

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Строительные конструкции, основания и фундаменты»

В. В. ЛЕВТРИНСКИЙ, П. Ю. ЭТИН

## МОСТЫ И СООРУЖЕНИЯ НА ДОРОГАХ

*Одобрено методической комиссией строительного факультета  
в качестве учебно-методического пособия  
по выполнению расчетно-графических работ*

Гомель 2015

УДК 624.21/.8(075.8)

ББК 39.112

Л37

Р е ц е н з е н т – начальник отдела инженерных сооружений Службы  
пути Белорусской железной дороги *Д.В. Черкасов*.

### **Левтринский, В.В.**

Л37      Мосты и сооружения на дорогах : учеб.-метод. пособие по  
выполнению расчетно-графических работ / В. В. Левтринский,  
П. Ю. Этин ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь,  
Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 73 с.  
ISBN 978-985-554-419-8

Приведена последовательность определения основных характеристик железобетонного железнодорожного моста: отверстия, длины и схемы.

Разработано с использованием типовых конструкций на основе действующих технических нормативных правовых актов (ТНПА).

Предназначено для выполнения расчетно-графических работ по дисциплине "Мосты и сооружения на дорогах" студентами специальности 1–37 02 05 "Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство".

**УДК 624.21/.81(075.8)**

**ББК 39.112**

**ISBN 978-985-554-419-8**

© Левтринский В.В., Этин П.Ю., 2015

© Оформление. УО "БелГУТ", 2015

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	4
<b>1 Расчетно-графическая работа "Расчет отверстия и длины среднего железобетонного железнодорожного моста"</b> .....	10
1.1 Определение расчетного расхода воды .....	10
1.2 Определение отверстия моста .....	16
1.3 Расчет длины моста и разбивка его на пролеты.....	21
<b>2 Расчетно-графическая работа "Проектирование опор моста"</b> .....	26
2.1 Проектирование устоев моста .....	26
2.2 Проектирование промежуточных опор моста.....	33
<b>3 Расчетно-графическая работа "Расчет объемов работ при сооружении среднего железобетонного железнодорожного моста"</b> .....	41
3.1 Разработка схемы моста .....	42
3.2 Определение объемов строительных материалов и конструкций.....	43
3.3 Экономический анализ варианта железобетонного железнодорожного моста.....	45
<b>Приложения</b>	
А Классификация грунтов.....	48
Б Типовые конструкции пролетных строений.....	49
В Типовые конструкции опор балочно-разрезных мостов.....	52
Г Характеристики свай сплошных квадратного сечения с ненапрягаемой стержневой арматурой.....	66
Д Справочные материалы для расчета опор.....	67
<b>Список литературы</b> .....	73

## **ВВЕДЕНИЕ**

### ***Краткие сведения о мостах. Методика проектирования***

*Мостом* называется сооружение, обеспечивающее пропуск транспортной магистрали над водным препятствием.

*Мостовой переход* включает в себя мост и комплекс связанных с ним сооружений: насыпь подхода, регуляционные сооружения, направляющие водный поток, и берегоукрепительные устройства.

*Мостовое сооружение* состоит из береговых опор, промежуточных опор и пролетных строений.

Под *системой моста* принято понимать статическую схему его пролетных строений (балочную, арочную, рамную, висячую, комбинированную). В каждой статической системе возможны различные конструктивные исполнения пролетных строений: разрезные, неразрезные, консольные; с ездой поверху, понизу, посередине; сплошностенчатые и со сквозными фермами; из различных материалов (железобетон, сталь, сталежелезобетон и др.); цельноперевозимые и сборные; со сварными, фрикционными, комбинированными и другими соединениями; с различной конструкцией мостового полотна и т. п.

В железнодорожных железобетонных мостах под нагрузку СК применяют, как правило, типовые разрезные балочные пролетные строения с ездой поверху.

Эскизное вариантное проектирование моста включает следующие проектные процедуры, выполняемые последовательно:

- определение генеральных размеров и отметок;
- разработка вариантов моста (компоновка схемы; выбор материала, системы, конструкции; назначение общих размеров элементов моста);

– технико-экономическое сравнение вариантов и выбор оптимального.

Прежде чем приступить к составлению вариантов, на основании исходных данных по морфоствору необходимо установить следующие генеральные параметры мостового сооружения: 1) размещение отверстия моста на морфостворе; 2) суммарную длину пролетных строений; 3) местоположение подмостовых судоходных габаритов; 4) отметки подходов к мосту.

### ***Размещение отверстия моста на морфостворе***

*Отверстием моста* ( $L_0$ ) называют расстояние в свету (за вычетом суммы толщин опор) по средней линии между уровнем меженных вод (УМВ) и уровнем высоких вод (УВВ). На назначение величины отверстия моста влияют многие гидрологические и морфометрические факторы водотока, а также конструктивные решения моста.

В результате сужения мостом площади живого сечения водотока возникает явление, называемое общим размывом и состоящее в понижении отметок дна подмостового русла от действия водного потока. Величину общего размыва характеризует коэффициент размыва  $[P]$ , равный отношению средней глубины под мостом после размыва  $h_{\Pi}^{\text{ПР}}$  к средней глубине до размыва  $h_{\Pi}^{\text{ДР}}$  (средние глубины подсчитываются от УВВ). Коэффициент размыва тем больше, чем меньше отверстие. По нормам проектирования мостов рекомендуется принимать величину коэффициента размыва 1,75.

Как правило, из экономических соображений целесообразно стремиться к минимально возможному отверстию моста. Однако при уменьшении отверстия увеличивается общий размыв, возрастают глубина заложения фундаментов опор и стоимость опор (в том числе и стоимость их возведения). Поэтому оптимальное отверстие моста может быть найдено лишь путем составления и сравнения нескольких вариантов мостового перехода, каждый из которых характеризуется своей величиной отверстия и соответствующим ей коэффициентом размыва, глубиной заложения фундаментов промежуточных опор, их числом, количеством и длиной пролетных строений, стоимостью подходов и регулиционных сооружений.

***При проектировании мостов следует:***

– выполнять требования по обеспечению надежности, долговечности и бесперебойности эксплуатации сооружений, а также безопасности и плавности движения транспортных средств, безопасности для пешеходов и охране труда рабочих в периоды строительства и эксплуатации;

– предусматривать безопасный пропуск возможных паводков и ледохода на водотоках, а, кроме того, на водных путях – выполнение требований судоходства и лесосплава;

– назначать проектные решения, обеспечивающие экономное расходование материалов – металла, цемента, леса и пр., экономию топливных и энергетических ресурсов, снижение стоимости и трудоемкости строительства и эксплуатации;

– предусматривать простоту, удобство и высокие темпы монтажа конструкций, возможность широкой индустриализации строительства на базе современных средств комплексной механизации и автоматизации строительного производства, использования типовых решений, применения сборных конструкций, деталей и материалов, отвечающих стандартам и техническим условиям;

– учитывать перспективы развития транспорта и дорожной сети, реконструкции имеющихся и строительства новых подземных и наземных коммуникаций, интересы благоустройства и планировки населенных пунктов, перспективы освоения земель в сельскохозяйственных целях;

– предусматривать меры по охране окружающей среды (в том числе предотвращение заболачивания, термокарстовых, эрозионных, наледных и других вредных процессов), по поддержанию экологического равновесия и охране рыбных запасов.

Основные технические решения, принимаемые при проектировании мостов, следует обосновывать путем сравнения технико-экономических показателей конкурентоспособных вариантов с учетом эстетических и архитектурных требований.

При разработке проекта моста в проектной организации внимание уделяется следующим разделам:

1 *Общая пояснительная записка.* В ней приводят исходные данные для проектирования, краткую характеристику проектируемого объекта и условий строительства, особенности природных условий, обоснование выбора местоположения объекта, его технико-экономические и транспортно-эксплуатационные показатели и их сравнение с нормами и аналогами, данные по экономической эффективности капитальных вложений, использованных в проекте достижений науки и техники.

2 *Строительные решения.* В этом разделе приводят обоснование принятых в проекте технических решений по фундаментам, опорам, пролетным строениям моста, земляному полотну, конструкции мостового полотна и пути на подходах к мосту, пересечениям и примыканиям, охране окружающей среды, подготовке территории строительства. В нем также приводятся чертежи основных конструктивных элементов сооружения: план и продольный профиль трассы, общие виды моста, его отдельные конструктивные элементы индивидуального проектирования, схемы вариантов моста.

3 *Организация строительства.* В этом разделе обосновывают принятые в проекте способы и методы работ по сооружению опор, пролетных строений и других элементов моста, определяют потребность в конструкциях, материалах, машинах, механизмах, трудовых ресурсах, электро- и водоснабжении. Приводят схемы выполнения основных строительного-монтажных работ, календарный график строительства, обоснование сроков и продолжительности строительства.

4 *Сметная документация.* В этом разделе приводятся сметные расчеты и проект договорной цены.

5 *Паспорт проекта.* Раздел содержит основные сведения о проектируемом объекте.

Рабочий проект на строительство мостового перехода, кроме перечисленных выше разделов, включает чертежи, по которым

непосредственно строят объект. Рабочий проект разрабатывают с использованием типовых конструкций пролетных строений и опор.

При двухстадийном проектировании (проект – рабочая документация) рабочую документацию разрабатывают после утверждения проекта, прохождения Госэкспертизы и передают заказчику частями на объем очередного года строительства.

В состав рабочей документации для строительства мостовых переходов входят рабочие чертежи, ведомости строительно-монтажных работ, расчеты сметной стоимости затрат труда и расхода основных строительных материалов.

Готовая проектно-сметная документация передается заказчику. Заказчик согласовывает со строительной организацией третий раздел проекта, сметы и договорную цену.

После согласования проектно-сметную документацию представляют на экспертизу, которая рассматривает обоснованность и оптимальность принятых проектных решений, соответствие их действующим нормам и заданию на проектирование. По результатам экспертизы составляют экспертное заключение, в котором указывают основные технико-экономические показатели проектируемого объекта, рекомендуемые к утверждению. Экспертизу рабочей документации, разработанной на основании рабочих проектов, не проводят.

Если в ходе экспертизы обнаруживают ошибки или другие недостатки, то проекты возвращают на доработку и после внесения в них соответствующих изменений и дополнений вновь представляют в органы экспертизы.

После экспертизы проекты представляют на утверждение.

С учетом современных тенденций в строительстве (его индустриализации, унификации и стандартизации конструкций) при разработке проекта моста необходимо максимально применять типовые конструкции. Для выбора наиболее рациональной конструкции сооружения выполняют вариантное проектирование и проводят технико-экономическое сравнение вариантов. На стадии вариантного проектирования обычно проводят ориентировочные расчеты для выбора



и обоснования основных параметров сооружения.

Для большинства малых и средних мостов применяют типовые конструкции пролетных строений и опор. Основные разработки принадлежат институтам Гипротрансмост (Москва), а также Ленгипротрансмост. Задача проектирования в этом случае сводится к выбору наиболее рациональной типовой конструкции, соответствующей конкретным местным условиям: рельефу местности, возможностям изготовления, транспортировки и монтажа.

### ***Общие указания к расчетно-графическим работам***

Согласно учебному плану студенты V курса строительного факультета специализации 1–37 02 05 "Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство" по дисциплине "Мосты и сооружения на дорогах" должны выполнить три расчетно-графические работы по проектированию среднего железобетонного железнодорожного моста на свайном фундаменте.

Цель работ: детальное изучение элементов и конструкций пролетных строений, опор на свайном фундаменте; развитие творческого инженерного мышления.

В результате выполнения работ у студентов должны сформироваться навыки в работе с типовой проектной документацией, нормативной базой, справочниками и другой технической литературой. Каждый студент должен чувствовать ответственность за принимаемые проектные решения и правильно их обосновывать.

***Оформление расчетно-графических работ.*** Текстовый материал работ должен быть написан черными чернилами на одной стороне листов белой писчей бумаги формата А4 со штампом. Каждая страница должна иметь поля шириной: слева – 25 мм, справа и сверху – по 20 мм и снизу – 10 мм.

Чертежи выполнять на отдельных листах миллиметровой бумаги формата А3 или А4. Расчетные схемы следует вставлять в текст.

Страницы работ должны быть пронумерованы.

При расчетах сначала записываются формулы в общем виде, а затем сразу в них подставляются числовые значения.

Первой страницей каждой работы является задание на расчетно-графическую работу, в конце следует привести перечень использованной литературы.

## **1 РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА "РАСЧЕТ ОТВЕРСТИЯ И ДЛИНЫ СРЕДНЕГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТА"**

*Расчетно-графическая работа включает следующие задачи:*

- 1 Определение расчетного расхода воды.
- 2 Определение отверстия моста.
- 3 Расчет длины моста с разбивкой его на пролеты.

Расчетно-графическая работа состоит из 7–9 листов пояснительной записки, чертежей на отдельных листах миллиметровой бумаги формата А4:

- профиль морфоствора (формат А3 или А4);
- график грансостава грунта;
- график определения скорости динамического равновесия;
- расчетная схема отсутствия засыпки грунтом откоса конуса насыпи фундамента крайних промежуточных опор;
- поперечное сечение пролетного строения руслового пролета.

### **1.1 Определение расчетного расхода воды**

Выбор места перехода, разбивку мостов на пролеты, назначение положения сооружения в плане и профиле следует производить с учетом требований трассирования железной дороги или железнодорожной линии или принятых градостроительно-планировочных решений, строительных и эксплуатационных показателей вариантов, а также русловых, геологических, гидрогеологических, ландшафтных и других местных условий, влияющих на технико-экономические показатели соответствующего участка железной дороги.

Количество и размеры водопропускных сооружений на пересечении

водотока следует определять на основе гидравлических расчетов, при этом необходимо учитывать последующее влияние сооружения на окружающую природную среду.

Одним из главных критериев для проектирования мостового перехода является **расчетный расход воды ( $Q_{\text{расч}}$ )**, проходящий через **морфоствор** – поперечное сечение долины реки с геометрическими и морфометрическими его характеристиками, используемое для теоретического расчета скоростей течения и расходов воды по уравнению равномерного течения жидкости (уравнение Шези). Расчетный расход воды определяют на основе ряда наивысших уровней воды в реке, наблюдаемых не менее чем за 20 лет. Прогнозируется наивысший уровень воды в реке, который может достигаться один раз в 30–100 лет. Связь уровней воды со скоростями ( $v$ ) и расходами ( $Q_{\text{расч}}$ ) устанавливают с использованием морфометрических характеристик: коэффициентов шероховатости ( $\gamma$ ) и уклона реки ( $i$ ).

Для определения расчетного расхода воды морфоствор разделяется на участки, отличающиеся глубинами и шероховатостью дна. На каждом из этих участков рассчитывается расход воды. При расчете используются формулы равномерного движения воды (расчет удобно вести в табличной форме).

Средняя глубина на участке

$$H_{\text{ср},i} = \frac{H_{\text{н}} + H_{\text{к}}}{2}, \quad (1.1)$$

где  $H_{\text{н}}$ ,  $H_{\text{к}}$  – соответственно глубины в начале и конце участков морфоствора, м; определяются как разность между расчетным уровнем высокой воды (РУВВ) и отметками дна в данной точке.

Средняя скорость воды на участке вычисляется по формуле

$$v_{\text{нб},i} = \tilde{N}_i \sqrt{R_i} \sqrt{i}, \quad (1.2)$$

где  $R_i$  – гидравлический радиус, приравниваемый к средней глубине воды  $H_{\text{ср}}$  на данном участке, м;  $i$  – уклон реки при РУВВ;  $C_i$  – коэффициент Шези,

$$\tilde{N}_i = \frac{87}{1 + \frac{\gamma_i}{\sqrt{R_i}}}, \quad (1.3)$$

где  $\gamma_i$  – коэффициент шероховатости дна.

Площадь живого сечения воды определяется по формуле

$$\omega_i = B_i H_{\text{нб}, i}, \quad (1.4)$$

где  $B_i$  – ширина  $i$ -го участка, м.

Расход воды на участке

$$Q_i = v_{\text{нб}, i} \omega_i. \quad (1.5)$$

Общий расход воды в сечении морфоствора рассчитывается как сумма расходов воды на всех участках:

$$Q_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n Q_i. \quad (1.6)$$

### Пример решения задачи

Исходя из задания (рисунок 1.1) вычерчивается на миллиметровой бумаге профиль морфоствора (рисунок 1.2). Масштабы следует принимать: вертикальный 1 : 200, горизонтальный 1 : 1000. Отсутствующие участки в задании на чертеж не переносятся. На профиле морфоствора приводится классификация залегаемых грунтов (обведенные кружком в задании) по гранулометрическому составу, степени влажности, плотности и показателю консистенции (приложение А). Следует обратить внимание, что на конечных участках морфоствора вода при достижении расчетного уровня высоких вод (∇РУВВ) будет проходить не по всей их длине, а до точек пересечения ∇РУВВ с грунтом.

Для упрощения расчетов руслового участка ширину составляющих можно суммировать, при этом глубину воды для участка увеличить на 0,2 м.

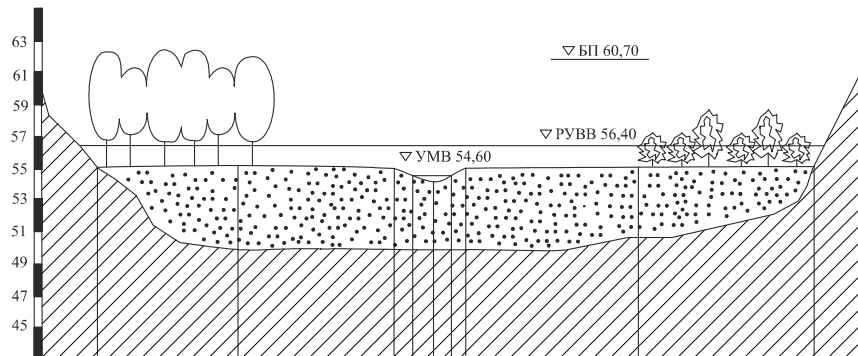
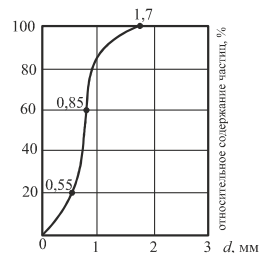
Ведомость расчета скоростей течения и расходов воды по

морфоствору (рисунок 1.3) заполняется в соответствии с расчетами по формулам (1.1)–(1.6). Графы 1–5 заполняются по исходным данным. Ведомость морфоствора представлена в конце решения задачи.

### Характеристики грунтов

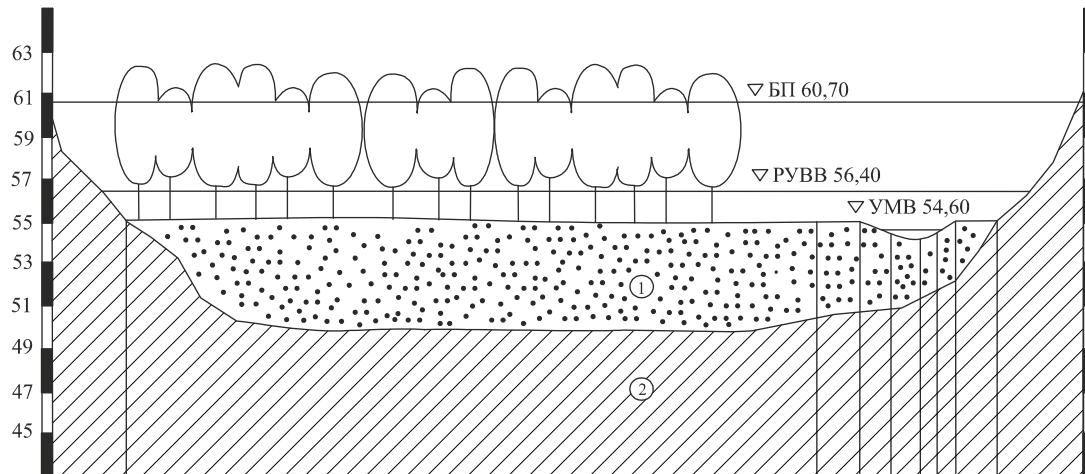
	①	2	3	4	5	⑥	7	8	9	10
	песок		супесь		суглинок		глина		дресва	скала
$e$	0,7	0,6	0,6	0,5	0,7	0,5	0,8	0,5	0,5	-
$S_r$	0,9	0,7	0,4	0,6	-	-	-	-	0,9	-
$I_L$	-	-	0,1	0,4	0,2	0,5	0,2	0,5	-	-
$\gamma$	19	20	19	20	20	25	19	21	20	-
$\phi^\circ$	32	38	27	30	21	24	15	18	40	-
$C$	-	-	0,1	-	0,15	0,25	0,20	0,30	-	-
$R$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5

### Гранулометрический состав грунта



Номер участков	1	2	3	4	5	-	6
Ширина участков	20	160	10	7 7 4 4	10	-	20
Коэффициент шероховатости	9	9	5	3	5	7	5
Ситуация	Редкий лес		Луг		Луг	Кустарник	
Отметки	60,00	55,00	55,00	55,00 54,80 54,40 54,80 55,00	55,00	55,00	61,00

Рисунок 1.1 – Образец задания на контрольную работу



Номер участков	1	2	3	4	5	6
Ширина участков	20	160	10	7	7	4
Коэффициент шероховатости	9	9	5	3	5	5
Ситуация		Редкий лес	Луг	↑	Луг	
Отметки	60,00	55,00	55,00	55,00	54,80	54,40
				54,80	55,00	55,00
						61,00

- ① Песок крупный средней плотности, водонасыщенный
- ② Суглинок тугопластичный ( $I_L = 0,5$ )

Рисунок 1.2 – Профиль морфоствора

**Ведомость**  
**расчета скоростей течения и расходов воды по морфоствору № 1**  
**реки Зелемянка на 127-м км участка железной дороги Волховстрой – Кошта**  
*(i = 0,0002;  $\sqrt{i} = 0,014$ )*

РУВВ Отметка	Номер отсека	Средняя глубина $H_{ср,j}$ , м	Ширина участка $B_j$ , м	Кoeffициент шероховатости. $\gamma_i$	$\sqrt{R_i}$ , $R_i = H_{ср,j}$	$\frac{\gamma_i}{\sqrt{R_i}}$	$1 + \frac{\gamma_i}{\sqrt{R_i}}$	$C_i = \frac{87}{1 + \frac{\gamma_i}{\sqrt{R_i}}}$	$\sqrt{R_i} \sqrt{i}$	$v_{н\ddot{o},j} = C_i \sqrt{R_i} \sqrt{i}$ , м/с	Площадь живого сечения $\omega_i = B_i H_{ср,j}$ , м <sup>2</sup>	Расход воды на участке $Q_i = v_{н\ddot{o},j} \omega_i$ , м <sup>3</sup> /с	Общий расход воды $Q_{\text{дан}} = \sum_{i=1}^n Q_i$ , м <sup>3</sup> /с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
56,40	1	0,7	6	9	0,84	10,7	11,7	7,43	0,012	0,089	4,2	0,37	
56,40	2	1,40	160	9	1,18	7,63	8,63	10,08	0,017	0,017	224,0	38,08	
56,40	3	1,40	10	5	1,18	4,24	5,24	16,60	0,017	0,28	14,0	3,92	
56,40	4	1,60	22	3	1,26	2,38	3,38	25,74	0,018	0,46	35,2	16,19	
56,40	5	1,40	10	5	1,18	4,24	5,24	16,60	0,017	0,28	14,0	3,92	
56,40	6	0,70	7	5	0,84	5,95	6,95	12,52	0,012	0,15	4,9	0,74	
<b>И т о г о</b>													<b>63,22</b>

Рисунок 1.3 – Ведомость расчета скоростей течения и расходов воды по морфоствору





## 1.2 Определение отверстия моста

**Отверстием моста** ( $L_0$ ) называется расстояние между передними гранями устоев или конуса насыпи, измеренное на уровне РУВВ, за вычетом толщин промежуточных опор.

Схема участка морфостора в пределах отверстия моста представлена на рисунке 1.4.

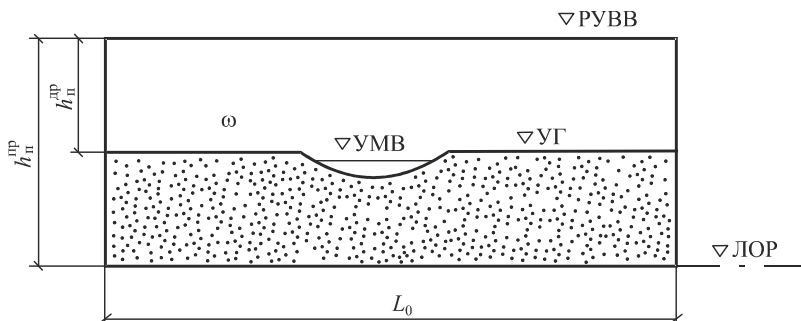


Рисунок 1.4 – Схема участка морфостора в пределах отверстия моста

Приняты следующие обозначения:  $L_0$  – отверстие моста, м;  $h_{п}^{др}$  – глубина потока до размыва, м;  $h_{п}^{пр}$  – глубина потока после размыва, м;  $\nabla_{ЛОР}$  – отметка линии общего размыва, м;  $\omega$  – требуемая площадь живого сечения под мостом,  $m^2$ .

Отверстие моста определяется по формуле

$$L_0 = \frac{\omega}{h_{п}^{пр}}. \quad (1.7)$$

Глубина потока после размыва

$$h_{п}^{пр} = [P] h_{п}^{др}, \quad (1.8)$$

где  $[P]$  – предельный допустимый коэффициент общего размыва;  $[P] = 1,75$ .

Глубина потока до размыва

$$h_{\Pi}^{\text{ДР}} = \nabla_{\text{РУВВ}} - \nabla_{\text{УГ}}, \quad (1.9)$$

где  $\nabla_{\text{УГ}}$  – уровень грунта поймы реки.

Площадь живого сечения под мостом с учётом размыва

$$\omega = \frac{Q_{\text{расч}}}{v_{\text{расч}}}, \quad (1.10)$$

где  $Q_{\text{расч}}$  – расчетный расход воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $v_{\text{расч}}$  – усреднённая равновесная расчётная скорость воды под мостом,  $\text{м}/\text{с}$ ; расчетная скорость определяется по приближенной эмпирической формуле

$$v_{\text{расч}} = \frac{v_{\text{дин}} + v_{\text{нер}}}{2}, \quad (1.11)$$

где  $v_{\text{дин}}$  – скорость динамического равновесия,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $v_{\text{нер}}$  – неразмывающая скорость,  $\text{м}/\text{с}$ .

**Неразмывающая скорость** – это скорость воды в реке в момент достижения уровня высоких вод, при которой не размывается пойменная часть. Неразмывающая скорость

$$v_{\text{нер}} = 3,6 \sqrt{h_{\text{сд}}^{\text{и}} d_{\text{сд}}}, \quad (1.12)$$

где  $d_{\text{ср}}$  – средний диаметр частиц грунта,  $\text{м}$ .

Средний диаметр частиц грунта находится в соответствии с графиком грансостава грунта (верхний слой грунта по заданию) и рассчитывается по формуле

$$d_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i d_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (1.13)$$

где  $m_i$  – относительное содержание частиц в грунте, взятое в интервале от 10 до 100 % с шагом, равным 10 %;  $d_i$  – соответствующий данному содержанию частиц диаметр,  $\text{мм}$ .

**Скорость динамического равновесия** – это скорость движения воды в русле реки, когда соблюдается баланс наносов. Скорость динамического равновесия определяется по графику (рисунок 1.5) в зависимости от глубины потока после размыва и среднего диаметра частиц грунта.

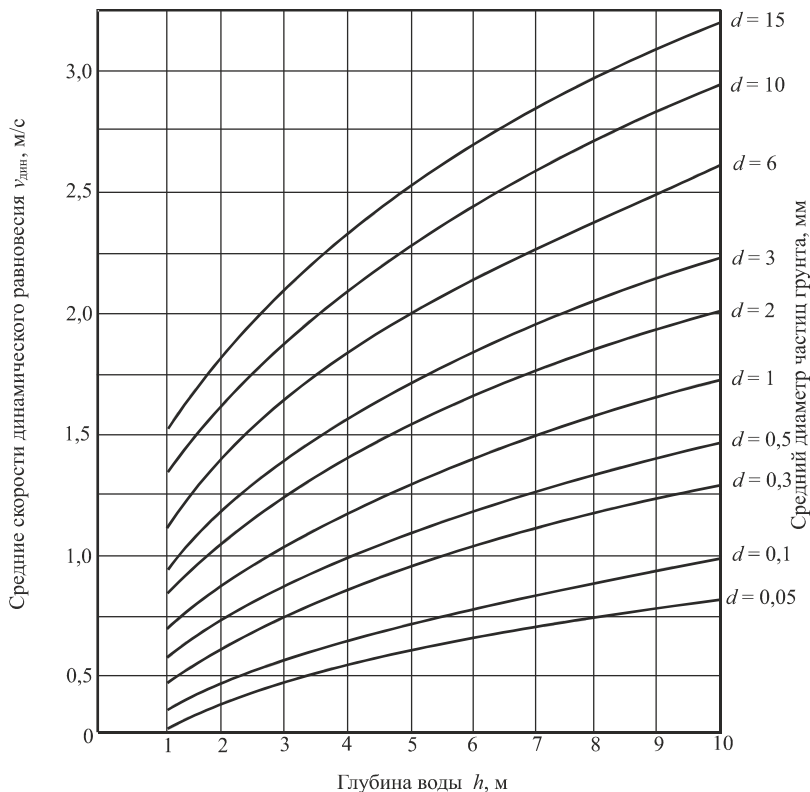


Рисунок 1.5 – График определения скорости динамического равновесия

### Пример решения задачи

На миллиметровой бумаге формата А4 в соответствии с исходными данными вычерчивается грансостав грунта (рисунок 1.6). Затем определяется средний диаметр частиц грунта  $d_{ср}$ .

Взяв данные из графика (см. рисунок 1.6), по формуле (1.13) получим:

$$d_{ср} = \frac{100 \cdot 0,7 + 90 \cdot 0,2 + 80 \cdot 0,1 + 70 \cdot 0,92 + 60 \cdot 0,85 + 50 \cdot 0,8}{10 + 20 + 30 + 40 + 50 + 60 + 70 + 80 + 90 + 100} + \frac{40 \cdot 0,74 + 30 \cdot 0,6 + 20 \cdot 0,55 + 10 \cdot 0,34}{10 + 20 + 30 + 40 + 50 + 60 + 70 + 80 + 90 + 100} = \frac{575,6}{550} = 1,05 \text{ мм.}$$

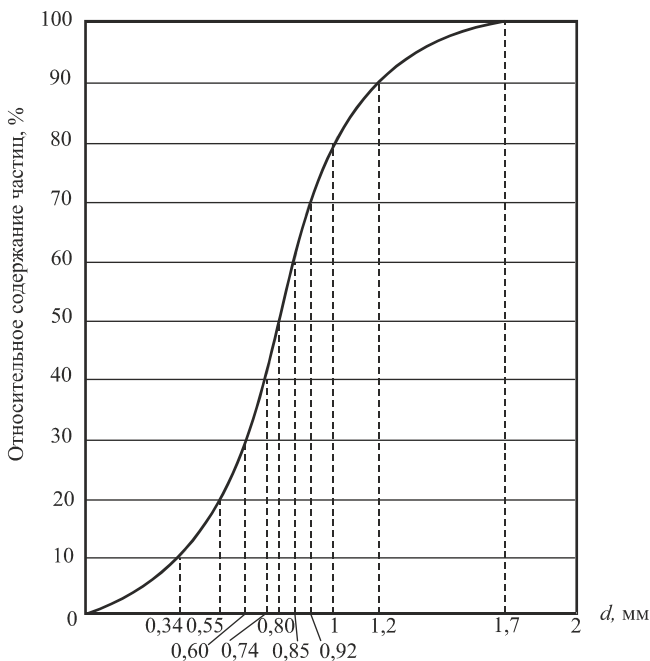


Рисунок 1.6 – Грансостав грунта

При  $\nabla_{РУВВ} = 56,40$  м и  $\nabla_{УГ} = 55,00$  м по формулам (1.8) – (1.9)

$$h_{\Pi}^{ДР} = 56,40 - 55,00 = 1,40 \text{ м}; \quad h_{\Pi}^{ПР} = 1,75 \blacklozenge 40 = 2,45 \text{ м.}$$

При  $d_{ср} = 1,05$  мм и  $h_{\Pi}^{ПР} = 2,45$  м по формуле (1.12)

$$v_{i \text{ до}} = 3,6 \sqrt[4]{2,45 \blacklozenge 05 \blacklozenge 0^{-3}} = 0,81 \text{ м/с.}$$

Вычислив средний диаметр частиц грунта и глубину потока после размыва, на листе миллиметровой бумаги формата А4 чертится график для определения скорости динамического равновесия (рисунок 1.7). Кривая среднего диаметра частиц проводится между ближайшими кривыми диаметров. По оси абсцисс откладывается глубина потока после размыва и проводится перпендикуляр на кривую среднего диаметра частиц. Затем из полученной точки по оси ординат находим скорость динамического равновесия  $v_{дин}$ .

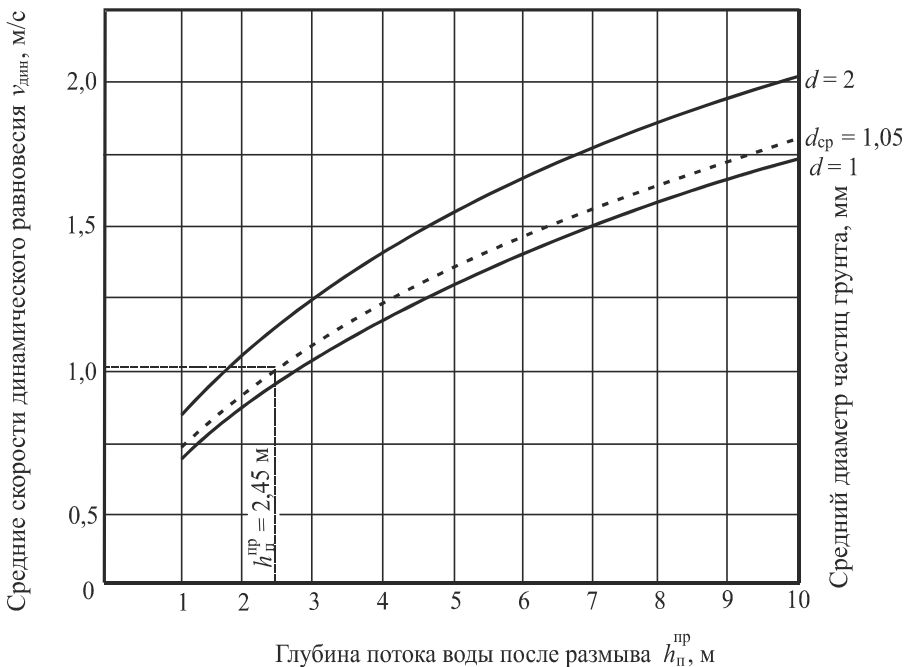


Рисунок 1.7 – График определения скорости динамического равновесия для разрабатываемого проекта

По рисунку 1.7 находим  $v_{\text{дин}} = 1,005 \text{ м/с}$ , принимаем  $v_{\text{дин}} = 1 \text{ м/с}$ .

При  $v_{i \text{ ð}} = 0,81 \text{ м/с}$  и  $v_{\text{дин}} = 1 \text{ м/с}$  расчетная скорость по формуле (1.11)  $v_{\text{расч}} = \frac{0,81 + 1}{2} = 0,905 \text{ м/с}$ .

При  $Q_{\text{расч}} = 63,22 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $v_{\text{ðäñ}} = 0,905 \text{ м/с}$  по формуле (1.10)

$$\omega = \frac{63,22}{0,905} = 69,86 \text{ м}^2.$$

При  $\omega = 69,86 \text{ м}^2$  и  $h_{\text{п}}^{\text{пр}} = 2,45 \text{ м}$  по формуле (1.7)

$$L_0 = \frac{69,86}{2,45} = 28,51 \text{ м}.$$

### 1.3 Расчет длины моста и разбивка его на пролеты

Рассчитанное отверстие моста ( $L_0$ ) при обсыпных устоях измеряется между лбовыми откосами насыпи на уровне средней линии между расчетным уровнем высокой воды (РУВВ) и линией общего размыва (ЛОР); стеснение живого сечения промежуточными опорами компенсируется добавкой 10 % к отверстию моста. Схема к определению длины моста представлена на рисунке 1.8.

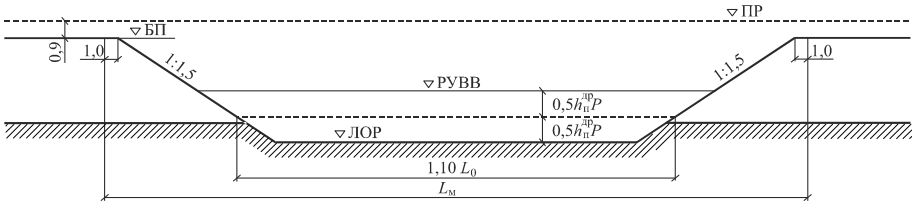


Рисунок 1.8 – Схема к определению длины моста при обсыпных устоях

Бровка насыпи земляного полотна (ВБП) располагается на 0,9 м ниже подошвы рельса (ВБР), а отметка подошвы рельса устанавливается по уровню меженных вод (УМВ) и заданной высоте моста ( $H_m$ ) как  $\nabla_{ПР} = \nabla_{УМВ} + H_m$ . Отметку  $\nabla_{ЛОР}$  следует определять через среднюю глубину потока до размыва  $h_{ср}^{рр}$  и заданный коэффициент размыва  $P$  как  $\nabla_{ЛОР} = \nabla_{РУВВ} - h_{ср}^{рр} P$ .

В соответствии с рисунком 1.8 расчетная длина моста

$$L_m^p = 1,1L_0 + 3(\text{БП} - \text{РУВВ} + 0,5h_{п}^{рр} P) + 2, \quad (1.14)$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий толщину промежуточных опор;  $L_0$  – отверстие моста в свету, м;  $P$  – коэффициент общего размыва.

Схема моста характеризуется разбивкой на пролёты и расположением езды на пролетных строениях.

Технически рациональная разбивка моста на пролеты возможна в виде равнопролетной схемы ( $nl$ ) или в виде схемы с уменьшенными береговыми (крайними) пролетами ( $l_k + ml + l_k$ ). Следует учитывать, что размеры крайних пролетов связаны с типом береговых опор (устоев),

которые, в свою очередь, зависят от высоты насыпи у концов моста.

При высоте насыпи до 6–8 м устои могут быть приняты по типовому проекту инв. № 708; они допускают длину  $l_k$  до 11,5 м. При большей высоте насыпи возможны типовые устои по проекту инв. № 828/1, пригодные под железобетонные пролетные строения всех остальных размеров (от 16,5 до 23,6 м).

Среднюю часть моста (или весь мост при равнопролетной схеме) следует перекрывать пролетными строениями длиной от 6,0 до 23,6 м.

Данные по типовым конструкциям железобетонных пролетных строений приведены в приложении Б, данные по типовым конструкциям опор балочно-разрезных мостов – в приложении В.

При разбивке моста на пролеты береговые пролетные строения следует выбирать минимальной длины, чтобы крайние промежуточные опоры не засыпались лобовыми откосами насыпей (рисунок 1.9).

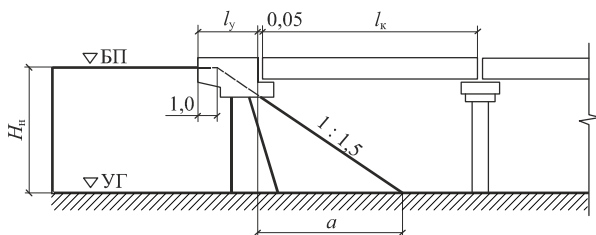


Рисунок 1.9 – Расчетная схема выбора береговых (крайних) пролетных строений

Необходимо определить расстояние по горизонтали от шкафной стенки устоя до нижней границы лобового откоса насыпи

$$a = 1,5H_1 - (l_0 - 1,0)$$

и выполнить условие

$$l_{\hat{e}} > a,$$

где  $H_n$  – высота насыпи,  $l_y$  – длина устоя;  $l_k$  – длина берегового пролетного строения.

Выполняя условие, необходимо учитывать, чтобы расстояние  $(l_k - a)$  было минимальным.

Фактическая длина моста при равнопролетной схеме определяется по формуле

$$L_M^{\Phi} = 2l_y + nl + 0,05(n + 1), \quad (1.15)$$

где  $l$  – длина пролетного строения;  $n$  – число пролетов, принимаемое в



процессе расчётов; 0,05 – межпролетное расстояние ( $e$ ).

Фактическая длина моста при схеме с уменьшенными береговыми (крайними) пролетами

$$L_M^{\Phi} = 2l_y + 2l_k + \sum_1^n nl + 0,05(n + 2 + 1), \quad (1.16)$$

где  $n$  – число руслых пролетов.

Фактическая длина моста будет несколько отклоняться от расчетной из-за суммирования ее из строго определенных размеров типовых пролетных строений и устоев; отклонения допустимы до  $\pm 5\%$ :

$$\Delta = \frac{L_M^p - L_M^{\Phi}}{L_M^p} \cdot 100\% \leq 5\% \quad (1.17)$$

Необходимо убедиться в достаточности высоты моста при выбранных пролетных строениях путем проверки условия

$$\nabla_{\text{ПР}} - \nabla_{\text{РУВВ}} - h_c \geq 0,75 \text{ м}, \quad (1.18)$$

где  $h_c$  – строительная высота наибольшего пролетного строения.

Если условие не выполняется, то необходимо использовать пролетные строения с пониженной строительной высотой или уменьшать длину руслых пролетов.

По принятой схеме моста необходимо на миллиметровой бумаге формата А4 начертить в масштабе поперечное сечение максимального по длине пролетного строения моста и привести его характеристики.

### Пример решения задачи

Длина моста определяется на основании рисунка 1.8.

При  $L_0 = 28,51$  м,  $\nabla_{\text{БП}} = 60,70$  м,  $\nabla_{\text{РУВВ}} = 56,40$  м,  $h_{\text{П}}^{\text{ДР}} = 1,40$  м и  $P = 1,75$  по формуле (1.14):

$$L_M^p = 1,1 \cdot 28,51 + 3 \cdot (60,70 - 56,40 + 0,5 \cdot 40 \cdot 1,75) + 2 = 49,94 \text{ м}.$$

Таким образом, расчетная длина моста  $L_M^p = 49,94$  м.

Для определения фактической длины моста разрабатывается схема моста.

Высота насыпи:  $H_{\text{Н}} = \text{БП} - \text{УРГ} = 60,70 - 55,0 = 5,70$  м.

Следовательно, для береговых опор принимаются свайные устои для мостов эстакадного типа под железобетонные пролетные строения с ездой

поверху по типовому проекту инв. № 708/11, ЛГТМ–1974 (рисунок В.1).

Длина крайних пролетных строений зависит от типа и длины устоев.

Предварительно можно принять длину устоев  $l_y = 2,95$  м. По типовому проекту инв. № 708/11 ЛГТМ–1974 на устои опираются пролетные строения длиной 6,0; 9,3; 11,5 м (таблица В.1).

По рисунку 1.9:  $a = 1,5 \cdot 7 - (2,95 - 1,0) = 6,6$  м.

Следовательно, для дальнейших расчетов принимаются  $l_y = 2,95$  м;  $l_k = 9,3$  м.

Необходимо выполнить разбивку средней части моста, включая и русловой пролет. Эти пролетные строения определяются подбором, при этом длина их должна быть не менее  $l_k$ . Для данного моста можно предложить один русловой пролет ( $l = 23,6$  м).

К расчетам принимаем схему моста с крайними пролетами  $l_k = 9,3$  м и русловым пролетом  $l = 23,6$  м. Береговые пролетные строения двухблочные из обычного железобетона по типовому проекту инв. № 3.501.1–146 (рисунок Б.2). Русловой пролет двухблочный из предварительно напряженного железобетона по типовому проекту инв. № 3.501–175.93 (рисунок Б.3).

Схема разбивки моста на пролеты представлена на рисунке 1.10.

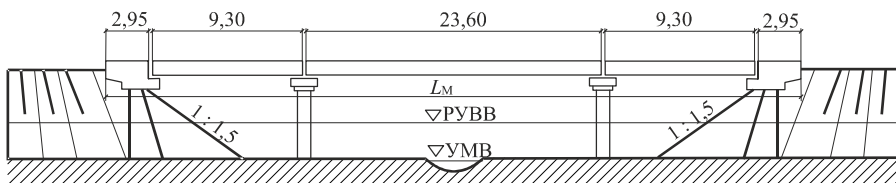


Рисунок 1.10 – Схема разбивки моста на пролеты

Определим фактическую длину моста.

При  $l_y = 2,95$  м,  $l_k = 9,30$  м,  $l = 23,6$  м,  $n = 1$  по формуле (1.16)

$$L_1^0 = 2 \cdot 2,95 + 2 \cdot 9,30 + 1 \cdot 23,6 + 0,05 \cdot (1 + 2 + 1) = 48,3 \text{ м}.$$

При  $L_M^p = 49,94$  м и  $L_M^0 = 48,3$  м по формуле (1.17)

$$\Delta = \frac{49,94 - 48,3}{49,94} \cdot 100 \% = 3,28 \% \approx 5 \%.$$

Следовательно, разбивка моста на пролеты выполнена верно.

Убедиться в достаточности высоты моста при выбранных пролетных строениях можно путем проверки условия (1.18): при  $\nabla_{\text{ПР}} = 61,60$  м;  $\nabla_{\text{РУВВ}} = 56,40$  м,  $h_c = 2,56$  м

$$61,60 - 56,40 - 2,56 = 2,64 \geq 0,75 \text{ м.}$$

Условие выполняется.

Поперечное сечение максимального по длине пролетного строения моста и его характеристики представлены на рисунке 1.11 и в таблице 1.1.

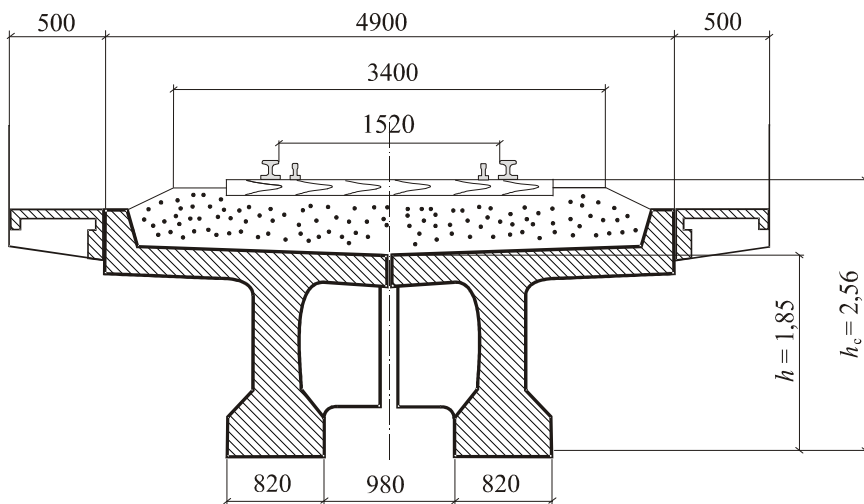


Рисунок 1.11 – Поперечное сечение балочного двухпролетного из обычного железобетона пролетного строения по типовому проекту инв. № 3.501–175.93

Т а б л и ц а 1.1 – Основные характеристики принятого пролетного строения по типовому проекту инв. № 3.501–175.93

Полная длина $l_n$ , м	Расчетный пролет $l_p$ , м	Строительная высота от подошвы рельса до низа балки $h_c$ , м	Высота балки $h$ , м	Класс бетона балок	Масса одной балки с изоляцией, т
23,6	22,9	2,56	1,85	B30	82,9

## 2 РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА "ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПОР МОСТА"

*Расчетно-графическая работа включает следующие задачи:*

- 1 Проектирование устоев моста.
- 2 Проектирование промежуточных опор моста.

Расчетно-графическая работа содержит 6–8 листов пояснительной записки и чертежи, выполненные на отдельных листах миллиметровой бумаги: устоя моста и промежуточной опоры.

### 2.1 Проектирование устоев моста

Устои разделяют на два основных вида: *необсыпные* и *обсыпные*. Для обсыпных устоев характерно, что конус насыпи выходит в пролет. При устоях необсыпного типа конус расположен в пределах длины самого устоя и его подошвы, он не выходит за переднюю грань устоя. В средних и больших мостах чаще всего применяют обсыпные устои.

По соображениям экономичности и технологичности устои целесообразно использовать по возможности в их простейшем – свайном – виде. При выборе устоев необходимо учитывать длину опирающегося пролетного строения ( $l_n$ ) и высоту насыпи ( $H$ ). Типовые конструкции устоев представлены в приложении В.

Несущая способность свай зависит от многих факторов. Среди них важнейшими являются размеры свай, характеристики грунтов, в которые погружается свая, технология погружения забивных свай.

В расчете несущей способности грунтового основания фундамента необходимо проверить выполнение условия

$$N_{\max} + Q_c \leq F_d \frac{\gamma_c}{\gamma_n}, \quad (2.1)$$

где  $N_{\max}$  – наибольшее расчетное продольное усилие в верхнем сечении свайного элемента, кН (приводится в таблицах приложения В как вертикальное сжимающее усилие  $N_c$ );  $Q_c$  – вес свайного элемента, кН (приложение Г);  $F_d$  – несущая способность свай, кН;  $\gamma_c$  – коэффициент работы свай в грунте, принимаемый равным 1,0;  $\gamma_n$  – коэффициент надежности по назначению сооружения и условий работы.

Если свайные элементы фундамента моста опираются на нескальный грунт и плита ростверка расположена над его поверхностью, значения  $\gamma_n$  следует принимать в зависимости от числа свай в фундаменте  $n$  (таблица Д.1).

Несущая способность сваи  $F_d$  определяется по формуле

$$F_d = \gamma_{cr} RA + U_i \gamma_{cf} h_i R_{fi}, \quad (2.2)$$

где  $\gamma_{cr}$ ,  $\gamma_{cf}$  – коэффициенты условий работы грунта под нижним концом и на боковой поверхности сваи (таблица Д.2);  $A$  – площадь опирания на грунт нижнего конца (поперечное сечение) сваи, м<sup>2</sup>;  $U_i$  – усредненный периметр поперечного сечения сваи в  $i$ -том слое грунта, м;  $R$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа (таблица Д.3);  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, м, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, принимаемая разбивкой массива на слои (слой грунта однороден);  $R_{fi}$  – расчетное сопротивление (прочность)  $i$ -го слоя грунта по боковой поверхности сваи, кПа (таблица Д.4).

Для устоев проекта инв. № 708/11, ЛГТМ – 1974 г. нагрузки на сваи  $N_c$  при высоте насыпи 7 м можно принимаются на 10 %, а при высоте 8 м – на 20 % больше табличных значений, отвечающих высоте насыпи 6 м (таблица В.2).

Так как для проектируемого моста в предыдущей расчетно-графической работе был назначен свайный устой и определено количество наклонных и вертикальных свай, то задача сводится к подбору марки сваи.

Минимальная длина сваи ( $l_{св}$ ) составляет 6,0 м, максимальная – 18,0 м. Сваи выпускаются с градацией длины 1,0 м. Минимальное заглубление сваи в грунт для капитальных мостов 4,0 м.

Для средних мостов в основном используют квадратные сваи сечением 30×30; 35×35; 40×40 см.

Полная длина сваи включает отрезок сопряжения сваи в насадке устоя, расстояние от отметки низа насадки до отметки уровня грунта (ВУГ) и длину погружения сваи в грунт согласно обеспечению ее несущей способности.

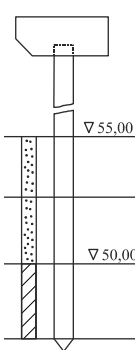
Свая входит в насадку на толщину  $2d_c$ , где  $d_c$  сторона сечения квадрата сваи.

Отметка низа насадки определяется расчетом в зависимости от отметки подошвы рельса (ВПР) и высотных размеров устоя.

Расчетное усилие  $N_c$  в сваях принятого устоя зависит от высоты насыпи  $H$  и длины опираемого на устой пролетного строения.

Расчет несущей способности сваи удобно вести в табличной форме (таблица 2.1).

Т а б л и ц а 2.1 – Расчет несущей способности свай

	Грунт	Толщина слоя	Средняя глубина слоя грунта, м	Марка сваи	Усилие на сваю $N_{max} + Q_c$ , кН	$R$ , кПа	$R_{fi}$ , кПа	Несущая способность $F_d = \gamma_c RA + U \sum \gamma_{ij} h_i R_{fi}$ , кН	Расчетная несущая способность $F_d \gamma_c / \gamma_n$ , кН
	$h_i$								

Отрезки свай, по которым суммируется сопротивление по боковой поверхности, должны приниматься длиной  $h_i$  не более 2,0 м каждый, а самый верхний – 3,0 м от  $\nabla$ УГ (рисунок 2.1).

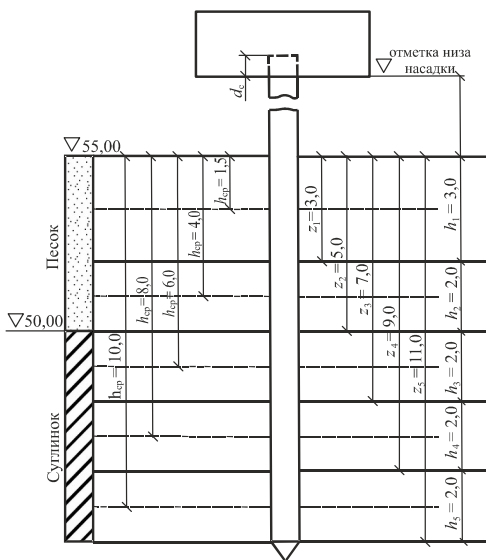


Рисунок 2.1 – Примерная расчетная схема свайного фундамента для устоев на пойме реки

При слабых грунтах условие  $N_{\max} + Q_c \diamond F_d \frac{\gamma_c}{\gamma_n}$  для свайных устоев

по типовым проектам инв. № 708/11, ЛГТМ – 1974 г. и инв. № 828/1, ЛГТМ – 1971 г. не выполняется даже при максимальных размерах свай. Выход из затруднений может быть найден за счет применения стоечной конструкции устоя на свайном фундаменте с увеличенным количеством свай (рисунки В.4 и В.5).

Следует иметь в виду, что для такого фундамента допустимо расположение плиты и башмаков без заглубления в грунт основания; достаточно лишь обеспечить удаление передней кромки подошвы плиты от поверхности лобового откоса насыпи на величину не менее глубины промерзания. Толщину плиты следует принимать не менее двойной толщины свай, размеры плиты в плане целесообразно сохранить указанными в типовом проекте для устоя той же высоты. Расчет свай в таком фундаменте можно сделать, определяя суммарную нагрузку на весь фундамент, включая вес стоек и плиты фундамента. Указанную суммарную нагрузку следует равномерно распределить между всеми сваями фундамента, которые, в свою очередь, следует равномерно разместить в пределах площади плиты с интервалами не менее  $3d_c$  в обоих направлениях. От краев плиты до граней ближайших свай должно быть не менее 25 см.

## Пример решения задачи

Исходные данные:

1 Расчетная толщина льда –  $h_{л} = 0,45$  м.

2 Расчетная глубина промерзания грунта –  $h_{пр} = 1,2$  м.

3 Схема и полная длина моста –  $L_{м}^{\phi} = 48,3$  м ;  $9,3 \times 23,6 \times 9,3$ .

4 Типовой проект устоев, количество свай, нагрузка – инв. № 708/11 ЛГТМ–1974, в каждом устое –  $n_{в} = 4$  шт.,  $n_{н} = 4$  шт.,  $N_c = 610$  кН.

5 Характеристика грунтов под устоями моста: левый – песок крупный средней плотности водонасыщенный с  $\nabla 50,00$  до  $\nabla 55,00$ , ниже  $\nabla 50,00$  суглинок тугопластичный; правый – суглинок тугопластичный.

На миллиметровой бумаге формата А4 необходимо выполнить чертеж свайного устоя. Масштаб следует принять 1 : 100. Чертеж свайного устоя приведен на рисунке 2.2.

Выбор свай определяется методом подбора и проверочных расчетов. Назначим сваю сечением  $30 \times 30$  см. В устое их 8 (4 вертикальные и 4 наклонные). Размещаем их симметрично осей насадки.



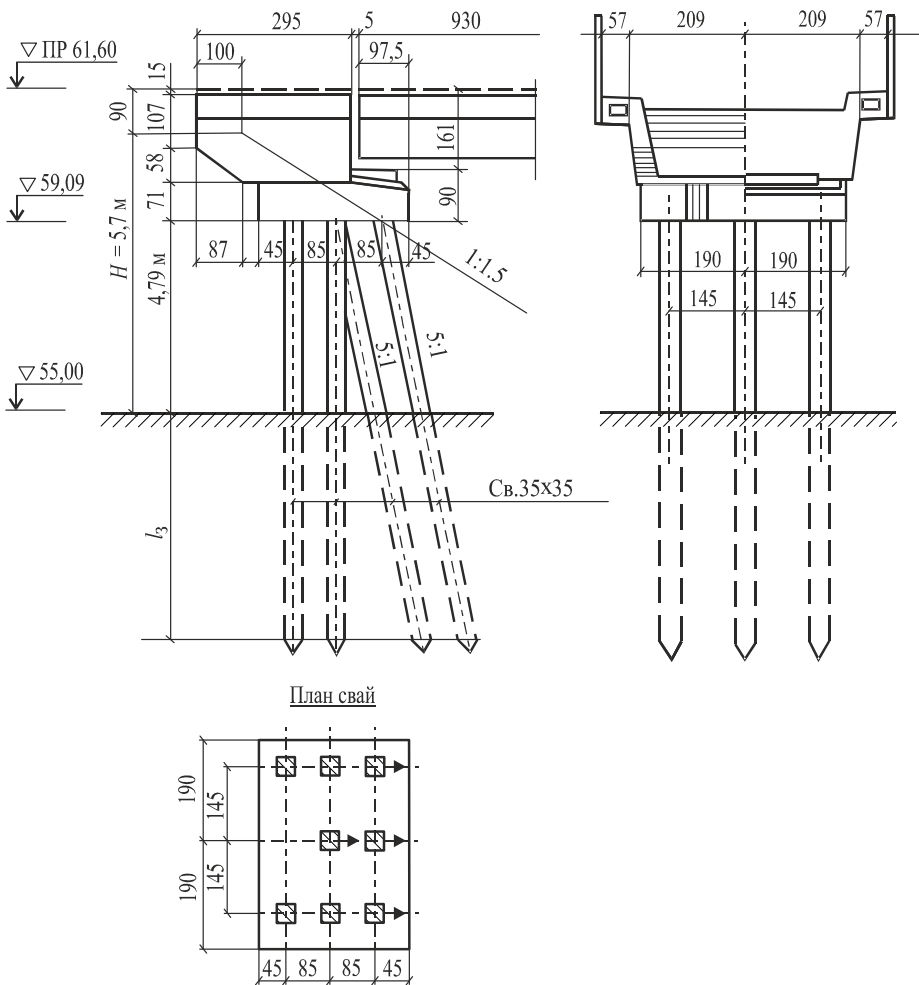


Рисунок 2.2 – Свайный устой для мостов эстакадного типа под железобетонные пролетные строения с ездой поверху по типовому проекту № 708/11, ЛГТМ–1974 г.

Определим длину сваи от верха до отметки  $\nabla$ УГ. Отметка верха сваи на  $2d_c$  выше отметки низа насадки. Таким образом, необходимо определить высоту от отметки низа насадки принятого устоя до отметки  $\nabla$ УГ и прибавить к ней толщину заделки сваи в насадку  $2d_c$ .

Отметку низа насадки можно определить в зависимости от заданной отметки  $\nabla$ ПР и высотных размеров устоя.

В соответствии с рисунком 2.2 вычислим отметку низа насадки:

$$\nabla\text{ПР} - 0,15 - 1,07 - 0,58 - 0,71 = 61,60 - 0,15 - 1,07 - 0,58 - 0,71 = 59,09 \text{ м.}$$

$d_c = 0,3$  м, тогда отметка верха сваи:

$$59,09 + 0,3 = 59,69 \text{ м.}$$

Следовательно, длина сваи над  $\nabla$ УГ:

$$59,69 - \nabla\text{УГ} = 59,69 - 55,00 = 4,69 \text{ м.}$$

Расчетное усилие  $N_c$  в сваях принятого устоя зависит от высоты насыпи  $H$  и опираемого на устой пролетного строения. Расчетные значения  $N_c$  представлены в таблице В.2.

При  $H = 5,70$  м и  $l_n = 9,3$  м выберем расчетное усилие из таблицы В.2:  $N_c = 610$  кН.

Рассчитываем левый устой моста (таблица 2.2). Первый расчетный слой грунта 3,0 м, тогда для погружения до этого уровня необходима свая сечением 30×30 см и длиной 8,0 м ( $4,69 + 3,0 = 7,69$  м).  $Q_c = 1,83$  т (приложение Г).

После расчета погружения в первый слой условие (2.1) не выполняется. Продолжаем расчет погружения дальше. Выбираем следующий слой толщиной 1,0 м и заменяем сваю сечением 35×35 см. Выполним расчет, условие (2.1) выполняется. Следовательно, для левого устоя выбираем сваи длиной 9,0 м, сечением 35×35 см (С9-35).

Так как длина моста 48,3 м, а русло реки расположено под его центром, то под правым устоем ниже отметки  $\nabla 55,00$  будет залегать только суглинок тугопластичный. Расчет с составлением таблицы производится аналогично расчету левого устоя. Условие (2.1) выполняется после погружения сваи сечением 40×40 см в грунт на 9,0 метров:

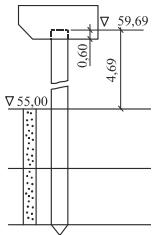
$$610 + 4,33 \cdot 9,81 \leq 1 \cdot 3400 \cdot 0,16 + 1,6 \cdot (1 \cdot 3 \cdot 28,5 + 1 \cdot 2 \cdot 40 + 1 \cdot 2 \cdot 45 + 1 \cdot 2 \cdot 48)$$

$$652,4 \text{ кН} < 670,5 \text{ кН.}$$

Для правого устоя принимаем сваи длиной 14,0 м ( $4,69 + 9,0 = 13,69$  м) сечением 40×40 см (С14-40).

В конце задачи выполняем схему правого устоя подобно рисунку 2.2.

Т а б л и ц а 2.2 – Расчет несущей способности свай левого устоя

	Грунт	$h_i$ , м	Глубина слоя грунта, м	Марка свай	Усилие на сваю $N_{\max} + Q_c$ , кН	$R$ , кПа	$R_{f_i}$ , кПа	Несущая способность $F_d = \gamma_c \cdot RA + U_i \sum \gamma_{c_i} h_i R_{f_i}$ , кН	Расчетная несущая способность $F_d / \gamma_b$ , кН
	Песок крупный	3	1,5	С8-30	$610 + (1,83 \cdot 9,81) = 627,95$	6600	57,5	$1 \cdot 6600 \cdot 0,09 + 1,2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 57,5 = 801$	$801 \cdot 1 / 1,65 = 485,0$
Песок крупный	1	3,5	С9-35	$610 + (2,80 \cdot 9,81) = 637,49$	6800	67,5	$1 \cdot 6800 \cdot 0,1225 + 1,4(1 \cdot 3 \cdot 57,5 + 1 \cdot 1 \cdot 67,5) = 1169$	$1169 \cdot 1 / 1,65 = 709,0$	

$$l_{\text{св}} = 4,69 + 3,0 + 1,0 = 8,69 \text{ м.}$$

Принимаем сваю  $l_{\text{св}} = 9,0 \text{ м (С9-35)}$ .

## 2.2 Проектирование промежуточных опор моста

В конструкции промежуточной опоры (*быка*) обычно различают следующие основные части: подферменную плиту или оголовок, тело быка и фундамент.

При выборе типа опоры необходимо обеспечить прочность элементов основания с учетом местных условий, отсутствие недопустимых осадок или смещений, а также минимальные расходы на сооружение основания, возможность индустриализации и механизации, безопасные условия труда.

Часто в одних и тех же условиях тип опоры может быть принят различным; в этих случаях его выбирают в результате сравнения вариантов конструкции опоры.

При расчетах необходимо учитывать, что непосредственно у опор кроме общего размыва русла ( $\nabla$ ЛОР) проходит местный размыв грунта (в работе принимается 2,5 м). Поэтому расчет несущей способности свай в свайной опоре необходимо начинать от отметки  $\nabla$ ЛОР–2,5 м.

Для расчетов выбираем опору, воспринимающую максимальную нагрузку (нагрузка с пролетных строений максимальной длины).

Наиболее экономичны свайные опоры (приложение В.1.3), допускающие опирание пролетных строений 6,0 – 16,5 м при высоте насыпи на подходах к мосту  $H \leq 6,0$  м.

Использование таких опор часто оказывается невозможным из-за больших нагрузок на сваи  $N_{\max}$ , которые с учетом суммарного размыва русла для обеспечения несущей способности должны быть предельной длины.

Альтернативой свайным опорам могут быть типовые опоры на свайных фундаментах: стоечные (приложение В.2.3), рамные (приложение В.2.4), массивные (приложение В.3).

При этом расположение фундамента (рисунок 2.3) в работе принимается традиционное (без превышения низа плиты над  $\nabla$ УМВ).

Отметка подошвы фундамента определяется по формуле

$$\nabla \text{ПФ} = \text{ЛОР} - 2,5. \quad (2.3)$$

Возможно назначить отметку подошвы фундамента ( $\nabla$ ПФ) и ниже из-за стандартных размеров железобетонных конструкций на 0,5–0,7 м. Выбор отметки еще ниже считается неэффективным.

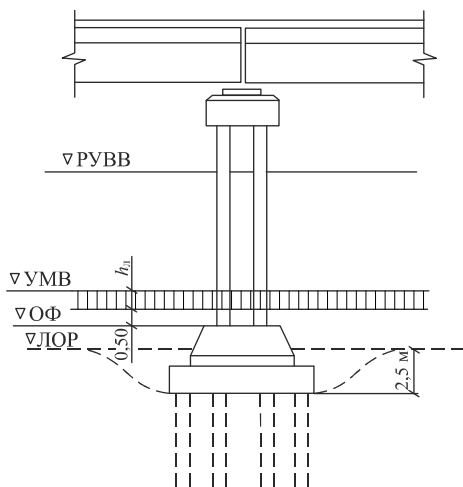


Рисунок 2.3 – Традиционное расположение свайного фундамента в типовых опорах

При выборе свайного фундамента (см. рисунок 2.3) отметку расположения обреза фундамента проверяют по формуле

$$\text{ОФ} - \text{УМВ} h_{\text{л}} 0,5, \quad (2.4)$$

где  $\text{ОФ}$  – отметка обреза фундамента;  $h_{\text{л}}$  – толщина льда.

В набухающих грунтах (все грунты, кроме скальных, гравелистых и крупнопесчаных) подошва фундамента должна быть заглублена на 0,25 м ниже глубины промерзания грунта. С учетом этого отметка подошвы фундамента проверяется по формуле

$$\text{ПФ} - \text{УГ} h_{\text{пр}} 0,25, \quad (2.5)$$

где  $\text{ПФ}$  – отметка подошвы фундамента;  $h_{\text{пр}}$  – глубина промерзания.

Индивидуально проектируемые свайные опоры и свайные фундаменты стоечных, рамных и массивных опор нуждаются в специальном расчете. Во всех случаях расчет сводится к определению количества свай в опоре (фундаменте). Необходимое количество свай в фундаменте может быть приближенно определено через условную суммарную вертикальную нагрузку на весь фундамент.

Для свайных опор количество свай назначается в соответствии с приложением В.

Размеры плиты свайного фундамента назначаются равными размерам типовой опоры, и в этих пределах размещается вычисленное количество свай. Размеры фундамента в массивных опорах необходимо

назначать на основании типовых размеров опоры с учетом уступов (размеры уступов применять 0,3–0,5 м).

При этом применяют только монолитный бетонный фундамент высотой  $(1,2 \dots 1,5) + 2d_c$ . При необходимости его можно использовать вместо железобетонного фундамента в стоечных и рамных опорах.

Условная суммарная вертикальная нагрузка на фундамент рассчитывается по формуле

$$N_{\text{н}} = \frac{1,3(P + \text{?}G_i\gamma_{f,i})}{n_{\text{н}}}, \quad (2.6)$$

где 1,3 – коэффициент надежности расчета, в котором не учитываются горизонтальные нагрузки;  $P$  – усилие, создаваемое поездной нагрузкой, кН;  $\text{?}G_i\gamma_{f,i}$  – сумма всех постоянных нагрузок, действующих в уровне подошвы фундамента, с учетом коэффициентов перегрузки, кН;  $n_{\text{св}}$  – число свай в фундаменте.

Усилие, создаваемое поездной нагрузкой,

$$P = 0,5(l_1^\delta + l_2^\delta)k_i\gamma_{f,i}, \quad (2.7)$$

где  $l_1^\delta, l_2^\delta$  – расчетные длины опирающихся на опору пролетных строений;  $k_i$  – эталонная временная вертикальная эквивалентная нагрузка схемы Н1, кН/м пути; нагрузка учитывается для двух опирающихся на опору пролетных строений с определением ее интенсивности по суммарной длине нагружения  $\lambda = l_1^\delta + l_2^\delta$  (рисунок 2.4, таблица Д.5);  $\gamma_{f,i}$  – коэффициент надежности для вертикальной нагрузки от подвижного состава, тормозной и центробежной сил (таблица Д.6).

Сумма всех постоянных нагрузок с учетом коэффициентов перегрузки

$$\text{?}G_i\gamma_{f,i} = G_{\text{и}}\gamma_{f,\text{и}} + G_{\text{н}}\gamma_{f,\text{н}} + G_{\text{оп}}\gamma_{f,\text{оп}} + G_{\text{р}}\gamma_{f,\text{р}}, \quad (2.8)$$

где  $G_{\text{мн}}$  – вес мостового полотна, кН;  $G_{\text{пс}}$  – вес пролетных строений, опирающихся на опору, кН;  $G_{\text{оп}}$  – вес тела опоры, кН;  $G_{\text{р}}$  – вес ростверка (плиты) свайного фундамента, кН;  $\gamma_{f,\text{и}}, \gamma_{f,\text{н}}, \gamma_{f,\text{оп}}, \gamma_{f,\text{р}}$  – коэффициенты надежности по нагрузке для постоянных нагрузок, принимаемые по таблице Д.7.

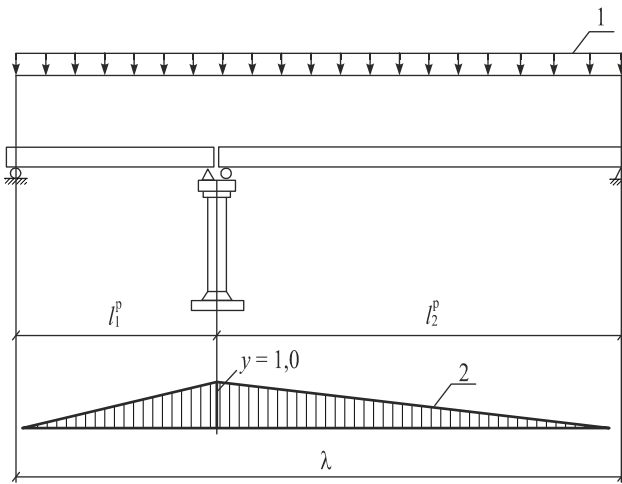


Рисунок 2.4 – Схема загрузки промежуточной опоры:  
 1 – допустимая временная вертикальная нагрузка интенсивностью  $k$ ;  
 2 – линия влияния вертикальных сил

Вес мостового полотна

$$G_{iI} = 0,5(l_1^{\delta} + l_2^{\delta})\gamma_n, \quad (2.9)$$

где  $\gamma_n$  – удельный вес материала мостового полотна,  $\text{кН/м}^3$  (таблица Д.8).

Вес пролетных строений, опирающихся на опору, рассчитывается по формуле

$$G_{nc} = 0,5(m_1^{nc} + m_2^{nc})g, \quad (2.10)$$

где  $m_1^{nc}, m_2^{nc}$  – массы опирающихся на опору пролетных строений с изоляцией, т;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

Вес тела опоры

$$G_{iI} = V_{iI} \rho, \quad (2.11)$$

где  $V_{оп}$  – объем железобетона тела опоры,  $\text{м}^3$ ;  $\rho$  – плотность железобетона,  $\text{кН/м}^3$ .

Вес ростверка (плиты) свайного фундамента определяется по формуле

$$G_p = V_p \rho, \quad (2.12)$$

где  $V_p$  – объем железобетона ростверка (плиты).

Расчет длины свай производится аналогично расчету длины свай в устоях, но все значения  $R$  и  $R_{fi}$  (см. таблицы Д.5 и Д.6) определяются на



глубине погружения свай в грунт, считая от поверхности грунта ( $\nabla_{УГ}$ ).

Количество свай определяется подбором. Размещение свай в фундаменте производится согласно требованиям:

– расстояние от боковой грани ростверка (плиты) до наружной грани крайней сваи должно быть не менее 25 см;

– расстояние между осями свай должно быть не менее трех диаметров ( $3d$ ) свай;

– размещение свай в фундаменте симметрично его осей.

На миллиметровой бумаге формата А4 в работе необходимо выполнить схему промежуточной опоры в масштабе 1 : 100 с расположением свай в плане.

### Пример решения задачи

*Требуемые отметки расположения фундамента:*

при  $\nabla_{\text{Е}} \text{Д} = 53,95 \text{ м}$  по формуле (2.3)

$$\nabla_{\text{И}} \hat{\text{О}} = 53,95 - 2,5 = 51,45 \text{ м};$$

при  $\nabla_{\text{О}} \hat{\text{А}} = 54,60 \text{ м}$  и  $h_{\text{с}} = 0,45 \text{ м}$  (по заданию) по формуле (2.4)

$$\nabla_{\text{И}} \hat{\text{О}} = 54,60 - 0,45 - 0,5 = 53,65 \text{ м};$$

при  $\nabla_{\text{УГ}} = 55,0 \text{ м}$  и  $h_{\text{г}} = 1,2 \text{ м}$  (по заданию) по формуле (2.5)

$$\nabla_{\text{И}} \hat{\text{О}} = 55,0 - 1,2 - 0,25 = 53,55 \text{ м}.$$

Следовательно,  $\nabla_{\text{ОФ}} = 53,65 \text{ м}$ ;  $\nabla_{\text{ПФ}} = 51,45 \text{ м}$ .

Таким образом, фундамент промежуточной опоры должен размещаться в соответствии с требуемыми условиями.

Выбирается типовая конструкция промежуточной опоры.

По принятой схеме моста (по заданию) на промежуточную опору опирается пролетное строение с максимальной полной длиной  $l_{\text{п}} = 23,6 \text{ м}$ . По типовому проекту инв. № 636 под данное пролетное строение можно использовать рамную опору (рисунок В.7). Следует убедиться, чтобы фактические отметки фундамента типовой опоры находились не выше требуемых отметок ( $\nabla_{\text{ОФ}}_{\text{факт}} < \nabla_{\text{ОФ}}$  и  $\nabla_{\text{ПФ}} < \nabla_{\text{ПФ}}$ ). Для этого на основании высотных размеров опоры выполняются проверки.

Высота опоры  $H_0$  определяется методом подбора. Выберем  $H_0 = 7,48 \text{ м}$ .

*Проверка отметки обреза фундамента:*

$$\nabla_{\text{ОФ}}_{\text{факт}} = \nabla_{\text{ПР}} - h_{\text{с2}} - H_0 + 1,3,$$

где  $H_{\text{ПР}} = H_{\text{БП}} + 0,9 = 60,70 + 0,90 = 61,60$  м.

При  $H_{\text{ПР}} = 61,6$  м,  $h_{\text{с2}} = 2,56$  м (таблица Б.3) и  $H_0 = 7,48$  м имеем:

$$H_{\text{Ф факт}} = 61,6 - 2,56 - 7,48 + 1,3 = 52,86 \text{ м.}$$

$$H_{\text{Ф факт}} < H_{\text{Ф}} (52,86 < 53,65) .$$

Условие удовлетворяется.

Проверка отметки подошвы фундамента:

$$H_{\text{Ф факт}} = H_{\text{БП}} - h_{\text{н2}} - H_0 - d .$$

При  $d = 0,6$  м имеем:

$$H_{\text{Ф факт}} = 61,6 - 2,56 - 7,48 - 0,6 = 50,96 \text{ м.}$$

$$H_{\text{Ф факт}} < H_{\text{Ф}} (50,96 < 51,45) .$$

Подошва фундамента фактически ниже расчетной на 0,49 м.

Условие удовлетворяется.

Таким образом, используется рамная опора с высотой  $H_0 = 7,48$  м.

Условная суммарная вертикальная нагрузка на фундамент: расчетная схема заграждения промежуточной опоры представлена на рисунке 2.5.

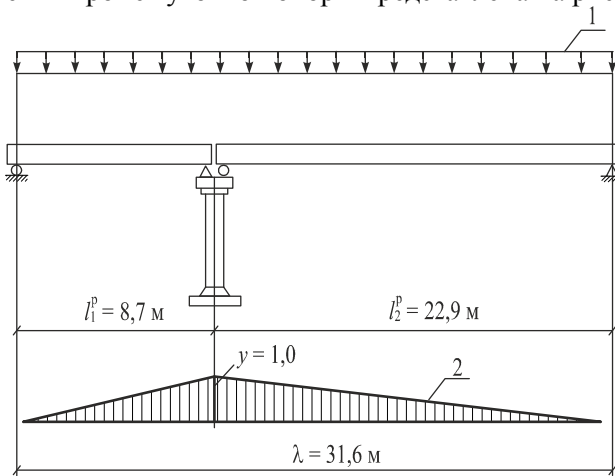


Рисунок 2.5 – Расчетная схема заграждения промежуточной опоры:

1 – допустимая временная вертикальная нагрузка интенсивностью  $k$ ;

2 – линия влияния вертикальных сил

Исходя из рисунка 2.5  $\lambda = 31,6$  м,  $a = l_1^p = 8,7$  м, тогда  $\alpha = a / \lambda = 8,7 / 31,6 = 0,285$ . По таблице Д.5  $k_n = 15,2$ . По таблице Д.6  $\gamma_{f,i} = 1,20$ .

При  $l_1^\delta = 8,7$  м,  $l_2^\delta = 22,9$  м,  $m_1^{\text{н}} = 47,8$  т,  $m_2^{\text{н}} = 165,8$  т,  $V = 8,5$  м<sup>3</sup>,  
 $V_\delta = 18,12$  м<sup>3</sup>,  $k_n = 15,2$ ,  $\gamma_{f,i} = 1,20$ ,  $\gamma_n = 20$  ед / м<sup>3</sup>,  $\gamma_{f,i\text{н}} = 1,3$ ,  
 $\gamma_{f,i\text{н}} = \gamma_{f,i\text{н}} = \gamma_{f,\delta} = 1,1$ ,  $g = 9,81$  м / с<sup>2</sup>,  $\rho = 25$  ед / м<sup>3</sup> по формулам (2.6) –

(2.12) имеем:

$$P = 0,5(8,7 + 22,9) \cdot 20 = 288,20 \text{ кН};$$

$$G_{\text{мп}} = 0,5(8,7 + 22,9) \cdot 20 = 316 \text{ кН};$$

$$G_{\text{пс}} = 0,5(47,8 + 165,8) \cdot 81 = 1047,70 \text{ кН};$$

$$G_{\text{оп}} = 8,5 \cdot 25 = 212,5 \text{ кН};$$

$$G_\delta = 18,12 \cdot 25 = 453 \text{ ед};$$

$$G_f \gamma_{f,i} = 316 \cdot 1,3 + 1047,70 \cdot 1 + 212,5 \cdot 1 + 453 \cdot 1 = 2295,32 \text{ кН};$$

$$N_c = \frac{1,3(288,20 + 2295,32)}{n_{\text{св}}} = \frac{3358,58}{n_{\text{св}}}$$

Количество свай определяется подбором таким образом, чтобы в дальнейших расчетах их длина соответствовала промышленным маркам (приложение Г). В данной опоре рамного типа железобетонная сборная плита фундамента позволяет разместить до 20 свай.

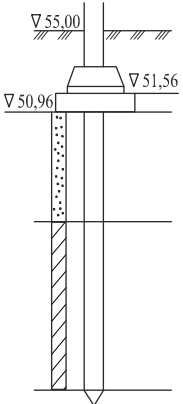
Если разместить все 20 свай, то нагрузка на одну сваю будет соответственно  $N_{\text{н}} = \frac{3358,58}{20} = 167,93$  ед, что очевидно предполагает сваю длиной менее 6,0 м.

Размещаются 16 свай, нагрузка на одну сваю  $N_c = \frac{3358,58}{16} = 209,91$  кН.

Расчет длины сваи сечением 30×30 см ведется в табличной форме (таблица 2.3).

Условие выполняется.  $l_{\text{св}} = 0,6 + 0,96 + 2 + 2 = 5,56$  м. Следовательно, для промежуточных опор выбираются сваи длиной 6,0 м сечением 30×30 см (С6-30). Количество свай – 16 штук на каждую опору (рисунок 2.6).

Т а б л и ц а 2.3 – Расчет несущей способности сваи промежуточной опоры



Грунт	$h_i$ , м Толщина слоя	Средняя глубина слоя грунта, м	Марка сваи	Усилие на сваю $N_{\max} + Q_c$ , кН	$R$ , кПа	$R_{fi}$ , кПа	Несущая способность $F_d = \gamma_{cr}RA + U\Sigma\gamma_{ij}h_iR_{fi}$ , кН	Расчетная несущая способность $F_d\gamma/\gamma_s$ , кН
крупный Песок	0,96	4,48	C6-30	$209,91 + (1,38 \cdot 9,81) = 223,45$	1400	72,4	$1 \cdot 1400 \cdot 0,09 + 1,2 \cdot 1 \cdot 0,96 \cdot 72,4 = 209,40$	$209,40 / 1,65 = 126,90$
	2	6	C6-30	223,45	1450	29,0	$1 \cdot 1450 \cdot 0,09 + 1,2 \cdot 1 \cdot (0,96 \cdot 72,4 + 2 \cdot 29,0) = 292,80$	$292,8 \cdot 1 / 1,65 = 177,45$
Пластичный Суглинок	2	8	C6-30	223,45	1550	33,0	$1 \cdot 1550 \cdot 0,09 + 1,2 \cdot 1 \cdot (0,96 \cdot 72,4 + 2 \cdot 29,0 + 2 \cdot 33,0) = 371,70$	$371,70 \cdot 1 / 1,65 = 225,30$

$$l_{св} = 0,6 + 0,96 + 2,0 + 2,0 = 5,56 \text{ м.}$$

Принимаем сваю  $l_{св} = 6,0 \text{ м (C6-30)}$ .

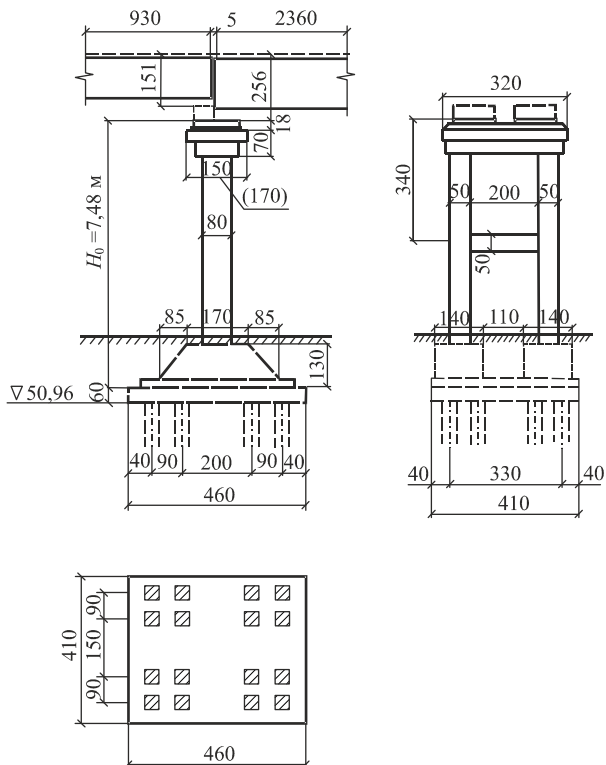


Рисунок 2.6 – Схема промежуточной опоры

### 3 РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

#### "РАСЧЕТ ОБЪЕМОВ РАБОТ ПРИ СООРУЖЕНИИ СРЕДНЕГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТА"

*Расчетно-графическая работа включает следующие задачи:*

- 1 Разработка схемы моста.
- 2 Определение объемов строительных материалов и конструкций.
- 3 Экономический анализ варианта железобетонного железнодорожного моста.

Расчетно-графическая работа содержит 6 – 8 листов пояснительной записки и схему запроектированного моста, выполненную на миллиметровой бумаге.

### **3.1 Разработка схемы моста**

На миллиметровой бумаге необходимо вычертить схему запроектированного моста. Горизонтальный и вертикальный масштабы рекомендуется принять 1 : 200, используя при этом шкалу отметок.

В состав чертежа требуется включить:

- фасад моста;
- поперечный разрез моста по одному из пролетных строений;
- вид на устой со стороны пролетного строения.

На схеме моста изображаются участки подходов насыпи. На лобовых откосах показывают укрепления по поверхности и подошве, а также границы дренирующей обсыпки устоев или контуры предварительно возведенной части насыпи. У одной из промежуточных опор показывают шпунтовое ограждение котлована и тампонажный слой бетона на его дне толщиной не менее 1 м.

Тампонажный слой бетона (его разжиженная консистенция) применяется, если отметка низа шпунта не достигает надежного водонепроницаемого слоя грунта (суглинок, глина) или входит в него менее 0,5 м. Имеется опасность фильтрации воды через дно котлована, что затрудняет откачку воды и производство работ по сооружению фундаментов.

Схема промежуточной опоры моста с забитым шпунтом и устройством тампонажного слоя бетона представлена на рисунке 3.1.

Верх шпунта назначается на 1 м выше УМВ, а низ – на 1–1,5 м ниже дна котлована. Шпунтовую стенку располагают на расстоянии 0,5 м от боковых граней фундамента.

На схеме пунктиром необходимо показать линию общего размыва русла и линию местного размыва у опор.

Пример оформления схемы моста приведен в приложении Д.

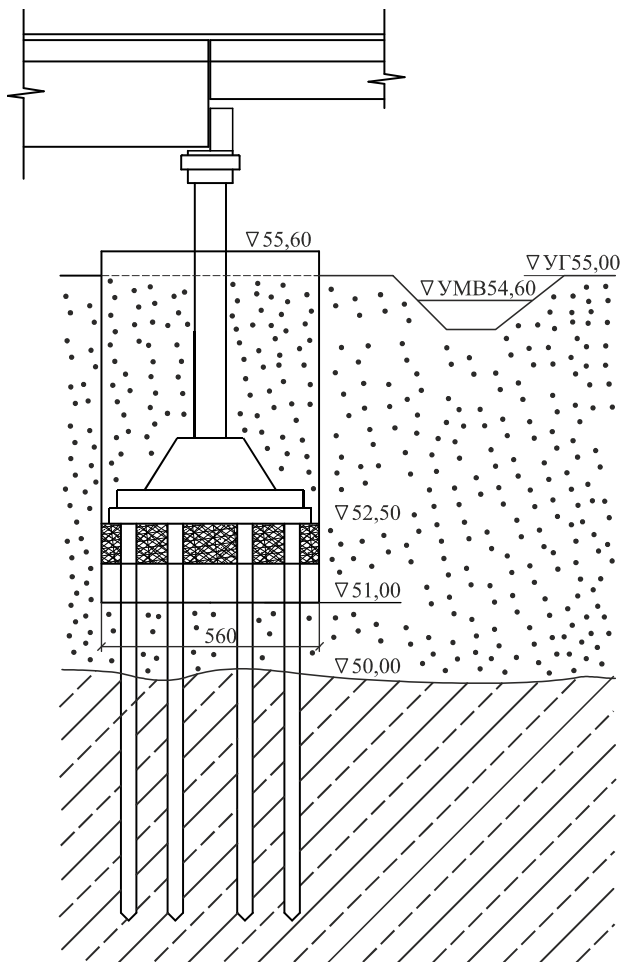


Рисунок 3.1 – Схема промежуточной опоры моста с забивкой шпунта и устройством тампонажного слоя бетона

### 3.2 Определение объемов строительных материалов и конструкций

Ведомость потребности в строительных материалах и конструкциях на мост выполняется в виде таблицы 3.1.

Т а б л и ц а 3.1 – Ведомость потребности в строительных материалах и конструкциях на мост

Наименование конструктивных элементов	Единица измерения	Количество
Подмости под копер для забивки свай и шпунта на грунте	м <sup>2</sup> плана	
Металлическое шпунтовое ограждение	м <sup>2</sup> стенки	
Тампонаж дна котлована бетоном	м <sup>3</sup> бетона	
Железобетонные сваи	м <sup>3</sup> сваи	
Монолитная железобетонная плита свайного фундамента	м <sup>3</sup> железобетона	
Тело опор из монолитного бетона	м <sup>3</sup> бетона	
Тело опор сборно-монолитное	м <sup>3</sup> бетона и железобетона	
Монолитные железобетонные подферменники и прокладные ряды	м <sup>3</sup> железобетона	
Сборный железобетон в мостовых опорах (стойки, ригели, башмаки, шкафные коробки, цельноперевозимые рамы)	м <sup>3</sup> железобетона	
Пролетные строения из обычного железобетона сборные двухблочные	м <sup>3</sup> железобетона	
Пролетные строения из преднапряженного железобетона сборные двухблочные	м <sup>3</sup> железобетона	
Балластное мостовое полотно	п.м. пути	
Укрепление конусов бетонными плитами	м <sup>2</sup> укрепления	

Площадь подмостей под копер для каждой опоры можно принимать по прямоугольному контуру, отстоящему на 4 м от крайних рядов свай. Объемы типовых элементов берутся по справочным данным из типовых проектов.

Объемы земляных и укрепительных работ при сооружении обсыпных устоев рассчитываются исходя из схемы сопряжения с насыпью (рисунок 3.2).

Объемы работ подсчитываются по следующим формулам:

– объем конусов и засыпки за устоями на весь мост

$$V_{\text{кз}} = 36H^3 + 18,08H^2 + 41,14H; \quad (3.1)$$

– площадь укрепления поверхности конусов и лобового откоса на весь мост

$$FH_{\text{кр}} = ( +1)[R,46 + 36,5]; \quad (3.2)$$

– объем бетона в рисберме на весь мост



$$V_{\text{рб}} = [14,15H + 40], \quad (3.3)$$

где  $H$  – высота насыпи, м.

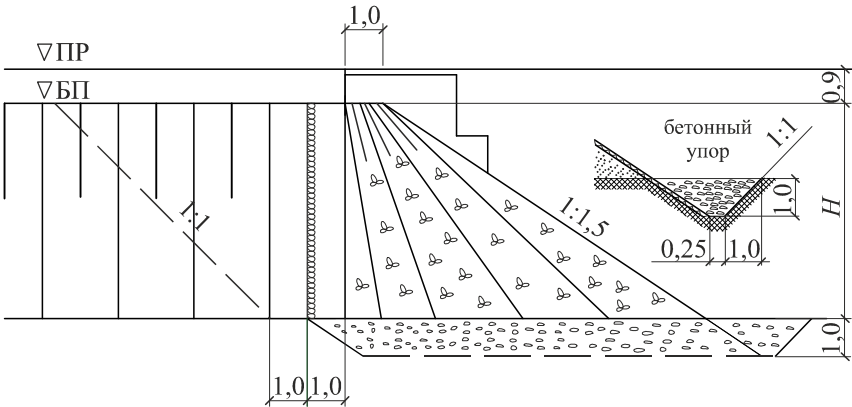


Рисунок 3.2 – Схема сопряжения обсыпного устоя с насыпью

### 3.3 Экономический анализ варианта железобетонного железнодорожного моста

Сметно-финансовый расчет подсчитывается по форме, представленной в таблице 3.2. При этом используются единичные расценки из таблицы 3.3.

Непосредственно анализ экономичности разбивки на пролеты может быть сделан с использованием известного критерия, согласно которому минимальная стоимость одного погонного метра моста при заданном типе всех его элементов достигается при равенстве полной стоимости  $N$  одной промежуточной опоры и стоимости  $C$  одного пролетного строения без учета в ней затрат на элементы, пропорциональные длине. К последним относятся затраты на мостовое полотно, тротуары, ограждения, плиту и изоляцию балластного корыта.

Учету при исчислении  $C$  подлежит только стоимость главных балок и связей (диафрагм) между ними. Таким образом,

$$C = V_{\text{гбд}} c_{\text{жб}}, \quad (3.4)$$

где  $V_{\text{гбд}}$  – объем главных балок и диафрагм, приведенный в справочных данных по пролетным строениям;  $c_{\text{жб}}$  – единичная расценка на железобетон пролетных строений.

Т а б л и ц а 3.2 – Сметно-финансовый расчет

Номер п/п	Наименование конструктивных элементов и работ	Единица измерения	Подсчет объемов или ссылки на справочные данные из типовых проектов	Стоимость, руб.	
				единичная	общая
1	Устои				
2					
3					
			<i>Итого по устоям</i>		
4	Промежуточные опоры				
5					
6					
			<i>Итого по промежуточным опорам</i>		
7	Пролетные строения				
8					
9					
			<i>Итого по пролетным строениям</i>		
10	Земляные и укрепительные работы				
11					
12					
			<i>Итого по земляным и укрепительным работам</i>		
			Полная стоимость моста		

Если стоимость  $N$  и  $C$  различают не более чем на 10 %, можно считать разбивку практически оптимальной; улучшить ее почти невозможно. В случае более сильного неравенства можно попытаться улучшить разбивку: при  $N > C$  – путем увеличения длины пролета (сокращения числа опор), а при  $N < C$  – путем уменьшения длины пролета (облегчения пролетных строений).

С учетом этих соображений следует предложить второй вариант разбивки моста на пролеты. В нем изменения могут затронуть не только среднюю часть моста, но и его концы; может потребоваться изменение типа устоев. Отверстие моста должно быть сохранено в прежнем

размере.

Т а б л и ц а 3.3 – Единичные расценки для подсчета стоимости моста

Номер п/п	Наименование конструктивных элементов и работ	Единица измерения	Единичные расценки в рублях
1	Подмости под оборудование для забивки свай и шпунта на грунте	м <sup>2</sup> плана	2,5
2	Металлическое шпунтовое ограждение	м <sup>2</sup> стенки	80,0
3	Разработка грунта в котлованах (выше отметки УМВ)	м <sup>3</sup> грунта	2,0
4	Разработка грунта в котлованах (ниже отметки УМВ)	м <sup>3</sup> грунта	3,0
5	Тампонаж dna котлована бетона	м <sup>3</sup> бетона	40,0
6	Железобетонные сваи	м <sup>3</sup> свай	140,0
7	Монолитная железобетонная плита свайного фундамента	м <sup>3</sup> железобетона	100,0
8	Тело опор из монолитного бетона	м <sup>3</sup> бетона	80,0
9	Тело опор сборно-монолитное	м <sup>3</sup> бетона и железобетона	120,0
10	Монолитные железобетонные подферменники и прокладные ряды	м <sup>3</sup> железобетона	160,0
11	Сборный железобетон в мостовых опорах (стойки, ригели, башмаки, шкафные коробки, цельноперевозимые рамы)	м <sup>3</sup> железобетона	200,0
12	Пролетные строения из обычного железобетона сборные двухблочные	м <sup>3</sup> железобетона	240,0
13	Пролетные строения из преднапряженного железобетона сборные двухблочные	м <sup>3</sup> железобетона	300,0
14	Балластное мостовое полотно	м	90,0
15	Отсыпка конусов и засыпка за устоями из дренирующего грунта	м <sup>3</sup> грунта	4,0
16	Укрепление конусов железобетонным мощением на щебне	м <sup>2</sup> укрепления	6,0
17	Бетонный упор (рисберма) в основании укрепленных откосов	м <sup>3</sup>	14,0

Если разработанная схема моста нерациональна, необходимо в пояснительной записке представить рациональную схему.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
(справочное)

**Классификация грунтов**

**Т а б л и ц а А.1 – Классификация песчаных грунтов по гранулометрическому составу**

Песок	Распределение частиц по крупности, % от массы воздушно-сухого грунта
Гравелистый	Масса частиц крупнее 2 мм более 25 %
Крупный	То же 0,5 мм более 50 %
Средний	“ 0,25 мм более 50 %
Мелкий	“ 0,1 мм 75 % и более
Пылеватый	“ 0,1 мм менее 75 %

**Т а б л и ц а А.2 – Классификация песчаных грунтов по водонасыщению**

Наименование по степени влажности	Значение степени влажности
Маловлажные	$0 < S_r \leq 0,5$
Влажные	$0,5 < S_r \leq 0,8$
Водонасыщенные	$0,8 < S_r \leq 1,0$

**Т а б л и ц а А.3 – Классификация песчаных грунтов по плотности сложения (учебная)**

Вид песков	Плотность сложения		
	плотные	средней плотности	рыхлые
Гравелистые, крупные и средние	$e < 0,55$	$0,55 \leq e \leq 0,70$	$e > 0,70$
Мелкие	$e < 0,60$	$0,60 \leq e \leq 0,75$	$e > 0,75$
Пылеватые	$e < 0,60$	$0,60 \leq e \leq 0,80$	$e > 0,80$

**Т а б л и ц а А.4 – Классификация глинистых грунтов по консистенции**

Консистенция		Показатель текучести
Супесь	твердая	$I_L < 0$
	пластичная	$0 \leq I_L \leq 1$
	текучая	$I_L > 1$
Суглинок и глина	твердые	$I_L < 0$
	полутвердые	$0 \leq I_L \leq 0,25$
	тугопластичные	$0,25 < I_L \leq 0,5$
	мягкопластичные	$0,5 < I_L \leq 0,75$
	текучепластичные	$0,75 < I_L \leq 1$
	текучие	$I_L > 1$

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

(справочное)

## Типовые конструкции пролетных строений

Двухблочные пролетные строения из обычного железобетона с пониженной строительной высотой (плитные). Серия проекта инв. № 3.501.1–146

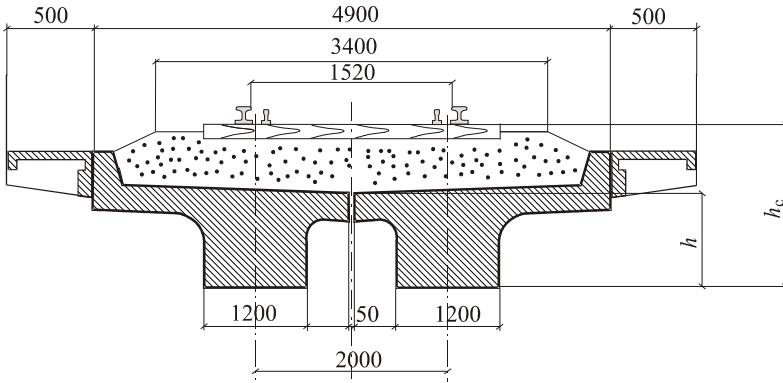


Рисунок Б.1 – Поперечное сечение пролетного строения

Т а б л и ц а Б.1 – Основные данные пролетных строений

Полная длина $l_n$ , м	Расчетный пролет $l_p$ , м	Строительная высота от подошвы рельса до низа балки $h_c$ , м	Высота балки $h$ , м	Класс бетона балок	Масса балки с изоляцией, т
2,95	2,55	0,97	0,35	B25	7,6
4,00	3,60	0,97	0,35	B27,5	10,3
6,00	5,40	1,07	0,45	B27,5	17,0
9,30	8,70	1,22	0,60	B30	28,3
11,50	10,80	1,32	0,70	B30	41,3

*Двухблочные пролетные строения из обычного железобетона (ребристые). Серия проекта инв. № 3.501.1–146*

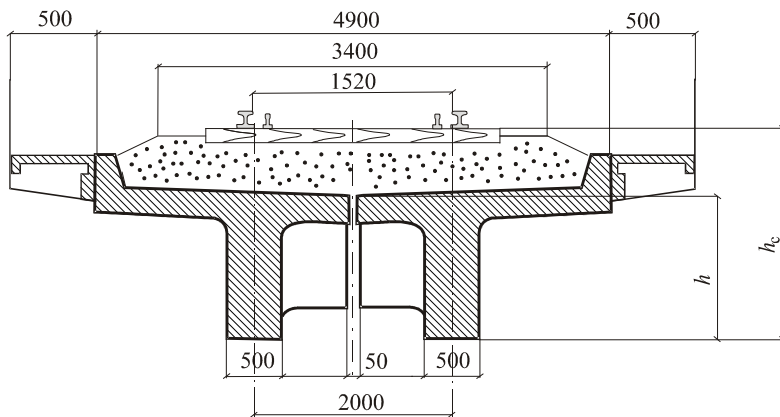


Рисунок Б.2 – Поперечное сечение пролетного строения

Т а б л и ц а Б.2 – Основные данные пролетных строений

Полная длина $l_n$ , м	Расчетный пролет $l_p$ , м	Строительная высота от подошвы рельса до низа балки $h_c$ , м	Высота балки $h$ , м	Класс бетона балок	Масса балки с изоляцией, т
9,30	8,70	1,51	0,89	B27,5	23,9
11,50	10,80	1,66	1,04	B27,5	31,7
13,50	12,80	1,81	1,19	B27,5	39,8
16,50	15,80	2,01	1,39	B27,5	52,8

*Двухблочные пролетные строения из предварительно напряженного железобетона. Серия проекта инв. № 3.501-175.93*

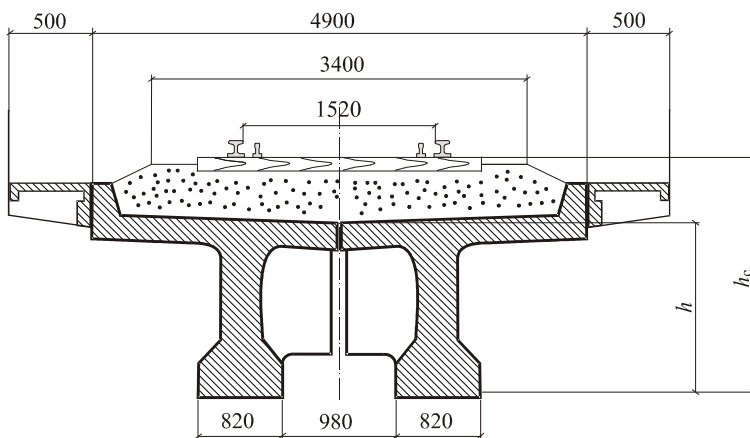


Рисунок Б.3 – Поперечное сечение пролетного строения

Т а б л и ц а Б.3 – Основные данные пролетных строений

Полная длина $l_n$ , м	Расчетный пролет $l_p$ , м	Строительная высота от подошвы рельса до низа балки $h_c$ , м	Высота балки $h$ , м	Класс бетона балок	Масса балки с изоляцией, т
16,5	15,8	2,01	1,39	B30	46,9
18,7	18,0	2,43	1,55	B30	60,9
23,6	22,9	2,56	1,85	B30	82,9

*ПРИЛОЖЕНИЕ В*  
(*справочное*)

**Типовые конструкции опор  
балочно-разрезных мостов**

Возможность применения того или иного типа опор помимо других факторов ограничивается их высотой, а также типом и длиной опирающихся пролетных строений. Для промежуточных опор возможно опирание неодинаковых пролетных строений. В таком случае конструкция их оголовков дополняется переходными железобетонными подферменниками (на схемах показаны пунктиром), имеющими размеры в плане, соответствующие размерам опорных частей, увеличенным на 30–40 см в каждом направлении.

**В.1 Свайные опоры**

Привязка свайных опор к местным условиям требует расчета несущей способности свай по грунту, в результате которого устанавливаются необходимая глубина их забивки  $l_3$  и полная длина. Эти данные позволяют определить объемы свай, не включенные в таблицы основных данных к опорам.

В таблицах основных данных приводятся вертикальные расчетные усилия на одну сваю, количество вертикальных  $n_v$  и наклонных свай  $n_n$  в опоре.



**В.1.1 Свайные устои для мостов эстакадного типа  
под железобетонные пролетные строения с ездой поверху.  
Типовой проект № 708/11, ЛГТМ – 1974 г.**

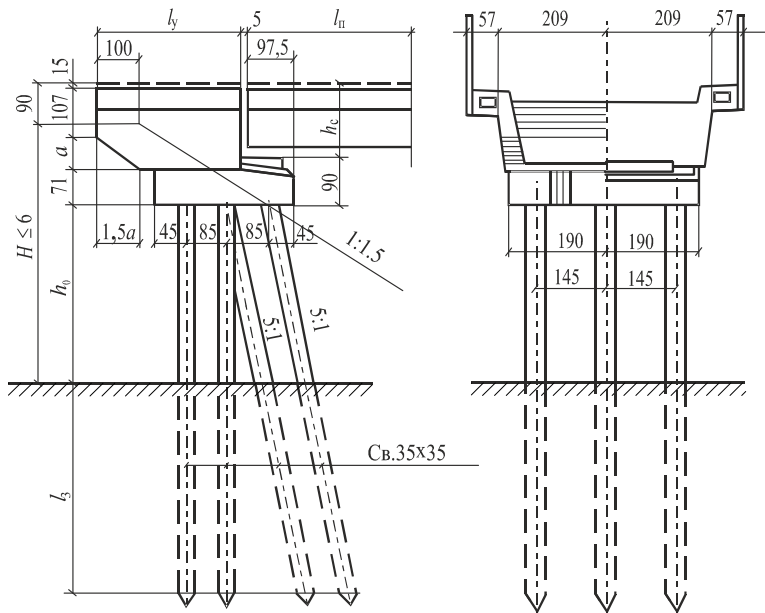


Рисунок В.1 – Схема устоя

**Т а б л и ц а В.1 – Основные размеры устоев**

Размеры, см				Объемы, м <sup>3</sup>	
$l_{п}$	$h_c$	$l_y$	$a$	сборный железобетон без свай	монолитный бетон
600	103	210	0	8,8	0,9
930	161	295	58	11,6	0,9
1150	176	320	73	12,4	0,9

**Т а б л и ц а В.2 – Количество вертикальных  $n_v$  и наклонных  $n_n$  свай в опоре, расчетные усилия в сваях**

$l_{п}, \text{ м}$	6,0					9,3					11,5				
$H, \text{ м}$	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
$n_v$	8	8	8	3	4	8	8	8	3	4	8	8	8	3	4
$n_n$	0	0	0	3	4	0	0	0	3	4	0	0	0	3	4

$N_c$ , кН	380	430	490	520	470	440	530	630	680	610	550	630	710	760	700
------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Примечание – При использовании свай сечением 40×40 см ( $n_b = n_n = 4$ ) допустимая высота устоя увеличивается до 8 м!

**В.1.2 Свайные устои под железобетонные пролетные строения**  
 длиной  $l_n = 16,5...23,6$  м с ездой поверху.  
 Типовой проект № 828/1, ЛГТМ – 1971 г.

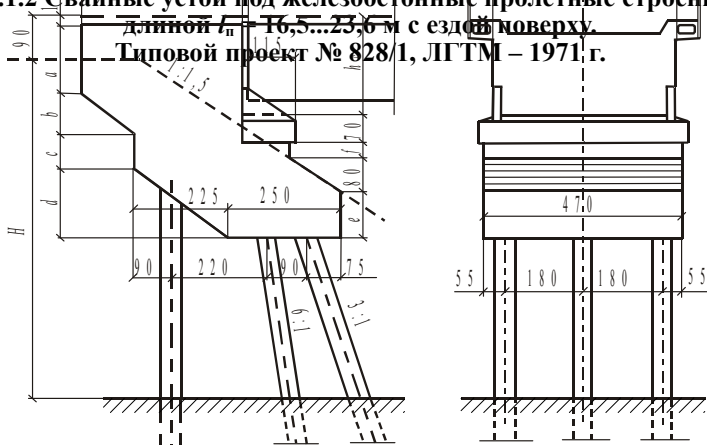


Рисунок В.2 – Схема опоры  
 (при использовании в опоре 12 призматических свай  
 их располагают в 3 поперечных ряда по 4 штуки с интервалом 120 см)

Таблица В.3 – Основные размеры устоев

$l_n$ , м	$H$ , м	Размеры, см							
		$l_y$	$h_c$	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	$f$
16,5	8–10	375	212	150	90	85	165	112	31
18,7	8–10	375	243	150	90	85	165	112	34
23,6	8–12	530	285	135	155	135	165	92	78

Таблица В.4 – Количество свай и объем бетона

$l_n$ , м	$H$ , м	Количество свай, шт.	Сечение свай, см	Объемы (без свай), м <sup>3</sup>		Усилия $N_c$ в сваях, кН
				сборный железобетон	монолитный железобетон	
16,5	8	9	Ø60	11,88	42,47	1300
	8	12	35×35			950
	8	12	40×40			970
	10	12	40×40			1010
18,7	8	9	Ø60	11,88	40,88	1310
	8	12	35×35			980
	8	12	40×40			1000

	10	12	40×40			1080
--	----	----	-------	--	--	------

Окончание таблицы В.4

$l_n$ , м	$H$ , м	Количество свай, шт.	Сечение свай, см	Объемы (без свай), м <sup>3</sup>		Усилия $N_c$ в сваях, кН
				сборный железобетон	монолитный железобетон	
23,6	8	9	Ø60	15,68	46,19	1480
	10	9	Ø60			1615
	10	12	40×40			1168
	12	12	40×40			1306

**В.1.3 Свайные промежуточные опоры для мостов эстакадного типа под железобетонные пролетные строения с ездой поверху.**  
**Типовой проект № 708/11, ЛГТМ – 1974 г.**

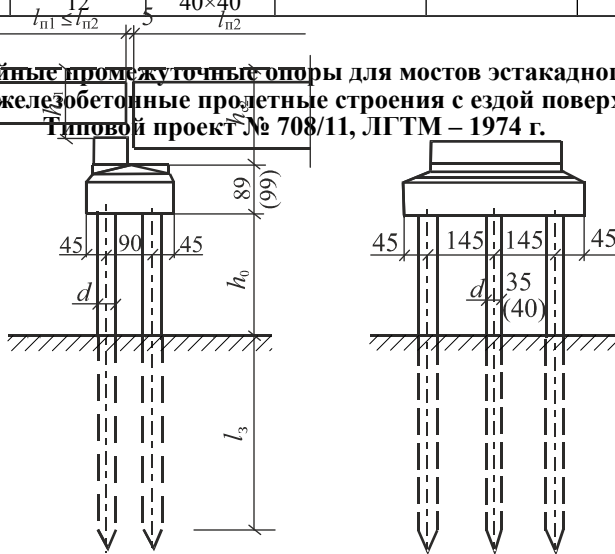


Рисунок В.3 – Схема опоры  
(размеры в скобках при сечении свай 40×40 см)

Т а б л и ц а В.5 – Объем бетона промежуточной свайной опоры

Размеры, см		Объемы, м <sup>3</sup>		
$l_{n2}$	$h_{c2}$	сборный железобетон (без свай)		монолитный бетон
		при сваях 35×35 см	при сваях 40×40 см	
600	103	4,5	5,9	0,7
930	161	4,5	5,9	0,7
1150	176	4,5	5,9	0,7
1350	190	4,5	5,9	0,7
1650	210	4,5	5,9	0,7

Т а б л и ц а В.6 – Расчетные усилия в сваях

$l_n$ , м	Высота насыпи подхода $H$ , м	Сечение свай $d$ , см	Усилия $N_c$ в сваях, кН
6,0	2	35	440
	3	35	450
	4	35	460
	5	35	480
9,3	2	35	600
	3	35	660
	4	35	680
	5	35	710
	6	40	730
11,5	4	35	820
	5	35	860
	6	40	890
13,5	3	35	900
	4	35	940
	5	40	980
	6	40	1020
16,5	3	40	1040
	4	40	1090
	5	40	1140
	6	40	1190

## В.2 Стоечные и рамные опоры

Для стоечных и рамных опор предусмотрены в качестве основного типа фундаменты мелкого заложения на естественном основании. Возможность их применения устанавливается путем сопоставления расчетных напряжений по подошве фундамента  $\delta$  с расчетным сопротивлением грунта  $R$ .

При  $\delta > R$  стоечные и рамные опоры могут применяться с фундаментами из вертикальных свай, объединенных сборной железобетонной плитой. Для рамных опор плита свайного фундамента в типовом проекте предусмотрена сборной, для стоечных – монолитной или сборно-монолитной.

Возможно использовать для этих видов опор и монолитный бетонный фундамент. Высота фундамента плиты из монолитного бетона  $(1,2 \dots 1,5) + 2d_c$  (м).

По усилию  $N_c$  подбирается длина свай принятого сечения.

Объемы свай и плиты свайного фундамента не учтены в табличных данных, а дополнительно рассчитываются.

Верхние части – насадки и шкафные блоки – стоечных опор конструктивно однотипны с аналогичными элементами свайных опор. Идентификация свайных и стоечных опор осуществляется по размерам опирающихся на них пролетных строений.

**В.2.1 Стоечные устои для мостов эстакадного типа  
на вертикальных стойках.  
Типовой проект № 708/11, ЛГТМ – 1974 г.**

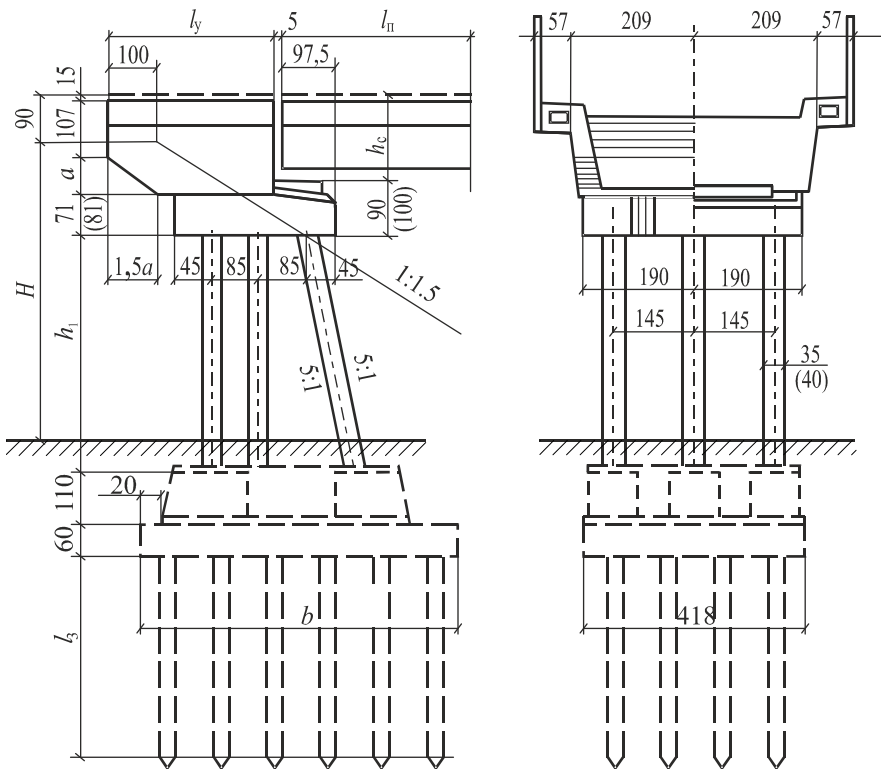


Рисунок В.4 – Схема устоя с вариантом свайного фундамента  
(размеры в скобках при сечении стоек 40×40 см)

Т а б л и ц а В.7 – Устой на шести стойках сечением 35×35 см

$l_n, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	Размеры, см		Объемы железобетона, м <sup>3</sup>			Напряжения по подошве фундамента $\sigma$ , МПа
		$h_1$	$b$	стоек	фундамента (без плиты и свай)		
					сборного	монолитного	
6,0	5	450	600	4,0	24,5	3,4	0,30
	6	550	600	4,8	24,5	4,4	0,35
9,3	5	400	600	3,7	24,5	2,0	0,31
	6	500	600	4,4	24,5	3,9	0,36
11,5	5	350	600	3,3	24,5	2,5	0,35
	6	450	600	4,0	24,5	3,4	0,38

Т а б л и ц а В.8 – Устой на восьми стойках сечением 40×40 см

$l_n, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	Размеры, см		Объемы железобетона, м <sup>3</sup>			Напряжения по подошве фундамента $\sigma$ , МПа
		$h_1$	$b$	стоек	фундамента (без плиты и свай)		
					монолитного	сборного	
9,3	7	600	700	9,0	4,5	26,5	0,37
	8	700	700	10,2	4,5	27,3	0,43
11,5	7	550	700	8,3	4,5	26,1	0,39
	8	650	700	9,6	4,5	26,9	0,44

**В.2.2 Стоечные устои под железобетонные пролетные строения длиной  $l_n = 16,5...23,6$  м с ездой поверху. Типовой проект № 828/1, ЛГТМ – 1971 г.**

Т а б л и ц а В.9 – Основные размеры устоев

$l_n, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	Размеры фундамента, см		
		$m$	$n$	$h$
16,5	8	440	50	200
	10	457	98	200
18,7	8	457	98	200
	10	457	98	200
23,6	10	457	98	200

Т а б л и ц а В.10 – Объем бетона устоев

$l_n, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	Количество стоек	Сечение стоек, см	Объемы, м <sup>3</sup> (без оголовка)	
				стоек	фундамента
16,5	8	10	35×35	8,80	72,60
	10	10	35×35	11,30	78,71
18,7	8	10	35×35	8,80	72,60
	10	10	35×35	11,30	78,71
23,6	10	10	40×40	13,10	78,71

Примечание – Размеры и объемы оголовков выбираются из таблицы В.3.

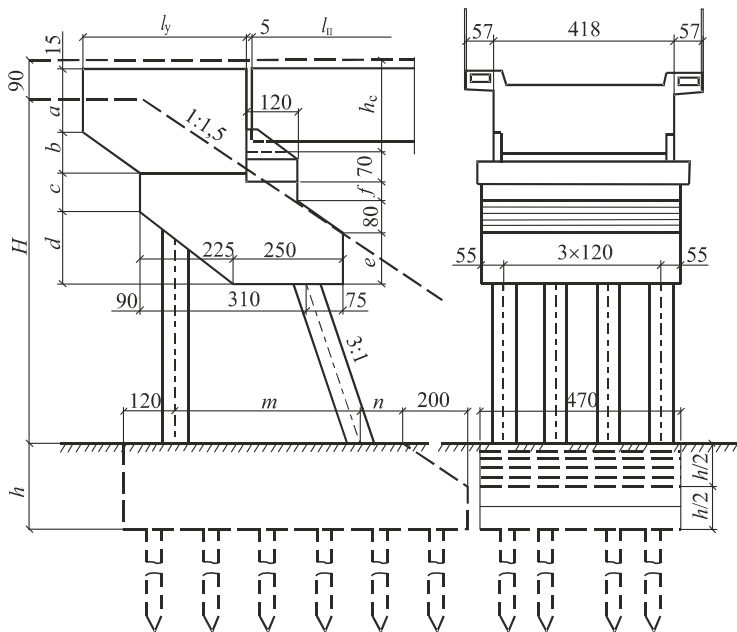


Рисунок В.5 – Схема устоя  
(при использовании в опоре десяти призматических стоек их располагают в два поперечных ряда по пять штук с интервалом 90 см)

### В.2.3 Стоечные промежуточные опоры для мостов эстакадного типа под железобетонные пролетные строения с ездой поверху. Типовой проект № 708/11, ЛГТМ – 1974 г.

Таблица В.11 – Опоры на стойках сечением 40×40 см

$l_{n2}$ , м	$H$ , м	Размеры, см					Объемы, м <sup>3</sup>					Напряжения по подошве фундамента $\sigma$ , МПа
		$h_{c2}$	$h_1$	$b$	$b_1$	$c$	оголовка		стоек	фундамента		
							монолитного	сборного		сборного	монолитного	
9,3	7	161	600	440	-	-	-	5,9	6,7	13,4	3,9	0,29
	8		700						7,7			0,30
11,5	7	176	550	440	-	-	-	5,9	6,2	13,4	3,9	0,32
	8		650						7,2			0,34
13,5	7	190	550	440	540	40	-	5,9	6,2	22,0	3,9	0,31
16,5	7	210	550	440	540	40	-	5,9	6,2	22,0	3,9	0,36

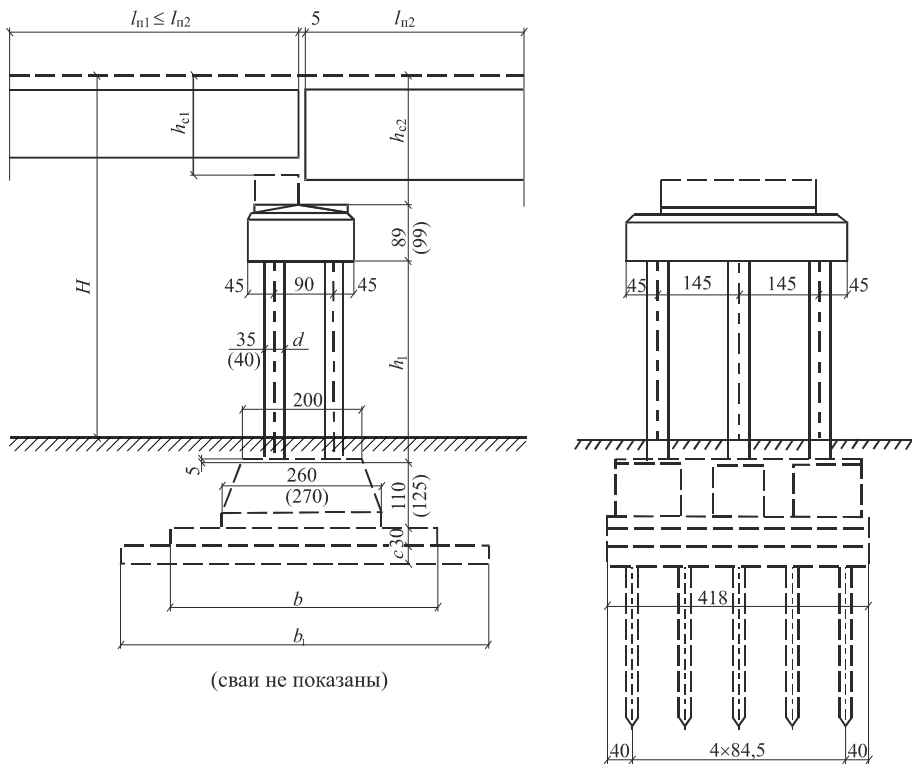


Рисунок В.6 – Схема опоры  
(размеры в скобках при сечении стоек 40×40 см)

Т а б л и ц а В.12 – Опоры на стойках сечением 35×35 см

$l_{n2}$ , м	$H$ , м	Размеры, см					Объемы, м <sup>3</sup>				Напряжения по подошве фундамента $\sigma$ , МПа	
		$h_{c2}$	$h_1$	$b$	$b_1$	$c$	оголовка		фундамента			
							сборного	монолитного	стоек	сборного		монолитного
6,0	2	103	150	380	—	—	4,5	—	1,9	12,0	3,9	0,20
	3		250						2,6			0,21
	4		350						3,3			0,22
	5		450						4,0			0,23
	6		550						4,8			0,24



Окончание таблицы В.12

$l_{n2}$ , м	$H$ , м	Размеры, см					Объемы, м <sup>3</sup>					Напряжения по подошве фундамента $\sigma$ , МПа
		$h_{c2}$	$h_1$	$b$	$b_1$	$c$	оголовка		стоек	фундамента		
							сборного	монолитного		сборного	монолитного	
9,3	2	161	100	380	-	-	4,6	-	1,5	12,0	3,9	0,27
	3		200						2,2			0,28
	4		300						2,9			0,30
	5		400						3,7			0,31
	6		500						4,4			0,32
11,5	2	176	50	380	-	-	4,6	-	1,1	12,0	3,9	0,30
	3		150						1,9			0,31
	4		250						2,6			0,33
	5		350						3,3			0,35
	6		450						4,0			0,31
13,5	4	190	250	440	-	-	4,6	-	2,6	12,8	3,9	0,32
	5		350		540	40			3,3	21,4		0,29
	6		450		4,0	21,4			0,30			
16,5	4	210	250	440	-	-	4,6	-	2,6	12,8	3,9	0,38
	5		350		540	40			3,3	21,4		0,32
	6		450		4,0	21,4			0,34			

**В.2.4 Промежуточные опоры рамного типа под железобетонные пролетные строения длиной  $l_n = 13,5...23,6$  м с ездой поверху. Типовой проект № 636, ГТМ – 1969 г.**

Т а б л и ц а В.13 – Опоры рамного типа

$l_{n2}$ , м	$H_0$ , м	Размеры, см		Объемы, м <sup>3</sup>		Напряжения по подошве фундамента $\sigma$ , МПа
		$b$	сборный железобетон		монолитный железобетон	
рамы	фундамент					
13,5	7,43	520	8,5	18,12	1,39	0,29
		380		9,23		0,43
	9,13	520	9,86	18,12	1,39	0,35
		380		9,23		0,50
16,5	7,43	520	8,5	18,12	1,39	0,37
		380		9,23		0,55
	9,13	520	9,86	18,12	1,39	0,39
		380		9,60		0,52

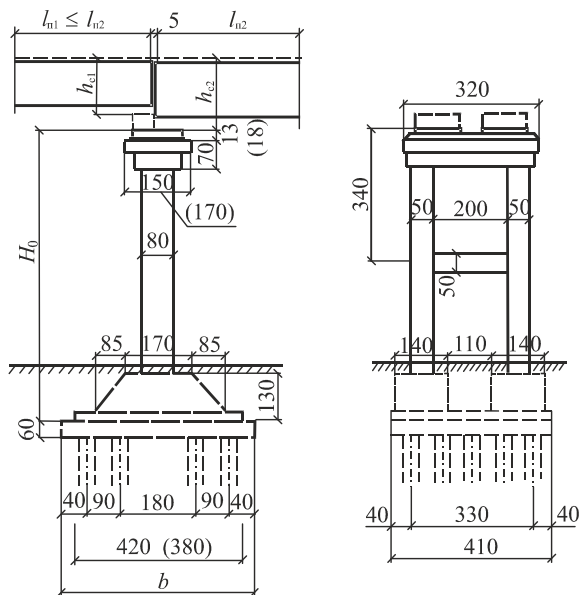


Рисунок В.7 – Схема опоры с вариантом свайного фундамента на 20 сваях  
(размеры в скобках – при  $l_{n2} > 18,7$  м)

Т а б л и ц а В.14 – Опоры рамного типа

$l_{n2}$ , м	$H_0$ , м	Размеры, см		Объемы, м <sup>3</sup>		Напряжения по подошве фундамента $\sigma$ , МПа
		$b$	сборный железобетон		монолитный железобетон	
рамы	фундамент					
18,7	7,48	520	8,5	18,12	1,39	0,37
		420		9,60		0,50
	9,18	520	9,86	18,12	1,39	0,41
		440		16,81		0,51
	11,2	520	11,5	18,12	1,39	0,43
23,6	7,48	520	8,5	18,12	1,39	0,44
		460		17,14		0,52
	9,18	520	9,86	18,12	1,39	0,48
		460		17,14		0,58
	11,2	520	11,5	18,12	1,39	0,51

### В.3 Массивные опоры

Для массивных опор применяется свайный фундамент из монолитного бетона. Высота фундамента конструктивно применяется  $(1,2 \dots 1,5) + 2d_c$  (м). Размещение свай в плане симметрично осей фундамента.

**Массивные промежуточные сборно-монолитные и монолитные бетонные опоры под железобетонные пролетные строения длиной  $l_n = 16,5 \dots 23,6$  м с ездой поверху. Типовой проект № 828/2 и 828/3, ЛГТМ – 1971 г.**

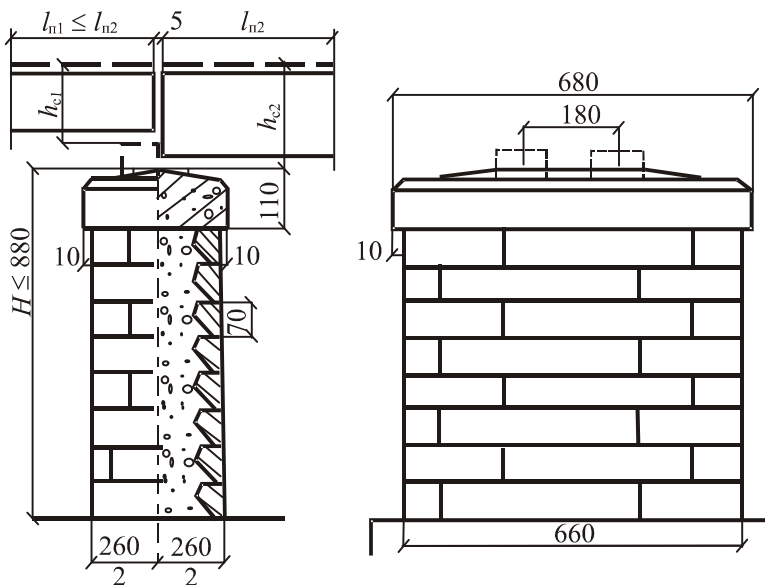


Рисунок В.8 – Схема опоры (без фундамента)

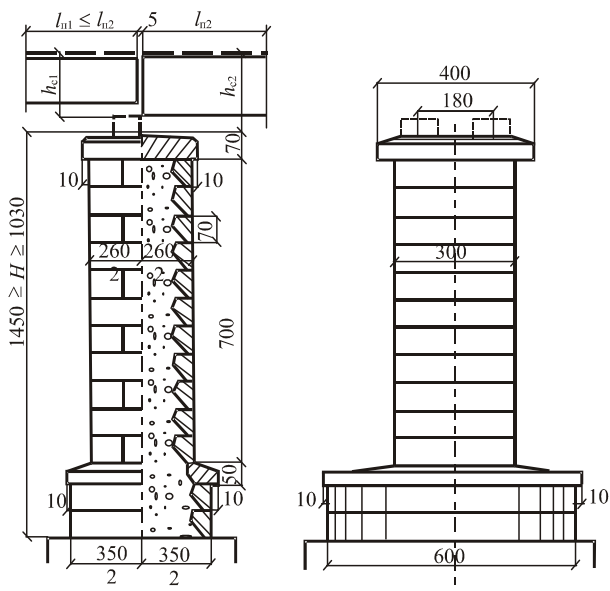


Рисунок В.9 – Схема опоры (без фундамента)

Таблица В.15 – Сборно-монолитные и монолитные бетонные опоры (без фундамента)

Номер рисунка	H, м	Объемы сборно-монолитных опор, м <sup>3</sup>		Объемы монолитных бетонных опор, м <sup>3</sup>	
		блоки	заполнение	бетонное тело	подферменник и прокладной ряд
В.8	6,7	38,3	58,8	87,9	9,2
	7,4	42,2	65,9	98,9	
	8,1	46,2	72,9	109,9	
	8,8	50,1	80,0	120,9	
В.9	10,3	55,3	81,7	124,5	12,5
	11,0	57,7	84,8	130,0	
	11,7	60,1	87,8	135,4	
	12,4	62,5	90,9	140,9	
	13,1	64,9	94,0	146,4	
	13,8	67,3	97,1	151,9	
	14,5	69,7	100,2	157,4	
В.10	16,4	80,9	136,3	201,4	15,8
	17,1	84,1	142,2	210,5	
	17,8	87,3	148,1	219,6	
	18,5	90,4	154,10	228,7	
	19,2	93,6	160,0	237,8	
	19,9	96,7	165,9	246,8	
	20,6	101,0	171,8	257,0	

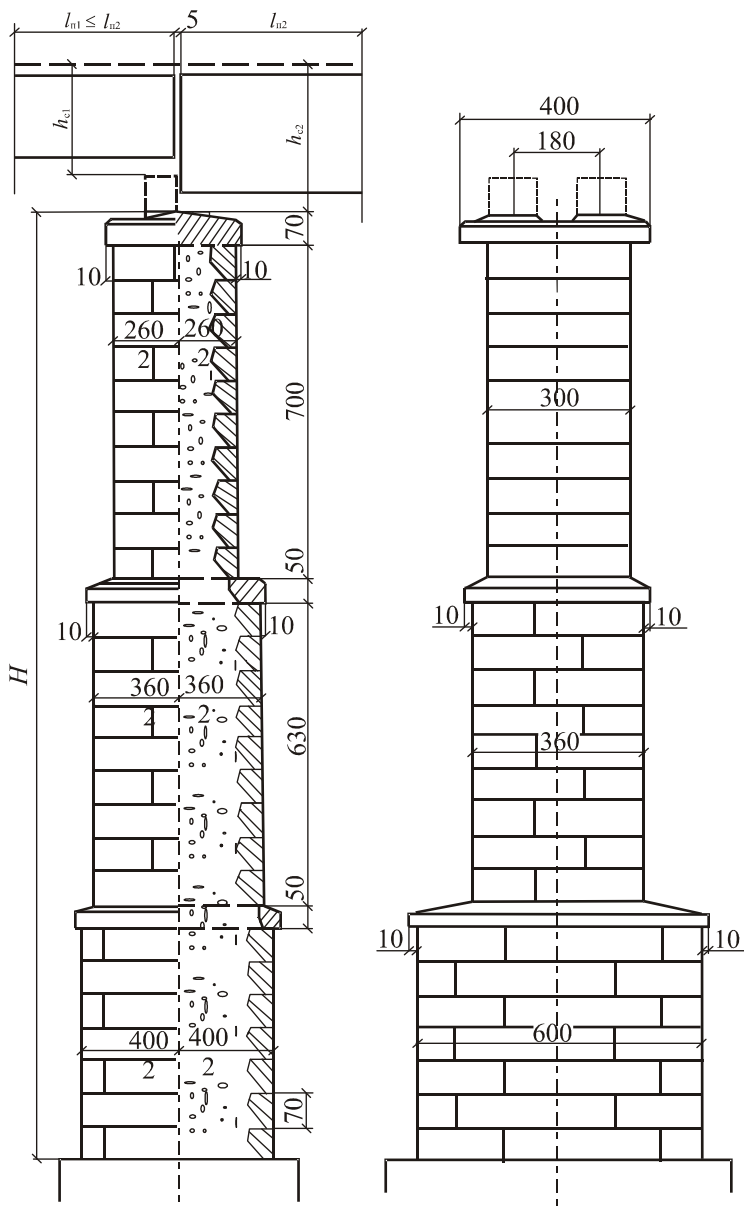


Рисунок В.10 – Схема опоры (без фундамента)

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**  
(справочное)

**Характеристики свай сплошных квадратного сечения  
с ненапрягаемой стержневой арматурой**

Марка свай	Основные размеры, мм				Расход на сваю		Масса свай, т	Класс бетона
	длина	сторона квадрат а d	продольная арматура		бетона, м <sup>3</sup>	арматуры, кг		
			диаметр	количество стержней				
C6-30	6000	300	12	4ØS240	0,55	33,96	1,38	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C7-30	7000	300	12	4ØS240	0,64	37,76	1,60	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C8-30	8000	300	12	4ØS240	0,73	42,08	1,83	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C9-30	9000	300	12	4ØS240	0,82	46,40	2,05	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C10-30	10000	300	14	4ØS400	0,91	64,68	2,28	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C11-30	11000	300	16	4ØS400	1,00	86,96	2,50	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C12-30	12000	300	16	4ØS400	1,09	94,04	2,73	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C8-35	8000	350	12	4ØS400	1,00	45,13	2,50	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C9-35	9000	350	12	4ØS400	1,12	49,81	2,80	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C10-35	10000	350	12	4ØS400	1,24	68,59	3,10	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C11-35	11000	350	16	4ØS400	1,37	91,09	3,43	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C12-35	12000	350	16	4ØS400	1,49	98,33	3,73	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C13-35	13000	350	16	4ØS400	1,61	106,81	4,03	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C14-35	14000	350	18	4ØS400	1,73	138,05	4,33	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C15-35	15000	350	18	4ØS400	1,86	146,98	4,65	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C8-40	8000	400	16	8ØS400	1,30	48,27	3,05	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C9-40	9000	400	16	8ØS400	1,46	62,44	3,52	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C10-40	10000	400	16	8ØS400	1,62	81,32	3,99	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C11-40	11000	400	16	8ØS400	1,78	98,04	4,42	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C12-40	12000	400	16	8ØS400	1,94	112,71	4,83	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C13-40	13000	400	12	8ØS400	2,10	121,69	5,25	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C14-40	14000	400	14	8ØS400	2,26	166,26	5,62	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C15-40	15000	400	16	8ØS400	2,42	221,73	6,05	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C16-40	16000	400	16	8ØS400	2,58	223,30	6,45	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C17-40	17000	400	16	8ØS400	2,74	224,87	6,85	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
C18-40	18000	400	16	8ØS400	2,90	226,44	7,25	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>

*Примечания*

1 Марка свай сплошных с поперечным армированием ствола расшифровывается следующим образом: С – с ненапрягаемой стержневой арматурой; первая цифра означает длину призматической сваи, м, вторая – размер стороны поперечного сечения сваи, см.

2 Длина острия сваи  $A$  в зависимости от стороны поперечного сечения  $d$ :

$d$ , см	25	30	35	40
$A$ , см	15	25	30	35

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**  
(справочное)

**Справочные материалы для расчета опор**

**Т а б л и ц а Д.1 – Значения коэффициентов надежности по назначению сооружения и условий работы  $\gamma_n$  для фундаментов в нескальных грунтах**

Число свай в свайном фундаменте $n$ , шт.	От 1 до 5	От 6 до 10	От 11 до 20	Более 20
Коэффициент $\gamma_n$	1,75	1,65	1,55	1,4

**Т а б л и ц а Д.2 – Коэффициенты условий работы грунта**

Способы погружения забивных свай и свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта; виды грунтов	Коэффициенты условий работы грунта при расчете несущей способности свай	
	под нижним концом $\gamma_{cr}$	на боковой поверхности $\gamma_{cf}$
1 Погружение сплошных и полых с закрытым нижним концом свай механическими (подвесными), паровоздушными и дизельными молотами	1,0	1,0
2 Погружение забивкой и вдавливанием в предварительно пробуренные лидерные скважины с заглублением концов свай не менее чем на 1 м ниже забоя скважины при ее диаметре:	1,0	0,5
а) равном стороне квадратной сваи	1,0	0,6
б) на 0,05 м менее стороны квадратной сваи		
в) на 0,15 м менее стороны квадратной или диаметра сваи круглого сечения (для опор ЛЭП)	1,0	1,0
3 Погружение с подмывом в песчаные грунты при условии добивки свай на последнем этапе погружения без применения подмыва на 1 м и более	1,0	0,9
4 Вибропогружение свай-оболочек, вибропогружение и вибродавливание свай в грунты:		
а) песчаные средней плотности:		
крупные и средние	1,2	1,0
мелкие	1,1	1,0
	1,0	1,0

пылеватые		
б) пылевато-глинистые с показателем текучести $I_L = 0,5$ :		
супеси	0,9	0,9
суглинки	0,8	0,9
глины	0,7	0,9
в) пылевато-глинистые с показателем текучести $I_L \leq 0$	1,0	1,0

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы Д.2

Способы погружения забивных свай и свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта; виды грунтов	Коэффициенты условий работы грунта при расчете несущей способности свай	
	под нижним концом $\gamma_{cr}$	на боковой поверхности $\gamma_{cf}$
5 Погружение молотами любой конструкции полых железобетонных свай с открытым нижним концом:		
а) при диаметре полости 0,4 м и менее	1,0	1,0
б) то же от 0,4 до 0,8 м	0,7	1,0
6 Погружение любым способом полых свай круглого сечения с закрытым нижним концом на глубину 10 м и более с последующим устройством в нижнем конце свай камуфлетного уширения в песчаных грунтах средней плотности и в пылевато-глинистых грунтах с показателем текучести $I_L \leq 0,5$ при диаметре уширения, равном:	0,9	1,0
а) 1,0 м независимо от указанных видов грунтов	0,8	1,0
б) 1,5 м в песках и супесях		
в) 1,5 м в суглинках и глинах	0,7	1,0
7 Погружение вдавливанием свай:		
а) в пески средней плотности крупные, средние и мелкие	1,1	1,0
б) в пески пылеватые	1,1	0,8
в) в пылевато-глинистые грунты с показателем текучести $I_L \leq 0,5$	1,1	1,0
г) то же $I_L > 0,5$	1,0	1,0
<i>Примечание</i> – Коэффициенты $\gamma_{cr}$ и $\gamma_{cf}$ по п. 4 для пылевато-глинистых грунтов с показателем текучести $0 < I_L < 0,5$ определяются интерполяцией.		



Т а б л и ц а Д.3 – Расчетные сопротивления грунта  $R$  под нижним концом забивных свай и свай-оболочек, не заполняемых бетоном

Глубина погружения нижнего конца свай, м	Расчетные сопротивления под нижним концом забивных свай и свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта $R$ , кПа										
	песчаных грунтов средней плотности										
	гравели- стых	круп- ных	–	средни х	мелки х	пылева- тых	–	–	–	–	–
	пылевато-глинистых при показателе текучести $I_L$										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	<u>7100</u> 6000	<u>6000</u> 3200	2500	<u>3400</u> 1800	<u>1800</u> 1300	<u>1200</u> 1000	900	800	600	400	300
	<u>7500</u> 6500	<u>6600</u> 4000	3500	<u>3800</u> 2200	<u>2100</u> 1600	<u>1300</u> 1200	1000	900	700	500	400
4	<u>8300</u> 7000	<u>6800</u> 4800	4000	<u>4400</u> 2600	<u>2300</u> 1700	<u>1350</u> 1300	1100	1000	750	550	450
	<u>8900</u> 7500	<u>7000</u> 6000	4400	<u>4600</u> 2800	<u>2400</u> 2000	<u>1400</u> 1350	1150	1050	800	600	500
6	<u>9400</u> 8100	<u>7200</u> 6500	4500	<u>4700</u> 3000	<u>2450</u> 2100	<u>1450</u> 1400	1200	1100	850	650	550
	<u>9700</u> 8500	<u>7300</u> 6900	4600	<u>4800</u> 3200	<u>2500</u> 2200	<u>1500</u> 1450	1250	1150	900	700	600
8	<u>9900</u> 8700	<u>7550</u> 7100	4800	<u>4900</u> 3300	<u>2600</u> 2300	<u>1550</u> 1500	1280	1170	920	720	610
	<u>10200</u> 6500	<u>7800</u> 7200	4900	<u>5000</u> 3400	<u>2560</u> 2350	<u>1600</u> 1550	1300	1200	940	740	620
10	<u>10500</u> 9100	<u>7900</u> 7350	5000	<u>5100</u> 3500	<u>2700</u> 2400	<u>1650</u> 1600	1320	1220	960	760	630
	<u>11000</u> 9300	<u>8200</u> 7500	5200	<u>5200</u> 3700	<u>2800</u> 2500	<u>1750</u> 1650	1350	1250	980	780	640
15	<u>11700</u> 9500	<u>8500</u> 7700	5600	<u>5400</u> 4000	<u>3000</u> 2600	<u>1900</u> 1700	1380	1280	1000	800	650
	<u>12600</u> 10000	<u>8800</u> 7800	6200	<u>5600</u> 4500	<u>3200</u> 2700	<u>1950</u> 1750	1400	1300	1020	820	680
25	<u>13400</u> 10500	<u>9000</u> 7900	6800	<u>5800</u> 4800	<u>3500</u> 2800	<u>2000</u> 1800	1450	1320	1040	840	700

**Примечания**

1 В числителе даны значения  $R$  для песчаных грунтов, в знаменателе – для пылеватоглинистых.

2 Глубину погружения нижнего конца сваи и среднюю глубину расположения слоя грунта в водоеме следует принимать от уровня дна после общего размыва расчетным паводком, на болотах – от уровня дна болота.

3 Для промежуточных глубин погружения свай и промежуточных значений показателя текучести  $I_L$  значения  $R$  и  $R_f$  в таблицах Д.3 и Д.4 определяются интерполяцией.

4 Значения расчетных сопротивлений  $R$  допускается использовать при условии, если заглубления свай в неразмываемый и несрезаемый грунт составляют не менее 4,0 м для мостов и гидротехнических сооружений.

5 Для супесей при числе пластичности  $I_p < 4$  и коэффициенте пористости  $e < 0,8$  расчетные сопротивления грунтов  $R$  и  $R_f$  следует определять как для пылеватых песков средней плотности.

**Т а б л и ц а Д.4 – Расчетные сопротивления на боковой поверхности забивных свай и свай-оболочек  $R_f$ , кПа**

Средняя глубина расположения слоя грунта	Расчетные сопротивления $i$ -го слоя грунтов на боковой поверхности забивных свай и свай-оболочек $R_f$ , кПа										
	песчаных грунтов средней плотности										
	гравелистых	крупных	средних	мелких	пылеватых	–	–	–	–	–	–
	пылеватоглинистых при показателе текучести $I_L$										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	$\frac{60}{45}$	$\frac{55}{38}$	$\frac{45}{35}$	$\frac{40}{25}$	$\frac{30}{15}$	12,0	9,0	6,0	5,0	4,0	3,0
2	$\frac{70}{55}$	$\frac{60}{45}$	$\frac{55}{42}$	$\frac{50}{32}$	$\frac{35}{22}$	17,0	13,0	9,0	7,5	7,0	5,0
3	$\frac{80}{60}$	$\frac{65}{52}$	$\frac{60}{48}$	$\frac{55}{38}$	$\frac{40}{28}$	21,0	17,0	11,0	9,0	7,5	6,0
4	$\frac{85}{65}$	$\frac{70}{55}$	$\frac{63}{53}$	$\frac{58}{40}$	$\frac{44}{32}$	24,0	19,0	13,0	10,0	8,0	6,5
5	$\frac{90}{70}$	$\frac{75}{60}$	$\frac{68}{56}$	$\frac{61}{43}$	$\frac{47}{34}$	26,0	21,0	15,0	11,0	8,5	7,0
6	$\frac{95}{72}$	$\frac{80}{65}$	$\frac{72}{60}$	$\frac{63}{45}$	$\frac{48}{35}$	29,0	23,0	16,0	12,0	9,0	7,5
7	$\frac{100}{75}$	$\frac{85}{70}$	$\frac{75}{63}$	$\frac{65}{47}$	$\frac{49}{36}$	32,0	25,0	17,0	13,0	9,5	8,0
8	$\frac{102}{76}$	$\frac{90}{73}$	$\frac{77}{65}$	$\frac{66}{48}$	$\frac{50}{37}$	33,0	26,0	17,5	13,5	10,0	8,0
9	$\frac{104}{72}$	$\frac{92}{74}$	$\frac{78}{66}$	$\frac{67}{49}$	$\frac{51}{38}$	34,0	27,0	18,0	14,0	10,5	8,0
10	$\frac{106}{78}$	$\frac{93}{75}$	$\frac{79}{67}$	$\frac{68}{50}$	$\frac{52}{39}$	35,0	28,0	18,5	14,5	11,0	8,0
12	$\frac{110}{80}$	$\frac{95}{77}$	$\frac{80}{68}$	$\frac{69}{51}$	$\frac{54}{40}$	36,0	29,0	19,0	15,0	11,0	8,0
15	$\frac{114}{82}$	$\frac{97}{80}$	$\frac{82}{70}$	$\frac{70}{52}$	$\frac{56}{41}$	37,0	30,0	20,5	15,0	11,0	8,0
20	$\frac{117}{85}$	$\frac{99}{81}$	$\frac{85}{75}$	$\frac{72}{53}$	$\frac{58}{42}$	38,0	31,0	21,0	15,0	11,0	8,0
25	$\frac{120}{90}$	$\frac{100}{82}$	$\frac{90}{80}$	$\frac{74}{54}$	$\frac{60}{44}$	39,0	32,0	22,0	15,0	11,0	8,0

Средняя глубина	Расчетные сопротивления $i$ -го слоя грунтов на боковой поверхности забивных свай и свай-оболочек $R_f$ , кПа
располо	
<i>Примечания</i>	
1 При определении расчетного сопротивления грунта на боковой поверхности свай $R_n$ следует учитывать требования, изложенные в примечаниях 1, 2 и 3 к таблице Д.3.	
2 При определении расчетных сопротивлений грунта на боковой поверхности свай $R_n$ пласты грунтов следует расчленять на однородные слои толщиной не более 2 м.	
3 Значения расчетного сопротивления плотных песчаных грунтов на боковой поверхности свай $R_n$ следует увеличивать на 30 % по сравнению со значениями, приведенными в данной таблице.	
4 Расчетные сопротивления супесей и суглинков с коэффициентом пористости $e < 0,5$ и глин с коэффициентом пористости $e < 0,6$ следует увеличивать на 15 % по сравнению со значениями, приведенными в данной таблице, при любых значениях показателя текучести.	

Т а б л и ц а Д.5 – Эталонная нагрузка  $k_n$  для треугольных линий влияния

Длина загрузки $\lambda$ , м	Положение вершины линии влияния		
	$\alpha = 0$	$\alpha = 0,25$	$\alpha = 0,5$
1	68,67	68,67	68,67
2	41,20	34,33	34,33
3	33,55	29,53	24,62
4	30,90	25,21	24,03
5	28,55	23,64	23,64
6	27,47	22,17	22,17
7	26,58	22,17	22,17
8	25,80	22,37	22,37
9	24,62	21,88	21,88
10	23,74	21,19	21,19
12	22,47	20,11	19,42
14	21,19	19,33	18,44
16	19,91	18,44	17,85
18	19,13	17,36	17,56
20	18,44	16,58	17,07
25	17,36	15,79	15,60
30	16,97	15,30	14,91
35	16,68	15,20	14,32
40	16,19	14,91	14,13
45	15,79	14,32	14,13
50	15,50	14,03	14,03
60	14,81	13,44	13,44
70	14,32	13,05	12,95
80	13,83	12,65	12,46
90	13,44	12,36	11,97
100	13,14	12,16	11,58
110	12,95	11,97	11,28
120	12,65	11,77	11,08
130	12,46	11,58	10,89

140	12,36	11,38	10,79
150	12,16	11,28	10,59
160	12,07	11,18	10,50
170	11,87	10,99	10,40
180	11,77	10,89	10,40
190	11,67	10,79	10,30
200	11,58	10,69	10,30

*Примечания*

1  $\lambda$  – длина загрузки линии влияния;  $\alpha$  – положение вершины линии влияния, определяемое по формуле  $\alpha = a/\lambda$ , где  $a$  – расстояние от вершины до ближайшего конца линии влияния.

2 Для промежуточных значений  $\lambda$  и  $\alpha$  значения эталонной нагрузки принимают по интерполяции.

**Т а б л и ц а Д.6 – Коэффициенты надежности по нагрузке  $\gamma_f$  к временным нагрузкам и воздействиям**

Воздействие	Длина загрузки $\lambda$ , м		
	0	50	150 и более
Вертикальное	1,30	1,15	1,10
Горизонтальное	1,20	1,10	1,10

**Т а б л и ц а Д.7 – Коэффициенты надежности по нагрузке  $\gamma_f$  для постоянных нагрузок**

Нагрузка	Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f$
Вес бетонных и железобетонных конструкций в мостах	1,1
Вес мостового полотна с ездой на балласте под железную дорогу	1,3

**Т а б л и ц а Д.8 – Удельный вес материалов мостового полотна  $\gamma_n$**

Материал	Удельный вес $\gamma_n$ , кН/м <sup>3</sup>
Балласт щебеночный	17,0
Балласт щебеночный с частями верхнего строения пути	20,0
Железобетон	25,0
Бетон на гравии или щебне из природного камня	23,5
Сталь	78,5
Сосна, ель, кедр	7,0
Дуб и лиственница	9,0

## С п и с о к л и т е р а т у р ы

- 1 **ТКП 45-3.03-232-2011.** Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования. – Мн.: Минстройархитектуры, 2012. – 298 с.
- 2 **СТБ 943-2007.** Грунты. Классификация. – Взамен СТБ 947-93 ; введ. 01.01.2007. – Мн. : Госстандарт РБ, 2007. – 20 с.
- 3 **Осипов, В. О.** Мосты и тоннели на железных дорогах / В. О. Осипов. – М. : Транспорт, 1988. – 367 с.
- 4 **Российский, В. А.** Примеры проектирования сборных железобетонных мостов / В. А. Российский. – М. : Высшая школа, 1970. – 519 с.
- 5 **Петропавловский, А. А.** Проектирование деревянных и железобетонных мостов / А. А. Петропавловский. – М. : Транспорт, 1978. – 359 с.
- 6 **Этин, П. Ю.** Проектирование среднего железобетонного железнодорожного моста на свайном основании / П. Ю. Этин. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 59 с.
- 7 **Левтринский, В. В.** Мосты и сооружения на дорогах : учеб.-метод. пособие по выполнению контрольной работы № 1 для студентов заочного факультета. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 43 с.
- 8 **Левтринский, В. В.** Мосты и сооружения на дорогах : учеб.-метод. пособие по выполнению контрольной работы № 2 для студентов заочного факультета. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 46 с.
- 9 **Другов, Л. И.** Разработка вариантов моста и путепровода под железную дорогу / Л. И. Другов. – Гомель: БелИИЖТ, 1985. – 51 с.
- 10 **Другов, Л. И.** Гидрологические работы и проектирование мостовых переходов / Л. И. Другов, Т. Н. Зайцева. – Гомель: БелИИЖТ, 1979. – 36 с.

Учебное издание

*ЛЕВТРИНСКИЙ Владимир Викторович*  
*ЭТИН Павел Юрьевич*

**Мосты и сооружения на дорогах**

Учебно-методическое пособие  
по выполнению расчетно-графических работ  
для студентов строительного факультета

Редактор *Н. А. Дашкевич*  
Технический редактор *В. Н. Кучерова*  
Компьютерный набор и верстка *П. Ю. Этина, Т. И. Шляхтовой*

Подписано в печать 22.04.2015 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 4,41 + 1 вкл. (0,11 усл. печ. л.). Уч.-изд. л. 3,96. Тираж 300 экз.  
Зак. № . Изд. № 31

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский государственный университет транспорта.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/361 от 13.06.2014.

№ 2/104 от 01.04.2014.

Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель.

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

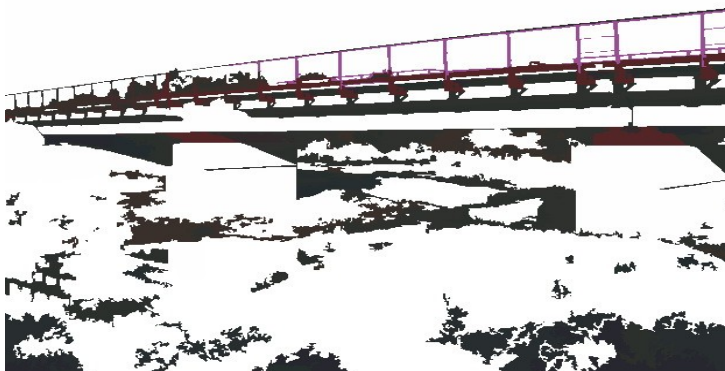
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Строительные конструкции, основания и фундаменты»**

**В. В. ЛЕВТРИНСКИЙ, П. Ю. ЭТИН**

# **МОСТЫ И СООРУЖЕНИЯ НА ДОРОГАХ**

**Учебно-методическое пособие  
по выполнению расчетно-графических работ  
для студентов строительного факультета**



**Гомель 2015**