

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
**СЫКТЫВКАРСКИЙ ЛЕСНОЙ ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ**  
**ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ**  
**ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ**  
**ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ С. М. КИРОВА»**

**КАФЕДРА ДОРОЖНОГО, ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА**

**Сборник описаний лабораторных работ**  
**для подготовки дипломированных специалистов**  
**по направлению 653500 «Строительство»**  
**специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство»**

**СЫКТЫВКАР 2007**

УДК 624.01  
ББК 38.53  
Ж51

Рассмотрен и рекомендован к печати кафедрой дорожного, промышленного и гражданского строительства Сыктывкарского лесного института 29 октября 2007 г. (протокол № 2).

Утвержден к печати методической комиссией лесотранспортного факультета Сыктывкарского лесного института 25 декабря 2007 г. (протокол № 4).

**Составитель:**

**Г. Б. Николаев**, кандидат технических наук, доцент

Ж51 ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА : сб. описаний лабораторных работ для подготовки дипломированных специалистов по направлению 653500 «Строительство» спец. 270102 «Промышленное и гражданское строительство» / сост. Г. Б. Николаев ; СЛИ. – Сыктывкар, 2007. – 20 с.

УДК 624.01  
ББК 38.53

Издание содержит тематику, задания и методику выполнения лабораторных работ по специальной дисциплине «Железобетонные и каменные конструкции в условиях Севера». Способствует усвоению материала и закреплению знаний, организует самостоятельную работу студентов в процессе лабораторных занятий.

Для студентов специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство».

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Выбор метода бетонирования в зимнее время (способ термоса).....	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Выбор метода бетонирования в зимнее время (электропрогрев бетона).....	11
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	19

## ВВЕДЕНИЕ

Бетонные и железобетонные работы в зимних условиях должны выполняться методами, обеспечивающими выдерживание бетона в соответствующих тепловлажностных условиях до приобретения им прочности, достаточной для распалубливания и частичной или полной загрузки конструкции. Для получения необходимой прочности бетона до момента его замерзания при производстве бетонных работ в зимних условиях необходимы: организация предварительного подогрева бетонной смеси или ее составляющих; защита бетонируемых конструкций теплоограждениями, уменьшающими интенсивность остывания бетона; применение ускорителей твердения, а в некоторых случаях дополнительный обогрев уложенного бетона паром, теплым воздухом или с помощью электроэнергии. Возможно также применение «холодного» бетона, твердеющего при отрицательных температурах.

Принимаемые методы бетонирования в зимнее время должны обеспечивать возможность твердения бетонной смеси в тепловлажностных условиях до достижения бетоном в монолитных конструкциях прочности к моменту замерзания не менее  $50 \text{ кгс/см}^2$  и не менее 50 % проектной прочности.

Бетон сборных элементов с обычной и предварительно напрягаемой арматурой, входящих в состав сборно-монолитных конструкций, возводимых в зимних условиях, должен иметь к моменту установки элементов проектную прочность.

Выбор способов бетонирования зависит от характера и степени массивности конструкций, определяемой модулем поверхности  $M_n$ , равным отношению охлаждаемой поверхности  $F$  ( $\text{м}^2$ ) к ее объему  $V$  ( $\text{м}^3$ ), а также от температуры наружного воздуха, вида цемента и сроков работ.

В зависимости от характера конструкции могут быть приняты следующие методы работ:

а) работы по способу термоса – на подогретых материалах с укрытием уложенного бетона для сохранения в нем тепла до момента достижения бетоном требуемой прочности;

б) ведение работ на подогретых материалах с последующим обогревом конструкций;

в) производство работ в передвижных или переносных тепляках.

Целью проведения лабораторных работ является закрепление теоретического материала по дисциплине и развитию навыков самостоятельной работы.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

– научить студентов использовать теоретические знания при практическом выполнении лабораторных работ;

– развить навыки пользования лабораторным оборудованием и литературными источниками;

– получить опыт самостоятельного использования и анализа данных лабораторных работ.

В результате выполнения лабораторных работ студент должен знать и уметь использовать:

– принципы и основы проектирования основных элементов строительных конструкций;

– основы лабораторного определения физико-технических свойств основных строительных материалов и изделий;

- уметь применять на практике типовые технологические карты, нормативные таблицы и указания СНиПов, ГОСТов. Ту. Ведомственных нормативов и рекомендаций;
- оценивать визуально соответствие нормативам применяемых исходных материалов и конструкций;
- уметь пользоваться инструментами оборудованием для метода неразрушающего к контролю качества строительных материалов и конструкций;
- решать основные практические задачи по подсчету объемов работ, армированию элементов, ведения исполнительной документации.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1**  
**8 часов**  
**ВЫБОР МЕТОДА БЕТОНИРОВАНИЯ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ**  
**(СПОСОБ ТЕРМОСА)**

*Цель работы:* получить представление об особенностях бетонирования в зимних условиях

*Задачи работы:* овладеть методом защиты бетонируемых конструкций на подогретых материалах с укрытием уложенного бетона для сохранения в нем тепла до достижения бетоном требуемой прочности

*Обеспечивающие средства:* портландцемент быстротвердеющий, хлористый кальций, опалубка, материал для укрытия.

*Задание:* определить возможности твердения бетона при отрицательной температуре воздуха использованием метода термоса

*Требования к отчету:* итоги работы оформляются в виде пояснительной записки с примерами и расчетами.

*Технология работы:*

При выдерживании по способу термоса бетон набирает заданную прочность за время его остывания от начальной температуры ( $t_{б.н}$ ) уложенной бетонной смеси до нуля градусов.

Положительная температура бетона, необходимая для достижения им требуемой прочности, должна быть обеспечена за счет количества тепла  $Q$ , полученного при подогреве составляющих и экзотермического тепла, выделяемого в процессе твердения бетона:

$$Q = c_0 t_{б.н} + q_{ц} \mathcal{E}, \quad (1.1)$$

где  $c_0$  – объемная теплоемкость бетона, ккал/м<sup>3</sup> · град;  $q_{ц}$  – расход цемента, кг на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси;  $\mathcal{E}$  – тепловыделение, ккал на 1 кг цемента за период твердения бетона (рис. 1.1).

Количество тепла  $Q$  в бетоне должно соответствовать его расходу (теплопотерям) при остывании конструкции до 0 °С:

$$Q = KM_{п} \tau (t_{б.ср} - t_{н.в}), \quad (1.2)$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи опалубки и теплоизоляции, ккал/м<sup>2</sup> · ч·град (табл. 1.1);  $M_{п}$  – модуль поверхности охлаждения конструкции;  $\tau$  – время остывания бетона от  $t_{б.н}$  до 0 °С, ч;  $t_{б.ср}$  – средняя температура бетона за время остывания, °С;  $t_{н.в}$  – температура наружного воздуха, °С.

Средняя температура бетона за время остывания определяется по формуле

$$t_{б.ср} = \frac{t_{б.н}}{1,03 + 0,181M_{п} + 0,006t_{б.н}}.$$

По приведенным формулам выполняется приближенный теплотехнический расчет охлаждения бетонных конструкций до 0° С с модулем поверхности охлаждения  $25 \geq M_{п} \geq 3$ .

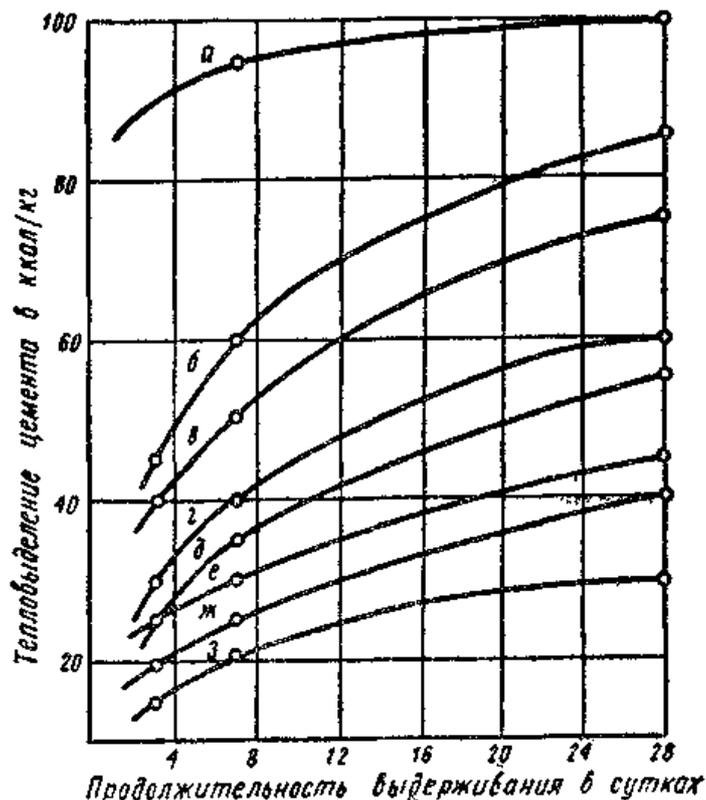


Рис. 1.1. График экзотермического тепловыделения различных цементах во времени:  
*a* – плавный глиноземистый цемент;  
*б* – портландский быстротвердеющий цемент марки 600,  
*в* – портландцемент марки 500, *г* – портландцемент марки 400,  
*д* – портландцемент и шлакопортландцемент марки 200,  
*е* – пуццолановый портландцемент и шлакопортландцемент марки 300,  
*ж* – портландцемент марки 300, *з* – пуццолановый портландцемент марки 400

Таблица 1.1

Коэффициент теплопередачи К для различных типов ограждений

Тип ограждения	Коэффициент теплопередачи, включая опалубку, при лощине досок, мм					
	25		38		50	
	$\alpha = 1$	$\alpha = 1,5$	$\alpha = 1$	$\alpha = 1,5$	$\alpha = 1$	$\alpha = 1,5$
Слой толя по тщательно выполненной опалубке	4,35	6,52	3,22	4,85	2,56	3,84
Слой шевелина толщиной 12 мм по тщательно выполненной опалубке	1,92	2,98	1,67	2,5	1,47	2,21
Два слоя войлока плюс слой толя по тщательно выполненной опалубке	1,37	2,06	1,24	1,85	1,12	1,69
Обшитый толем короб из 20-мм теса засыпкой слоем сухих опилок толщиной 10 см с уплотнением	0,62	0,93	0,59	0,89	0,56	0,85
То же при толщине слоя 15 см	0,45	0,67	0,43	0,65	0,42	0,63
То же с засыпкой гранулированным шлаком слоем толщиной 10 см	0,79	1,18	0,74	1,11	0,7	1,05
То же с засыпкой сухим котельным шлаком слоем толщиной 10 см	1,18	1,76	1,08	1,61	0,99	1,48
То же при толщине 15 см	0,94	1,4	0,87	1,3	0,81	1,22
Слой соломы или камышита толщиной 5 см плюс слой толя	0,81	1,22	0,76	1,15	0,72	1,08

**Примечание:**  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий влияние ветра. Для закрытых помещений  $\alpha = 1$ , для условий открытого воздуха при тихой погоде  $\alpha = 1,25$ ; при ветреной погоде  $\alpha = 1$ .

Для конструкций с  $M_n < 3$  режим выдерживания рассчитывается по методу проф. В. С. Лукьянова. Применение метода термоса ограничено; им можно пользоваться для выдерживания конструкций с модулем до 6–8. Расширить область применения метода термоса можно путем использования:

- а) быстротвердеющих цементов;
- б) добавок, ускоряющих твердение бетона (хлористый кальций, соляная кислота);
- в) бетонных смесей, нагретых перед укладкой в конструкцию на месте бетонирования;
- г) тепла, аккумулированного в слоях грунта, расположенных ниже уровня промерзания, при бетонировании конструкций в котлованах и траншеях.

Как ускорители твердения добавки хлористого кальция допускаются для неармированных и конструктивно-армированных конструкций в количестве до 3 %, а для конструкций, армированных по расчету, – до 2 %. Добавка соляной кислоты допускается в количестве в 1,5 раза меньшем, чем это указано для хлористого кальция.

В районах, где устойчивые температуры воздуха могут достигать до  $-40\text{ }^\circ\text{C}$ , может быть рекомендовано использование бетонных смесей с температурой около  $5\text{ }^\circ\text{C}$  с добавками хлористых солей до 2 %. Такие смеси на месте, до укладки в конструкцию, подвергают интенсивному электропрогреву (до температуры не выше  $70\text{--}80\text{ }^\circ\text{C}$ ). Прогрев осуществляется в бункерах или бадьях при помощи пластинчатых электродов.

**Противоморозные добавки.** Противоморозные добавки снижают температуру замерзания бетона. Номенклатура химических добавок и технические показатели применения хлористых солей приведены в табл. 1.2–1.6.

Таблица 1.2

Разновидности химических добавок, применяемых при приготовлении бетонной смеси

Соль	Разновидность	ГОСТ
Хлористый кальций	Технический	450–58
	Гранулированный	4161–48*
	Плавленый	4460–48*
	Кристаллический	4141–48*
Хлористый натрий	Соль поваренная пищевая	153–57*
	Технический	4233–48*
Углекислый калий	Технический (поташ)	10690–63
		Азотистокислый натрий (нитрит натрия)

Таблица 1.2

Количество добавок хлористых солей для бетонов, % от веса цемента

Температура твердеющего бетона, $^\circ\text{C}$	Количество добавки	
	хлористого натрия	хлористого натрия совместно с хлористым кальцием
До $-5$	3	–
От $-6$ до $-10$	–	$3,5 + 1,5$
От $-11$ до $-15$	–	$3 + 4,5$

Таблица 1.4

Расчет прочности бетона с добавками хлористых солей

Срок твердения, сут	Относительная прочность, % $R_{28}$ бетона того же состава без добавок, твердеющего в нормальных условиях
7	20–25
28	40–50
60	60–70
90	80–90
180	100

Таблица 1.5

Количество добавки поташа для бетонов, % от веса цемента

Температура твердеющего бетона, °С	Количество добавки
До -5	5
От -6 до -15	10
От -16 до -25	15

Таблица 1.6

Количество добавки нитрита для бетонов в % от веса цемента

Температура твердеющего бетона, °С	Количество добавки
До -5	5
От -6 до -15	10

Применение бетонов с добавками хлористых солей не допускается:

- а) в конструкциях, подверженных динамическим нагрузкам;
- б) в конструкциях, подвергающихся при эксплуатации систематическому нагреванию до температуры выше 60° С;
- в) в частях конструкций, расположенных в зоне переменного уровня воды;
- г) в конструкциях с выпусками арматуры или выступающими металлическими закладными частями без специальных мер защиты последних от коррозии;
- д) в конструкциях, находящихся в непосредственной близости к источникам тока высокого напряжения (в пределах до 100 м).
- е) в конструкциях, соприкасающихся с агрессивными водами, содержащими примеси кислот, щелочей и сульфатов;
- ж) в конструкциях, внешний вид которых определяется архитектурными соображениями (ввиду возможности образования высолов).

Применение бетонов с добавкой хлористых солей допускается для возведения бетонных и камнебетонных конструкций, неармированных или содержащих конструктивную (нерасчетную) арматуру при условии отсутствия в проекте сооружения указаний о недопустимости применения таких бетонов.

Бетон с добавкой поташа, твердея на морозе, набирает в 7-суточном возрасте 25–35 %, в 28-суточном 50–90 %, а в 3-месячном возрасте 100 %  $R_{28}$  обычного бетона, твердевшего в нормальных условиях.

Бетонные смеси с добавкой поташа рекомендуется применять в бетонных и железобетонных конструкциях с проектной маркой не более 300.

Применение бетонов с добавкой поташа не допускается в несущих железобетонных конструкциях пролетных строений мостов, фермах, балках, плитах перекрытий пролетом более 6 м; в железобетонных дымовых трубах, вентиляционных трубах, градирнях; в конструкциях, подверженных воздействию агрессивной водной среды (с примесями кислот и щелочей), подвергающихся динамическим нагрузкам, расположенных в зоне переменного уровня воды, находящихся в непосредственной близости к источникам тока высокого напряжения, подверженных нагреванию выше 60° С, а также при изготовлении железобетонных изделий с применением тепловой обработки.

Бетон с добавкой нитрита натрия, твердея на морозе, набирает ориентировочно в 7-суточном возрасте 5 – 25 %, в 28-суточном 35 – 90 %, а в 3-месячном возрасте 100 %  $R_{28}$  обычного бетона, твердевшего в нормальных условиях.

Ход выполнения работы. Выдерживание монолитных конструкций методом термоса производится с соблюдением следующих правил:

1. Берутся материалы необходимые для приготовления цементного теста, определяют плотность, водоотделения, тонкости помола.

2. Материалы для приготовления теста смешиваются предварительным одинаковым для всех порции количеством воды, затем производится измерение нормальной густоты в соответствии с методикой.

3. После определения окончательного количества воды, для всей серии порций цементного теста, при котором цементное тесто имеет нормальную густоту, на нем проводится определение начала и конца схватывания цемента.

4. Остальные виды испытаний проводятся с одноразовым использованием материалов.

5. Конструкции укрывают немедленно вслед за окончанием бетонирования; термическое сопротивление укрытия должно быть не ниже, чем опалубки;

6. Для обеспечения одинаковых условий остывания частей конструкций, имеющих различную толщину, тонкие элементы, выступающие углы и другие части, остывающие быстрее основной конструкции, должны иметь усиленное утепление;

7. При необходимости бетонирования по способу термоса смежных блоков порядок снятия укрытия и опалубки устанавливается проектом производства работ; прочность бетона ранее забетонированного смежного блока должна быть не ниже 50 % проектной, с учетом возможного замерзания бетона;

8. Металлические закладные части тщательно укрывают усиленным утеплением, термическое сопротивление которого в два раза больше, чем опалубки.

9. Уход за твердением бетона с противоморозными добавками во избежание его быстрого остывания и потери влаги выполняется с соблюдением следующих правил:

– после укладки поверхность бетона оставляется в течение 0,5–1 ч открытой, затем затирается деревянными терками и укрывается листовым материалом (бумагой, картоном, толем, фанерой) с последующей засыпкой слоем сухого грунта, песка, опилок, торфа, соломенной резки или снегом;

– нельзя повреждать поверхность уложенного бетона при устройстве утепления;

– выдерживание бетона без последующего обогрева допускается в течение первых 15 суток твердения при температуре в бетоне не ниже расчетной для принятой концентрации солей;

– при понижении температуры наружного воздуха в период первых 15 суток после укладки бетона с противоморозными добавками его следует утеплять или обогревать для того, чтобы температура уложенного бетона не снижалась ниже расчетной;

– утепление выполняется сухими опилками слоем 10–15 см, сухим песком 30–40 см, снегом 40–60 см; толщина утепления принимается в зависимости от температуры воздуха и может быть уточнена теплотехническим расчетом

#### *Контрольные вопросы*

1. В чем заключается метод термоса?
2. Перечислите типы ограждений при использовании типа термоса.
3. Для чего нужны противоморозные добавки?
4. Перечислите противоморозные добавки и каковы их отличие и преимущества друг от друга?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2**  
**8 часов**  
**ВЫБОР МЕТОДА БЕТОНИРОВАНИЯ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ**  
**(ЭЛЕКТРОПРОГРЕВ БЕТОНА)**

*Цель работы:* получить представление об особенностях бетонирования в зимних условиях

*Задачи работы:* овладеть методом ведения работ на подогретых материалах с последующим обогревом конструкций.

*Обеспечивающие средства:* трансформаторы типов СТЭ-24, СТЭ-32, ТБ-20, железобетонная конструкция, электроды.

*Задание:* определить возможности твердения бетона при отрицательной температуре воздуха использованием метода электропрогрева.

*Требования к отчету:* итоги пояснительной записки оформляются в виде пояснительной записки с примерами и расчетами.

*Технология работы*

При невозможности по способу термоса получения в установленные сроки достаточной прочности бетона для его распалубливания, что обычно бывает при бетонировании тонких конструкций, применяется искусственный прогрев бетона.

Режим электропрогрева назначается в зависимости от заданного процента прочности бетона, характера (модуля поверхности) конструкции, вида опалубки (толщина, утеплитель), возможности учета увеличения прочности бетона за время его остывания, а также от вида, активности и содержания цемента в бетоне.

В зависимости от сочетания этих условий все режимы могут быть приведены к четырем основным схемам:

1. Режим, состоящий из двух периодов – разогрева  $\tau_1$  и изотермического прогрева  $\tau_2$ , обеспечивающий к моменту выключения тока заданный процент прочности бетона от его марки. Применяется при электропрогреве тонких конструкций с  $M_n > 15$ . В зависимости от условий производства возможен и для конструкций средней массивности.

2. Режим, состоящий из трех периодов –  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  и остывания  $\tau_3$  обеспечивающий заданный процент прочности бетона от проектной марки к концу остывания прогретой конструкции. Назначается для конструкций с  $7 \leq M_n \leq 15$ .

3. Режим, состоящий из двух периодов – разогрева и остывания (электротермос). В зависимости от внешних температурных условий рекомендуется для прогрева массивных конструкций с  $M_n < 7$ , при опалубке толщиной 4 см или обычной, но утепленной.

4. Режим, состоящий из нескольких чередующихся периодов разогрева и остывания ( $\tau_1$  и  $\tau_3$ ). Применяется для электропрогрева при наличии только одной ступени напряжения (в пределах 110–220 в). Может быть использован для прогрева бетонных и малоармированных конструкций с  $8 \leq M_n \leq 12$ .

Скорость разогрева рекомендуется принимать для массивных конструкций с  $M_n \leq 6$  до 8 град/ч; для конструкций с  $M_n > 6$  до 10 град/ч.

В отдельных случаях для конструкций, обладающих небольшой протяженностью (до 6 м), густоармированных, а также из сборного железобетона можно увеличить скорость разогрева, но не более чем до 15 град/ч.

Скорость разогрева более 6 град/ч требует значительных мощностей. При ограниченности электроснабжения разогрев ведут со скоростью 2–3 град/ч.

Электропрогрев конструкций производится при помощи электродов (стержневыми, пластинчатыми) или нагревательными устройствами (панелями), укладываемыми на поверхность бетона (рис. 2.1). Электропрогрев бетона, как правило, должен производиться током, пониженного напряжения – до 50–100 в с применением трансформаторов типов СТЭ-24, СТЭ-32, ТБ-20.

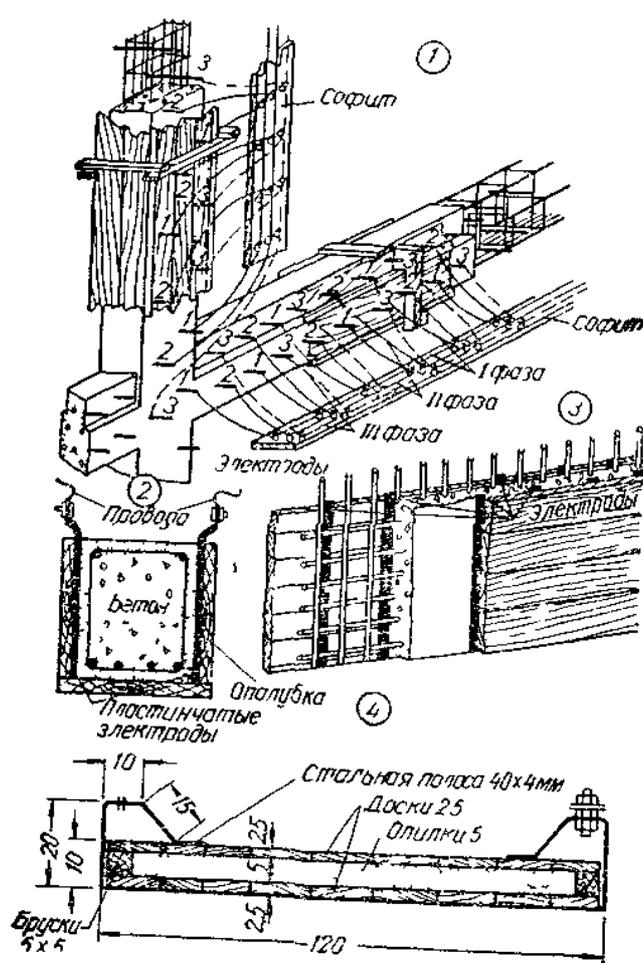


Рис. 2.1. Электропрогрев железобетонных конструкций:

- 1 – колони балок стержневыми электродами; 2 – балок пластинчатыми электродами;  
 3 – стен пластинчатыми электродами; 4 – плит нагревательными панелями  
 (разрез нагревательной панели)

Во избежание пересушивания бетона не следует допускать повышения температуры бетона выше 50–70° (нижний предел для конструкции при  $M_{п} = 20$  и верхний при  $M_{п} = 10$ ).

Расстояние между электродами в начальной стадии разогрева бетона (еще не схватившегося) должно быть не менее следующих величин: при подогреве током пониженного напряжения (менее 110 в) – 10 см; при питании непосредственно от сети при напряжении 120 + н-127 в – 30 см; при 220 в – 60 см. При групповых электродах расстояние между группами электродов равно соответственно 30, 60, 150 см.

Расстояние между электродами и арматурой (см) должно быть не меньше:

При напряжении в 65 в – 5–7

То же в 75 в – 8–10

То же в 106 в – 12–15

Изотермический прогрев, или время выдерживания бетона при заданной температуре до приобретения им нужного процента прочности, определяется по кривым нарастания прочности (рис. 2.2).

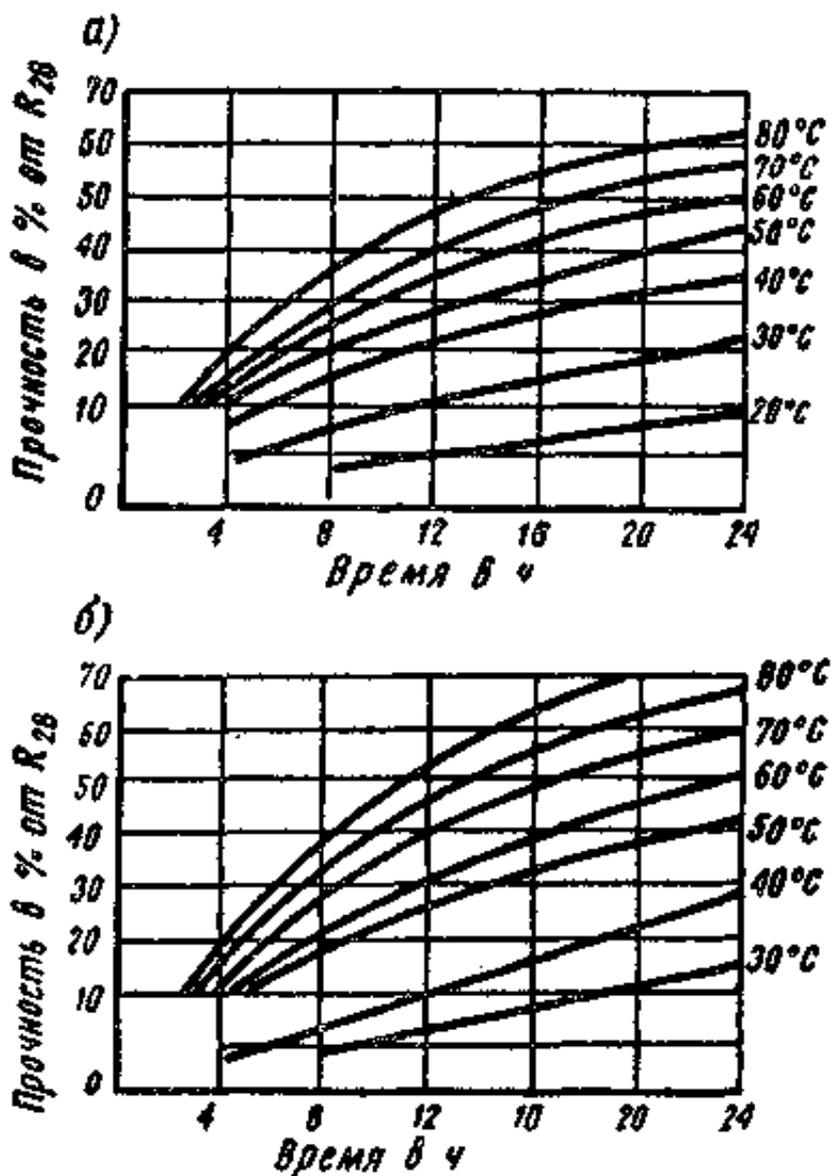


Рис. 2. Кривые для определения прочности бетона в зависимости от температуры и времени прогрева (при средних марках цемента):  
а – на портландцементе; б – на шлакопортландцементе

В условиях производства температура бетона за время  $\tau_2$  в зависимости от ряда причин колеблется в значительных пределах.

Средней температурой считают ее средневзвешенное значение по времени. Если, например,  $\tau_2$  равно 16 ч и из них по записям в температурном листе: 5 ч при  $t = 43$  °С; 4 ч при  $t = 56$  °С; 5 ч при  $t = 61$  °С; 2 ч при  $t = 72$  °С, то температура (средняя) изотермического прогрева будет равна

$$t_{из} = \frac{5 \cdot 43 + 4 \cdot 56 + 5 \cdot 61 + 2 \cdot 72}{16} = 55,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.1)$$

Предельно допускаемые значения температуры изотермического прогрева даны в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Предельно допускаемые значения температуры изотермического прогрева

Вид цемента	Марка цемента	Модуль поверхности		
		до 10	до 15	до 20
Шлакопортландцемент	200–400	80	65	50
Пуццолановый портландцемент	200–250	80	65	50
Портландцемент	250–300	70	60	50
Быстротвердеющий портландцемент	350–400	65	55	40

Период остывания  $\tau_3$ , т. е. продолжительность остывания от температуры изотермического прогрева до  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ , может быть определен по формуле проф. Б. Г. Скрамтаева:

$$\tau_3 = \frac{c\gamma t_{н.о} + \text{ЭЦ}}{KM_{п}(t_{ср} - t_{н.в}) \cdot \alpha}, \quad (2.2)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость бетона, ккал/кг·град;  $\gamma$  – объемный вес, кг/м<sup>3</sup>; Э – экзотермия, т. е. выделение тепла при твердении бетона, ккал на 1 кг цемента; Ц – расход цемента, кг на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси;  $K$  – коэффициент теплопередачи опалубки и теплоизоляция, ккал/м<sup>2</sup>·ч·град (табл. 2.2);  $M_{п}$  – модуль поверхности охлаждения, определяемый по формуле  $M_{п} = \frac{F}{V}$  (здесь  $F$  – поверхность охлаждения бетона, м<sup>2</sup>;  $V$  – объем бетона, м<sup>3</sup>);  $t_{ср}$  – средняя температура остывания бетона, принимается для всех случаев

$$t_{ср} = \frac{t_{н.о}}{2} \quad (2.3)$$

(здесь  $t_{н.о}$  – начальная температура остывания,  $^\circ\text{C}$ : при  $M_{п} \geq 4$   $t_{н.о} = t_{из}$ ; при  $5 \leq M_{п} \leq 10$   $t_{н.о} = t_{из} - 5$ ; для конструкций с  $M_{п} \geq 12$   $t_{н.о} = t_{из} - 10$ ; при расчетах продолжительности остывания в условиях производства значения  $t_{н.о}$  принимаются равными температуре, отвечающей моменту отключения конструкции из обогрева);  $t_{н.в}$  – температура наружного воздуха;  $\alpha$  – коэффициент влияния ветра (см. табл. 1.1 лаб. работы № 1).

Таблица 2.2

Коэффициент общей теплопередачи  $K$

Скорость движения воздуха, м/с	Опалубка, мм		Слой опилок, см		Открытая поверхность бетона
	20	40	5	10	
0,05	2,95	2,3	1,25	0,7	5,8
0,2	3,5	2,6	1,35	0,73	8,8
0,6	4,1	2,9	1,43	0,75	13
1	4,4	3	1,45	0,75	15,8
2	4,7	3,15	1,49	0,77	21,2
3	4,8	3,2	1,51	0,77	25
5	5,1	3,95	1,53	0,78	32
7	5,2	3,4	1,54	0,78	37
10	5,3	3,65	1,54	0,78	43,5

Расчет температурных режимов электропрогрева заключается в определении  $\tau_1$ ;  $\tau_2$ ;  $\tau_3$ ;  $\Delta t$  и  $t_{из}$ ; для этого необходимо знать заданный процент прочности бетона от его марки; температуру бетона после остывания  $t_6$ ;  $M_{п}$ ; вид и активность цемента;  $K$  опалубки.

Для определения режимов с учетом нарастания прочности бетона при его остывании кроме указанных данных должны быть известны удельный расход цемента  $C$  и температура наружного воздуха  $t_{н.в}$ .

Максимальная мощность, кВт/м<sup>2</sup>, требуемая для разогрева 1 м<sup>3</sup> бетона, определяется по формуле

$$P_1 = \frac{600\Delta t + KM_{п}(t_{сп} - t_{н.в})}{864} \quad (2.4)$$

Потребная мощность изотермического прогрева 1 м<sup>3</sup> бетона, кВт, определяется выражением

$$P_2 = \frac{KM_{п}(t_{сп} - t_{н.в})}{864} \quad (2.5)$$

Расход электроэнергии на 1 м<sup>3</sup> бетона может быть рассчитан по формуле

$$W = P_1\tau_1 + P_2\tau_2 \quad (2.6)$$

или принят по табл. 2.3.

Таблица 2.3

Удельная мощность при электропрогреве в кВт/м<sup>3</sup>

Коэффициент, учитывающий влияние ветра $\alpha$	Температура изотермического прогрева, °С	Мощность	Модуль поверхности, $M_{п}$																			
			4				8				12				15				20			
			Температура наружного воздуха, °С,																			
			-10	-20	-30	-40	-10	-20	-30	-40	-10	-20	-30	-40	-10	-20	-30	-40	-10	-20	-30	-40
1	40	$P_1$	3,33	3,49	3,67	3,83	3,97	4,29	4,6	4,92	4,61	5,09	5,57	6,06	5,1	5,7	6,3	6,91	5,91	6,91	7,51	8,32
		$P_2$	0,81	0,97	1,13	1,3	1,63	1,95	2,28	2,6	2,44	3,92	3,4	3,89	3,04	3,64	4,25	4,86	4,06	4,86	5,74	6,48
	60	$P_3$	3,49	3,66	3,83	4	4,29	4,62	4,92	5,25	5,1	5,6	6,06	6,55	5,72	6,33	6,91	7,51	6,73	7,55	8,32	9,13
		$P_4$	1,14	1,3	1,46	1,65	2,28	2,6	2,91	3,25	3,4	3,89	4,37	4,87	4,25	4,86	5,46	6,1	5,68	6,48	7,28	8,12
	80	$P_5$	3,65	3,81	4	4,16	4,61	4,93	5,25	5,57	5,59	6,07	6,55	7,03	6,32	6,92	7,51	8,12	7,58	8,33	9,13	9,94
		$P_6$	1,46	1,65	1,78	1,94	2,91	3,25	3,55	3,83	4,37	4,87	5,34	5,83	5,46	6,1	6,69	7,32	7,28	8,12	8,91	9,72
1,5	40	$P_1$	3,6	3,84	4,1	4,35	4,5	4,98	5,45	5,93	5,4	3,12	5,85	7,58	6,09	6,99	7,89	8,8	7,23	8,43	9,64	10,86
		$P_2$	1,22	1,46	1,71	1,95	2,45	2,93	3,42	3,9	3,66	4,38	5,1	5,84	4,23	4,46	6,38	7,29	6,09	7,29	8,52	9,72
	60	$P_3$	3,84	2,09	4,35	4,58	4,98	5,48	5,94	6,43	6,14	6,89	7,58	8,3	7,02	7,94	8,8	9,72	8,46	9,69	10,85	12,09
		$P_4$	1,71	1,95	2,95	2,48	3,42	3,9	4,37	4,88	5,1	5,84	6,56	7,31	6,38	7,29	8,19	9,15	8,52	9,72	10,92	12,18
	80	$P_5$	4,08	4,32	4,58	4,82	5,46	5,94	6,43	6,91	6,87	7,59	8,3	9,03	7,02	8,82	9,72	10,63	9,66	10,86	12,09	13,3
		$P_6$	2,19	2,48	2,67	2,91	4,37	4,88	5,32	5,82	6,56	7,31	8,01	8,74	8,19	9,15	10,03	10,98	10,92	12,18	13,36	14,58
2	40	$P_1$	3,87	4,28	4,52	4,9	5	5,66	6,3	6,95	6,18	7,15	8,12	9,1	7,06	8,18	9,49	10,7	8,53	10,1	11,8	13,39
		$P_2$	1,62	1,94	2,26	2,6	3,26	3,9	4,56	5,2	4,88	5,84	6,8	7,78	6,08	7,28	8,5	9,72	8,12	9,72	11,48	12,96
	60	$P_3$	4,2	4,52	4,85	5,17	5,65	6,3	6,95	7,6	7,15	8,12	9,1	8,07	8,18	9,51	10,7	11,92	10,1	11,78	13,39	15,01
		$P_4$	2,28	2,6	2,92	3,3	4,56	5,2	5,82	6,5	6,8	7,78	8,74	9,74	8,5	9,72	19,92	12,2	11,36	12,96	14,56	16,24
	80	$P_5$	4,52	4,9	5,17	5,49	6,3	6,95	7,6	8,25	8,12	9,1	10,07	11,04	9,5	10,7	11,92	13,3	11,8	13,39	15,01	16,63
		$P_6$	2,92	3,3	3,56	3,88	2,52	6,5	7,1	7,76	8,74	9,74	10,68	11,66	10,92	12,21	13,38	14,64	14,56	16,24	17,82	19,44

Электродный метод прогрева применяется, как правило, при пониженных напряжениях (50–110 в), что обеспечивает более точное соблюдение заданного режима выдерживания бетона. Повышенное напряжение (до 220 в) допускается при прогреве малоармированных конструкций, содержащих не более 50 кг арматуры на 1 м<sup>3</sup> бетона.

Электроды изготавливаются из арматурной стали диаметром 6–10 мм; в некоторых случаях применяется полосовая сталь (табл. 2.4, 2.5).

Таблица 2.4

Ориентировочный расход, кг/м<sup>3</sup>, электродной стали диаметром 0,6 см  
в зависимости от требуемой мощности

Мощность, кВт/м <sup>3</sup>	Напряжение, В				
	61	65	87	106	220
4	6,35	5	3,77	3,17	1,55
6	9,5	7,5	5,65	4,75	2,32
8	12,75	10	7,5	6,35	3,1
10	15,9	12,5	9,4	7,9	3,85

Таблица 2.5

Расход полосовой стали на электродную панель площадью 0,95 м<sup>2</sup> (рис. 2.3)

Толщина полосы, мм	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	3,5
Ширина полосы, мм	30	40	50	30	40	50
Вес, кг	5,42	7,3	9	5,57	10,1	22,7

Различают электроды: *внутренние*, закладываемые в тело бетона; *нашивные*, прикрепляемые к поверхности опалубки или к инвентарным щитам со стороны, прилегающей к бетону; *плавающие*, укладываемые на открытую поверхность бетона.

Электроды должны обеспечивать равномерное электрическое, а, следовательно, и температурное поле в бетоне.

Нежелательным является перегрев бетона в приэлектродном слое. Средний температурный перепад в этом слое, имеющем обычно толщину 5–10 см, не должен превышать 1° на 1 п. см в радиальном направлении. Мощность при прогреве армированного бетона не должна превышать мощности при нагреве бетона без арматуры более чем на 15–20 %. Для этого следует соблюдать допускаемые расстояния между электродами и арматурой.

Ход выполнения работы.

**После прохождения техники безопасности студенты выполняют только расстановку электродов. Работы под напряжением выполняет преподаватель совместно с заведующим лабораторией. После проведения испытаний студенты записывают ход работы и результаты.**

1. Расположение и количество электродов необходимо подбирать с таким расчетом, чтобы был обеспечен наименьший расход электродной стали.

2. Электроды размещают группами. При такой расстановке в каждую фазу питающей сети включается группа электродов. Расстояния между группами  $b$  и между электродами в группе  $h$  определяются по номограмме. При однофазной схеме питания найденная по номограмме величина  $b$  не меняется, а  $h$  уменьшается на 10–15 %.

3. При прогреве конструкций, в которых арматура не дает возможности выдерживать расстояния, принятые для расположения электродов групповым способом, применяют одиночные электроды (стержневые, струнные) диаметром 0,8–1,2 см. Эти электроды могут быть изготовлены из двух связанных или скрученных стержней диаметром 0,6 см.

Следующий этап проведения испытаний – это методы обеспечения твердения бетона в вертикальных стыках между панелями наружных стен крупнопанельных жилых зданий. Его выбирают в зависимости от температуры наружного воздуха и наличия соответствующих материалов и оборудованию (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Методы выдерживания бетона в полости стыка

Температура наружного воздуха, °С	Рекомендуемый метод
От 5 до 0	1. Применение бетонов на высокоактивных и быстротвердеющих портландцементов без добавок 2. Применение бетонов с добавкой нитрита натрия 3. Обогрев бетона в местах выпуска закладных деталей
От 0 до –5	1. Обогрев бетона всего стыка греющей опалубкой 2. Применение бетонов с добавкой нитрита натрия или поташа
От –5 до –25	1. Электропрогрев или обогрев бетона всего стыка греющей опалубкой 2. Применение бетонов с добавкой нитрита натрия (при температуре до –10° С) или поташа (при температуре до –25 °С)
Ниже –25	Электропрогрев бетона по всей высоте стыка или использование греющей опалубки с дополнительным прогревом бетона в шпонке любым методом

Электропрогрев с помощью электродов и электродной панели (рис. 2.3) позволяет получить бетон требуемой прочности за относительно короткий промежуток времени при высоком коэффициенте полезного действия. Эффективность электропрогрева обеспечивается путем тщательного заполнения полости стыка бетонной смесью (условие для надежного контакта смеси с электродами), точного соблюдения расстояния между электродами, своевременного включения электродов (температура бетонной смеси должна быть при этом не ниже 5 °С) и недопущения контакта электродов с выпусками и закладными деталями. Схемы расстановки электродов для типовых стыков приведены на рис. 2.4.

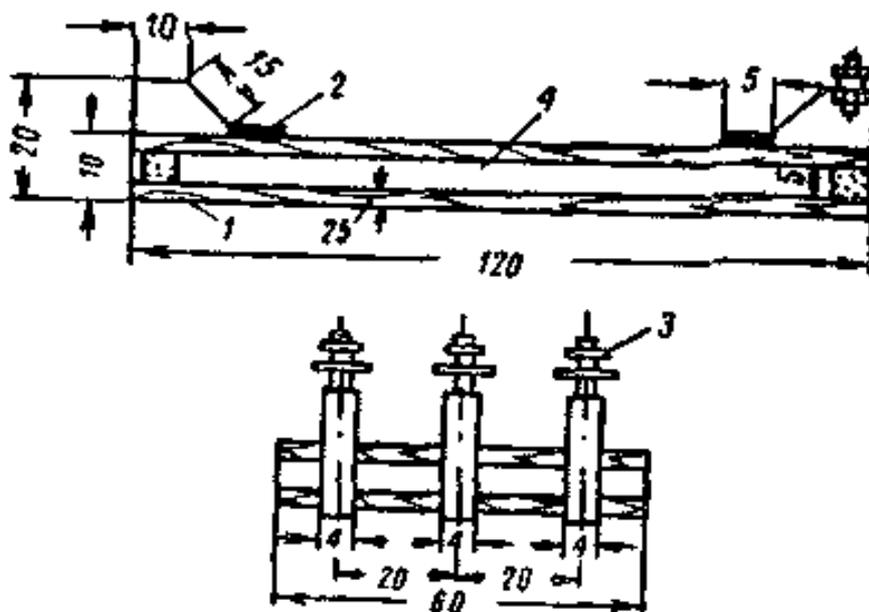


Рис. 2.3. Электродная панель площадью 95 м<sup>2</sup> инвентарного типа для горизонтальных поверхностей: 1 – рама из брусьев, 2 – стальная полоса, 3 – болты 5/8" с гайками и шайбами или оконцеватели, 4 – опилки

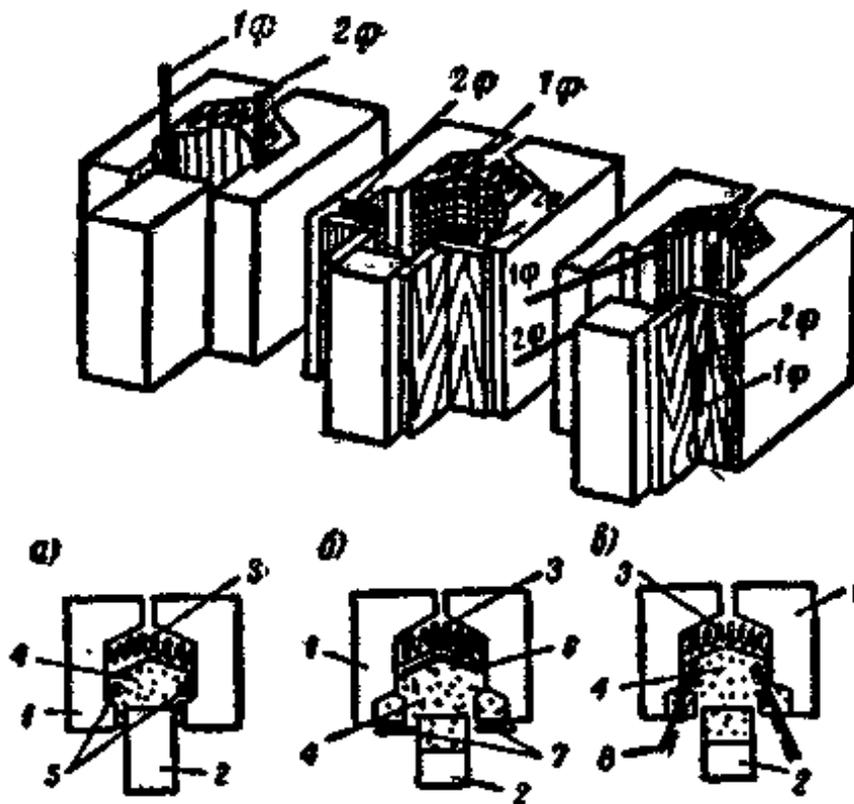


Рис. 2.4. Схемы расстановки электродов при прогреве бетона стыков:  
 а – вертикальные электроды; б – сетчатые и пластинчатые электроды;  
 в – стержневые электроды; 1 – наружные стеновые панели; 2 – внутренние стеновые панели; 3 – термовкладыш, 4 – бетон заделки стыка; 5 – струнные электроды; 6 – сетчатый электрод; 7 – пластинчатые электроды; 8 – стержневые электроды

Электрообогрев бетона греющей опалубкой наиболее прост и удобен в производстве работ, но его коэффициент полезного действия низок и время обогрева составляет 20 ч и более. Схема установки показана на рис. 2.5, значения мощности электроэнергии приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Мощность, расходуемая при обогреве греющей опалубкой

Температура наружного воздуха, °С	Мощность кВт на две греющие опалубки	
	на высоту стыка	на высоту шпонки
От 0 до –15	2	0,7
От – 15 до –20	3,5	1,2
Ниже –20	5	2

*Контрольные вопросы*

1. Для чего необходим режим электропрогрева?
2. Приведите основные схемы режима электропрогрева.
3. Какие параметры нужно учитывать при электропрогреве бетона.
4. Как выполняются методы выдерживания бетона в вертикальных стыках.
5. Как устанавливаются электроды?
6. Какие меры безопасности нужно соблюдать при электропрогреве?

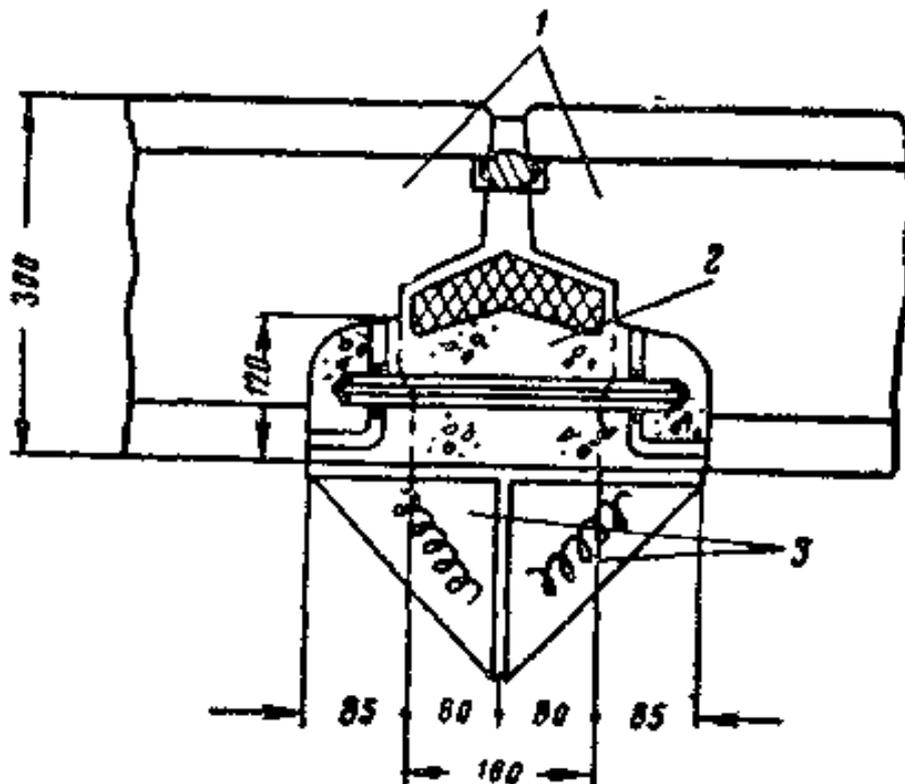


Рис. 2.5. Схема установки греющей опалубки в стыке панелей наружных стен  
1 – наружные панели; 2 – бетон; 3 – греющая опалубка

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агранат, Г. А. Проблемы Севера. О развитии высокоширотных районов [Текст] / Г. А. Агранат, П. Ф. Шевелев. – М. : Знание. 1984. – 48 с.
2. Алексеева, Г. И. Региональные особенности градостроительства в Сибири и на Севере [Текст] / Г. И. Алексеева. – Л. : Стройиздат, 1987.
3. Дзюра, А. И. Человек и город на Крайнем Севере [Текст] / А. И. Дзюра. – Красноярск : КрасГУ, 1985. – 79 с.
4. Лицкевич, В. К. Жилища и климат [Текст] / В. К. Лицкевич. – М. : Стройиздат, 1984. – 288 с.
5. Маклакова, Т. Г. Конструкции гражданских зданий [Текст] : учеб. пособие для вузов / Т. Г. Маклакова [и др.]. – М. : Стройиздат. 1986. – 136 с.
6. Назарова, Л. Г. Проектирование гражданских зданий для Крайнего Севера [Текст] : справ. пособие / Л. Г. Назарова, В. Е. Полуэктов. – Л. : Стройиздат, 1984. – 216 с.
7. Назарова, Л. Г. Градостроительство и архитектура в условиях Крайнего Севера [Текст] : учеб. пособие / Л. Г. Назарова. – Норильск, 1984. – 100 с.
8. Назарова, Л. Г. Гражданские и промышленные здания на Севере [Текст] : учеб. пособие для вузов. – Л. : Стройиздат, 1989. – 249 с.
9. Шевцов, К. К. Проектирование зданий для районов с особыми природно-климатическими условиями [Текст] / К. К. Шевцов. – М. : Высш. шк., 1986.
10. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах [Текст] : для инженеров проектных и строительных организаций / под ред. Ю. Я. Вели. В. В. Докучаева, Н. Ф. Нефедова. – Л. : Стройиздат, 1977. – 551 с.

*Учебное издание*

Составитель НИКОЛАЕВ Герман Борисович

**ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА**

**Сборник описаний лабораторных работ  
для подготовки дипломированных специалистов  
по направлению 653500 «Строительство»  
специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство»**

---

Сыктывкарский лесной институт – филиал государственного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования «Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия  
имени С. М. Кирова» (СЛИ)  
167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39  
[institut@sfi.komi.com](mailto:institut@sfi.komi.com), [www.sli.komi.com](http://www.sli.komi.com)

---

Подписано в печать 20.12.07. Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 1,2. Тираж 10. Заказ № .

---

Редакционно-издательский отдел СЛИ.  
Отпечатано в типографии СЛИ