

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Строительные материалы и изделия»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по курсовому проектированию
по дисциплине
«Технология монолитного и приобъектного бетонирования»
для студентов специальности 1 – 70 01 01
«Производство строительных изделий и конструкций»

М и н с к 2 0 0 4

УДК 693.54

Методические указания по курсовой работе по дисциплине «Технология монолитного и приобъектного бетонирования» предназначены для студентов специальности 1–70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций» в качестве руководства при разработке технологической карты ведения бетонных работ при строительстве монолитным способом и при изготовлении сборных строительных конструкций непосредственно на объекте. В них изложены последовательность выполнения курсовой работы, ее основное содержание, приведена методика расчета параметров отдельных технологических переделов, сведения о тематике курсовой работы, составе пояснительной записки и графической части.

Составитель Э.И. Батяновский

Рецензент В.П. Лысов

© Батяновский Э.И.,
составление, 2004

Введение

Целью курсовой работы является углубление самостоятельного изучения и осмысление студентом положений теоретического и лабораторного курсов по дисциплинам: «Технология монолитного и приобъектного бетонирования», «Общее бетоноведение», «Арматура и арматурные работы», «Бортоснастка и опалубочные работы», и применение приобретенных знаний в их практическом приложении к разрабатываемому проекту.

Сущность проекта – технологическое обеспечение бетонных работ, включая задачи расчета состава бетона; приготовление, транспортирование, дополнительную обработку смеси на объекте; применение химических модификаторов свойств смеси и бетона; подачу и укладку смеси в опалубку; режимы твердения и контроль качества бетона, а также элементы расчета опалубки, ведение опалубочных и арматурных работ.

При выполнении курсовой работы следует учитывать, что решения технологических задач многовариантны, поэтому студент-проектировщик обязан обосновать выбор принятых в проекте решений соответствующим расчетом или сопоставлением их возможных вариантов. Предпочтение при этом следует отдавать технологическим и организационным приемам (технологическому или транспортному оборудованию, опалубкам и т.д.), обеспечивающим заданные физико-технические характеристики бетона (конструкции) при наименьших экономических затратах.

ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Темой курсовой работы является разработка технологической карты ведения бетонных работ при воздействии (устройстве) элемента здания (сооружения) монолитным способом или изготовление сборной строительной конструкции непосредственно на объекте (приобъектном полигоне).

Тематика курсового проектирования включает разработку технологического обеспечения бетонирования различных элементов (конструкций) зданий и сооружений от фундаментов до перекрытий (покрытий), а также сборных конструкций, преимущественно большепролетных элементов перекрытий (покрытий), конструкций

со сложной конфигураций (например, комплексных лестничных маршей), наружных навесных панелей и т.д.

Задания к разработке технологической карты бетонирования монолитным способом, как правило, предполагают ведение работ в зимний период как наиболее сложный вариант технологического обеспечения строительства.

Тематика работ по объектному изготовлению строительных конструкций, как правило, увязывается с работой в летний период, характеризующийся минимальными энергетическими затратами на обеспечение производственного процесса.

В задании на проектирование приводятся исходные данные: вид бетонизируемой конструкции (элемента), требования к бетону (конструкции), способ подачи смеси в опалубку, скорость бетонирования, особенности климатических условий ведения работ, расстояние транспортирования смеси, а также перечень подлежащих разработке вопросов пояснительной записки и перечень графического материала. Учитывая технологическую сущность курсовой работы, ее графическую часть выполняют как иллюстративный материал и приводят в конце пояснительной записки или по тексту соответствующего раздела.

СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из расчетно-пояснительной записки объемом 30-35 страниц рукописного текста, включающей графическую часть в виде чертежей (рисунков), выполняемых на листах форматов А3, А4, которые приводят в конце пояснительной записки или по тексту соответствующего раздела.

Расчетно-пояснительная записка включает разделы: введение; характеристика условий ведения бетонных работ; вид конструкции или элемента здания (сооружения), требования к бетону; требования к материалам и их выбор (обоснование); расчет состава бетона (аналитический и на ЭВМ); расчет температурного режима транспортирования бетонной смеси; технология и оборудование для приготовления, транспортирования, приема на объекте, подачи и укладки в опалубку бетонной смеси (пооперационный график ведения работ); расчет температурного режима твердения бетона; расчет опалубки и опалубочные работы; арматура и арматурные работы;

контроль качества ведения работ, прочностных и эксплуатационных характеристик бетона; список использованной литературы.

Графическая часть работы содержит эскизные рабочий и опалубочный чертежи бетонизируемой конструкции (захватки), схемы армирования и арматурных элементов (сеток, каркасов), расчетные схемы (например, бетоновода), графики (например, роста прочности и прогрева бетона), эскизы элементов и расчетных схем опалубки.

При разработке тем по приобъектному изготовлению строительных конструкций графическая часть включает план компоновки полигона, рабочий и опалубочный чертежи конструкции, схемы арматурных элементов и армирования, графики режимов твердения (роста прочности) бетона.

СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

1. Введение

Дает общее представление о выполненной курсовой работе, о задачах, которые решал студент, выбранных путях их решения и полученных (важнейших) результатах, о примененных новшествах, нетрадиционных подходах (приемах), экономической эффективности, мероприятиях по повышению качества (долговечности) строительных конструкций (бетона) и т.д.

2. Характеристика условий ведения бетонных работ

Указывают объект работ, климатические условия их ведения, удаленность объекта от места приготовления бетонной смеси, условия ее транспортирования, необходимость и наличие дополнительной переработки, способ подачи и укладки смеси в опалубку, общую характеристику режима твердения бетона, типа опалубки.

3. Вид конструкции, требования к бетону

Разрабатывают и приводят в разделе (в конце записки) рабочий и опалубочный чертежи конструкции (захватки), дают их описание (конструктивные особенности), обосновывают выбор типа опалубки

или бортоснастки с учетом конструктивных особенностей бетонизируемого элемента и других условий ведения работ.

Формируют требования к бетону: проектная прочность (критическая прочность – для зимнего периода; распалубочная – летнего), водонепроницаемость, морозостойкость, коррозионная стойкость (например, при наличии агрессивных реагентов в грунтовых водах), истираемость (для полов, элементов мощения, дорожного полотна и т.д.), темп твердения (роста прочности) бетона и планируемый период оборачиваемости опалубки и т.д.

4. Требования к материалам

Приводят требования к цементу, крупным и мелким заполнителям и воде применительно к условиям ведения работ по п.п. 2 и 3.

Обосновывают (при необходимости) применение химических и минеральных добавок в бетон.

Выбирают необходимые материалы и дают краткое описание их свойств и характеристик, необходимых для расчета состава бетона.

5. Расчет состава бетона

Производят расчет состава бетона аналитическим методом и на ЭВМ способом, учитывающим его структурные и технологические особенности, применительно к условиям бетонирования по разрабатываемому проекту.

Рассчитывают величину предельного напряжения сдвига τ_0^{δ} бетонной смеси, а на этой основе – минимально необходимую продолжительность виброуплотнения бетона $t_{\text{вibr}}$.

Принимают объем смесителя для приготовления бетонной смеси, определяют объем бетона одного замеса и среднюю производительность бетоносмесительной установки (в м³/мин).

6. Расчет температурного режима транспортирования бетонной смеси

В случае ведения работ при положительной температуре обосновывают мероприятия и условия транспортирования бетонной смеси, предотвращающие потери ее формоустойчивости.

При работе в зимний период необходимо рассчитать требуемую температуру бетонной смеси на выходе из смесителя $t_{см}$, которая обеспечит нормальные условия ее транспортирования на объект и укладки в опалубку, по формуле

$$t_{см} = \frac{t_{\bar{o}.н.} - t_{н.в.} \sum_{i=1}^n \Delta t_i}{1 - \sum_{i=1}^n \Delta t_i}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где $t_{\bar{o}.н.}$ – температура бетонной смеси нормативная ($^\circ\text{C}$), т.е. требуемый нижний предел температуры смеси по завершении укладки ее в опалубку либо выгрузки из транспортного средства в приемный бункер для подогрева перед подачей в опалубку;

$t_{\bar{o}.н.} \geq 0^\circ\text{C}$ (рекомендуется $2...5^\circ\text{C}$) – в случае последующей тепловой интенсификации твердения бетона или применения предварительного разогрева смеси перед укладкой в опалубку (кроме нагнетательных способов подачи);

$t_{\bar{o}.н.} \geq 20^\circ\text{C}$ – при подаче бетонной смеси в опалубку нагнетательными способами;

$t_{н.в.}$ – температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$;

$\sum_{i=1}^n \Delta t_i$ – доли ед., составляют потери температуры бетонной смеси

на протяжении технологического цикла, включающего все операции, от выгрузки ее из смесителя в транспортное средство до отделки и влаго-, теплоизоляции поверхности забетонированной конструкции (или до перегрузки смеси из транспортного средства в бункер для разогрева перед укладкой в опалубку, если используется предварительный разогрев бетона).

Потери температуры бетонной смеси на отдельной i -й операции технологического цикла доставки ее на объект и укладки в опалубку определяют по формуле

$$\Delta t_i = \Delta t'_i \cdot \tau_i, \text{ доли ед.}, \quad (2)$$

где $\Delta t'_i$ – относительное снижение температуры смеси в процессе выполнения i -й операции за 1 минуту при разнице температур смеси и наружного воздуха в 1°C ($^\circ\text{C}/^\circ\text{C}\cdot\text{мин}$), значения которого приведены в табл. 1;

τ_i – продолжительность i -й операции в минутах.

Т а б л и ц а 1

Значения $\Delta t'_i$

№ п/п	Наименование и условия выполнения операций	$\Delta t'_i$ $^\circ\text{C}/^\circ\text{C} \cdot \text{мин}$
1	2	3
1	Загрузка (погрузка или перегрузка) смеси 1 раз	0,032
2	Транспортирование смеси: самосвалами: до 2 м^3 до $3,2 \text{ м}^3$ автобетоновозом с теплоизоляцией кузова (до $3,2 \text{ м}^3$) автобадьевоном (до $1,6 \text{ м}^3$) автобетоносмесителями: до $2,5 \text{ м}^3$ до $3,5 \text{ м}^3$ до 5 м^3 более 5 м^3 то же в зимнем исполнении	 0,003 0,0025 0,00022 0,0009 0,0024 0,0019 0,0014 0,001 0,0004

1	2	3
3	Подача смеси к месту укладки в опалубку ($\text{в } ^\circ\text{C} / ^\circ\text{C} \cdot \text{м}$): – нагнетательные методы, по бетоноводу на 1 м длины без утепления с утеплением – в поворотных (неповоротных) бункерах (бадьях) краном на высоту Н, м, на каждый метр – шахтным подъемником в утепленной шахте высотой Н, м, на каждый метр	0,003 0,001 0,0022 0,001
4	Укладка и уплотнение бетона в конструкцию с минимальным размером или толщиной слоя бетона, в м: 0,06 0,10 0,15 0,2 0,3 0,4 0,5 $\geq 0,6$	0,03 0,018 0,012 0,009 0,007 0,006 0,004 0,003
5	Отделка (заглаживание) и гидротеплоизоляция поверхности, на 1 м^2 ($\text{в } ^\circ\text{C} / ^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2$) Установка электродов после укладки бетона, за 1 мин	0,001 0,001
6	Подключение электродов, греющих проводов, намотка провода индуктора и его подключение после гидро-, теплоизоляции бетона	0,0004

**Методика расчета температуры бетонной смеси
на выходе из смесителя**

6.1. Разрабатывают пооперационный график ведения работ (операций) технологического цикла доставки бетонной смеси на объект и укладки в опалубку в форме табл. 2.

Пооперационный график работ

№ п/п	Наименование операций	Условия выполнения работ, механизмы (вид, производительность, грузоподъемность и т.д.)	Расстояние транспортирования $L_{тр}$ (Н) или перемещения, км (м); объем работ, $м^3(м^2)$; скорость выполнения работ; расчетные формулы	Продолжительность операции τ_i , мин
1	2	3	4	5

В графы табл. 2 заносят названия операций в их технологической последовательности и известные исходные данные, которые затем дополняют справочными характеристиками принимаемого для выполнения работ оборудования (механизмов) и расчетными данными о продолжительности отдельных операций технологического цикла транспортирования и укладки бетонной смеси.

6.2. Определяют расчетную продолжительность операций технологического цикла и относительные потери температуры бетонной смесью по следующей (примерной) схеме.

6.2.1. Время приготовления и загрузки бетонной смеси

$$\tau_{np} = V_{бет} / П_{мин}, \text{ мин}, \quad (3)$$

где $V_{бет}$ – объем бетонной смеси в $м^3$, перевозимой транспортным средством за один рейс (принимают по характеристике транспортного средства и конкретным условиям производства работ);

$П_{мин}$ – производительность смесителя бетоносмесительного узла (БСУ), $м^3/мин$, которую определяют из зависимости

$$П_{мин} = V_{см} \cdot \beta \cdot n/60, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (4)$$

где $V_{см}$ – объем смесителя на БСУ, м^3 ;

β – коэффициент выхода бетона, значение которого определяют при расчете состава бетона или принимают по данным табл. 3;

n – нормируемое количество замесов бетоносмесителя в час с учетом конкретных условий приготовления бетона, которое принимают по табл. 3.

Т а б л и ц а 3

№ п/п	Наименование	Ед. измерен.	Норма по ОНТП-07-85
1	2	3	4
1	Расчетное количество замесов в час для приготовления на плотных заполнителях тяжелых бетонных и растворных смесей с автоматизированным дозированием составляющих: – бетонные смеси, изготавливаемые в смесителях принудительного действия (жесткие и подвижные); – бетонные смеси, изготавливаемые в смесителях гравитационного действия: а) при объеме готового замеса бетонной смеси 500 л и менее: – подвижностью 1...4 см – подвижностью 5...9 см – подвижностью 10 см и более б) при объеме готового замеса бетонной смеси более 500 л: – подвижностью 1...4 см – подвижностью 5...9 см – подвижностью 10 см и более – растворные смеси	замес –“- –“- –“- –“- –“- –“- –“-	35 25 27 30 20 22 25 25

1	2	3	4
2	<p>Расчетное количество замесов в час для приготовления легких бетонных смесей в бетоносмесителях принудительного действия с автоматизированным дозированием составляющих при плотности бетона в высушенном состоянии:</p> <ul style="list-style-type: none"> – более 1700 кг/м³ – от 14000 до 17000 кг/м³ – от 1000 до 1400 кг/м³ – 1000 кг/м³ и менее 	<p>замес</p> <p>–“–</p> <p>–“–</p> <p>–“–</p>	<p>20</p> <p>17</p> <p>15</p> <p>13</p>
3	<p>Коэффициент β выхода смесей в плотном теле:</p> <ul style="list-style-type: none"> – бетонных тяжелых и легких (только для конструкционного бетона) – легких (для конструкционно-теплоизоляционного бетона) – растворных 	<p>–</p> <p>–</p> <p>–</p>	<p>0,67</p> <p>0,75</p> <p>0,80</p>

6.2.2. Время загрузки бетонной смеси в транспортное средство определяют по зависимости

$$\tau_1 = \tau_{\text{выг}} \cdot n_{\text{зам}}, \text{ мин}, \quad (5)$$

где $\tau_{\text{выг}}$ – время выгрузки бетоносмесителя, мин, принимаемое равным 0,25...0,5 мин для смесителей принудительного действия и 0,25 мин для гравитационных смесителей;

$n_{\text{зам}}$ – количество замесов бетоносмесителя, необходимое для загрузки транспортного средства на 1 рейс, то есть $n_{\text{зам}} = V_{\text{бет}}/V_{\text{см}} \cdot \beta$.

Время загрузки бетонной смеси в расчетах следует выделять из общих затрат времени на ее приготовление и выгрузку $\tau_{\text{общ}}$, так как при свободном падении через холодный воздух смесь наиболее интенсивно охлаждается (см. данные табл. 1).

Время $\tau_{\text{тог}}$, за которое бетонная смесь будет накапливаться в транспортном средстве во время его нахождения на БСУ под погрузкой (за вычетом времени загрузки смеси), в расчетах следует

суммировать со временем перевозки бетонной смеси для определения общих потерь ее температуры в этот период. Относительное снижение температуры бетонной смеси ($\Delta t'_i$) при этом принимают по п. 2 табл. 1. Таким же образом учитывают возможный период ожидания перед выгрузкой смеси на объекте.

6.2.3. Время транспортирования бетонной смеси

$$\tau_{mp} = \frac{L_{mp}}{V_{cp}} \cdot 60, \text{ мин}, \quad (6)$$

где L_{mp} – расстояние транспортирования, км, при V_{cp} – средней скорости транспортирования, принимаемой равной 30 и 15 км/ч для дорог с жестким и мягким покрытием соответственно.

Суммарные затраты времени при погрузке, транспортировании и ожидании выгрузки бетонной смеси определяют по зависимости

$$\tau_2 = \tau_{noz} + \tau_{mp} + \tau_{ож}, \text{ мин}, \quad (7)$$

где $\tau_{noz} = \tau_{общ} - \tau_1$, время нахождения транспортного средства на погрузке за вычетом времени загрузки в его бетонной смеси, мин.

6.2.4. Время выгрузки бетонной смеси в приемное устройство (бункер, бадью) на объекте

$$\tau_3 = V_{бет} / V_{выгр}, \text{ мин}, \quad (8)$$

где $V_{выгр}$ – скорость выгрузки транспортных средств, принимаемая для автобетоносмесителей 0,25...1,0 м³/мин, для прочих транспортных средств рекомендуемые значения 0,5...2,0 м³/мин.

6.2.5. Относительные потери температуры бетонной смесью при подаче ее в опалубку (Δt_n) определяют исходя из длины бетоновода (трубопровода), при использовании бетононасосов или пневмонагнетательных установок (агрегатов) либо с учетом расстояния (высо-

ты) перемещения бункеров (бадей) кранами или подъемниками. Расчет ведут по зависимостям

$$\Delta t_4 = \Delta t'_{i\delta} \cdot \ell_{\delta}, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (9)$$

$$\Delta t_4 = \Delta t'_{ik} \cdot H, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (10)$$

где $\Delta t'_{i\delta}$ и $\Delta t'_{ik}$ - соответственно относительное снижение температуры бетонной смеси при подаче ее в опалубку по бетоноводу или в бункере (бадье) краном или подъемником на 1 м ее перемещения (по п. 3, табл. 1), $^\circ\text{C}/^\circ\text{C} \cdot \text{м}$;

ℓ_{δ} и H – длина бетоновода или расстояние (высота) подачи бункера (бадью) краном или подъемником, м.

6.2.6. Время укладки и уплотнения бетона определяют по зависимости

$$\tau_5 = V_{\text{слоя}} / П, \text{ мин}, \quad (11)$$

где $V_{\text{слоя}}$ – объем (м^3) укладываемого слоя бетона при рекомендуемой его высоте до 400 мм для смесей на заполнителях плотных горных пород и до 200 мм для смесей на пористых легких заполнителях (допускаемая высота слоя бетона – не более $1,25 l_{\text{вibr.}}$, где $l_{\text{вibr.}}$ – длина вибровозбудителя глубинного вибратора);

$П$ – производительность, с которой укладывается в опалубку (захватку) бетон, $\text{м}^3/\text{мин}$.

Производительность определяют на основании необходимого времени вибрирования бетона, которое рассчитывают по формуле И.Н.Ахвердова – В.П. Лукьянова (или по иным, научно обоснованным зависимостям)

$$t_{\text{в}} = K_{\text{в}} \cdot \tau_{\text{о}}^{\delta} (1 - V_{\text{р.с.}}), \text{ с}, \quad (12)$$

где $K_{\text{в}}$ – коэффициент, зависящий от параметров вибрирования; $K_{\text{в}} \sim 0,05 \dots 0,02$ при частоте колебаний $f \sim 50 \dots \geq 200$ Гц соответственно, доли ед.;

τ_o^{δ} – предельное напряжение сдвига бетонной смеси в Па, которое рассчитывают по данным подбора состава бетона (его ориентировочное значение для бетонных смесей подвижностью марок П1...П4 соответствует, примерно, 1500...500 Па);

V_{pc} – объем (m^3) растворной составляющей в бетоне, равный:
 $V_{pc} = 1 - V_{щ}^a$ или $V_{pc} = 1 - Щ / \rho_{щ}^3$, где $V_{щ}^a$ – абсолютный объем щебня в бетоне при его содержании (расходе) по массе в $1 m^3$ – $Щ$, и плотности зерен горной породы $\rho_{щ}^3$.

При уплотнении укладываемого бетона с помощью навесных вибраторов производительность будет соответствовать объему слоя бетона, отнесенному ко времени его распределения в опалубке и виброуплотнения.

Производительность работы с глубинным вибратором определяют по формуле

$$П = 2K_{исп} \cdot b \cdot R \cdot h \cdot \frac{60}{\tau_g + \tau_{пер}}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (13)$$

где $K_{исп}$ коэффициент использования вибратора, принимаемый равным 0.85;

b – ширина слоя уплотняемой смеси в опалубке, м, (при $b > R$, принимают равным R);

R – радиус действия вибратора, м, который принимают по справочным данным, в расчетах допускается принять $R \sim 0,5$ м ;

h – высота слоя уплотняемого бетона, м;

τ_g – минимально необходимое время вибрирования, мин;

$\tau_{пер}$ – время перестановки вибратора (5...10 с).

Производительность при укладке и уплотнении бетона с помощью виброреек определяют, относя объем бетона захватки ко времени распределения бетонной смеси в направляющих и виброуплотнения бетона. Следует учитывать, что параметры вибрирования виброреек характеризуются частотой $f \sim 50$ Гц, а высота укладываемого слоя бетона должна быть не более 250 мм при однослойном расположении арматуры (по высоте конструкции) и 120 мм – при расположении арматуры в 2 слоя. При больших толщинах слоев

бетона его следует вначале уплотнять глубинным вибратором, а затем – виброрейкой. В последнем случае производительность определяют с учетом общих затрат времени на уплотнение бетона.

6.2.7. Относительные потери температуры бетонной смеси при отделке (заглаживании), гидроизоляции неопалубленной поверхности захватки или конструкции, установки электродов (если она осуществляется после укладки бетона), а также при подключении электродов или греющих проводов к сети, намотке (сборке) и подключении индуктора, т.е. при выполнении операций после гидро-, теплоизоляции бетона, определяются по формуле

$$\Delta t_6 = \Delta t'_{омд} \cdot F + \Delta t'_{y.э.} \cdot \tau_{y.э.} + \Delta t'_{нод} \cdot \tau_{нод}, \quad (14)$$

где $\Delta t'_{омд}$, $\Delta t'_{y.э.}$ и $\Delta t'_{нод}$ – относительное снижение температуры смеси в процессе выполнения операций по заглаживанию и гидро-, теплоизоляции открытой поверхности бетона, ($^{\circ}\text{C} / ^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2$), операции по установке электродов (п.5, табл. 1), а также при выполнении операций после гидро-, теплоизоляции неопалубленной поверхности бетона (п. 6, табл. 1), $^{\circ}\text{C} / ^{\circ}\text{C} \cdot \text{мин}$;

F – площадь неопалубленной поверхности бетона захватки или конструкции, м^2 ;

$\tau_{y.э.}$, $\tau_{нод}$ – время установки электродов и подключение их к сети (время навивки обмотки индуктора или сборки ее из инвентарных элементов; подключения греющих проводов и др.), мин.

6.2.8. Определяют суммарные относительные потери температуры бетонной смеси на всех технологических переделах (операциях) цикла доставки и укладки ее в опалубку по зависимости

$$\sum_{i=1}^n \Delta t_i \approx \Delta t'_1 \cdot \tau_1 + \Delta t'_2 \cdot \tau_2 + \Delta t'_3 \cdot \tau_3 + \Delta t_4 + \Delta t'_5 \cdot \tau_5 + \Delta t_6, \quad (15)$$

или, в случае доставки на объект и выгрузки в бункеры (бадью) для предварительного разогрева, по формуле

$$\sum_{i=1}^n \Delta t'_i \approx \Delta t'_1 \cdot \tau_1 + \Delta t'_2 \cdot \tau_2 + \Delta t'_3 \cdot \tau_3, \quad (16)$$

где $\Delta t'_1$, $\Delta t'_2$, $\Delta t'_3$ и $\Delta t'_5$ – относительное снижение температуры смеси в процессе выполнения операций ее загрузки, транспортирования, выгрузки в бункер (бадью, приемное устройство) и укладке бетонной смеси в опалубку (табл. 1), °С / °С · мин;

τ_1, τ_2, τ_3 и τ_5 – время выполнения операций загрузки, транспортирования, выгрузки и укладки смеси в опалубку, мин;

Δt_4 и Δt_6 – относительные потери температуры бетонной смеси при подаче ее в опалубку (п. 6.2.5) и при выполнении финишных работ (п. 6.2.7).

6.2.9. Определяют требуемую температуру бетонной смеси на выходе из смесителя по формуле (1) на основании полученного значения $\sum_{i=1}^n \Delta t_i$, принятой величине температуры бетона к началу прогрева или предварительного разогрева его перед укладкой в опалубку ($t_{б.н.}$), с учетом фактической (или расчетной) температуры наружного воздуха ($t_{н.в.}$).

Обосновывают мероприятия по приданию бетонной смеси требуемой температуры и предотвращению снижения (потери) ее формоустойчивости, если уровень разогрева превышает 25 °С при продолжительности операций транспортирования и выгрузки на объекте более 20 мин, а также в случае применения цемента с содержанием $C_3A \geq 7\%$ или химических добавок, ускоряющих схватывание бетона.

7. Технология и оборудование для ведения бетонных работ

Дают краткую характеристику организационно-технологической схемы выполнения отдельных операций технологического цикла, приводят технические характеристики выбранного оборудования (транспортных средств) в соответствии с данными табл. 2 (п. 6).

7.1. Приготовление и транспортирование смеси.

Описывают принятый способ приготовления смеси, характеристики бетоносмесителей, условий загрузки смеси в транспортное средство; тип и технические характеристики выбранных транспортных средств.

7.2. Прием и подача смеси в опалубку.

Отражают организацию приема смеси на объекте, наличие дополнительной обработки смеси (восстановление формуемости, введение химических добавок, разогрев), способ подачи ее в опалубку, применяемое оборудование (технические характеристики).

Расчет бетоновода при нагнетательных методах подачи смеси в опалубку

7.2.1. Разрабатывают и приводят в записке схему бетоновода.

7.2.2. Рассчитывают значение предельного напряжения сдвига бетонной смеси $\tau_0^{\bar{\sigma}}$ по данным расчета состава бетона:

$$\tau_0^{\bar{\sigma}} = \frac{1 - X' \cdot K_{не}}{X' \cdot K_{не}} \cdot r^2 \cdot g (\rho_{см}^3 - \rho_{ц.з.}) \cdot \frac{V'_n + V'_{ц} (1 - \Pi_{ц}^e)}{V'_{ц.з.} + V'_n (1 - \Pi_n^e)} \times$$
$$\times \frac{V_{ц.з.}}{S_{см}} \cdot 10^4, \quad \text{Па} (H / м^2), \quad (17)$$

где $r = \frac{V'_n}{V'_n + V'_{ц}}$ – относительное содержание песка в суммарном

объеме заполнителей (доли ед.);

$g = 9,806 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

$\rho_{см}^3$ – средняя плотность зерен смеси заполнителей; для кварцевого песка и гранитного щебня соответствует 2670 кг/м^3 ;

$\rho_{ц.з.}$ – средняя плотность цементного геля; в расчетах допускается принимать примерно равной: $1850, 1950, 2050 \text{ кг/м}^3$, для смесей с ОК = $6 \dots 10 \text{ см}$, до 5 см и жестких соответственно.

Прочие обозначения соответствуют принятым в расчете состава бетона.

7.2.3. Определяют расчетный диаметр бетоновода из выражения

$$D_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4Q}{3600 \cdot \pi \cdot V}}, \text{ м}, \quad (18)$$

где Q – расчетная (принятая) подача бетона (расход) на 1 час, м³/час;

V – рекомендуемая скорость движения смеси в бетоноводе, 1...5 м/с, в зависимости от принятой производительности подачи бетона;

$$\pi = 3,14.$$

Принимают бетоновод, внутренний диаметр которого обеспечивает условия по формуле (18) и соответствует данным табл. 4 при соблюдении соотношения $D_{\text{вн}} \geq 3d$ наибольшего зерна крупного заполнителя.

7.2.4. Определяют расчетные потери давления в бетоноводе:

$$P_{\text{расч}} = \frac{a_m \cdot 2l_{\text{нр}} \cdot \tau_0^{\delta}}{R_{\text{вн}}} + H \cdot \rho_{\text{бс}} \cdot g + \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot \tau_0^{\delta}, \text{ Па}, \quad (19)$$

где $a_m = 1,4$ – для смесей с ОК = 6...10 см, учитывает влияние сил инерции;

$l_{\text{нр}}$ – длина прямолинейных участков бетоновода, включая величину H (м), определяемая геометрически по принятой схеме бетоновода или по зависимости

$$l_{\text{нр}} = l_{\text{общ}} - l_{\text{кон}} - \sum_{i=1}^n m_i \cdot \pi \cdot \frac{a_i}{180} \cdot R_i, \text{ м}, \quad (20)$$

где $l_{\text{кон}}$ – длина переходного конуса (в расчетах допускается принять приблизительно 1м);

m_i – количество поворотов бетоновода радиусом R_i , м;

a_i – угол поворота бетоновода в градусах;

$R_{\text{вн}}$ – внутренний радиус бетоновода, м;

H – высота подъема смеси, м;

$\rho_{\text{бс}}$ – средняя плотность смеси, кг/м³;

$g = 9,806$, м/с²;

φ_i – коэффициенты местного сопротивления отдельных участков бетоновода, приведенные в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Значения φ_i *

Диаметр бетоновода, м	$\alpha_i = 30^\circ$				$\alpha_i = 60^\circ$				$\alpha_i = 90^\circ$			
	При R_i , в м											
	2,0	1,5	1,0	0,5	2,0	1,5	1,0	0,5	2,0	1,5	1,0	0,5
0,080	14,4	28,8	43,2	57,6	32,4	64,8	97,2	129,6	55,5	111,0	166,5	222,0
0,100	10,8	21,6	32,4	43,3	24,2	48,4	72,6	96,8	41,6	83,2	124,7	166,4
0,125	9,0	18,0	27,0	36,0	20,2	40,4	60,6	80,8	35,0	70,0	105,0	140,0
0,150	7,2	14,4	21,7	28,9	16,1	32,2	48,4	64,4	27,7	55,4	83,1	110,8

* Для переходных конусов ($l_{\text{кон}} \sim 1$ м) к диаметрам бетоноводов: 0,08; 0,100; 0,125 и 0,150 м и φ_i равны: 220; 200; 180 и 160 (для поворотного переходного конуса значения φ_i умножают на 1,5).

7.2.5. Определяют рабочее давление подачи бетонной смеси

$$P = K_c \cdot P_{\text{расч}}, \text{ МПа}, \quad (21)$$

где K_c – коэффициент, учитывающий влияние случайных факторов (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

Значения K_c

Общая длина бетоновода, м	до 100	до 150	до 200	до 250	300 и более
Значения K_c	1,15	1,25	1,35	1,45	1,55

7.2.6. Расчет труб бетоновода на прочность.

Требуемая толщина стенок труб при рабочем давлении P составит

$$\delta = \frac{P \cdot D_{вн}}{(2 \cdot G_{доп} \cdot K + P) \cdot 10^{-3}} + \Delta\delta, \text{ мм}, \quad (22)$$

где $G_{доп}$ – допускаемое напряжение на растяжение, МПа; для Ст3 принимают $G_{доп} = 140$ МПа для диапазона температуры от 5 до 100 °С;

K – коэффициент качества труб, равный 1,0; 0,85 и 0,7 для труб бесшовных, сварных с контролем качества сварки и без него;

$\Delta\delta$ – увеличение толщины стен труб с учетом абразивного износа и коррозии, мм; $\Delta\delta = 1 \dots 2$ мм при $P \leq 16$ МПа и $2 \dots 5$ мм при $P > 16$ МПа, с меньшими значениями для легированной стали.

Допускаемое давление в бетоноводе с учетом износа труб

$$P_{доп} = \frac{2 \cdot (\delta - \Delta\delta) \cdot K \cdot \delta_{доп}}{D_{нар} - (\delta - \Delta\delta)}, \text{ МПа}, \quad (23)$$

где $D_{нар}$ – наружный диаметр труб бетоновода в м.

Должно соблюдаться условие $P_{доп} \geq P$.

По формуле (23) возможна оценка способности труб выдержать рабочее давление путем расчета $P_{доп}$ по фактическому значению δ .

При пневмоподаче бетонной смеси дополнительно рассчитывают расход воздуха и производительность компрессора по справочным (лекционным) материалам.

7.3. Укладка и уплотнение бетона.

Приводят описание укладки бетона, последовательности подачи смеси в плане конструкции, толщины укладываемого слоя, способ и обрудование для уплотнения бетона, приемы отделки поверхности, гидро- и теплоизоляции бетона, контролируемые операции, приемы и методы контроля качества работ и бетона.

8. Режим твердения бетона

Выбор режима твердения бетона обуславливается климатическими условиями ведения работ, видом (модулем поверхности) бетонизируемой конструкции, требуемым темпом оборота опалубки и должен соответствовать минимальным экономическим затратам при обеспечении требуемых характеристик бетона и качества строительства.

В разделе рассмотрены основные методы твердения бетона, применяемые в строительной практике: естественное выдерживание и по методу «термоса», электродный прогрев и прогрев в термоактивной опалубке. Студент вправе выбирать любой экономически обоснованный вариант из приведенных или иных методов (греющие провода, индукционный нагрев, инфракрасный обогрев и пр.). При этом следует учитывать, что использование химических ускорителей твердения бетона, в сочетании с низкотемпературным прогревом его указанными способами, способствует интенсификации роста прочности и ускорению оборачиваемости опалубки.

Последовательность расчетов по разделу изложена в его подпунктах, относящихся к различным способам выдерживания или твердения бетона. Во всех случаях вначале следует определить уровень критической (для зимнего периода работ) или распалубочной прочности бетона, а затем разрабатывать и рассчитывать температурный режим его твердения исходя из необходимости обеспечения принятой прочности бетона с учетом конкретных условий ведения работ: вида конструкции (захватки) и величины модуля ее поверхности, типа применяемой опалубки и требуемого (или планируемого) периода ее оборачиваемости, температуры наружного воздуха и пр.

8.1. Естественное твердение бетона.

Естественным условиям твердения бетона соответствует режим выдержки конструкции (захватки) в опалубке (бортоснастке) с гидроизоляцией неопалубленных поверхностей до достижения бетоном заданной прочности без интенсификации его твердения за счет дополнительных искусственных источников тепловой энергии.

В разделе обосновывают правомочность выбора данного способа твердения, приводят графики роста прочности бетона (ориентируясь на данные табл. 6, справочных пособий, результаты научных

исследований в этой области), показывают эффективность и выбирают к применению добавки-ускорители твердения, определяют мероприятия по использованию приемов гелиотермообработки, пленкообразующих покрытий и т.д.

Т а б л и ц а 6

Прочность бетона при различной температуре твердения в %
от 28-суточной (для нормально-влажностных условий)

Бетон	Возраст, сут	Средняя температура бетона, °С				
		5	10	20	30	40
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Класса С12/15...С20/25 на ПЦ М400	1	9	12	23	35	45
	2	19	25	40	55	65
	3	27	37	50	65	77
	5	38	50	65	80	90
	7	48	58	75	90	100
	14	62	72	90	100	-
	28	77	85	100	-	-
Класса С25/30...С30/37 на ПЦ М500	1	12	18	28	40	55
	2	22	32	50	63	75
	3	32	45	60	74	85
	5	45	58	74	85	96
	7	55	66	82	92	100
	14	70	80	92	100	-
	28	80	90	100	-	-
Класса С30/37...С35/45 на ПЦ М600	1	13	21	32	45	59
	2	25	36	52	65	75
	3	35	45	62	75	85
	5	47	58	75	83	90
	7	57	68	85	90	100
	14	73	82	95	100	-
	28	83	92	100	-	-

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Класса С12/15...С20/25 на ШПЦ М400	1	6	10	16	30	40
	2	12	18	30	40	60
	3	18	25	40	55	70
	5	27	35	55	65	85
	7	34	43	65	70	100
	14	50	60	80	96	-
	28	65	80	100	-	-
Аглопоритобетон класса С12/15 на ПЦ М400	1	6	10	24	48	61
	2	13	26	50	65	76
	3	24	40	62	75	86
	7	45	53	80	91	97
	28	73	82	100	-	-
Керамзи-тобетон класса С12/15 на ПЦ М400	1	5	10	25	56	61
	2	14	24	50	63	75
	3	23	37	63	73	85
	7	48	58	80	91	97
	28	79	83	100	-	-

Разрабатывая график роста прочности бетона, на основании которого назначают продолжительность выдерживания его в опалубке (бортоснастке), учитывают, что:

а) данные табл. 5 соответствуют вяжущим с содержанием C_3A не более 6%. В случае применения цементов с содержанием C_3A до 7% и более вводят поправочный коэффициент 1,05 и 1,1;

б) при введении 1...1,5% от массы цемента ускорителей твердения $CaCl_2$; NH_4Cl ; Na_2SO_4 и др. поправочный коэффициент составляет: 1,60; 1,50; 1,35; 1,25; 1,20; 1,15 и 1,10 для возраста: 1, 2, 3, 5, 7, 14 и 28 сут;

в) график роста прочности бетона при гелиотермообработке конструкции должен учитывать изменение температуры бетона в процессе выдерживания и рост тепловыделения цемента с ее повышением. Рекомендуется сочетать этот прием с твердением по методу термоса в период от снижения солнечной активности до распа-

лубки конструкции (захватки). Для этого предусматривают и устраивают теплоизоляцию поверхности твердеющего бетона к началу снижения солнечной активности с целью уменьшения теплотерь в окружающую среду. Необходимо рассчитать период остывания бетона до температуры среды по методике п. 8.2.

Разновидностью метода естественного твердения бетона для зимнего периода года является вариант с применением противоморозных добавок: хлористого кальция (CaCl_2), ННХК, нитрита натрия (NaNO_2), нитрата кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), поташа (K_2CO_3), мочевины ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) и ряда других, а также сочетаний приведенных добавок. Следует учитывать возможные побочные эффекты от действия этих веществ в цементном бетоне: ускорение схватывания, коррозию стальной арматуры, снижение морозостойкости и др. Целесообразность применения «холодного» бетона с противоморозными добавками должна определяться в каждом конкретном случае. Рекомендуется использовать этот прием при устройстве отдельно стоящих массивных конструкций, выполняемых в несъемной опалубке (например, разного рода фундаментов под технологическое оборудование), так как твердение «холодного» бетона при минусовой температуре характеризуется медленным ростом прочности. Назначать дозировку добавок и режимы твердения бетона следует по соответствующим справочным данным с учетом погодных-климатических и организационно-технологических условий ведения работ.

Учитывая, что требуемая дозировка противоморозных добавок уже при $-5\text{ }^\circ\text{C}$ наружного воздуха составляет до 3...6% от массы цемента, то есть, значительно превышает «возможности» вяжущего связать эти вещества в нерастворимые соединения с продуктами его гидратации, данный прием зимнего бетонирования допускается применять в исключительных случаях и только по согласованию с руководителем проекта.

8.2. Термосное твердение бетона.

Обосновывают эффективность и необходимые условия для применения метода, рассчитывают параметры режима твердения: критическую прочность бетона, температуру разогрева смеси, продолжительность остывания бетона, затраты энергии на его разогрев, подбирают опалубку (по требуемому коэффициенту теплопередачи), необходимое оборудование для ведения работ.

8.2.1. Подготовка основания.

Дают описание работ в соответствии с принятым способом отогрева основания, арматуры и опалубки, выполняют расчет энергетических затрат.

8.2.2. Расчет температуры разогрева бетонной смеси/

Расчет начинают с определения средней температуры бетона (t_{cp} , °С) за предполагаемый период его твердения в опалубке. То есть определяют среднее значение температуры, которая обеспечивает за принятое (расчетное) время $\tau_{выд}$ достижение заданной прочности (например, $f_{ст,крит} = 0,5 f_{ст, 28}$). Рекомендуемое значение $t_{cp} \sim 20...30^\circ\text{C}$; ее расчетное значение принимают, исходя из данных табл. 6, с учетом конкретных условий ведения работ и принятого времени выдерживания бетона в опалубке $\tau_{выд}$.

Необходимый уровень предварительного разогрева смеси для конкретных условий ведения работ определяют по зависимости

$$t_{раз} = (t_{cp} - t_{\sigma_k}) \cdot (1,03 + 0,181M_n) / [1 - 0,006 \cdot (t_{cp} - t_{\sigma_k})] + t_{укл}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (24)$$

где M_n – модуль поверхности бетонируемой конструкции, определяемый по формуле

$$M_n = \frac{F}{V}, \text{ } \text{м}^{-1},$$

как отношение площади теплоотдающих поверхностей F конструкции к объему бетона V ;

t_{σ_k} – значение температуры бетона к началу распалубки конструкции после выдержки $\tau_{выд}$ (ч) и достижения прочности бетона не менее $f_{ст,крит}$. Рекомендуемое значение $t_{\sigma_k} = 2...5^\circ\text{C}$ при разнице температуры между бетоном и окружающей средой $\leq 30^\circ\text{C}$ для

конструкций с модулем поверхности $M_n > 5$ и ≤ 20 °С при наличии требований к бетону по морозостойкости и водонепроницаемости или $M_n \leq 5$;

$t_{укл}$ – потери температуры бетонной смесью при подаче и укладке ее в опалубку, включая заглаживание и влаго-, теплоизоляцию поверхности конструкции:

$$t_{укл} = \frac{|t_{н.в.}| \sum_{i=1}^n \Delta t_i}{1 - \sum_{i=1}^n \Delta t_i}, \text{ °С.} \quad (25)$$

Расчет $\sum_{i=1}^n \Delta t_i$ осуществляют по методике, изложенной в п. 6 (включая пп.6.2.4...6.2.8).

В случае если не производят отогрева арматуры, опалубки и основания перед укладкой бетона, уточняют его температуру с учетом соответствующих потерь по зависимости

$$t'_{раз} = \frac{C_{б} \cdot \rho_{б} \cdot V_{б} \cdot t_{раз} - C_{ст} \cdot m_{ст} \cdot V_{б} \cdot (t_{сп} - t_{нв}) - Q_{он} - Q_{осн}}{C_{б} \cdot \rho_{б} \cdot V_{б} + C_{ст} \cdot m_{ст} \cdot V_{б} + n \sum_{i=1} C_i \cdot F_i \cdot \delta_i \cdot \rho_i + C_{осн} \cdot \rho_{осн} \cdot V_{осн}}, \text{ °С,} \quad (26)$$

где $C_{б}, C_{ст}, C_{осн}$ – удельная теплоемкость бетона, стали, i -го слоя многослойной опалубки и материала основания, кДж/кг · °С, по табл. 7;

$\rho_{б}, V_{б}$ – плотность бетона (≈ 2400 кг/м³) и объем бетона, м³, в конструкции;

$m_{ст}$ – среднее содержание (расход) арматурной стали в кг на 1 м³ бетона;

F_i, δ_i, ρ_i – площадь опалубки (теплоотдающей поверхности конструкции), м², толщина i -го слоя опалубки, м; плотность i -го слоя опалубки, кг/м³;

Q_{on} – тепловые затраты на нагрев опалубки, кДж, которые рассчитывают по формуле

$$Q_{on} = (t_{cp} - t_{н.в.}) \sum_{i=1}^n C_i \cdot F_i \cdot \delta_i \cdot \rho_i, \text{ кДж.} \quad (27)$$

Т а б л и ц а 7

Расчетные характеристики материалов

Вид материала	Средняя плотность, кг/м ³	Расчетный коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м · °С)	Удельная теплоемкость в сухом состоянии C_o , кДж/(кг · °С)
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Бетон тяжелый*	2400	1,86	0,84
Аглопоритобетон (шлакобетон)	1800	0,93	0,84
Керамзитобетон (конструкц.)	1600	0,75	0,84
Керамзитобетон (теплоизол.)	600	0,23	0,84
Железобетон	2500	2,03	0,84
Сталь	7800	58	0,84
Вата минеральная и изделия из нее	75...150	0,049...0,06	0,76
Дерево	500...700	0,17...0,23	2,52
Фанера	600	0,17	2,52
Опилки	250	0,24	2,5
Пенопласт	75	0,044	1,26
Рубероид	600	0,17	1,47
Плиты ДВП и ДСП	1000	0,29	2,1
Бетон тяжелый (мерзлый)**	2400	1,9	1,05

1	2	3	4
Песок**	1600...1800	1,98...2,44	0,84
Песчаное и гравелистое основание ** ($W_m=5...25\%$) мерзлое	1600	1,1...2,73	1,05...1,47

*Для всех видов бетонов принимать $C_0 = 1,05$ кДж/(кг · °С), как для влажного материала.

** Для расчета затрат тепла на отогрев оснований.

$Q_{осн}$ – тепловые затраты на отогрев основания рассчитывают по формуле

$$Q_{осн} = C_{осн} \cdot \rho_{осн} \cdot V_{осн} (t_{ср} - t_{н.в.}), \text{ кДж}, \quad (28)$$

где $\rho_{осн}$ – объем отогреваемого основания, определяемый по формуле

$$V_{осн} = F_{осн} \cdot h_{осн}, \quad \text{м}^3, \quad (29)$$

где $F_{осн}$ – площадь отогреваемого участка старого бетона (грунта, подготовки), м^2 ;

$h_{осн}$ – глубина (высота) отогреваемого основания, соответствующая глубине его промерзания (если она менее 300 мм), или $h_{осн} = 0,3$ м, если глубина промерзания более 300 мм.

Уточняют значение средней температуры бетона при твердении по формуле

$$t'_{ср} = t_{\sigma.к.} + \frac{t'_{раз} - t_{\sigma.к.}}{1,03 + 0,181M_n + 0,006 \cdot (t'_{раз} - t_{\sigma.к.})}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (30)$$

В последующих расчетах используют значение $t'_{раз}$ взамен $t_{раз}$, если при этом обеспечивается достижение $R_{крит}$ за время остывания $\tau_{ост}$. В противном случае увеличивают температуру предварительного разогрева до

$$t_{ув} = t_{раз} + (t_{раз} - t'_{раз}), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (31)$$

или вводят ускорители твердения, увеличивают теплозащитные свойства опалубки (см. п. 8.2.4).

8.2.3. Определение продолжительности остывания (выдержки) бетона.

Рассчитывают время остывания бетона от $t_{раз}$ ($t'_{раз}; t_{ув}$) до $t_{\bar{ок}}$ по формуле Б.Г. Скрамтаева:

$$\tau_{ост} = \frac{C_{\bar{o}} \cdot \rho_{\bar{o}} \cdot (t_{раз} - t_{\bar{o}.к.}) + \Pi \cdot \Xi}{3,6 \cdot K_m \cdot M_n (t_{ср} - t_{н.в.})}, \text{ } ^*\text{ч}, \quad (32)$$

где $C_{\bar{o}}$ – удельная теплоемкость бетонной смеси (свежеотформованного бетона), принимаемая равной 1,05 кДж/(кг · °С);

$\rho_{\bar{o}}$ – средняя плотность бетона, кг/м³;

Π – содержание цемента в 1 м³ бетона, кг;

Ξ – тепловыделение 1 кг цемента при твердении бетона, кДж/кг (табл. 8);

K_m – коэффициент теплопередачи опалубки, Вт/(см² · °С) (табл. 9);

$t_{н.в.}$ – температура наружного воздуха, °С.

* Слагаемое « $\Pi \cdot \Xi$ » учитывают в случае применения холодного термоса, т.е. без предварительного разогрева бетона.

Т а б л и ц а 8

Тепловыделение цемента*, кДж/кг

Вид и марка	Темпе- ратура, °С	Продолжительность, сут							
		0,25	0,5	1	2	3	7	14	28
Порт- ландце- мент марки 400	5	-	-	29	63	109	188	209	251
	10	12	25	50	105	146	209	251	293
	20	42	67	105	167	209	272	314	335
	40	84	134	188	230	272	314	335	-
	60	130	188	230	272	314	335	-	-
Порт- ландце- мент марок 500 и 600	5	12	25	43	125	89	188	230	272
	10	25	42	63	105	167	251	293	314
	20	42	84	125	188	251	292	335	377
	40	105	167	209	272	293	356	377	-
	60	188	230	272	314	356	372	-	-
Шлако- порт- ландце- мент марки 300	5	-	12	25	42	63	126	161	188
	10	-	25	33	63	105	167	209	230
	20	-	33	62	125	147	209	251	272
	40	42	75	117	167	209	251	272	-
	60	63	105	147	207	230	272	-	-

* При введении в бетон химических ускорителей твердения (1...1,5% от массы цемента) вводят поправочный коэффициент 1,3; 1,2; 1,15; 1,1 для 1; 2; 3 и 7 соответственно.

Коэффициенты теплопередачи опалубки и укрытий
неопалубленных поверхностей

Конструкция ограждения, толщина материала	Скорость ветра, м/с				
	0	3	5	10	15
Доска, 25 мм	2,44	4,55	5,22	5,61	5,97
Доска, 40 мм	2,01	3,1	3,6	3,78	3,94
Сталь до 6 мм (или водостойкая фанера до 12 мм) +минераловатные плиты 50 мм +фанера толщиной 4 мм (или кровельная сталь)	1	1,18	1,28	1,31	1,33
Толь +опилки сухие, 100 мм	0,74	0,85	0,89	0,9	0,9
Толь + минеральная вата (минераловатные плиты), 50 мм	1,01	1,2	1,3	1,33	1,35
Доска (25 мм) + пенопласт (30 мм) + фанера (4 мм)	0,67	0,75	0,8	0,815	0,83

В случае если коэффициент теплопередачи опалубки бетонизируемой конструкции или укрытий неопалубленных поверхностей различаются между собой (например, $K_{т1}$, $K_{т2}$... $K_{тn}$), то его среднее значение определяют по формуле

$$K_m^{cp} = \frac{F_1 \cdot K_{m1} + F_2 \cdot K_{m2} + \dots + F_n K_{mn}}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}, \text{ Вт/(см}^2 \cdot \text{°C)}, \quad (33)$$

где $F_1, F_2 \dots F_n$ – площадь отдельных участков опалубки и укрытий неопалубленных поверхностей.

8.2.4. Уточняют соответствие t_{cp} , $\tau_{ост}$ (*выдержки*), $t_{раз}$ ($t'_{раз}$, $t_{ув}$) обеспечению условия $f_{ст.факт} \geq f_{ст.крит}$, т.е. фактическая прочность бетона должна быть не ниже требуемой (критической).

При необходимости корректируют расчет: используют более качественные материалы для бетона (например, цемент большей активности), опалубку с меньшим коэффициентом теплопередачи и др.

В случае, если требуется повысить теплозащитную функцию опалубки или подобрать опалубку с коэффициентом теплопередачи, соответствующим конкретным условиям работ, расчет осуществляют по следующей методике:

- по формуле (32), решив ее относительно K'_m , определяют значение K'_m , которое обеспечивает в данных условиях требуемую продолжительность остывания $\tau_{ост}$ и достижение $f_{ст,крит}$ бетона;

- из табл. 10, по заданному (принятому) значению скорости ветра, принимают величину α_k – коэффициента конвективной теплоотдачи наружной поверхности опалубки Вт/(см² · °С).

Т а б л и ц а 10

Скорость ветра, м/с	0	5	10	15	20
Значения α_k	3,5	21,5	33,2	43,0	52,5

- толщину слоя утеплителя (принятого по табл. 7) опалубки, обеспечивающего значение K'_m , рассчитывают по формуле

$$\delta_{уз} = \lambda_{уз} \left[\frac{1}{K'_m} - \left(\frac{1}{\alpha_k} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \right], \text{ м}, \quad (34)$$

где $\lambda_{уз}$, λ_i – расчетный коэффициент теплопроводности утеплителя, Вт/(м · °С), и остальных слоев опалубки;

δ_i – толщина i -го слоя опалубки (кроме утеплителя), м.

8.2.5. Расчет затрат электрической энергии на предварительный разогрев бетона объемом $V_б$.

$$P_{раз} = \frac{0,001K \cdot U^2 \cdot V_б \cdot \tau_{раз}}{R_{б.с.} \cdot b^2 \cdot 60}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (35)$$

где U – напряжение тока (380 или 220 В);

$V_б$ – объем разогретого бетона, м³;

$\tau_{раз}$ – время разогрева в мин (5...15 мин);

$R_{б.с.}$ – усредненное омическое сопротивление бетонной смеси:
 $R_{тяж.б.с.} = 8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $R_{лег.б.с.} = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (при введении солей (0,5...2 % и более) понижается примерно в 2...4 раза);
 b – расстояние между электродами и стенками бункера, м; в расчетах допускается принять $b = 0,3 \text{ м}$;
 K – поправочный коэффициент, зависящий от разницы температур после и до разогрева смеси, доли ед. (табл. 11).

Т а б л и ц а 11

Разница температур смеси, °С	30	40	50	60	70	80
Значения K	0,25	0,40	0,55	0,70	0,85	1,0

8.3. Электродный прогрев бетона.

Рассчитывают параметры прогрева бетона, принимают схему расстановки и подключения электродов, выбирают соответствующее оборудование, приводят правила безопасности производства работ.

8.3.1. Определение температуры прогрева бетона.

Температуру t_n назначают, учитывая следующие основные факторы:

- вид примененного цемента;
- модуль поверхности, наличие и долю неопалубленной поверхности;
- эксплуатационные требования к бетону;
- значение прочности бетона к окончанию прогрева и время выдержки конструкции в опалубке (необходимое (допускаемое) по условиям производства работ).

Рекомендуемые значения t_n :

- до 70°С для ШПЦ и ППЦ;
- до 60°С для ПЦ;
- до 50°С при наличии требований по морозостойкости (F) и водонепроницаемости (W) бетона;
- до 40°С при повышенных требованиях по “ F ” и “ W ”.

8.3.2. Расчет времени подъема температуры

$$\tau_{под} = \frac{t_n - t_{б.н.}}{V_t}, \text{ ч} \quad (36)$$

где V_t – скорость подъема температуры, °С/ч (табл. 12).

Т а б л и ц а 12

Значения M_n	≤ 4	4...6	6...10	>10	Для стыков
Рекомендуемая V_t , °С/ч*	5	8	10	15	20

*При наличии повышенных требований по морозостойкости и водонепроницаемости бетона $V_t \leq 5^\circ\text{С/ч}$.

8.3.3. Определение продолжительности выдержки бетона $\tau_{выд}^{общ}$ в опалубке.

Расчет начинают с определения требуемой распалубочной ($f_{ст, расн.}$) или критической прочности ($f_{ст, крит}$) бетона, температуры и примерного времени его прогрева и остывания, которое устанавливают с учетом требуемой оборачиваемости опалубки.

Определяют время выдержки бетона $\tau_{выд}$ до приобретения им заданной прочности $f_{ст, крит}$ или $f_{ст, крит}$ при принятой расчетной температуре прогрева t_n по данным табл. 6 или 13 либо по данным справочных пособий.

Т а б л и ц а 13

Прочность бетона при различной температуре прогрева в % от 28-суточной (для нормально-влажностных условий)

Вид цемента	Возраст в часах	Температура изотермии, °С				
		50	60	70	80	90
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7
Порландцемент марок 400...500	8	30	38	50	60	-
	16	44	55	65	74	-
	24	55	65	75	-	-
	32	66	72	-	-	-
	48	76	84	-	-	-

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7
Шлакопортландцемент марок 300...400	8	20	30	38	45	58
	16	35	50	60	70	80
	24	48	62	70	82	88
	32	60	74	84	90	-
	48	75	90	100	-	-

Рассчитывают время остывания бетона $\tau_{ост}$ до температуры $t_{б.к.}$, обеспечивающей безопасную распалубку конструкции (допускаемый перепад температур между бетоном и окружающей средой) по формуле (32).

Учитывают, что при температуре прогрева бетона t_n , значение t_{cp} будет равно

$$t_{cp} = t_{б.к.} + \frac{t_n - t_{б.к.}}{1,03 + 0,181 \cdot M_n + 0,006 \cdot (t_n - t_{б.к.})}, ^\circ\text{C} \quad (37)$$

Определяют общую продолжительность выдержки бетона в опалубке

$$\tau_{выд}^{общ} = \tau_{под} + \left(\tau_{выд} - \frac{\tau_{под}}{4} - \frac{\tau_{ост}}{2} \right) + \tau_{ост}, \text{ч} \quad (38)$$

В случае, если второе слагаемое формулы (38), приведенное в скобках, имеет отрицательное значение, вполне достаточным является значение, которое включает подъем температуры до расчетного значения t_n и последующее остывание бетона в опалубке в течение времени $\tau_{ост}$, то есть формула (38) преобразуется в вид

$$\tau_{выд}^{общ} = \tau_{под} + \tau_{ост}, \text{ч}. \quad (39)$$

Если такой режим твердения бетона, характеризующийся значительной продолжительностью, не устраивает по критерию оборачиваемости опалубки, общую продолжительность выдержки бетона в

ней определяют по формуле (38), рассчитав время остывания бетона $\tau_{ост}$ по зависимости

$$\tau_{ост} = \frac{t_n - t_{расн}}{V_{ост}}, \text{ ч} \quad (40)$$

где t_n – температура прогрева бетона, °С;

$V_{ост}$ – скорость остывания бетона (°С /ч) для конструкций с $M_n = 5 \dots 10 \text{ м}^{-1}$ не более 5 °С /ч, при $M_n > 10 \text{ м}^{-1}$ не более 10 °С /ч;

$t_{расн}$ – температура бетона к началу распалубки, °С, с учетом допускаемой разницы температур между бетоном и воздухом. Значение $t_{расн}$ определяют по зависимости

$$t_{расн} = t_{н.е.} + \Delta t, \text{ °С}, \quad (41)$$

где Δt – допускаемая разница температур между бетоном и воздухом, в указанных ранее пределах (п. 8.2.2) или установленная расчетом при немедленном снятии опалубки по формуле

$$\Delta t = \varepsilon_{дон} \left(128 + \frac{\beta \cdot M_n}{3 + 10\sqrt{V_{max}}} \right), \text{ °С} \quad (42)$$

и в случае временного укрытия поверхности распалубливаемой конструкции после снятия опалубки по формуле

$$\Delta t = \varepsilon_{дон} \left[128 + \beta \cdot M_n \cdot \left(1,16 \cdot R_{уз} + \frac{1}{3 + 10\sqrt{V_{max}}} \right) \right], \text{ °С}, \quad (43)$$

где $\varepsilon_{дон}$ – допускаемые деформации растяжения, принимаемые для тяжелого бетона $\varepsilon_{дон} \sim 0,11 \text{ мм/м}$, и для легкого бетона $\varepsilon_{дон} \sim 0,15 \text{ мм/м}$;

β – эмпирический коэффициент, учитывающий геометрическую форму конструкций: для имеющих ребра $\beta = 132$, для округлых $\beta = 380$;

V_{max} – максимальная скорость ветра на момент распалубки (ожидаемая по метеопрогнозу, но не менее 5 м/с);

$R_{из}$ – термическое сопротивление временного укрытия ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт.

8.3.4. Расчет затрат электроэнергии на прогрев бетона.

Требуемая мощность на подъеме температуры

$$P_{под} = \frac{C_{\bar{o}} \cdot \rho_{\bar{o}} \cdot V_t}{3600} + \sum_{i=1}^n \frac{C_{oni} \cdot \rho_{oni} \cdot \delta_{oni} \cdot M_n}{3600} \cdot \frac{V_t}{2} + \frac{K_m \cdot M_n \cdot (t_n - t_{n.c.})}{1000} - 0,8, \text{ кВт/м}^3, \quad (44)$$

где δ_{oni} – толщина (м) i -го слоя опалубки;

$C_{\bar{o}}, C_{oni}$ – удельная теплоемкость бетона и опалубки (i -го относится к каждому слою многослойной опалубки) кДж/кг \cdot м² (см. табл.7);

$\rho_{\bar{o}}, \rho_{oni}$ – средняя плотность бетона и материалов опалубки, кг/м³;

K_m – коэффициент теплопередачи опалубки, Вт/м² \cdot °C (см. табл. 9).

Проверяют соответствие принятой схемы расстановки электродов конкретным условиям ведения работ, рассчитав величину удельной мощности, обеспечиваемой принятой схемой и параметрами тока при электродном прогреве. При этом необходимо, чтобы удельная мощность, обеспечиваемая принятой схемой электродного прогрева $P_{уд}$, была не ниже требуемой мощности на подъеме температуры $P_{под}$.

Удельная мощность $P_{уд}$ рассчитывается для схем расстановки электродов, приведенных на рис. 1, по следующим формулам:

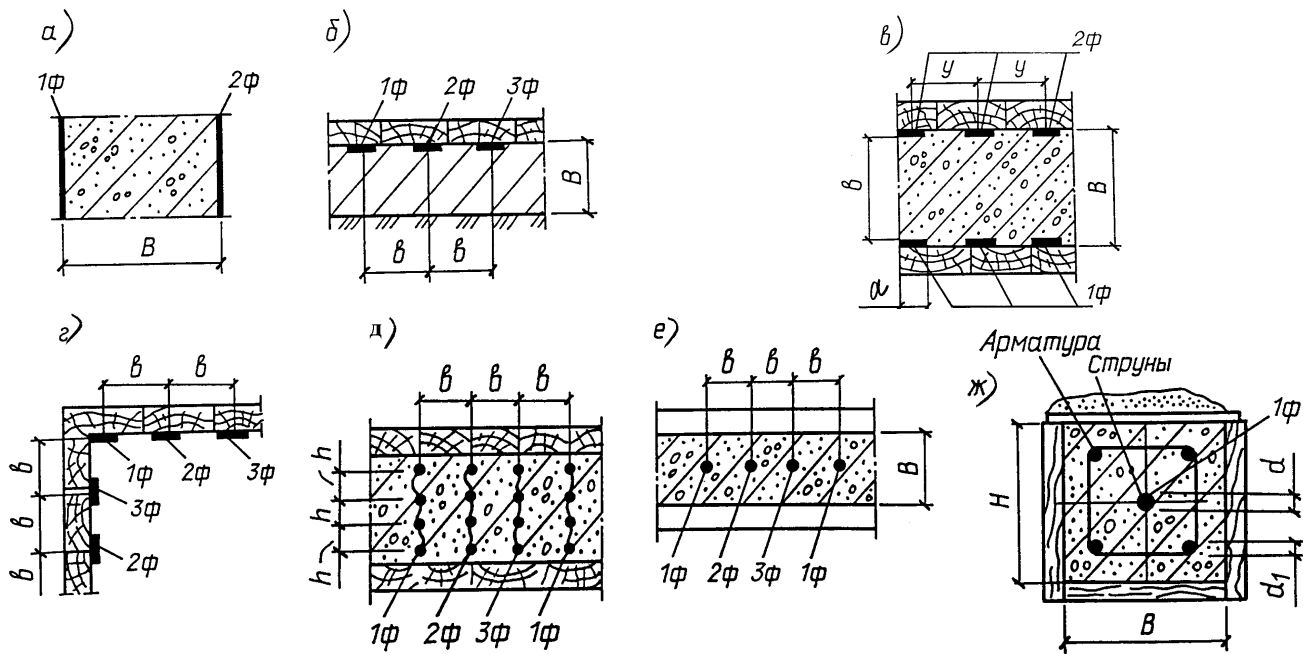


Рис. 1. Схемы размещения электродов:

- а) пластинчатых; б) при периферийном прогреве; в) при двустороннем сквозном прогреве; г) при периферийном прогреве массивных конструкций полосовыми электродами; д) при прогреве с помощью плоских групп стержневых электродов; е) при прогреве стержневыми электродами; ж) при прогреве струнными электродами;

1φ, 2φ, 3φ – фазы понижающего трансформатора

$$\text{а) } P_{y\phi} = \frac{U^2 \cdot 10^{-3}}{B^2 \cdot R_{\phi}}, \text{ кВт/м}^3, \quad (45)$$

$$\text{б); г) } P_{y\phi} = \frac{1,57U^2 \cdot 10^{-3}}{R_{\phi} \cdot \epsilon \cdot B \left(z \cdot \ln \frac{4B}{\pi a} + \frac{\pi B}{2B} \right)}, \text{ кВт/м}^3, \quad (46)$$

$$\text{в) } P_{y\phi} = \frac{U^2 \cdot 10^{-3}}{R_{\phi} \cdot B^2 \left(1 + \frac{a \cdot \epsilon}{\pi \cdot B} \cdot \ln \frac{B}{2a} \right)}, \text{ кВт/м}^3, \quad (47)$$

$$\text{д) } P_{y\phi} = \frac{3,14 \cdot U^2 \cdot 10^{-3}}{R_{\phi} \cdot \epsilon \cdot h \left(z \cdot \ln \frac{h}{\pi d} + \frac{\pi B}{h} \right)}, \text{ кВт/м}^3, \quad (48)$$

$$\text{е) } P_{y\phi} = \frac{3,14 \cdot U^2 \cdot 10^{-3}}{R_{\phi} \cdot \epsilon^2 \left(z \cdot \ln \frac{\epsilon}{\pi d} + \pi \right)}, \text{ кВт/м}^3, \quad (49)$$

$$\text{ж) } P_{y\phi} = \frac{6,28 \cdot U^2 \cdot 10^{-3}}{R_{\phi} \cdot B^2 \ln \frac{2\epsilon}{d} \sqrt[4]{\frac{\epsilon}{2d_1}}}, \text{ кВт/м}^3, \quad (50)$$

где U – напряжение на электродах, В;
 ϵ – расстояние между электродами, м;
 B – толщина прогреваемого слоя бетона (конструкции), м;
 R_{ϕ} – расчетное удельное электрическое сопротивление бетона, Ом · м;
 z – коэффициент, равный при трехфазном токе 1,5, при однофазном токе 2;
 a – ширина полосовых электродов, м;
 d – диаметр стержневых и струнных электродов, м;
 d_1 – диаметр стержней арматуры, используемой в качестве фазного электрода, м.

При схеме размещения стержневых электродов в шахматном порядке с шагом «в» расчет $P_{y\partial}$ ведут по формуле схемы е).

При схеме ж) для струнных электродов расчет $P_{y\partial}$ осуществляется при использовании арматуры в качестве электрода, подключенного к фазе Ф2. Если арматура не используется в качестве электрода, то расчет $P_{y\partial}$ ведут по той же формуле при d и d_1 – диаметрах струн, подключенных к разным фазам.

8.3.5. Требуемая мощность для поддержания температуры при прогреве

$$P_n = \frac{K_m \cdot M_n \cdot (t_n - t_{н.с.})}{1000}, \text{ кВт/м}^3. \quad (51)$$

8.3.6. Затраты электрической энергии на прогрев бетона

$$P = P_{нод} \cdot V_{\delta} \cdot \tau_{нод} + P_n \cdot V_{\delta} \cdot \left(\tau_{выд} - \frac{\tau_{нод}}{4} - \frac{\tau_{осм}}{2} \right), \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (52)$$

8.3.7. Выбор станции прогрева (понижающего трансформатора)

Выбирают станцию прогрева (или определяют возможность применения имеющейся) по критериям: $P_{ном} \geq P_{расч}$, $I_{ном} \geq I_{расч}$, при $P_{ном}$ (кВ · А) и $I_{ном}$ (А) – мощность станции прогрева (понижающего трансформатора) и обеспечиваемая ей сила тока. Они должны быть не менее требуемой расчетной мощности $P_{расч}$ (кВ · А) и силы тока $I_{расч}$ (А) для прогрева бетона захватки объемом V_{δ} , м³.

Расчетную мощность определяют по формуле

$$P_{расч} = \frac{P_{нод} \cdot V_{\delta}}{\eta \cdot \cos \varphi \cdot K_{перезр}}, \text{ кВт} \cdot \text{А}, \quad (53)$$

где $P_{нод}$ – мощность, затрачиваемая при подъеме температуры, кВт/м³, рассчитанная по формуле (44);

V_{δ} – объем бетона захватки, м³;

$\eta \cdot \cos \varphi$ – коэффициент потерь мощности, принимаемый равным 0,9;

$K_{перез}$ – коэффициент кратковременной перегрузки, принимаемый в расчетах равным 1; допускается принимать $K_{перез} = 1,05 \dots 1,5$, если «пиковые» нагрузки не превышают 15 мин за 6 ч работы станции (трансформатора).

По формуле (53) можно посчитать объем бетона захватки, который может быть подключен к станции (трансформатору) с известной $P_{ном}$, кВт · А, подставив ее величину вместо $P_{расч}$.

Расчетное значение требуемой силы тока на прогрев бетона захватки объемом $V_{б}$, м³, определяют по формуле

$$I_{расч} = \frac{1000P_{под} \cdot K \cdot V_{б}}{U}, \text{ А}, \quad (54)$$

где $P_{под}$ – мощность, затрачиваемая при подъеме температуры, кВт/м³;

K – коэффициент, учитывающий изменение электрического сопротивления бетона при прогреве. Для бетона без добавок может быть принят $K = 1 \dots 0,5$. Рекомендуется в расчете принимать $K = 1$, а в случае применения противоморозных добавок и ускорителей твердения (сильных электролитов) – $K = 1,2$;

$V_{б}$ – объем бетона захватки, м³;

U – напряжение на электродах, В.

8.4. Твердение бетона в термоактивной опалубке.

Обосновывают целесообразность применения термоактивной опалубки, выбирают тип и дают эскизы основных элементов (устройств) принятого варианта, описывают порядок ведения работ. Разрабатывают (на базе данных табл. 6, 13 и справочных данных) и приводят графики роста прочности бетона и температурного режима его прогрева.

Расчеты производят по п. 8.3 (формулы (36)...(44), (51), (52)) с учетом особенностей прогрева бетона в термоактивной опалубке:

допускаемые значения t_n соответствуют до 90 °С для ШПЦ и ППЦ; до 80 °С – для ПЦ и до 70 °С при наличии требований по морозостойкости и водонепроницаемости бетона (до 40 °С при повышенных требованиях по «F» и «W»);

рекомендуемая скорость подъема температуры составляет 15; 20; 25; 30 °С /ч при модуле теплоотдающей поверхности до 4; 6; 10 и более 10 соответственно и не должна быть выше 10 °С /ч при наличии повышенных требований по морозостойкости и водонепроницаемости бетона.

На основе полученных данных для термоактивной опалубки определяют удельную мощность нагревателей по зависимости

$$P = \frac{P_{\text{нод}}}{F}, \text{ Вт/м}^2 \cdot (\text{кВт/м}^2), \quad (55)$$

где F – площадь термоактивных щитов опалубки для принятой захватки, м².

При этом учитывают, что наиболее распространенные типы термоактивных опалубок характеризуются мощностью нагревателей в 200...1400 Вт/м².

Общие затраты электрической энергии на термообработку бетона определяют по формуле (52).

9. Опалубка и опалубочные работы

Приводят данные о выбранном типе опалубки (с учетом ранее проведенных расчетов) применительно к конструктивным особенностям бетонироваемого элемента здания (сооружения), погодноклиматическим условиям ведения работ.

Производят проверочный расчет опалубки по критериям прочности, жесткости и на опрокидывание для разрабатываемого варианта бетонирования; приводят эскизы расчетной схемы опалубки и свободного пролета палубы.

9.1. Методика проверочного расчета палубы опалубки

9.1.1. Максимальное удельное боковое давление бетонной смеси в статическом состоянии на опалубку

$$P_{\text{max}}^{\text{уд.см.}} = K_p \cdot \rho_{\text{б.с.}} \cdot g \cdot h_{\text{max}}, \text{ Па}, \quad (56)$$

где $\rho_{\text{б.с.}} \cdot g$ – удельная сила тяжести (Н/м³) бетонной смеси средней плотности $\rho_{\text{б.с.}}$, при $g=9,80665$. Значение $\rho_{\text{б.с.}}$ соответствуют нор-

мативным: тяжелый бетон – 2400 кг/м³, легкий – 1800 кг/м³ и т.д., если фактические ее значения не превышают нормативного показателя;

h_{max} – расчетная высота слоя несхватившейся бетонной смеси, обладающей подвижностью и оказывающей боковое давление на опалубку:

$$h_{max} = \tau_{cx} \cdot V_{бет}, \text{ м}, \quad (57)$$

где τ_{cx} – время схватывания бетонной смеси примененного состава в час;

$V_{бет}$ – скорость бетонирования, т.е. скорость укладки смеси относительно высоты бетонруемой конструкции, м/ч.

В случае если h_{max} больше, чем заданная высота опалубки $h_{он}$, далее используют величину $h_{max} = h_{он}$;

K_p – коэффициент бокового давления (распора) бетонной смеси на опалубку.

Для литой бетонной смеси, т.е. при максимальной величине бокового давления, K_p принимают по табл. 14.

Т а б л и ц а 14

Коэффициент K_p

Значения h_{max} , м		0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8
K_p	тяж.бетон	0,99	0,98	0,97	0,93	0,86	0,76	0,64
	керамзитобетон	0,98	0,965	0,95	0,91	0,84	0,73	0,60

Величина удельного бокового давления с учетом динамических нагрузок на опалубку при ее подаче (свободное падение) и уплотнении глубинными вибраторами

$$P_{max}^{y\delta} = 1,2P_{max}^{y\delta.cm.}, \text{ МПа},$$

а при подаче смеси нагнетанием

$$P_{max}^{y\delta} = 1,5 P_{max}^{y\delta.cm.}, \text{ МПа.}$$

9.1.2. Расчет величины свободного пролета палубы по критерию прочности, осуществляют по формуле

$$l_{np} = 1,3 \cdot b_n \cdot \sqrt{f_p / P_{max}^{y\delta}}, \text{ см,} \quad (58)$$

где b_n – толщина палубы (лицевой стенки опалубки) в см;

f_p – нормативное сопротивление материала, из которого выполнена палуба опалубки (табл.15).

Т а б л и ц а 15

Вид материала палубы	Ст3	Доска сосновая (ель)	Фанера	
			рядовая	высокопрочн.
Значения f_p , МПа	210	18	22	50
Значения b_n , см	0,2	1,6	1,0	1,0
	0,3	1,9	1,2	1,2
	0,4	2,5	1,6	1,6
		3,2	1,8	1,8
		4	1,9	1,9
Модуль упругости E, МПа	$21 \cdot 10^4$	10^4	$0,85 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$

9.1.3. Расчет величины свободного пролета палубы по критерию жесткости (допустимому прогибу)

$$l_{жс} = 1,71 \cdot b_n \cdot \sqrt[3]{E / (P_{max}^{y\delta} \cdot 200)}, \text{ см,} \quad (59)$$

$$l_{жс} = 1,71 \cdot b_n \cdot \sqrt[3]{E / (P_{max}^{y\delta} \cdot 400)}, \text{ см.} \quad (60)$$

Зависимость (59) относится к допускаемым наибольшим прогибам, $l = 1/200$, ее применяют к опалубкам для неотделяемых поверхностей.

Опалубки, предназначенные для возведения (устройства) отдельных поверхностей (например, внутренних поверхностей стен зданий), рассчитывают по зависимости (60) при $l = 1/400$.

Здесь b_n – толщина палубы, см;

E – модуль упругости (МПа) материала палубы;

200, 400 – показатель прогиба.

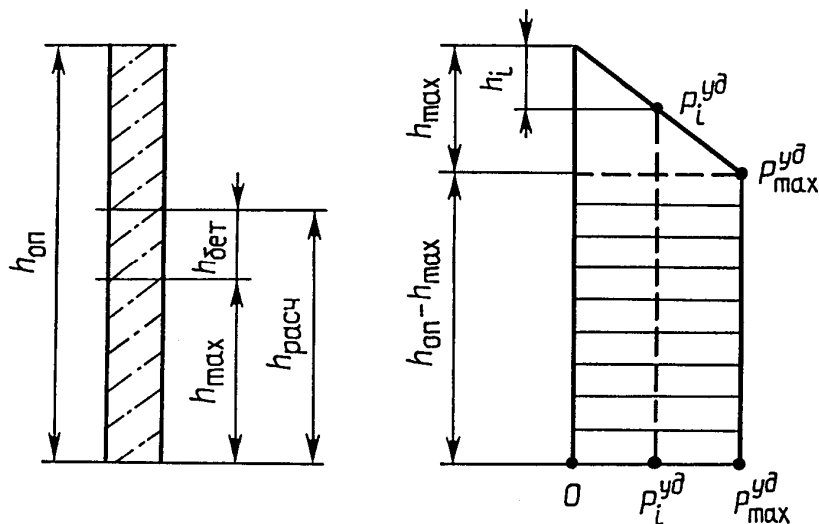
9.1.4 Выбор межосевого расстояния ребер жесткости палубы.

Сопоставляют расчетные значения l_{np} и $l_{жс}$ и принимают меньшее из полученных значений l .

Приводят эскиз принятого размещения ребер жесткости палубы с указанием расстояний свободного пролета.

9.2. Расчет опалубки на устойчивость (опрокидывание).

9.2.1. Расчетная схема элемента опалубки при $h_{max} < h_{оп}$.



Расчетное усилие опрокидывания

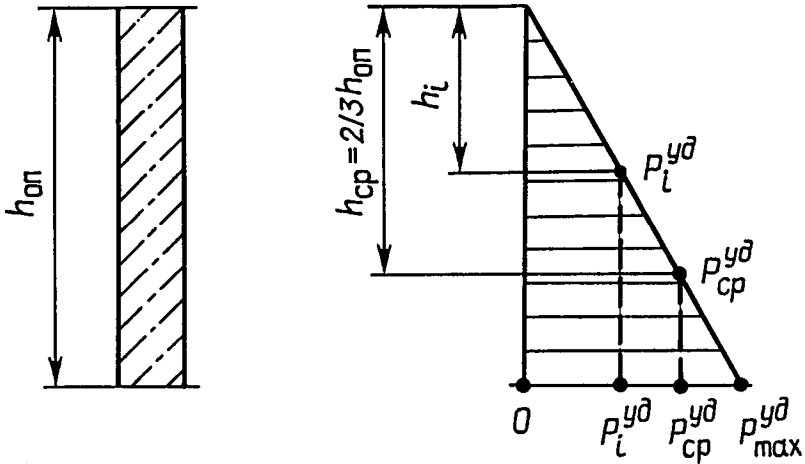
$$N_{расч} = P_{max}^{yд} \cdot e_{зах} \cdot h_{расч} \cdot H, \quad (61)$$

где $P_{max}^{y\delta}$ – максимальное боковое давление бетонной смеси в Па;
 $e_{зах}$ – ширина (м) опалубки (участка), для которой выполняется расчет;
 $h_{расч}$ – наибольшая расчетная высота слоя бетонной смеси, обладающей подвижностью (боковым давлением), м:

$$h_{расч} = h_{max} + h_{бет}, \text{ м}, \quad (62)$$

при $h_{бет}$ равной высоте слоя при послойной укладке смеси, м.

9.2.2. Расчетная схема элемента опалубки при $h_{max} > h_{оп}$.



Расчетное усилие опрокидывания

$$N_{расч} = P_{ср}^{y\delta} \cdot e_{зах} \cdot h_{оп}, \text{ Н}, \quad (63)$$

где $P_{ср}^{y\delta}$ – среднее расчетное удельное давление бетонной смеси на опалубку.

Удельное давление бетонной смеси в любой (i -й) точке опалубки равно

$$P_i^{y\partial} = K_{pi} \cdot \rho_{б.с.} \cdot g \cdot h_i, \text{ Па.} \quad (64)$$

Из зависимости (64) среднее по высоте $h_{он}$ удельное давление с учетом динамических нагрузок (поправочный коэффициент принят $K_{\partial} = 1,2$ для подачи бетонной смеси свободным падением, $K_{\partial} = 1,5$ для нагнетания) будет равно

$$P_{cp}^{y\partial} = K_{\partial} \cdot K_{p.ср.} \cdot \rho_{б.с.} \cdot g \cdot h_{cp}, \text{ Па,} \quad (65)$$

где $K_{p.ср.}$ – коэффициент бокового давления для h_{cp} (см. табл.14);

h_{cp} – высота приложения $P_{cp}^{y\partial}$ соответствует $h_{cp} = 2/3 h_{он}$, м.

Полученные данные позволяют определить усилия в деталях крепежа опалубки (например, замковых соединений, раскосах, стяжках и пр.), рассчитать их количество, сечения силовых (несущих) элементов.

9.3. Опалубочные работы

Дают описание последовательности работ при устройстве и съеме опалубки. Приводят данные смазок: составы (летние и зимние), способ нанесения, приемы отогрева опалубки при работе в зимний период и пр.

10. Арматура и арматурные работы

Схему армирования бетонируемой конструкции (захватки) принимают по справочным (литературным) или проектным данным. Приводят эскизы арматурных элементов, схемы армирования и данные по сортаменту и расчетным характеристикам используемой арматурной стали. Принимают и описывают условия изготовления арматурных элементов, их доставки, хранения, укрупнительной сборки (при наличии) и другие данные по технологии арматурных работ.

11. Контроль качества ведения работ и бетона

Излагают мероприятия по контролю качества опалубочных, арматурных и бетонных работ. Приводят описание методов контроля прочности и эксплуатационных характеристик бетона.

12. Список использованной литературы

Приводят список литературы в последовательности, соответствующей использованию, странице цитирования или заимствования данных источника.

Л и т е р а т у р а

1. Справочник строителя. Бетонные и железобетонные работы. – М.: Стройиздат, 1987. – 319 с.
2. Справочник мастера-строителя. – М.: Стройиздат, 1989. – 543 с.
3. Совалов И.Г., Могилевский Я.Г., Остромогольский В.И. Бетонные и железобетонные работы. – М.: Стройиздат, 1988. – 335 с.
4. Евдокимов Н.И., Мацкевич А.Ф., Сытник В.С. Технология монолитного бетона и железобетона. – М.: Высш. школа, 1980. – 334 с.
5. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с.
6. Батяновский Э.И., Мирончик В.Ю. Монолитный бетон сухого формования. – Мн.: НПО «Стринко», 2003. – 176 с.
7. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. – М.: Стройиздат, 1991. – 766 с.
8. Кудзис А.П. Железобетонные и каменные конструкции. – М.: Высшая школа, 1989. – 263 с.
9. Ахвердов И.Н. Теоретические основы бетоноведения. – Мн.: Высшая школа, 1991. – 263 с.
10. Хаютин Ю.Г. Монолитный бетон. – М.: Стройиздат, 1991. – 573 с.
11. Лысов В.П. Эффективность бетонных работ в строительстве. – Мн.: Беларусь, 1982. – 95 с.
12. Атаев С.С. Технология индустриального строительства из монолитного бетона. – М.: Стройиздат, 1989. – 335 с.

13. Пособие П1-99 к СНиП 3.09.01-85. Применение добавок в бетон. – Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2000. – 33 с.
14. Бессер Я.Р. Методы зимнего бетонирования. – М.: Стройиздат, 1976. – 167 с.
15. Пособие П2-2000 к СНиП 3.03.01-87. Производство бетонных работ на строительной площадке. – Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2001. – 51 с.
16. СНБ 2.01.01-93. Строительная теплотехника. – Мн.: Стройтехнорм, 1994. – 29 с.
17. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика/Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 136 с.
18. ОНТП-07-85. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий сборного железобетона. – М.: Минстройматериалов СССР, 1988. – 51 с.

С о д е р ж а н и е

В в е д е н и е.	3
Тематика курсовых проектов.	3
Содержание и объем курсовой работы.	4
Содержание расчетно-пояснительной записки.	5
Л и т е р а т у р а.	49

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по курсовому проектированию
по дисциплине
«Технология монолитного и приобъектного бетонирования»
для студентов специальности 1 – 70 01 01
«Производство строительных изделий и конструкций»

Составитель БАТЯНОВСКИЙ Эдуард Иванович

Редактор А.М. Кондратович. Корректор М.П. Антонова
Компьютерная верстка А.Г. Гармазы

Подписано в печать 16.04.2004.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл.печ.л. 3,0. Уч.-изд.л. 2,4. Тираж 300. Заказ 140.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

Лицензия ЛВ № 155 от 30.01.2003. 220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.