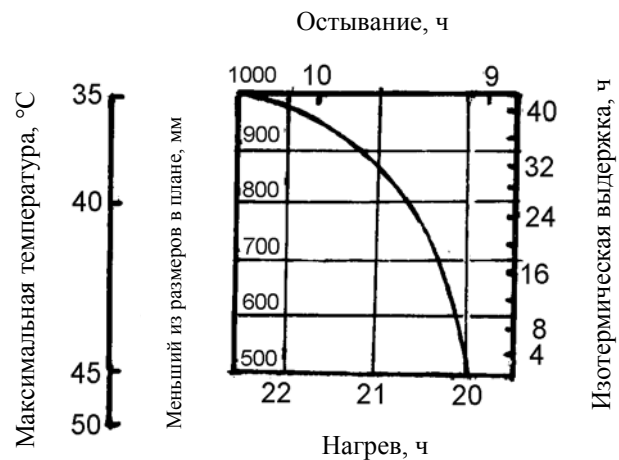


Рис. 1.5. Номограммы для определения продолжительности термообработки монолитных стен (а) и столбчатых фундаментов средней массивности (б) с использованием греющего провода или греющей опалубки

1.3. Технология производства бетонных работ с применением греющего металлического провода

На производство бетонных работ по возведению монолитных конструкций с использованием греющего металлического провода должен разрабатываться специальный проект производства работ или технологическая карта. В проекте приводятся расчеты требуемых мощностей электроэнергии на прогрев и греющих проводов, выбор режимов прогрева, а также комплектация необходимых средств и материалов для обеспечения бетонирования и прогрева.

На основе выполненных расчетов осуществляется подбор трансформаторных мощностей. Рекомендуются использовать понизительные трансформаторы, предназначенные для производства работ в зимних условиях, устанавливаемые на открытых площадках. Трансформаторы целесообразно устанавливать вблизи сооружаемого объекта под навесом с таким расчетом, чтобы не переставлять их до окончания работ. Все операции по подготовке конструкций к бетонированию ведутся обычным способом. Грунтовое или искусственное основание должно быть отогрето на всю глубину промерзания до положительной температуры с помощью гибких греющих покрытий или другими известными способами. Подготовленные щиты опалубки в соответствии с расчетами и принятыми мероприятиями должны строго проверяться. Аналогично заготавливаются покрытия (коврики, маты, и др.) для утепления открытых поверхностей. Целесообразно при этом, чтобы коэффициент теплопередачи утеплителя не превышал $2,0 \dots 2,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Греющий металлический провод расчетной длины до бетонирования навивают на арматурные каркасы или специальные металлические шаблоны из арматурной стали (рис. 1.2 а, б) до установки опалубки. При невозможности этого следует крепить провод к внутренней стороне опалубки с помощью кронштейнов, соблюдая расстояние между опалубкой и проводом в пределах $30 \dots 50 \text{ мм}$ соответственно после или одновременно с установкой опалубки. Во избежание перегрузки питающей сети следует раскладывать и включать провод группами по $30 \dots 40 \text{ м}$ с интервалом 10 минут, добиваясь при этом равномерной нагрузки по фазам. Схема размещения проволочных нагревателей с использованием софитов для коммутации с подключающими проводами, кабелями и клеммными коробками приведена на рис 1.6.

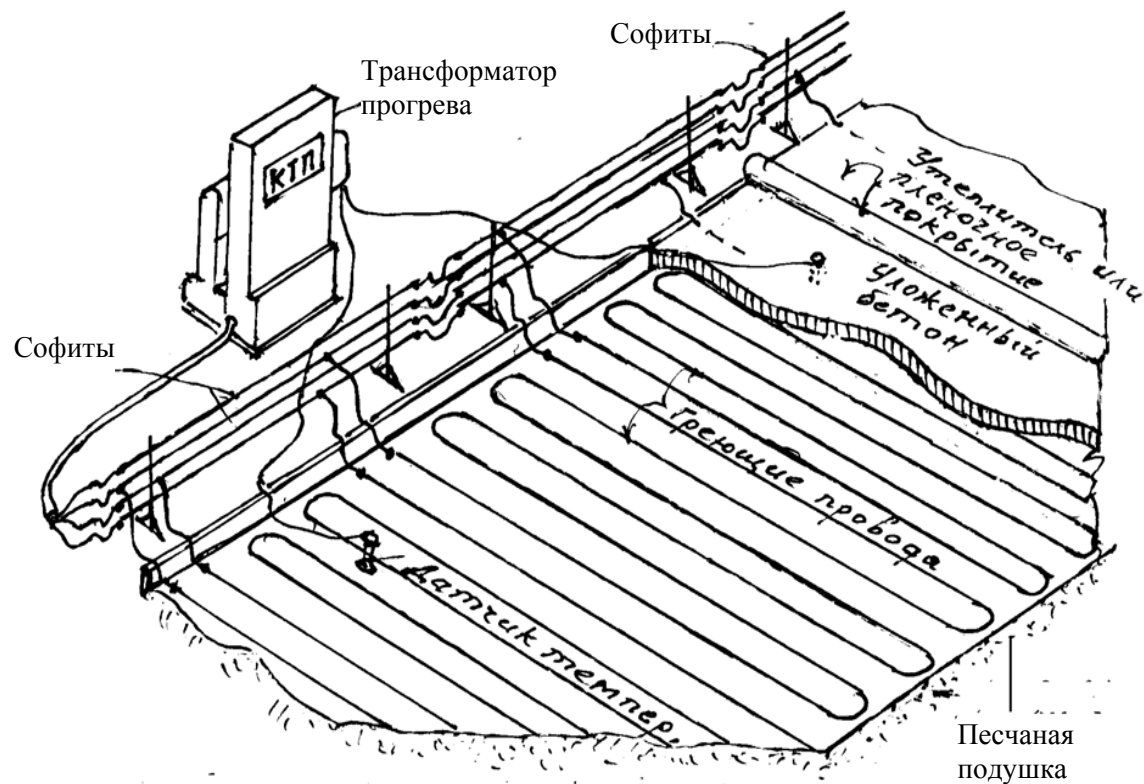


Рис. 1.6. Технологическая схема размещения проводочных нагревателей и прогрева бетона в плите

Перед монтажом провода он должен быть проверен на целостность его изоляции и другой монтажной электрической разводки. Также проверяют соответствие омического сопротивления и удельной мощности паспортным данным. Целостность изоляции провода и коммутационной разводки проверяется внешним осмотром, сопротивление – мегаметром, мощность – ваттметром. Укладку бетонной смеси в опалубку и ее уплотнение следует осуществлять осторожно, чтобы не сдвинуть размещенный греющий провод. Нарушение шага раскладки может привести к неравномерности нагрева и возможным деструктивным процессам.

При наличии снега и льда на арматуре, в бетоне и внутри опалубки производится его удаление или растаивание путем кратковременного включения греющих проводов до укладки смеси. В ветреную погоду открытые поверхности бетона целесообразно укрывать инвентарными термоактивными гибкими покрытиями с удельной мощностью до 600 Вт/м^2 или брезентовыми (пленочными) и другими воздухонепроницаемыми полотнами, обеспечивающими снижение коэффициента теплопроводности на 20...30 %.

Режим обогрева выбирают в зависимости от массивности возводимых монолитных конструкций с учетом обеспечения требуемой прочности бетона, вида и активности цемента, состава бетона и других факторов. Чаще всего применяется двухстадийный режим: 1) разогрев; 2) изотермическое выдерживание. Однако при необходимости следует учитывать и период остывания. Для всех трех периодов должна соблюдаться расчетная температура и продолжительность.

Продолжительность выдержки бетонных конструкций при этих режимах можно определить по представленным номограммам (рис. 1.5 а, б) для стен и столбчатых фундаментов средней массивности. Ориентировочно с достаточной для практических целей точностью показатели бетонной смеси можно принимать по табл. 1.2, а максимально допустимые температуры на поверхности стыка опалубки с бетоном и скорости ее подъема – по табл. 1.3.

Таблица 1.2

Характеристики бетонной смеси

Материал	Объемная масса, кг/м ³	Теплопроводность λ_b , Вт/(м·°С)
Бетонная смесь с осадкой конуса 2...6 см в возрасте 3 ч	2500	3,7
Бетон в возрасте до 12 ч	2480	2,8
Бетон в возрасте более 12 ч	2400	1,86

Скорость подъема температуры, в основном, зависит от шага размещения греющего провода и температуры наружного воздуха. Ее можно определить по графику рис. 1.5, а влияние модуля поверхности конструкции на требуемую удельную мощность провода при нагреве (в кВт/м²) – по графику рис. 1.4.

Таблица 1.3

Максимально допустимые температуры на границе соприкосновения опалубки с бетоном

Показатели	Модуль поверхности, м ⁻¹				
	4	6	8	10	> 10
Максимальная скорость подъема температуры на поверхности конструкции, °С/ч	5	5	6	8	10
Максимальная температура на поверхности конструкции, °С	40	50	60	70	75
Максимальная скорость охлаждения конструкций, °С	5	5	6	8	10

Набранную прочность бетона в зависимости от температур выдерживания можно определить по представленным графикам (рис 1.7 а, б, в, г). Фактически режим прогрева определяют исходя из замеров температуры прогреваемого бетона, которые фиксируют в температурном листе прогрева на каждую конструкцию.



Рис. 1.7. Кривые набора прочности бетона при различных температурах его выдерживания:
а, в – бетон М200 на портландцементе активностью 400...500;
б, г – бетон М200 на шлакопортландцементе активностью 300...400

2. ОБОГРЕВ БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРЕЮЩЕГО ПОЛИМЕРНОГО ЭЛЕКТРОПРОВОДА

2.1. Особенности использования полимерного электропровода

Опыт термообработки бетона с использованием проволочно-металлического провода, суть которой рассмотрена выше, показывает, что из-за низких характеристик электросопротивления ($0,11 \dots 0,17 \text{ Ом/м}$) весьма затруднено его применение для обогрева конструкций малых сечений и объемов из-за сложности размещения и недостаточности теплообразующей мощности ($0,1 \dots 0,5 \text{ Вт/м}$). Особенно заметно это проявляется в технологиях обогрева бетона в стыках сборных железобетонных конструкций, при изготовлении инвентарных обогревающих устройств и греющих опалубок. В этом случае наиболее эффективно применять греющие полимерные провода. Уникальность таких проводов состоит в том, что используемая в них токопроводящая жила на композиционной основе формируется из сотен тончайших полимерных волокон, обработанных по специальной технологии, и обеспечивает более интенсивный нагрев провода в сравнении с металлическими аналогами. Сгруппированность этих волокон в пучок, в котором при прохождении тока они помимо частного нагрева получают внутренний нагрев друг от друга, создает более высокую концентрацию тепловой энергии. Все это в итоге обеспечивает снижение расхода энергии на обогрев бетона и возможность их использования в более коротких электропроводниках для малых сечений обогрева. Токопроводящую жилу из полимерного композита закатывают на шприц-машине в специальный слой полипокрытия с термостойкостью $100 \dots 120 \text{ }^\circ\text{C}$, придавая ей форму электропровода диаметром от 3,0 до 6,0 мм с электросопротивлением от 20 до 120 Ом/м и электрической мощностью от 8,0 до 20,0 Вт/м. Такой провод обладает высокой гибкостью и коррозионной стойкостью, имеет вес от 10 до 60 г/м, может эксплуатироваться в условиях отрицательных температур до $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ и работать как от постоянного, так и от переменного тока напряжением от 12 до 220 В.

Сущность использования провода заключается в передаче контактным способом теплоты от греющих полимерных электропроводников в бетон при прохождении по ним электрического тока.

Осуществлять это можно как путем заложения провода непосредственно в бетон, так и путем его использования в инвентарных устройствах для внешнего обогрева, в том числе в греющих опалубках.

Следует иметь в виду, что полимерный греющий электропровод несмотря на ряд ценных преимуществ все же не всегда целесообразно закладывать в бетон без возврата, поскольку он в два-три раза дороже проволочно-металлического. Наиболее рационально использовать его в инвентарных греющих устройствах и опалубках, где долговечность его использования выше и оправдывается экономически.

2.2. Методика расчета греющих полимерных устройств

В настоящее время греющий полимерный электропровод изготавливается по техническим условиям ТУРБ 37311858,001-96(02) сопротивлением 40; 60; 80; 120 Ом/м. Из него выпускаются греющие устройства мощностью от 2,0 до 20,0 Вт/м для работы от напряжения 12...220 В (табл. 2.1). На практике возможны варианты изготовления специальных греющих проводных устройств на основе расчетов по требуемым характеристикам и параметрам в соответствии с технологической картой или проектом производства бетонных работ в зимних условиях.

Таблица 2.1

Греющие устройства из полимерного провода

Марка провода	Диаметр, мм	Характеристики заготовки устройства		Удельная мощность провода, Вт/м
		длина, м	мощность, Вт	
ЭППГ-70.0,5.120	3...5	6,0	60,0	10
ЭППГ-80.1,0.80	5,0...6,0	6,6...7,0	90...100	15...17
ЭППГ-70.1,0.60	5,0...5,5	7,6...8,0	80	10...12
ЭППГ-70.1,2.40	5,5...6,0	9,0	100...120	12...14
ЭППГ-80.1,2.0	6,0	8,5	120...130	16...20

Примечание. Значения в таблице соответствуют напряжению тока на проводе 220 В. С понижением используемого напряжения соответственно снижается мощность и длина электропровода.

При изготовлении проводов и устройств для обогрева бетона следует четко соблюдать требования к составляющим материалам и их соответствию паспортным данным. Особенно это касается мощности провода, теплотехнической, изоляционной и коррозионной стойкости его изоляции. Для прогрева бетона целесообразно, чтобы теплостойкость изоляции была на 15...20 % выше температурного режима прогрева.

Расчет греющих проводов и устройств по прогреву производится по методике для проволочных нагревателей, изложенной выше. Однако из-за существенного различия их характеристик в данном случае следует руководствоваться показателями, полученными в результате неоднократных исследований.

Например, электросопротивление полимерных электропроводов по маркам (табл. 2.1) составляет 40, 60, 80 и 120 Ом · м, тогда как металлических проволочных – всего 0,11...0,17 Ом · м. Длины и мощности греющих полимерных устройств тоже существенно отличаются от металлических.

После проведения теплотехнического расчета, определения теплотерьер и требуемой мощности ориентировочно подбираются требуемые марки греющих устройств из табл. 1.2. Символы этих марок расшифровываются следующим образом: например, в марке ЭППГ-70.0,5.120 ЭППГ означает электрический полимерный провод греющий; 70 – температура нагрева; 0,5 – диаметр токопроводящей полимерной жилы, мм; 120 – удельное электросопротивление, Ом/м.

Потребная электрическая мощность полимерных проводов и их взаимосвязь с показателями длины и напряжения могут быть определены по представленным графикам (рис 2.1, 2.2). При этом показатели требуемой удельной мощности греющих проводов по номограмме рис. 2.1 определяются в зависимости от коэффициента теплопередачи опалубки и утепления, модуля поверхности бетонированной конструкции, температуры наружного воздуха и планируемой температуры обогрева.

Длину греющего провода (устройства-заготовки) из полимерного композита можно определить по номограмме рис. 2.2 или по формуле

$$L = \sqrt{\frac{V^2}{P \cdot \rho \cdot S}}, \text{ м}, \quad (2.1)$$

где V – напряжение тока, В;

S – условное сечение токопроводящей жилы по толщине ($\varnothing$), мм²;

P – допустимая погонная нагрузка на провод, Вт/м (по данным табл. 2.1);

ρ – удельное сопротивление провода, Ом/м.

Исходя из допустимой температуры плавления электроизоляции (90°C) и допустимой температуры прогрева бетона (80°C) мощность на 1 м² поверхности конструкций не должна превышать 250...300 Вт. Шаг раскладки провода принимается из этих же условий и не должен быть ниже 50 мм. Во избежание перегрева или из-за необходимости усиления прогрева провод может укладываться в два ряда. Коэффициент теплопередачи стальной опалубки, утепленной минераловатными матами, определяется по номограмме рис. 2.1, расчетная температура нагрева провода и другие показатели – по номограмме рис. 2.3.

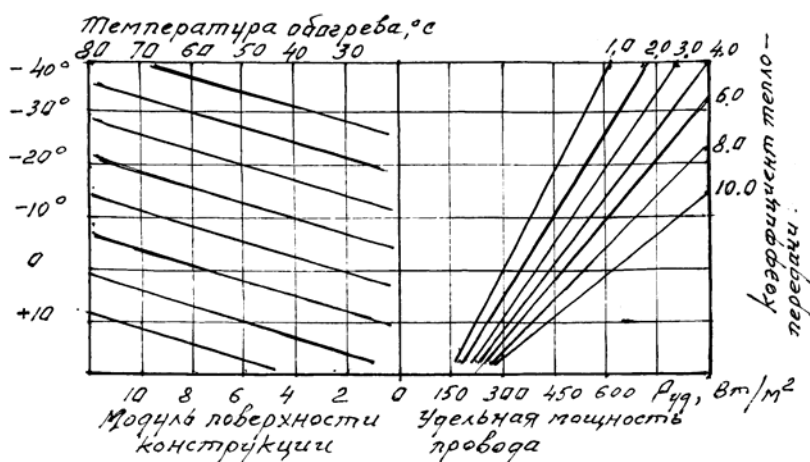


Рис. 2.1. Номограмма для определения удельной мощности греющих проводов

Требуемые показатели проектирования и расчета можно также определить по комплексной номограмме рис. 2.3 графически. Например, требуется определить, какой должна быть длина электропровода

сопротивлением $\rho = 80 \text{ Ом/м}$, чтобы обеспечить его нагрев до 60°C при напряжении тока 220 В. Принцип решения задачи по номограмме рис. 2.3 достаточно простой. Сначала из точки на шкале температуры $\Delta t = 60^\circ\text{C}$ проводим условную горизонтальную прямую до пересечения с кривой, характеризующей значение сопротивления провода $\rho = 80 \text{ Ом/м}$. Далее из точки пересечения опускаем перпендикуляр до пересечения со шкалой, характеризующей напряжение тока. В результате получаем длину провода для этого случая 7,6 м.

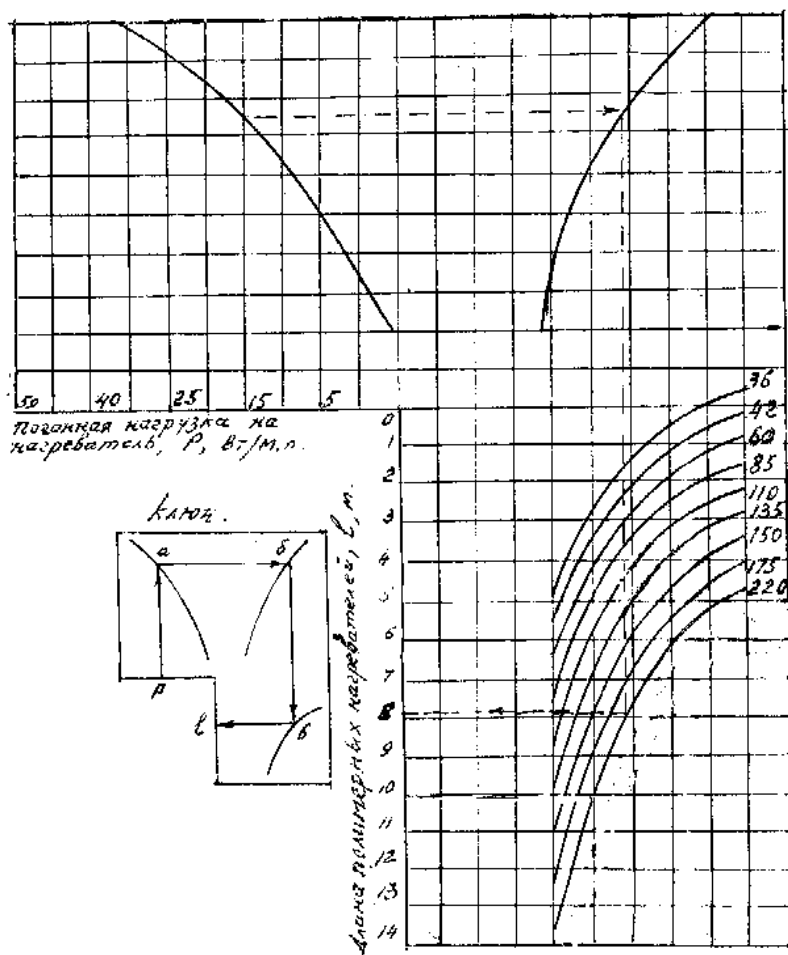


Рис. 2.2. Номограмма для определения длины греющих проводов

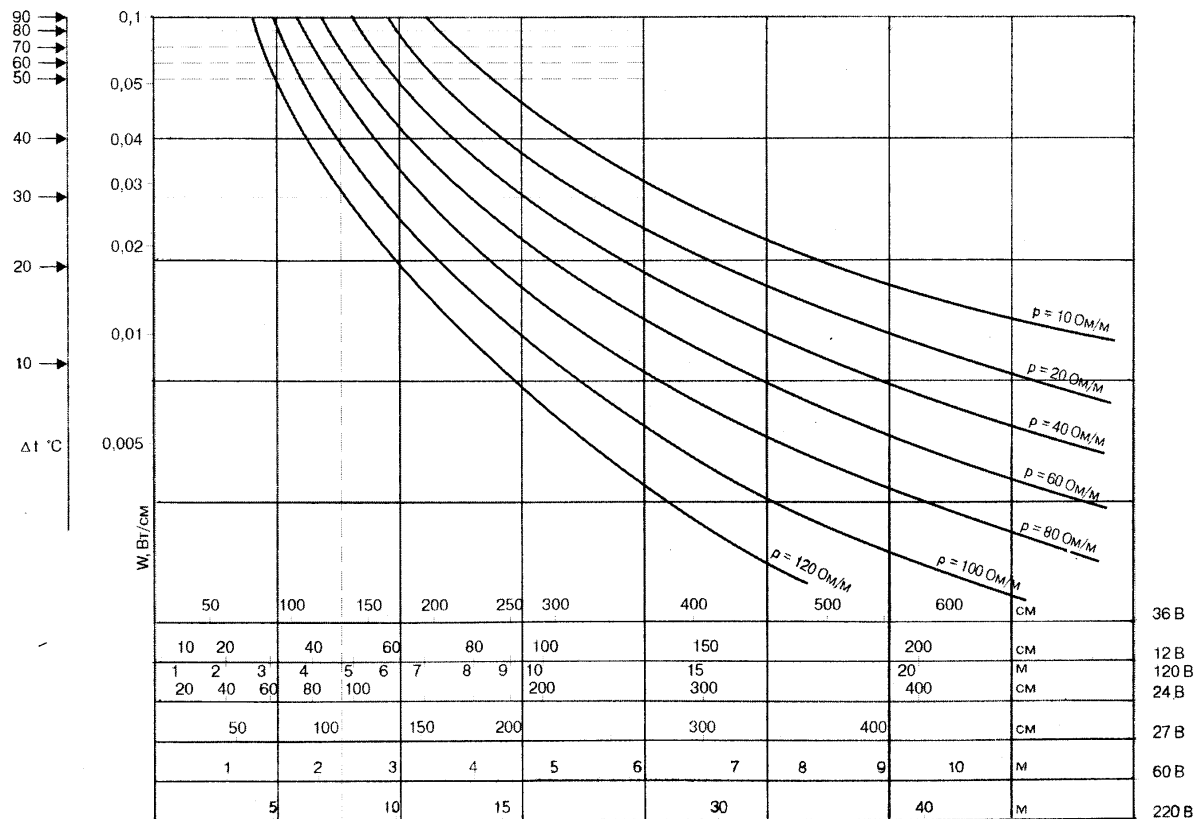


Рис. 2.3. Номограмма для определения взаимосвязанных количественных показателей работы полимерных проводов

2.3. Технология производства работ с использованием греющего полимерного провода

В настоящее время имеется значительное количество примеров прогрева бетона с использованием греющего полимерного провода и обогревающих устройств с его применением. Он может использоваться как в открытом состоянии (т.е. без возврата из прогреваемого бетона), так и в закрытом для обогрева греющих опалубок, гибких ковров, покрытий и др. Чаще всего осуществляется прогрев греющим полимерным проводом тонкостенных и немассивных конструкций, в которых малые длины при расчете проводов относятся к наиболее предпочтительным по габаритам и формам бетонируемых конструкций. Размещая греющий провод с шагом раскладки в 10...25 см, можно, прогревая бетон по мягкому режиму (40...50 °С) в два этапа, за 15...20 часов прогрева добиться 70% его прочности.

Особая эффективность греющего полимерного электропровода проявилась в обогреве бетонных подготовок, перекрытий, балок, перемычек и др. Расчет производится по методике, изложенной в предыдущем разделе.

На рис. 2.4, 2.7 показаны схемы раскладки проводов и устройства таких конструкций. Эффективными являются и другие варианты обогрева с использованием греющих полимерных проводов, – например, бетонирование плит перекрытий (рис. 2.5). Во всех случаях прогрева по мягкому режиму (40...45°С) бетон полов толщиной 12 см и перекрытий толщиной 18 см за 20...28 часов набирает прочность 50...65% от R_{28} .

В практике встречаются случаи, когда и в летних условиях возникает необходимость прогрева бетона в буронабивных сваях. Температура грунта на глубине 5, 6 и более метров составляет 5...8°С, что не соответствует нормам нормального твердения бетона. В связи с этим безопасная загрузка свай и ростверков существенно задерживается, и прогрев уложенного бетона в сваях, тем более, зимой, крайне необходим.

Для этих целей рекомендуется использовать специальные заготовки устройств из греющего провода. Суть технологии заключается в размещении и закреплении греющего провода на каркасе арматуры в 2...4 нити по сечению, как это показано на рис. 2.6. После заполнения сечения скважины бетоном на греющие провода пода-

31

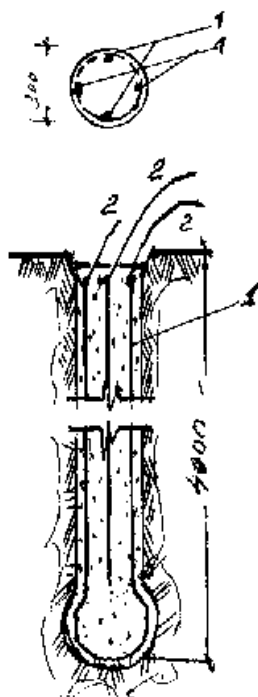


Рис. 2.6. Пример прогрева буронабивных свай греющим проводом:
1 – греющие провода; 2 – подключение греющих проводов

Статистические данные примеров бетонирования и прогрева приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Данные бетонирования и прогрева конструкций

№ п/п	Наименование конструкций	Мощность проводов, Вт	Полученная прочность, % от R_{28}	Расход электро- энергии, кВт·ч/м ³
1	Буронабивные сваи	80 · 2	56	42
2	Бетонная подготовка пола 12 см	80 · 8	50	72
3	Бетонное покрытие 18 см	100 · 10	62	100
4	Стены $b = 40$ см в опалубке	90 · 10	60	80

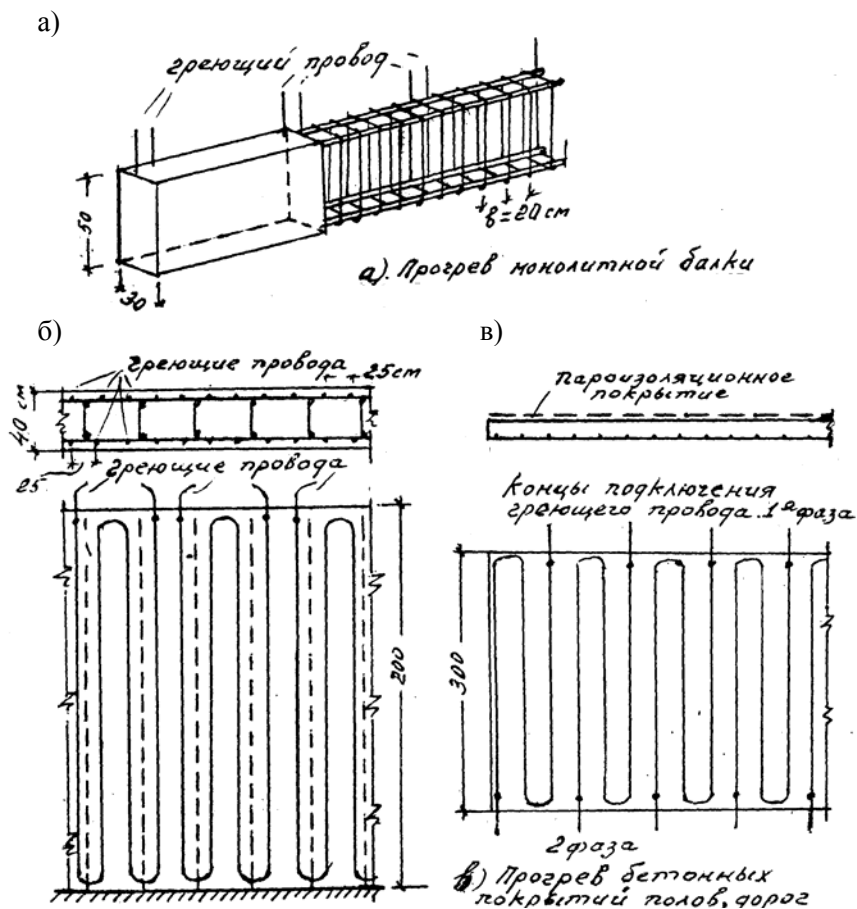


Рис. 2.7. Примеры прогрева бетона с использованием полимерного греющего провода:

а – прогрев монолитной балки; б – прогрев стены;
в – прогрев бетонных покрытий полов, дорог и т.п. греющим проводом

2.4. Пример расчета раскладки полимерных греющих проводов в монолитных конструкциях

Для рассматриваемых примеров имеем следующие исходные данные:

1. Опалубка – металлическая, утепленная минеральной ватой толщиной 50 мм (коэффициент теплопередачи $K = 1,34 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

2. Укрытие неопалубленных поверхностей – толь, минеральная вата толщиной 50 мм (коэффициент теплопередачи $K = 1,34 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$).

3. Температура бетона начальная $+10 \text{ }^\circ\text{С}$.

4. Температура наружного воздуха $-15 \text{ }^\circ\text{С}$.

5. Температура изотермического прогрева $+65 \text{ }^\circ\text{С}$.

6. Скорость ветра – 10 м/с .

7. Нагревательный провод марки ЭПГ-140-60 с диаметром токо-
ведущей жилы $1,0 \text{ мм}$.

Ниже приводятся пример расчета и схема раскладки нагревательных проводов в монолитных конструкциях (рис. 2.8).

Рассмотрим возможность прогрева фундамента. Расчет ведется в следующей последовательности:

1. Определяют модуль опалубливаемой поверхности конструкции:

$$M_n = \frac{F}{V} = \frac{1 \cdot (1 \cdot 1) + 4 \cdot (1 + 1 + 1 + 1)}{4 \cdot 1 \cdot 1} = \frac{17}{4} = 4,25 \text{ м}^{-1},$$

где F – площадь опалубливаемой поверхности, м^2 ;

V – объем конструкции, м^3 .

2. По номограмме определяют потребную удельную электрическую мощность, обеспечивающую обогрев бетона по саморегулирующему режиму. Для конструкции с модулем поверхности $4,25 \text{ м}^{-1}$, разностью температур бетона и наружного воздуха 55°С , коэффициентом теплопередачи $K = 1,34 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$ и расходом цемента 300 кг/м^3 она будет равна 150 Вт/м^2 опалубливаемой поверхности.

3. Для обогрева всей конструкции потребуется:

$$P = P_{\text{уд}} \cdot F = 150 \cdot 17 = 2550 \text{ Вт}.$$

4. Исходя из предельно допустимой удельной нагрузки на 1 п. м. провода марки ЭПГ-140-60 диаметром $1,1 \text{ мм}$, равной 20 Вт/м при обогреве железобетонных конструкций, определяют общую длину нагревательного провода:

$$L_{\text{общ}} = \frac{P}{20} = 127,5 \text{ м}.$$

5. Разбивая общую длину нагревательного провода на 12 нагревателей длиной 10 м, по номограмме, представленной на рис. 2.2, определяют подаваемое на нагреватели напряжение. При погонной нагрузке на нагреватель 20 Вт/м и его длине 10,17 м необходимо напряжение 220 В.

Схема раскладки нагревательного провода показана на рис. 2.8. Нагревательный провод навивают на арматурный каркас конструкции с шагом 125 мм, подключают к источнику электроэнергии. Шаг раскладки с достаточной для практических целей точностью можно определить графически по номограмме, представленной на рис. 2.3.

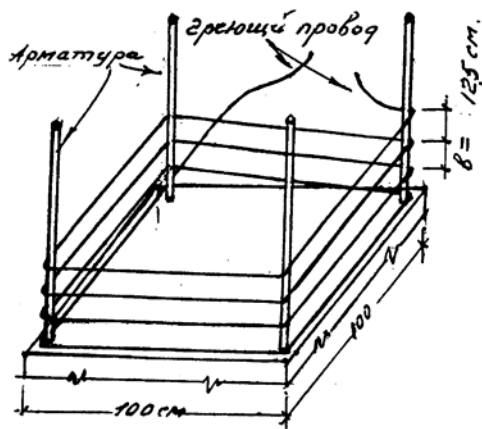


Рис. 2.8. Схема раскладки нагревательного провода

3. ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМООБРАБОТКИ БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРЕЮЩИХ ОПАЛУБОК

3.1. Сущность метода и область применения

Сущность метода заключается в устройстве и оснащении опалубочных форм греющими элементами и передаче образуемой теплоты через стенки палубы на поверхность бетона с последующим ее распределением в его толще вследствие теплопроводности. В качестве греющих нагревателей в опалубках могут применяться трубчатые провода (ТЭНы), электрокабели, электропроводные углеродистые ткани и ленты, пластины из них, полимерные греющие, прово-

лочные, сетчатые, пластинчатые, стержневые и др. провода, соответствующие требованиям по омическому сопротивлению и срокам службы не менее 1000 ч. Греющую опалубку целесообразно применять для обогрева тонкостенных и среднемаассивных конструкций (с любой степенью армирования) при температурах наружного воздуха до -40°C , а также для компенсации тепловых потерь пристенными слоями бетона в массивных конструкциях по способу “регулируемый термос”.

3.2. Конструкции греющих опалубок

Конструкция опалубки должна отвечать требованиям технологии производства, предъявляемым к опалубкам по прочности, устойчивости, несложности сборки и разборки, обеспечивать достаточно ровную формируемую поверхность бетона и равномерность распределения температуры на палубе щита. В конструкциях опалубки целесообразно применять стандартные и аттестованные электрические нагреватели, допущенные к производству работ. Все другие индивидуально изготавливаемые нагреватели должны тщательно контролироваться по возможной электрической мощности, сопротивлению и другим электротехническим показателям, допускаемым по безопасности производства работ.

По степени нагрева нагреватели могут быть низкотемпературные (из проводов ПОСХВ, ПОСХП, ПОХВТ и др.), которые целесообразно применять при мягких режимах прогрева, и высокотемпературные (из труб, кабелей, ТЭНов и др.), используемые при режимах прогрева до высоких температур ($70\ldots 80^{\circ}\text{C}$) в крупногабаритных и многооборачиваемых опалубках. К низкотемпературным относится также большая группа нагревателей, созданных на основе углеродистых гибких тканей и лент, пластин из них, а также полимерно-углеродистых греющих проводов на композиционной основе, которые успешно применяются в жилищно-гражданском монолитном домостроении и зарекомендовали себя как наиболее безопасные и надежные в эксплуатации.

Размещение нагревателей на опалубке осуществляется по ее наружной поверхности и зависит от их разновидностей, мощностей и режимов прогрева. Это возможно как на металлических, так и на фанерных (древесносодержащих) опалубках. Однако обязательным должно быть

выполнение контактных соединений путем прокладки или запрессовки их в изоляционные покрытия в виде пленок, пакетов и др.

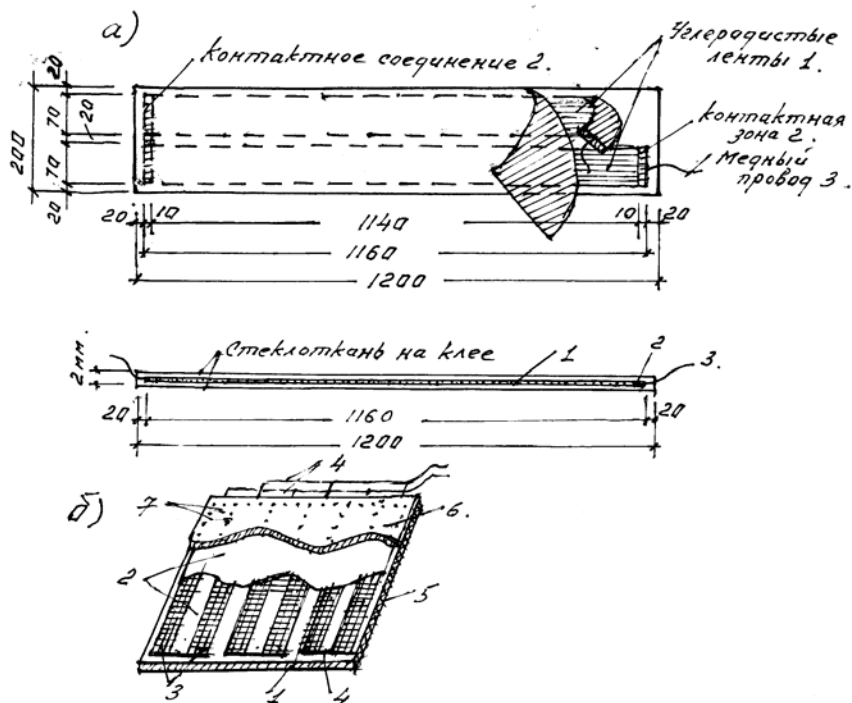


Рис. 3.1. Схема греющего элемента на основе углеродистых лент (а) и схема собранного опалубочного щита (б):

- 1 – углеродистые ленты; 2 – контактные соединения; 3 – медный провод соединения;
 4 – лист влагостойкой фанеры; 5 – электроизоляция из асбеста или полипленки;
 6 – тканевые углеродистые ленты; 7 – соединительные медные провода (шины);
 8 – утеплитель; 9 – наружный опалубочный щит; 10 – болты (гвозди) крепления

Кроме известных углеродистых тканей и лент в качестве греющих элементов для опалубок получили применение греющие пластины, изготовленные из этих тканей, где наиболее распространенной является ткань марки “Урал-15”. При изготовлении греющих пластин производится запрессовка углеродистых лент, раскроенных по расчету, между двумя слоями стеклоткани, пропитанной составами эпоксидной смолы, или вкладывание этих лент между двумя полипластинами и их склеивание, что обеспечивает защиту от за-

мыканий. Раскрой углеродистой ткани осуществляется исходя из габаритов планируемых нагревательных элементов. Например, на рис 3.1 представлен самый распространенный вид такого элемента, который состоит из двух углеродистых лент 1, контактно соединенных между собой по напыленному омедненным полоскам 2, с выводом концов 3 из медного провода для подключения.

Одним из самых сложных процессов при изготовлении нагревательных элементов является создание контактных зон на границе примыкания токопроводящей ткани к подключающему электропроводу или на стыках соединения соответствующих углеродных полос. В производственной практике существует несколько способов осуществления этого:

1. Плазменное напыление с использованием порошковых металлов, создающее покрытие с высокой электропроводностью (рис. 3.2 а). Надежная пайка проводов обеспечивается с помощью облужения напыленной полосы путем помещения ее в расплав припоя.

2. Соединение контактов с помощью прижимных пластин или размещения их в толще углеродистой ткани (рис. 3.2 б). Стык осуществляется с помощью оцинкованной железной полосы, к которой припаиваются контакты.

3. Соединение путем приклеивания контактной металлической пластинки к ткани токопроводным клеем, который выпускается в промышленности. Подводящий провод присоединяется также методом пайки (такой способ можно применять только в режиме температур, которую выдерживает клей).

Расчет по раскрою углеродистой ткани на ленты осуществляется в зависимости от величины ее удельного поверхностного электросопротивления, требуемых габаритов и конфигурации пластин и опалубки.

Электрическое сопротивление ленточного нагревателя определяется по формуле

$$R = \rho_n \cdot \frac{l}{a}, \text{ Ом}, \quad (3.1)$$

где ρ_n – удельное поверхностное электросопротивление, Ом;

l – длина, м;

a – ширина, м.

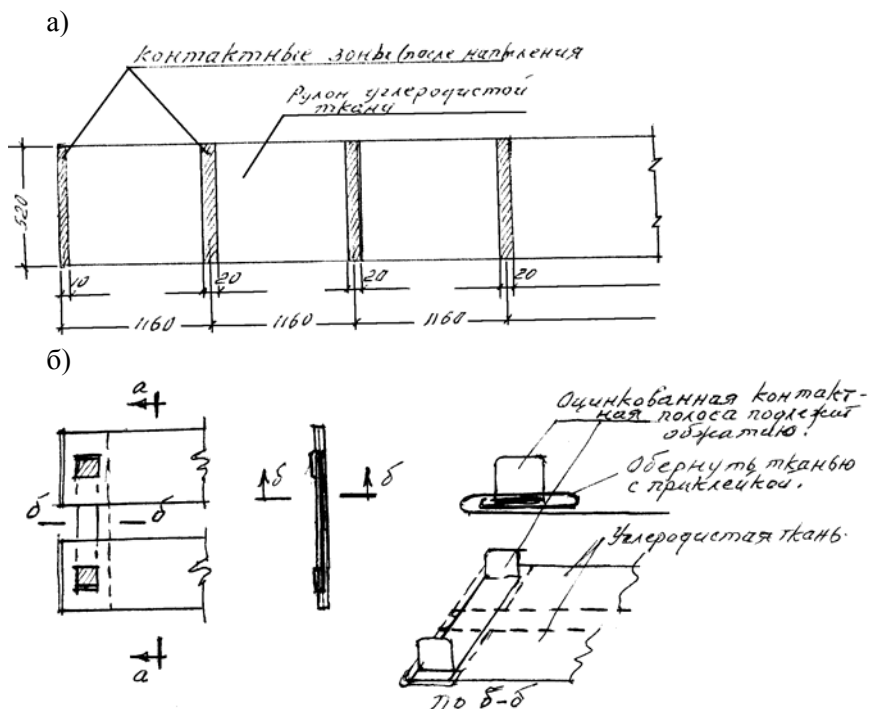


Рис. 3.2. Схема плазменного напыления контактов на углеродистой ткани (а) и контактного соединения оцинкованной полосы с углеродистой тканью (б)

Удельная мощность нагревателя определяется в зависимости от формы нагревателя, электрического тока и других параметров:

$$p = \frac{U^2}{\rho_n \cdot L^2}, \text{ Вт/м}^2. \quad (3.2)$$

Требуемую длину ленты или системы лент нагревательного элемента можно определить из преобразованного выражения этой же формулы:

$$L = \sqrt{\frac{U^2}{\rho_n \cdot p}}, \text{ м.} \quad (3.3)$$

Для удобства расчетов по представленным зависимостям (3.2) и (3.3) можно воспользоваться номограммой (рис. 3.3), в которой каждая кривая характеризует влияние показателей удельной мощности, длину элемента при заданном напряжении и фиксированное значение удельного поверхностного сопротивления ткани. По этой номограмме с достаточной для практических целей точностью можно определить любой из требуемых показателей: P, p, ρ_n, l, a, V, W и др.

При конструировании и расчете нагревательных элементов в виде пластин из углеродистых тканей необходимо определять рабочую температуру на их поверхности, которая является главным показателем условий эксплуатации. Точный расчет таких элементов может быть выполнен путем сложных теплотехнических расчетов, включая решение дифференциальных уравнений второго порядка. С некоторой степенью приближения их можно рассчитывать по нижеприведенным формулам.

Например, для определения рабочей температуры на поверхности греющего элемента можно воспользоваться следующей формулой:

$$\Delta t = 25,6 \cdot p^2 + 622,7 \cdot p - 1,1, \quad (3.4)$$

где Δt – разность температур между поверхностью нагревателя и окружающей средой, °С;

p – удельная мощность, Вт/м².

Удельную мощность по некоторым известным параметрам можно определить по формуле

$$P = 4,46 \cdot \Delta t^2 + 1,75 \cdot \Delta t - 3,0. \quad (3.5)$$

Исходными данными для конструирования и расчетов нагревательных элементов являются:

- 1) выбранные геометрические размеры нагревательного элемента;
- 2) требуемая температура на поверхности нагревательного элемента, °С;
- 3) температура окружающей среды, °С;
- 4) принятое напряжение тока, В;
- 5) величина удельного сопротивления углеродистой ткани, которая может быть использована для изготовления нагревательных элементов.

Расчет осуществляется в следующем порядке:

1. Определяется требуемая разность температур между поверхностью нагревателя и окружающей средой:

$$\Delta t = t_{nn} - t_{oc}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.6)$$

где t_{nn} – требуемая температура поверхности нагревательного элемента, $^\circ\text{C}$;

t_{oc} – температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$.

2. Определяется удельная мощность нагревательного элемента по формуле (3.5).

3. По формуле (3.3) определяется требуемая длина греющих лент в нагревательном элементе, в том числе отдельно для всех разновидностей углеродистых тканей.

4. Осуществляется конструирование (сборка) всего элемента путем перебора возможных вариантов ткани с соответствующим удельным сопротивлением.

5. Осуществляется окончательное определение удельной мощности по формуле (3.2), разности температур – по формуле (3.4) и температуры поверхности элемента – по следующему выражению:

$$t_{nn} = t_{oc} + \Delta t.$$

Соответствие полученных данных требованиям планируемых нагревателей проверяется и при необходимости корректируется путем следующих операций:

- 1) изменения длины нагревательного элемента;
- 2) изменения рабочего напряжения тока;
- 3) использования ткани с другим электросопротивлением, требуемая величина которого может быть определена по формуле

$$\rho_{tpn} = \frac{U^2}{l^2 \cdot p_y}, \text{ Ом.} \quad (3.7)$$

где p_y – удельная мощность ткани, Вт/см^2 .

Для удобства можно также воспользоваться номограммой, представленной на рис. 3.3. Методика определения приведена в прил. 1.

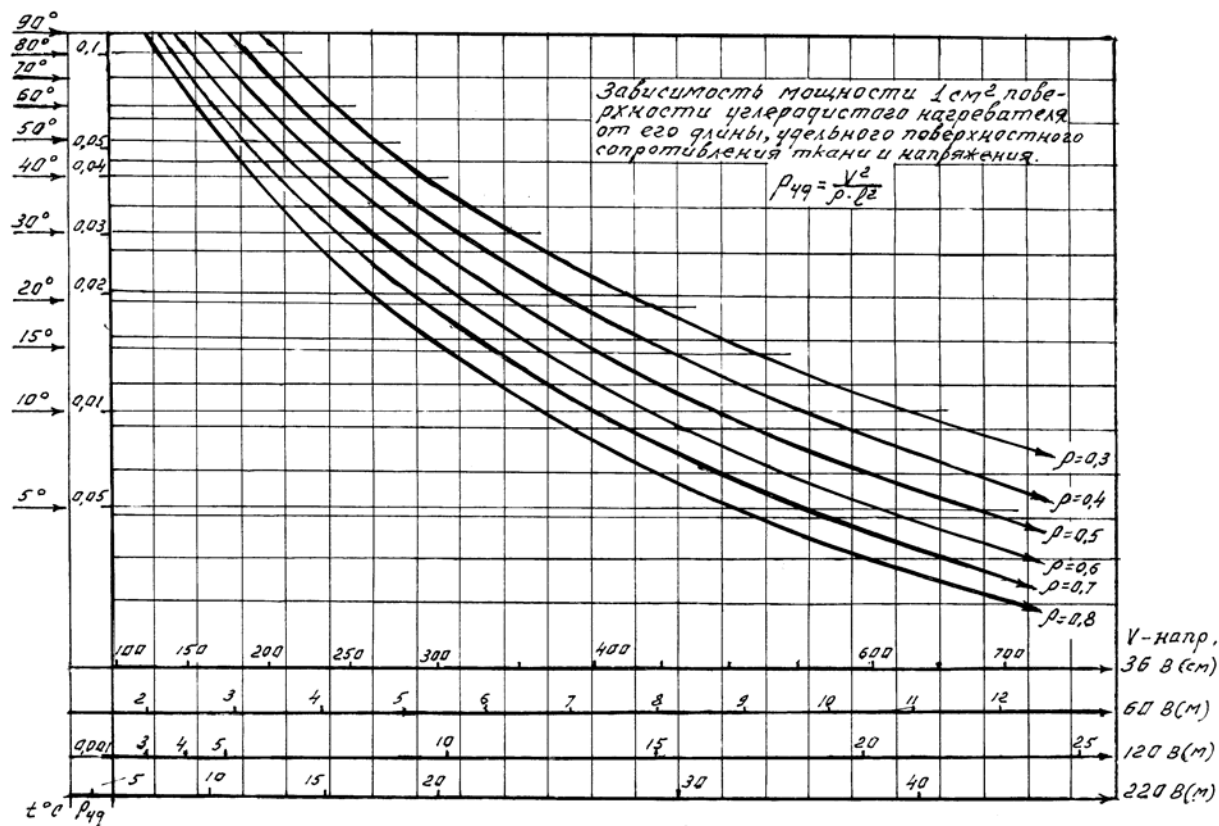


Рис. 3.3. Номограмма графического определения параметров прогрета

3.3. Монтаж и электроподключение нагревательных элементов в греющих опалубках

Для использования в качестве обогрева опалубок следует применять только проверенные и испытанные под электронагрузкой нагреватели. Перед их монтажом следует проверить внешним осмотром исправность изоляции, качество пайки подключающих проводов; по ведомости или цифровым данным на нагревателях установить их мощности и рекомендуемое напряжение. В связи с возможным отклонением мощности нагревателей в пределах 3...8 Вт целесообразно до монтажа сгруппировать их по 4 штуки с тем, чтобы условно на 1 м² опалубки приходилась равная суммарная мощность. Это даст возможность путем равномерной расстановки избежать “перекоса фаз” в электросхеме и обеспечить в последующем более равномерный прогрев бетона.

Размещение электронагревателей на внешней стороне опалубки следует осуществлять равномерно, стремясь установить их на одинаковом расстоянии друг от друга. Целесообразно, чтобы не менее 0,5 площади щита металлической опалубки закрывалось нагревательными элементами. Эти мероприятия создадут возможность равномерного прогрева бетона в стенах возводимых зданий на выбранных режимах прогрева. Закрепление нагревателей на опалубочных щитах может быть осуществлено любым доступным способом, обеспечивающим их плотное примыкание к поверхности опалубки и надежное крепление. В металлических опалубках, предназначенных для монолитного домостроения, целесообразно нагревательные элементы размещать в междуреберном пространстве с закреплением путем приварки металлических штырьков к ребрам жесткости. Подгибая эти штырьки к поверхности нагревателя, обеспечивают закрепление и плотное примыкание последних к опалубке. Снимать нагреватели при необходимости можно, отгибая их в противоположную сторону.

При электроподключении нагревателей их следует соединять между собой посекционно, группами в зависимости от сечения соединяющего провода, напряжения и мощности тока. От каждой группы осуществляется выход на питающие электропровода.

Пример соединения нагревателей приведен на схеме рис. 3.4.

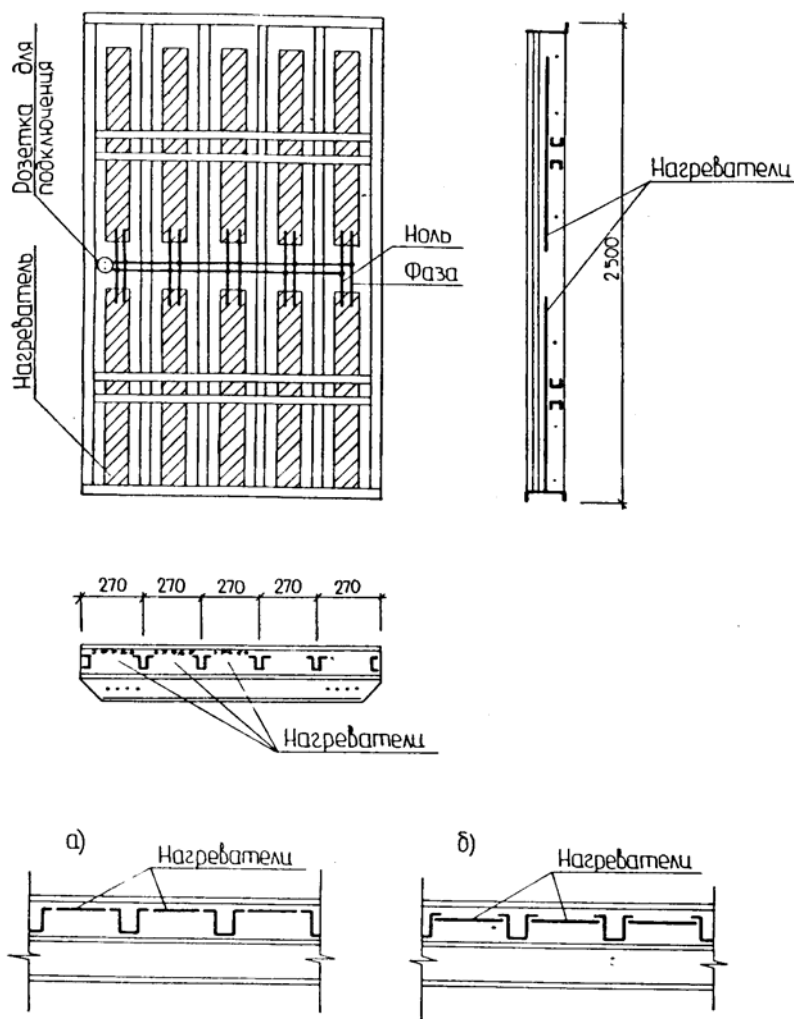


Рис. 3.4. Размещение и подключение нагревательных элементов в межреберном пространстве крупнощитовой опалубки

Сечение подводящих к щитам опалубки и других проводов должно определяться исходя из общей мощности включаемых групп нагревателей, объема прогреваемого бетона и режимов его прогрева. Ориентировочные данные приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Допустимые нагрузки на провода и кабели с медными жилами, проложенные внутри зданий (при температуре окружающей среды 25°)

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Провода с резиновой или полихлорвиниловой изоляцией и шнуры с резиновой изоляцией, проложенные открыто	Провода с резиновой или полихлорвиниловой изоляцией, проложенные в одной трубе				
		два одно-жильных	три одно-жильных	четыре одно-жильных	один двух-жильный	один трех-жильный
0,5	10	14	13	12	13	12
0,75	13	17	15	14	16	13
1	15	24	22	22	22	19
1,5	20	34	31	27	28	24
2,5	27	41	37	35	35	30
4	36	60	55	45	50	45
6	46	75	70	65	70	60
10	68	10	90	80	90	75
16	90	120	110	100	110	90
25	125	165	150	135	140	120
35	150	200	185	165	175	155
50	190	245	225	200	215	190
70	240	280	255	230	260	220
95	290					
120	340					

Примечание. Допустимые нагрузки на провода и кабели с алюминиевыми жилами принимаются в размере 77 % от нагрузок для соответствующих проводников с медными жилами.

Индивидуально подбор проводов для подключения нагревателей или их групп можно провести по аналогии со следующим примером. Например, мощность одного нагревателя (W), согласно данным изготовителя-поставщика, составляет 190 Вт, сопротивление $R = 18$ Ом, нагреватель рассчитан на напряжение 60 В. Сила тока в одном нагревателе составит

$$I = \frac{U}{R} = \frac{60}{18} = 3,3 \text{ А.}$$

Исходя из этого значения можно подобрать сечение провода для подключения одного электронагревателя. В данном примере достаточным будет сечение медного провода 0,5 мм². Если на одном щите опалубки размещено, например, 20 нагревателей, для их совместного подключения к ведущему магистральному кабелю потребуется одножильный провод, выдерживающий нагрузку, равную

$$I_{об} = I_1 \cdot n = 3,3 \cdot 20 = 66 \text{ А.}$$

По табл. 3.1 определяем, что для этого потребуется провод сечением 6 мм² по меди или 10 мм² по алюминию.

В связи с тем, что в приведенном примере электровыводы на нагревателях выполнены из медных проводков, их подключение целесообразно осуществлять тоже медными проводами.

С внешней стороны нагревательные элементы и открытые поверхности опалубки покрываются теплоизоляционными материалами (пенополиуретан “Репор”, минвата, минплита и др.), выдерживающими температуру нагрева этих элементов. Толщина утепления определяется с помощью теплотехнических расчетов. Расчеты и имеющийся опыт производства работ показывают, что с применением полиуретана слой утепления в 20...30 мм вполне обеспечивает необходимую теплоизоляцию среды до -20 °С. Перед нанесением теплоизоляции целесообразно провести испытание всей системы нагревательных элементов работой под током соответствующего напряжения, убедившись в надежности нагрева, изоляции проводов, особенно – в контактных местах подсоединения проводов с нагревателями. Как при испытаниях, так и в условиях эксплуатации, подача тока осуществляется через понижающий трансформатор с подачей соответствующего напряжения. В качестве примера можно отметить положительную работу трансформатора КТП-06-63 У1 и прогрев бетона нагревателями, работающими под напряжением 60 В.

Металлические нетоковедущие части трансформатора, распределительных щитов, кожухи рубильников должны быть присоединены к нулевому проводу питающей сети отдельным изоляционным проводом, расположенном в общей резиновой оболочке с фазными проводами. Сечение защитного нулевого провода должно быть 0,5 сечения фазных проводов. Перед подачей напряжения на нагревательные элементы необходимо проверить правильность подключе-

ния нагревателей и наличие изоляции в местах подсоединения их к питающим проводам, осмотреть всю систему электропроводки, состояние ограждения и убедиться, что в зоне ограждения нет людей; перед бетонированием проверить путем пробного включения работоспособность системы электроснабжения и регулирования, а также работу самих нагревателей на щитах опалубки с помощью токозамеряющих клещей и т.д.

В случае обнаружения при подаче напряжения на щиты или прогреве замыканий перегрева проводов, искрения в контактах и других неисправностей следует немедленно отключить напряжение и устранить их. Участки, где намечен прогрев бетона, должны быть обеспечены соответствующими плакатами электробезопасности и находиться под наблюдением специалистов, имеющих квалификационную группу не ниже III. Персонал, осуществляющий производство работ по бетонированию, или другие работники, находящиеся поблизости, проходят инструктаж по правилам безопасности и методам оказания первой помощи.

3.4. Технология производства работ по обогреву бетона в греющей опалубке

Технологическая последовательность выполняемых работ при возведении монолитных конструкций с использованием греющей опалубки, оснащенной инвентарными нагревательными элементами, на основе углеродистой ткани следующая. Щиты опалубки устанавливаются и раскрепляются в проектное положение. Электропровода от щитов соединяются в единую цепь; проверяется правильность и надежность их соединения, в том числе при включенном токе соответствующего напряжения. При этом обеспечивается частичный нагрев опалубки до 15...20 °С для растаивания образовавшегося снега и льда.

Отключив напряжение на щитах, осуществляют укладку бетонной смеси и ее уплотнение в соответствии с мероприятиями, предусмотренными в проекте производства работ. В соответствующих местах (в углах, на поверхности бетона снизу) оставляются скважины для установки датчиков или замера температуры. Если позволяют температурные условия, целесообразно, не допуская замораживания смеси, выдерживать ее без прогрева (1...2 ч) с тем, чтобы произошло большее

взаимодействие цемента с водой, обеспечивающее в процессе термообработки возрастающее тепловыделение от экзотермии.

После повторной проверки правильности электроподключения осуществляется включение тока на прогрев бетона, которое можно проводить на высоких ($60 \dots 80^\circ\text{C}$) и низких ($30 \dots 50^\circ\text{C}$) режимах прогрева. Менее опасными и более надежными являются низкие режимы. Для возведения стен высотных жилых зданий толщиной 500 мм целесообразно осуществлять двухсторонний обогрев, для перегородок толщиной до 200...250 мм можно допустить односторонний, однако необогреваемая опалубка должна соответственно утепляться.

Расчет параметров прогрева бетона следует проводить аналогично примеру, приведенному ниже. Требуется, например, прогреть бетон, уложенный в опалубку стен толщиной 50 см, начальная температура которого перед прогревом составляла $t_n = 10^\circ\text{C}$. Для этого выбираем, например, четырехстадийную схему: 1) выдерживание; 2) подъем температуры; 3) прогрев; 4) остывание. Вначале производим выдерживание бетона перед прогревом в течение 1...3 ч при низкой температуре, которая образовалась после укладки. Затем определяем, что подъем температуры в бетоне осуществляется со скоростью V_3 , не превышающей 10°C/ч , до максимального значения $t_n = 50^\circ\text{C}$, т.е. в целях исключения трещинообразования в бетоне производим его прогрев по мягкому режиму.

Далее принимаем, что режим изотермического прогрева бетона будет осуществляться до максимальной температуры $t_n = 50^\circ\text{C}$. Исходя из этого, время подъема температуры ($T_{\text{под}}$) определяется как частное от деления разности температур изотермического прогрева (t_n) и начальной температуры (t_n) бетона на величину скорости подъема температуры ($V_{\text{под}}$):

$$T_{\text{под}} = \frac{t_n - t_n}{V_{\text{под}}} = \frac{(50 - 10)}{10} = 4 \text{ ч.}$$

По графику, приведенному на рис. 3.5, определяем продолжительность изотермического прогрева для получения в бетоне заданной прочности. Например, требуется, чтобы она была не ниже 50%

от R_{28} . Для этого на графике на кривой 2, характеризующей эту прочность, находим точку пересечения этой кривой с горизонталью, характеризующей значение прочности на шкале. Из этой точки опускаем перпендикуляр на горизонтальную шкалу и получаем значение продолжительности прогрева, равное 10 ч. Нетрудно заметить, что, принимая более высокую температуру изотермического прогрева, эту прочность можно получить в более короткие сроки.

Закончив прогрев, необходимо, не снимая опалубки, дать возможность бетону остыть до температуры $+15...20^{\circ}\text{C}$ со скоростью $15...20^{\circ}\text{C/ч}$. В нашем примере это должно произойти за 2 часа. Таким образом, общая продолжительность термообработки от окончания укладки до начала распалубки составит 16 часов, т.е. 4 часа выдерживания, 10 часов изотермического прогрева, 2 часа остывания. Общую продолжительность термообработки можно сократить за счет совмещения процессов выдерживания и укладки, повышения режима прогрева. Например, при повышении температуры прогрева до 70°C и снижении выдерживания на 2 часа общая продолжительность термообработки сократится на 5 часов и составит

$$П_T = 2 + 7 + 2,5 = 11,5 \text{ ч.}$$

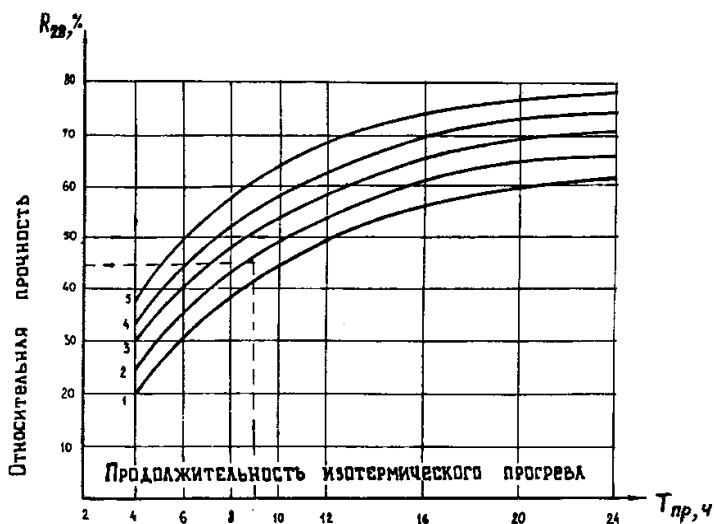


Рис. 3.5. Зависимость относительной прочности бетона от температуры и продолжительности изотермического прогрева:

1 — $t_{пр} = 40^{\circ}\text{C}$; 2 — $t_{пр} = 50^{\circ}\text{C}$; 3 — $t_{пр} = 60^{\circ}\text{C}$; 4 — $t_{пр} = 70^{\circ}\text{C}$; 5 — $t_{пр} = 80^{\circ}\text{C}$

В период термообработки необходимо осуществлять контроль за температурой прогрева и электроподключением, снимая результаты замера температур с записью в журнал прогрева:

- 1) в период подъема температуры – через 30...60 мин;
- 2) в период прогрева – через 60...90 мин;
- 3) при остывании – 1 раз в смену.

При обнаружении нарушений режима прогрева надо принимать соответствующие меры предосторожности. Например, при перегреве бетона периодически отключать ток, при падении температуры – принимать меры к усилению прогрева.

В период термообработки могут возникать отклонения фактических значений температур от расчетных. В этих случаях достигнутую прочность в прогретом бетоне можно определить обратным ходом расчета по данным температур. Например, температура изотермического прогрева (t_n) была 45°C, период прогрева составил 9 часов. Тогда на графике рис. 3.5) из значения продолжительности прогрева, равного 9 ч, проводим условно линию вертикально вверх до пересечения с точкой значения температуры 45°C, которая находится посередине между кривыми, характеризующими температуру 40 и 50 °C. Далее из этой точки по горизонтали движемся до пересечения со шкалой прочности. В результате получаем прочность бетона при таком режиме прогрева 45% от R₂₈.

До разборки опалубки необходимо провести отсоединение всех подводящих электропроводов (при отключенном токе), убрать и сложить их в отведенном месте. Снятие опалубки и ее перестановка должны производиться осторожно, без нарушений целостности нагревательных систем и полученного бетона. Обнаруженные дефекты в бетоне устраняются в соответствии с действующими нормативными документами.

В практике строительства применяются и другие виды греющих опалубок, имеющие отличия, зависящие от способа передачи электроэнергии, конкретного теплообразующего устройства и материалов, используемых для изготовления опалубки. Одной из таких разновидностей являются опалубки, оснащенные греющим полимерным проводом. На рис 3.6 приведен пример металлического щита, оснащенного по наружной стороне греющим проводом, закрепленным на опалубке. Шаг раскладки провода осуществляется по расче-

ту 8...12 см с последующим утеплением составами полиуретана 15...20 мм. Отдельные провода на поверхности соединяются в одну электросеть параллельным способом подключения в междурееберном пространстве.

С помощью нагрева внутреннего листа поверхности опалубки до температуры $+50^{\circ}$ успешно осуществляется прогрев бетона по мягкому режиму. Результаты промеров прогрева и качество бетона в стенах соответствуют предъявленным требованиям. При этом существенно повысилась безопасность эксплуатации надежно заизолированных греющих проводов.

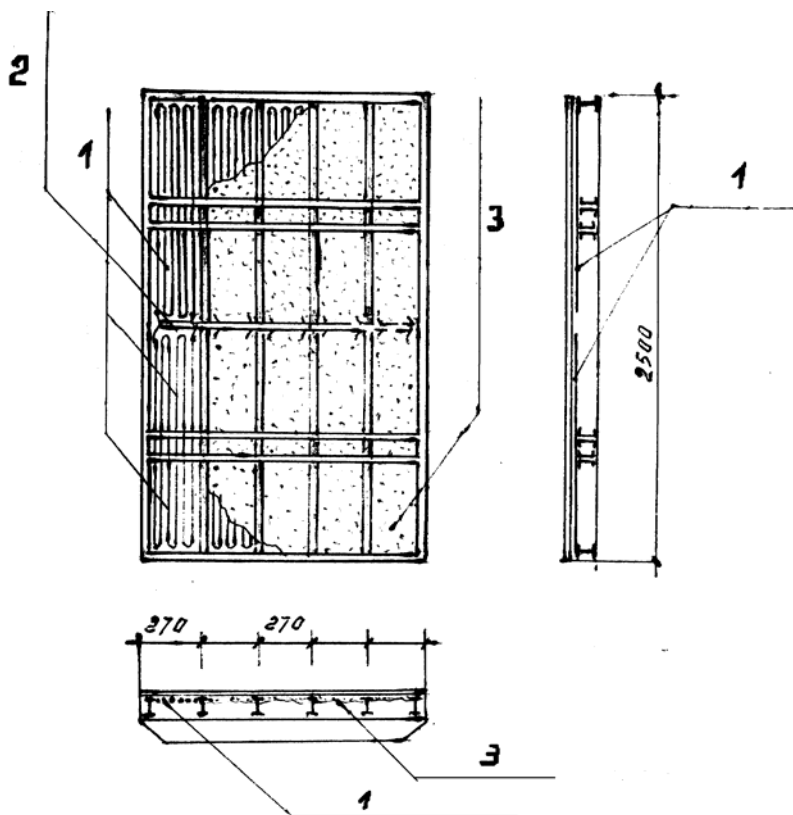


Рис. 3.6. Щит опалубки, оснащенный греющим полимерным проводом:
1 – греющий провод; 2 – подключающие провода;
3 – утеплитель (полиуретан)

Распространенными видами греющих опалубок также являются мелкощитовые опалубки, оснащенные трубчатыми, пластинчатыми, стержневыми и проволочными электронагревателями. Общими для них являются щитовая конструкция и принцип работы при обогреве. На рис. 3.7 представлены примеры устройства опалубки, оснащенной трубчатыми нагревателями в виде ТЭНов, которые посекционно крепятся к опалубочному металлическому или другому листу.

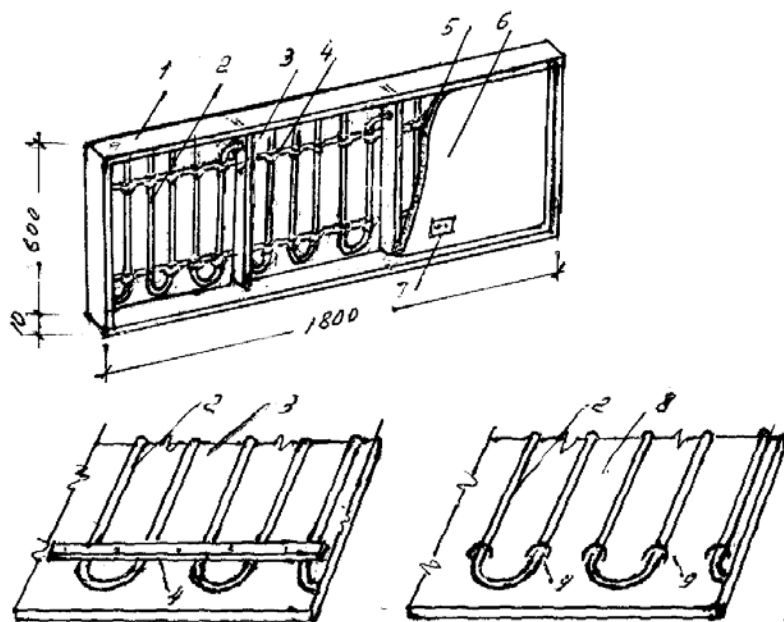


Рис. 3.7. Мелкощитовая греющая опалубка:

- 1 – каркас; 2 – трубчатый нагреватель (ТЭН); 3 – металлическая или фанерная палуба; 4 – прижимная планка; 5 – утеплитель; 6 – защитный кожух;
7 – вилочный разъем; 8 – фанерная палуба; 9 – скоба крепления

Лицевой лист опалубки выполняется из различных материалов (металл, поликомпозиаты, влагостойкая фанера и др.). Они должны обладать высокой теплопроводностью и температуростойкостью. Для обеспечения электроизоляции устраиваются прокладочные листы. Крепление электронагревателей осуществляется с помощью прижимных пластин. Поверх тручатых нагревателей устраивается теплоизоляция (по расчету) и закрывается защитным кожухом.

На рис. 3.8 представлена аналогичная греющая опалубка, оснащенная углеродистыми лентами, соединенными параллельным способом электроподключения. Могут применяться и металлические ленты значительно более высоких электросопротивлений (60...120 Ом). Особо важным мероприятием является надежное устройство электроизоляции этих лент на стыке поверхности с палубой.

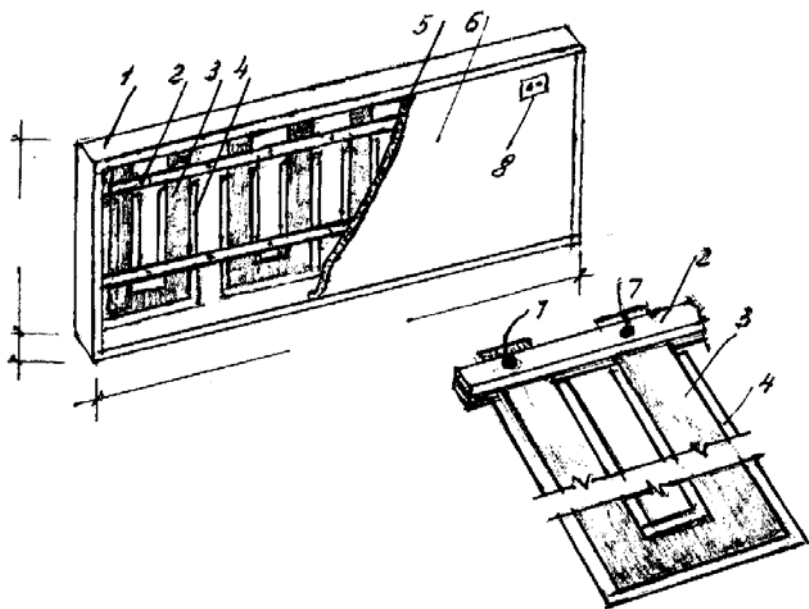


Рис. 3.8. Опалубка с нагревателями из углеродистых лент:
1 – каркас; 2 – накладка крепления; 3 – углеродистая лента; 4 – изоляционная прокладка; 5 – утеплитель; 6 – защитный кожух; 7 – контакты;
8 – вилочный разъем

На рис. 3.9 представлен плоский греющий элемент (покрывало) для укрытия бетонных поверхностей в полах, перекрытиях, дорожных и тротуарных конструкциях. Обогрев в таком плоском элементе осуществляется с использованием греющих металлических или полимерных электропроводов. Конструирование и расчет покрытий осуществляются с использованием методик, рассмотренных ранее для греющих опалубок.

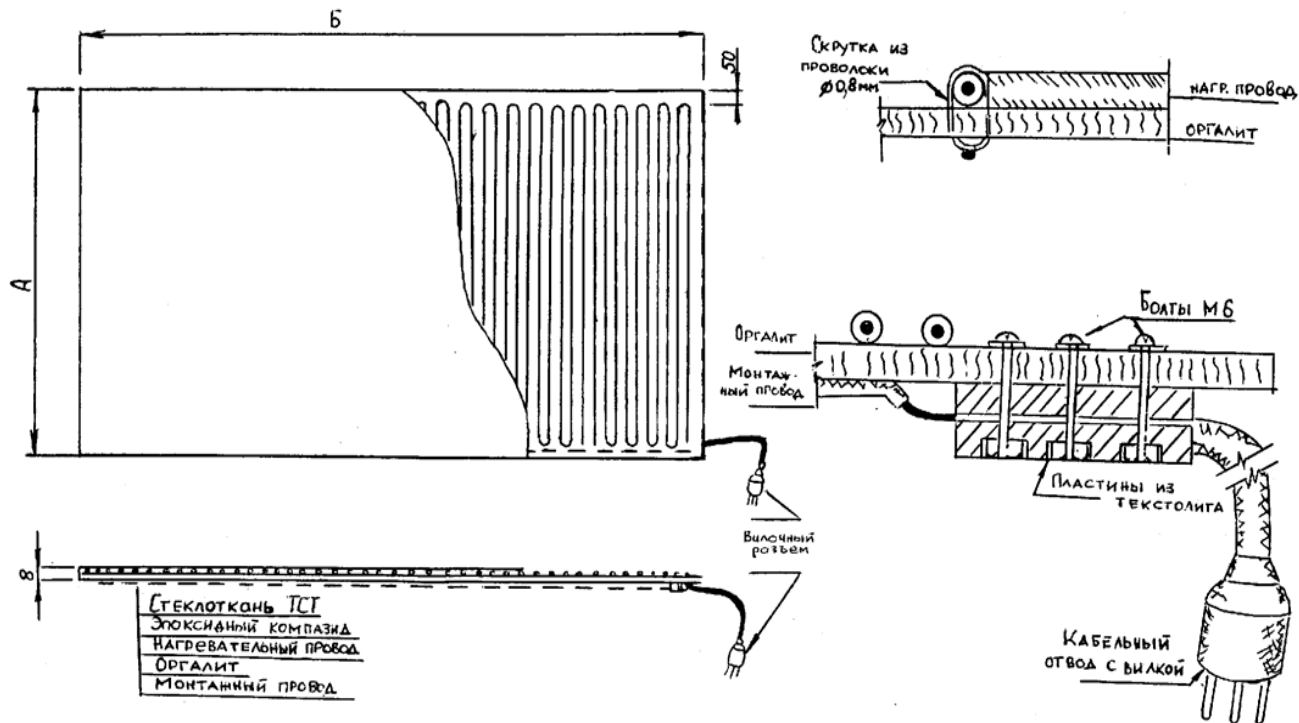


Рис. 3.9. Инвентарный греющий плоский элемент покрытия бетона

Техника безопасности при производстве работ с применением греющих устройств

Работу по электрообогреву производят, как правило, при пониженном напряжении (от 50 до 106 В), получаемом от специальных понижительных трансформаторов. Однако относительно небольшое напряжение не является безопасным при наличии неблагоприятных условий – влажности кожи человека, обуви, почвы, доступности токоведущих частей и т.д. Понижительные трансформаторы следует подсоединять к сети стройплощадки с напряжением не выше 380 В.

В отдельных случаях электропрогрев неармированного бетона допускается производить от напряжения 220 В. Для этого должно быть обеспечено:

1) наличие надежного ограждения, установленного на расстоянии не менее 3 м от прогреваемых конструкций, с размещением сигнальных ламп, предупредительных плакатов и обязательным инструктажем обслуживающего персонала;

2) наличие заземленной нейтрали трансформатора.

Однако во всех других случаях запрещается бетонирование конструкций, прогреваемых током, с напряжением выше 60 В. При этом требуется строгое соблюдение правил техники безопасности:

1) не разрешается ходить или перевозить бетон по устройствам электропрогрева, находящимся под напряжением, без устройства специальных безопасных ходов;

2) подливка бетона разрешается только при отключенном напряжении;

3) все электромонтажные работы на площадках следует вести только при отключенном напряжении;

4) измерение температуры бетона при прогреве должны производить рабочие в резиновых галошах и перчатках.

В сырую погоду и во время оттепели все виды электропрогрева на открытом воздухе должны быть прекращены. Участок, на котором он осуществляется, должен быть огражден и в ночное время хорошо освещен. На ограждениях и на самой площадке электропрогрева вывешивают плакаты, предостерегающие работающих от действий, угрожающих поражением током. На площадке электропрогрева нельзя производить другие работы. Провода нужно укладывать так, чтобы на них не могли наступить рабочие-бетонщики.

Электрооборудование для прогрева бетона при пониженном напряжении должно состоять из одного или нескольких трансформаторов, распределительного устройства, силовых щитков, составляющих понизительную подстанцию, электропроводов и софитов; при повышенном напряжении – из основных щитков и электроразводки.

Включение установки по электропрогреву (или электрообогреву) под напряжением разрешается только после удаления со строительной площадки всех работающих, кроме персонала по обслуживанию электроаппаратуры. Включать аппаратуру следует, стоя на изолирующей подставке, в диэлектрической обуви. Перед включением напряжения и после каждого перемещения проверяют состояние изоляции проводов, защитных средств и заземления электрооборудования.

Л и т е р а т у р а

1. Бетонные и железобетонные работы: Справочник строителя / Под ред. В.Д.Топчия. – М.: Стройиздат, 1987. – 316 с.
2. Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях, районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера. – М.: Стройиздат, 1982. – 312 с.
3. Руководство по электротермообработке бетона // НИИ ЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1974. – 252 с.
4. Лысов В.П. Формирование ресурсосберегающих организационных решений возведения монолитных конструкций и сооружений из бетона: Учебное пособие. – Мн.: БПИ, 1986. – 96 с.
5. Рекомендации по производству работ в зимних условиях с использованием полимерного греющего провода / В.П.Лысов, И.В.Гусева, С.А.Бородулин, Р.А.Минеев / БГПА. Строительный факультет, протокол № 7 от 20.03.1995. – Мн.: БГПА, 1995. – 26 с.
6. Лысов В.П., Голубев Н.М., Громов И.Н. Новые ресурсосберегающие устройства по прогреву бетона в конструкциях и обогреву помещений // Эффективные строительные материалы, конструкции и технологии: Сб. науч. трудов: – Мн.: БелНИИС «Технопринт», 2000. – С. 152 – 159.

Содержание

	В в е д е н и е.	3
1.	ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГРЕВА БЕТОНА ГРЕЮЩИМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОДАМИ.	3
1.1.	Общие положения.	3
1.2.	Расчет обогрева бетона с использованием греющих металлических проводов.	5
1.3.	Технология производства бетонных работ с применением греющего металлического провода.	19
2.	ОБОГРЕВ БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРЕЮЩЕГО ПОЛИМЕРНОГО ЭЛЕКТРОПРОВОДА.	24
2.1.	Особенности использования полимерного электропровода.	24
2.2.	Методика расчета греющих полимерных устройств.	25
2.3.	Технология производства работ с использованием греющего полимерного провода.	30
2.4.	Пример расчета раскладки полимерных греющих проводов в монолитных конструкциях.	33
3.	ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМООБРАБОТКИ БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРЕЮЩИХ ОПАЛУБОК.	35
3.1.	Сущность метода и область применения.	35
3.2.	Конструкции греющих опалубок.	36
3.3.	Монтаж и электроподключение нагревательных элементов в греющих опалубках.	43
3.4.	Технология производства работ по обогреву бетона в греющей опалубке.	47
	Техника безопасности при производстве работ с применением греющих устройств.	55
	Л и т е р а т у р а.	57

Учебное издание

ЛЫСОВ Виктор Петрович
МИНЕЕВ Руслан Анатольевич
ПИКУС Дмитрий Маркович и др.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМООБРАБОТКИ
БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ
КОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1-70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»

Редактор Т.А.Палилова
Компьютерная верстка Н.А.Школьниковой

Подписано в печать 16.04.2004.

Формат 60х84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 3,5. Уч.-изд. л. 2,7. Тираж 150. Заказ 2.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.
Лицензия ЛВ №155 от 30.01.2003. 220013, Минск, проспект
Ф.Скорины, 65.