



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
Кафедра «Технология строительного производства»

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

«Технологические расчёты зимнего бетонирования по способу термоса» к проведению практических занятий и курсовому проектированию по дисциплине:

**«Особенности возведения зданий и сооружений в сложных геологических и климатических условиях»**

для магистров направления 08.04.01 «Строительство»

Авторы

Е.В. Иванчук

Ю.И. Корянова

Т.Н. Жильникова

Ростов-на-Дону, 2022

## Аннотация

Методические указания содержат методику расчёта зимнего бетонирования по способу термоса. Приведена математическая формулировка задачи, примеры расчёта, а также данные справочного характера.

Указания будут полезны при разработке технологических карт на бетонные и железобетонные работы в зимнее время при курсовом и дипломном проектировании, а также при выполнении самостоятельных практических работ.

## Авторы

Канд.техн.наук Е.В. Иванчук

Канд.техн.наук Ю.И. Корянова

Канд.техн.наук Т.Н. Жильникова





## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБА ТЕРМОСА ПРИ ЗИМНЕМ БЕТОНИРОВАНИИ .....	4
2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ .....	5
3. ПРИМЕРЫ РАСЧЁТОВ .....	10
4. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ НА ПРОВЕДЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	13

## ВВЕДЕНИЕ

Способ термоса при бетонировании пассивных конструкций в определённых условиях является наиболее экономичным способом производства бетонных работ в зимнее время.

При проектировании работ этим способом обычно исходят из решения уравнения теплового баланса твердеющего бетона, предложенного проф. Б.Г. Скрамтаевым, путём учёта необходимых исходных данных и вида решаемой задачи.

В методических указаниях дана методика определения взаимосвязанных важнейших технологических параметров при бетонировании по способу термоса: необходимой температуры бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя, толщины теплоизолирующего слоя опалубки, расчётной длительности остывания и средней температуры твердения бетона в зависимости от задаваемых производственных факторов; дана математическая формулировка задачи.

Указания содержат варианты заданий для самостоятельного выполнения студентами заданий трёх типов: проверка возможности применения имеющейся опалубки для производства бетонных работ в зимнее время и определение необходимой толщины теплоизолирующего слоя; определений длительности остывания бетонной смеси до набора заданной прочности; определение необходимой температуры бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя с учётом теплотерь при транспортировании.

Задание на курсовое проектирование выдается индивидуально преподавателем.

## 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБА ТЕРМОСА ПРИ ЗИМНЕМ БЕТОНИРОВАНИИ

Способ основан на принципе использования тепла, содержащегося в бетоне после укладки в опалубку, и тепла, выделяемого цементом в процессе твердения бетона, что обеспечивает необходимые сроки твердения бетона до набора им необходимой (критической) прочности до замерзания.

Характерными особенностями способа являются:

а) бетонирование массивных конструкций при модуле поверхности (отношение её поверхности к объёму),  $M_n = 2-5 \text{ м}^{-1}$ ;

б) средняя температура наружного воздуха за время остывания бетона,

$t_{\text{нв}}$  до  $-20 \dots -22 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

в) скорость ветра -до  $15 \text{ м/с}$ ;

г) приготовление бетонной смеси ведется с подогревом воды, а при необходимости и заполнителя; температура бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя, при приготовлении её на портландцементе марок ниже 600, должна быть не выше 35°C, а наибольшая температура воды затворения 70°C;

д) укладка бетонной смеси ведётся в утеплённую опалубку или деревянную опалубку необходимой толщины;

е) при транспортировании бетонной смеси должны приниматься меры по предотвращению её чрезмерного охлаждения.

СП 70.13330.2012 устанавливает необходимую прочность конструкций, эксплуатирующихся внутри зданий, фундаментов под оборудование, не подвергающихся динамическим воздействиям из бетона без противоморозных добавок по отношению к проектной к моменту возможного заморзания или охлаждения ниже расчётных температур: бетон классов В 7,5 - В10 - 50%; классов В12.5 - В25 – 40%; В30 и выше - 30%.

Для приготовления бетонной смеси рекомендуется применять портландцементы марок 400 и выше, высокоалитовые (С<sub>з</sub> более 55%) с содержанием молотых добавок до 10%, сроком хранения до 2 мес., а также портландцементы высокомарочные (М 400 и выше), алитовые (С<sub>з</sub> не менее 50%) с содержанием С<sub>з</sub>А не более 8%, с активными кремнеземистыми добавками до 10%.

Приготовление, транспортирование и укладка бетонной смеси должны осуществляться в соответствии с требованиями, изложенными в [1, 2, 3].

Комбинированные способы выдерживания бетона в настоящих методических указаниях не рассматриваются.

## 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ

Важнейшими параметрами технологического процессе при бетонировании в зимнее время по способу термоса является: расчётное время остывания уложенного бетона до набора им установленной прочности, обеспечение средней температуры твердевшего бетона, обеспечение необходимой начальной температуры твердения бетона и температуры бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя.

Эти параметры, исходя из прочих известных (задаваемых) технологических данных (температура наружного воздуха, конечная температура остывания бетона, время и способ транспортирования бетонной смеси, тип опалубки и т.п.), могут быть определены путём решения ряда математических зависимостей, в основе которых лежит уравнение теплового баланса твердеющего бетона, предложенное проф. Б. Г. Скрамтаевым.

Уравнение теплового баланса имеет вид [2]:

$$c_{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}} \cdot (t_{\text{бн}} - t_{\text{бк}}) + ЦЭ = 3,6k \cdot M_{\text{н}} \cdot \tau \cdot (t_{\text{бср}} - t_{\text{нв}}) \quad (2.1)$$

где  $c_{\text{б}}$  - удельная теплоёмкость бетона, кДж/(кг. °С);

$\gamma_{\text{б}}$  – плотность бетона, кг/м<sup>3</sup>;

$t_{\text{бн}}$  – начальная температура твердеющего бетона, °С;

$t_{\text{бк}}$  – температура бетона к концу остывания, °С;

$Ц$  - расход цемента, кг/ м<sup>3</sup>;

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

$k$  – коэффициент теплопередачи опалубки или укрытия, Вт/(м<sup>2</sup>\*°С)

$M_{\text{н}}$  – модуль поверхности конструкции, м<sup>-1</sup>;

$\tau$  – продолжительность остывания конструкции до заданной прочности, ч;

$t_{\text{бср}}$  – средняя температура за время остывания бетона до набора им заданной прочности, °С;

$t_{\text{нв}}$  – температура наружного воздуха, °С.

Средняя температура остывания бетона может быть определена по формуле [2]

$$t_{\text{бср}} = t_{\text{бк}} + \frac{t_{\text{бн}} - t_{\text{бк}}}{1,03 + 0,181M_{\text{н}} + 0,006(t_{\text{бн}} - t_{\text{бк}})} \quad (2.2)$$

Из формулы (2.1) может быть определена начальная температура твердения бетона

$$t_{\text{бн}} = \frac{t_{\text{бк}}[0,006(t_{\text{бср}} - t_{\text{бк}}) + 0,181M_{\text{н}} + 0,03] - t_{\text{бср}}(1,03 + 0,181M_{\text{н}})}{0,006(t_{\text{бср}} - t_{\text{бк}}) - 1} \quad (2.3)$$

Коэффициент термического сопротивления опалубки из формулы (2.1)

$$k = \frac{c_{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}} \cdot (t_{\text{бн}} - t_{\text{бк}}) + ЦЭ}{3,6M_{\text{н}} \cdot \tau(t_{\text{бср}} - t_{\text{нв}})} \quad (2.4)$$

Как известно из курса строительной физики, коэффициент термического сопротивления ограждения определяется:

для однослойного

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{\delta}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}}} \quad (2.5)$$

для многослойного

$$k = \frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{\frac{\delta}{\alpha_{\text{н}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}}} \quad (2.5a)$$

где  $R, R_{\text{общ}}$  – термическое сопротивление однослойного и соответственно слоистого ограждения, м<sup>2</sup>\*°С/Вт;

$\delta_i$  – толщина отдельного слоя ограждения, м;

$\lambda, \lambda_i$  – коэффициент теплопроводности соответственно однослового ограждения или отдельного слоя многослойного ограждения, Вт/(м. °С);

$\alpha_{\text{н}}$  – коэффициент теплопередачи у наружной поверхности ограждения, зависящий от скорости ветра, Вт/(м<sup>2</sup>.°С).

Если утепленная опалубка включает палубу, утепляющий и защитные слои, то необходимая толщина среднего утепляющего слоя

$$\delta_2 = \lambda_2 \left[ \frac{1}{k} - \left( \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) \right] \quad (2.6)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – соответственно коэффициенты теплопроводности палубы, утепляющего и защитного слоя опалубки;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$  – соответственно толщины палубы, утеплителя и защитного слоя утепленной опалубки.

Продолжительность остывания бетона до приобретения им конечной температуры (до замерзания) или до приобретения заданной температуры определяется из формулы (2.1)

$$\tau = \frac{C_b \cdot \gamma_b \cdot (t_{\text{бн}} - t_{\text{бк}}) + ЦЭ}{3.6k \cdot M_n (t_{\text{бср}} - t_{\text{нв}})} \quad (2.7)$$

При использовании в работе метода термоса необходимо обеспечить расчётную температуру бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя для обеспечения начальной температуры укладываемого бетона с учётом потерь на нагрев арматуры, опалубки и потерь при транспортировании бетонной смеси

Расчётная температура бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя определяется по формуле

$$t_{\text{бсм}} = \frac{t_{\text{бн}} + \Delta t_{\alpha 0} - t_{\text{нв}} \sum \Delta t_{\text{тр}}}{1 - \sum \Delta t_{\text{тр}}} \quad (2.8)$$

где  $\Delta t_{\alpha 0}$  – снижение температуры бетонной смеси при укладке её в опалубку за счёт нагревания арматуры и опалубки;

$\sum \Delta t_{\text{тр}}$  – суммарное относительное снижение температуры бетонной смеси при всех транспортных операциях - от приёма из бетоносмесителя до укладки в опалубку.

Снижение температуры бетонной смеси за счёт потерь на нагревание арматуры и стальной опалубки

$$\Delta t_{\alpha 0} = \frac{C_{\text{бн}} \cdot \gamma_b \cdot t_{\text{бн}} + C_c (P_b + P_{\text{оп}}) (t_{\text{бн}} - t_{\text{нв}})}{C_{\text{бн}} \cdot \gamma_b} - t_{\text{бн}} \quad (2.9)$$

где  $C_c$  – удельная теплоёмкость стали, кДж/(кг·°С);

$P_{\alpha}$  – расход стальной арматуры на 1 м<sup>3</sup> бетона, кг/м<sup>3</sup>;

$P_{\text{оп}}$  – масса опалубки, приходящаяся на 1 м<sup>3</sup> бетона конструкции, кг/м<sup>3</sup>.

Суммарное относительное снижение температуры бетонной смеси

$$\sum \Delta t_{\text{тр}} = \Delta t_{\text{з}} + \Delta \dot{t}_{\text{тр}} \tau_{\text{тр}} + \Delta t_{\text{в}} + \Delta t_{\text{нк}} + \Delta \dot{t}_{\text{у}} \tau_{\text{у}} \quad (2.10)$$

где  $\Delta t_{\text{з}}, t_{\text{нк}}$  – относительное снижение температуры бетонной смеси при загрузке на бетонном узле (выгрузке на строительной площадке при подъёме бадей с бетоном краном к месту укладки);

$\Delta \dot{t}_{\text{тр}}, \Delta \dot{t}_{\text{у}}$  – относительное снижение температуры бетонной смеси при транспортировке и укладке в течение одной минуты и перепаде темпера-

туры бетонной смеси и окружающего воздуха  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$\tau_{\text{тр}}, \tau_{\text{у}}$  – время транспортирования бетонной смеси от бетонного узла к месту разгрузки и время укладки бетонной смеси с уплотнением, мин.

Расчётная температура бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя должна быть не более:  $35^{\circ}\text{C}$  при приготовлении на портландцементе, шлакопортландцементе, пуццолановом портландцементе марок ниже 600;  $30^{\circ}\text{C}$  при приготовлении на быстротвердеющем портландцементе и портландцементе марки 600 и выше;  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  при приготовлении на глинозёмистом цементе.

Используя уравнение теплового баланса (2.1), возможно решать ряд задач по определению параметров бетонирования по способу термоса.

**1 тип задач.** Проверка возможности использования имеющейся опалубки. Определение необходимого термического сопротивления опалубки и толщины теплоизолирующего слоя.

**Исходные данные:** начальная температура уложенной бетонной смеси  $t_{\text{бн}}$ , конечная температура остывания бетона  $t_{\text{БК}}$ , класс бетона по прочности на сжатие – В, расход цемента, кг на  $1\text{ м}^3$  бетонной смеси – Ц, температура наружного воздуха  $t_{\text{нв}}$ , скорость ветра – V, необходимая прочность бетона на конец остывания от прочности в марочном возрасте –  $R = \%R_{28}$ , а также данные о материале изготовления опалубки, толщинах стальной палубы и защитного внешнего слоя.

**Порядок решения задачи** при проверке возможности использования имеющейся опалубки:

- определяется модуль поверхности конструкции;
- вычисляется средняя температура остывания бетона по формуле (2.2);
- по графику набора прочности бетона (приложение I) определяется продолжительность остывания бетона до заданной прочности при средней температуре остывания;
- определяется максимально допустимый коэффициент теплопередачи опалубки по формуле (2.4);
- определяется коэффициент термического сопротивления имеющейся опалубки по формуле (2.5);
- сопоставляются значения максимально допустимый коэффициент теплопередачи опалубки и фактического. Если коэффициент теплопередачи имеющейся опалубки больше максимально допустимого, то такая опалубка имеет недостаточное термическое сопротивление и нуждается в дополнительном утеплении. Толщина утепляющего слоя определяется по формуле (2.6).

**2 тип задач.** Преследуется цель определения необходимой длительности остывания бетона до заданной конечной температуры остывания при известной температуре уложенной бетонной смеси.

**Порядок решения задач такого типа:**

- определяется модуль поверхности конструкции;
- определяется средняя температура остывания бетона по формуле (2.2);
- рассчитывается коэффициент термического сопротивления имеющейся опалубки по формуле (2.5);
- определяется продолжительность остывания бетона до заданной конечной температуры по формуле (2.7).

**3 тип задач.** Необходимо определить минимальную температуру бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя с учётом снижения температуры за счёт нагрева арматуры, опалубки и потерь при транспортировании.

**Порядок решения задач такого типа:**

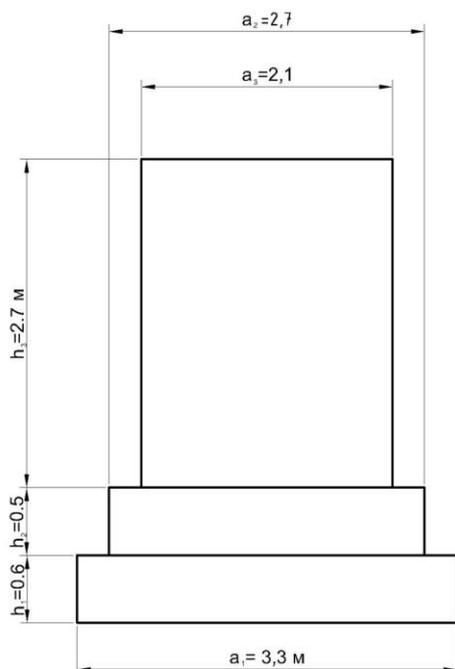
- определяется модуль поверхности конструкции;
- задаётся начальной температурой уложенной бетонной смеси и, зная конечную температуру твердевшего бетона и заданную прочность, по графику нарастания прочности бетона (приложение I) определяем продолжительность остывания бетона при средней температуре остывания, которая принимается равной

$$t_{\text{дсп}} = \frac{t_{\text{дн}} - t_{\text{дк}}}{2}$$

- рассчитывается снижение начальной температуры бетонной смеси за счёт потерь на нагревание арматуры и опалубки по формуле (2.9);
- определяется снижение температуры бетонной смеси при транспортировке по формуле (2.10) с использованием данных, приведенных в приложении 2;
- определяется минимальная расчётная температура бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя по формуле (2.8), которая должна быть не более допустимой;
- если расчётная температура бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя получилась больше допустимой, то следует произвести перерасчет параметров бетонирования за счёт снижения потерь тепла при транспортировании, уменьшения начальной температуры бетона после укладки, увеличения сроков его выдержки, повышения термического сопротивления опалубки;
- определяется необходимый коэффициент термического сопротивления опалубки (формула (2.4));
- определяется толщина теплоизолирующего слоя опалубки (формула (2.6)).

### 3. ПРИМЕРЫ РАСЧЁТОВ

#### 3.1 Пример расчёта возможности применения имеющейся опалубки и толщины теплоизолирующего слоя (1 тип задачи)



Исходные данные. Размеры ступенчатого фундамента даны на рисунке.  $t_{\text{дн}} = 20$  °С,  $t_{\text{дк}} = 5$  °С, Бетон В20, Ц = 270 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{\text{нв}} = -22$  °С,  $V = 10$  м/с,  $R = 50\%$  от R28. Опалубка стальная с толщиной палубы  $\delta_1 = 3$  мм, утеплитель из минераловатной плиты  $\delta_2 = 20$  мм, защитный слой из фанеры  $\delta_3 = 3$  мм.

Определить пригодность опалубки для использования в зимнее время.

Решение:

Определяем модуль поверхности конструкции;

$$M_n = \frac{46.89}{22.07} = 2.12 \text{ м}^{-1}.$$

Определяем-среднюю температуру остывания уложенного бетона (формула(2.2).

$$t_{\text{дср}} = 5 + \frac{20 - 5}{1.03 + 0.181 \cdot 2.12 + 0.006 \cdot (20 - 5)} = 14.9^{\circ}\text{C}.$$

По кривым набора прочности бетоном (Приложение 1) определяем продолжительность остывания бетона до заданной температуры (используется портландцемент М400) при средней температуре остывания 14,90С:

$$\tau_{\text{ост}} = 7 \text{ суток} = 168 \text{ ч.}$$

Определяем максимально допустимый коэффициент теплопередачи опалубки (формула (2.4)):

$$k = \frac{1.05 \cdot 2400 \cdot (20 - 5) + 270 \cdot 242}{3.6 \cdot 2.12 \cdot 168 \cdot (14.9 + 22)} = 2.17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$$

**Определим коэффициент теплопередачи имеющейся опалубки:**

$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{33.18} + \frac{0.002}{52} + \frac{0.02}{0.081} + \frac{0.003}{0.17}} = 3.4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

Сопоставляя коэффициенты теплопередачи имеющейся опалубки с максимально допустимым коэффициентом термического сопротивления, приходим к выводу, что имеющаяся опалубка непригодна для заданных условий строительства, так как обладает слишком высокой теплопередачей.

Определим необходимую толщину утеплителя опалубки при тех же ее конструктивных решениях (формула (2.6))

$$\delta_2 = 0,081 \left[ \frac{1}{2,17} - \left( \frac{1}{33,18} + \frac{0,003}{52} + \frac{0,003}{0,17} \right) \right] = 0,033 \text{ м.}$$

Принимаем толщину утеплителя из минераловатной плиты разной 35 мм.

3.2 Пример расчёта продолжительности остывания бетона до заданной прочности (II тип задачи).

Исходные данные. Размеры столбчатого фундамента даны на рисунке (пример 3.1).  $t_{нк} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{бк} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , бетон В15 на цементе М400: с расходом = 270 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{нв} = -27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 10 \text{ м/с}$ ,  $R = 40\%$  от R28. Опалубка стальная с утепляющим слоем из минераловатной плиты.

Определить продолжительность остывания бетонной смеси до заданной прочности, максимально допустимый коэффициент теплопередачи опалубки, необходимую толщину утеплителя.

Решение.

Модуль поверхности конструкции

$$M_n = \frac{46,89}{22,07} = 2,12 \text{ м}^{-1}.$$

Средняя температура остывания бетона составит (формула (2.2))

$$t_{ср} = 0 + \frac{20 - 0}{1,03 + 0,181 \cdot 2,12 + 0,006 \cdot (20 - 0)} = 13^{\circ}\text{C}.$$

Длительность остывания бетона до набора им прочности 40% от R28, при средней температуре твердения 13°C по кривым набора прочности (приложение I) составит

$$\tau_{ост} = 5,5 \text{ суток} = 137 \text{ ч.}$$

Максимально допустимый коэффициент теплопередачи опалубки при рассмотренных условиях должен быть не более (формула (2.4))

$$k = \frac{1,05 \cdot 2400 \cdot (20 - 0) + 270 \cdot 201}{3,6 \cdot 137 \cdot 2,12 \cdot (13 + 22)} = 2,86 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}.$$

Минимальная толщина утепляющего слоя опалубки

$$\delta_2 = 0,081 \left[ \frac{1}{2,86} - \left( \frac{1}{33,18} + \frac{0,003}{52} + \frac{0,003}{0,17} \right) \right] = 0,024 \text{ м.}$$

3.3 Пример расчёта температуры бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя (III тип задачи).

Исходные данные. Размеры ступенчатого фундамента приведены на рисунке (пример 3.1);  $t_{бк} = 50^{\circ}\text{C}$ ; бетон В20 на цементе М400 с расходом 270 кг/м<sup>3</sup>;  $t_{нв} = -22^{\circ}\text{C}$ ; скорость ветра  $v=10 \text{ м/с}$ ; необходимая прочность бетона при заданной конечной температуре остывания 40% от R28. Транспорт бетонной смеси осуществляется самосвалом МА3-503 в течение 20 мин; подача краном бетонной смеси в бадьях на высоту 6 м. Масса арматуры, приходящаяся на 1 м<sup>3</sup> бетона, - 39 кг, опалубки - 42,5 кг/м<sup>3</sup>.

Определить минимальную температуру бетонной смеси при выходе

из бетоносмесителя, подобрать утепленную опалубку.

Решение.

Модуль поверхности конструкции

$$M_n = \frac{F_n}{V} = \frac{46.89}{22.07} = 2.12 \text{ м}^{-1}.$$

Задаёмся начальной температурой бетонной смеси после укладки, например  $t_{\text{бн}} = 20^\circ\text{C}$ . Определим среднюю температуру бетонной смеси (формула (2.2)):

$$t_{\text{ср}} = 5 + \frac{20 - 5}{1.03 + 0.181 \cdot 2.12 + 0.006 \cdot (20 - 5)} = 11^\circ\text{C}.$$

Продолжительность остывания бетона по кривой набора прочности (приложение I) до 40% от R28, при средней температуре твердения  $11^\circ\text{C}$ , составит

$$\tau_{\text{ост}} = 5,5 \text{ сут.} = 132 \text{ ч.}$$

При данных условиях максимально допустимый коэффициент теплопередачи опалубки должен быть равен (формула (2.4))

$$k = \frac{1.05 \cdot 2400(20 - 5) + 270 \cdot 190}{3.6 \cdot 2.12 \cdot 132 \cdot (11 + 22)} = 2.7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Определим потери температуры бетонной смеси при транспортировании и укладке бетонной смеси. Потери при нагревании арматуры и опалубки составят (формула(2.9))

$$\Delta t_{\alpha 0} = \frac{1.05 \cdot 2400 \cdot 20 + 0.48(39 + 42.5)(20 + 22)}{1.05 \cdot 2400} - 20 = 0.7^\circ\text{C}.$$

Суммарные относительные потери температуры при транспортировке и укладке бетонной смеси составят (формула (2.10))

$$\sum \Delta t_{\text{тп}} = 0.032 + 0.0025 \cdot 20 + 0.032 + 0.002 \cdot 6 + 0.003 \cdot 6 = 0.144.$$

Расчётная температура бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя (формула (2.8)) составит:

$$t_{\text{бсн}} = \frac{20 + 0.7 + 22 \cdot 0.144}{1 - 0.144} = 27.9^\circ\text{C}.$$

Это меньше максимально допустимой температуры бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя, равной  $35^\circ\text{C}$ .

Зная максимально допустимый коэффициент теплопередачи опалубки (п.4), можем определить толщину теплоизолирующего слоя опалубки (формула (2.6)):

$$\text{деревянной: } \delta_1 = 0.17 \left( \frac{1}{2.7} - \frac{1}{33.18} \right) = 0.057 \text{ м};$$

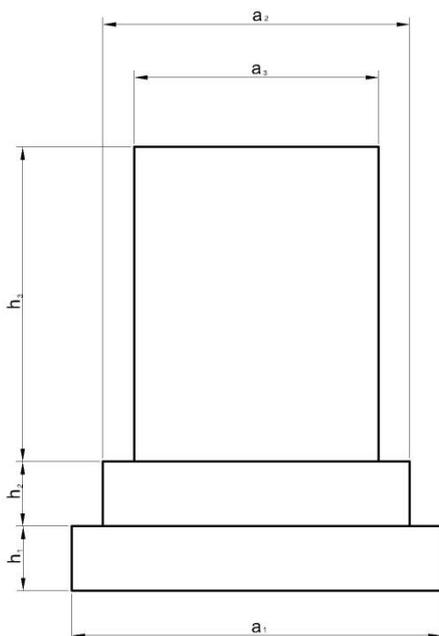
$$\text{стальной: } \delta_2 = 0.081 \left[ \frac{1}{2.7} - \left( \frac{1}{33.18} + \frac{0.002}{52} + \frac{0.004}{0.17} \right) \right] = 0.026 \text{ м}.$$

Очевидно, однослойная деревянная опалубка неприемлема, т.к. толщина досок обычно принимается равной 40, 50 мм. Деревянная опалубка из таких досок нуждается в дополнительном утеплении.

Толщину утепляющего слоя стальной опалубки (из минераловатных плит) следует принимать при конструировании опалубки не менее 30 мм.

## 4.ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ НА ПРОВЕДЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

4.1.ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ использования имеющейся опалубки и определение толщины теплоизолирующего слоя (1 тип задачи)



**Исходные данные.** Размеры столбчатого фундамента даны на рисунке и в табл. 4.1

**Имеющаяся опалубка:** деревянная щитовая из досок  $\delta = 30$  мм, стальная утепленная: палуба  $\delta_1 = 3$  мм, утеплитель из минераловатной плиты  $\delta_2 = 20$  мм, обшивка из фанеры  $\delta_3 = 4$  мм.

**Определить** пригодность использования имеющейся опалубки для производства бетонных работ в зимнее время, при необходимости определить толщину слоя утеплителя.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ  
Таблица 4.1.

Варианты	Размеры фундамента		$t_{\text{сн}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{ск}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{нв}}, ^\circ\text{C}$	$V, \text{ м/с}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$R = \%R_{28}$	$\gamma, \text{ кг/м}^3$
	$a_1$ $a_2$ $a_3$	$h_1$ $h_2$ $h_3$							
1 ДМ	3,3 2,7 2,1	0,6 0,5 2,7	20	5	-20	10	210	50	2400
2 ДМ	3,0 2,5 1,8	0,5 0,4 3,1	19	5	-15	15	220	70	2400
3 ДМ	2,6 2,3 2,0	0,5 0,4 2,8	18	0	-16	10	230	40	2400
4 ДМ	2,3 1,6 1,6	0,5 0,3 2,4	22	0	-17	10	240	50	2300
5 ДМ	2,1 1,8 1,5	0,4 0,4 2,6	17	5	-14	5	235	40	2400

6 ДМ	2,4 1,7 1,5	0,5 0,4 2,5	15	5	-15	10	245	70	2350
7 ДМ	3,2 2,8 2,1	0,6 0,4 4,0	19	0	-18	10	225	50	2450
8 ДМ	2,6 2,1 1,7	0,5 0,4 2,6	20	0	-18	10	235	70	2300
9 ДМ	2,3 1,8 1,5	0,5 0,4 2,3	16	0	-20	5	225	50	2350
10 ДМ	2,7 2,3 1,7	0,5 0,3 2,5	19	5	-21	5	242	40	2400
11 ДМ	2,1 1,6 1,2	0,5 0,5 2,6	20	5	-20	10	232	70	2380
12 ДМ	2,4 2,1 1,6	0,5 0,3 2,7	15	0	-13	10	225	70	2320
13 ДМ	3,1 2,6 1,9	0,5 0,4 2,7	17	0	-12	15	220	70	2310
14 ДМ	2,9 2,5 1,8	0,5 0,5 3,1	15	5	-18	10	241	50	2290
15 ДМ	3,3 2,8 1,9	0,6 0,4 4,1	18	5	-19	15	235	50	2400
16 ДМ	2,6 2,4 1,7	0,5 0,4 2,8	17	0	-18	10	241	40	2310
17 ДМ	2,8 2,3 1,6	0,5 0,4 3,0	16	0	-20	5	220	70	2300
18 ДМ	2,9 2,5 1,9	0,5 0,4 3,1	21	0	-21	15	235	50	2400
19 ДМ	3,1 2,6 1,8	0,6 0,3 2,9	17	5	-19	10	232	40	2420
20 ДМ	3,4 2,9 1,6	0,5 0,5 3,0	18	0	-13	15	221	70	2400

Примечание: во всех вариантах заданий принять бетон класса В20.

4.2. Определение продолжительности остывания бетона до заданной прочности (2 тип задания)

**Исходные данные** – принять в соответствии с табл. 4.1.

4.3. Определение необходимой температуры бетонной смеси при вы-

ходе из бетоносмесителя (3 тип задачи)

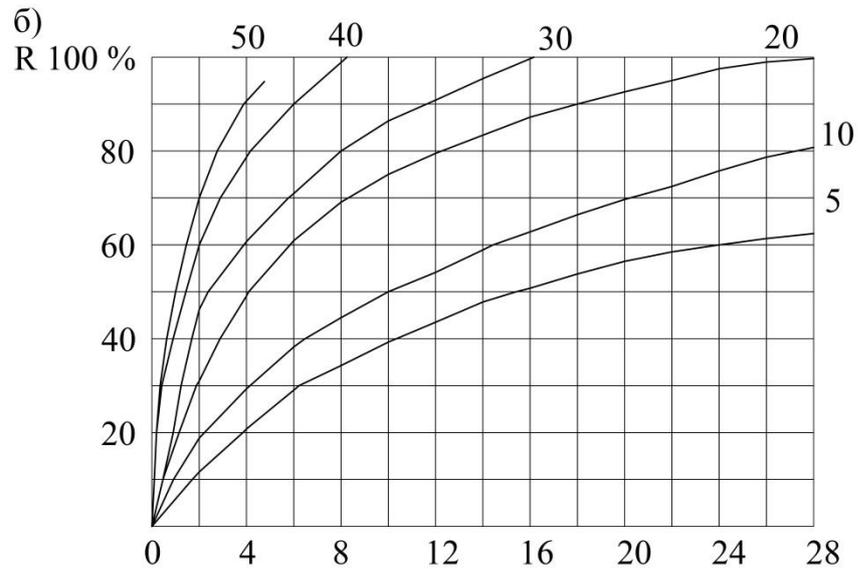
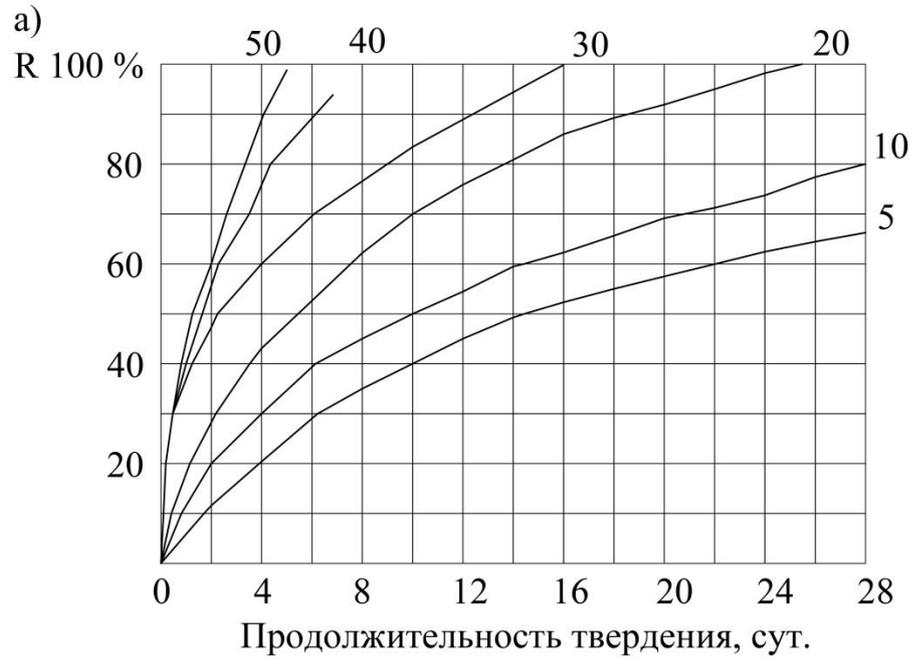
**Исходные данные** – по вариантам заданий принять по табл. 4.1 (вертикальную графу 4 из задания исключить). Дополнительные данные принять по табл. 4.2.

Таблица 4.2.

Варианты	Вид транспорта	Длительность транспортирования бетонной смеси, мин.	Масса стали на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг		Подача бетонной смеси краном в бадье на высоту, м
			арматура	опалубка	
1-2	МАЗ – 503	25	45	65	6
3-4	ЗИЛ-ММЗ-555	20	50	70	8
5-8	<u>Автобетоновозом</u>	30	55	70	10
9-12	МАЗ-503	25	48	55	8
13-20	МАЗ-503	30	42	62	6

Приложение 1

Графики набора прочности  
 твердеющим бетоном



а - бетоном классов В15 - В22,5, на  
 портландцементе марки 400;  
 б - бетоном классов В15 - В22,5, на  
 шлакопортландцементе марки 400;

## Приложение 2

Вид операции	Марка. Тип транспортного средства	Объём бетонной смеси, м <sup>3</sup>	Снижение температуры, °С/(°С.мин)	
Транспортирование автосамосвала	ГАЗ-93	1,4	0,0037	
	ЗИЛ-ММЗ-555	2	0,003	
	МАЗ-503	3,2	0,0025	
То же бетоновозом	Кузов с двойной обшивкой с пространством между слоями 50-60 мм и крышкой	3,2	0,00022	
То же автобадьями	Бадья опрокидная с шарнирно-роликowymi затворами	1,6	0,0009	
То же автобетоносмесителями	С-1036	2,5	0,0024	
	ОБ-92	3,5	0,0013	
	АМ-6ГН	5	0,0014	
Укладка и уплотнение бетонной смеси при толщине конструкции, мм			200	0,009
			400	0,005
			600	0,003
Погрузка и перегрузка бетонной смеси Перемещение башенным краном бадьи			0,032 0,0022H (H- высота подъема, м)	

Примечание: Снижение температуры при погрузке и перегрузке бетонной смеси и при перемещении бадьи с бетонной смесью краном дано на одну операцию.

## Приложение 3

Температура, °С	Тепловыделение цемента кДж/кг, при времени твердения, сут							
	0,25	0,5	1	2	3	7	14	28
5	-	-	29	63	109	188	209	251
10	10	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	-	-

Примечание: при промежуточных значениях температуры и времени твердения значения тепловыделения определять интерполяцией.

## Приложение 4

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

$\alpha$  – коэффициент теплопередачи у наружной поверхности опалубки (укрытия).

## Приложение 5

Материал	Объёмная масса в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Расчётная величина коэф. теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	Удельная теплоёмкость $C$ , кДж/(кг °C) (в сухом состоянии)
Железобетон (W=3%)	2500	2,03	0,84
Бетон на гравии или щебня из природного камня	2400	1,86	0,84(1,05)
Шлакобетон на доменных гранулированных шлаках	1000	0,41	0,84
Керамзитобетон (W=10%)	1600	0,75	0,84
Шлак	800	0,34	
Плиты мягкие и полужесткие минераловатные на битумном связующем (W=5%)	20	0,067	0,92
То же	300	0,081	0,92
Плиты мягкие и полужесткие минераловатные на синтетическом связующем (W=5%)	175	0,06	0,76
То же	100	0,052	0,92
Маты минераловатные прошивные	100	0,048	0,76
Древесина хвойных пород (поперек волокон) (W=20%)	500	0,17	2,52
Древесина лиственных пород (поперек волокон)	700	0,23	2,52
Фанера клееная (W=13%)	600	0,17	2,52
Плиты древесноволокнистые и древесностружечные (W=12%)	1000 600 400	0,29 0,16 0,14	2,1 2,1 2,1
Пенопласт плиточный	100 75	0,05 0,044	1,26 1,26
Рубероид, толь кровельный	600	0,17	1,47
Сталь	7600	52	0,48