

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

*Кафедра «Мосты и тоннели»*

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
на тему «ВАРИАНТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ»  
к курсовому проекту «Железобетонный балочный мост»  
по дисциплине «Проектирование мостов»  
для студентов специальности 1–70.03.02  
«Мосты, транспортные тоннели и метрополитены»

**Минск 2016**

**А в т о р ы :**

*В.В. Нестеренко, А.А. Яковлев*

**Р е ц е н з е н т ы :**

*Ф.П. Басовец*, доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» БНТУ, канд.техн.наук;

*А.В. Чигарев*, заведующий кафедрой «Теоретическая механика» БНТУ, доктор физико-математических наук, профессор

В методических указаниях приведены данные по составу курсового проекта железобетонного моста, соответствующие учебной программе по дисциплине «Проектирование мостов». Изложены основные положения и практические рекомендации по составлению и сравнению вариантов моста, соответствующие требованиям ТКП 45–3.03–232–2011. Приведены данные по современным типовым конструкциям пролётных строений и опор железобетонных мостов, необходимые для привязки этих конструкций к местным условиям.

Предназначены для студентов специальности «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» дневной и заочной форм обучения.

Белорусский национальный технический университет  
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.(017)292-77-52 факс (017)292-91-37  
E-mail: emd@bntu.by  
<http://www.bntu.by/ru/struktura/facult/psf/chairs/im/>  
Регистрационный № БНТУ/ПСФ85-6.2015

© Нестеренко В.В., 2016

© Титюра О.В., компьютерный дизайн, 2016

© БНТУ, 2016

© Белорусский национальный технический университет, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

	<i>стр.</i>
Введение .....	4
1. Общие положения .....	5
2. Общие сведения о мостах и мостовых переходах .....	6
3. Составление первого варианта моста .....	11
3.1. Выбор системы моста и типов пролётных строений .....	11
3.2. Назначение длин пролетов .....	11
3.3. Выбор типов опор .....	12
3.4. Разработка схемы моста .....	15
3.5. Проектирование фундаментов опор .....	16
3.6. Определение числа и длины свай в фундаменте опоры .....	20
3.7. Составление эскиза промежуточной опоры .....	21
3.8. Определение основных объемов работ и стоимости моста .....	23
4. Проектирование последующих вариантов .....	25
5. Сравнение вариантов и обоснование рекомендуемого .....	26
6. УИРС и НИРС в проекте .....	27
7. Особенности составления вариантов моста в дипломном проекте	28
8. Оформление вариантов моста .....	28
Список литературы .....	40
<i>Приложение 1. Расчетная несущая способность свай и оболочек, работающих на сжимающие нагрузки, по грунту, <math>F_d</math>, МН</i> .....	41

## ВВЕДЕНИЕ

Выполнение студентом курсового проекта железобетонного моста имеет целью закрепление и углубление теоретических знаний по дисциплине «Проектирование мостов», приобретение практических навыков проектирования железобетонных мостов, развитие творческих способностей.

Курсовой проект включает: составление и сравнение вариантов моста с обоснованием наилучшего решения (25% от общего объёма работ), расчёт пролётно-опорного строения и опоры (50%), конструирование указанных элементов (25%). Результаты работы над проектом представляются к защите в виде трех листов чертежей и пояснительной записки объёмом 60...70 страниц. Защита проекта имеет целью выявить глубину понимания студентом рассмотренных вопросов, воспитать в нём умение кратко доложить результаты выполненной работы и защитить принятые решения.

На разработку проекта студенту выдаётся индивидуальное задание, в соответствии с которым студент разрабатывает в курсовом проекте конструкцию моста с пролётными строениями балочно-разрезной системы из предварительно напряжённого железобетона.

Проектирование вариантов моста составляет первую часть курсового проекта, как правило, наиболее сложную для студентов, требующую от них в большей мере, чем остальные части, творческого подхода. Однако работа эта увлекательная и, несмотря на трудности, выполняется студентами, любящими свою будущую специальность, с удовольствием.

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проектирование моста для заданных местных условий – задача, имеющая множество правильных решений (*вариантов моста*). Цель составления вариантов – найти из таких решений лучшее. Сложность решения этой задачи связана, с одной стороны, с большим разнообразием систем и конструкций железобетонных мостов и, как следствие, большим числом вариантов моста, которые могут быть составлены для заданных местных условий. С другой стороны, как правило, среди составленных вариантов сложно отыскать такой, который в наибольшей мере удовлетворял бы целому ряду предъявленных к мосту требований. Основные из них: непрерывная, безопасная и удобная эксплуатация; возможно большая долговечность и наименьшие эксплуатационные расходы; наименьшие строительная стоимость, трудоёмкость возведения моста, срок постройки, расход основных материалов; красивый внешний вид. Кроме того, рекомендуемый вариант должен соответствовать современным требованиям в области индустриализации строительства и комплексной механизации производственных процессов. Поэтому *перед составлением каждого варианта должна быть чётко сформулирована цель и намечены пути или способы её достижения*. Переход к новому варианту возможен лишь после выявления достоинств и недостатков предыдущего (предыдущих) вариантов.

В курсовом проекте рекомендуется составить не менее трёх вариантов моста, подсчитать их технико-экономические показатели и на основе сравнения этих показателей выбрать лучший. Причём, составленные варианты должны быть технически выполнимыми и конкурентоспособными. Последнее условие состоит в том, что варианты должны отличаться настолько, что выбор лучшего из них без анализа упомянутых количественных технико-экономических показателей затрудняется.

Перед составлением вариантов необходимо изучить по учебникам и учебным пособиям [1,2,3,4] схемы, а также типы конструкций железобетонных мостов (пролётных строений, опор, фундаментов), ознакомиться с основными данными по типовым конструкциям железобетонных мостов.

Работу по составлению вариантов следует начать с изучения исходных данных, главным образом с точки зрения их влияния на выбор схемы моста, размеров и типов пролётных строений, опор, фундаментов. Например, для моста через судоходную реку с самого начала необходимо продумать вопрос о размерах и расположении судоходных пролётов, типах пролётных строений для их перекрытия.

Большая высота моста, слабые грунты в створе мостового перехода обусловят удорожание опор и их фундаментов. Поэтому в таких условиях целесообразно сразу ориентироваться на варианты с небольшим количеством опор.

Зная величину отверстия моста можно ориентировочно определить местоположение устоев. Если их высота превышает 10...12 м, следует ориентироваться на обсыпные массивные устои.

Условия обеспечения беззаторного пропуска льда и карчехода могут исключить возможность применения в русловой части пролётов небольших длин и т. п. Такой анализ исходных данных позволит избежать ошибок и перепроектировок в процессе дальнейшей работы над вариантами.

## 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МОСТАХ И МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДАХ

*Мостовым переходом* называется комплекс инженерных сооружений, состоящий из собственно моста, насыпей подходов к нему, ледорезов, регуляционных и берегоукрепительных сооружений.

*Мостовые сооружения* строятся, когда трасса автомобильной дороги пересекает водоток (мост), другую дорогу (путепровод), долину, ущелье, овраг (виадук), городскую или заводскую территорию (эстакада).

Собственно *мостом* называют сооружение для пропуска дороги над водным препятствием (рисунок 1).

Мосты классифицируют по следующим признакам: назначению, типу опор и пролётных строений, виду материала, расположению уровня проезда, статической схеме, обеспеченности в отношении пропуска высоких вод, характеру пересечения препятствия и длине моста.

По назначению различают мосты: автодорожные, железнодорожные, городские, пешеходные, совмещённые (для автомобилей и железнодорожных поездов), специальные (для пропуска трубопроводов, кабелей и т. п.).

По типу применяемых опор: на жёстких опорах, на плавучих опорах (понтонных, баржах).

По типу пролётного строения: неподвижные, разводные (в которых для пропуска судов устраивают специальный разводной пролёт размерами, требуемыми для судоходства).

По виду применяемых материалов: деревянные, металлические, железобетонные, бетонные и каменные. Определяющим при этом является материал пролётного строения.

По уровню расположения проезжей части различают мосты с ездой: сверху, когда проезжая часть расположена по верху пролётного строения; понизу, когда проезжая часть находится на уровне низа пролётного строения; посередине, когда проезжая часть находится в средней по высоте части пролётного строения.

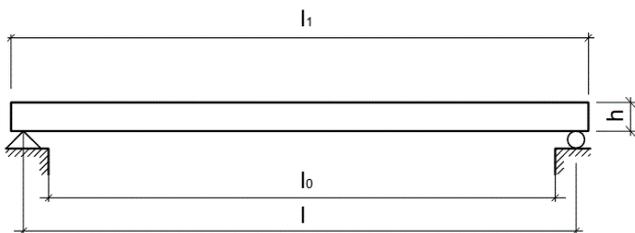
По обеспеченности в отношении пропуска высоких вод и ледохода различают мосты: высоководные и низководные.

По характеру препятствия: прямые (ось моста перпендикулярна берегам реки и направлению течения), косые (пересекает их под углом, отличным от прямого), криволинейные (ось моста – кривая линия).

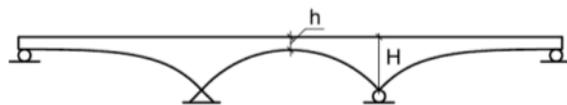
Мосты длиной, не превышающей 25 м, – малые; длиной 25...100 м – средние; длиной более 100 м – большие. Мосты длиной менее 100 м, но с одним из пролетов более 60 м, относятся к большим мостам.

Мост состоит из пролётных строений, поддерживающих проезжую часть, и опор, передающих давление пролётных строений на грунт. Крайние опоры, расположенные в местах сопряжения моста с насыпями подходов, называются устоями, а промежуточные опоры – быками.

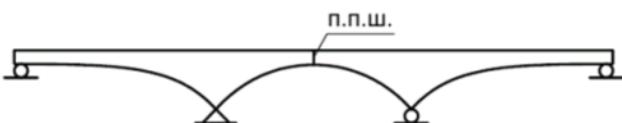
*балочная разрезная система*



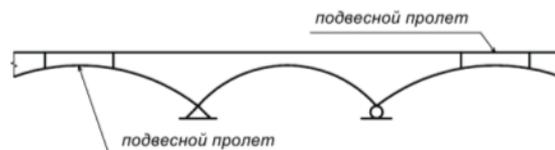
*балочная неразрезная система*



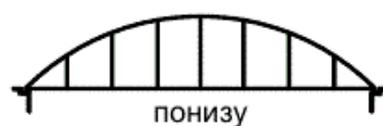
*балочно-консольная система с продольно подвижным шарниром*



*балочно-консольная система с подвесными пролетами*

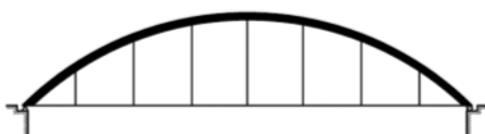


*арочные мосты с ездой поверху, посередине, понизу*

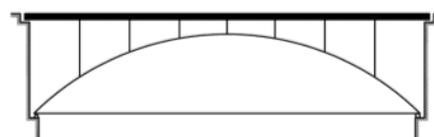


*комбинированные системы*

*жесткая арка с гибкой затяжкой*



*жесткая балка с подпружиненной гибкой аркой*



*Рамно-подвесная система*

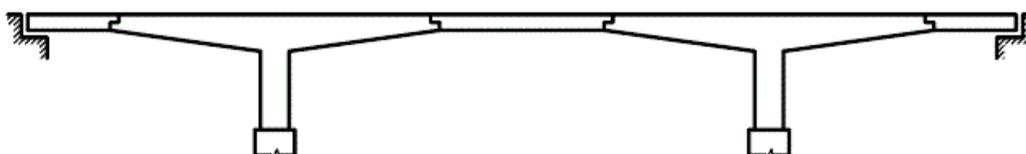


Рисунок 1—Примеры конструктивных систем железобетонных мостов

Конструктивное решение моста во многом зависит от геометрических и гидравлических параметров речной долины (ширины, глубины, скорости течения водного потока), геологического строения русла и поймы, условий ледохода, требований речного судоходства, расчётного отверстия моста.

Существенное значение имеют следующие расчётные уровни воды:

– *расчётный уровень высоких вод (РУВВ)* – наивысший уровень воды заданной вероятности превышения в створе мостового перехода;

– *расчётный судоходный уровень (PCY)* – наивысший уровень воды в судоходный период, который обычно несколько ниже **РУВВ**;

– *уровень меженных вод (УМВ)* – средний уровень воды в период между паводками (уровень межени).

В мостах применяют следующие основные определения и обозначения:

– *длина моста  $L_M$*  – расстояние по оси моста между примыкающими к насыпям подходов гранями устоев;

– *отверстие моста  $L_0$*  – горизонтальный размер между внутренними гранями устоев или конусами насыпи, измеренный при расчётном уровне воды с исключением толщины промежуточных опор;

– *высота моста  $H$*  – расстояние от поверхности проезжей части до уровня меженных вод;

– *свободная высота под мостом  $H_0$*  – расстояние между низом пролётных строений и расчётным уровнем высоких вод или расчётным судоходным уровнем (если река судоходная);

– *высота опоры  $h_{оп}$*  – расстояние от её верха до грунта;

– *строительная высота пролётного строения  $h_c$*  – расстояние от проезжей части до самых нижних частей пролётного строения;

– *расчётный пролёт  $l$*  – расстояние между осями опирания пролётного строения на смежных опорах;

– *ширина моста  $B$*  – расстояние между перилами в свету;

– *ширина пролётного строения  $B_0$*  – расстояние между осями крайних балок;

– *ширина проезжей части  $n \cdot b$*  – расстояние между внутренними гранями полос безопасности,  $b$  – ширина каждой полосы движения,  $n$  – число полос движения;

– *ширина ездového полотна  $\Gamma$*  – расстояние между ограждениями.

Как правило, при проектировании мостовых сооружений используют типовые конструкции пролётных строений с напрягаемой и ненапрягаемой арматурой. Основные размеры пролётных строений для удобства их заводского изготовления назначают с учётом модульности и унификации. Расчётные пролёты, или полную длину пролётных строений (балок),

принимают равными 12, 15, 18, 21, 24, 33 и 42 м, а при больших пролётах – кратными 21 м.

В качестве конструктивных элементов в пролётных строениях применяют пустотелые плиты длиной 6, 9, 12, 15 и 18 м, тавровые балки (Т-образное поперечное сечение) с каркасной (ненапрягаемой) арматурой длиной 12, 15 и 18 м, ребристые предварительно напряжённые балки длиной 12, 15, 18, 21, 24, 33, 42 м, коробчатые балки длиной пролёта 42, 63, 84, 105 и 126 м.

При подготовке компоновочной схемы пролётного строения из ребристых железобетонных балок расстояния между осями соседних балок назначают в зависимости от ширины плиты типовой балки. При этом ширина продольного шва пролётного строения варьируется в интервале 0,3...0,6 м.

Конструкция опор балочных мостов принимается в зависимости от величины и системы пролётного строения, геологических и гидрологических условий, толщины льда, условий судоходства, производственных, архитектурных и других соображений.

В мостах через большие судоходные реки применяют, как правило, русловые опоры массивного типа. Пойменные опоры и устои проектируют преимущественно облегчённого типа.

При большой высоте опор и пролётах 18...42 м в промежуточных опорах применяется облегчённая верхняя часть. Нижняя часть опоры до отметки, превышающей **РУВВ** на 0,5 м, устраивается массивной – сборной, сборно-монолитной или монолитной конструкции. Верхняя часть опоры сооружается в виде рамной надстройки, состоящей из стоек диаметром 1,0; 1,2; 1,6 м и ригеля.

Глубину заложения фундаментов на естественном основании назначают в зависимости от инженерно-геологических условий и выбора несущего слоя грунта. При этом учитывают следующие требования к минимальным глубинам заложения подошвы фундамента:

- при грунтах, подверженных морозному пучению (т.е. во всех случаях, кроме скальных, гравелистых и крупнопесчаных грунтов), – на 0,25 м ниже глубины промерзания;
- при грунтах, подверженных размыву, – на 2,5 м ниже поверхности грунта после размыва;
- при скальных грунтах – на 0,25 м, считая от отметки, на которой расчетное сопротивление не ниже величины давления фундамента;
- при любых грунтах, кроме скальных, при отсутствии размыва – на 1,0 м ниже дневной поверхности или дна водотока.

Обрезы фундаментов мостовых опор, как правило, располагают на 0,5 м ниже **УМВ**, а пойменных опор – на уровне поверхности грунта после размыва.

Определение размеров опоры начинается с уровня верха ригеля (подферменной площадки) из условия размещения опорных частей, передающих усилие от пролётного строения на опору.

Размеры тела опоры непосредственно под ригелем уменьшают на величину его свеса. Минимальная величина свеса 100 мм.

В современной практике проектирования широко распространён вариант облегчённых опор с консольным ригелем (консоли по 2,0...2,5 м).

Для отвода воды, попадающей на ригель, его верхней поверхности придают уклоны, называемые сливами; уклон слива – не менее 1:10.

Высоту подферменников (площадок, на которых располагаются опорные части) принимают равной высоте слива плюс 30...50 мм. Поперечный уклон проезжей части моста достигается устройством подферменников переменной высоты.

В неразрезных пролётных строениях при расположении на промежуточной опоре (по её центру) только одной опорной части ширина ригеля может быть уменьшена до 1,2 м.

Фундаменты мелкого заложения на естественном основании применяют при неглубоком залегании прочных грунтов от поверхности земли.

Промежуточные опоры через большие судоходные реки, которым свойственно, как правило, наличие мощного слоя руслового аллювия (пески), проектируют обычно на свайном основании. При этом верх плиты свайного ростверка (т. е. обрез фундамента) обычно назначается на 0,5 м ниже **УМВ**.

Ростверки всех промежуточных опор размещаются на одной и той же отметке, так как максимальная глубина воды может оказаться у любой промежуточной опоры под влиянием природных русловых деформаций.

При сооружении свайных фундаментов балочных железобетонных мостов часто применяют железобетонные сваи сечением 350х350 мм, длиной 6, 8, 9, 10, 12, 14 м. Необходимое количество свай на одну опору определяется расчётом. Минимальное расстояние между осями таких свай по фасаду моста равно 1,05 м.

Расстояния между осями свай в направлении поперёк моста принимают равными 1,2 м. Для судоходных пролетов 33 и 42 м применяют трёхрядные свайные ростверки, при меньших пролётах – двухрядные.

Отметка острия забивной сваи или ножа сваи-оболочки должна быть ниже отметки предельного размыва не менее, чем на 4 м. По условиям несущей способности грунтов эта величина может быть увеличена еще на несколько метров.

Существует множество видов устоев, применяемых в балочных мостах. Выбор конструкции устоя зависит от конкретных инженерно-геологических условий и основных геометрических параметров мостового сооружения.

Под пролётные строения длиной 18...33 м и при возвышении низа ригеля над естественным грунтом до 6 м в последние годы применяют безростверковые обсыпные устои козлового типа. Сваи забивают на глубину не менее 4 м.

### 3. СОСТАВЛЕНИЕ ПЕРВОГО ВАРИАНТА МОСТА

#### 3.1. Выбор системы моста и типов пролётных строений

Большая часть студентов проектирует автодорожный средний мост через несудоходную реку на прямом горизонтальном участке пути.

Для указанных условий наибольшее распространение получили мосты с балочными разрезными пролётными строениями. Мост такой системы и рекомендуется принять в первом варианте.

Пролёты моста рекомендуется перекрыть типовыми сборными железобетонными пролётными строениями из обычного железобетона длиной от 6,0 до 16,5 м или из предварительно напряжённого железобетона длиной от 16,5 до 27,6 м. Основные данные по этим пролётным строениям, необходимые для их привязки к местным условиям, приведены в [13,14]. Применение типовых сборных пролётных строений позволяет обеспечить однотипность применяемых конструкций, единообразие способов монтажа и технологии их заводского изготовления, позволяет повысить уровень индустриализации строительства мостов. Поэтому, при пролётах до 27,6 м, применение нетиповых пролётных строений без достаточного обоснования не рекомендуется.

#### 3.2. Назначение длин пролётов

Для средних железобетонных балочно-разрезных мостов через несудоходные реки, когда условия сооружения опор по ширине русла не изменяются слишком резко, часто применяют *схемы с одинаковыми пролётами*. Длина пролёта в этом случае является одним из основных объектов варьирования (наряду с типами пролётных строений, опор, фундаментов).

Назначать длину пролётов следует соотносясь, прежде всего, с длинами упомянутых типовых пролётных строений. Кроме того, следует учитывать, что от длины пролётов в значительной мере зависит стоимость варианта моста. Так, чем выше опоры и сложнее их фундаменты, тем целесообразнее уменьшать их количество за счёт увеличения длины пролётов и, наоборот, – при низких опорах и простых фундаментах выгодно уменьшить длину пролётов, чтобы снизить общую стоимость пролётных строений. Ориентировочно это обстоятельство можно учесть используя правило, установленное теоретическим путём [2], заключающееся в том, что наименьшая стоимость моста имеет место в случае равенства прямых затрат на сооружение опоры и примыкающего к нему пролётного строения. С учётом же сложившихся к настоящему времени условий строительства и различия в значениях необъёмных затрат при возведении пролётных строений и опор (накладных расходов, зимнего удорожания, непредвиденных затрат и др.) значение оптимальной длины пролётов имеет место при выполнении следующего равенства:

$$C_{np.cmp} = (1,3...1,6) \cdot C_{on} , \quad (1)$$

где  $C_{on}$  и  $C_{np.cmp}$  – соответственно прямые затраты на сооружение опоры и примыкающего к ней пролётного строения.

Для выбора длины пролётов во втором и третьем вариантах это условие следует использовать, сопоставляя стоимости пролётного строения и опоры в составленных ранее вариантах. Но можно это условие использовать и при составлении первого варианта. Для этого, разрабатывая его, необходимо, исходя из величины заданного отверстия моста, ориентировочно найти местоположение средней (по высоте) промежуточной опоры. Запроектировать её и подсчитать стоимость в соответствии с указаниями настоящих методических указаний. Затем определить длину типового пролётного строения, стоимость которого составляет 1,3...1,6 стоимости опоры. Вместе с тем, следует помнить, что упомянутое теоретическое положение об оптимальной стоимости моста в достаточной мере условно, так как при его выводе не учитывается стоимость устоев, конфигурация русла и некоторые другие факторы и что окончательно наименьшая стоимость моста может быть определена только на основе сопоставления стоимостей полностью запроектированных конкурентоспособных вариантов моста.

Следует также иметь в виду, что из условия беззаторного пропуска льда длину пролётов в русловой части моста следует принимать ориентировочно не менее 10...15 м при слабом ледоходе (толщина льда  $h_l \leq 0,5$  м), 15...20 м – при среднем ледоходе ( $0,5 < h_l < 1,0$  м) и 20...30 м – при сильном ледоходе ( $h_l \geq 1,0$  м).

### 3.3. Выбор типов опор

Выбирая типы опор (промежуточных и береговых) под балочные разрезные железобетонные пролётные строения моста рекомендуется, прежде всего, выявить возможность применения *типовых конструкций*. Данные по некоторым типовым конструкциям промежуточных опор и устоев, необходимые для их привязки к местным условиям (высоты опор, длины пролётных строений, которые могут быть на них установлены, и др.), приведены в [13,14] и приложение 1.

Выбирая тип надфундаментной части опоры следует учитывать, что применение сборных опор облегченного типа позволяет повысить уровень индустриализации строительства моста, снизить материалоёмкость, трудоёмкость возведения, а часто и стоимость опор. Вместе с тем, следует помнить, что все типовые опоры, а в особенности сборные облегченного типа, имеют ограничения по условиям применения. Например, свайные, стоечные, столбчатые и рамные промежуточные опоры могут применяться

только вне русловой части моста. Поэтому в руслах постоянных водотоков следует применять массивные опоры.

Тело обсыпных устоев защищено конусом насыпи от воздействия на него водотока, карчехода и льда. Это обстоятельство позволяет применять для них более широко, чем для промежуточных опор, сборные типовые облегченные конструкции: свайные, стоечные, рамные, столбчатые. Но такие устои имеют меньшую жёсткость, чем массивные, вследствие чего они имеют ограничения по допустимым высотам насыпей, а также по длинам пролётных строений, которые могут быть на них установлены. Если наибольшая длина пролётного строения, которое может быть установлено на сборный устой облегченного типа, окажется меньшей, чем длина, определенная из упомянутого выше теоретического условия о наименьшей стоимости моста, то схема моста в целом может оказаться не экономичной. В таком случае целесообразно рассмотреть вариант схемы моста с пролётными строениями разной длины: со средними, определенными из условия выполнения упомянутого выше соотношения стоимости опоры и примыкающего к нему пролётного строения, и крайними – из условия применимости конструкции устоя облегченного типа. Однако более двух типоразмеров пролетных строений применять не рекомендуется.

При невозможности применить устои облегченного типа следует применять массивные устои. Разновидности устоев мостовых сооружений показаны на рисунке 2.

Выбирая тип фундаментов опор рекомендуется, в первую очередь, рассмотреть возможность применения опор, в которых надфундаментная часть представляет собой продолжение фундамента, состоящего из свай, оболочек или столбов, как наиболее целесообразных с точки зрения сборности, материалоемкости, а также трудоёмкости и продолжительности возведения.

Если такие опоры в заданных условиях применить нельзя, то следует рассмотреть возможность применения опор с фундаментами глубокого заложения из свай, свай-оболочек или свай-столбов с плитой ростверка, расположенной в грунте или непосредственно над ним, или опор на опускных колодцах.

В случае, когда по грунтовым условиям сваи или оболочки применить нельзя, рекомендуется рассмотреть возможность применения опор со сборными или монолитными фундаментами мелкого заложения.

В первом варианте моста можно ограничиться рассмотрением возможности применения свайных опор, а также облегченных и массивных опор с фундаментами мелкого заложения или свайными.

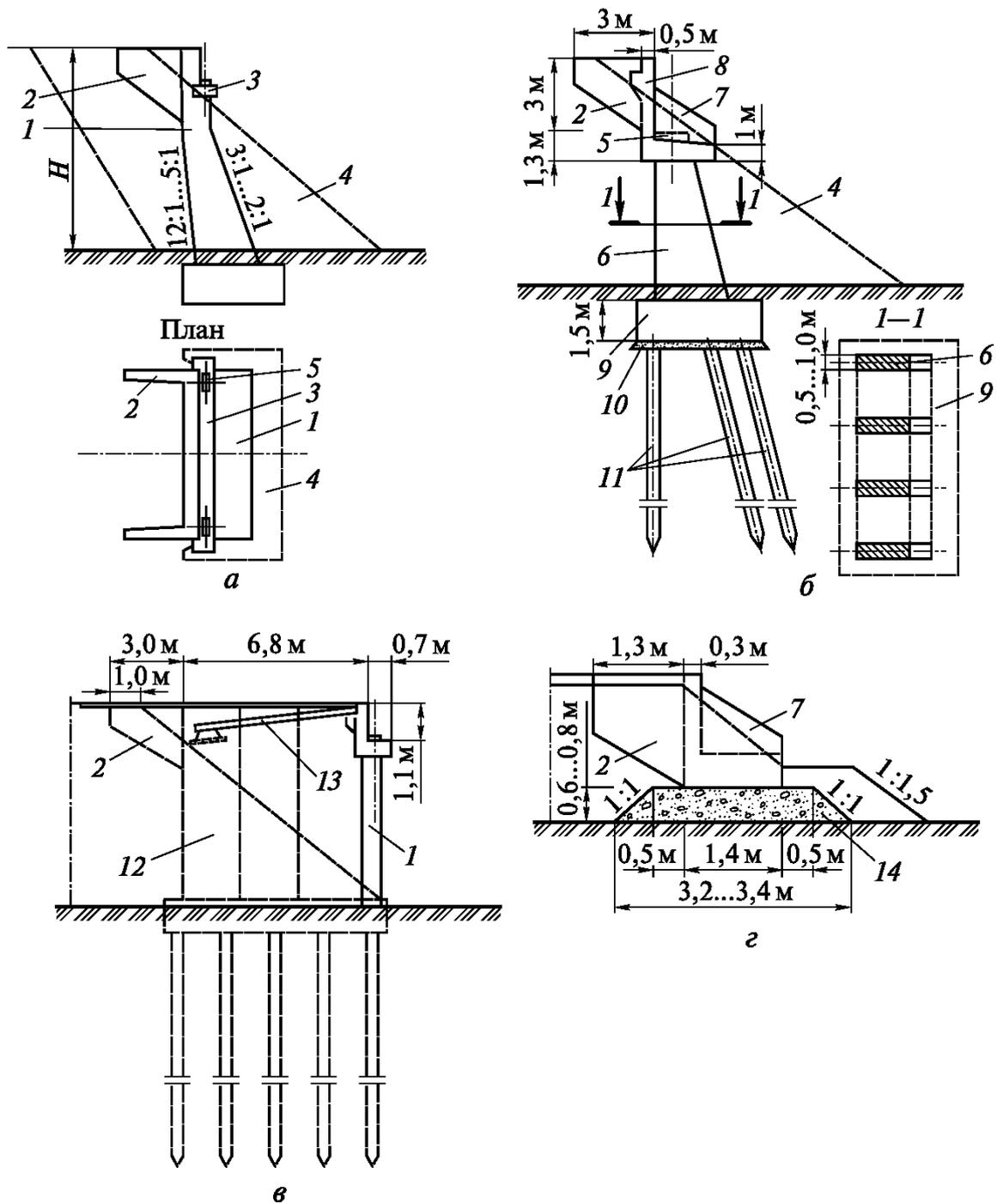


Рисунок 2—Разновидности устоев мостовых сооружений:  
*а*—обсыпной массивный; *б*—обсыпной столбчатый; *в*—необсыпной тонкостенный; *г*—лежневый; 1—подпорная стена; 2—открылок; 3—подферменная площадка; 4—конус насыпи; 5—подферменник; 6—столб прямоугольного сечения; 7—диафрагма; 8—стенка шкафной части; 9—ростверк фундамента; 10—щебеночная подготовка; 11—сваи фундамента; 12—обратная стенка из сборных плит; 13—переходная плита; 14—щебеночная подушка

### 3.4. Разработка схемы моста

Дальнейшую разработку варианта моста рекомендуется выполнять с одновременным вычерчиванием проектируемых элементов моста в масштабе 1:100, 1:200 на листе миллиметровой бумаги, на котором предварительно следует нанести профиль перехода, уровни воды, геологические условия, уровень проезжей части (ПЧ).

Количество пролётов определяют исходя из условия обеспечения ими заданного отверстия моста  $L_0$ . Для моста с обсыпными устоями и одинаковыми пролётами необходимое количество пролётов  $n$  можно определить по формуле:

$$n = \frac{L_0 + 2 \cdot 1,5 \cdot (ПР - УВВ - h_{\text{стр.оп}} - 0,5) - b}{l_n + 0,05 - b}, \quad (2)$$

где:  $h_{\text{стр.оп}}$  – строительная высота пролётного строения над опорой, м;

0,5 м – минимальное расстояние от подферменной площадки (в плоскости шкафной стенки) до конуса насыпи [8];

$b$  – ширина промежуточной опоры по фасаду моста, м, которую можно принять ориентировочно (на данном этапе проектирования) равной 1,6...2,0 м;

$l_n$  – полная длина пролётного строения, м; 0,05 м – зазор между торцами пролётных строений.

С архитектурной точки зрения рекомендуется по возможности избегать двух– и четырёх– пролётных схем мостов, предпочитая им одно–, трёх– и пяти– пролётные схемы.

Определенное по формуле (2) количество пролётов  $n$  округляют до целого числа и размещают на профиле перехода. Для обеспечения наиболее благоприятного пропуска паводковых вод пролёты моста размещают так, чтобы площадь поперечного сечения водотока под мостом при расчётном уровне воды была близка к максимально возможной, а длины участков моста над левой и правой поймами были бы пропорциональны длинам затопленных в паводок участков соответствующих пойм в бытовых условиях. В тех же целях рекомендуется по возможности избегать расположения опор в наиболее глубоких местах русла.

Размещение пролётов фиксируют на чертеже показом осей промежуточных опор и плоскостей шкафных стенок устоев. При определении расстояний между осями промежуточных опор и осями опор и шкафными стенками устоев учитывают упомянутые выше полную длину пролётных строений  $l_n$  и зазор между торцами пролётных строений.

Далее на схеме вычерчивают принятые пролётные строения, промежуточные опоры и устои (пока без фундаментов), проводят линии откосов конусов насыпи. В случае, если приняты не типовые обсыпные устои, линию откоса конуса насыпи наносят ориентировочно – из условия получения наименьших размеров устоя поверху. Для этого откос конуса насыпи располагают так, чтобы расстояние от него до подферменной площадки в плоскости шкафной стенки было равно 0,5 м (в соответствии с [8]).

Фактическое отверстие моста  $L_0^\phi$  для схемы моста с  $n$  пролётными строениями длиной  $l_n$  и обсыпными устоями определяют по формуле 3:

$$L_0^\phi = n \cdot l_n + (n+1) \cdot 0,05 - (n-1) \cdot b_0 - 2 \cdot 1,5 \cdot (ПП - УВВ - h_{cmp.on} - 0,5),$$

где обозначения те же, что и в формуле (2).

Если  $L_0^\phi$  отличается от заданного отверстия моста  $L_0$  более, чем на минус 3% или плюс 5%, следует рассмотреть вариант схемы моста с пролётными строениями другой длины или с концевыми пролётными строениями меньшей длины, чем средние. Вместе с тем, при достаточно убедительном обосновании указанные пределы отклонения  $L_0^\phi$  от  $L_0$  могут быть несколько увеличены.

### 3.5. Проектирование фундаментов опор

В курсовом проекте при разработке вариантов моста фундаменты опор проектируются эскизно – назначаются отметки обреза и подошвы, определяются основные размеры. При этом достаточность принятого количества свай в ростверке, глубины их погружения в грунт основания, а также площади подошвы фундамента мелкого заложения проверяется приближёнными расчётами по прочности грунтового основания.

Основные размеры и отметки фундамента назначаются в соответствии с требованиями [8].

В случае применения типовых свайных опор проектирование их фундаментной части сводится к определению необходимой глубины забивки свай. Эта глубина зависит от наибольшей расчётной нагрузки на сваю  $N_{max}$ , МН и расчётной несущей способности сваи, работающей на сжимающую нагрузку, по грунту  $F_d$ , МН.  $N_{max}$  принимается в зависимости от высоты насыпи, принятого типа опоры и длины опирающегося на неё пролётного строения.  $F_d$  принимается в зависимости от глубины забивки сваи в грунт

основания  $l_3$  и вида этого грунта. Для правильно запроектированной фундаментной части такой опоры должно выполняться условие:

$$N_{\max} \leq \frac{F_d}{\gamma_k}, \quad (4)$$

где  $\gamma_k$  – коэффициент надёжности, принимаемый в зависимости от количества свай в опоре: если число свай 6...10 –  $\gamma_k = 1,65$ , если число свай 11...20 –  $\gamma_k = 1,55$ .

Оптимальным с точки зрения стоимости будет фундамент с глубиной забивки свай  $l_3$ , при которой  $N_{\max} = \frac{F_d}{\gamma_k}$ .

При проектировании свайных фундаментов или фундаментов мелкого заложения индивидуальной проектировки, следует руководствоваться методическими указаниями, приведенными ниже.

Начинают проектирование таких фундаментов с назначения отметки обреза фундамента (**ОФ**).

У опоры, находящейся в русле, при слабом ледоходе ( $h_l \leq 0,5$  м) или при его отсутствии, отметку **ОФ** обычно располагают на 0,5 м ниже уровня меженных вод (**УМВ**):

$$ОФ = УМВ - 0,5. \quad (5)$$

На реках со значительным ледоходом отметку **ОФ** русловых опор, как правило, располагают ниже низа льда:

$$ОФ = УНЛ - h_l - 0,25, \quad (6)$$

где **УНЛ** – уровень низкого ледостава, м;  $h_l$  – толщина льда, м.

Нормы проектирования [8] допускают, при необходимости, расположение **ОФ** в пределах колебаний уровней воды и льда. При этом на **ОФ** должна быть устроена фаска 300x300 мм, а фундаменту придана обтекаемая форма.

У необсыпных устоев **ОФ** обычно располагают на 0,3...0,5 м ниже поверхности грунта, но не ниже отметки, определенной по формуле (5). На малоизученных реках и реках с блуждающим руслом **ОФ** пойменных опор назначают на том же уровне, что и у русловых.

Тело и фундамент обсыпных устоев с водным потоком и льдом не взаимодействуют – защищены грунтом конуса насыпи. Поэтому **ОФ** таких устоев располагают на любой высоте, определяемой его конструкцией.

Отметку подошвы фундаментов (**ПФ**) мелкого заложения назначают с учётом следующих факторов: геологических и гидрогеологических условий места расположения моста; глубины сезонного промерзания грунтов; степени их морозной пучинистости; условий общего и местного размыва дна у опоры; технологии производства работ по возведению фундамента.

Глубину общего размыва дна у опоры, возникающего вследствие стеснения живого сечения водотока после постройки моста, а также местного размыва дна у опоры, возникающего вследствие наличия в водотоке препятствия в виде опоры и её фундамента, определяют в соответствии с указаниями [8]. В курсовом проекте эту задачу допускается решить упрощенно. Глубину размыва дна водотока у рассматриваемой опоры  $h_p$ , м, рекомендуется определять по формуле:

$$h_p = h_e \cdot (k_p - 1) + h_{м.р.} \quad (7)$$

где:  $h_e$  – глубина воды у опоры до размыва, м;

$k_p$  – расчётный коэффициент общего размыва (по заданию на курсовой проект);

$h_{м.р.}$  – глубина местного размыва дна водотока у опоры, м.

В курсовом проекте  $h_{м.р.}$  у рассматриваемой опоры можно принять ориентировочно равной ширине фундамента  $b_\phi$  при прямоугольной или  $0,5 \cdot b_\phi$  при закруглённой форме поперечного сечения фундамента.

Подошва фундаментов мелкого заложения должна быть заглублена не менее, чем на 2,5 м от наименьшей отметки дна водотока в месте расположения опоры после его общего и местного размыва расчётным паводком. Пояснения по учету других, упомянутых выше факторов, при назначении отметки подошвы фундаментов мелкого заложения, а также рекомендации по выбору материала и назначению размеров этих фундаментов в плане приведены в [8].

Достаточность площади подошвы фундамента мелкого заложения следует проверить эскизным расчётом по несущей способности (прочности) грунтового основания. Для правильно запроектированного фундамента должно выполняться условие:

$$\sigma = \frac{N_{\phi}}{A_{\phi}} \leq R \quad (8)$$

где:  $\sigma$  – давление на грунт (напряжение) под подошвой фундамента, МПа;

$N_{\phi}$  – расчётная вертикальная нагрузка в уровне подошвы фундамента, МН, определяемая по формуле (9);

$A_{\phi}$  – площадь подошвы фундамента, м<sup>2</sup>;

$R$  – расчётное сопротивление грунта основания, МПа, определяемое в соответствии с указаниями приложения Э ТКП 45–3.03–232–2011.

Вертикальную нагрузку  $N_{\phi}$ , МН, следует определять по формуле:

$$N_{\phi} = k \cdot (N_{обр} + 1,1 \cdot V_{\phi} \cdot \gamma_b), \quad (9)$$

где:  $N_{обр}$  – расчётная вертикальная нагрузка в уровне обреза фундамента от комбинации нагрузок, действующих на опору, МН;

$V_{\phi}$  – объём фундамента, м<sup>3</sup>;  $\gamma_b$  – удельный вес бетона, МН/м<sup>3</sup>;

$k$  – коэффициент, учитывающий действие изгибающего момента в уровне подошвы фундамента. Для промежуточных опор можно принять  $k = 1,2$ , а для устоев –  $k = 1,5$ .

При проектировании свайных фундаментах, выборе материала плиты ростверка и свай, назначении их размеров, назначении количества свай, отметок обреза и подошвы плиты ростверка следует руководствоваться рекомендациями ТКП 45–3.03–188–2010 «Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования фундаментах».

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что для опор в русле реки подошву плиты свайного ростверка, как правило, располагают не менее чем на 0,25 м ниже низа льда при низком ледоставе. Следует также учесть, что при определении несущей способности сваи по грунту длина её забивки  $l_z$  отсчитывается от линии местного размыва, причём она должна быть не менее 4 м.

Принятое количество свай в ростверке  $n_c$  следует проверить эскизным расчётом по несущей способности (прочности) грунтового основания. Для правильно запроектированного свайного фундамента должно выполняться условие:

$$\frac{N_{\phi}}{n_c} + G_c \leq \frac{F_d}{\gamma_k} \quad (10)$$

где:  $N_\phi$  – расчётная вертикальная нагрузка в уровне подошвы плиты ростверка, МН, определяемая по формуле (9), в которой при этом  $V_\phi$  следует заменить на  $V_\rho$  – объём плиты ростверка, м<sup>3</sup>;

$G_c$  – вес сваи, МН;

$F_d$  и  $\gamma_k$  – величины те же, что и в формуле (4), при этом, если ростверк низкий, следует принимать  $\gamma_k = 1,4$ .

Принятые фундаменты опор вычерчивают на схеме моста. Далее на схеме моста показывают основные его размеры, отметки, вычерчивают поперечные разрезы моста, наносят условные обозначения грунта, насыпи и др.

### 3.6. Определение числа и длины свай в фундаменте опоры

Для промежуточных опор в определенных грунтовых условиях можно принять фундаменты с высокими или низкими ростверками на висячих железобетонных сваях или оболочках. Забивные цельные сваи квадратного сечения имеют размеры 350x350 или 400x400 мм; секционные полые круглые – диаметр 400, 500, 600, 800 мм и толщину стенки 80...100 мм. Длина цельных свай бывает до 16...20 м, длина секций – 4...12 м. Головы свай заделывают в прямоугольный или обтекаемый в плане ростверк толщиной 1,5...2,0 м с размерами, как правило, не менее чем на 0,5 м превышающими размеры нижней части тела опоры. Сваи заделывают в ростверк на длину не менее чем две толщины ствола сваи, а сваи толщиной более 0,6 м – не менее чем на 1,2 м.

Обрез фундамента (верх ростверка) в меженном русле располагают ниже УНЛ на толщину льда плюс 0,25 м, а на поймах – на 0,25 м ниже поверхности грунта после размыва. Подошву фундамента (низ высокого ростверка) в меженном русле располагают на любом уровне.

Верх низкого ростверка в меженном русле, а также верх ростверка на поймах должны располагаться не выше отметки грунта дна после размыва минус 0,25 м.

Подошву ростверка на поймах располагают в крупных и средних песчаных грунтах на любом уровне, а в глинистых, суглинистых, мелких и пылеватых песчаных грунтах – не менее чем на 0,25 м ниже глубины промерзания.

В курсовом проекте необходимо приближенно определить число и длину свай в фундаменте промежуточной опоры из расчета на вертикальные нагрузки на свайный ростверк, которые складываются из собственного веса частей опоры, давлений от веса пролетных строений и мостового полотна и временной подвижной вертикальной нагрузки. Собственным весом забивных свай, как правило, можно пренебречь.

Расчетная вертикальная нагрузка на фундамент:

$$N = \sum \gamma_f \cdot N_{i,II} + \gamma_f \cdot N_B, \quad (13)$$

где:  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке;

$N_{i,II}$  и  $N_B$  – нормативные усилия, соответственно, от постоянной и временной нагрузок.

Нормативное давление на опору от подвижного состава, расположенного на двух пролетах:

$$N_B = V \cdot A, \quad (14)$$

где:  $V$  – интенсивность эквивалентной временной подвижной нагрузки, расположенной на двух пролетах, которую определяют при длине заграждения  $\lambda = 2 \cdot (l + 0,5 \cdot c)$ ;

$l$  – расчетный пролет;

$c$  – расстояние между осями опорных частей на опоре;

$A = \frac{1}{l} \cdot (l + 0,5 \cdot c)^2$  – площадь линии влияния опорной реакции.

Требуемое количество свай (оболочек) в опоре:

$$n_c = k_G \cdot k_H \cdot \frac{N}{F_d} \quad (15)$$

где:  $k_G = 1,2 \dots 1,4$  – коэффициент учета влияния горизонтальных нагрузок;

$k_H$  – коэффициент надежности, принимаемый равным: при числе свай 21 и более – 1,4; при числе свай от 11 до 20 – 1,55; при числе свай от 6 до 10 – 1,65; при числе свай до 5 – 1,75;

$F_d$  – расчетная несущая способность одной сваи по грунту.

Полученное число свай размещают на плане ростверка, размеры которого могут быть соответственно скорректированы. Наименьшие расстояния между осями вертикальных забивных свай равны трем диаметрам или толщинам свай. Наименьшие расстояния в свету между сваями-оболочками принимают 1 м. Наименьшее расстояние от края ростверка до грани сваи равно 0,25 м, а до грани сваи-оболочки – 0,1 м.

### 3.7. Составление эскиза промежуточной опоры

В курсовом проекте необходимо составить эскиз одной промежуточной опоры наибольшей высоты. На форматке миллиметровой или клетчатой бумаги вычерчивают в масштабе 1:100 две вертикальные проекции опоры (вдоль и поперек моста) и горизонтальное сечение тела опоры.

Составление эскиза начинают с размещения на форматке осей вертикальных проекций опоры и вычерчивания пролетных строений. На проекциях указывают уровни: ПЧ, УВВ (УВЛ), УМВ (УНЛ), поверхности грунта после размыва и слоев грунта. Далее назначают размеры опорных частей: высоту  $h_{оч}$ , размер нижней подушки вдоль  $a_{поч}$  и  $a_{ноч}$  (для подвижной и неподвижной опорных частей) и поперек  $b_{оч}$  моста.

Наименьший размер подферменной плиты (оголовка) вдоль моста равен

$$C_{пф} = l_{п} - l + \Delta + 0,5 \cdot (a_{поч} + a_{ноч}) + 2 \cdot (c_1 + c_2), \quad (11)$$

где:  $l_{п}$  – полная длина пролетного строения, м;

$l$  – расчетный пролет, м;

$\Delta$  – зазор между торцами пролетных строений, равный 0,05 м для железобетонных и 0,1 м для металлических пролетных строений;

$c_1$  – расстояние от нижней подушки опорной части до грани площадки, равное 0,15...0,2 м;

$c_2$  – расстояние от площадки до грани подферменной плиты, равное при пролетах до 30 м – 0,15 м, а свыше 30 м – 0,25 м.

Наименьший размер подферменной плиты (оголовка) поперек оси моста

$$B_{пф} = B + b_{оч} + 2 \cdot (c_1 + c_3), \dots\dots\dots(12)$$

где:  $B$  – расстояние между осями главных балок или ферм, м;

$b_{оч}$  – размер поперек моста нижней подушки опорной части, м;

$c_1$  – расстояние от нижней подушки опорной части до грани площадки, равное 0,15...0,20 м;

$c_3$  – расстояние от площадки до грани подферменной плиты, принимаемое равным при плоских и тангенциальных опорных частях 0,3 м, а при секторных и катковых 0,5 м.

Для закругленной или многоугольной в плане подферменной плиты наименьшее расстояние от угла подферменной площадки до ближайшей грани плиты принимают таким же, как и размер  $c_2$  вдоль моста. Центр полуокружности, описывающий контур верховой или низовой части плиты,

располагают на краю подферменной площадки. Толщину подферменной плиты принимают 0,4...0,6 м при опирании всей плоскостью, а при опирании на столбы – 0,8...1,2 м.

Тело опоры от низа подферменной плиты до отметки не менее чем на 0,5 м выше **УВЛ** может быть в виде прямоугольного или круглого в плане бетонного или железобетонного сплошного, а при большой высоте – пустотелого столба (или нескольких столбов) с вертикальными гранями, размеры которых в плане принимают меньше размеров подферменной плиты на 0,2 м.

Нижележащая часть тела опоры до обреза фундамента должна иметь вертикальные грани и закругления или заострения в плане верховой и нижней сторон. В зависимости от интенсивности ледохода угол заострения ледорезной грани в плане принимают в пределах 90...120°. Эта часть тела опоры выполняется массивной бетонной.

Телу опоры высотой более 4 м, считая от обреза фундамента, можно придавать ступенчатую форму по фасаду моста, совмещая одну из ступеней с ледорезной частью. Во всех случаях нужно, чтобы размер любого сечения бетонной опоры был не менее  $(0,48 - 0,02 \cdot H) \cdot H$ , где  $H$  – расстояние от сечения до верха опоры.

При небольшом возвышении опоры над уровнем высокой воды, верхнюю часть тела опоры можно выполнить одинаковой формы с нижней.

### 3.8. Определение основных объёмов работ и стоимости моста

Перед определением объёмов работ по возведению моста и его стоимости необходимо определить принципиальную схему производства работ по сооружению моста в соответствии с принятыми конструкциями пролётных строений, надфундаментной части и фундаментов опор. Для этого предварительно следует ознакомиться с соответствующими разделами учебников и литературы по строительству мостов – [1,2,3,4,11 и др.].

Стоимость моста складывается из стоимости его элементов (пролётных строений, опор, фундаментов), включающих стоимость материалов и работ по их изготовлению (на заводе или на месте возведения моста). Для сборных конструкций, кроме того, учитывается стоимость транспортировки элементов (от завода к строительной площадке) и монтажа.

Стоимость моста рекомендуется определять по нижеприведенной форме (таблица 1). При этом части моста объединяются по группам однотипных конструкций: 1 – устои, 2 – промежуточные опоры, 3 – пролетные строения. В группах могут быть подгруппы, объединяющие конструкции одинаковых типоразмеров, например, сборная часть тела устоев, монолитная плита ростверка, сваи и т. п. Наименование работ и конструктивных элементов, включаемых в ведомость подсчёта стоимости моста (см. таблица 1), следует принимать в соответствии с укрупнёнными единичными стоимостями строительно-монтажных работ и конструктивных элементов, приведенных в

[13,14] и составленным проектом. При подсчётах объёмов работ следует использовать соответствующие данные по типовым пролетным строениям и опорам [13,14]. Объёмы конструктивных элементов индивидуальной проектировки подсчитываются по принятым в варианте моста размерам. Суммирование стоимостей производится по группам однотипных конструкций и по мосту в целом.

Таблица 1–Ведомость подсчёта стоимости и трудоёмкости строительства моста по варианту № .... (форма ведомости)

Наименование работ и конструктивных элементов	Ед.изм.	Объём работы	Стоимость, руб.		Трудоёмкость, ч. - д.	
			единичн.	общая	единичн.	общая
1. Устои .....шт.						
1.1. Погружение железобетонных призматических свай на суше.						
1.2. Монолитная кладка опор железобетонная (ростверки)						
1.3. Устройство сборных опор из железобетонных блоков (оголовочная часть устоя).						
<b>Итого по устоям:</b>						
2. Промежуточные опоры .....шт.						
2.1.....						
2.2.....						
<b>Итого по промежуточным опорам:</b>						
2.3. Пролётные строения .....шт. ..... .....						
<b>Итого по пролётным строениям:</b>						
<b>Всего по мосту:</b>						

#### 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОСЛЕДУЮЩИХ ВАРИАНТОВ

Составление второго и последующих вариантов должно вестись целенаправленно – преследовать одну или одновременно несколько из следующих целей: уменьшение стоимости моста, уменьшение расхода материалов, повышение уровня сборности элементов, снижение трудоёмкости работ по сооружению моста. Поэтому, перед тем как перейти к разработке последующих вариантов, необходимо выполнить анализ технических достоинств и недостатков составленных.

Как указывалось в п. 3.2, оптимальной по стоимости схемой моста, как правило, является такая, у которой стоимость пролётногo строения в 1,3...1,6 раза превышает стоимость промежуточной опоры. В зависимости от того, больше или меньше фактическое значение этого соотношения в варианте №1, следует соответственно уменьшать или увеличивать длину пролёта во втором варианте. Для определения направления совершенствования моста в третьем варианте, кроме учёта этого соотношения, следует также сравнивать между собой и полные стоимости моста по первому и второму вариантам. На основании аналогичных соображений можно наметить направления совершенствования моста в четвёртом и последующих вариантах. Количество вариантов должно быть достаточным для выявления варианта моста с наименьшей стоимостью. В курсовом проекте можно ограничиться разработкой трёх вариантов и наметить направления совершенствования в четвёртом.

Для улучшения других, упомянутых выше, показателей следует во втором и последующих вариантах делать попытки устранить недостатки предыдущих, изменяя тип опор, фундаментов. При этом следует учитывать, что такое изменение также отразится на соотношении стоимостей пролётногo строения и опоры и на стоимости варианта моста в целом.

Сведения о типовых опорах можно найти в типовых проектах, а также в справочной литературе, имеющихся на кафедре «Мосты и тоннели» и в библиотеке университета. Следует также проанализировать целесообразность применения опор индивидуальной проектировки. Указания по определению основных размеров таких опор имеются в учебниках [1,2,3].

В случае, если в первом варианте фундаменты опор в виде свайного ростверка, запроектированные в соответствии с указаниями п.3.6, содержат большое количество свай, заглубленных на большую глубину, целесообразно в последующих вариантах моста применить фундаменты глубокого заложения из железобетонных оболочек или столбов. Такие фундаменты широко применяются в современном строительстве. Они отличаются высокой индустриальностью, небольшими объёмами земляных работ и сроками строительства и часто оказываются экономичнее фундаментов других типов. Указания по назначению основных размеров таких фундаментов содержатся в [9]. Правильность принятого количества оболочек (столбов) следует проверять таким же эскизным расчётом по прочности

грунтового основания, что и для свайного фундамента (см. формулу 10). При этом несущую способность оболочки или столба по грунту следует определять в соответствии с указаниями [9].

Второй и последующие варианты моста рекомендуется разрабатывать в той же последовательности, что и первый, т. е. в соответствии с указаниями, содержащимися в п.3.

## 5. СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ И ОБОСНОВАНИЕ РЕКОМЕНДУЕМОГО

В курсовом проекте сравнение вариантов моста рекомендуется выполнить упрощенным способом – «по строительной стоимости». Основные положения этого способа изложены в [13,14]. При использовании его, прежде всего, подсчитывают технико-экономические показатели вариантов, указанные в [13,14]. Наиболее целесообразным считают вариант, требующий минимума первоначальных капиталовложений (имеющий меньшую строительную стоимость). При равенстве стоимостей (разность не превышает 3%) или при небольшом их расхождении, решающее значение приобретают дополнительные технико-экономические показатели (ДТЭП). В некоторых случаях решающее значение могут иметь и другие показатели, такие, например, как трудоёмкость возведения, удобство эксплуатации (для малообжитых отдалённых районов), сроки строительства, долговечность конструкции, архитектурные качества (для мостов в населённых пунктах) и др. При этом, сравнение показателей, приведенных в таблице 1, следует дать в %, а других – с качественной стороны.

Показатели вариантов моста выписывают в табличной форме (таблица 2).

Коэффициент сборности моста равен частному от деления стоимости сборных конструкций в деле на полную стоимость моста. К полностью сборным конструкциям относятся железобетонные и металлические пролетные строения, сборные части промежуточных опор и сваи. Для массивного тела сборно-монолитных опор коэффициент сборности можно принять равным 0,5.

Основным экономическим показателем для оценки и выбора наилучшего варианта моста является его стоимость.

Важными технико-экономическими показателями являются также расход бетона и железобетона на строительство моста, коэффициент сборности и другие данные, например количество опор и свай моста, величина блоков и т.п., влияющие на трудоёмкость и продолжительность строительства, а также на эксплуатационные качества моста.

Рекомендуемый вариант моста должен иметь минимальную стоимость, наименьшую трудоёмкость и продолжительность постройки, а также наилучшие эксплуатационные качества.

Таблица 2–Технико-экономические показатели

Наименование показателей	Единица измерения	Количество по вариантам		
		№ 1	№ 2	№ 3
Стоимость моста:				
<i>полная</i>	руб.			
<i>1 погонный метр</i>	руб.			
Объем бетона и железобетона:				
<i>сборного</i>	м <sup>3</sup>			
<i>монолитного</i>	м <sup>3</sup>			
<i>всего</i>	м <sup>3</sup>			
<i>на 1 погонный метр</i>	м <sup>3</sup>			
Масса металлоконструкций пролетных строений и опорных частей:				
<i>полная</i>	т			
<i>на 1 погонный метр</i>	т			
Коэффициент сборности моста				

## 6. УИРС И НИРС В ПРОЕКТЕ

Наличие в проекте элементов **УИРС** и **НИРС** оговаривается в задании. Большая часть элементов **УИРС** и **НИРС** задаётся на конструирование и расчёты отдельных частей моста, например, проектирование конструкций из новых материалов, конструкций, предназначенных для эксплуатации в условиях сеймики, расчёт сложных статически неопределимых конструкций с составлением программ для ЭВМ и др. В вариантной части проекта элементами **УИРС** может быть разработка схемы моста сложной статически неопределимой системы и др.

В проектах с элементами **УИРС** и **НИРС**, по согласованию с преподавателем, при необходимости производится перераспределение объёмов отдельных разделов проекта, при примерном сохранении общего объёма. Однако выполнение **УИРС** и **НИРС**, как правило, требует углубленного изучения рассматриваемых вопросов по технической литературе. В таком проекте больше возможностей для творчества. Пояснительная записка к проекту может быть дополнена рефератом, содержащим изложение собранного по элементам **УИРС** или **НИРС** материала, его обобщение и анализ.

## 7. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВЛЕНИЯ ВАРИАНТОВ МОСТА В ДИПЛОМНОМ ПРОЕКТЕ

Состав и объём вопросов, решаемых при разработке вариантов железобетонного моста в дипломном проекте, оговаривается в задании на дипломное проектирование или согласовывается с руководителем дипломного проектирования. Здесь, как правило, снимаются все или большинство из упоминавшихся выше ограничений и упрощений, максимально приближая, тем самым, состав и объём работ к таковым при реальном проектировании.

Так, при разработке схемы моста здесь выполняются гидравлические расчёты, включающие расчёт отверстия моста, полные расчёты общего и местного размывов. Кроме мостов простой балочно-разрезной системы, в дипломном проекте, как правило, рассматриваются более сложные системы железобетонных мостов (неразрезные, рамные и др.). Количество составляемых вариантов здесь не ограничивается. Оно определяется полным решением задачи отыскания оптимального варианта железобетонного моста.

В дипломном проекте, в случае проектирования моста в сложных гидрологических и геологических условиях, часто возникает необходимость составлять и сравнивать не только варианты схем моста, но и варианты тела промежуточных опор, устоев, их фундаментов. Здесь варианты железобетонного моста приходится сравнивать не только между собой, но и с конкурентоспособными вариантами металлического моста. При этом, само технико-экономическое сравнение в дипломном проекте, как правило, выполняется не по приближённой, а по полной методике [13,14]. В соответствии с ней основным показателем при оценке вариантов моста и выборе оптимального является не строительная стоимость, а совокупный экономический эффект.

## 8. ОФОРМЛЕНИЕ ВАРИАНТОВ МОСТА

Поперечный профиль реки в масштабе 1:200 вычерчивают с указанием линии дна после размыва, геологического строения и линии проезжей части (ПЧ). В пределах пойм при пучинных грунтах (глинистых, суглинистых, супесчаных, а также мелких или пылеватых песчаных) показывают также линии расчетной глубины промерзания. Глубину реки после размыва для всех точек перелома профиля вычисляют по формуле:

$$h = k_p + h_B, \quad (16)$$

где:  $k_p$  – коэффициент размыва русла;  $h_B$  – глубина воды при **УВВ**.

Пролетные строения изображают в виде прямоугольников высотой, равной строительной высоте минус 0,2 м, и длиной, равной их полной длине. Между торцами пролетных строений показывают зазор 0,05 м.

В зависимости от высоты насыпи у концов моста и величины крайних пролетов, подбирают устои, которые изображают на чертеже. Откос конуса насыпи с уклоном 1:1,5 должен проходить ниже подферменной площадки устоя не менее чем на 0,6 м.

На фасаде моста указывают длину моста (расстояние между задними гранями устоев), длины пролетных строений и величины зазоров между ними; возвышение низа конструкции пролетных строений над **УВВ** (не менее 0,75 м); отметки уровней воды и ледохода, бровки насыпи (**БН**), низа конструкции пролетного строения (**НК**), верха опоры (**ВО**), обреза и подошвы фундамента (**ОФ** и **ПФ**); номера опор, начиная с левого берега.

В масштабе 1:100...1:200 вычерчивают: поперечный разрез моста, на котором показывают сечение пролетного строения и вид на промежуточную опору; горизонтальное сечение тела опоры; план свай.

На поперечном разрезе указывают строительную высоту пролетного строения, расстояние между осями главных балок, ширину тротуаров, высоты частей опоры. На сечении тела опоры показывает его размеры, а на плане свай – расстояния между сваями и размеры ростверка. Над чертежом надписывают номер варианта и измеренное непосредственно по чертежу отверстие моста, которое не должно быть меньше заданного и не более чем на 10 % отличаться от него в большую сторону.

Составленные варианты моста вычерчивают на листе формата А1 со степенью детализации, показанной на рисунках 2...8. На этом же листе следует поместить таблицу с технико-экономическими показателями (таблица 3) и примечания. В примечаниях указываются важнейшие характеристики вариантов, которые невозможно показать на листе графическими средствами, такие, например, как нормы проектирования, расчётная нагрузка, материал и краткое название применённых конструкций пролётных строений, опор, фундаментов, номера или серии использованных типовых проектов и т.п. Составляется пояснительная записка к вариантам моста, содержащая 10...15 страниц текста.

При оформлении чертежа с вариантами и пояснительной записки следует руководствоваться нижеследующими указаниями.

Пояснительная записка должна, как правило, иметь следующее содержание:

Введение.

1. Местные условия и другие исходные данные проектирования.
2. Описание вариантов моста.
  - 2.1. Вариант № 1.
  - 2.2. Вариант № 2.
  - 2.3. Вариант № 3.



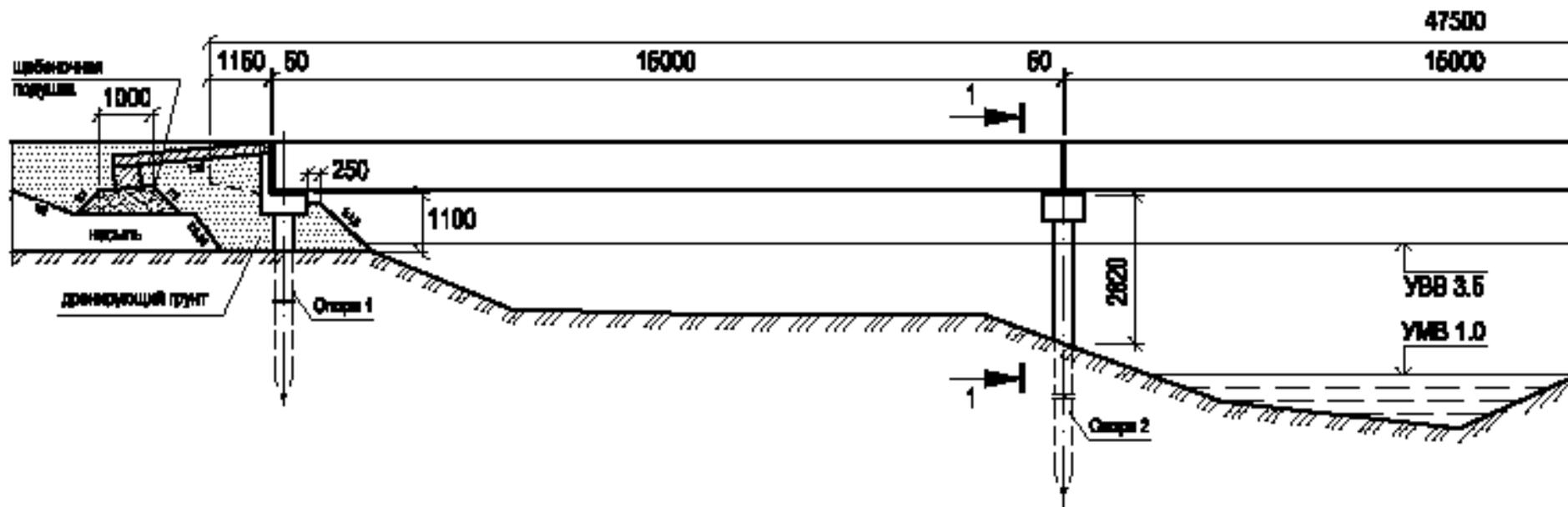


Рисунок 3–Вариант I

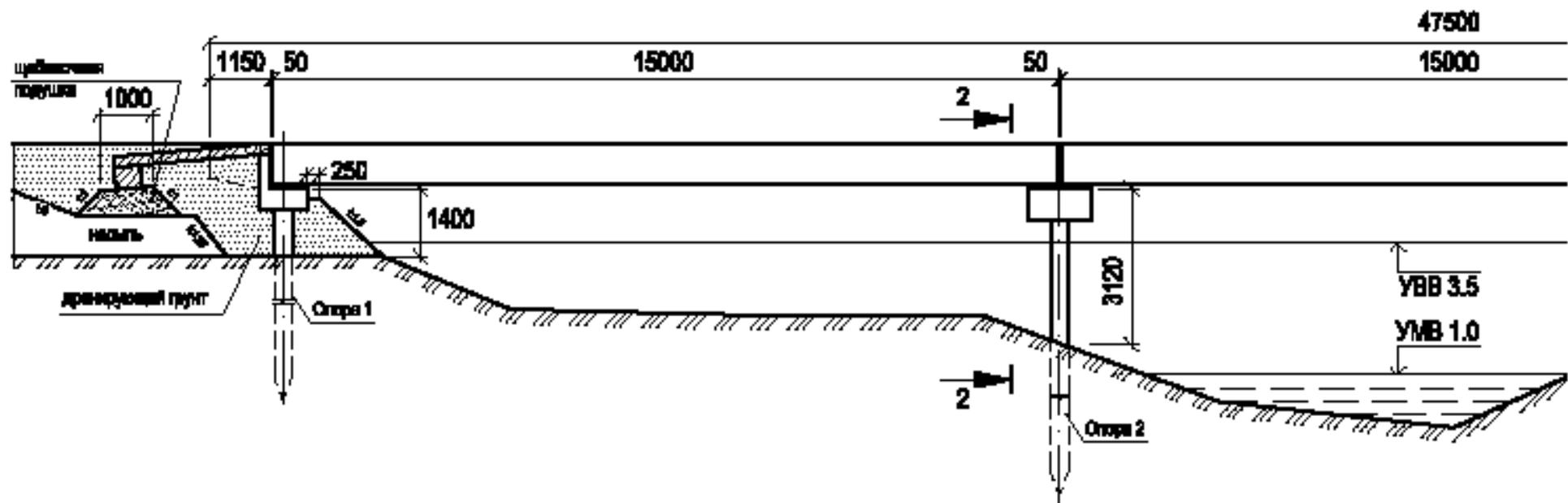


Рисунок 4–Вариант II

1 - 1

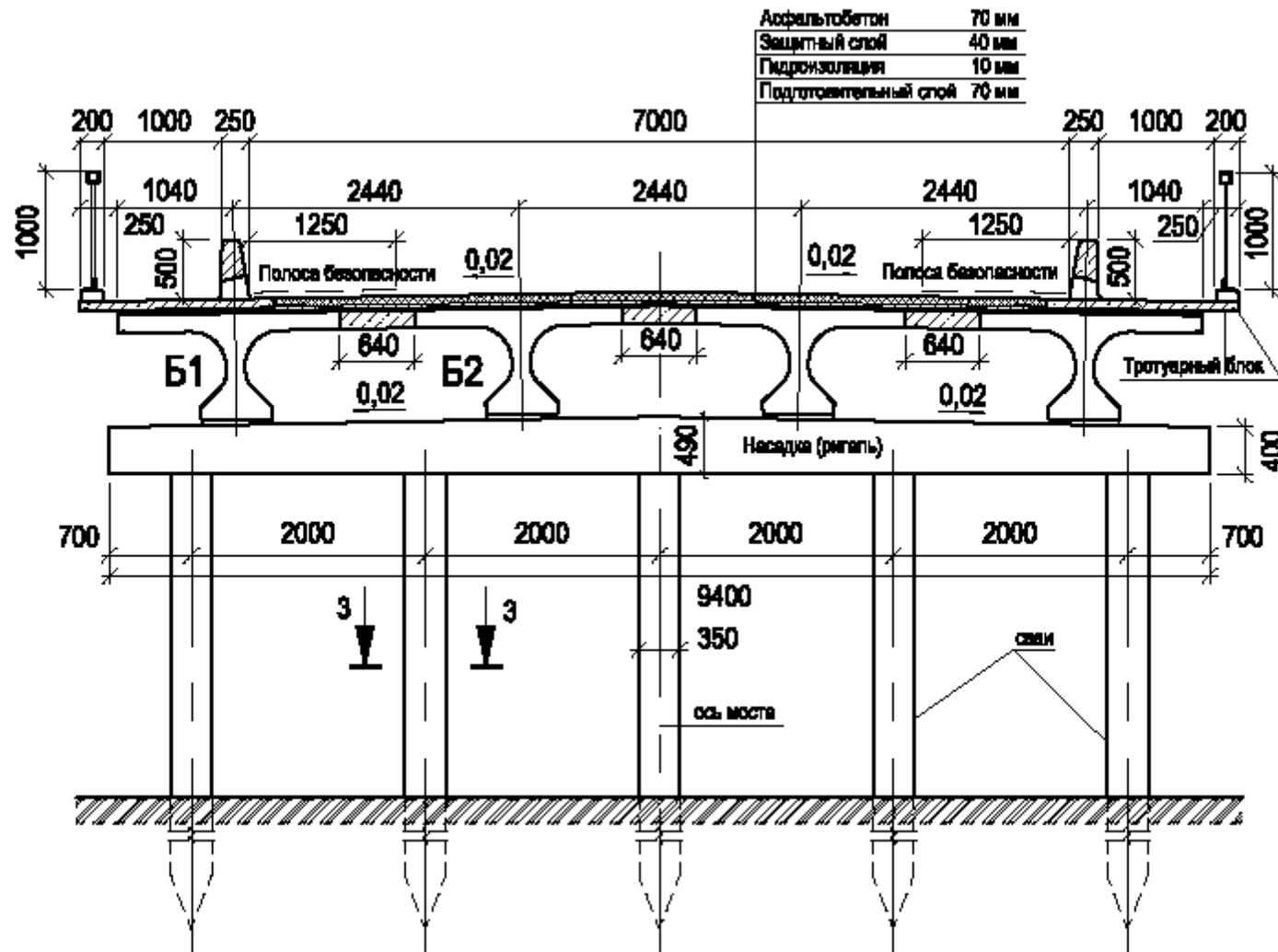


Рисунок 5–Вариант 1. Поперечный разрез

2-2

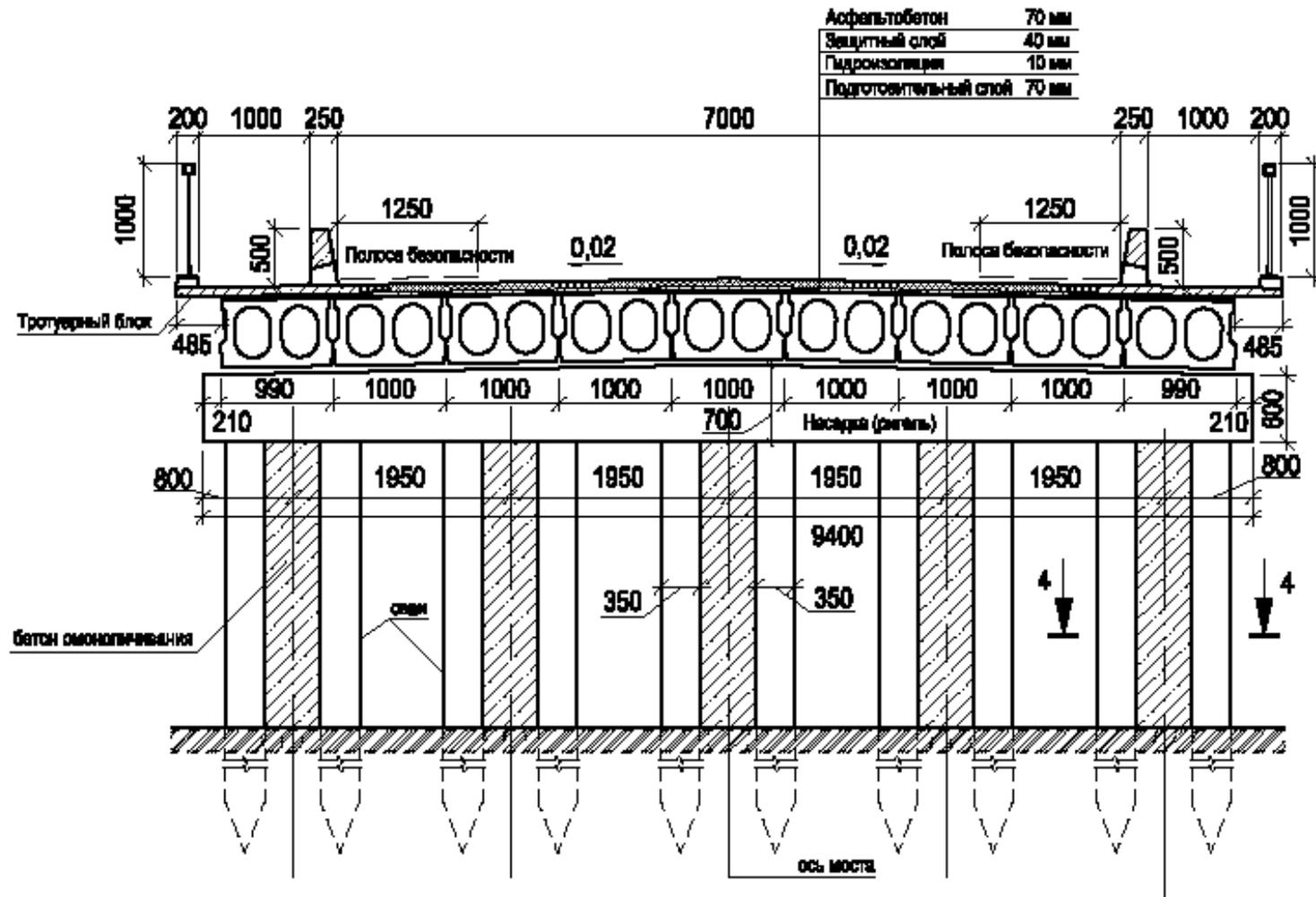


Рисунок 6–Вариант II. Поперечный разрез

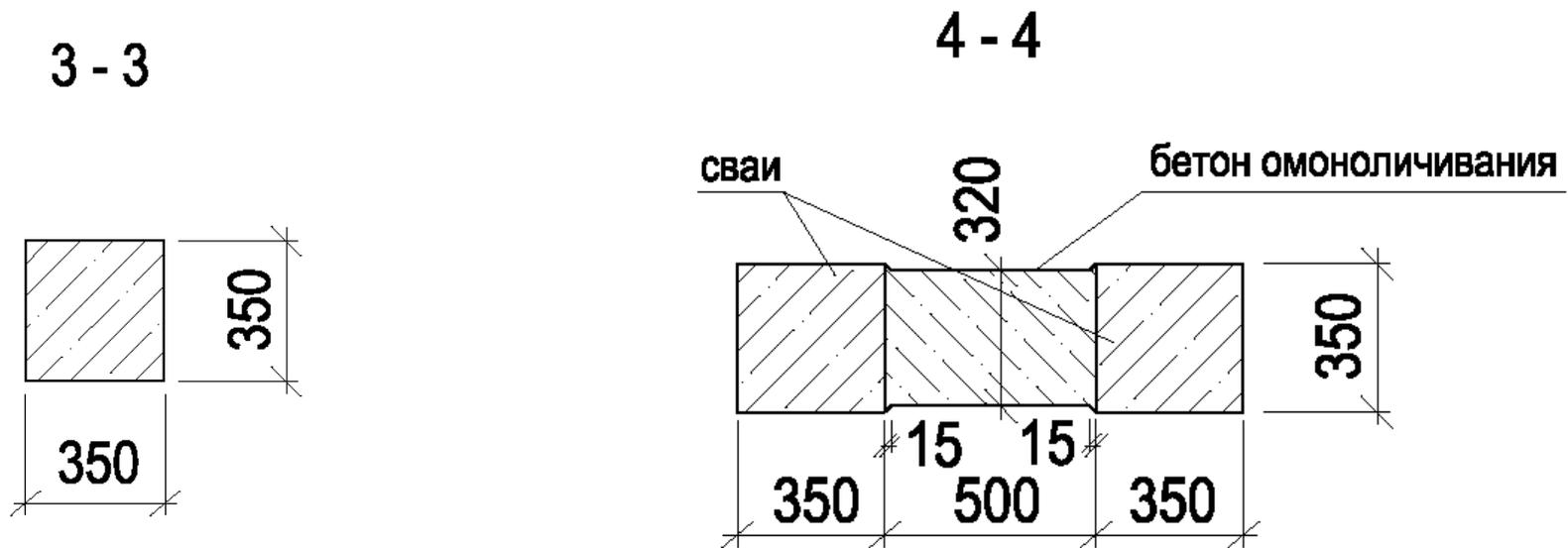
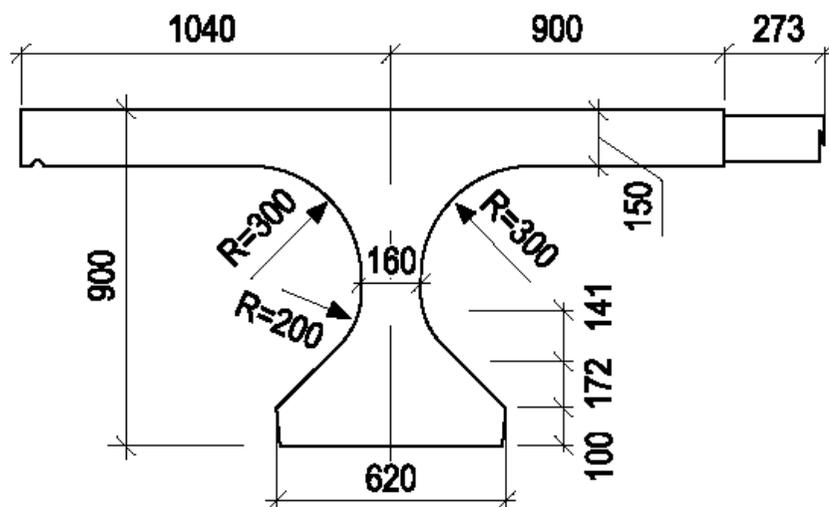


Рисунок 7—Поперечные сечения опорных конструкций

### Вариант I. Поперечное сечение крайней балки



### Вариант II. Поперечное сечение плиты

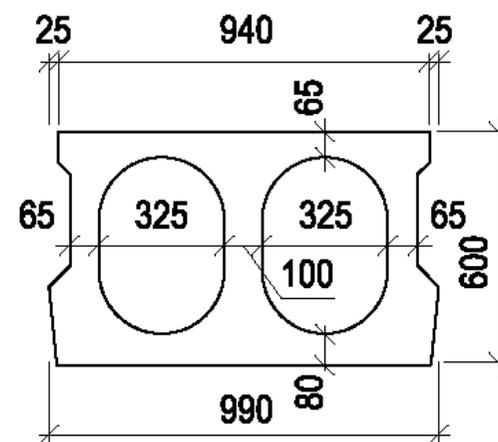


Рисунок 8—Поперечные сечения несущих конструкций пролетных строений

Таблица объемов работ

№ п.п.	Наименование	Ед.изм.	К-во	Объем на ед., м³		Объем всего, м³		Стоимость			
				бетон	ж/б	бетон	ж/б	ед., млн. руб.		всего, млн. руб.	
								бетон	ж/б	бетон	ж/б
<b>Вариант I</b>											
1	Береговые опоры	шт.	2	-	9,12-опора 1 9,62-опора 4	-	18,74				
2	Промежуточные опоры	шт.	2	-	4,76-опора 2 4,73-опора 3	-	9,51	Расчет стоимости выполняется по действующим расценкам			
3	Пролетные строения	шт.	3	4,32	33,80	12,66	101,40				
4	Проводная часть, 7,0x47,5	м²	332,5	-	-	-	-				
5	Перила, 2x47,5	п.м.	95,0	-	-	-	-				
6	Итого:										
<b>Вариант II</b>											
7	Береговые опоры	шт.	2	-	9,12-опора 1 9,62-опора 4	-	18,74				
8	Промежуточные опоры	шт.	2	1,94-опора 2 1,88-опора 3	10,29-опора 2 10,21-опора 3	3,82	20,50	Расчет стоимости выполняется по действующим расценкам			
9	Пролетные строения	шт.	3	4,70	42,70	14,10	128,10				
10	Проводная часть	м²	316,4	-	-	-	-				
11	Перила	п.м.	95,0	-	-	-	-				
12	Итого:										

3. Техничко-экономическое сравнение вариантов и обоснование рекомендуемого варианта.

Список литературы.

Приложения.

Во *введении* следует отразить роль автoдoрoжного транспорта, изложить задачи в области железобетонного мостостроения. Следует также кратко сформулировать основные задачи, которые должен решить студент в процессе выполнения настоящего курсового проекта.

В *первом разделе* необходимо охарактеризовать участок дороги в районе проектируемого моста, гидрологические, гидравлические и геологические условия в месте мостового перехода, привести другие данные задания.

Во *втором разделе* необходимо дать описание составленных вариантов моста. Характеризуя каждый, следует указать: систему и схему моста; типы пролётных строений, опор и фундаментов; стоимость, трудоёмкость, расход материалов и другие показатели варианта. Необходимо также изложить соображения по способам возведения основных элементов моста. При этом следует помнить, что записка не зря называется «пояснительной». В ней, описывая принятые решения, обязательно необходимо пояснять – почему принята такая система или схема моста, тип пролётного строения, опоры, фундамента и т.п.

Все подсчёты, выполняемые при составлении вариантов: отметок уровней, необходимого количества пролётов, полной длины моста, величины его отверстия, размеров опор, количества свай в фундаментах и др. должны быть обязательно приведены, но не в основном тексте записки, а в её разделе «Приложения». Каждое приложение должно иметь номер и название, на него должна быть сделана ссылка в основном тексте пояснительной записки.

В *третьем разделе* пояснительной записки следует привести ведомости с подсчётами объёмов, стоимостей и трудоёмкостей работ по возведению моста по каждому варианту, привести таблицу с технико-экономическими показателями вариантов, дать анализ показателей и обосновать рекомендуемый вариант.

Если при проверке пояснительной записки и чертежа преподаватель указал на ошибки, студент обязан внести исправления (дополнения). При этом запрещается заменять титульный лист, удалять листы, стирать или зачёркивать замечания. Отдельные неправильные слова или числа аккуратно зачёркиваются и над ними пишутся правильные. Новые части текста пишут на оборотной чистой стороне предыдущего листа и указывают место вставки или замены. Новые страницы пишут на дополнительных листах и вклеивают их в соответствующие места текста. Исправления текста должны быть полными. Например, если допущена ошибка при определении объёмов работ, то необходимо не только указать правильный объём, но и внести поправки в подсчёты стоимостей, трудоёмкостей, в технико-экономические показатели, в сравнение вариантов.

Незначительные исправления чертежа вносят непосредственно на нём, стирая неправильные и вычерчивая правильные изображения или дополняя чертёж недостающими изображениями, размерами или надписями. По требованию преподавателя неправильные, небрежно выполненные, а также выполненные не в соответствии с заданием чертёж и пояснительная записка должны быть переделаны.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железобетонные автодорожные мосты / И.И. Иванчев [и др.] – М.: Издательство ассоциации строительных вузов, 2008. – 280 с.
2. Инженерные сооружения в транспортном строительстве. В 2 кн.: учебник для студ. высш. учеб. заведений / П.М. Саламахин [и др.]; под общ. ред. П.М. Саламахина. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 352 с.
3. Вантовые мосты / А.А. Петропавловский [и др.]; под общ. ред. А.А. Петропавловского. – М.: Транспорт, 1985. – 224 с.
4. Иосилевский, Л.И. Железобетонные пролетные строения мостов промышленного изготовления / Л.И. Иосилевский. – М.: Транспорт, 1986.
5. Лившиц, Л.Д. Примеры расчета железобетонных мостов / Л.Д. Лившиц, М.М. Онищенко, А.А. Шкуратовский. – Киев: Вiща школа, 1986. – 262 с.
6. Гибшман, М.Е. Проектирование транспортных сооружений. Учебник для вузов / М.Е. Гибшман, В.И. Попов. – М.: Транспорт, 1988. – 447 с.
7. Бобриков, Б.В. Строительство мостов. Учебник для вузов / Б.В. Бобриков, И.М. Русаков, А.А. Царьков. – М.: Транспорт, 1987. – 304 с.
8. Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования: ТКП 45–3.03–232–2011 (02250). – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2011.
9. Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования фундаментов: ТКП 45–3.03–188–2010 (02250). – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2011.–76 с.
10. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 2. Транспортные нагрузки на мосты: ТКП EN 1991–2–2009 (02250). – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2010.
11. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 2. Железобетонные мосты. Правила проектирования и расчета: ТКП EN 1992–2–2009 (02250). – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2010.
12. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1992–1–1–2009 (02250). – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2010.
13. Методические указания и задания на разработку курсового проекта железобетонного моста по курсу «Мосты и сооружения на дорогах». Приложение №1. Материалы по вариантному проектированию. Выпуск 1. – БПИ. – Минск, 1983.
14. Методические указания и задания на разработку курсового проекта железобетонного моста по курсу «Мосты и сооружения на дорогах». Приложение №1. Материалы по вариантному проектированию. Часть 2. Конструкции опор и пролетных строений. – БПИ. – Минск, 1984.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Расчетная несущая способность свай и оболочек, работающих на сжимающие нагрузки, по грунту,  $F_d$ , МН

Тип свай и оболочек	Глубина погружения, м	Наименование грунтов									
		песчаный					суглинок (или глина)				
		крупный	средней крупности	мелкий	пылеватый	супесь	твердый	полутвердый	тугопластичный	мягкопластичный	пластичный
Железобетонные сваи сечением 35x35 см	4	0,6	0,4	0,3	0,2	–	–	0,5	0,2	0,1	–
	6	0,7	0,5	0,4	0,25	–	–	0,6	0,3	0,15	–
	8	0,9	0,7	0,5	0,3	–	–	0,8	0,4	0,2	–
	10	1,1	0,8	0,6	0,4	–	–	0,9	0,5	0,25	–
	15	1,5	1,2	0,9	0,6	–	–	1,3	0,7	0,4	–
Железобетонные сваи-оболочки диаметром 1,6м	4	1,4	1,3	0,9	0,7	–	1,3	–	–	–	0,6
	6	2,0	1,9	1,4	1,1	–	1,7	–	–	–	0,8
	8	2,7	2,5	1,9	1,4	–	2,0	–	–	–	1,1
	10	3,3	3,2	2,4	1,8	–	2,5	–	–	–	1,5
	15	5,0	4,8	3,6	2,8	–	3,5	–	–	–	2,0
Железобетонные сваи-оболочки диаметром 3,0 м	4	4,1	3,6	2,5	2,0	2,4	4,0	–	–	–	1,7
	6	5,6	5,1	3,7	3,0	3,3	5,0	–	–	–	2,3
	8	7,1	6,5	4,9	3,9	4,2	6,0	–	–	–	3,0
	10	8,6	8,0	6,1	4,9	5,2	7,0	–	–	–	3,7
	15	12,5	12,0	9,1	7,2	7,5	9,5	–	–	–	5,6
	20	16,7	16,2	12,4	9,7	10,1	12,0	–	–	–	6,9