

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к проведению практических занятий и  
выполнению связанных с особыми условиями  
разделов курсового и дипломного проектов по курсам  
**«Технология строительного производства»** и  
**«Технология строительства в особых условиях»**  
для студентов специальности **1-70 02 01**  
**«Промышленное и гражданское строительство»**  
очной и заочной форм обучения

Настоящие дополненные и переработанные методические указания составлены в соответствии с требованиями учебных программ по курсам "Технология строительного производства" и "Технология строительства в особых условиях" для студентов специальности "Промышленное и гражданское строительство" (1-70 02 01).

В указаниях изложена методика выполнения технологических расчётов по утеплению грунта от промерзания, подбору сваепогружающего оборудования, определению времени погружения и проектного отказа свай, защите строительных выемок от подземных вод, устройству монолитного железобетонного ленточного фундамента при отрицательных температурах. Кроме того, в указаниях отражены особенности составления калькуляции затрат труда в зимних условиях.

Указания предназначены для преподавателей и студентов специальности "Промышленное и гражданское строительство" (1-70 02 01) очной и заочной форм обучения при изучении курса "Технология строительного производства" и "Технология строительства в особых условиях" на практических занятиях.

Указания могут быть также использованы при разработке связанных с особыми условиями разделов технологических карт в составе курсового и дипломного проектов.

Составители: В.Н. Пчёлин, доцент.

В.П. Чернюк, доцент, канд. техн. наук.

В.И. Юськович, доцент, канд. техн. наук.

Н.В. Лешкевич, ст. преподаватель

Рецензент: директор ООО «Брестремпроект» Таруц В.В.

## 1. Цель и задачи

Целью методических указаний является закрепление, углубление и обобщение полученных студентами в лекционных курсах знаний на практических занятиях и при разработке технологических карт в курсовых и дипломных проектах путем применения этих знаний для выполнения технологических расчетов при проектировании производства строительных работ в особых условиях.

В процессе выполнения курсового и дипломного проектов студентам приходится решать следующие задачи:

- разработка мероприятий, необходимых для предотвращения грунта от промерзания;
- подбор сваепогружающего оборудования по рабочим параметрам для установки свай в грунт;
- определение проектного отказа сваи;
- определение времени погружения сваи в грунт;
- проектирование и расчет системы глубинного водопонижения для защиты строительных выемок от подземных (грунтовых) вод;
- выбор и расчет метода выдерживания монолитных железобетонных конструкций (на примере монолитного железобетонного ленточного фундамента) при отрицательных температурах;
- составление калькуляции затрат труда по устройству монолитного железобетонного ростверка в зимних условиях.

## 2. Разработка мероприятий, необходимых для предотвращения грунта от промерзания

Грунт устойчиво замерзает через 5...20 суток после наступления зимнего сезона с отрицательными температурами наружного воздуха. Скальные грунты практически не замерзают, сухие песчаные замерзают мало.

Эффективность разработки грунтов зимой в значительной степени зависит от правильного выбора способа разработки (см.[16], глава 1), который определяется объемом работ, местными метеорологическими и гидрогеологическими условиями, наличием необходимых машин и механизмов, энергоресурсов.

В первую очередь предпочтение следует отдавать предохранению грунта от промерзания и рыхлению мерзлого грунта. В значительно меньшей степени в строительстве применяется непосредственная разработка мерзлого грунта и его оттаивание.

Наименьшее удорожание земляных работ получается, если своевременно, до наступления зимы, выполнить меры по предохранению грунта от промерзания, которые проводятся глубокой осенью после окончания дождей и наступления первых морозов.

Для предотвращения смерзания частиц несвязных грунтов необходимо обеспечивать отвод поверхностных вод.

Целью предохранения грунта от замерзания является уменьшение глубины его промерзания до величины, при которой возможно применение землеройных и землеройно-транспортных машин.

Если грунт предполагается разрабатывать в первой трети зимы для предохранения его от промерзания перепахивают верхний слой на глубину 35 см и затем боронуют на 15...20 см).

Если во второй трети зимы - производят перекрестное рыхление на 35 см ходами рыхлителя в двух направлениях.

Если в третью треть зимы - делают глубокое рыхление, которое заключается в перелопачивании грунта одноковшовым или роторным экскаватором на глубину 1,3...1,5 м.

Следует также иметь в виду, что прочность смерзшейся корки разрыхленного грунта значительно меньше, чем не разрыхленного при такой же глубине промерзания.

Эффективность применения утепления грунта обосновывается технико-экономическими расчетами. В РБ утепление грунта чаще применяют при небольших объемах работ и при наличии соответствующих местных ресурсов и условий.

В качестве слоя теплоизоляции используют опилки, фрезерный торф, солому (соломенные маты), шлак, камышит, листву и т.д. (рис.2.1), при этом толщину утепляющего слоя  $H_{ум}$  можно определить по формуле:

$$H_{ум} = \frac{h_{пр} - H_{сн}^{сн}}{K_{ум}} \eta_{умл} \cdot M, \quad (2.1)$$

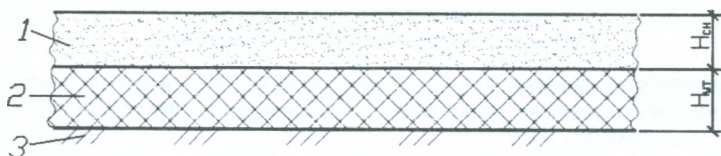
где  $h_{пр}$  - расчетная глубина промерзания грунта, м;

$H_{ум}^{сн} = H_{сн} \cdot K_{сн}$  - величина уменьшения глубины промерзания грунта под влиянием снежного покрова, см;

$H_{сн}$  - толщина снежного покрова, м;

$K_{ум}, K_{сн}$  - коэффициенты теплоизоляционных свойств утепляющего материала и снега (см. [16] табл.19 или прил., табл. П 2.1\*);

$\eta_{умл} = 1,3$  - коэффициент, учитывающий уплотнение утепляющих материалов землеройно-транспортными машинами и транспортными средствами.



1 - снежный покров; 2 - утеплитель; 3 - предохраняемый грунт

**Рисунок 2.1 - Схема к расчету толщины утеплителя, необходимой для предотвращения замерзания грунта**

$K_{ум}$  можно определить по выражению:

$$K_{ум} = \sqrt{\frac{\alpha_{зр}}{\alpha_{ум}}}, \quad (2.2)$$

где  $\alpha_{зр}, \alpha_{ум}$  - коэффициенты температуропроводности утепляемого грунта и утеплителя, соответственно.

Коэффициент температуропроводности грунта или утеплителя определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C \cdot \gamma}, \quad (2.3)$$

где  $\lambda$  - теплопроводность мерзлых грунтов, Вт/(м·К) → [16], табл.1;

$C$  - удельная теплоемкость грунта или утеплителя, Дж/(кг·К);

$\gamma$  - плотность грунта или утеплителя, Н/м<sup>3</sup> → [16], табл.1.

\* Таблицы с буквой «П» приведены в электронном приложении к методическим указаниям (диск «У», папка «Технология строительного производства», папка «Методические указания», файл «Приложение-ОУ»).

Одним из специальных способов предохранения грунтов от промерзания является укрытие их полихлорвиниловой (ПХВ) пленкой с присыпкой краев грунтом за месяц до наступления холодов, что позволяет целый месяц после наступления отрицательных температур сохранять грунт в талом состоянии.

За месяц до наступления теплого периода очищенные от снега грунты также можно укрыть полихлорвиниловой пленкой, что позволит интенсивно использовать солнечную радиацию. Под пленкой скапливаются пары воды, и температура поднимается до +60 °С, что дает возможность на месяц раньше обычного приступить к разработке оттаявшего грунта.

Стоимость утепления грунта быстротвердеющей пеной (пенопластом) на основе мочевиноформальдегидной смолы, по данным Восточного отделения института ВНИИНеруд, при глубине выемки 6 м и толщине утеплителя 10...30 см составляет  $C_e = 0,077...0,231$  у.е./м<sup>3</sup> (для Беларуси достаточно 7...10 см).

Суть химического способа состоит в снижении температуры замерзания воды, в которой растворяются соли, рассыпанные по поверхности грунта. Чаще используют дешевые хлористые соли. Возможна также обработка грунтов заранее приготовленными солевыми растворами.

Работы по обработке грунтов химическим способом необходимо выполнять осенью в до наступления устойчивых отрицательных температур:

- в условиях с влажными зимами и продолжительными оттепелями (песчаные и супесчаные грунты) - за 5...15 суток;

- в условиях с морозными зимами и в глинистых грунтах - за 20...25 суток.

Перед внесением в грунт хлористых солей производят грубую планировку поверхности, а при наличии толстого растительного слоя его срезают.

Предохранение грунтов сплошным покрытием всей поверхности солью применяется:

- при небольших объемах работ;

- при использовании в зимнее время вынутаго грунта в качестве материала обратных засыпок.

При больших объемах работ и отвозке грунта в отвал применяют полосовые покрытия солью (расстояние между полосами 0,7 м в случае полос в одном направлении и 1,0 м - если полосы пересекаются). Отсыпку солей производят пескоразбрасывателями.

Доставлять и разливать раствор реагентов можно поливочными машинами. Расход солей определяют на основании средней температуры на поверхности грунта и вида применяемой соли по [16], табл.20.

### 3. Выбор сваепогружающего оборудования по рабочим параметрам

#### 3.1. Выбор сваебойного оборудования по рабочим параметрам

Молоты для забивки свай выбирают исходя из несущей способности сваи, ее размеров и массы.

В соответствии с [2] для свай длиной до 25 м необходимую минимальную энергию удара молота  $E_h$ , кДж следует определять по формуле:

$$E_h = 0,045 \cdot N, \quad (3.1)$$

где  $N$  - расчетная нагрузка, передаваемая на сваю, кН.

При забивке наклонных свай расчетную энергию удара молота следует определять с учетом повышающего коэффициента, значение которого принимается для свай с наклоном 5:1; 4:1; 3:1; 2:1 соответственно равным 1.1; 1.15; 1.25 и 1.4.

При длине железобетонных свай более 12 м масса ударной части молота одиночного действия и дизель-молота должна быть не менее массы сваи, а при длине свай менее 12 м - до 1.25 и 1.5 массы сваи, соответственно в грунтах средней плотности и плотных.

На основании минимальной энергии удара и массы ударной части молота принимается конкретная марка молота (см. [3], с. 6-7, табл. 2...4 или прил. 3).

Принятый тип молота с расчетной энергией удара  $E_d \geq E_h$ , кДж, должен удовлетворять условию:

$$K = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{E_d} \leq K_{\max} \quad (3.2)$$

где  $K$  – коэффициент применимости молота;

$m_1$  – масса молота, т;

$m_2$  – масса сваи с наголовником, т;

$m_3$  – масса подбабка, т;

$E_d$  – расчетная энергия одного удара молота, принимаемая по табл.3.1 или [2], табл. К3, кДж.

$K_{\max}$  – максимально допустимый коэффициент применимости молота, значения которого приведены в табл. 3.2 или [2], табл. К1.

Таблица 3.1 - Расчетная энергия удара молота

Тип молота	Расчетная энергия удара молота $E_d$ , кДж
Подвесной или одиночного действия	$QH$
Трубчатый дизель-молот	$0,9QH$
Штанговый дизель-молот	$0,4QH$

Обозначения, принятые в табл. 3.1:

$Q$  – вес ударной части молота, кН;

$H$  – фактическая высота падения ударной части дизель-молота, м.

Таблица 3.2 - Значения максимального коэффициента применимости молота

Тип молота	Коэффициент $K_{\max}$ , т/кДж, при материале свай		
	железобетон	сталь	дерево
Трубчатые дизель-молоты и молоты двойного действия	0,6	0,55	0,5
Молоты одиночного действия и штанговые дизель-молоты	0,5	0,4	0,35
Подвесные молоты	0,3	0,25	0,2

**Примечание.** При погружении свай любого типа с подмывом, а также свай из стальных труб с открытым нижним концом указанные значения коэффициентов увеличиваются в 1,5 раза.

В предварительных расчетах масса наголовника вместе с подбабком принимается:

- для сварных наголовников (рис.3.1) – 0,3... 0,4 т;

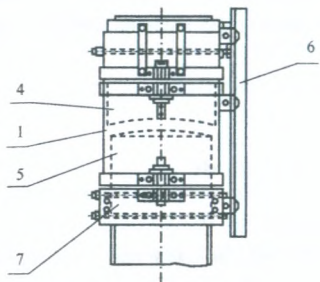
- для наголовников с поворотной рамкой (рис.3.2) – до 0,2 т.

Найденное по табл.3.1 значение  $E_d$  не должно превышать максимальной энергии одного удара  $E_{\max}$ , принимаемой по техническим характеристикам молота.

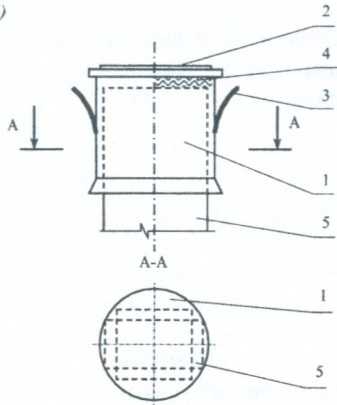
Свайные наголовники предназначены для предохранения голов свай от разрушения в процессе их погружения, а также для удержания сваи в начальный момент забивки в стрелах копра. Внутреннее сечение наголовника должно соответствовать форме погружаемого элемента и не более чем на 20 мм превышать его размеры.

Наголовники бывают сварные (рис. 3.1), литые и клепанные. Внутри наголовника укладывают амортизирующую прокладку из двух слоев деревянных брусков или реže из пластмассы, войлока и других материалов.

а)



б)



1 - коробка наголовника, 2 - плита наголовника, 3 - кронштейны для подвески наголовника к молоту, 4 - прокладка, 5 - свая, 6 - направляющая мачта копра, 7 - хомут  
**Рисунок 3.1 - Сварной наголовник с креплением к молоту свободно (а) и жестко (б)**

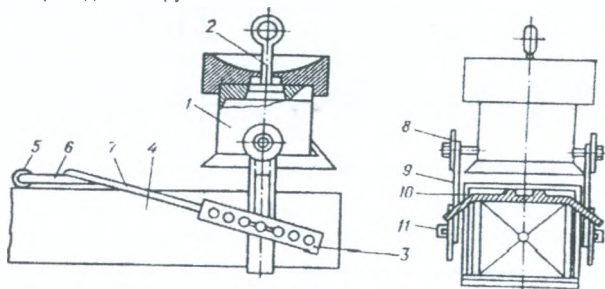
Наголовники или жестко связаны с молотом (входят в его конструкцию), или их надевают на подготовленную к забивке сваю. Применяют также шарнирно закрепленные наголовники, поворачивающиеся вокруг горизонтальной оси, которые можно надевать на сваю, лежащую на грунте.

Наголовник с поворотной рамкой (рис. 3.2) не только предохраняет сваю от разрушения, но и обеспечивает ее установку в наголовник в процессе подъема.

Для соединения такого наголовника со сваяй, лежащей на грунте, молот с наголовником опускают до уровня земли, при этом наголовник поворачивают в сторону лежащей сваи, и под нее заводят поворотную рамку. Затем молот с наголовником и сваяй поднимают вверх, пока они не займут вертикальное положение.

Для забивки свай штанговыми дизель-молотами применяют универсальный амортизирующий наголовник (см. [4], рис. 63).

Забивку свай до проектных отметок следует выполнять, как правило, без применения лидерных скважин и без подмыва путем использования соответствующего сваебойного оборудования. Применение лидерных скважин допускается только в тех случаях, когда для погружения свай до проектных отметок требуются молоты с большой массой ударной части, а также при прорезке сваями просадочных грунтов.



1 - наголовник, 2 - серьга, 3 - планка, 4 - свая, 5 - петля, 6 - карабин, 7 - канат, 8 - цапфа, 9 - звенья, 10 - поворотная рамка, 11 - шплинт

**Рисунок 3.2 - Наголовник с поворотной рамкой**

Значение необходимой минимальной энергии удара молота  $E^{min}$ , кДж, обеспечивающей погружение свай до проектной отметки без дополнительных мероприятий, следует определять по формуле:

$$E_A^{min} = \frac{\sum F_i \cdot h_i}{n_m \cdot t} \left( n + \frac{m_2}{m_4} \right) \leq E_d, \quad (3.3)$$

где  $F_i$  - несущая способность сваи в пределах  $i$ -го слоя грунта, кН;

$h_i$  - толщина  $i$ -го слоя грунта, м;

$n_m$  - число ударов молота в единицу времени, ударов в 1 мин;

$t$  - время, затраченное на погружение сваи (без учета времени подъемно-транспортных операций);

$n_m \cdot t$  - число ударов молота, необходимое для погружения сваи, принимаемое обычно равным не более 500 ударов;

$n$  - параметр, принимаемый равным  $n = 4,5$  - при паровоздушных, механических и штанговых дизель-молотах и  $n = 5,5$  - при трубчатых дизель-молотах;

$m_2$  - масса сваи с наголовником, т;

$m_4$  - масса ударной части молота, т.

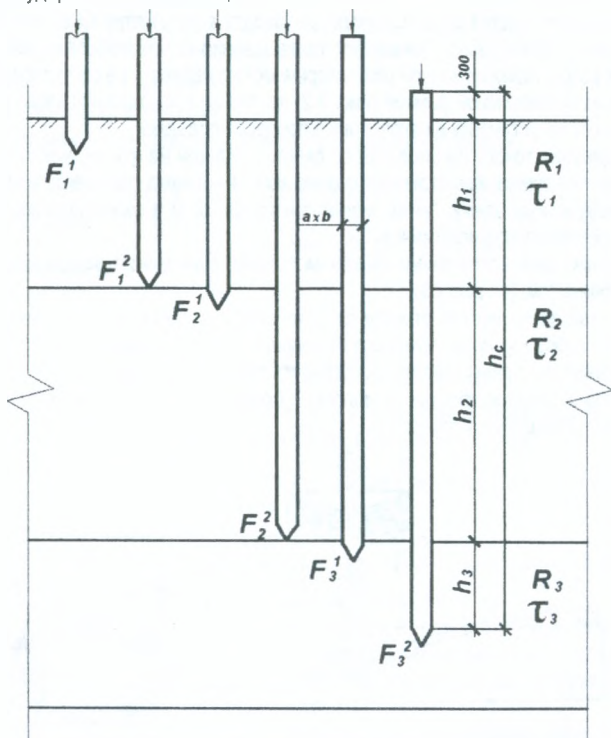


Рисунок 3.3 - Схема к определению несущей способности сваи  $F_i$  в пределах  $i$ -го слоя грунта, кН



$$F_i = (F_i^1 + F_i^2) / 2, \quad (3.4)$$

где  $F_i^1, F_i^2$  - несущая способность сваи по грунту основания при входе и перед выходом из  $i$ -го слоя грунта, соответственно, кН (рис.3.3).

$$F_i^j = K \left( R_i \cdot A + K_1 \cdot U \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot h_i \right), \quad (3.5)$$

где  $k$  – коэффициент однородности грунта строительной площадки ( $k = 0,9-1$ , см. [7] );

$R_i$  – лобовое сопротивление грунта зондированию в  $i$ -м слое, кПа;

$A$  – площадь поперечного сечения сваи, м<sup>2</sup>;

$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, м;

$K_1$  – коэффициент проработки грунта, учитывающий неполноту контакта сваи с грунтом в процессе забивки, принимается по табл. 3.3;

$U$  – периметр сваи, м;

$\tau_i$  – величина бокового сопротивления грунта зондированию в  $i$ -м слое грунта, к Па.

Таблица 3.3 - Значения коэффициента проработки грунта  $K_1$

Глубина забивки сваи, м	4	4...6	6...8	8...10	$\geq 12$
Величина $K_1$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

Например, для второго слоя на рис.3.3:

$$F_2^1 = K(R_2 \cdot A + K_1 \cdot U \cdot \tau_1 \cdot h_1);$$

$$F_2^2 = K \left[ R_2 \cdot A + K_1 \cdot U (\tau_1 \cdot h_1 + \tau_3 \cdot h_3) \right];$$

$$F_2 = (F_2^1 + F_2^2) / 2$$

Если  $E_{s_{\text{min}}}^{\text{mm}} \geq E_s$  следует принять молот с большей энергией удара или разработать мероприятия по снижению сопротивления погружению сваи.

Выбранный молот следует проверить на минимально допустимый отказ свайного элемента  $S_{\text{min}}$ , который принимается равным минимально допустимому отказу для данного типа молота, указанному в его техническом паспорте, но не менее 0,002 м – при забивке свай и не менее 0,01 м – при забивке шпунта (см. раздел 4).

Выбор молота при забивке свай длиной свыше 25 м или с расчетной нагрузкой на сваю более 2000 кН производится расчетом, основанном на волновой теории удара.

При наличии разных молотов с одинаковой энергией удара предпочтение следует отдавать молоту с большей массой ударной части, обладающему большей погружающей способностью и вызывающему более низкие динамические напряжения в свае при ее забивке.

### 3.2. Выбор копров и копрового оборудования по рабочим параметрам

Выбор рационального типа копра или копрового оборудования производится на основании табл. П 4.1. Конкретные марки копров и копрового оборудования подбираются по следующим рабочим параметрам.

А. Требуемая грузоподъемность рабочего каната копра  $Q_{\text{кр}}$ , которая принимается равной:

- в случае наголовников, жестко связанных с молотом или вибропогружателем при раздельном подъеме сваепогружающего оборудования и сваи:

$$Q_{TP} = \max \{ m_1 + m_n + m_3, m_c + m_{cmp} \}, \quad (3.6)$$

где  $m_1$  – масса молота или вибропогрузителя, т;

$m_n$  – масса наголовника, т;

$m_3$  – масса подбабка, т;

$m_c$  – масса сваи, т;

$m_{cmp}$  – масса стропа, т (принимается не более 0,1 т);

- в случае наголовников, одеваемых на сваю, или раздельном подъеме сваепогружающего оборудования и сваи с наголовником:

$$Q_{TP} = \max \{ m_1, m_2 + m_3 + m_{cmp} \}, \quad (3.7)$$

где  $m_2$  – масса сваи с наголовником.

- в случае одновременного подъема сваепогружающего оборудования и сваи (рис. 3.2, 3.4):

$$Q_{TP} = m_1 + m_2 + m_3 + m_{cmp}, \quad (3.8)$$

Требуемая грузоподъемность копра определяется по формуле (3.8).

Б. Требуемая полная высота копра или копрового оборудования  $H_{mp}$  (рис. 3.4, 3.5).

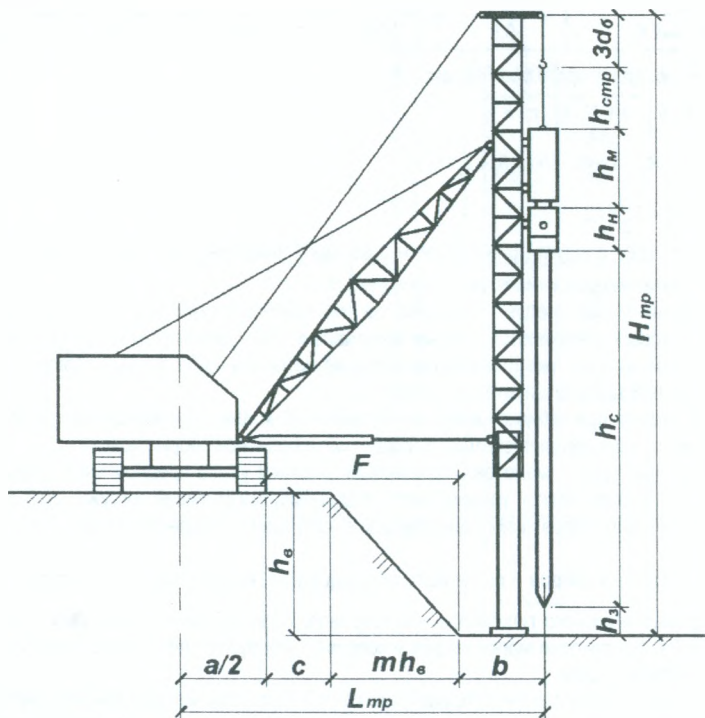
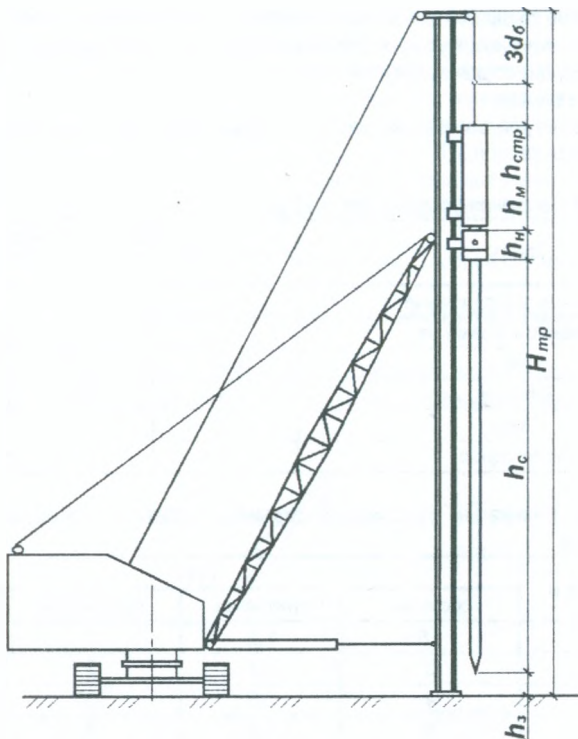


Рисунок 3.4 - Расчетная схема к определению  $H_{mp}$  и  $L_{mp}$  при расположении копра на бровке выемки



**Рисунок 3.5 - Расчетная схема к определению  $H_{TP}$  при расположении копра на дне выемки**

$$H_{TP} = h_c + h_n + h_m + h_{стр} + 3d_{\delta} + \max \{ h_3; h_{сх} \}, \quad (3.9)$$

где  $h_c$  – длина погружаемой сваи, м;

$h_n$  – высота наголовника с подбабком, м;

$h_m$  – полная высота молота или вибропогрузателя;

$h_{стр}$  – длина стропы, м;

$d_{\delta}$  – диаметр блока полиспаста подъемного оборудования, м ( $3 d_{\delta} \approx 1$  м);

$h_3$  – запас по высоте, м ( $h_3 = 0,15+0,5$  м);

$h_{сх}$  – длина свободного хода подвижных частей молота за пределами его габаритов (например, для трубчатых дизель-молотов), м.

Ударная часть выходит за пределы корпуса, как правило, в конце процесса погружения сваи, поэтому в формулу (3.9) чаще сразу подставляется значение  $h_3$ .

В. Требуемый вылет копра или копрового оборудования  $L_{TP}$  при их расположении на бровке выемок (рис. 3.4):

$$L_{TP} = \frac{a}{2} + b + \max \{ c + m h_B; F \}, \quad (3.10)$$

где  $a$  – ширина базы копра, м;

$b$  – расстояние по горизонтали от оси погружаемой сваи до подошвы откоса выемки, м;  
 $c \geq 1$  м – минимально допустимое расстояние от бровки откоса выемки до опоры копра;  
 $m$  – коэффициент откоса выемки (см. табл. 3.4);  
 $h_B$  – глубина выемки, м;  
 $F$  – минимально допустимое расстояние от подошвы откоса до опоры копра, м.  
 $F$  принимается по табл.3.5.

Таблица 3.4 - Значения "m" для временных выемок

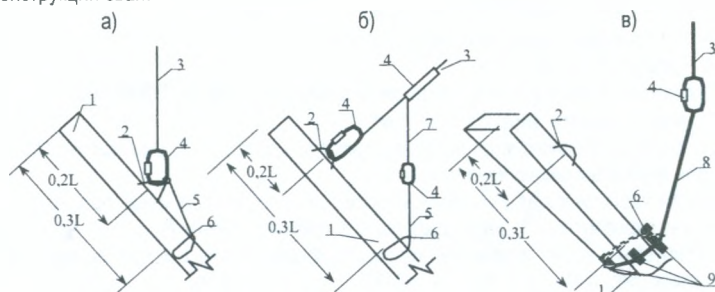
Грунты	Глубина выемки до, м		
	1,5	3	5
Насыпные неуплотненные	0,67	1	1,25
Песчаные и гравийные	0,5	1	1
Супесь	0,25	0,67	0,85
Суглинок	0	0,5	0,75
Глина	0	0,25	0,5
Лессовидные	0	0,5	0,5

Таблица 3.5 - Минимально допустимое расстояние от подошвы откоса выемки до ближайшей опоры машин F в м

Глубина выемки, м	Грунт			
	песчаный	супесчаный	суглинистый	глинистый
1	1,5	1,25	1	1
2	3	2,4	2	1,5
3	4	3,6	3,25	1,75
4	5	4,4	4	3
5	6	5,3	4,75	3,5

Конкретную марку копра или копрового оборудования можно принимать по многочисленным справочникам, например, по [6], табл. 7.17...7.24 или по прил. 4.

Способ строповки сваи для подъема и установки ее в направляющих копра зависит от длины и конструкции сваи.



$L$  – длина сваи; 1 – свая; 2 – подъемная петля; 3 – свайный канат; 4 – карабин;  
 5 – страховочный строп; 6 – штырь-фиксатор; 7 – двухветевой строп;  
 8 – универсальный (бесконечный) строп; 9 – прокладки деревянные

Рисунок 3.6 - Схемы строповки сваи длиной до 6 + 8 м (а,б) и более (в) при подъеме на копер

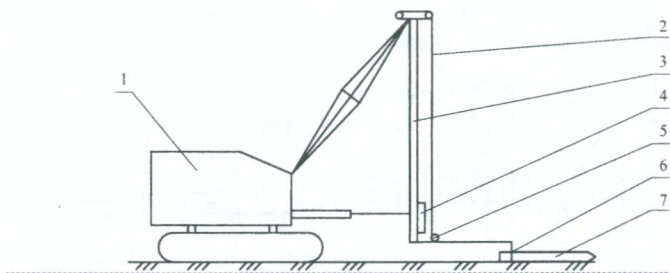
Квадратные сваи длиной до 8 м стропуют непосредственно за верхнюю петлю (рис. 3.6, а) карабином свайного каната с запирающим устройством и дополнительным страховочным стропом "на удавку" или с помощью стропа, на концах каждой петли которого имеются карабины (рис. 3.6, б). В последнем случае карабин, расположенный на основной ветви, закрепляют за верхнюю петлю сваи, а второй карабин удерживает петлю страховочного стропа, захватывающего сваю петлей-удавкой.

Сваи длиной более 8 м стропуют универсальным стропом, охватывающим сваю петлей-удавкой в месте расположения на свае фиксирующего штыря (рис. 3.6, в). Карабин свайного каната закрепляют за универсальный строп.

Сваи-оболочки и круглые сваи стропуют двухветвевым стропом с помощью траверсы (см. [4], рис. 90).

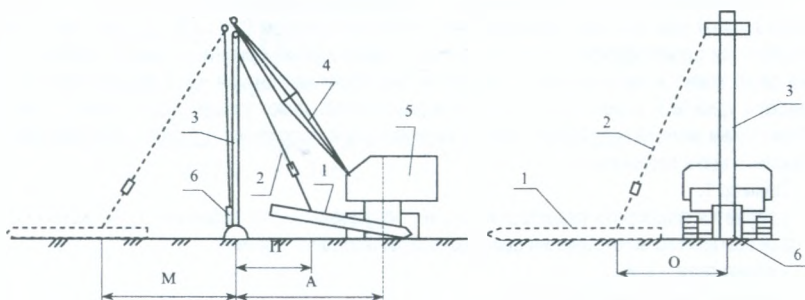
Сваю, находящуюся на расстоянии не более 5 м от копра, подтягивают рабочим канатом с помощью нижнего отводного блока (рис. 3.7).

Для подтаскивания и подъема сваи можно использовать верхний блок на голове копра (рис. 3.8), если отклонение рабочего каната от вертикали не превышает допустимого (см. табл. 3.6).



1 – копер на базе экскаватора, 2 – копровая мачта, 3 – рабочий канат,  
4 – молот, 5 – нижний отводной блок, 6 – строп, 7 – свая

**Рисунок 3.7 - Схема подтаскивания сваи через нижний отводной блок**



1 – свая, 2 – рабочий канат, 3 – копровая стрела,  
4 – крановая (опорная) стрела, 5 – базовая машина (экскаватор), 6 – молот

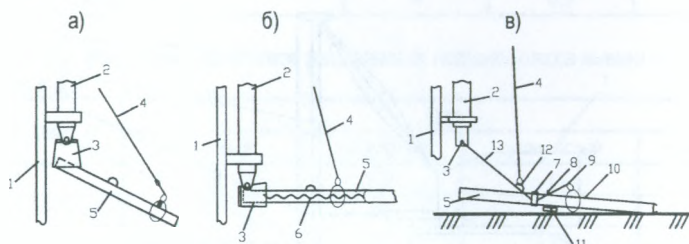
**Рисунок 3.8 - Схема подъема сваи на копер**

Для одновременного подъема молота и сваи длиной до 6 м можно использовать шарнирно закрепленный наголовник (рис. 3.9, а, б).

Сваи длиной более 6 м поднимают вместе с молотом посредством использования специального устройства (рис. 3.9, в).

Таблица 3.6 - Наибольшее допустимое отклонение каната от вертикали при подъеме сваи на копер, м.

Базовый экскаватор	Радиус действия копра А, м	Расстояние сваи до копра, м		
		П (свая рядом с копром)	О (свая поперек оси копра)	М (свая вперед копра по продольной его оси)
Э – 10011	8	3	2,5	Не более длины поднимаемой сваи
КИ – 1206	9	4	3	
Э – 1004; Э – 1252	9	4	3	
Э – 1258Б	8	4	3	
Э – 1602	9...10	4	3,5	



а – заводка головы сваи в наголовник, б – опускание молота и закрепление наголовника; 1 – мачта, 2 – молот, 3 – наголовник, 4 – свайный канат, 5 – свая, 6 – канатный петлевой соединитель, 7 – хомут (направляющая рамка), 8 – штырь-фиксатор, 9 – подвеска с крюком, 10 – универсальный строп, 11 – подкладка, 12 – петля, 13 – канаты

**Рисунок 3.9 - Схема подъема (а) и установки (б) сваи шарнирно-закрепленным наголовником и схема специального устройства для одновременного подъема молота и сваи (в)**

В этом случае молот устанавливают в нижнем положении на копровой мачте. Сваю, подтянутую к копру для подъема, приподнимают свайным канатом (рис. 3.9, в) и под нее, в месте расположения штыря-фиксатора, устанавливают деревянный брус (подкладку). Затем надевают на сваю хомут и закрепляют его в месте расположения штыря. С помощью специальной подвески с крюком и универсального стропа сваю захватывают узлом-удавкой для ее страховки. Поднятием молота поднимают сваю в вертикальное положение с одновременной заводкой ее головы в щели наголовника.

Пример 1.

Требуется подобрать сваепогружающее оборудование для забивки в грунт железобетонных свай заводского изготовления при следующих исходных данных:

- длина сваи – 9 м;
- сечение сваи –  $a \times b = 0,4 \times 0,4$  м;
- расчетная нагрузка N, передаваемая на сваю – 360 кН;
- сваи погружаются с бровки котлована;
- расстояние от сваи до подошвы откоса  $v = 2$  м;
- грунт – песок;

- глубина котлована 2,5 м;
- толщина слоев грунта: 1 слой – 3,6 м; 2 слой – 3,6 м; 3 слой – 2 м;
- лобовое сопротивление зондированию: 1 слой –  $R_1=1,1$  МПа; 2 слой –  $R_2=1,85$  МПа; 3 слой –  $R_3=2,8$  МПа;
- боковое сопротивление зондированию грунта: 1 слой –  $\tau_1=0,02$  МПа; 2 слой –  $\tau_2=0,033$  МПа; 3 слой –  $\tau_3=0,04$  МПа.

А. Подбор молота

Определяем необходимую минимальную энергию удара молота  $E_h$  по формуле (1):

$$E_h = 0,045 \cdot N = 0,045 \cdot 360 = 16,2 \text{ кДж}$$

где  $N$  – расчетная нагрузка, передаваемая на сваю, кН.

Находим рекомендуемую массу ударной части  $m_4$  дизель-молота была не менее массы сваи. Масса сваи составляет  $m_c = m_4 = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 9 \cdot 2,4 = 3,456$  т.

На основании минимальной энергии удара  $E_h$  и массы ударной части молота принимаем трубчатый дизель-молот С-954А: максимальная энергия одного удара  $E_{\max} = 59,8$  кДж, частота несения ударов  $V = 42$  мин<sup>-1</sup>, высота молота без наголовника  $h_{\text{ш}} = 4,8$  м, масса ударной части молота  $m_4 = 3,5$  т, масса молота  $m_1 = 7,3$  т, наибольшая высота подъема ударной части  $H = 3$  м (прил. 2, табл.П3.6).

Находим расчетную энергию одного удара молота по формуле, приведенной табл. 3.1 для трубчатого дизель-молота.

$$Ed = 0,9 \cdot QH = 0,9 \cdot 3,5 \cdot 1,71 \cdot 10 = 53,82 \text{ кДж}$$

где  $Ed$  – расчетная энергия удара молота, кДж;

$Q$  – вес ударной части молота, т;

$H$  – фактическая высота падения ударной части молота, м.

Принимаем для погружения сваи сварной наголовник, представленный на рис.3.1.6, масса которого вместе с подбавком составляет 0,35 т.

Определяем коэффициент применимости принятого молота по формуле (3.2).

$$K = \frac{7,3 + 3,456 + 0,35}{53,82} = 0,22 \leq K_{\min} = 0,6$$

$K_{\min} = 0,6$  (см. табл. 3.2).

Находим несущую способность сваи в пределах прохождения каждого из слоев грунтового основания по формулам (3.4, 3.5). При этом коэффициент проработки грунта принимается по табл. 3.3.

Для первого слоя (см. рис.3.10):

$$F_1^1 = 0,9 R_{31} A = 0,9 \cdot 1100 \cdot 0,16 = 158,4 \text{ кН}$$

$$F_1^2 = 0,9(176 + 0,5 \cdot 1,6 \cdot 20 \cdot 3,6) = 210,2 \text{ кН}$$

$$A = 0,4 \cdot 0,4 = 0,16 \text{ м}^2$$

При этом периметр сечения сваи равен  $U = (0,4 + 0,4) \cdot 2 = 1,6$  м.

$$F_1 = (158,4 + 210,2)/2 = 184,3 \text{ кН}$$

Для второго слоя :

$$F_2^1 = 0,9(1850 \cdot 0,16 + 57,6) = 318,2 \text{ кН}$$

$$F_2^2 = 0,9(296 + 0,7 \cdot 1,6 \cdot 33 \cdot 3,6 + 0,7 \cdot 115,2) = 458,7 \text{ кН}$$

$$F_2 = (318,2 + 458,7)/2 = 388,5 \text{ кН}$$

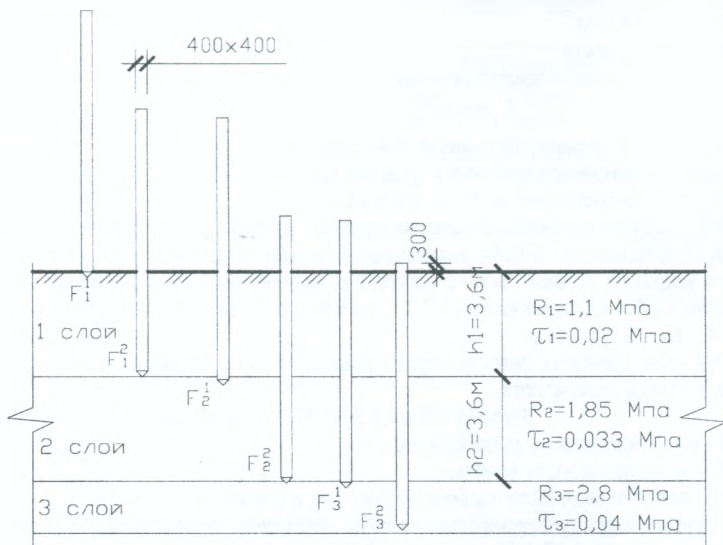
Для третьего слоя:

$$F_3^1 = 0,9(2800 \cdot 0,16 + 190,1 \cdot 0,7 + 115,2 \cdot 0,7) = 595,5 \text{ кН}$$

$$F_3^2 = 0,9(448 + 0,8 \cdot 190,1 + 0,8 \cdot 115,2 + 40 \cdot 1,5 \cdot 1,6 \cdot 0,8) = 692,1 \text{ кН}$$

$$F_3 = (595,5 + 692,1)/2 = 643,8 \text{ кН}$$

Находим значение необходимой энергии удара молота  $E_4^{min}$ , кДж, обеспечивающей погружение свай до проектной отметки без дополнительных мероприятий, по формуле (3.5), в которой максимально допустимое количество наносимых ударов принимается равным 500, т.е.  $Bf = 500$ .



**Рисунок 3.10 - Схема к определению несущей способности свай  $F_i$  в пределах  $i$ -го слоя грунта, кН**

При этом толщина 3 слоя определяется глубиной внедрения свай в 3 слой (см. Рис. 3.10).  
 $E_4^{min} = (184,3 \cdot 3,6 + 388,5 \cdot 3,6 + 643,8 \cdot 1,5) (5,5 + 3,806/3,5) / 500 = 39,9 \text{ кДж} < E_d = 53,82 \text{ кДж}$

Выбранный молот проверяем на минимально допустимый отказ свайного элемента  $S_{min}$ , который принимается равным минимально допустимому отказу для принятого молота, указанному в его техническом паспорте, но не менее 0,002 м при забивке свай (см. раздел 4).

Принятый молот отвечает всем необходимым требованиям, что позволяет принять его окончательно.

б) Выбор копров и копрового оборудования по рабочим параметрам.

Определяем требуемые рабочие параметры копра:

- Требуемую грузоподъемность рабочего каната копра  $Q_{TP}$ , которая в случае наголовников, жестко связанных с молотом, при раздельном подъеме сваепогружающего оборудования и свай принимается по формуле (3.6):

$$Q_{TP} = \max\{7,3 + 0,35; 3,456 + 0,06\} = 7,65 \text{ т}$$

$m_{стр} = 0,06$  – масса стропа, т.

- Требуемую грузоподъемность копра, определяемую по формуле (3.8).

$$Q_{TP} = 7,3 + 3,456 + 0,35 + 0,06 = 11,166 \text{ т}$$

- Требуемую высоту направляющей мачты копра или копрового оборудования  $H_{TP}$  (рис. 3.4, 3.5), определяемую по формуле (3.9), в которую подставляем  $h_3 = 0,15 \pm 0,5$  м, так как удар-



ная часть трубчатого молота начинает выходить из пределов корпуса только при заключительных ударах процесса погружения сваи. Высота стропы принимается равной нулю, так как грузовой крюк крепится непосредственно к молоту (ударной части).

$$H_{mp} = 9 + 0,3 + 4,8 + 0,3 + 0,9 = 15,3 \text{ м}$$

- Требуемый вылет копра или копрового оборудования  $L_{mp}$  при его расположении на бровке выемок (рис. 3.5) по формуле (3.10).

$F=3,5 \rightarrow$  принимается по табл. 3.4,  $m=1 \rightarrow [17]$ , табл.5.1 (как для песка).

$$L_{mp} = 2 + 2 + 1 \cdot 2,5 + 1,5 = 8 \text{ м}$$

Конкретную марку копра или копрового оборудования принимаем по табл. П 4.5. Принимаем навесной копер С-51 на базе экскаватора ЭО-6113:  $Q = 15 \text{ т}$ ;  $L_c = 16 \text{ м}$ , величина изменения вылета – 1,2 м, вылет – 8 м.

#### 4. Определение проектного отказа свай

В соответствии с [2] значение контрольного остаточного (проектного) отказа  $s_a$  при забивке и добивке железобетонных и деревянных свай длиной до 25 м в зависимости от энергии удара  $E_d$  выбранного молота и несущей способности сваи  $F_d$ , указанной в проекте, должно удовлетворять условию:

$$s_a \leq \frac{\eta A E_d}{F_d (F_d + \eta A)} \cdot \frac{m_1 + \varepsilon^2 (m_2 + m_3)}{m_1 + m_2 + m_3} \quad (4.1)$$

Если фактический (измеренный) остаточный отказ  $s_a < 0,002 \text{ м}$ , то следует предусмотреть применение для погружения свай молота с большей энергией удара, при которой остаточный отказ будет  $s_a \geq 0,002 \text{ м}$ , а в случае невозможности замены сваебойного оборудования – общий контрольный отказ сваи  $s_a + s_{el}$ , м (равный сумме остаточного и упругого отказов), должен удовлетворять условию:

$$s_a + s_{el} \leq \frac{2 E_d \frac{m_1}{m_1 + m_2} + F_d s_{el}}{F_d \left[ \left( 2 + \frac{F_d}{4} \right) \left( \frac{\eta_p}{A} + \frac{\eta_f}{A_f} \right) \frac{m_4}{m_4 + m_2} \sqrt{2g(H-h)} \right]} \quad (4.2)$$

В формулах (4.1) и (4.2) приняты обозначения:

$\eta$  – коэффициент, принимаемый по табл. 4.1 в зависимости от материала сваи, кН/м<sup>2</sup>;

$A$  – площадь, ограниченная наружным контуром сплошного или полого поперечного сечения ствола сваи (независимо от наличия или отсутствия у сваи острия), м<sup>2</sup>;

$E_d$  – расчетная энергия удара молота, кДж, принимаемая по табл. 3.1;

$m_1$  – масса молота, т;

$m_2$  – масса сваи и наголовника, т;

$m_3$  – масса подбабка, т;

$\varepsilon$  – коэффициент восстановления удара, принимаемый при забивке железобетонных свай и свай-оболочек молотами ударного действия с применением наголовника с деревянным вкладышем  $\varepsilon^2 = 0,2$ ;

$s_a$  – фактический остаточный отказ, равный значению погружения сваи от одного удара молота;

$s_{el}$  – упругий отказ сваи (упругие перемещения грунта и сваи), определяемый с помощью отказомера, м;

$\eta_p$  и  $\eta_f$  – коэффициенты перехода от динамического (включающего вязкое сопротивление грунта) к статическому сопротивлению грунта, принимаемые соответственно равными для грунта под нижним концом сваи  $\eta_p=0.00025$  с·м/кН и для грунта на боковой поверхности сваи  $\eta_f=0.025$  с·м/кН;

$A_f$  – площадь боковой поверхности сваи, соприкасающейся с грунтом, м<sup>2</sup>;

$m_4$  – масса ударной части молота, т;

$g$  – ускорение свободного падения, принимаемое равным  $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>;

$H$  – фактическая высота падения ударной части молота, м;

$h$  – высота первого отскока ударной части дизель-молота, а для других видов молотов  $h=0$  м.

При забивке сваи через грунт, подлежащей удалению в результате последующей разработки котлована, или через грунт для водотока значение расчетного отказа следует определять исходя из несущей способности сваи, вычисленной с учетом не удаленного или подверженного возможному размыву грунта, а в местах вероятного проявления отрицательных сил трения – с учетом последнего.

Таблица 4.1 - Значения коэффициента  $\eta$

Виды свай	Коэффициент $\eta$ , кН/м <sup>2</sup>
Железобетонные с наголовником	1500
Деревянные без подбавки	1000
Деревянные с подбавком	800

При проверке контрольных отказов в случаях, когда в проекте дана только расчетная нагрузка на сваю  $N$ , кН, несущую способность сваи  $F_d$ , кН, следует принимать равной:

$$F_d = kN, \quad (4.3)$$

где  $k$  – коэффициент надежности;

$k=1,4$  при расчетах по формуле (4.1) и  $k=1,25$  при расчетах по формуле (4.2) для всех зданий и сооружений, кроме мостов, если в проекте нет других указаний.

Расчетный отказ для железобетонных свай длиной свыше 25 м, а также для стальных трубчатых свай следует определять расчетом, основанным на волновой теории удара.

Пример 2.

Требуется определить проектный отказ сваи при следующих исходных данных:

- свая сечением 0,4х0,4 м;

- расчетная нагрузка, передаваемая на сваю –  $N=360$  кН;

- масса сваи  $m_c=3,456$  т;

- свая погружается трубчатым дизель-молотом С-954А (масса молота  $m_1=7,3$  т; масса ударной части молота  $m_4=3,5$  т; расчетная энергия одного удара  $Ed=0,9QH=0,9\cdot3,5\cdot1,71\cdot10=53,82$  кДж);

- масса наголовника с подбавком –  $m_n+m_3=0,35$  т.

Находим несущую способность сваи по формуле (4.3), приняв коэффициент надежности  $K=1,4$ .

$$F_d = kN = 1,4 \cdot 360 = 504 \text{ кН}$$

Так как длина сваи не превышает 25 м, проектный отказ определяем по формуле (4.1):

$$S_a = 1500 - 0,16 \cdot 53,82 [7,3 + 0,2(3,456 + 0,35)] / [504 (504 + 0,16 \cdot 1500) (7,3 + 3,456 + 0,35)] = 0,025 \text{ м} > 0,002 \text{ м}$$

## 5. Определение времени погружения свай

Время погружения сваи в грунт необходимо для расчёта производительности труда и последующего его нормирования.

Для определения времени погружения свай в грунт можно воспользоваться формулой (3.3), из которой, после подстановки в нее  $E_d$  вместо  $E_{\text{норм}}$ , выражается время погружения  $t$ .

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot h_i}{B \cdot E_d} \left( n + \frac{m_c}{m_d} \right), \text{ мин} \quad (5.1)$$

Пример 3.

Требуется найти продолжительность погружения сваи на проектную отметку (рис.3.10).

Исходные данные приведены в примере 1 раздела 3.

Находим суммарную энергоёмкость погружения сваи на проектную отметку:

$$\sum_{i=1}^n F_i \cdot h_i = (184,3 \cdot 3,6 + 388,5 \cdot 3,6 + 643,8 \cdot 1,5) = 3027,8 \text{ кДж}$$

Определяем время погружения сваи на проектную отметку по формуле (5.1).

$$T = 3027,8(5,5 + 3,806/3,5) / (42 \cdot 53,82) = 8,8 \text{ мин}$$

## 6. Расчет искусственного глубинного водопонижения при защите строительных выемок от грунтовых вод

Мероприятия по отводу воды должны опережать земляные работы не менее чем на 24 ч (см.[15], п. 6.12).

Демонтаж водопонижительных установок следует начинать с нижнего яруса после завершения работ по обратной засыпке котлованов и траншей или непосредственно перед их затоплением (см.[15], п. 5.20).

Искусственное глубинное понижение уровня грунтовых вод является наиболее эффективным способом уменьшения водонасыщенности грунтов, при котором вода откачивается из скважин, расположенных вдоль или по контуру выемки. При этом в грунте образуется депрессионная воронка, размеры которой должны превышать размеры выемки (котлована или траншеи).

Для глубинного водопонижения в промышленном и гражданском строительстве используют:

а) легкие иглофильтровые установки (ЛИУ)- при коэффициенте фильтрации грунта  $k = 0,5 \dots 50$  м/сут и необходимом понижении уровня грунтовых вод в точках погружения иглофильтров  $h_n = 4 \dots 5$  м;

б) установки вакуумного водопонижения (УВВ) - при  $k = 0,05 \dots 2$  м/сут и  $h_n \leq 6 \dots 7$  м.;

в) эжекторные иглофильтровые установки (ЭИУ) - при  $k = 0,05 \dots 1$  м/сут и  $h_n \leq 10 \dots 12$  м;

г) эжекторные вакуумные водопонижительные установки (ЭВВУ) - при  $k = 0,05 \dots 1$  м/сут и  $h_n \leq 20 \dots 22$  м;

д) способ электроосмоса - при  $k \leq 0,05$  м/сут и электрическом сопротивлении грунта более 5 Ом/м;

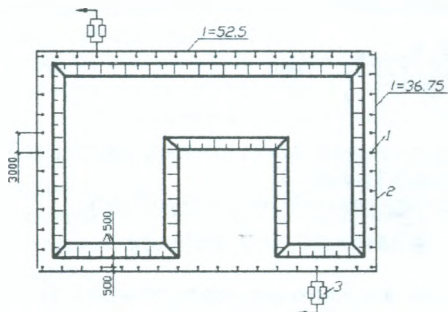
е) водопонижительные скважины - при  $k > 2$  м/сут и  $h_n > 20$  м.

По расположению в плане различают контурную (рис. 6.1) и линейную водопонижительные системы (6.2, б).

По глубине может использоваться одноярусная (рис. 6.2) и многоярусная схемы установки водопонижительных систем.

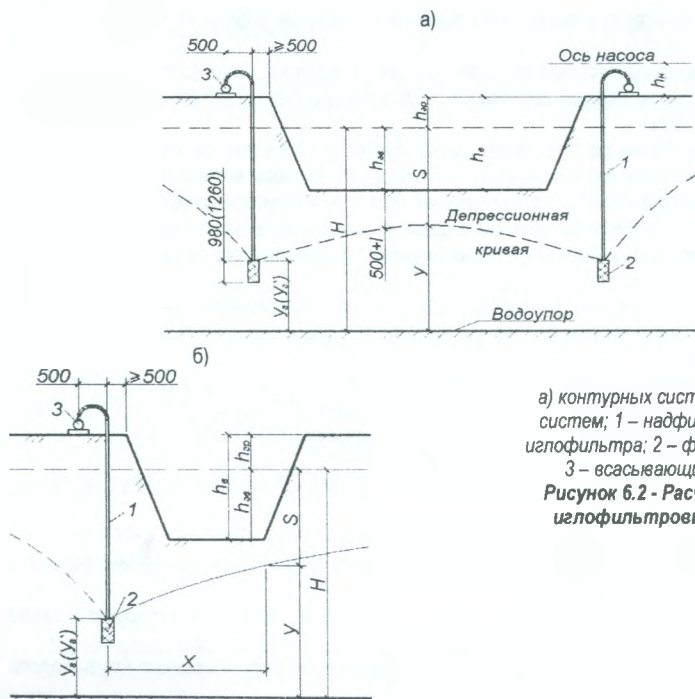
В контрольной работе необходимо спроектировать контурную одноярусную водопонижительную систему.

В настоящее время наиболее широко применяется установка ЛИУ- 6Б, в комплект которой входят: два насосных агрегата, всасывающий коллектор длиной 105м, 100 иглофильтров и комплектующие детали. Оба насосных агрегата укомплектованы вакуум- насосами и могут работать совместно на одной станции или раздельно каждый с комплектом иглофильтров. Производительность насосных агрегатов - 140+65 м<sup>3</sup>/ч.



1 – иглофильтр;  
2 – коллектор; 3 – насос  
**Рисунок 6.1 - Схема контурной водопонижительной системы**

Всасывающий коллектор диаметром 150 мм и длиной 105м собирается из 20 звеньев (длина каждого звена 5,25 м), которые имеют через 0,75 м патрубки для подключения иглофильтров. Максимальная длина коллектора на один насосный агрегат или на одну насосную станцию зависит от притока воды и не должна превышать 105 м.

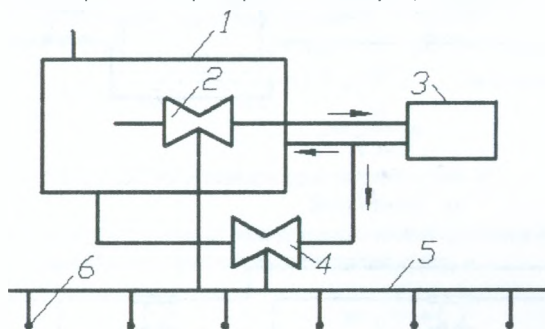


а) контурных систем; б) линейных систем; 1 – надфильтровое звено иглофильтра; 2 – фильтровое звено; 3 – всасывающий коллектор  
**Рисунок 6.2 - Расчетные схемы иглофильтровых установок**

Иглофильтр имеет общую длину до 8,5 м и состоит из фильтрового звена с наконечником длиной 980 или 1260 мм и надфильтровой трубы, которая собирается из одного звена длиной 1,5 м и двух звеньев по 3 м.

Вакуумные способы позволяют развивать устойчивый вакуум в зоне фильтра и благодаря этому поднимать воду с больших глубин.

В комплект установки УВВ - 2 входят (рис. 6.3): центробежный насос производительностью 190 м<sup>3</sup>/ч; циркуляционный бак; всасывающий коллектор диаметром 150 мм (12 звеньев по 4,5 м) с патрубками через 0,75 м для подключения иглофильтров; водо-воздушный и водо-водяной эжекторы; 50 иглофильтров и комплектующие детали.



- 1 – циркуляционный бак;
  - 2 – водо-воздушный эжектор;
  - 3 – насосный агрегат;
  - 4 – водо-водяной эжектор;
  - 5 – иглофильтр
- Рисунок 6.3 - Схема установки вакуумного водопонижения УВВ-2**

Водо-воздушный эжектор установлен на циркуляционном баке и служит для создания вакуума во всасывающей системе и откачки воздуха. Водо-водяной эжектор смонтирован на всасывающем коллекторе и откачивает воду. Оба эжектора питаются рабочей водой с одного насоса. При значительном преобладании в поднимаемой водо-воздушной смеси того или другого компонента каждый из эжекторов может частично принять на себя функции другого.

Иглофильтр длиной 7,5 м собирается из обычного фильтрового звена (как в ЛИУ) и четырех надфильтровых звеньев длиной по 1,5 м. Вокруг иглофильтров обязательно устраивают обсыпку из песка с крупностью зерен 0,5- 2 мм. В грунтах с коэффициентом фильтрации 0,5- 2 м/сут обсыпка устраивается на высоту 2,5- 3,5 м от забоя, а верхняя часть зазора заполняется местным грунтом. При меньшем коэффициенте фильтрации обсыпка выполняется на всю высоту иглофильтра.

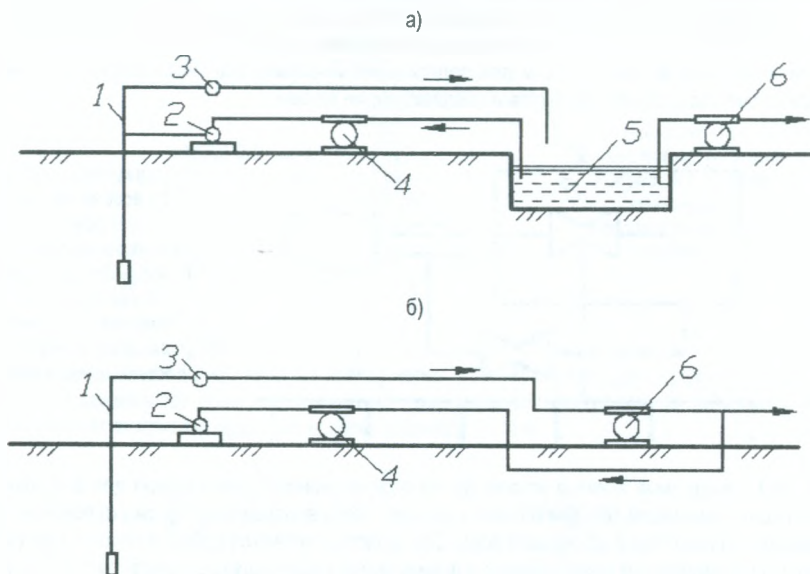
ЗИУ может быть с циркуляционным резервуаром и без него (рис. 6.4). Она состоит из эжекторных иглофильтров, распределительного и сливного коллекторов, центробежного и низконапорного насосов, циркуляционного резервуара (только для первой схемы).

Эжекторный иглофильтр состоит из обычного фильтрового звена и двух колонок надфильтровых труб. Внутренняя колонка труб заканчивается у фильтра эжекторным водоподъемником. От центробежного насоса через распределительный коллектор рабочая вода нагнетается в зазор между трубами и далее, через эжектор, поступает во внутреннюю трубу, увлекая за собой грунтовую воду. Смесь рабочей и грунтовой воды поступает в сливной коллектор, а из него - в резервуар или к низконапорному насосу. Центробежный насос питается из резервуара или от низконапорного насоса. Последний служит для удаления воды за пределы площадки.

ЭВВУ предназначены для работы в слоистых грунтах с чередованием водоносных и водоупорных слоев.

ЭВВУ отличается от обычных эжекторных установок только конструкцией иглофильтров, которые имеют дополнительную фильтровую оболочку на всю высоту.

При способе электроосмоса вдоль иглофильтров в грунт погружают стальные стержни или трубы. Их располагают на расстоянии 0,8 м от линии иглофильтров с осушаемой стороны. Иголфильтры (катоды) подключают к отрицательному, а стержни (аноды) - к положительному полюсам источника постоянного тока с рабочим напряжением 40 - 60 В.



а) с циркуляционным резервуаром; б) без циркуляционного резервуара;  
 1 – эжекторный иглофильтр; 2 – распределительный коллектор; 3 – сливной коллектор;  
 4 – центробежный рабочий насос; 5 – циркуляционный резервуар; 6 – низконапорный насос

**Рисунок 6.4 - Эжекторная иглофильтровая установка**

Под действием постоянного электрического тока поровая вода освобождается и перемещается в сторону иглофильтров. В результате, на порядок "увеличивается" коэффициент фильтрации (улучшается отдача воды), и отсос воды идет более интенсивно.

Расчет ЛИУ заключается в определении требуемого числа насосных установок, шага иглофильтров и глубины их погружения. Значение этих параметров зависит от величины притока грунтовых вод к водопонижительной системе, который определяется по формулам:

- для линейных систем (рис. 6.2, б)

$$Q_c = \frac{mk(H-y)l}{R-x}, \text{ м}^3/\text{сут}; \quad (6.1)$$

- для контурных систем (рис. 6.1, 6.2, а)

$$Q_c = \frac{2\pi mk(H-y)}{\ln\left(\frac{R}{A}\right)}, \text{ м}^3/\text{сут}; \quad (6.2)$$

где  $Q_c$  - суммарный приток воды к системе,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;

$m$  - толщина водоносного слоя при напорной фильтрации или средняя толщина потока, равная

$\frac{H+Y}{2}$ , при безнапорной фильтрации, м;

$k$  - коэффициент фильтрации, м/сут;

$H$  - напор грунтовых вод, м;

$Y$  - напор в расчетной точке, м;

$l$  - длина расчетного участка линейной системы, м;

$R$  - радиус депрессии (влияния), м;

$S$  - требуемое понижение грунтовых вод, м;

$x$  - расстояние от оси линейной системы до расчетной точки, м;

$A$  - приведенный радиус водопонизительной системы, м.

$$R=A+10 \cdot S \sqrt{k} \quad , \text{ м - при напорной фильтрации;} \quad (6.3)$$

$$R=A+2 \cdot S \sqrt{kH} \quad , \text{ м - при безнапорной фильтрации;} \quad (6.4)$$

$$A=\sqrt{\frac{F_u}{\pi}} \quad , \text{ м,} \quad (6.5)$$

где  $F_u$  - площадь, ограниченная контуром иглофильтров, м<sup>2</sup>.

$$S=h_{20}+e+0,5 \quad , \text{ м,} \quad (6.6)$$

где  $h_{20}$  - глубина котлована от непониженного уровня грунтовых вод, м;

$e$  - высота капиллярного поднятия грунтовых вод, м.

$$e=\sqrt{\frac{l}{k}} \quad , \text{ м} \quad (6.7)$$

При этом высота капиллярного поднятия воды не должна превышать [15], п.6.33:

0,3 м – для крупных, средней крупности и мелких песков;

0,5 м – для пылеватых песков и супесей;

1 м – для суглинка и глины.

Зная общую длину коллектора системы  $P_k$  (см. рис. 6.1) и суммарный приток воды к системе  $Q_c$ , по графикам (рис. 6.5) определяют предельную длину коллектора на один насосный агрегат  $L_k^{пред}$ .

Тогда число установок в системе:

$$N = \frac{P_k}{L_k^{пред}} \quad , \text{ шт.} \quad (6.8)$$

При округлении числа установок в большую сторону проектируемая длина коллектора на одну установку будет равна (должна быть кратна 5,25 м):

$$L_k = \frac{P_k}{N} \quad , \text{ м} \quad (6.9)$$

Приток воды к одной установке, при одинаковой длине коллектора на одну установку, равен:

$$Q_y = \frac{Q_c}{N} \quad , \text{ м}^3/\text{сут} \quad (6.10)$$

Если установки имеют разную длину коллектора в дальнейших расчетах рассматривается установка с большей длиной коллектора  $L_k^{max}$ , при этом приток воды к данной установке принимается по выражению:

$$Q_y = \frac{Q_c}{P_k} \cdot L_k^{max} \quad , \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (6.11)$$

$$Q'_y = \frac{Q_y}{24}, \text{ м}^3/\text{час} \quad (6.12)$$

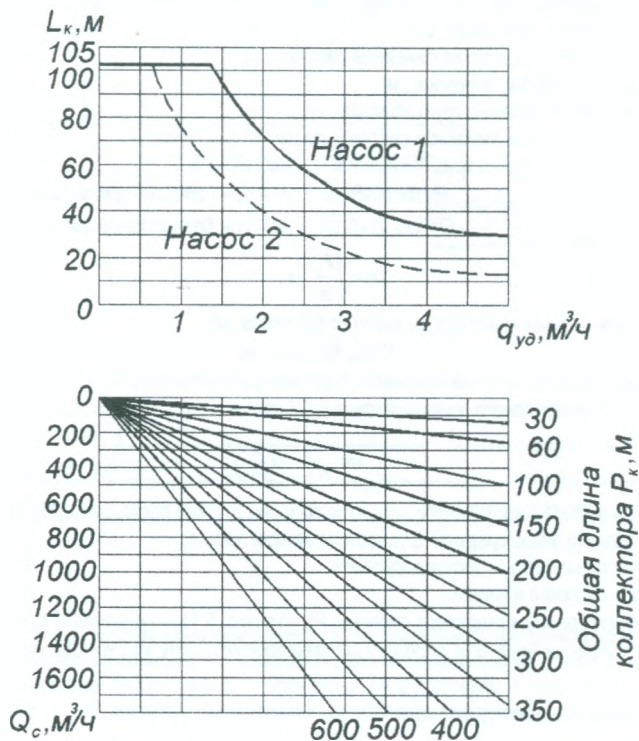


Рисунок 6.5 - Графики предельной длины всасывающего коллектора на один насосный агрегат ЛИУ-6Б

Далее, принимая шаг иглофильтров кратным 0,75 м, для каждого случая определяют число иглофильтров в установке и приток воды к каждому из них по формулам:

$$n = \frac{l_k}{2G}, \text{ шт.}, \quad (6.13)$$

$$q = \frac{Q'_y}{n}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (6.14)$$

где  $n$  - число иглофильтров в установке, шт.;

$2G$  - шаг иглофильтра, м;

$q$  - приток воды к одному иглофильтру,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Шаг увеличивают до значения, при котором приток воды не превышает предельно допустимого дебита иглофильтра, определяемого по графику (рис. 6.6).



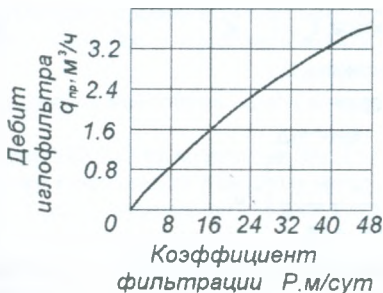


Рисунок 6.6 - Предельно допустимый дебит одного иглофильтра в зависимости от коэффициента фильтрации грунта водоносного слоя

Для каждого значения  $n$  определяют высоту от водоупора до сниженного уровня грунтовых вод у иглофильтров. Расчет выполняют по двум уравнениям: первое уравнение характеризует условия движения воды в иглофильтровой системе, второе - условия фильтрации воды в грунте. Первое уравнение имеет вид:

$$y'_2 = y_n - h_B + \xi \frac{Q^2}{k_0 n} + 1.34 \cdot 10^{-7} \cdot \xi_1 Q^2, \text{ м}, \quad (6.15)$$

где  $y'_2$  - высота от водоупора до сниженного уровня воды у расчетного иглофильтра, м;

$y_n$  - высота расположения оси насоса над водоупором, м;

$h_B$  - расчетная вакуумметрическая высота всасывания насоса, м (для ЛПУ не более 6 м);

$\xi$  - величина, зависящая от срока службы установки на данном объекте,  $\text{м}^{-1}$  (при сроке службы установки до 1 месяца -  $\xi = 0,3$ ; 1 - 6 месяцев -  $\xi = 0,4$ ; более 6 месяцев -  $\xi = 0,5$ );

$k_0$  - коэффициент фильтрации грунта в прифильтровой зоне или обсыпке, м/сут;

$\xi_1$  - коэффициент потерь напора во всасывающей системе,  $\text{сут}^2 / \text{м}^5$  (определяют по графику рис. 6.7 на основании рассматриваемого шага иглофильтров и длины наибольшей ветви коллектора  $l_a$ ).

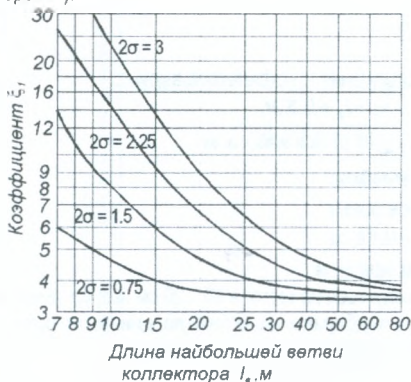


Рисунок 6.7 - Графики значений коэффициента потерь напора во всасывающей системе установки

Длина наибольшей длины ветви коллектора принимается равной:

- при четном количестве звеньев коллектора:  $l_a = \frac{l_n + l_m}{2}, \text{ м}, \quad (6.16)$

$$- \text{ при нечетном количестве звеньев коллектора: } l_{\sigma} = \frac{L_{\kappa}}{2}, \text{ м,} \quad (6.17)$$

где  $L_{\kappa}$  – длина коллектора рассматриваемой установки, м;

$l_{\text{зв}} = 5,25 \text{ м}$  – длина одного звена коллектора.

Второе уравнение для контурной системы имеет вид:

$$y_2 = H - S \left( 1 + \frac{2\pi \cdot \Phi \cdot m'}{N \cdot n \cdot \ln \frac{R}{A}} \right), \text{ м,} \quad (6.18)$$

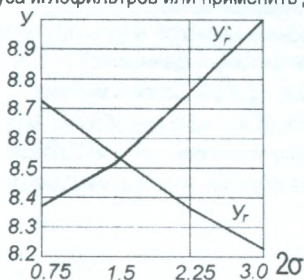
где  $\Phi$  – коэффициент фильтрационного сопротивления,  $\text{м}^{-1}$  (равный 1; 0,8; 0,7; 0,6  $\text{м}^{-1}$  при шаге иглофильтров соответственно 0,75; 1,5; 2,25; 3,0 м);

$m'$  – толщина потока на линии иглофильтров, м (при напорном потоке  $m' = m$ , при безнапорном  $m' = y$ ).

Значения  $y'_a$  и  $y_2$  определяют для всех значений ( $2G$ ) и строят кривые (см. рис. 6.8).

Если кривые пересекутся в интервале между двумя значениями  $2G$  (см. рис. 6.8), то за расчетное следует принимать меньшее из значений  $2G$  и соответствующее ему  $y_2$ .

Если кривые не пересекутся в интервале построения и значения  $y'_a > y_2$ , то из этого следует, что насос установлен высоко и не может обеспечить понижение уровня воды до требуемой отметки. В таком случае необходимо опустить насос (не более чем на 0,5 м), установить два яруса иглофильтров или применить другой способ водопонижения.



**Рисунок 6.8 – Графическое изображение  $y'_a$  и  $y_2$  при различном шаге установки иглофильтров**

По величине  $y_2$  определяют глубину погружения иглофильтров в грунт:

$$l_u = y_u - y_2 + l_{\phi} + 0,5 \text{ м,} \quad (6.19)$$

где  $l_u$  – глубина погружения иглофильтров в грунт от оси насоса, м;

$l_{\phi}$  – длина фильтрового звена с наконечником.

Тогда оптимальная длина иглофильтров равна:

$$l_u^{\text{опт}} = l_u - 0,8 h_n, \text{ м,} \quad (6.20)$$

где  $h_n$  – превышение оси насоса над уровнем земли, м.

При этом верх иглофильтров будет находиться на высоте 10...20 см над уровнем земли.

По оптимальной длине иглофильтров подбираем их истинную длину, которая должна быть максимально близкой к оптимальной и определяется из выражения:

$$l_u = l_{\phi} + 1,5 \cdot n + 3 \cdot n_1, \text{ м} \quad (6.21)$$

где  $n$  и  $n_1$  – количество надфильтровых звеньев длиной 1,5 и 3,0 м.

Насосные установки следует устанавливать в середине коллектора. Каждая установка должна состоять из рабочего и резервного насоса с подводом к ним электроэнергии от двух независимых источников.

Для полного осушения выемки уровень грунтовых вод должен быть ниже ее дна на определенную глубину. При этом должно соблюдаться условие:

$$1,5h_p \geq S \geq h_p + e + 0,5 \quad (6.22)$$

При двух и более рабочих насосах количество резервных насосов должно быть не менее 50%.

Расчет УВВ ведется по методике ЛИУ. При этом высота всасывания принимается равной 8,5...9 м при коэффициенте фильтрации менее 1 м/сут и 8...8,5 м - при коэффициенте фильтрации 1...2 м/сут. Максимальная длина коллектора на одну установку принимается не более 54 м. Длина одного звена коллектора составляет 4,5 м. Глубина погружения иглофильтров может быть принята меньше значений, полученных по формуле (6.19), но верх фильтровых звеньев не должен превышать уровень  $y_2 + e$ .

Пример 4.

Необходимо подобрать и выполнить расчет системы глубинного водопонижения для представленного на рис. 6.9, 6.10 котлована при следующих исходных данных:

- коэффициент фильтрации грунта –  $K = 0,7$  м/сут;
- мощность водоносного слоя –  $H = 8$  м;
- разработка котлована производится экскаватором со сменным оборудованием «прямая лопата», т.е. на дно котлована устраивается въезд;
- глубина котлована –  $h_k = 3$  м;
- глубина залегания грунтовых вод –  $h_{гп} = 1,2$  м.

Для глубинного водопонижения используем легкие иглофильтровые установки (ЛИУ), т.к. коэффициент фильтрации грунта  $K = 0,7$  м/сут и необходимо понижение уровня грунтовых вод в точках погружения иглофильтров  $h_n \leq 6,5$  м (см. с.19).

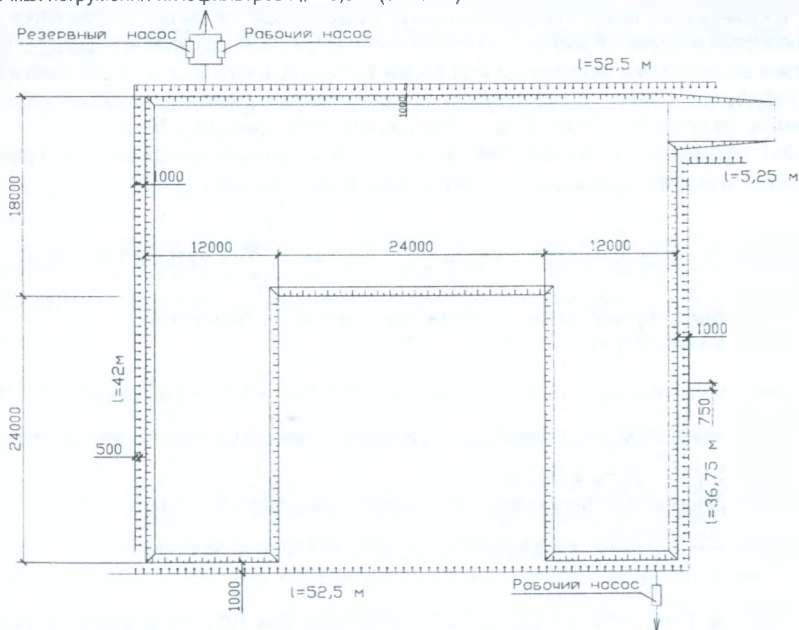
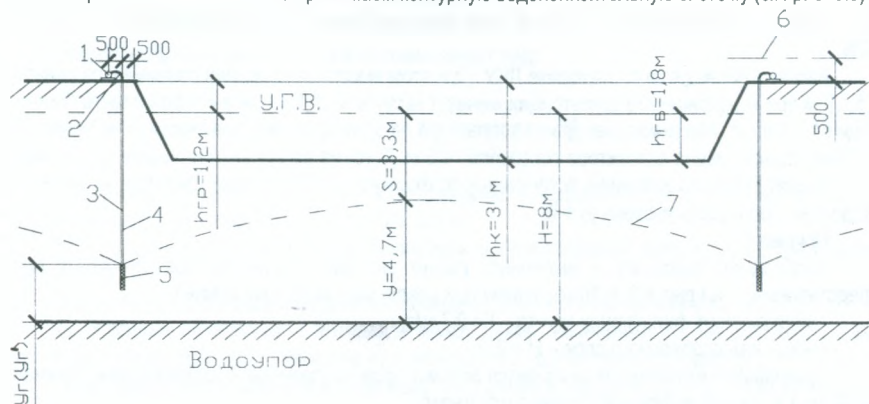


Рисунок 6.9 - Схема контурной водопонижительной системы из ЛИУ

По глубине установки используем одноярусную (рис.6.10) схему установки водопонижительной системы.

По расположению в плане принимаем контурную водопонижительную систему (см. рис. 6.9).



- 1 – всасывающий коллектор; 2 – гибкий шланг; 3 – иглофильтр; 4 – надфильтровое звено иглофильтра; 5 – фильтровое звено; 6 – ось насоса; 7 – депрессионная воронка

**Рисунок 6.10 - Расчетная схема одноярусной иглофильтровой установки контурных систем**

Расчет ЛИУ производим в следующем порядке:

1. Размещаем в плане иглофильтры (контур иглофильтров, так как шаг иглофильтров пока неизвестен) и коллектор водопонижительной системы (рис. 6.9), при этом иглофильтры располагаем на расстоянии не менее 0,5 м от бровки котлована, а коллектор – на расстоянии 0,5 от иглофильтров. Причем длина прямых участков коллектора должна быть кратна 5,25 м, а максимальная длина коллектора на одну установку не должна превышать 105 м.

2. По формуле (6.5) находим приведенный радиус водопонижительной системы, предварительно определив площадь, ограниченную контуром иглофильтров (рис.6.9):

$$F_{\text{и}} = 49 \cdot 43 + 6,25(2,5 + 5,25)/2 = 2131 \text{ м}^2; \quad A = \sqrt{\frac{F_{\text{и}}}{\pi}} = (2131/3,14)^{0,5} = 26 \text{ м.}$$

3. Находим требуемое понижение уровня грунтовых вод по формуле (6.6):

$$S = h_{\text{гв}} + e + 0,5 = 1,8 + 0,5 + 1 = 3,3 \text{ м}$$

При этом:  $h_{\text{гв}} = h_{\text{к}} - h_{\text{гп}} = 3 - 1,2 = 1,8 \text{ м}$ ;  $e = \sqrt{\frac{1}{k}} = (1/0,7)^{0,5} = 1,2 \text{ м} > 1 \text{ м}$  (принимаем  $e = 1 \text{ м}$ )

4. По формуле (6.4.) определяем радиус депрессии (влияния) водопонижительной системы:

$$R = A + 2 \cdot S \cdot \sqrt{kH} = 26 + 2 \cdot 3,3(0,7 \cdot 8)^{0,5} = 41,6 \text{ м}$$

5. Находим приток грунтовых вод к водопонижающей системе по формуле (6.1):

$$Q_{\text{г}} = \frac{2\pi \cdot m k (H - Y)}{\ln\left(\frac{R}{A}\right)} = 2 \cdot 3,14 \cdot 6,35 \cdot 0,7(8 - 4,7)/\ln(41,6/26) = 196 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

При этом:  $Y = H - S = 8 - 3,3 = 4,7 \text{ м}$ ;  $m = (H + Y)/2 = (8 + 4,7)/2 = 6,35 \text{ м}$  (при безнапорной фильтрации)

Приток воды к водопонижительной системе в час составляет:  $Q_c' = 196/24 = 8,2 \text{ м}^3/\text{час}$ .

6. Зная общую длину коллектора системы  $P_k$  (см. рис. 6.9) и суммарный приток воды к системе  $Q_c'$ , по графику (рис. 6,5) определяем предельную длину коллектора на один насосный агрегат:  $L_k = 105 \text{ м}$ .

7. Устанавливаем число установок в системе по выражению (6.8):  $N = \frac{P_k}{L_k} = 189 / 105 = 1,8 \text{ шт.}$

Принимаем  $N = 2 \text{ шт.}$ , после чего окончательно дорабатываем схему размещения иглофильтров и коллектора на рис. 6.9. В случае изменения расстояния между иглофильтрами и бровкой котлована корректируем ранее выполненные расчеты.

При этом проектируемая длина коллектора на каждую из установок будет равна (должна быть кратна 5,25 м):  $L_{k1} = 94,5 \text{ м}$ ;  $L_{k2} = 94,5 \text{ м}$ .

Приток воды к одной установке в соответствии с формулами (6.10, 6.12) равен:

$$Q_y = 196 / 2 = 98 \text{ м}^3/\text{сут}; \quad Q_y = \frac{Q_v}{24} = 98/24 = 4,1 \text{ м}^3/\text{час}.$$

8. Далее, принимая шаг иглофильтров кратным 0,75 м, для каждого случая определяем число иглофильтров в установке и приток воды к каждому из них по формулам (6.13, 6.14).

Сразу рассматриваем максимально возможный шаг  $2G = 3 \text{ м}$ :

$$n = \frac{L_k}{2G} = 94,5/3 = 31 \text{ шт}; \quad q = \frac{Q_y}{n} = 4,1/31 = 0,13 \text{ м}^3/\text{час} > q_{\text{пред}} = 0,07 \text{ м}^3/\text{час}.$$

При этом, максимально возможный шаг принимаем из условия, чтобы приток воды не превышал предельно допустимого дебита иглофильтра, определяемого по графику (рис. 6.6),  $q_{\text{пред}} = 0,07 \text{ м}^3/\text{час}$ .

При шаге 1,5 м:  $n = 94,5/1,5 = 63 \text{ шт}$ ;  $q = 4,1/63 = 0,065 \text{ м}^3/\text{час} < q_{\text{пред}} = 0,07 \text{ м}^3/\text{час}$ .

При шаге 0,75 м:  $n = 94,5/0,75 = 126 \text{ шт}$ ;  $q = 4,1/126 = 0,033 \text{ м}^3/\text{час} < q_{\text{пред}} = 0,07 \text{ м}^3/\text{час}$ .

Таким образом, водопонижительная система может нормально работать при шаге иглофильтров 1,5 и 0,75 м.

9. Для каждого из возможных шагов иглофильтров определяем высоту от водоупора до сниженного уровня грунтовых вод у иглофильтров из условия движения воды в иглофильтровой системе  $y'_2$  и условия фильтрации воды в грунте  $y_2$  по формулам (6.15, 6.18), соответственно.

При шаге 1,5 м:

$$y'_2 = y_n - h_B + \xi \frac{Q_y}{K_0 n} + 1,34 \cdot 10^7 \xi_1 Q_y^2 = 9,7 - 6 + 0,3 \cdot 98 / (63 \cdot 10) + 1,34 \cdot 10^7 \cdot 98^2 \cdot 3,6 = 3,75 \text{ м}$$

При этом высота расположения оси насоса над водоупором составляет (см. рис. 6.10)  $y_n = 8 + 1,2 + 0,5 = 9,7 \text{ м}$ ; расчетная вакуумметрическая высота всасывания насоса равна  $h_B = 6 \text{ м}$

(с. 25); коэффициент фильтрации грунта в прифильтровой обсыпке составляет  $K_0 = 10 \text{ м/сут}$ ; величина  $\xi$  при сроке службы до 1 месяцев равна  $\xi = 0,3 \text{ м}^{-1}$ ; коэффициент потерь напора во всасывающей системе  $\xi_1$  по графику рис. 6.7 при  $l_n = (94,5 + 5,25) / 2 = 49,9 \text{ м}$  (при четном количестве звеньев коллектора системы) составляет  $\xi_1 = 3,6 \text{ сук}^2 / \text{м}^5$ .

$$y_r = H - S \left( 1 + \frac{2\pi \cdot \Phi \cdot m'}{N \cdot n \cdot \ln \frac{R}{A}} \right) = 8 - 3,3 \left[ 1 + 6,28 \cdot 0,8 \cdot 4,7 / (2 \cdot 63 \cdot 0,47) \right] = 3,38 \text{ м}$$

При этом: коэффициент фильтрационного сопротивления при шаге 1,5 м составляет  $\Phi = 0,8 \text{ м}^{-1}$ ;

толщина потока на линии иглофильтров при безнапорном потоке  $m' = y = 4,7 \text{ м}$ .

При шаге 0,75 м:

$$y'_2 = 9,7 - 6 + 0,3 \cdot 98 / (126 \cdot 10) + 1,34 \cdot 10^{-7} \cdot 98^2 \cdot 3,35 = 3,72 \text{ м}$$

$$\xi_1 = 3,35$$

$$y_r = 8 - 3,3 \left[ 1 + 6,28 \cdot 1 \cdot 4,7 / (2 \cdot 126 \cdot 0,47) \right] = 3,88 \text{ м}$$

$$\Phi = 1$$

Условие  $y'_r < y_r$  соблюдается только при шаге 0,75 м, поэтому принимаем окончательно шаг иглофильтров 0,75 м.

10. Зная  $y_r$  при принятом шаге иглофильтров, определяем глубину погружения иглофильтров в грунт по формуле (6.19):

$$l_n \geq y_n - y_r + l_\phi + 0,5 = 9,7 - 3,88 + 0,98 + 0,5 = 7,33 \text{ м}$$

При этом длину фильтрового звена с наконечником принимаем  $l_\phi = 0,98 \text{ м}$ .

По расчетной длине иглофильтров подбираем их истинную длину, которая определяется из выражения (6.21):  $l_n = l_\phi + 1,5n + 3n_1$ .

Окончательно иглофильтр собираем из двух звеньев длиной 3 м, одного звена 1,5 м и фильтрового звена длиной 0,98 м.

Насосные установки устанавливаем в середине коллектора. Каждая установка должна состоять из рабочего и резервного насоса с подводом к ним электроэнергии от двух независимых источников.

При двух и более рабочих насосах количество резервных насосов должно быть не менее 50% ( $2 \cdot 0,5 = 1$  шт), поэтому принимаем 1 резервный насос (см. рис. 6.9).

## 7. Разработка мероприятий по производству работ в зимнее время

Зимними условиями считается, если среднесуточная температура наружного воздуха ниже  $+5^\circ\text{C}$  или в течение суток наблюдается ее понижение до  $0^\circ\text{C}$  (см. [9]).

Рекомендуемые способы выдерживания бетонных и железобетонных конструкций (см. [9]) в зависимости от модуля поверхности приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 — Способы выдерживания бетона

Вид конструкций	Минимальная температура воздуха, $^\circ\text{C}$ , до	Способ выдерживания
1	2	3
Массивные бетонные и железобетонные фундаменты, блоки и плиты с модулем поверхности до $3 \text{ м}^1$	-15 -25	Термос. Термос с применением ускорителей твердения бетона. Термос с применением противоморозных добавок.

Продолжение таблицы 7.1

1	2	3
Фундаменты под конструкции зданий и оборудование, массивные стены и т. п. с модулем поверхности от 3 до 6 м <sup>2</sup>	-15	Термос, в том числе с применением противоморозных добавок и ускорителей твердения. Обогрев в греющей опалубке.
	-25	Предварительный разогрев бетонной смеси. Периферийный электропрогрев.
Колонны, балки, прогоны, элементы рамных конструкции, свайные ростверки, стены и перекрытия с модулем поверхности от 6 до 10 м <sup>2</sup>	-15	Обогрев в греющей опалубке, греющими проводами с применением ускорителей твердения. Предварительный разогрев бетонной смеси, индукционный обогрев и инфракрасный нагрев.
	-25	Обогрев в греющей опалубке, греющими проводами и термоактивными гибкими покрытиями (ТАГП) с применением противоморозных добавок и ускорителей твердения.
Полы, перегородки, плиты перекрытий, тонкостенные конструкции с модулем поверхности от 10 до 20 м <sup>2</sup>	-25	Обогрев в греющей опалубке, греющими проводами и термоактивными гибкими покрытиями (ТАГП) с применением противоморозных добавок и ускорителей твердения.
<i>Примечание</i> — Противоморозные добавки, как правило, следует применять в комплексе с пластифицирующими добавками.		

Основание, на которое укладывается бетонная смесь, а также температура основания, температура арматуры и способ укладки должны исключать возможность замерзания смеси в зоне контакта с основанием и арматурой.

При выдерживании бетона в конструкции методом термоса, при предварительном разогреве бетонной смеси, а также при применении бетона с противоморозными добавками допускается укладывать смесь на неотогретое непучинистое основание (подготовку) или на бетон, если по расчету в зоне контакта на протяжении расчетного периода выдерживания бетона не произойдет его замерзание.

При невозможности соблюдения данного условия основание отогревают на глубину промерзания либо на 300 мм, если глубина промерзания более 300 мм.

Пучинистые основания отогревают во всех случаях на глубину промерзания либо на 500 мм, если глубина промерзания более 500 мм.

Бетонирование густоармированных конструкций с арматурой диаметром более 24 мм, арматурой из жестких прокатных профилей или с крупными металлическими закладными частями следует выполнять с предварительным отогревом металла до положительной температуры или местным вибрированием смеси в приарматурной и опалубочной зонах, за исключением случаев укладки предварительно разогретых бетонных смесей (при температуре смеси выше 45 °С). Продолжительность вибрирования бетонной смеси должна быть увеличена не менее чем на 25 % по сравнению с летними условиями.

Перед укладкой бетонной смеси поверхности стыков сборных железобетонных элементов, рабочих швов монолитных конструкций, арматура, закладные части и опалубка должны быть очищены от снега и наледи.

Неопалубленные поверхности конструкций следует укрывать паро- и теплоизоляционными материалами непосредственно по окончании бетонирования.

Выпуски арматуры забетонированных конструкций должны быть открыты или утеплены на высоту (длину) не менее 0,5 м.

В зимних условиях необходимо обеспечить приобретение бетоном до момента его замерзания прочности не ниже критической (см. табл. П 5.1), после чего замораживание уже не вносит нарушений в структуру бетона и он, оказавшись после оттаивания в нормальных для твердения условиях, набирает проектную прочность. Поэтому критическая прочность бетона к моменту возможного замерзания должна быть указана в проекте производства работ.

При выборе способа выдерживания бетона следует в первую очередь рассмотреть возможность использования способа термоса, способа термоса с добавками-ускорителями твердения и способа термоса с предварительным электроразогревом. При невозможности получить с помощью этого способа требуемую прочность бетона в заданные сроки необходимо последовательно рассмотреть возможность применения бетона с противоморозными добавками, способов электротермообработки, обогрева паром, горячим воздухом, в тепляках.

Способ термосного выдерживания бетона состоит в том, что уложенный бетон, при строго определенных условиях (температуре наружного воздуха, скорости ветра, коэффициента теплопередачи ограждений, массивности конструкций, тепловыделении цемента и начальной температуре бетона), может приобрести заданную прочность за время остывания от своей начальной температуры ( $t_{б,н}$ ) до некоторой конечной ( $t_{б,к}$ ).

Количество тепла в бетоне, полученное при нагреве составляющих и выделенное цементом в период твердения, должно быть не меньше количества расходуемого тепла (теплопотерь) при остывании конструкции до конечной температуры, т.е. до получения заданной прочности бетона.

Расчет термосного выдерживания производится в следующем порядке:

А. Предварительно по приложению [10] подбираются:

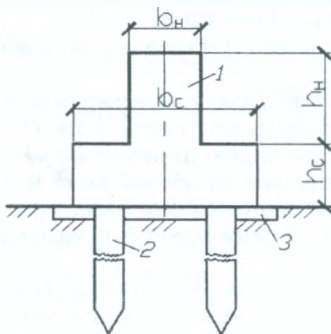
- транспортное средство для доставки бетонной смеси на объект (предпочтение следует отдавать утепленным автобетоновозам или автобетоносмесителям);
- способ и средства для подачи бетонной смеси в конструкцию или рабочую зону.

Б. Определяется модуль поверхности  $M_n = \frac{F_T}{V}$ , м<sup>-1</sup> (7.1)

где  $F_T$  - площадь поверхности остывания железобетонной конструкции, м<sup>2</sup>;

$V$  - объем железобетонной конструкции, м<sup>3</sup>.

При расчете  $F_T$  не учитывают площадь оснований, отогретых перед укладкой бетона.



1 – растверк; 2 – свая; 3 – подготовка  
Рисунок 7.1 - Схема растверка с подошвой



Для ленточного ростверка (фундамента) достаточно рассмотреть участок длиной 1 м, в этом случае при сечении расположенного на отогретом основании ростверка, представленном на рис. 7.1, модуль поверхности составляет:

$$M_n = \frac{2(k_x + k_y) + b_x}{b_c \cdot h_c + b_n \cdot h_n}, \text{ м}^{-1} \quad (7.2)$$

В. Зная марку и вид цемента, используемого для приготовления бетонной смеси (БС), устанавливаем температуру БС на выходе из бетоносмесителя (см. табл. П 5.1 или [9], табл. 2).

Г. Находим начальную температуру  $t_{6н}$  уложенной БС в опалубку ростверка по формуле:

$$t_{6н} = t_{см} (1 - \sum \Delta t_i) + t_{вн} \cdot \sum \Delta t_i, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7.3)$$

где  $t_{см}$  - температура БС на выходе из бетоносмесителя, град;

$t_{вн}$  - температура наружного воздуха, град;

$\sum \Delta t_i$  - суммарное снижение температуры БС при всех операциях и перепаде температур в  $1^\circ\text{C}$ , град/град.

$$\sum \Delta t_i = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 + \Delta t_{5+6}, \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{C} \quad (7.4)$$

где  $\Delta t_1$  - снижение температуры БС при ее загрузке в транспорт и перепаде температур в  $1^\circ\text{C}$ , град/град;

$\Delta t_2$  - то же, при транспортировании БС, град/град;

$\Delta t_3$  - то же, при разгрузке бетонной смеси, град/град;

$\Delta t_4$  - то же, при подаче бетонной смеси, град/град, град/град;

$\Delta t_5$  - то же, при укладке БС в опалубку, град/град;

$\Delta t_6$  - то же, при заглаживании, гидро- и теплоизоляции поверхности, град/град.

Время приготовления  $\tau_{пр}$  БС определяем по формуле:

$$\tau_{пр} = \frac{V_6}{\Pi}, \text{ мин}, \quad (7.5)$$

где  $V_6$  - объем бетонной смеси, перевозимой транспортным средством за один рейс (принимают по характеристике транспортного средства и конкретным условиям производства работ),  $\text{м}^3$ ;

$\Pi$  - производительность смесителя бетоносмесительного узла (БСУ),  $\text{м}^3/\text{мин}$ .

$$\Pi = V_{см} \cdot \beta \cdot n, / 60, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (7.6)$$

где  $V_{см}$  - объем смесителя на БСУ,  $\text{м}^3$ ;

$\beta$  - коэффициент выхода бетонной смеси, определяют при расчете состава бетона в зависимости от параметров бетоносмесительных установок или принимают по табл. П5.3;

$n$ , - расчетное количество замесов бетоносмесителя в час с учетом конкретных условий приготовления бетона, принимаемое по табл. П 5.3.

Время выгрузки  $\tau_1$  БС в транспорт находим по выражению:

$$\tau_1 = \tau_{см} \cdot n_{см}, \text{ мин}, \quad (7.7)$$

где  $\tau_{см}$  - продолжительность выгрузки бетоносмесителя, принимаемая равной 0,25-0,5 мин для смесителей принудительного действия и 0,25 мин — для гравитационных смесителей;

$n_{см}$  - количество замесов бетоносмесителя, необходимое для загрузки транспортного средства ( $V_{ТС} = V_6$ ) на один рейс.

$$n_{см} = V_{см} / (V_{см} \cdot \beta) \quad (7.8)$$

$$\Delta t_1 = \Delta t'_1 \cdot \tau_1, \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{C} \quad (7.9)$$

где  $\Delta t'_1$  - относительное снижение температуры БС при ее выгрузке из бетоносмесителя в транспорт в течение одной минуты и перепаде температур в  $1^\circ\text{C}$ ,  $^\circ\text{C}/(^\circ\text{C} \cdot \text{мин})$  (см. табл. П 5.2 или [9], табл. 3).

$$\Delta t_2 = \Delta t'_2 \cdot \tau_2, \quad ^\circ\text{C}/^\circ\text{C}, \quad (7.10)$$

где  $\Delta t'_2$  - относительное снижение температуры БС при транспортировании в течение одной минуты и перепаде температур в  $1^\circ\text{C}$ , град/ (град·мин) (см. табл. П 5.2 или [9], табл. 3);

$\tau_2$  - время транспортирования БС, мин.

$$\tau_2 = \tau_{\text{воз}} + \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{ож}}, \quad \text{МИН}, \quad (7.11)$$

где  $\tau_{\text{воз}} = \tau_{\text{пр}} - \tau_1$  - продолжительность нахождения транспортного средства на погрузке за вычетом продолжительности загрузки смеси, мин;

$\tau_{\text{пр}}$  - продолжительность транспортирования БС, мин;

$\tau_{\text{ож}}$  - длительность ожидания выгрузки бетонной смеси, мин.

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{60L}{V_{\text{сп}}}, \quad \text{МИН}, \quad (7.12)$$

где  $L$  - дальность транспортирования БС, км;

$V_{\text{сп}}$  - средняя скорость транспортирования БС, км/ час (см. табл. П 5.4).

Можно  $V_{\text{сп}}$  принимать равной 30 и 15 км/ч для дорог с жестким и мягким покрытием, соответственно (см. [9], п.5.3.1.3).

$$\Delta t_3 = \Delta t'_3 \cdot \tau_3, \quad ^\circ\text{C}/^\circ\text{C}, \quad (7.13)$$

где  $\Delta t'_3$  - относительное снижение температуры БС при ее выгрузке из транспорта в течение одной минуты и перепаде температур в  $1^\circ\text{C}$ ,  $^\circ\text{C}/(^\circ\text{C} \cdot \text{мин})$  (см. табл. П 5.2 или [9], табл. 3);

$\tau_3$  - время разгрузки, мин.

Продолжительность выгрузки бетонной смеси в приемное устройство (бункер, бадью)  $\tau_3$ , мин, определяют по формулам 7.15 или 7.16.

$$\tau_3 = \frac{V_3}{V_{\text{выг}}}, \quad \text{МИН}, \quad (7.14)$$

где  $V_{\text{выг}}$  - скорость выгрузки транспортных средств.

Для автобетоносмесителей  $V_{\text{выг}}$  следует принимать от 0,25 до 1,0 м<sup>3</sup>/мин, для прочих транспортных средств — от 0,5 до 2,0 м<sup>3</sup>/мин.

В случае использования автосамосвалов  $\tau_3$  следует определять по выражению:

$$\tau_3 = \frac{H_{\text{вр}} \cdot V_3 \cdot 60 \cdot K_3}{N_p \cdot n_{\text{з}}}, \quad \text{МИН}, \quad (7.15)$$

где  $H_{\text{вр}}$  - норма времени на разгрузку (прием БС), чел - час (см. [12]);

$N_p$  - количество рабочих в звене, чел;

$n_{\text{з}}$  - принятое количество звеньев, шт. (рекомендуется принимать два звена);

$V_3$  - объем перевозимой за один рейс БС, м<sup>3</sup>;

$K_3$  - коэффициент, учитывающий зимние условия (см. раздел 8).

При подаче БС в бадьях  $\Delta t_4 = \Delta t'_4 \cdot H$ ,  $^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$ , (7.16)

где  $\Delta t'_4$  - относительное снижение температуры бетонной смеси при подаче ее в опалубку в бункере (бадье) краном или подъемником на 1 м ее перемещения, принимаемое по поз. 3 табл. П.5.2,  $^\circ\text{C}/(^\circ\text{C} \cdot \text{м})$ .

В соответствии с рис.7.2 высота подачи бетонной смеси краном в бадьях определяется по выражению:

$$H = h + h_1 + h_6 + h_{ca} - h_{ca}, \text{ м} \quad (7.17)$$

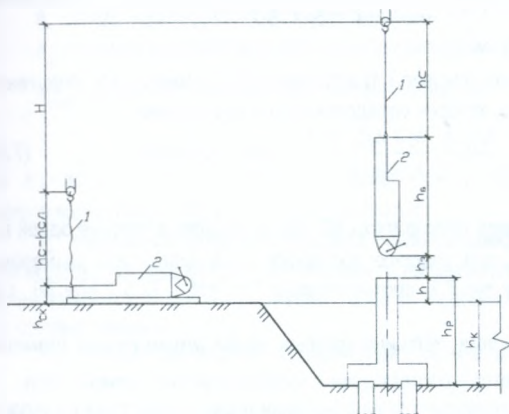
где  $h$  - превышение верха ростверка над уровнем стоянки крана, м;

$h_1 = 0,5$  - величина запаса, м;

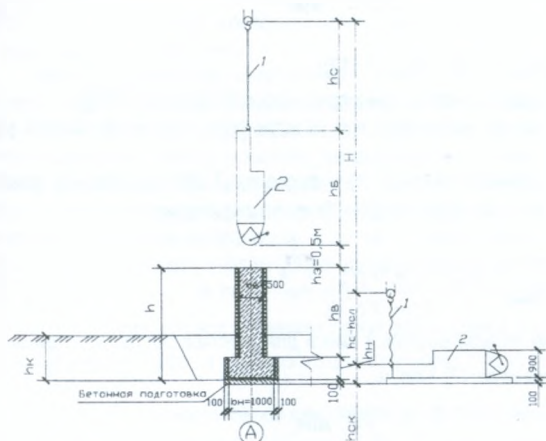
$h_6$  - высота бадьи в процессе ее подачи к месту укладки, м;

$h_{ca} = 0,5 \dots 1$  - величина слабины стропов, необходимая для строповки бадьи, м;

$h_{ca}$  - превышение точки зацепления горизонтально лежащей бадьи над уровнем стоянки крана, м.



1 - двухветвевая строп;  
2 - поворотная бадья  
**Рисунок 7.2 - Схема к определению высоты подачи бетонной смеси краном в бадьях, при расположении крана на борке выемки**



1 - двухветвевая строп;  
2 - поворотная бадья  
**Рисунок 7.3 - Схема к определению высоты подачи бетонной смеси краном в бадьях, при расположении крана на дне выемки**

При расположении крана на борке

$$h = h_p - h_k \text{ м.} \quad (7.18)$$

$$\text{При расположении крана на дне выемки } h = h_p, \text{ м.} \quad (7.19)$$

где  $h_p$  - высота ростверка, м;

$h_n$  - глубина котлована (выемки), м.

$$\text{При подаче БС по бетоноводу } \Delta t_4 = \Delta t'_6 \cdot L_4, \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{C}, \quad (7.20)$$

где  $\Delta t'_6$  - относительное снижение температуры бетонной смеси при подаче ее в опалубку по бетоноводу на 1 м ее перемещения, принимаемое по поз. 3 табл. П.5.2,  $^\circ\text{C}/(^\circ\text{C} \cdot \text{м})$ ;

$L_4$  - длина бетоновода, м.

$$\Delta t_5 = \Delta t'_5 \cdot \tau_5, \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{C}, \quad (7.21)$$

где  $\Delta t'_5$  - относительное снижение температуры БС при ее укладке в опалубку в течение одной минуты и перепаде температур в  $1^\circ\text{C}$ ,  $^\circ\text{C}/(^\circ\text{C} \cdot \text{мин})$  (см. табл. П.5.2 или [9], табл. 3);

$\tau_5$  - время укладки БС в опалубку, мин.

В случае ступенчатого фундамента (см. рис.7.1) в формулу (7.21) вместо  $\Delta t'_5$  подставляется средневзвешенное значение  $\Delta t'_{5\text{ср}}$ , которое определяется по выражению:

$$\Delta t'_{5\text{ср}} = \frac{\Delta t'_{51} \cdot b_n \cdot h_n + \Delta t'_{52} \cdot b_c \cdot h_c}{b_n \cdot h_n + b_c \cdot h_c}, \text{ град}/(\text{град} \cdot \text{мин}), \quad (7.22)$$

где  $\Delta t'_{51}$  и  $\Delta t'_{52}$  - относительное снижение температуры БС при ее укладке в течение одной минуты и перепаде температур в  $1^\circ\text{C}$  для участков ростверка с минимальными размерами: шириной  $b_n$  и высотой ступени  $h_c$  на рис.7.1, соответственно (см. табл. П.5.2 или [9], т.3),  $^\circ\text{C}/(^\circ\text{C} \cdot \text{мин})$ .

При укладке бетонной смеси слоями, толщина которых менее минимальных размеров ростверка (фундамента),  $\Delta t'_5$  принимается в соответствии с толщиной укладываемого слоя.

Время укладки бетонной смеси определяется на основании норм затрат труда на укладку (см. формула 7.23) или производительности при вибрировании БС (см. формула 7.25).

$$\tau_5 = \frac{60 \cdot H^y \cdot V \cdot K_3}{E \cdot N \cdot \rho^{n_{3в}}}, \text{ мин} \quad (7.23)$$

где  $H^y_{\text{сп}}$  - норма времени на укладку БС, чел - час (см. [12]);

$K_3$  - коэффициент, учитывающий зимние условия производства работ (см. [13]);

$E = 10 \text{ м}^3$  - единица измерения объема работ при укладке бетонной смеси по НЗТ (см. [12]).

В случае ступенчатого фундамента (см. рис.7.1) в формулу (7.23) подставляем вместо  $H^y_{\text{сп}}$  средневзвешенное значение  $H^y_{\text{спср}}$ , которое определяется по выражению:

$$H^y_{\text{спср}} = \frac{H^y_{\text{сп1}} \cdot b_n \cdot h_n + H^y_{\text{сп2}} \cdot b_c \cdot h_c}{b_n \cdot h_n + b_c \cdot h_c}, \text{ чел} \cdot \text{ч}, \quad (7.24)$$

где  $H^y_{\text{сп1}}$  и  $H^y_{\text{сп2}}$  - норма времени на укладку бетонной смеси для участков ростверка с шириной  $b_n$  и  $b_c$ , соответственно, принимаемые по [12], чел.ч.

$$\tau_5 = \frac{V \cdot \delta}{\Pi}, \text{ мин.} \quad (7.25)$$

где  $\Pi$  - производительность укладки бетонной смеси в опалубку (захватку) из условия вибрирования,  $\text{м}^3/\text{мин}$ .

Рекомендуемая высота одновременно укладываемого слоя — до 400 мм для бетонных смесей на плотных заполнителях и до 200 мм — для смесей на пористых легких заполнителях.

Допустимая высота слоя бетона должна быть не более  $1,25 l_{\text{вибр}}$ , где  $l_{\text{вибр}}$  — длина вибро-возбудителя глубинного вибратора, м.

$$P_{\text{в}} = K_{\text{в}} \cdot b_{\text{с}} \cdot d \cdot h_{\text{с}} \frac{60}{\tau_{\text{с}} + \tau_{\text{пер}}}, \text{ мин.} \quad (7.26)$$

где  $K_{\text{в}}$  - коэффициент использования вибратора, принимаемый равным 0,85;

$b_{\text{с}}$  - ширина слоя уплотняемой смеси в опалубке, м, (при  $b_{\text{с}} > d/2$  принимают равной  $d/2$ );

$d$  — диаметр сферы действия вибратора, м, который принимают по справочным данным (в расчетах допускается принимать  $d = 0,6-1$  м);

$h_{\text{с}}$  - высота слоя уплотняемого бетона, м;

$\tau_{\text{с}}$  - минимально необходимая продолжительность вибрирования, с;

$\tau_{\text{пер}}$  - продолжительность перестановки вибратора, принимаемая равной 5-10 с.

$$\tau_{\text{с}} = K_{\text{в}} \cdot \tau_{\text{с}}^{\text{д}} (1 - V_{\text{РС}}), \text{ мин.} \quad (7.27)$$

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

$\tau_{\text{с}}^{\text{д}}$  - предельное напряжение сдвига бетонной смеси, Па, которое рассчитывают по данным подбора состава бетона (его значение в расчетах следует принимать, при отсутствии расчетных данных для бетонных смесей марок по подвижности П1-П4 в пределах от 1500 до 500 Па, соответственно);

$V_{\text{РС}}$  — объем растворной составляющей в бетоне, м<sup>3</sup>.

$$V_{\text{РС}} = 1 - \text{Щ} / \rho_{\text{с}}, \text{ м}^3, \quad (7.28)$$

где  $\text{Щ}$  - содержание щебня в 1 м<sup>3</sup> смеси, кг;

$\rho_{\text{с}}$  - плотность зерен щебня, кг/м<sup>3</sup>.

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

Производительность укладки и уплотнения бетонной смеси с помощью виброреек определяют исходя из объема бетона захватки и затрат времени на распределение и виброуплотнение бетонной смеси. Следует учитывать, что параметры вибрирования виброреек характеризуются частотой  $f = 50$  Гц, а высота укладываемого слоя бетона должна быть не более 250 мм при однослойном расположении арматуры (по высоте конструкции) и не более 120 мм — при расположении арматуры в два слоя. При большей толщине слоев бетона его следует вначале уплотнять глубинным вибратором, а затем — виброреекой. В последнем случае производительность определяют с учетом общих затрат времени на уплотнение бетона.

$$\Delta t_{\text{с}} = \Delta t'_{\text{отд}} \cdot F_{\text{защ}} \cdot \Delta t'_{\text{вс}} \cdot \tau_{\text{вс}} + \Delta t'_{\text{под}} \cdot \tau_{\text{под}}, \text{ } ^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}, \quad (7.29)$$

где  $\Delta t'_{\text{отд}}$  - относительное снижение температуры смеси в процессе выполнения операций по заглаживанию и гидро- и теплоизоляции открытой поверхности бетона,  $^{\circ}\text{C}/(^{\circ}\text{C}\text{м}^2)$  (см. табл. П 5.2 или [9], табл. 3);

$\Delta t'_{\text{вс}}$ ,  $\Delta t'_{\text{под}}$  - относительное снижение температуры смеси в процессе выполнения операции по установке электродов и подключению их к сети, соответственно,  $^{\circ}\text{C}/(^{\circ}\text{C}\text{мин})$  (см. табл. П 5.2 или [9], табл. 3);

$F_{\text{н}}$  - площадь неопалубленной поверхности бетона захватки или конструкции, м<sup>2</sup>;

$t_{\text{н}}, \tau_{\text{н}}$  - продолжительность установки электродов и подключения их к сети (продолжительность навивки обмотки индуктора или сборки ее из инвентарных элементов, подключения греющих проводов и др.), соответственно, мин.

Д. Находится средняя температура остывания БС по формуле:

$$t_{\text{ср}} = t_{\text{ок}} + \frac{t_{\text{ок}} - t_{\text{ок}}}{1,03 + 0,181M_n + 0,006(t_{\text{ок}} - t_{\text{ок}})}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7.30)$$

где  $t_{\text{ок}}$  - конечная температура БС,  $^\circ\text{C}$ , которая должна обеспечивать указанный в табл. П 5.2 безопасный перепад температур и быть не менее  $5^\circ\text{C}$ .

При  $M_n \leq 4$  можно принимать  $t_{\text{ср}} = (t_{\text{ок}} + 5) / 2$ , при  $M_n = 5 \dots 8 - t_{\text{ср}} = t_{\text{ок}} / 2$ , при  $M_n = 9 \dots 12 - t_{\text{ср}} = t_{\text{ок}} / 3$ .

Е. Зная критическую прочность (п. в) и  $t_{\text{ср}}$  по табл. П5.5, П5.6, П5.7 определяем требуемое время остывания БС,  $\tau_{\text{тр}}$ , час.

Ж. По табл. П 5.8 устанавливаем на основании  $t_{\text{ср}}$  и  $\tau_{\text{тр}}$  тепловыделение 1 кг цемента  $Q$ , кДж / кг.

З. Пользуясь формулой Б.С. Скрамтаева - С.А. Миронова для расчета времени остывания БС, находим требуемый коэффициент теплопередачи опалубки  $k_{\text{тр}}$ :

$$k_{\text{тр}} = \frac{C_{\text{б}} \cdot \rho_{\text{б}} (t_{\text{ок}} - t_{\text{ок}}) + Q \cdot \gamma}{3,6 \cdot \tau_{\text{тр}} \cdot M_n (t_{\text{ср}} - t_{\text{ок}})}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}), \quad (7.31)$$

где  $C_{\text{б}}$  - удельная теплоемкость бетона, кДж/(кг·град);

$\rho_{\text{б}}$  - объемная масса бетона, кг/м<sup>3</sup>;

$Q$  - расход цемента на 1м<sup>3</sup> бетона, кг/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{с}} \approx 1,05$  кДж/(кг·град);  $\gamma_{\text{с}} \approx 2400$  кг/м<sup>3</sup>.

И. Задавшись видом утеплителя по табл. П 5.9 или типом опалубки по табл. П 5.10, определяем требуемую толщину утеплителя  $\delta_{\text{ут}}$  (предположив, что имеем одинаковый тип ограждения бетона) по формуле:

$$\delta_{\text{ут}} = \left( \frac{1}{k_{\text{тр}}} - \frac{1}{\alpha} - \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \lambda_{\text{ут}}, \text{ м} \quad (7.32)$$

где  $\alpha$  - коэффициент теплопередачи у наружной поверхности ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>· $^\circ\text{C}$ ) (см. табл. П 5.10);

$\delta_i$  - толщина  $i$ -го слоя ограждения (опалубки, гидроизоляции и т. д.);

$\lambda_i$  - коэффициент теплопроводности  $i$ -го слоя ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>· $^\circ\text{C}$ ) (см. табл. П 5.9);

$\lambda_{\text{ут}}$  - то же, принятого утеплителя.

При принятии конкретного типа опалубки по табл. П5.11

$$\delta_{\text{ут}} = \left( \frac{1}{k_{\text{тр}}} - \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{K_{\text{оп}}} \right) \lambda_{\text{ут}}, \text{ м}, \quad (7.33)$$

где  $K_{\text{оп}}$  - коэффициент теплопередачи принятого типа опалубки, Вт/(м<sup>2</sup>·град).

Полученное  $\delta_{\text{ут}}$  округляется в большую сторону до 1 см.

К. Т.к. имеются участки ограждения с разным составом слоев находится приведенный коэффициент теплопередачи  $k_{\text{прив}}$  по выражению:

$$k_{\text{прив}} = \frac{k_1 F_1 + k_2 F_2}{F_1 + F_2}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}). \quad (7.34)$$

где  $k_1$  - коэффициент теплопередачи для участков с утеплителем и опалубкой, Вт/(м<sup>2</sup>· $^\circ\text{C}$ );

$k_2$  - то же, для участков без опалубки, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta}{\lambda_{шт}}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)} \quad (7.35) \quad K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{осн}}{\lambda_{осн}}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)} \quad (7.36)$$

При  $k_{прив} \leq k_{пр}$  термосное выдерживание обеспечивается, в противном случае необходимо увеличить  $\delta_{шт}$ .

В случае, если задан срок термосного выдерживания  $\tau_{пр}$  и конкретный тип опалубки, расчетом определяют требуемую температуру разогрева бетонной смеси перед подачей и укладкой в следующем порядке:

а) После установления по табл. П5.1 критической прочности и  $t_{бк}$  по табл. П 5.5; 5.6; 5.7 определяют значение средней температуры бетона  $t_{ср}$  за расчетный период твердения.

При этом устанавливают рациональное для конкретных условий производства работ соотношение значения средней температуры  $t_{ср}$  и продолжительности его выдерживания (остывания) в опалубке.

б) Рассчитывают температуру предварительного разогрева  $t_{раз}$  бетонной смеси, которая обеспечивает принятую  $t_{ср}$  за планируемый период твердения бетона  $\tau_{пр}$  с учетом снижения температуры при подаче и укладке смеси в опалубку и конечной температуры бетона к моменту распалубки, по формуле:

$$t_{раз} = \frac{(t_{ср} - t_{бк})(1,03 + 0,181M_n)}{1 - 0,006(t_{ср} - t_{бк})} + t_{укл}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7.37)$$

где  $t_{вск}$  - снижение температуры при подаче и укладке бетонной смеси в опалубку, включая операции заглаживания, гидро- и теплоизоляции поверхности конструкции, °С.

$$t_{вск} = \frac{-t_{вск} \sum \Delta t_i}{1 - \sum \Delta t_i}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7.38)$$

$$\sum \Delta t_i = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3, \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{C} \quad (7.39)$$

в) В случае если отогреть арматуры, закладных деталей, опалубки, непучинистого грунтового основания (подготовки) или старого бетона перед укладкой бетонной смеси не производится, определяют температуру разогрева бетонной смеси  $t'_{раз}$ , °С, по формуле:

$$t'_{раз} = \frac{C_б \cdot \rho_б \cdot V_б \cdot t_{раз} - C_{см} \cdot m_{см} \cdot V_б (t_{ср} - t_{ис}) - Q_{осн} - Q_{осн}}{C_б \cdot \rho_б \cdot V_б + C_{см} \cdot m_{см} \cdot V_б + \sum_{i=1}^n C_i \cdot F_i \cdot \delta_i \cdot \rho_i + C_{осн} \cdot \rho_{осн} \cdot V_{осн}}, \quad (7.40)$$

где  $C_б, C_{см}, C_i, C_{осн}$  - соответственно, удельная теплоемкость уложенного бетона в сухом состоянии, стали,  $i$ -го слоя многослойной опалубки и материала основания конструкции, кДж/(кг·°С), определяемая по приложению А СНБ 2.04.01 для условий эксплуатации А и по табл. П 5.12;

$\rho_б, \rho_{осн}$  - средняя плотность бетона и основания, соответственно, кг/м<sup>3</sup>;

$V_б, V_{осн}$  - объем бетона и отогреваемого основания, соответственно, м<sup>3</sup>;

$m_{см}$  - удельный расход арматурной стали, кг/м<sup>3</sup>;

$F_i$  - площадь  $i$ -ой части опалубки (теплоотдающей поверхности), м<sup>2</sup>;

$\delta_i$  - толщина  $i$ -го слоя опалубки, м;

$\rho_i$  - плотность  $i$ -го слоя опалубки, кг/м<sup>3</sup>;

$Q_{оп}$  - тепловые затраты на нагрев опалубки, кДж;

$Q_{осн}$  - тепловые затраты на отопление основания, кДж.

$$Q_{осн} = (t_{осн} - t_{вн}) \sum_{i=1}^n C_i \cdot F_i \cdot \delta_i \cdot \rho_i, \quad (7.41)$$

$$Q_{осн} = C_{осн} \cdot \rho_{осн} \cdot V_{осн} \cdot (t_{осн} - t_{вн}), \quad (7.42)$$

$$V_{осн} = F_{осн} \cdot h_{осн}, \quad (7.43)$$

где  $F_{осн}$  - площадь отогреваемого участка старого бетона, грунта, подготовки, м<sup>2</sup>;

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

Уточненное значение температуры разогрева бетонной смеси  $t'_{раз}$ , °С, с учетом всех теплотерь, определяют по формуле:

$$t'_{раз} = t_{раз} + (t_{раз} - t'_{раз}). \quad (7.44)$$

Уточненное значение средней температуры бетона за период твердения  $t'_{ср}$  с учетом всех теплотерь на отогрев равно:

$$t'_{ср} = t_{ср} + \frac{t'_{раз} - t_{ср}}{1,03 + 0,181M_n + 0,006(t'_{раз} - t_{ср})} \cdot \text{°С}. \quad (7.45)$$

Г. Уточняют продолжительность остывания бетона в опалубке  $\tau_{ост}$ , ч, по формуле Б.Г. Скрамтаева — С.А. Миронова, в которой экзотермию (тепловыделение цемента) учитывают в варианте холодного термоса и не учитывают при предварительном разогреве бетонной смеси:

$$\tau_{ост} = \frac{C \cdot \delta \cdot \rho \cdot \delta (t'_{раз} - t_{ср}) + U \cdot \Xi}{3,6 \cdot K_T \cdot M_n (t'_{ср} - t_{на})}, \text{ час} \quad (7.46)$$

Если  $\tau_{ост} \geq \tau_{зад}$  термосное выдерживание при разогреве до температуры, равной  $t'_{раз}$ , обеспечено.

Д. На заключительном этапе определяют требуемую температуру бетонной смеси на выходе из бетоносмесителя по формуле:

$$t_{св} = \frac{t_{ср} - t_{на} \sum \Delta t_i}{1 - \sum \Delta t_i} \text{°С} \quad (7.47)$$

$$\sum \Delta t_i = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3, \text{°С/°С} \quad (7.48)$$

При этом в случае холодного термоса принимают  $t_{ср} = t'_{раз}$ , а при предварительном разогреве — по табл. П 5.1.

Предварительный электроразогрев смеси ведут электрическим током промышленной частоты при напряжении 220 – 380 В. Температура разогретых бетонных смесей колеблется от 70 до 90 °С (см. табл. П 5.1), время разогрева порции смеси 5 – 15 мин.

Электроразогрев бетонных смесей ведут в специально оборудованных электродами бадьях или в автосамосвалах. На строительной площадке вблизи места бетонирования оборудуют пост предварительного электроразогрева смеси.



Затраты электрической энергии на предварительный электроразогрев  $P_{пр}$ , кВт·ч, находят по выражению:

$$P_{пр} = \frac{0,001 \cdot K_1 \cdot U^2 \cdot V_6 \cdot \tau_{рн}}{R_{\Sigma} \cdot b^2 \cdot 60}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (7.49)$$

где  $U$  - электрическое напряжение (380 или 220 В);

$V_6$  - объем разогретой бетонной смеси, м<sup>3</sup>;

$\tau_{рн}$  - продолжительность разогрева бетонной смеси, мин (принимают от 5 до 15 мин - для бетонной смеси с крупностью зерен заполнителей 10 мм  $\tau_{рн} = 5$  мин, при крупности зерен заполнителей 40 мм  $\tau_{рн} = 15$  мин);

$R_{\Sigma}$  - усредненное электрическое сопротивление бетонной смеси, принимаемое для тяжелого бетона —  $R_{\Sigma} = 8$  Ом·м, для легкого бетона —  $R_{\Sigma} = 10$  Ом·м;

$b$  — расстояние между электродами, а также между электродами и стенками бункера, м;

$K_1$  — поправочный коэффициент, зависящий от разности температур после и до разогрева бетонной смеси, принимается по таблице П5.13.

Максимальную удельную электрическую мощность  $P_{max}$ , кВт, для разогрева бетонной смеси определяют по формуле:

$$P_{max} = \frac{0,001 \cdot U^2 \cdot V_6}{b^2 \cdot 4}, \text{ кВт} \cdot \text{м}. \quad (7.50)$$

Требуемую мощность трансформатора  $P_p$ , кВт, определяют по формуле:

$$P_p = \frac{P_{max}}{0,9 \cdot 1,3}, \text{ кВт} \cdot \text{м} \quad (7.51)$$

Максимальную силу тока  $I$ , А, для выбора подводящих кабелей определяют по формуле:

$$I = \frac{U \cdot V_6}{\sqrt{3 \cdot 4 \cdot b^2}}, \text{ А}. \quad (7.52)$$

Пример 5.

Требуется определить параметры метода «термоса» при устройстве монолитного ленточного фундамента (рис.7.4) при следующих исходных данных:

- удельный расход арматурной стали при коэффициенте армирования  $\alpha_s < 1\%$ ;  $m_{ст} = 20 \text{ кг/м}^3$ ;
- класс используемого тяжелого бетона плотностью  $2500 \text{ кг/м}^3$  – С12/15;
- удельный расход цемента ПЦ400 (содержание  $C_3A < 7\%$ ) – Ц =  $200 \text{ кг/м}^3$ ;
- район строительства – г. Брест;
- время выполнения работ – январь;
- расчетная температура наружного воздуха -  $t_{нв} = -10^\circ \text{C}$ ;
- скорость ветра –  $C = 5 \text{ м/с}$ ;
- опалубка по типу 4 по табл. П5.11;
- палуба опалубки из доски толщиной  $\delta_{оп} = 0,025 \text{ м}$ ;
- минеральная вата толщиной  $\delta_{ин} = 0,05 \text{ м}$ ;
- фанера толщиной  $\delta_{ф} = 0,004 \text{ м}$ ;
- сверху фундамент укрывается толем, полиэтиленовой пленкой и минватой (прошивные маты) толщиной 0,05 м (тип 9 по табл. П5.11);
- планируемая оборачиваемость опалубки  $\tau_{рп} = 2,5 \text{ сут}$ ;
- бетонная смесь приготавливается бетоносмесителем гравитационного действия объемом  $V_{см} = 1500 \text{ л}$ ;

- подача бетонной смеси производится краном в бадьях емкостью  $q = 0,8 \text{ м}^3$  с габаритами  $2,82 \times 1,15 \times 0,9 \text{ м}$  (см. прил., табл.6 [10]) слоями по  $0,5 \text{ м}$ ;
- дальность транспортирования бетонной смеси –  $L = 5 \text{ км}$ ;
- транспортирование бетонной смеси производится автобетоновозами СБ-124 с утепленным кузовом и с вместимостью кузова  $V_6 = 4 \text{ м}^3$ ;
- уплотнение бетонной смеси производится глубинным вибратором с гибким валом ИВ-67 с длиной рабочей части  $410 \text{ мм}$ ;
- предварительный отогрев площади основания, опалубки и арматуры не производится;
- грунт основания, промерзаемый на глубину более  $300 \text{ мм}$  – сугесь.

Расчет выполняем в следующем порядке:

1. Определяем модуль поверхности по выражению (7.1) с учетом того, что предварительный отогрев площади основания, опалубки и арматуры не производится:

$$M_n = \frac{2(0,5 + 2 + 1)}{0,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 2} = 4,7 \text{ м}^{-1}.$$

2. Так как  $M_n = 4,7 \text{ м}^{-1}$  в соответствии с табл. 7.1, принимаем для выдерживания бетона метод «термоса» с предварительным разогревом бетонной смеси.

3. Критическая прочность бетона при классе бетона С12/15 в соответствии с табл. П5.1 составляет не менее  $40\%$  от проектной прочности ( $f_{cm,sp} = 0,4 f_{cm}$ ).

4. По табл. П5.1, п.8 устанавливаем температуру бетона к началу снятия опалубки ( $t_{6к}$ ).

При коэффициенте армирования  $\alpha_s = \frac{m_{cm}}{\gamma_6} 100\% = \frac{20}{2500} 100\% = 0,8\% < 1\%$  и  $M_n = 4,7 \text{ м}^{-1}$

разность температур наружных слоев бетона и воздуха при распалубке не должна превышать  $20^\circ\text{C}$ . При  $t_{НВ} = -10^\circ\text{C}$  принимаем  $t_{6к} = 5^\circ\text{C}$ .

5. По табл. П5.5 интерполяцией определяем среднюю температуру твердения:

$$t_{\text{ср}} = 10 + \frac{(20 - 10)(40 - \frac{37 + 25}{2})}{\frac{50 + 40}{2} - \frac{37 + 25}{2}} = 10 + \frac{10(40 - 31)}{45 - 31} = 16,4^\circ\text{C}.$$

6. Определяем суммарное снижение температуры БС  $\sum \Delta t_i$  при подаче, укладке и уплотнении в опалубке и укрытии открытых поверхностей по выражению (7.39).

$$\sum \Delta t_i = \Delta t_4 + \Delta t_5 + \Delta t_6 = 0,012 + 0,144 + 0,0028 = 0,1588^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$$

Относительное снижение температуры БС при подаче в опалубку в бадьях (см. выражение (7.16)) равно:  $\Delta t_4 = \Delta t'_4 \cdot H = 0,0022 \cdot 5,27 = 0,012^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$ .

При этом  $\Delta t'_4 = 0,0022^\circ\text{C}/(^\circ\text{C} \cdot \text{м}) \rightarrow$  см. табл. П5.2, п.3.

$$H = h + h_1 + h_6 + h_{\text{ср}} - h_{\text{ср}} = 1,5 + 0,5 + 2,82 + 1 - 0,55 = 5,27 \text{ м}$$

Относительное снижение температуры БС при ее укладке в опалубку находим по формуле (7.21):  $\Delta t_5 = \Delta t'_5 \cdot \tau_5 = 0,004 \cdot 35,9 = 0,144^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$

При этом  $\Delta t'_5 = 0,004^\circ\text{C}/(^\circ\text{C} \cdot \text{мин})$ , так как минимальный размер ленточного фундамента по подошве и стене равен  $0,5 \text{ м}$ , чему равна также толщина уплотняемого слоя (см. табл. П 5.2, п. 3).

Так как фундамент ступенчатый находим средневзвешенную норму времени на укладку БС  $N_{\text{ср}}^y$ , при этом для стены  $N_{\text{ст}}^y = 3 \text{ чел} \cdot \text{ч}$  (НЗТ, п.4-659), а для подошвы  $N_{\text{пл}}^y = 2,3 \text{ чел} \cdot \text{ч}$  (НЗТ, п.4-660).

$$H_{\text{чл}}^y = \frac{H_{\text{оп1}}' \cdot b_c \cdot h_n + H_{\text{оп2}}' \cdot b_c \cdot h_c}{b_c \cdot h_n + b_c \cdot h_c} = \frac{3 \cdot 0,5 \cdot 2 + 2,3 \cdot 0,5 \cdot 1}{0,5 \cdot 2 + 0,5 \cdot 1} = 2,77 \text{ чел-ч.}$$

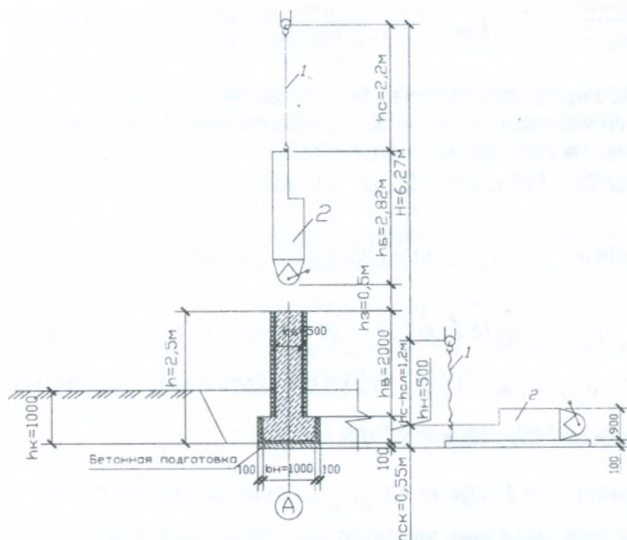


Рисунок 7.4 - Схема к определению высоты подачи бетонной смеси в опалубку ленточного фундамента краном в бадьях с размещением крана на бровке для рассматриваемого примера

$$\tau_{\text{з}} = \frac{60 \cdot H_{\text{сп}}^y \cdot V_{\text{б}} \cdot K_{\text{з}}}{E \cdot N \cdot P \cdot n_{\text{зв}}} = \frac{60 \cdot 2,77 \cdot 4 \cdot 1,08}{10 \cdot 2 \cdot 1} = 35,9 \text{ мин}$$

При выполнении железобетонных работ (1 группа работ) в Брестской области в январе месяце  $K_{\text{з}} = 1,08$  (см. [13], табл.Б.1).

Относительное снижение температуры БС при выполнении операций по заглаживанию и гидро- и теплоизоляции определяем по формуле (7.29) составляет:

$$\Delta t_{\text{б}} = \Delta t'_{\text{омд}} \cdot F_{\text{н}} + \Delta t'_{\text{г}} \cdot \tau_{\text{г}} + \Delta t'_{\text{под}} \cdot \tau_{\text{ин}} = 0,001 \cdot 2,8 = 0,0028 \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$$

При этом относительное снижение температуры смеси в процессе выполнения операций по заглаживанию и гидро- и теплоизоляции  $1\text{ м}^2$  открытой поверхности бетона  $\Delta t'_{\text{омд}} = 0,001$ ,  $^\circ\text{C}/(^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2)$  (см. табл.П 5.2, п.5), а площадь неопалубленной поверхности бетона ориентировочно можно принять  $F_{\text{н}} = V_{\text{б}}/(b_{\text{н}} h_{\text{н}} + b_{\text{с}} h_{\text{с}}) = 4/1,5 = 2,8 \text{ м}$ .

Так как электроды в укрытии неопалубленной поверхности не устанавливаются, то  $\Delta t'_{\text{зв}}$  и  $\Delta t'_{\text{под}}$  не учитываются.

7. Находим снижение температуры при подаче и укладке бетонной смеси в опалубку, включая операции заглаживания, гидро- и теплоизоляции поверхности конструкции,  $t_{\text{ин}}'$ :

$$t_{\text{ин}}' = \frac{-t_{\text{ин}} \sum \Delta t_i}{1 - \sum \Delta t_i} = 10 \cdot 0,1588 / (1 - 0,1588) = 1,9 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

8. Рассчитываем температуру предварительного разогрева  $t_{\text{пр}}$  бетонной смеси, которая обеспечивает принятую  $t_{\text{н}}$  за планируемый период твердения бетона  $\tau_{\text{тпр}}$  с учетом снижения

температуры при подаче и укладке смеси в опалубку и конечной температуры бетона к моменту распалубки, по формуле (7.37):

$$t_{рас} = \frac{(t_{ср} - t_{ок}) \cdot (1,03 + 0,181 M_n)}{1 - 0,006(t_{ок} - t_{ср})} + t_{ок} = \frac{(16,4 - 5)(1,03 + 0,181 \cdot 4,7)}{1 - 0,006(16,4 - 5)} + 1,9 = 24,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

9. Находим тепловые затраты на отопление опалубки и основания.

Отогрев основания производим на общую толщину 300 мм (100 мм – бетонная подготовка и 200 мм – грунт основания), так как основание сложено супесью.

Бетонная подготовка:  $C_6 = 1,05 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;  $\rho_6 = 2,4 \text{ т/м}^3$ ,  $V_6 = 2,8 \cdot 1 \cdot 0,1 = 0,28 \text{ м}^3$  (см.

табл. П 5.12, п.12).

Супесь:  $C_{гр} = 1,05 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;  $\rho_{сп} = 1,6 \text{ т/м}^3$ ,  $V_{гр} = 2,8 \cdot 1 \cdot 0,2 = 0,56 \text{ м}^3$  (см. табл. П 5.12,

п.8).

$$Q_{осн} = C_{осн} \cdot \rho_{осн} \cdot V_{осн} \cdot (t_{ср} - t_{ок}) = (1,05 \cdot 2400 \cdot 0,28 + 1,05 \cdot 1600 \cdot 0,56)(16,4 + 10) = 43465 \text{ кДж}$$

$$Q_{от} = (t_{ср} - t_{ок}) \sum_{i=1}^n C_i \cdot F_i \cdot \delta_i \cdot \rho_i = (16,4 + 10)(2,3 \cdot 2,8 \cdot 2,5 \cdot 0,025 \cdot 2 \cdot 500 + 0,76 \cdot 2,8 \cdot 2,5 \cdot 0,05 \cdot 2 \cdot 100 + 2,3 \cdot 2,8 \cdot 2,5 \cdot 0,004 \cdot 2 \cdot 700 + 0,76 \cdot 2,8 \cdot 1 \cdot 0,05 \cdot 100) = 14692 \text{ кДж}$$

При этом:

- для деревянной палубы:  $C_d = 2,3 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;  $\rho_{од} = 0,5 \text{ т/м}^3$  (см. табл. П 5.12, п.1);

- для утеплителя в виде прошивных минераловатных матов:  $C_{ут} = 0,76 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;

$\rho_{ут} = 0,1 \text{ т/м}^3$  (см. [5], с.82);

- для фанеры водостойкой:  $C_{ф} = 2,3 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;  $\rho_{ф} = 0,7 \text{ т/м}^3$  (см. табл. П 5.12, п.1).

10. Определяем температуру разогрева бетонной смеси  $t'_{раз}$  с учетом отогрева основания, опалубки и арматуры по выражению (7.40):

$$t'_{раз} = \frac{C_6 \cdot \rho_6 \cdot V_6 \cdot t_{рас} - C_{ст} \cdot m_{ст} \cdot V_6 \cdot (t_{ср} - t_{ок}) - Q_{от} - Q_{осн}}{C_6 \cdot \rho_6 \cdot V_6 + C_{ст} \cdot m_{ст} \cdot V_6 + \sum_{i=1}^n C_i \cdot F_i \cdot \delta_i \cdot \rho_i + C_{осн} \cdot \rho_{осн} \cdot V_{осн}} =$$

$$= [1,05 \cdot 2500 \cdot 4 \cdot 24,9 - 0,48 \cdot 20 \cdot 4(16,4 + 10) - 14692 - 43465] / (1,05 \cdot 2500 \cdot 4 + 0,48 \cdot 20 \cdot 4 + 2,3 \cdot 2,8 \cdot 2,5 \cdot 0,025 \cdot 2 \cdot 500 + 0,76 \cdot 2,8 \cdot 2,5 \cdot 0,05 \cdot 2 \cdot 100 + 0,76 \cdot 2,8 \cdot 1 \cdot 0,05 \cdot 100 + 2,3 \cdot 2,8 \cdot 2,5 \cdot 0,004 \cdot 2 \cdot 700 + 1,05 \cdot 2400 \cdot 0,28 + 1,05 \cdot 1600 \cdot 0,56) = 206345 / 12588,3 = 17,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При этом для стальной арматуры:  $C_{ст} = 0,48 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;  $\rho_{ст} = 7,6 \text{ т/м}^3$  (см. табл. П 5.9, п.14).

11. Находим уточненное значение разогрева смеси  $t''_{раз}$  с учетом всех теплопотерь по выражению (7.44):

$$t''_{раз} = t_{раз} + (t_{раз} - t'_{раз}) = 24,9 + (24,9 - 17,6) = 32,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

12. Находим уточненное значение средней температуры бетона  $t'_{\text{раз}}$  за период твердения с учетом всех теплопотерь на разогрев по формуле (7.45):

$$t'_{\text{раз}} = t_{\text{ок}} + \frac{t''_{\text{см}} - t_{\text{ок}}}{1,03 + 0,181M_n + 0,006(t''_{\text{см}} - t_{\text{ок}})} = 5 + \frac{32,2 - 5}{1,03 + 0,181 \cdot 4,7 + 0,006(32,2 - 5)} = 18,3^{\circ}\text{C}$$

13. Уточняем продолжительность остывания бетона в опалубке  $\tau_{\text{ост}}^{\text{инд}}$ , ч, по формуле Б.Г. Скрамтаева — С.А. Миронова без учета экзотермии (тепловыделение) цемента, так как принят метод «термоса» с предварительным электроразогревом, по выражению (7.46):

$$\tau_{\text{ост}} = \frac{C \cdot \rho \cdot (t''_{\text{см}} - t_{\text{ок}}) + H \cdot \Xi}{3,6 \cdot K_T \cdot M_n (t'_{\text{раз}} - t_{\text{ок}})} = \frac{1,05 \cdot 2500(32,2 - 5)}{3,6 \cdot 1,05 \cdot 4,7(18,3 + 10)} = 142 \text{ ч.}$$

Так как ограждение фундамента имеет разный тип укрытия принимается приведенный коэффициент теплопередачи по выражению (7.34):

$$K_{\text{сум}} = \frac{k_1 F_1 + k_2 F_2}{F_1 + F_2} = (1,07 \cdot 2,52 + 0,93 \cdot 1) / (2,52 + 1) = 1,05 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}),$$

где  $k_1$  - коэффициент теплопередачи для участков с утеплителем и опалубкой,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $k_2$  - то же, для участков без опалубки,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ .

$$K_1 = 1 / \left( \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{\text{он}}}{\lambda_{\text{он}}} + \frac{\delta_{\text{ум}}}{\lambda_{\text{ум}}} \right) = 1,07, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}) \text{ (см. табл. 5.11, п.4),}$$

$$K_2 = 1 / \left( \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{\text{ум}}}{\lambda_{\text{ум}}} + \frac{\delta_{\text{гу}}}{\lambda_{\text{гу}}} \right) = 1 / \left( \frac{1}{26,56} + \frac{0,05}{0,049} + \frac{0,003}{0,17} \right) = 0,93 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$$

При этом:  $\alpha = 26,56 \text{ Вт}/\text{м}^{\circ}\text{C}$  при скорости ветра 5 м/с (см. табл.П5.10);  $\lambda_{\text{ум}} = 0,049 \text{ Вт}/\text{м}^{\circ}\text{C}$  (см. табл.П5.9, п.5);  $\lambda_{\text{гу}} = 0,17 \text{ Вт}/\text{м}^{\circ}\text{C}$  (см. табл.П5.9, п.13).

Так как  $\tau_{\text{ост}} = 142 / 24 = 5,9 \text{ сут} \geq \tau_{\text{выд}} = 2,5 \text{ сут}$  термосное выдерживание при разогреве до температуры, равной  $t''_{\text{раз}} = 32,2^{\circ}\text{C}$ , обеспечено.

14. Определяем требуемую температуру бетонной смеси на выходе из бетоносмесителя по формуле (7.47):

$$t_{\text{см}} = \frac{i_{\text{бн}} - i_{\text{нв}} \sum \Delta t_i}{1 - \sum \Delta t_i} = \frac{3 + 10 \cdot 0,436}{1 - 0,436} = 13^{\circ}\text{C}, \quad (7.53)$$

$$\sum \Delta t_i = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 = 0,032 + 0,062 + 0,34 = 0,436^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$$

При предварительном разогреве бетонной смеси ее начальная температура должна быть не менее  $0^{\circ}\text{C}$  (см. табл. П 5.1). Принимаем  $t_{\text{бн}} = 3^{\circ}\text{C}$ .

Производительность смесителя БСУ при  $\beta = 0,67$  (см. п. 3 табл. П5.3) и  $n = 22$  (см. п. 1 табл. П5.2) определяем по формуле (7.6):

$$П = 1,5 \cdot 0,67 \cdot 22 / 60 \approx 0,37 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Продолжительность приготовления и загрузки смеси определяем по формуле (7.5):

$$\tau_{\text{пр}} = 4 / 0,37 \approx 11 \text{ мин.}$$

Количество замесов для загрузки автобетоновоза вычисляем по формуле (7.8):

$$n_{\text{зам}} = 4 / (1,5 \cdot 0,67) \approx 4 \text{ замеса.}$$

Продолжительность загрузки смеси в автобетоновоз определяем по формуле (7.7):

$$\tau_1 = 0,25 \cdot 4 = 1 \text{ мин}$$

$$\tau_{\text{авт}} = 0,25 \text{ мин (см. с.35)}$$

Продолжительность транспортирования смеси определяют по формуле (7.12):

$$\tau_{\text{тр}} = \frac{60L}{V_{\text{сп}}} = \frac{60 \cdot 5}{30} = 10 \text{ мин}$$

По формуле (7.11) определяем общую продолжительность транспортирования смеси с учетом ожидания при загрузке и выгрузке:

$$\tau_2 = \tau_{\text{авт}} - \tau_1 + \tau_{\text{тр}} + \tau_{\text{авт}} = 11 - 1 + 10 + 8 = 28 \text{ мин.}$$

Продолжительность выгрузки смеси в бадьи находим по формуле (7.15):

$$\tau_3 = \frac{N_{\text{вР}}^{\text{Р}} \cdot V_{\text{б}} \cdot 60 \cdot K_3}{N_{\text{Р}} \cdot n_{\text{зв}}} = \frac{8,2 \cdot 4 \cdot 60 \cdot 1,08}{100 \cdot 1 \cdot 2} = 10,6 \text{ мин}$$

$$\Delta t_1 = \Delta t'_1 \cdot \tau_1 = 0,032 \cdot 1 = 0,032 \text{ } ^\circ\text{C} / ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t'_1 = 0,032 \text{ } ^\circ\text{C} / (^\circ\text{C} \cdot \text{мин}) \text{ - (см. табл.П 5.2, п.1).}$$

$$\Delta t_2 = \Delta t'_2 \cdot \tau_2 = 0,0022 \text{ } ^\circ\text{C} / ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t'_2 = 0,0022 \text{ } ^\circ\text{C} / (^\circ\text{C} \cdot \text{мин}) \text{ - (см. П5.2, п.2).}$$

$$\Delta t_3 = \Delta t'_3 \cdot \tau_3 = 0,032 \cdot 28 = 0,90 \text{ } ^\circ\text{C} / ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t'_3 = 0,032 \text{ } ^\circ\text{C} / (^\circ\text{C} \cdot \text{мин}) \text{ - (см. табл.П 5.2, п.1);}$$

15. Рассчитываем параметры предварительного электроразогрева.

Предварительный электроразогрев смеси ведем электрическим током промышленной частоты при напряжении 220 – 380 В. Время разогрева порции смеси 5 – 15 мин.

Электроразогрев бетонной смеси производим в специально оборудованных электродами баджах. На строительной площадке вблизи места бетонирования оборудуют пост предварительного электроразогрева смеси.

Затраты электрической энергии на предварительный электроразогрев  $P_{\text{сп}}$  в бадье емкости  $V_6 = 0,8 \text{ м}^3$  при расстоянии между электродами  $b = 0,3 \text{ м}$  находим по выражению (7.49):

$$P_{\text{сп}} = \frac{0,001 \cdot K_1 \cdot U^2 \cdot V_6 \cdot \tau_{\text{сп}}}{R_{\infty} \cdot b^2 \cdot 60} = \frac{0,001 \cdot 0,25 \cdot 220^2 \cdot 0,8 \cdot 10}{8 \cdot 0,3^2 \cdot 60} = 224 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где  $U$  - электрическое напряжение (380 или 220 В);

$V_6$  - объем разогретой бетонной смеси,  $\text{м}^3$ ;

$\tau_{\text{сп}} = 10$  мин для бетонной смеси с крупностью зерен заполнителей 10 мм;

$R_{\infty} = 8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  для тяжелого бетона.

$K_1 = 0,25$  — (см. табл. П5.13).

Максимальную удельную электрическую мощность  $P_{\text{мах}}$ , кВт, для разогрева бетонной смеси определяют по формуле (7.50):

$$P_{\text{мах}} = \frac{0,001 \cdot U^2 \cdot V_6}{b^2 \cdot 4} = \frac{0,001 \cdot 220^2 \cdot 0,8}{0,3^2 \cdot 4} = 107,6 \text{ кВт.}$$

Требуемую мощность трансформатора  $P_{\text{р}}$ , кВт, определяют по формуле (7.51):

$$P_{\text{р}} = \frac{P_{\text{мах}}}{0,9 \cdot 1,3} = \frac{107,6}{0,9 \cdot 1,3} = 91,9 \text{ кВт.}$$

Максимальную силу тока  $I$ , А, для выбора подводящих кабелей определяют по формуле (7.52):

$$I = \frac{U \cdot V}{\sqrt{3 \cdot 4 \cdot b^2}} = \frac{220 \cdot 0,8}{\sqrt{3 \cdot 4 \cdot 0,3^2}} = 169,4 \text{ А.}$$

## 8. Составление калькуляции затрат труда на устройство монолитного железобетонного ростверка

Производится на устройство монолитного железобетонного ростверка указанной руководителем длины на основании найденных объемов работ, принятой технологии производства работ и подобранных машин и механизмов, а также соответствующих норм затрат труда (НЗТ) [11... 13] в форме таблицы 8.1.

При устройстве ростверка необходимо учесть следующие процессы:

- установка и разборка опалубки ростверка;
- установка арматурных сеток по подошве ростверка;
- прием бетонной смеси;
- подача бетонной смеси на рабочее место или в конструкцию;
- укладка бетонной смеси в ростверк;
- утепление ростверка теплоизоляционными матами;
- снятие утеплителя с ростверка.

Таблица 8.1 – Калькуляция затрат труда

№ пп	Обоснование	Наименование работ	Ед. измерения	Объем работ	Норма времени на единицу объема работ, чел-ч, (маш-ч)	Состав звена			Затраты на весь объем, чел-ч; (маш-ч)
						Профессия	Разряд	Количество	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
									Σ

Так как работы выполняются в зимнее время (ноябрь, декабрь, январь, февраль, март) предварительно на основании [13] устанавливается поправочный зимний коэффициент для каждого из процессов в следующем порядке:

- по [13], с.15... 17 устанавливается группа работ;
- по табл.Б1 на с. 13 [13] устанавливается значение зимнего поправочного коэффициента  $K_z$ .

Составление калькуляции производится в следующем порядке:

- по оглавлению соответствующих НЗТ [11,12] устанавливается параграф НЗТ, соответствующий нормируемому процессу (графа 2);
- по установленному параграфу НЗТ уточняется наименование работ (графа 3), единица измерения объема работ (графа 4, состав звена (графы 7...9), норма времени  $N_{вр}$  (графа 6) и норма машинного времени  $N_{мвр}$  (графа 6);
- в единицах измерения проставляется объем работ  $P$  (графа 5);
- определяются общие затраты труда  $Q$  (графа 10) и машинного времени (графа 10) на выполнение соответствующего процесса по выражениям:

$$Q = N_{вр} \cdot P_i \cdot K_z, \text{ чел.-ч;} \quad (8.1)$$

$$T_M = N_{мвр} \cdot P_i \cdot K_z, \text{ маш.-ч.} \quad (8.2)$$

- по графе 10 определяются общие затраты труда и машинного времени.

## Список литературы

1. СТ БГТУ 01-2008. Стандарт университета. Оформление материалов курсовых и дипломных проектов (работ), отчетов по практике. Общие требования и правила оформления / Т.Н. Базенков, А.А. Кондратчик, И.И. Обухова. – Брест, БГТУ, 2002. – 46 с.
2. Основание и фундаменты зданий и сооружений. Сваи забивные. Правила проектирования и устройства: ТКП 45-5.01-256-2012 – Минск: Минскстройархитектуры РБ, 2013.- 137 с.
3. Свайные работы: НЗТ. Сборник Е 12. - Мн.: Минсктиппроект, 2011. – 126 с.
4. Лубнин, В.В. Машины и оборудование для погружения свай: учеб. для ПТУ / В.В. Лубнин, В.З. Заикина. - М.: Высш. шк., 1989. - 215 с.
5. Строительство. Технологическая документация при производстве строительно-монтажных работ. Состав, порядок разработки, согласования и утверждения технологических карт: ТКП-45-1.01-159-2009(02250). – Минск, Минстройархитектуры РБ, 2009. – 14 с.
6. Свайные работы / М.И. Смородинов, А.И. Егоров, Е.М. Губанова [и др.]; под ред. М.И. Смородинова. - М.: Стройиздат, 1988. - 223 с.
7. Еникеев, А.Х. Методические рекомендации по выбору молота и расчету времени погружения свай по данным статического зондирования. – Уфа: НИИ промстрой, 1977. – 24 с.
8. Бондарик, В.А. Производство земляных работ / В.А. Бондарик, Э.В. Овчинников. – Мн.: Выш. школа, 1979. – 128 с.
9. Бетонные работы при отрицательных температурах воздуха. Правила производства: ТКП 45-5.03-21-2006 (02250). – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2006. – 103 с.
10. Щербач, В.П. Методические указания по выполнению курсового проекта "Производство монолитных бетонных и железобетонных работ" по дисциплине "Технология возведения зданий и сооружений" для студентов специальности 29.03 "Промышленное и гражданское строительство" / В.П. Щербач, В.Н. Плосконосов, В.В. Чиндарев. - Брест, БПИ, 1991. - 56 с.
11. Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций: НЗТ. Сборник 4. Вып.1. Здания и промышленные сооружения. – М.: Минсктиппроект, 2009. - 97 с.
12. Внутривозрастные транспортные работы: НЗТ. Сборник 1. – Мн.: Минсктиппроект, 2009. – 36 с.
13. Общие положения: НЗТ. – Мн.: Минсктиппроект, 2009. – 18 с.
14. Штоль, Т.М. Технология возведения подземной части зданий и сооружений / Т.М. Штоль [и др.]. – М.: Стройиздат, 1990. – 288 с.
15. П16-03 к СНБ 5.01.01-99. Пособие к строительным нормам Республики Беларусь. Земляные сооружения. Основания фундаментов. Производство работ. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2004. – 52 с.
16. Черкашин, В.А. Разработка мерзлых грунтов. – Л.: Стройиздат, 1977.- 215 с.
17. Безопасность труда в строительстве. Строительное производство: ТКП 45-1.03-44-2006 (02250). – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2007. – 33 с.



УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

**Составители:**

*Пчелин Вячеслав Николаевич  
Чернюк Владимир Петрович  
Юськович Виталий Иванович  
Лешкевич Николай Васильевич*

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к проведению практических занятий и  
выполнению связанных с особыми условиями  
разделов курсового и дипломного проектов по курсам  
**«Технология строительного производства»** и  
**"Технология строительства в особых условиях"**  
для студентов специальности **1-70 02 01**  
**"Промышленное и гражданское строительство"**  
очной и заочной форм обучения

Ответственный за выпуск: Пчелин В.Н.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная верстка: Соколюк А.П.

Корректор: Никитчик Е.В.

---

Подписано к печати 15.10.2015 г. Формат 60x84 1/16. Гарнитура Arial Narrow.  
Бумага «Periformer». Усл. п. л. 3,02. Уч. изд. 3,25. Заказ № 1068. Тираж 110 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.