

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)



В.И. ПУРКИН, А.С. ХОЛИН

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ**

Учебное пособие

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(МАДИ)

В.И. ПУРКИН, А.С. ХОЛИН

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

*Второе издание, переработанное и дополненное*

Утверждено  
в качестве учебного пособия  
редсоветом МАДИ

МОСКВА  
МАДИ  
2014

УДК 625.745.11  
ББК 39.112.2  
П889

*Рецензенты:*

зав. кафедрой «Геодезии и геоинформатики» МАДИ,  
д-р техн. наук, проф. *Г.А. Федотов*;  
главный инженер департамента проектирования автомобильных  
дорог ООО «ТрансПроект», канд. техн. наук *А.В. Корочкин*

**Пуркин, В.И.**

П889 Проектирование мостовых переходов: учебное пособие /  
В.И. Пуркин, А.С. Холин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МАДИ,  
2014. – 60 с.

Настоящее пособие составлено с учетом требований национальных стандартов и сводов правил, обеспечивающих соблюдение Федерального закона «Проектирование мостовых переходов», рассчитано на студентов строительных специальностей как заочной, так и очной форм обучения, изучающих следующие дисциплины: «Изыскания и проектирование автомобильных дорог», «Изыскания и проектирование автомагистралей, аэродромов и специальных сооружений», «Основы изысканий и проектирования мостовых переходов», выполняющие курсовые или квалификационные (дипломные) работы.

УДК 625.745.11  
ББК 39.112.2

© МАДИ, 2014

## ВВЕДЕНИЕ

Мостовой переход является составной частью автомобильной дороги и представляет собой комплекс сложных и дорогостоящих сооружений. Этот комплекс включает в себя: мост, перекрывающий во время паводка (высокой воды) часть живого сечения реки, в которую обязательно входит русло реки; подходы к мосту, состоящие из укрепленных пойменных земляных насыпей; регуляционные и защитные сооружения, устраиваемые с целью изменения движения речного потока у перехода и защиты его от повреждения потоком.

Все сооружения испытывают разнообразные отрицательные воздействия водного потока. К таковым относятся:

- подтопление сооружений при проходе паводков;
- природные деформации русел;
- общие размывы, возникающие в результате стеснения водного потока в период паводка подходами к мосту;
- местные размывы, происходящие у опор мостов и голов регуляционных сооружений;
- изменение уровней водного потока;
- продольные течения, волновые воздействия, ледоход, карчеход и т.д.

Мостовой переход нужно рассматривать не только как транспортное, но и как гидротехническое сооружение, а, следовательно, размеры и форма мостового перехода в значительной степени обосновываются гидрологическими, гидравлическими и русловыми расчетами.

При проектировании мостового перехода необходимо одновременно решить следующие задачи:

- 1) создать оптимальные условия для перевозки грузов и пассажиров автомобильным транспортом;
- 2) обеспечить возможность надежной работы мостового перехода в течение длительного срока службы в условиях непостоянства речного стока, природных русловых деформаций, нарушения мостовым переходом естественного режима реки;

3) получить экономически обоснованное проектное решение, которому соответствует минимальная величина строительных и эксплуатационных затрат;

4) учесть требования других отраслей народного хозяйства, прежде всего, речного транспорта;

5) свести до минимума неблагоприятное воздействие на окружающую среду.

В настоящем пособии рассматриваются вопросы расчета и проектирования мостовых переходов, которые должны быть решены при курсовом и дипломном проектировании.

Рекомендуется следующий порядок работ по проектированию мостового перехода.

1. Определение расхода или уровня воды расчетной вероятности превышения (гидрологический расчет).

2. Определение расходов и скоростей течения в русле и на пойме при пропуске расчетного расхода (морфометрический расчет).

3. Назначение нескольких вариантов отверстия моста, в том числе минимального, обеспечивающего перекрытие только русла реки.

4. Расчет для каждого варианта ширины русла под мостом после размыва, глубин общего размыва в русле и на пойменных участках отверстия моста, местных размывов у опор моста, отметок подошвы фундаментов мостовых опор.

5. Выбор оптимального отверстия моста.

6. Расчет полного подпора и подпора у насыпи.

7. Определение расчетного судоходного уровня.

8. Расчет отметок проезда на мосту и низкой пойменной насыпи.

9. Проектирование продольного профиля мостового перехода.

10. Проектирование поперечных профилей подходов к мосту.

11. Проектирование струенаправляющих дамб.

Образец бланка исходных данных и пример расчетов при проектировании мостового перехода приведены в приложениях 3 и 4.

## 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО УРОВНЯ ВЫСОКОЙ ВОДЫ (РУВВ)

В качестве исходных данных для гидрологического расчета приводятся сведения о наивысших годовых уровнях воды за период гидрометрических наблюдений  $n$  (лет), предшествовавший проектированию мостового перехода.

Максимальные уровни воды характеризуются вероятностью превышения (ВП) их еще более высокими. Согласно СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик», расчетная вероятность превышения паводков нормируется в соответствии с категорией проектируемой автомобильной дороги (табл. 1.1). Таким образом, необходимо определить уровень воды (УВ) расчетной вероятности превышения. Для этого используется графоаналитический метод с построением кривой вероятностей на клетчатке нормального распределения.

Предварительно по данным фактических наблюдений максимальных уровней воды в реке, зафиксированных в течение ряда лет непрерывных наблюдений на водомерных постах Гидрометеослужбы строятся столбчатые диаграммы: хронологическая (рис. 1.1) и ранжированная в убывающем порядке (рис. 1.3).

Эмпирическая вероятность превышения каждого из максимальных уровней в ранжированном ряду определяется по формуле:

$$P_{\text{э}} = \frac{m-0,3}{n+0,4} \times 100\%, \quad (1.1)$$

где  $m$  – номер любого члена ранжированного (убывающего) ряда уровней воды в реке;  $n$  – общее число членов ряда (лет наблюдений за режимом реки).

Для удобства и наглядности составляется таблица, в которую записываются следующие параметры: номер наблюдавшегося уровня в ранжированном убывающем ряду, год наблюдения уровня, величина наблюдавшегося уровня  $H$  (см), эмпирическая вероятность его превышения  $P_{\text{э}}$ , % (рис. 1.2).

Для определения максимального уровня расчетной вероятности превышения необходимо сначала нанести в виде точек на клетчатку

вероятностей наблюдавшиеся уровни и соответствующие им эмпирические вероятности превышения, найденные по формуле (1.1). Полученное поле точек необходимо аппроксимировать плавной линией и проэкстраполировать ее до расчетной вероятности превышения. В результате этих действий устанавливается максимальный уровень воды расчетной вероятности превышения  $H_p$  в сантиметрах (рис. 1.4).

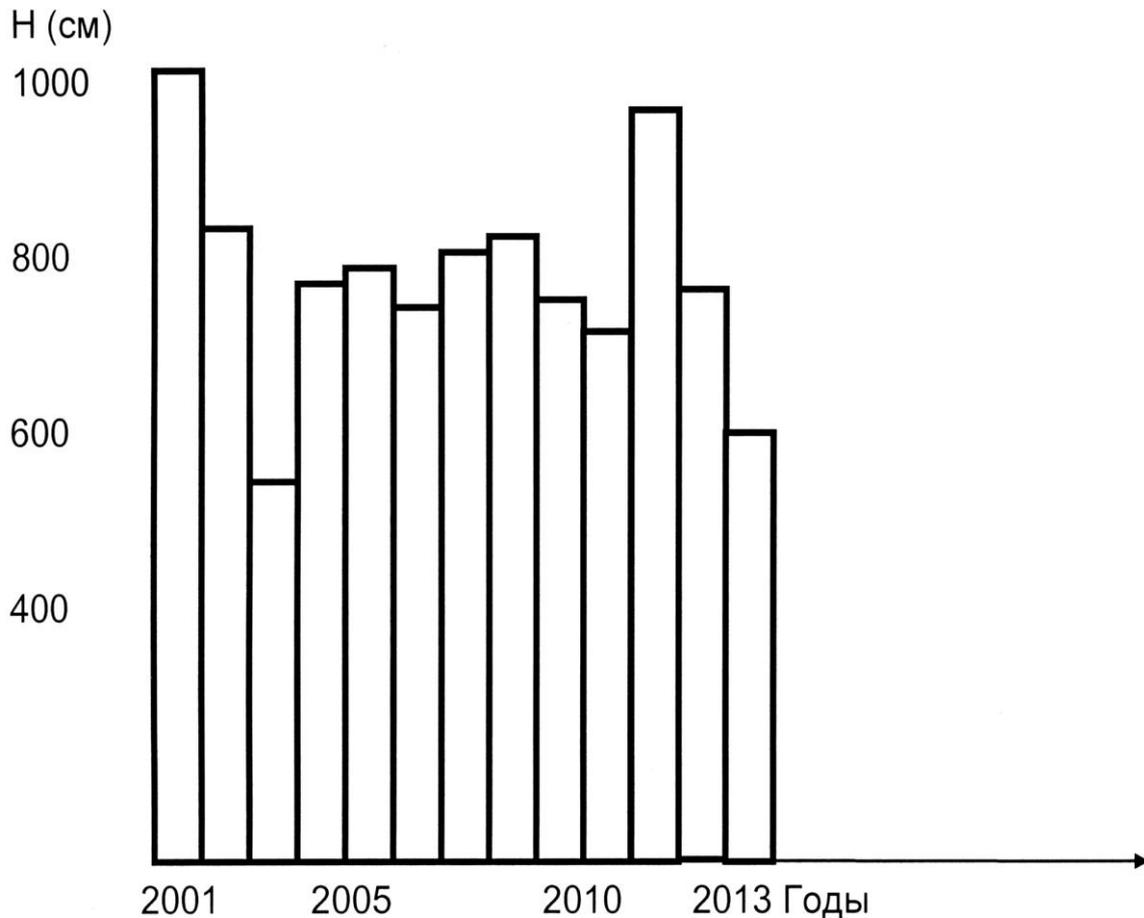


Рис. 1.1. Хронологическая диаграмма уровней

Номер уровня воды, $m$	Год наблюдения	Величина уровня воды, $H$ , см	Эмпирическая вероятность превышения, $P_z$ , %

Рис. 1.2. Шапка таблицы к расчету эмпирических вероятностей превышения

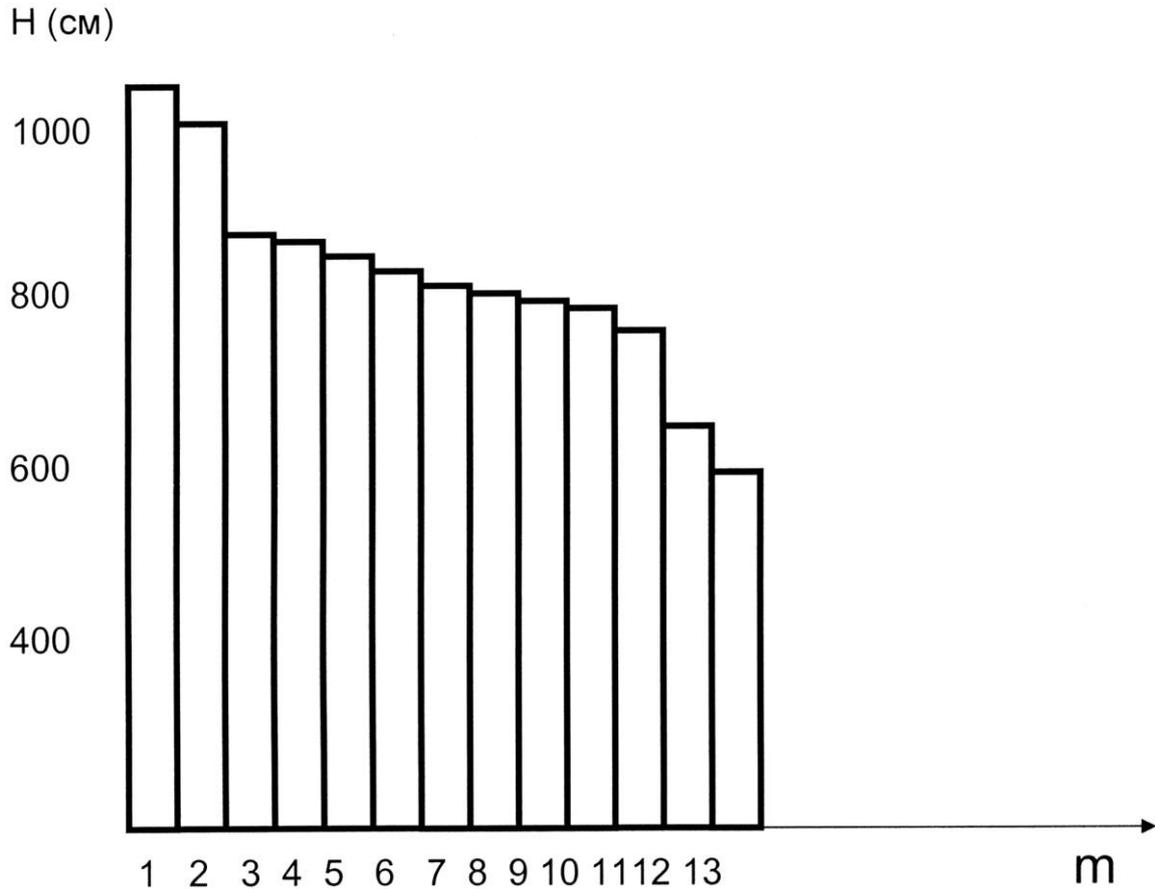


Рис. 1.3. Ранжированная диаграмма уровней

Таблица 1.1

Категория дорог	Расчетная вероятность превышения максимального уровня паводка, %
IA, IB, IB, II, III, городские улицы и дороги	1
IV, V	2

Для перехода к абсолютным значениям необходимо к заданной отметке нуля графика водомерного поста в месте мостового перехода прибавить найденный расчетный уровень  $H_p$  в формуле (1.2):

$$PUBB = \frac{H_p}{100} + H_{н.г.}, \quad (1.2)$$

где PUBB – абсолютная отметка расчетного уровня высокой воды;  
 $H_{н.г.}$  – отметка нуля графика водомерного поста.

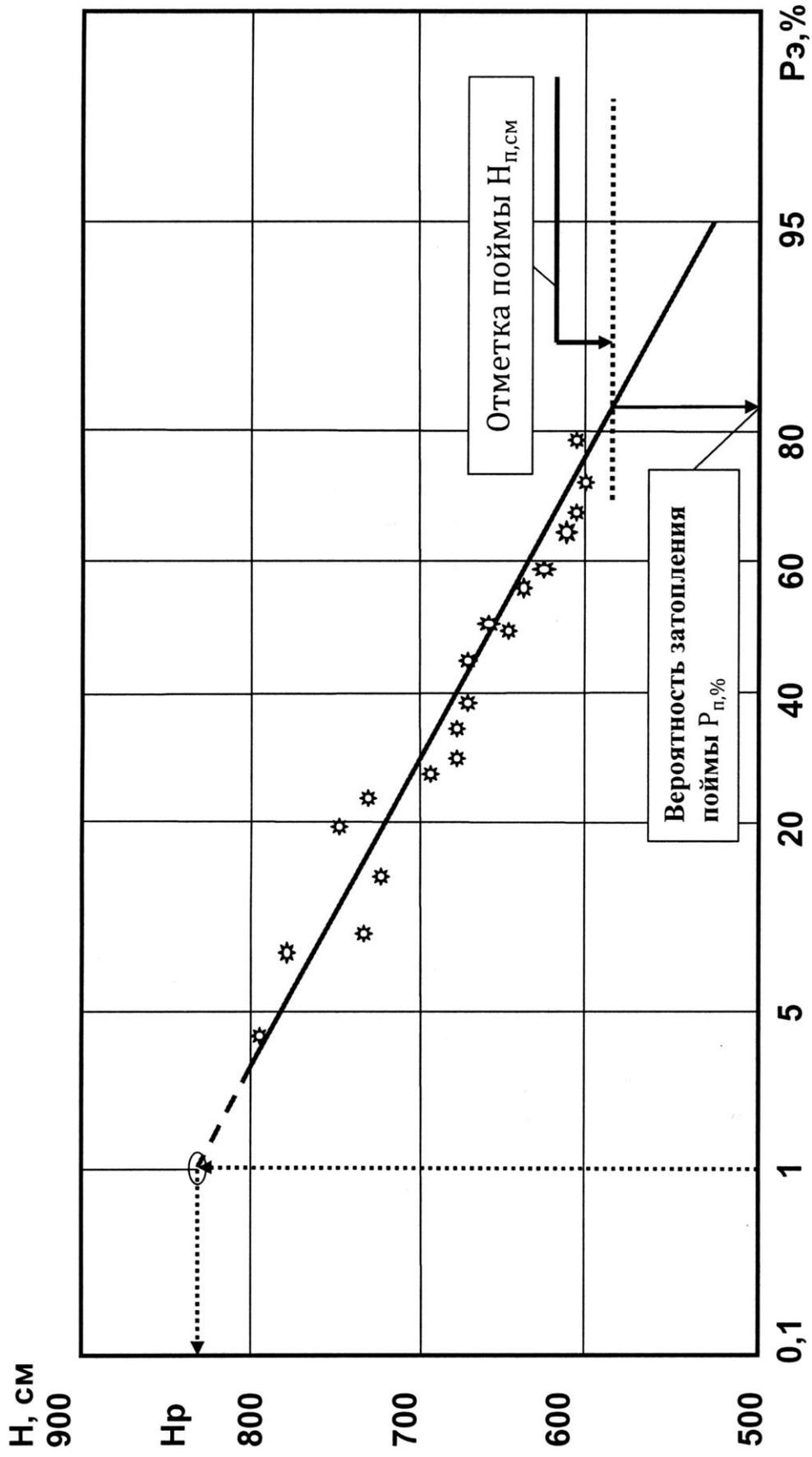


Рис. 1.4. Клетчатка вероятности

## 2. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Целью морфометрического расчета является определение распределения расхода между руслом и поймами, скоростей течения в русле и на поймах при расчетном уровне, уклона водной поверхности.

При выполнении морфометрического расчета необходимо:

- по заданным отметкам вычертить поперечное сечение речной долины;

- нанести на нем расчетный уровень высоких вод;

- выделить главное русло, левую и правую поймы (рис. 2.1).

При этом в зависимости от длины поперечного сечения рекомендуется принимать горизонтальный масштаб: 1:5000, 1:2000, 1:1000. Вертикальный масштаб должен быть в 10 раз больше принятого горизонтального.

Для главного русла и каждой из пойм необходимо определить их ширину ( $B$ ) по расчетному уровню высоких вод (РУВВ), площадь поперечного потока воды ( $\omega$ ), среднюю глубину ( $h_{\text{ср}}$ ), коэффициент Шези ( $C$ ), расходную характеристику ( $K$ ).

Расчеты рекомендуется вести в табличной форме (см. табл. 2.1).

Глубина на каждой вертикали определяется как разность отметки расчетного уровня высоких вод (РУВВ) и отметки поверхности земли  $H_{z_i}$ :

$$h_i = \text{РУВВ} - H_{z_i}, \text{ м.} \quad (2.1)$$

Средняя глубина на участке длиной  $l_i$  между двумя соседними вертикалями рассчитывается по формуле:

$$h_{\text{ср}_i} = (h_{i-1} + h_i)/2, \text{ м.} \quad (2.2)$$

Элементарная площадь поперечного сечения потока воды  $\omega_i$  определяется по формуле:

$$\omega_i = h_{\text{ср}_i} \times l_i, \text{ м}^2. \quad (2.3)$$

Площади поперечного сечения потока левой поймы  $\omega_{\text{лп}}$ , главного русла  $\omega_{\text{рб}}$  и правой поймы  $\omega_{\text{пп}}$  определяют суммированием элементарных площадей в их пределах.

Средние глубины потока воды на левой пойме  $h_{\text{ср}}^{\text{лп}}$ , в главном русле  $h_{\text{ср}}^{\text{рб}}$ , на правой пойме  $h_{\text{ср}}^{\text{пп}}$  рассчитывают по формулам:

$$h_{\text{ср}}^{\text{лп}} = \frac{\omega_{\text{лп}}}{B_{\text{лп}}}, \text{ м}; \quad (2.4)$$

$$h_{\text{ср}}^{\text{рб}} = \frac{\omega_{\text{рб}}}{B_{\text{рб}}}, \text{ м}; \quad (2.5)$$

$$h_{\text{ср}}^{\text{пп}} = \frac{\omega_{\text{пп}}}{B_{\text{пп}}}, \text{ м}. \quad (2.6)$$

Таблица 2.1

Номер точки	Отметка поверхности земли $H_{z_i}$ , м	Глубина, м	Средняя глубина $h_{\text{ср}_i}$ , м	Расстояние между точками $l_i$ , м	Элементарная площадь $\omega_i$ , м <sup>2</sup>
Левая пойма					
Русло					
Правая пойма					

Коэффициент Шези определяется отдельно для левой, правой пойм и главного русла по формуле:

$$C = \frac{87}{1 + \gamma/\sqrt{h}}, \quad (2.7)$$

где  $\gamma$  – коэффициент шероховатости по Базену (см. задание);  $h$  – средняя глубина потока.

Если коэффициент шероховатости задан по Маннингу ( $m$ ), то формула для расчета коэффициента Шези имеет вид:

$$C = m \times h^{1/6}. \quad (2.8)$$

В дальнейшем индексы «рб», «лп» и «пп» будут обозначать принадлежность того или иного параметра соответственно к руслу или поймам.

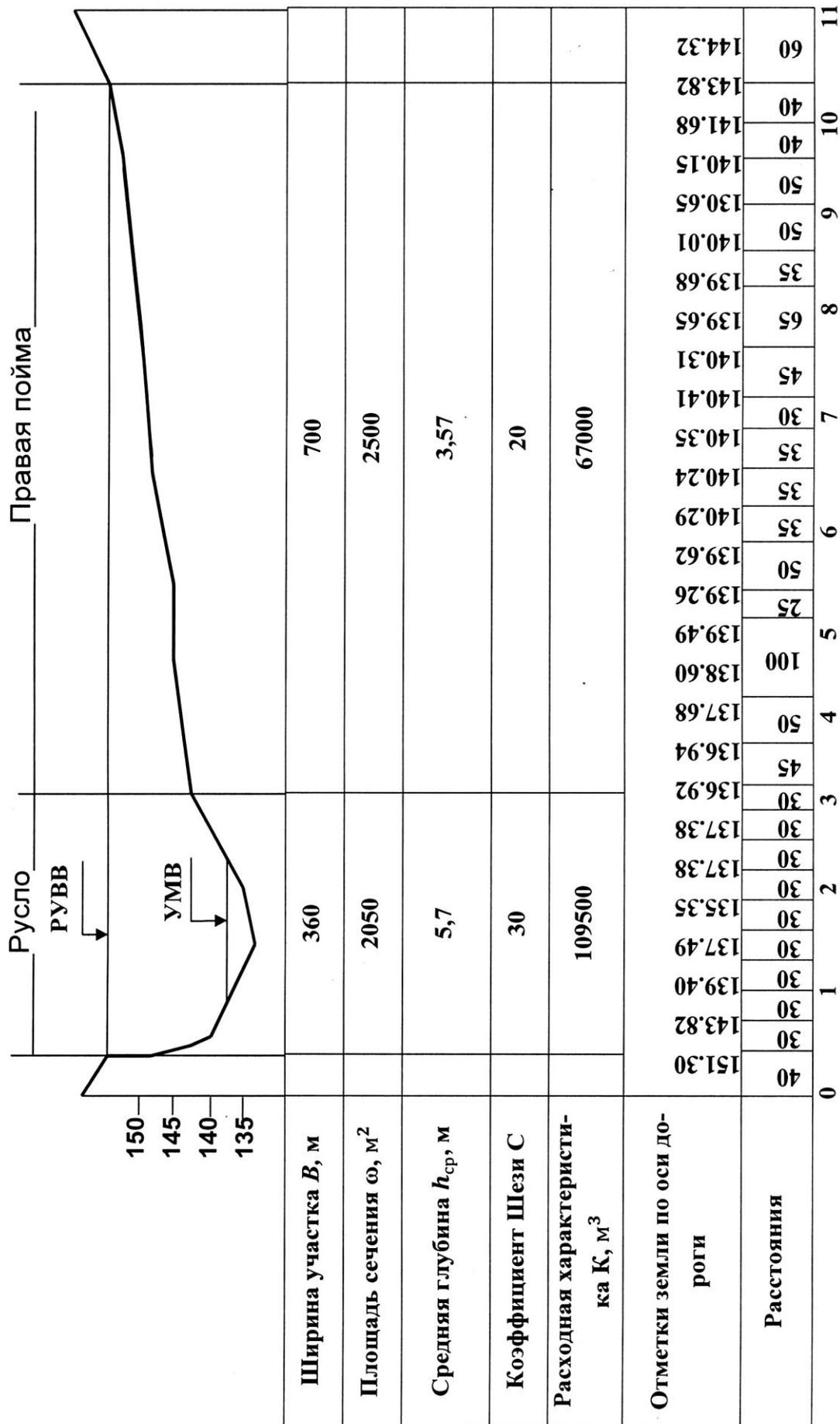


Рис. 2.1. Элементы поперечного сечения потока

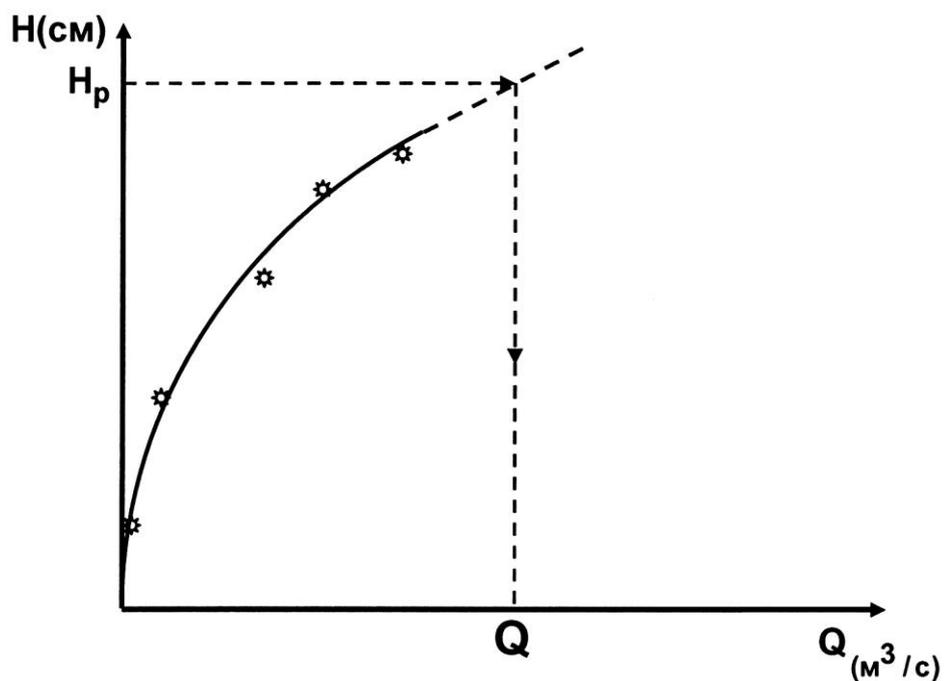


Рис. 2.2. Кривая расходов

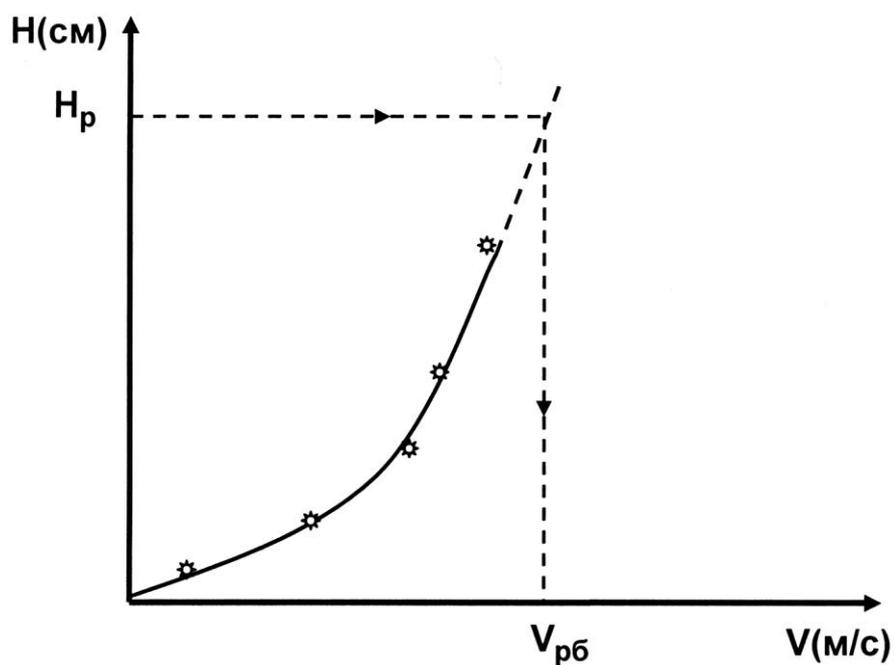


Рис. 2.3. Кривая скорости в русле

Для определения расходных характеристик главного русла и пойм рекомендуется использовать зависимости:

$$K_{\text{рб}} = \omega_{\text{рб}} \times C_{\text{рб}} \sqrt{h_{\text{ср}}^{\text{рб}}}; \quad (2.9)$$

$$K_{\text{лп}} = \omega_{\text{лп}} \times C_{\text{лп}} \sqrt{h_{\text{ср}}^{\text{лп}}}; \quad (2.10)$$

$$K_{пп} = \omega_{пп} \times C_{пп} \sqrt{h_{ср.}^{пп}}. \quad (2.11)$$

Распределение полного расчетного расхода  $Q$  между руслом и поймами в значительной степени влияет на генеральные размеры сооружений мостовых переходов.

Соотношение расхода воды в русле  $Q_{рб}$  и полного расчетного расхода  $Q$  может быть вычислено через соотношение расходных характеристик:

$$\tau = \frac{Q_{рб}}{Q} = \frac{K_{рб}}{K_{лп} + K_{рб} + K_{пп}}. \quad (2.12)$$

Для определения значений расходов и скоростей течения в русле и на поймах в зависимости от исходных данных можно пользоваться одним из двух способов.

1. Если заданы координаты кривой расходов, строится кривая расходов  $Q = f(H)$  (рис. 2.2). Путем графической или графоаналитической экстраполяции этой кривой до расчетного уровня высоких вод можно определить величину полного расчетного расхода  $Q$ .

Расходы в русле и на поймах рассчитываются по формулам:

$$Q_{рб} = \tau Q; \quad (2.13)$$

$$Q_{лп} = \frac{Q - Q_{рб}}{K_{лп} + K_{пп}} K_{лп}; \quad (2.14)$$

$$Q_{пп} = \frac{Q - Q_{рб}}{K_{лп} + K_{пп}} K_{пп}. \quad (2.15)$$

Средние скорости течения в русле и на поймах находят путем деления расхода на площадь поперечного сечения:

$$V_{рб} = \frac{Q_{рб}}{\omega_{рб}}, \text{ м/с}; \quad (2.16)$$

$$V_{лп} = \frac{Q_{лп}}{\omega_{лп}}, \text{ м/с}; \quad (2.17)$$

$$V_{пп} = \frac{Q_{пп}}{\omega_{пп}}, \text{ м/с}. \quad (2.18)$$

2. При заданных координатах кривой скорости после ее построения (рис. 2.3) и графической или графоаналитической экстраполяции до расчетного уровня находят среднюю скорость течения в главном русле  $V_{рб}$ .

Затем определяют расход воды в русле по формуле:

$$Q_{pб} = V_{pб} \times \omega_{pб}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.19)$$

и полный расход по формуле:

$$Q = Q_{pб}/\tau. \quad (2.20)$$

Бытовой уклон свободной поверхности потока при пропуске расчетного расхода может быть рассчитан по формуле:

$$I_б = \frac{V_{pб}^2}{C_{pб}^2 \times h_{cp}^{pб}}. \quad (2.21)$$

### 3. РАСЧЕТ ГЛУБИНЫ ОБЩЕГО РАЗМЫВА ПОД МОСТОМ

За отверстие моста  $L$  принимают расстояние между передними гранями устоев (или между откосами конусов при обсыпных устоях), определяемое на отметке РУВВ за вычетом суммарной ширины промежуточных опор.

От величины отверстия моста зависят его длина и глубина заложения фундаментов опор. Чем меньше отверстие моста, тем меньше стоимость пролетных строений, но в связи с увеличением глубины после размыва увеличивается стоимость опор моста.

Задача заключается в определении такого отверстия моста, которое соответствует минимуму приведенных строительных и эксплуатационных расходов. Эта задача может быть решена путем разработки нескольких вариантов мостового перехода при различных величинах отверстия моста  $L$ . Сравнение этих вариантов позволит найти оптимальное отверстие моста.

Среди разрабатываемых вариантов всегда существуют два из них, ограничивающих минимальную и максимальную величину отверстия моста.

Минимальная величина отверстия моста  $L_{\min}$  определяется по формуле:

$$L_{\min} = \frac{\delta \times B_{pм} + \sum l_{укр} + 2m \times h_{п}}{1 - \lambda}, \text{ м}, \quad (3.1)$$

где  $B_{pм}$  – ширина русла под мостом с учетом его уширения (срезки), определяемая по формуле (3.2), м;  $\delta$  – гарантийный запас на возможную погрешность ( $\delta = 1,1$ );  $\sum l_{укр}$  – ширина укрепления подошв конусов

(можно принимать 10...20 м);  $m$  – коэффициент заложения откоса конуса обсыпного устоя (обычно принимается равным 2);  $h_{\text{п}}$  – глубина на пойме у конусов при РУВВ (средняя глубина на большей по длине пойме);  $\lambda$  – относительная ширина русловой опоры моста

$$\lambda = b_{\text{опор}}/l_{\text{прол}},$$

можно принимать равной 0,03...0,1, в зависимости от конструкции моста;  $b_{\text{опор}}$  – ширина опоры;  $l_{\text{прол}}$  – длина пролета.

Ширина русла под мостом  $B_{\text{рм}}$  может быть рассчитана по формуле:

$$B_{\text{рм}} = B_{\text{рб}} \times [(\beta^{0,93} - 1) \times K_{\text{п}} \times K_{\text{р\%}} + 1], \text{ м}, \quad (3.2)$$

где  $B_{\text{рб}}$  – бытовая ширина русла, м;  $\beta$  – коэффициент стеснения потока подходами к мостовому переходу, определяемый по формуле (3.3);  $K_{\text{р}}$  – коэффициент, учитывающий вероятность затопления пойм, %, рассчитываемый по формуле (3.6);  $K_{\text{п}}$  – коэффициент, учитывающий полноту паводка, определяемый по формуле (3.7) или (3.8).

Если для минимального отверстия моста  $L_{\text{min}}$  глубина в русле после размыва, рассчитанная по формуле (3.9), превысит допустимые значения, необходимо рассмотреть дополнительные варианты отверстия моста, которому соответствует допустимая глубина в русле под мостом после размыва.

Допустимая глубина в русле под мостом после размыва должна назначаться с учетом конструкции и глубины заложения фундамента русловых опор (см. разд. 5), а также выполнения требования, чтобы коэффициент размыва  $P$  (отношение глубины под мостом после размыва к максимальной бытовой глубине  $P = \frac{h_{\text{рм(max)}}}{h_{\text{рб(max)}} \leq 2$ ) был для несудоходных рек не более 2, а для судоходных рек – не более 1,5.

Для минимального отверстия моста  $L_{\text{min}}$  и дополнительных вариантов отверстий мостов необходимо выполнить следующие расчеты с определением ряда показателей.

### 3.1. Определение коэффициента стеснения потока

Строительство мостового перехода сопряжено с перекрытием части или всей ширины поймы незатопляемыми насыпями подходов к

мостовому переходу. В результате этого под мостом будут наблюдаться увеличенные расходы воды.

Увеличение расхода воды, проходящей через отверстие мостового перехода, характеризуется *коэффициентом стеснения потока*  $\beta$  и определяется по формуле:

$$\beta = \frac{Q}{Q_{рб} + \frac{\sum Q_{пб} \times (L - B_{рб})}{\sum B_{пб}}}, \quad (3.3)$$

где  $\sum B_{пб}$  – суммарная ширина пойм;  $\sum Q_{пб}$  – расход воды на поймах.

Для случая с минимальным отверстием моста в формуле 3.3  $L_{\min} = B_{рб}$ .

### 3.2. Определение полноты паводка

Полнота паводка это отношение средней высоты участка гидрографа расчетного паводка над уровнем поймы к его максимальной высоте (рис. 3.1). Она определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{h_{п(ср)}}{h_{п(max)}}. \quad (3.4)$$

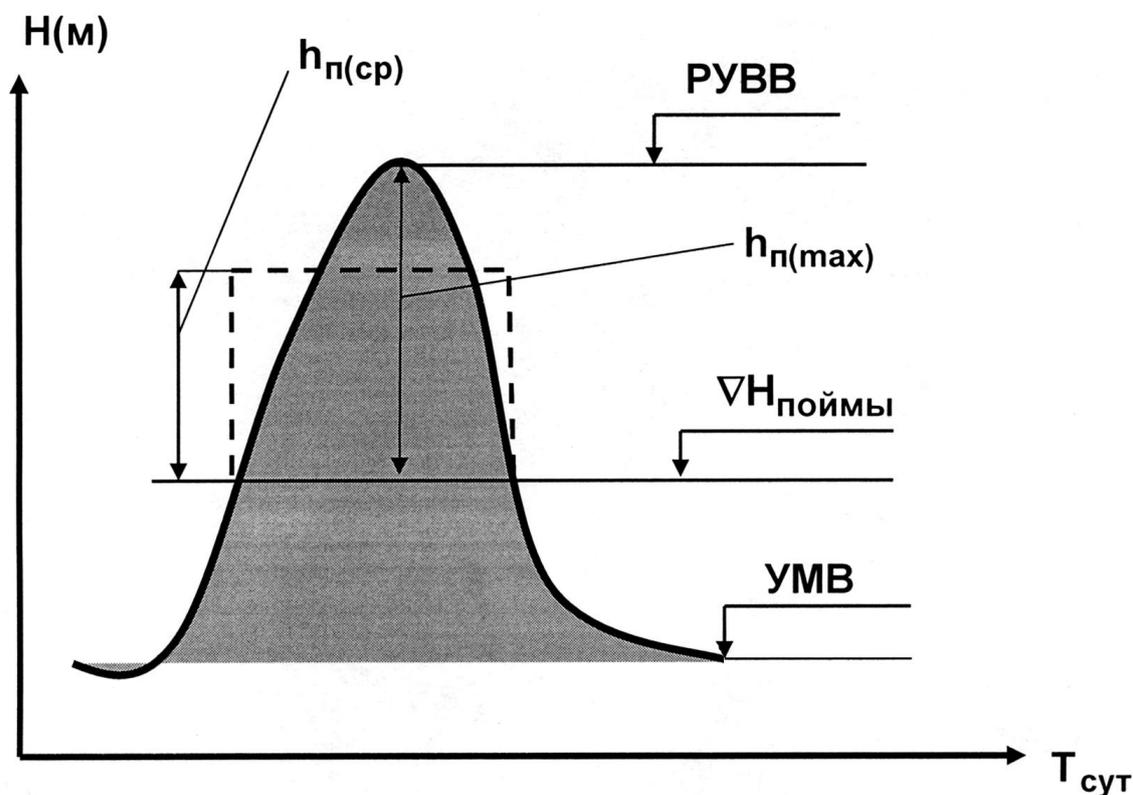


Рис. 3.1. Определение полноты паводка  $\Pi$

### 3.3. Определение вероятности затопления пойм

Вероятность затопления пойм  $P_n$ , % может быть определена с использованием клетчатки вероятности графоаналитическим способом, сначала определяется уровень воды на пойме  $H_n$  по формуле 3.5, далее откладываем этот уровень до пересечения с кривой вероятностей. Отложив перпендикуляр от точки пересечения на ось вероятностей, получим величину  $P_n$  (см. рис. 3.1).

$$H_n = H_p - \frac{h_{n(ср)}}{100}, \text{ см.} \quad (3.5)$$

### 3.4. Определение коэффициента $K_p$

Коэффициент  $K_p$ , учитывающий вероятность затопления пойм при расчете ширины русла под мостом после размыва, определяется по формулам:

$$\text{при } P_n < 95\% \quad K_p = \left(\frac{P_{n,\%}}{100}\right)^{\left(0,5 + \frac{2,5}{\beta}\right)}; \quad (3.6)$$

$$\text{при } P_n \geq 95\%, \quad K_p = 1.$$

### 3.5. Определение коэффициента $K_n$

Коэффициент  $K_n$ , учитывающий полноту паводка  $\Pi$  коэффициент стеснения  $\beta$ , может быть рассчитан по одной из формул:

$$\text{при } \beta < 4,5 \text{ и } P_n < 95\%$$

$$K_n = \left(\frac{7,7}{\beta} - 1\right) \left(\frac{\Pi}{2}\right)^{(3,8 - 0,85\beta)}; \quad (3.7)$$

$$\text{при } \beta \geq 4,5 \text{ и } P_n < 95\%, \quad K_n = 0,7;$$

$$\text{при } P_n \geq 95\%, \quad K_n = 0,79\Pi^{0,5}. \quad (3.8)$$

### 3.6. Расчет максимальной глубины после общего размыва

Расчет максимальной глубины после общего размыва под мостом производится отдельно для русла и пойменного участка отверстия моста.

### **3.6.1. Расчет максимальной глубины после общего размыва в русле под мостом**

Расчет максимальной глубины после общего размыва в русле под мостом производится по формуле Г.А. Федотова (3.9) для гипотетического предела общего размыва – наибольшего общего размыва, который может возникнуть в результате прохождения серии значительных реальных паводков, последним из которых является расчетный паводок.

$$h_{рм(max)} = h_{рб(max)} \times [(\beta^{8/9} - 1) \times \Pi^{1/2} + 1] \left[ \frac{B_{рб}}{B_{рм} \times (1 - \lambda)} \right]^{2/3}, \text{ м.} \quad (3.9)$$

При наличии в составе донных отложений крупнозернистых (гравия, гальки, валунов), связных, трудно размываемых или скальных грунтов необходимо выполнить проверку возможности ограничения максимальной глубины размыва по геологическим условиям.

### **3.6.2. Проверка возможности ограничения максимальной глубины размыва**

Проверка возможности ограничения максимальной глубины размыва в русле производится графоаналитическим способом, позволяющим определить глубину, на которой неразмывающая скорость  $V_{нер}$  для донных отложений становится равной или большей скорости  $V_{рм}$ , соответствующей моменту прекращения общего размыва в русле под мостом вследствие восстановления баланса руслоформирующих наносов.

На графике рис. 3.2 строится эпюра зависимость неразмывающей скорости от глубины в русле.

Для каждого из пластов донных отложений из несвязных грунтов неразмывающая скорость  $V_{нерi}$  определяется по формуле:

$$V_{нерi} = \frac{V_{ндi}}{d_i^{1/6}} \times h_i^{1/6}, \text{ м/с,} \quad (3.10)$$

где  $V_{ндi}$  – донная неразмывающая скорость для  $i$ -го типа грунта;  $d_i$  – средний диаметр частиц  $i$ -го грунта;  $h_i$  – глубина, отсчитываемая от РУВВ.

Значения  $V_{ндi}$ ,  $d_i$  и отношение  $\frac{V_{ндi}}{d_i^{1/6}}$  для различных типов несвязных грунтов приводятся в прил. 1.

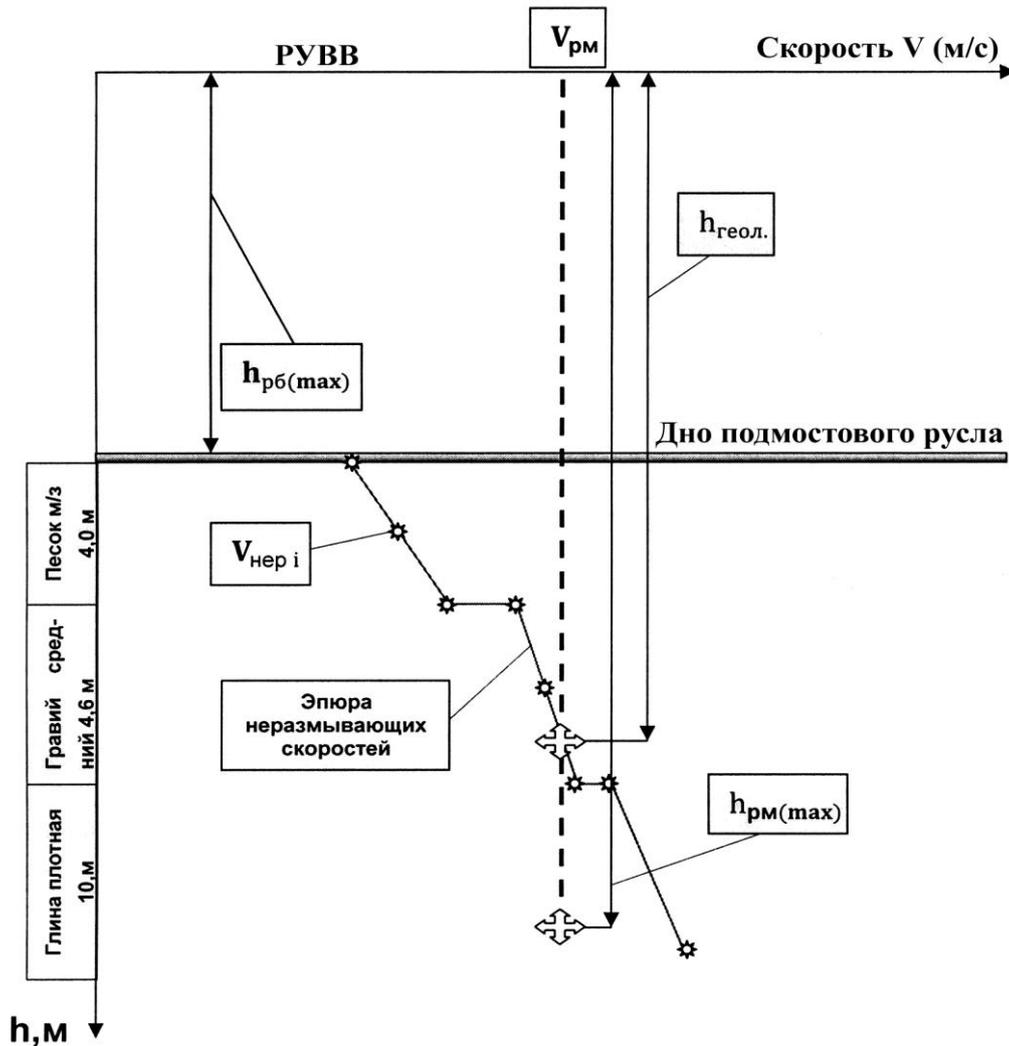


Рис. 3.2. Проверка возможности ограничения глубины общего размыва в подмостовом русле по геологическим условиям

Для связных грунтов значения неразмывающихся скоростей могут быть приняты из приложения 2в зависимости от типа грунта и глубины его залегания.

Величина скорости в русле под мостом после завершения общего размыва  $V_{рм}$  определяется по формуле:

$$V_{рм} = V_{рб} \times \left[ \frac{B_{рб}}{B_{рм} \times (1 - \lambda)} \right]^{1/4} \left( \frac{h_{рм(max)}}{h_{рб(max)}} \right)^{1/8}, \text{ м/с.} \quad (3.11)$$

Отложив на оси скоростей графика (см. рис. 3.2) значение скорости  $V_{рм}$  и проведя через эту точку вертикаль, соответствующую мак-

симальной глубине общего размыва  $h_{рм(max)}$  (см. формулу 3.9), определяют возможность ограничения глубины размыва по геологическим условиям. Это произойдет, если вертикаль пересечет эпюру неразмывающих скоростей. В данном случае под мостом установится максимальная глубина  $h_{геол}$ , равная расстоянию от расчетного уровня высоких вод до точки пересечения.

### **3.6.3. Расчет общего размыва на пойменном участке отверстия моста**

Общий размыв поймы под мостом возможен, если скорость на пойменном участке под мостом до размыва  $V'_{пм}$  превышает неразмывающую скорость для пойменного наилка  $V'_{нер}$ .

$$V'_{пм} = \frac{Q_{пм}}{B_{пмб} \times h_{пб}} = \frac{\beta_{п} \times Q_{пмб}}{B_{пмб} \times h_{пб}}, \text{ м/с}, \quad (3.12)$$

где  $\beta_{п}$  – коэффициент увеличения расхода воды на пойменном участке отверстия моста;  $Q_{пмб}$  – бытовой расход воды на пойменном участке отверстия моста до стеснения потока, определяемый по формуле:

$$Q_{пмб} = Q_{пб} \times \frac{L - B_{рб}}{B_{пмб}}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad (3.13)$$

где  $B_{пмб}$  – ширина пойменного участка отверстия моста, определяется по формуле:

$$B_{пмб} = L - B_{рб}, \text{ м}. \quad (3.14)$$

Коэффициент увеличения расхода на пойменном участке отверстия моста  $\beta_{п}$  обычно больше коэффициента увеличения расхода в русле  $\beta_{р}$ , но разница между ними невелика, поэтому их можно принимать равными коэффициенту стеснения  $\beta$ , определяемому по формуле (3.3).

$$\beta_{п} = \beta_{р} = \beta. \quad (3.15)$$

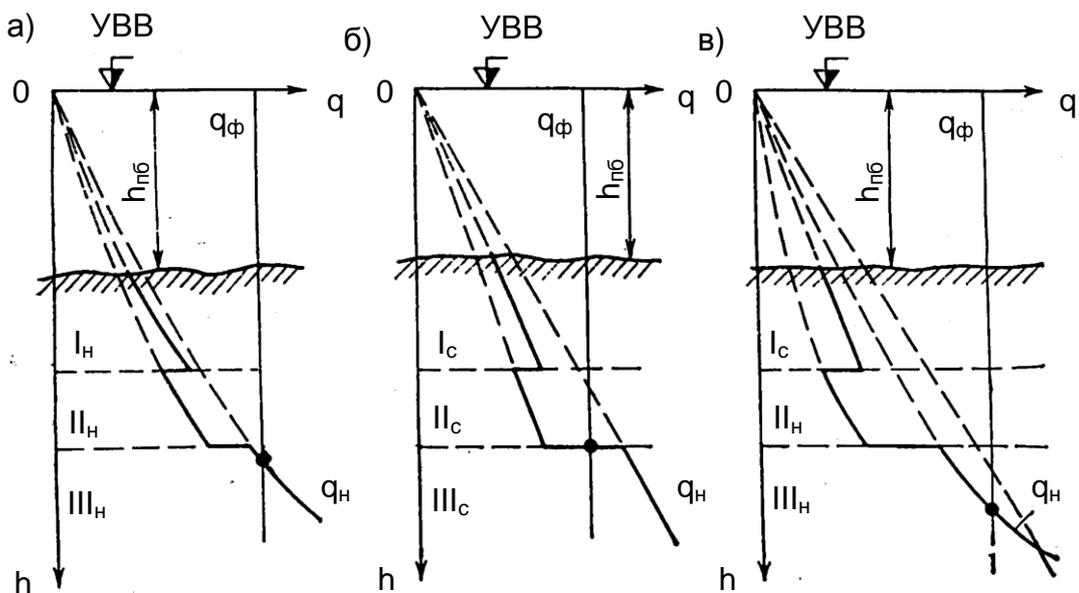
Размыв на пойменном участке отверстия моста будет иметь место, если выполняется условие:  $V'_{пм} > V'_{нер}$ . В этом случае глубина размыва на пойменном участке отверстия моста определяется по формуле:

$$h_{\text{пм}} = \frac{Q_{\text{пм}}}{B_{\text{пм}} \times V_{\text{нер}}}, \text{ м.} \quad (3.16)$$

Так как входящая в правую часть формулы (3.16) неразмывающая скорость  $V_{\text{нер}}$  зависит от глубины, общего размыва на пойменном участке отверстия моста  $h_{\text{пм}}$ , расчет следует выполнять графоаналитическим способом. Формула (3.16) преобразуется в уравнение:

$$q_{\text{нер}} = q_{\text{фак}}. \quad (3.17)$$

На графике (рис. 3.3) строится эпюра допустимых элементарных расходов  $q_{\text{нер}} = f(h)$ , величина которых меняется в зависимости от глубины и типа грунтов, залегающих на разных глубинах. Точка пересечения этой эпюры вертикальной прямой, соответствующей элементарному расходу  $q_{\text{фак}}$ , будет соответствовать глубине размыва  $h_{\text{пм}}$ .



*Рис. 3.3. Схема графоаналитического расчета размыва на пойменных участках отверстий мостов: а – для несвязных грунтов; б – для связных грунтов; в – для случая смешанных напластований; н – несвязные грунты; с – связные*

Допускаемый элементарный расход  $q_{\text{нер}}$  при глубине  $h$  в связных грунтах определяется для каждого из пластов грунта по формуле

$$q_{\text{нер}} = V_{\text{нер}} \times h, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.18)$$

где  $h$  – глубина, которая отсчитывается от РУВВ;  $V_{\text{нер}}$  – неразмывающая скорость, принимаемая по прил. 1 или 2.

Для несвязных грунтов  $q_{\text{нер}}$  определяется по формуле:

$$q_{\text{нер}} = \frac{V_{\text{нд}}}{d^{1/6}} \times h^{7/6}. \quad (3.19)$$

Значения неразмывающей донной скорости  $V_{\text{нд}}$  и среднего диаметра частиц приведены в прил. 1.

Фактический элементарный расход  $q_{\text{фак}}$  определяется по формуле:

$$q_{\text{фак}} = \frac{\beta_{\text{п}} \times Q_{\text{пмб}}}{B_{\text{пм}}}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3.20)$$

На рисунке 3.3 показана схема графоаналитического расчета размыва на пойменном участке отверстия моста.

#### 4. РАСЧЕТ ГЛУБИНЫ МЕСТНОГО РАЗМЫВА У ОПОР МОСТА

Местный размыв у опор моста является следствием локального изменения структуры потока при обтекании им опор. Образование воронки местного размыва происходит у лобовой грани и с боков опоры. Глубина местного размыва  $h_{\text{в}}$  определяется по формулам:

– для несвязных грунтов:

$$h_{\text{в}} = 3,8k \times \left(\frac{V_{\text{рм}}^2}{g}\right)^{0,9} \times B_{\text{оп}}^{0,1} - 30d, \text{ м}, \quad (4.1)$$

где  $k$  – коэффициент, характеризующий форму опоры;  $B_{\text{оп}}$  – ширина опоры;  $d$  – средний диаметр частиц грунта, м;

– для связных грунтов

$$h_{\text{в}} = 3,8k \times \left(\frac{V_{\text{рм}}^2}{g}\right)^{0,9} \times B_{\text{оп}}^{0,1} - \frac{6V_{\text{нер}}^2}{g}, \text{ м}. \quad (4.2)$$

#### 5. НАЗНАЧЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ОПОР МОСТА И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ОТВЕРСТИЯ МОСТА

Фундаменты опор моста должны быть достаточно заглублены в грунт, чтобы была гарантирована устойчивость опор моста на все время его службы. Схема к назначению глубины заложения фундамента опоры представлена на рис. 5.1.

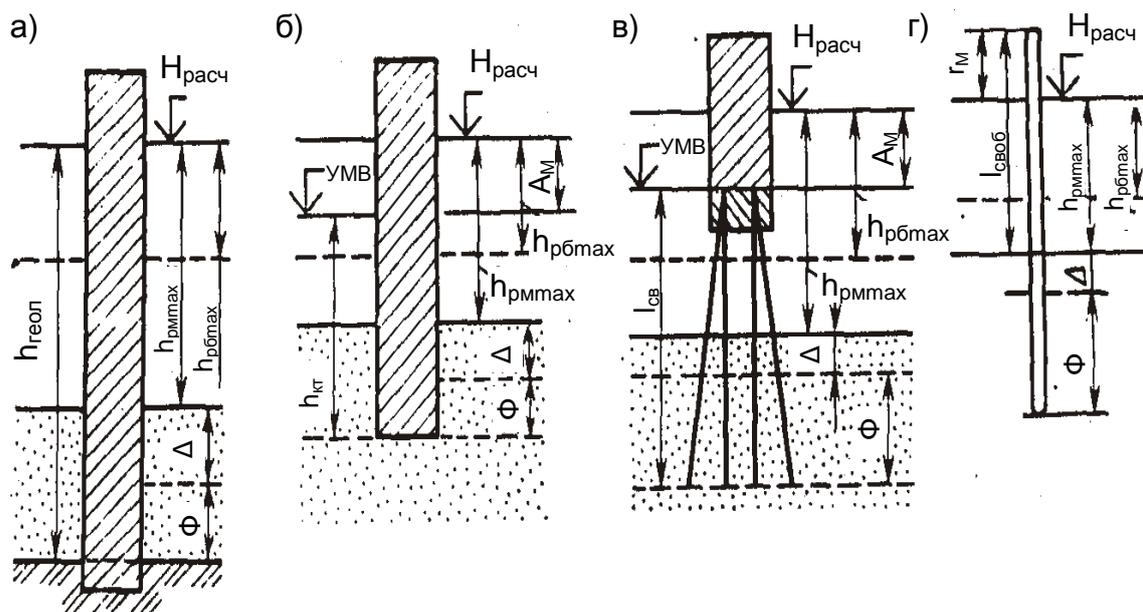
Отметка глубины заложения фундамента опоры моста  $H_{\text{ф}}$  определяется по формуле:

$$H_{\phi} = PУВВ - h_{рм(max)} - \Delta h_{рм(max)} - h_{В} - \Phi, \text{ м}, \quad (5.1)$$

где  $\Delta h_{рм(max)}$  – ожидаемая погрешность определения  $h_{рм(max)}$ ,

$$\Delta h_{рм(max)} = 0,15h_{рм(max)}; \quad (5.2)$$

$\Phi$  – обязательная заделка фундамента в грунт, принимаемая не менее 2,5 м для массивных фундаментов и не менее 5 м при свайных основаниях.



*Рис. 5.1. Назначение глубины заложения фундамента опор моста:  
а – по глубине заложения прочных пород;  
б – для открытого котлована;  
в – для опор на высоких свайных ростверках;  
г – для типовых свайных опор*

Результаты расчета глубины размыва и глубины заложения фундамента опор при различных отверстиях моста рекомендуется представить в виде таблицы (см. табл. 5.1).

На основе анализа представленных в таблице данных о глубине заложения фундамента опор и отверстиях моста делается вывод о величине наиболее выгодного отверстия моста. При этом необходимо учитывать, что коэффициент размыва (отношение глубины после размыва к бытовой глубине) не должен превышать 1,5...1,55 для судоходных рек и 2 для несудоходных рек.

Результаты расчета глубины размыва  
и отметки подошвы фундамента мостовых опор

№ п/п	Показатель	Отверстие моста, м			
1	Кэфф. стеснения потока $\beta$				
2	Полнота паводка П				
3	Вероятность затопления поймы $P_{\text{п}}$				
4	Кэффицент $K_{\text{р}}$				
5	Кэффицент $K_{\text{п}}$				
6	Бытовая ширина русла $B_{\text{рб}}$				
7	Ширина русла под мостом после размыва $B_{\text{рм}}$				
8	Максимальная глубина в русле до размыва $h_{\text{рбmax}}$				
9	Максимальная глубина в русле после размыва $h_{\text{рмmax}}$				
10	Кэффицент размыва $P$				
11	Скорость в русле до размыва $V_{\text{рб}}$				
12	Скорость в русле после размыва $V_{\text{рм}}$				
13	Ограничение глубины размыва по геологическим условиям $h_{\text{геол.}}$				
14	Скорость на пойме под мостом до размыва $V_{\text{пм}}$				
15	Глубина размыва на пойме под мостом $h_{\text{пм}}$				
16	Глубина местного размыва у русловых опор $h_{\text{вр}}$				
17	Глубина местного размыва у пойменных опор $h_{\text{вп}}$				
18	Отметка подошвы фундамента русловых опор $H_{\text{фр}}$				
19	Отметка подошвы фундамента пойменных опор $H_{\text{фп}}$				

## 6. РАСЧЕТ ПОДПОРА НА МОСТОВОМ ПЕРЕХОДЕ

При стеснении реки сооружениями мостового перехода происходит изменение уровней воды, что влияет на установление минимальной необходимой высоты подходов к мосту.

Очертание свободной поверхности потока до постройки мостового перехода можно представить в виде схемы, показанной на рис. 6.1.

Начальный подпор на мостовом переходе  $\Delta Z_0$  рассчитывается по формуле:

$$\Delta Z_0 = 1,5 I_{\text{сж}} \times I_{\text{б}} \times (K \times \frac{\beta^2}{\varepsilon^{10/3}} - 1) \times (1 + \chi), \text{ м}, \quad (6.1)$$

где  $I_{\text{сж}}$  – длина зоны сжатия потока перед мостом, определяемая по формуле:

$$I_{\text{сж}} = \frac{B_0 - L_{\text{м}}}{1 + \frac{B_{\text{мп}}}{B_{\text{бп}}}}, \text{ м}, \quad (6.2)$$

где  $B_0$  – ширина разлива реки при РУВВ, м;  $B_{\text{мп}}$  – ширина меньшей поймы, м;  $B_{\text{бп}}$  – ширина большей поймы, м;  $I_{\text{б}}$  – бытовой уклон свободной поверхности потока, определяемый по формуле (2.21);  $\beta$  – коэффициент стеснения потока, определяемый по формуле (3.3);  $K$  – корректив начального подпора, определяемый по формуле (6.6) или (6.7);  $\varepsilon$  – относительный подпор,

$$\varepsilon = (h_{\text{б}} + \Delta Z_0) / h_{\text{б}}; \quad (6.3)$$

$h_{\text{б}}$  – средняя глубина всего потока;  $\chi$  – относительная длина верховых струенаправляющих дамб:

$$\chi = I_{\text{в}} / I_{\text{сж}}; \quad (6.4)$$

$I_{\text{в}}$  – длина верховых струенаправляющих дамб, определяется по формуле:

$$I_{\text{в}} = S \times L, \text{ м}, \quad (6.5)$$

где  $S = \frac{l_{\text{в}}}{L}$  – отношение длины верховых струенаправляющих дамб к отверстию моста, принимаемое в зависимости от значения коэффициента стеснения потока  $\beta$  по табл. 6.1.

Корректив начального подпора равен:

$$K = \frac{1,1}{\sqrt{\beta \times P^{(\beta-1)}}} \text{ при } P \leq 1,2; \quad (6.6)$$

$$K = \frac{1,3}{\sqrt{\beta \times P^{1,2\beta}}} \text{ при } P > 1,2, \quad (6.7)$$

где  $P$  – коэффициент размыва по площади (т.е. отношение площади живого сечения под мостом после размыва к площади до размыва).

Таблица 6.1

Коэффициент стеснения потока

$\beta$	1,0–1,2	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5
$S$	0	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75

Значение начального подпора, поскольку оно входит как в левую, так и в правую часть, уравнение (6.1) находят методом последовательных приближений.

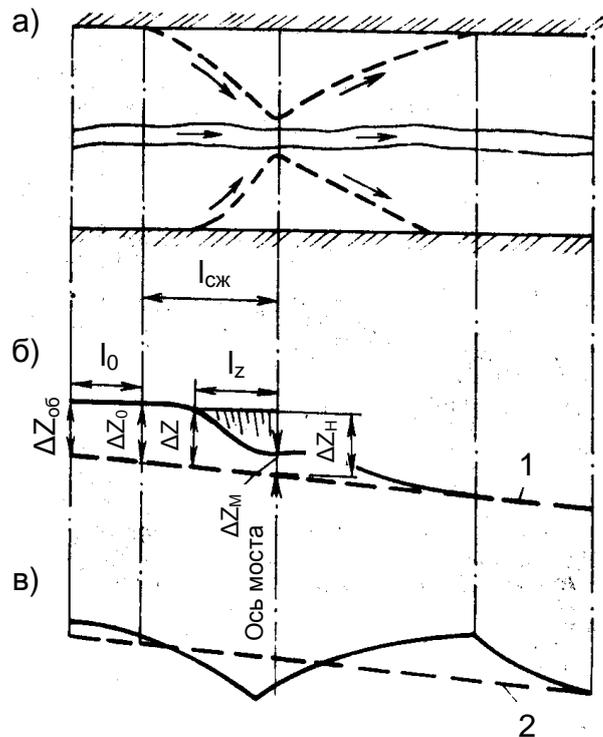


Рис. 6.1. Схемы к определению характерных подпоров на мостовых переходах

Полный подпор может быть определен по формуле:

$$\Delta Z = \Delta Z_0 + 0,25\beta \times l_0 \times \left(\frac{l_{сж} - l_z}{l_{сж}}\right)^{1,2} \times (l_{сж} - l_z), \quad (6.8)$$

где  $l_z$  – расстояние от моста до створа с полным подпором;

$$l_z = \frac{\beta}{\varepsilon^{5/3} - 1} l_{сж}, \text{ м.} \quad (6.9)$$

При малых уклонах ( $l_6 \leq 0,001$ ) значения начального и полного подпоров совпадают:

$$\Delta Z = \Delta Z_0 l_z = l_{сж}.$$

Подпор у насыпи:

$$\Delta Z_H = \Delta Z + l_6 l_z. \quad (6.10)$$

## 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО СУДОХОДНОГО УРОВНЯ, РАСЧЕТ ОТМЕТКИ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ МОСТА

Расчетный судоходный уровень (PCY) следует определять в соответствии с требованиями ГОСТ 26775-97 [2]. При курсовом проектировании в связи с отсутствием материалов многолетних гидрометрических наблюдений возможно использование упрощенной методики.

Расчетный судоходный уровень определяется по данным наблюдений за максимальными уровнями, которые располагают в убывающем порядке (см. разд. 1). В зависимости от класса реки по судоходству (табл. 7.1) находится вероятность превышения  $P$ , % паводка, водомерный график которого используется для определения PCY. Номер  $m$  этого паводка, которому будет соответствовать расчетный уровень  $H_{pcy}$ , рассчитывается по формуле:

$$m = \frac{P \times (n + 1)}{100}, \quad (7.1)$$

где  $n$  – число годовых максимальных уровней;  $P$  – вероятность превышения расчетного паводка для класса водного пути, %.

Таблица 7.1

Класс реки по судоходству

Класс реки	I	II	III	IV	V	VI	VII
$P\%$	2	3	4	5	5	4	4
$K\%$	5	6	6	5	3	2	2

Уровень высокой воды паводка, соответствующий номеру  $m$  в ранжированном ряду УВВ $_m$ , определяется по формуле:

$$УВВ_m = \frac{H_{PCY}}{100} + H_{НГ}, \text{ м.} \quad (7.2)$$

По формуле (7.3) определяется величина ( $t$ ) допустимой продолжительности стояния в расчетном году уровней более высоких, чем расчетный судоходный уровень РСУ:

$$t = \frac{k \times T}{100}, \text{ сутки}, \quad (7.3)$$

где  $k$  – допустимая доля потерянного навигационного времени по сравнению с продолжительностью навигации (табл. 7.1);  $T$  – продолжительность навигации, сутки.

По водомерному графику расчетного паводка находится уровень, превышаемый не более  $t$  суток (рис. 7.1). Этот уровень и будет соответствовать расчетному судоходному уровню РСУ (т.е. понижение уровня воды по отношению к пику паводка  $УВВ_m$ , соответствующее продолжительности  $t$ ).

Минимальная отметка проезжей части через несудоходные реки (рис. 7.2а) определяется по формуле:

$$H_m = РУВВ + \Gamma_m + h_{\text{КОН}}, \text{ м}, \quad (7.4)$$

где  $\Gamma_m$  – минимальное возвышение низа пролетных строений над РУВВ ( $\Gamma_m = 0,75$  м);  $h_{\text{КОН}}$  – конструктивная высота пролетных строений (2...4 м).

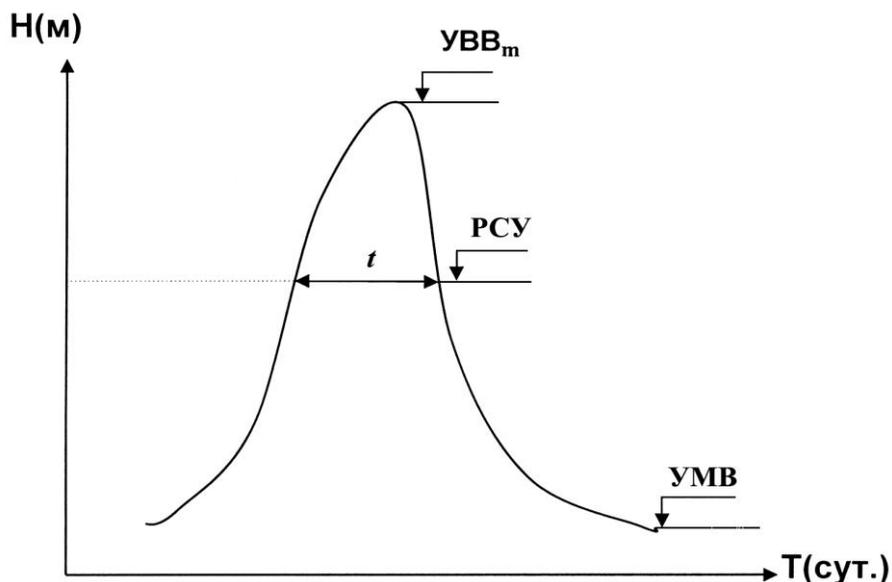


Рис. 7.1. Схема определения расчетного судоходного уровня

На судоходных и сплавных реках отметка проезжей части  $H_m$  определяется высотой подмостового габарита  $\Gamma$  над расчетным судо-

ходным уровнем РСУ, обеспечивающего безопасный пропуск судов и плотов под мостом (рис. 7.2б).

$$H_M = PCY + \Gamma + h_{\text{кон}}, \text{ м.} \quad (7.5)$$

где  $\Gamma$  – судоходный габарит (рис. 7.2в), отсчитываемый от РСУ и назначаемый по табл. 7.2 в зависимости от класса реки по судоходству.

Таблица 7.2

Подмостовой габарит

Класс реки	I	II	III	IV	V	VI	VII
Подмостовой габарит $\Gamma$ , м	17	15	13,5	12	10,5	9,5	7
Ширина подмостового габарита по РСУ $B$ , м	140	140	120	120	100	60	40

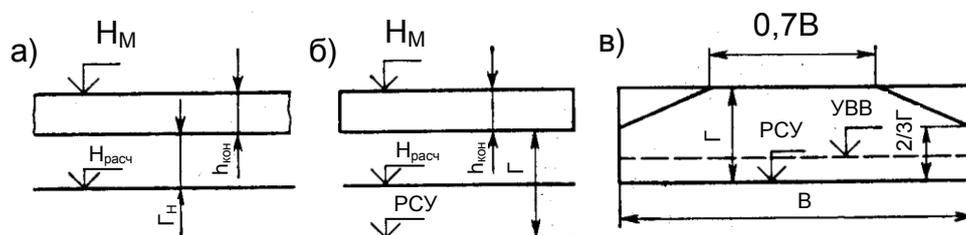


Рис. 7.2. Определение высоты моста: а – для мостов через несудоходные реки; б – для судоходных пролетов высоководного моста; в – подмостовой габарит

## 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОЙ ОТМЕТКИ ПОЙМЕННОЙ НАСЫПИ

Минимальная отметка пойменной насыпи на подходах к мосту зависит от величины подпора у насыпи  $\Delta Z_H$  и высоты набега волн на откосы (рис. 8.1).

Минимальная отметка бровки насыпи находится по формуле:

$$H_{\text{min}} = PYBB + \Delta Z_H + h_{\text{наб}} + \Delta, \text{ м,} \quad (8.1)$$

где  $h_{\text{наб}}$  – высота набега волны на откос, определяется по формуле:

$$h_{\text{наб}} = \frac{4,3k_{\text{ш}} \times h_B}{m_H}, \text{ м,} \quad (8.2)$$

где  $k_{\text{ш}}$  – коэффициент относительной шероховатости откоса, принимается в зависимости от типа укрепления по табл. 8.1;  $h_B$  – высота волны,  $h_B \approx 0,2h_{\text{пб}}$ ;  $m_H$  – заложение откоса насыпи, принимаемые для

подтопляемых откосов равным 2;  $\Delta$  – запас, равный 0,5 м для насыпей и 0,25 м для струенаправляющих дамб.

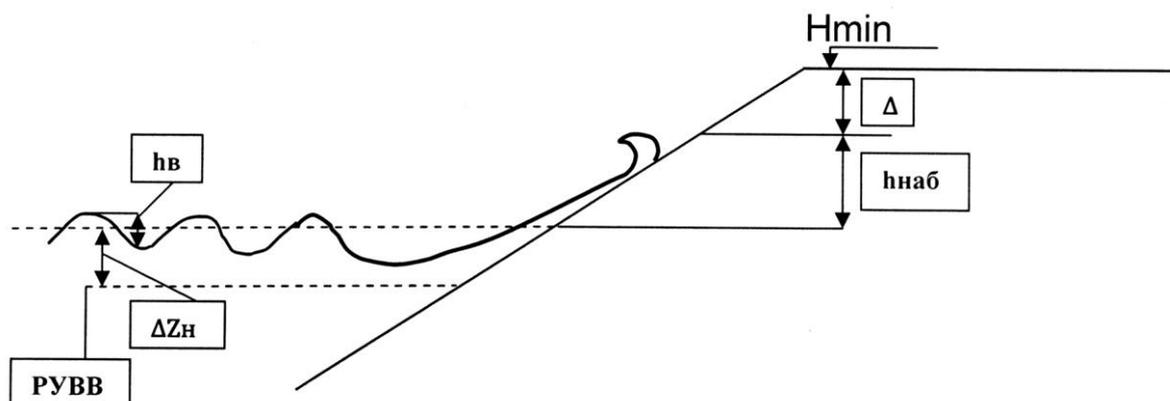


Рис. 8.1. Определение минимальной отметки пойменной насыпи

Тип укрепления откосов пойменных насыпей следует назначать в зависимости от высоты волны и скорости течения, допустимые значения которых приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.1

Коэффициент шероховатости откоса

Тип укрепления	$k_{ш}$
Монолитный бетон, асфальтобетон	1
Сборные бетонные плиты	0,9
Мощение или дерн	0,75–0,8
Каменная наброска	0,5–0,6

Таблица 8.2

Тип укрепления откосов

Тип укрепления	Допустимая скорость течения, м/с	Допускаемая высота волны, м
Дерн «плашмя»	до 1,5	0,25
Одиночное мощение	до 3,0	0,5
Двойное мощение	до 5,0	0,7
Бетонные плиты	более 5,0	в зависимости от размеров плит

## 9. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА

Продольный профиль мостового перехода в пределах ширины разлива реки состоит из характерных участков: 1) мост и примыкающие к нему участки высоких насыпей; 2) низкая пойменная насыпь; 3) участки сопряжения низких и высоких пойменных насыпей.

При заданной величине отверстия моста его длину  $L_M$  ориентировочно (так как схема моста не разрабатывается) можно определить по формуле:

$$L_M = L + 2m \times (H_M - \text{РУВВ}) + 2l_y, \text{ м}, \quad (9.1)$$

где  $L$  – отверстие моста;  $m$  – заложение конусов насыпей у моста ( $m = 1,5-2,0$ );  $H_M$  – отметка проезжей части моста; РУВВ – расчетный уровень высоких вод;  $l_y$  – длина устоя моста (ориентировочно 5 м).

Мост может располагаться в продольном профиле на участке выпуклой вертикальной кривой, прямой с уклоном не более 2%, в том числе и на горизонтальном участке.

При выборе проектного решения необходимо учитывать особенности расположения русла реки в поперечном сечении речной долины, требования обеспечения отвода воды с проезжей части моста, конструктивные особенности пролетных строений.

Ниже приводится последовательность проектирования продольного профиля мостового перехода при расположении моста на горизонтальной прямой.

Минимальная суммарная длина моста и высоких пойменных насыпей, в пределах которого не допускается изменения элементов проектной линии, равна

$$L_{\text{пр}} = L_M + 20 \text{ м}. \quad (9.2)$$

Если этот участок запроектирован в виде прямой горизонтальной линии, то его отметка равна  $H_M$ .

В целях экономии объемов земляных и укрепительных работ на подходах к мосту необходимо значительную часть продольного профиля проектировать в виде горизонтальной насыпи оптимальной высоты с отметкой  $H_{\text{min}}$ .

Участки сопряжения высокой и низкой пойменных насыпей состоят из прямой вставки с уклоном  $I_{\text{ЭК}}$  и примыкающих к нему выпуклой и вогнутой вертикальных кривых.

Уклон прямой вставки  $I_{\text{ЭК}}$ , соответствующий наименьшему объему земляных работ на участке сопряжения, определяется по формуле:

$$I_{\text{ЭК}} = \sqrt{\frac{H_{\text{М}} - H_{\text{min}}}{R_{\text{вып}}}}, \quad (9.3)$$

где  $R_{\text{вып}}$  – минимальный радиус выпуклой кривой, назначаемый в зависимости от категории дороги.

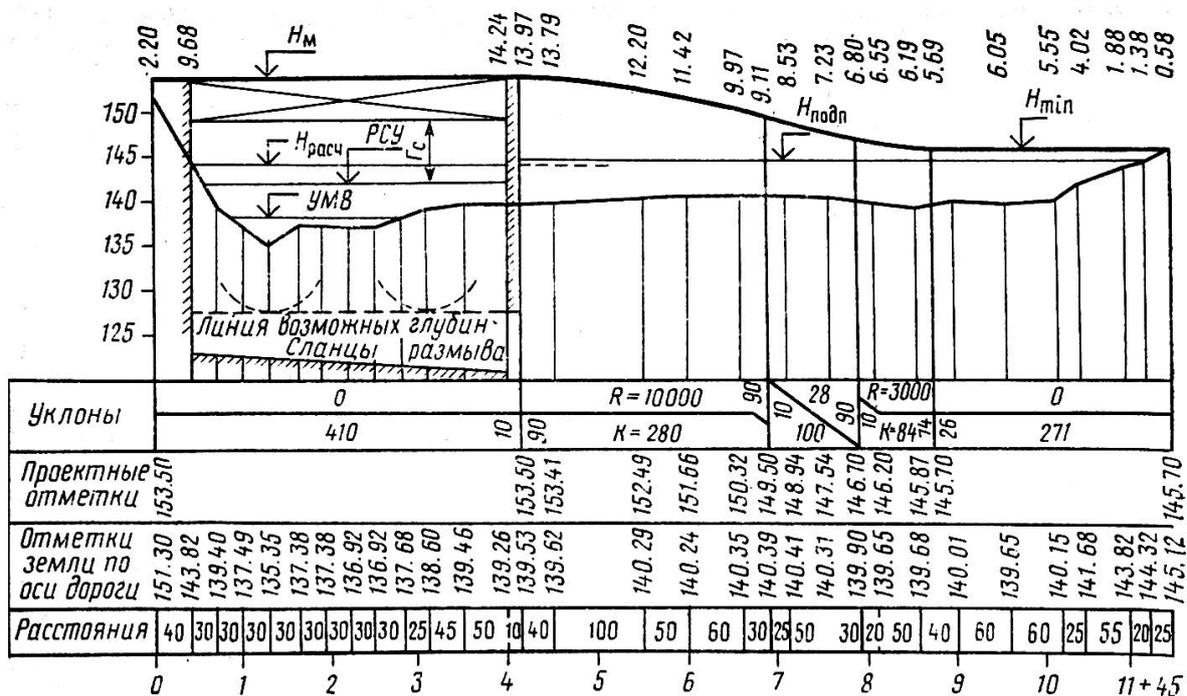


Рис. 9.1. Пример продольного профиля мостового перехода

Длина выпуклой вертикальной кривой, которая сопрягает горизонтальный участок с участком, имеющим уклон  $I_{\text{ЭК}}$ , равна

$$l_{\text{вып}} = R_{\text{вып}} \times I_{\text{ЭК}}, \text{ м.} \quad (9.4)$$

Разность отметок между началом и концом кривой составляет

$$h_{\text{вып}} = \frac{l_{\text{вып}}^2}{2R_{\text{вып}}}, \text{ м.} \quad (9.5)$$

Аналогичные формулы используются и для вогнутой кривой: длина вогнутой кривой

$$l_{\text{вог}} = R_{\text{вог}} \times I_{\text{ЭК}}, \text{ м,} \quad (9.6)$$

разность отметок между началом и концом вогнутой кривой

$$h_{\text{вог}} = \frac{l_{\text{вог}}^2}{2R_{\text{вог}}}, \text{ м.} \quad (9.7)$$

Длина прямой вставки с уклоном  $l_{\text{эк}}$  между выпуклой и вогнутой кривыми определяется по формуле:

$$l_{\text{пр}} = \frac{H_{\text{м}} - H_{\text{min}} - h_{\text{вып}} - h_{\text{вог}}}{l_{\text{эк}}}, \text{ м.} \quad (9.8)$$

Пример продольного профиля мостового перехода через реку с одной поймой показан на рис. 9.1.

## 10. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПОЙМЕННЫХ НАСЫПЕЙ

Ширину пойменных насыпей поверху назначают в соответствии с категорией дороги, а крутизну откосов – в зависимости от грунтов и высоты насыпи, а также условий ее работы.

Неподтопляемый и подтопляемый откосы сопрягают бермой шириной 2,5...3 м, устраиваемой на отметках низкой пойменной насыпи (рис. 10.1а), с целью повышения устойчивости откосов и проезда на струенаправляющие дамбы.

У низких подтопляемых пойменных насыпей с отметкой  $H_{\text{min}}$ , омываемый водой откос, проектируют не круче чем 1:2 с уположением на 0,25 на каждые последующие 6–8 м высоты (рис. 10.1б).

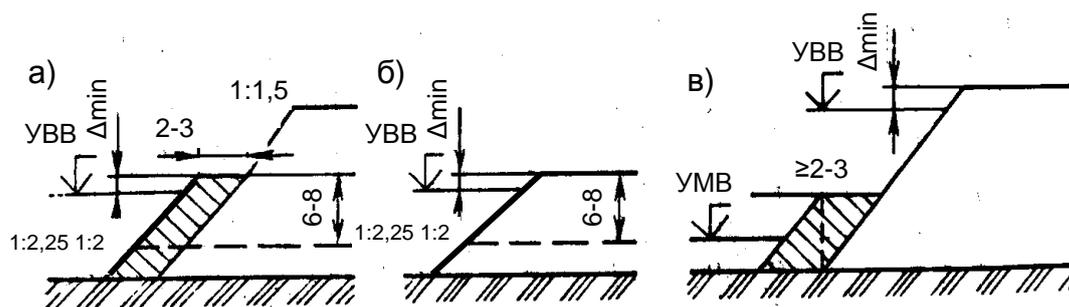


Рис. 10.1. Поперечные профили насыпей на поймах: а – поперечный профиль высокой насыпи; б – поперечный профиль низкой насыпи; в – поперечный профиль низкой насыпи при пересечении староречья

На поймах меандрирующих рек пойменные насыпи могут пересекать староречья, где в течение всего года наблюдаются уровни воды. В этом случае необходимо устройство берм на уровне берегов

староречья. Их выполняют в виде контрбанкета изкаменной наброски шириной не менее 2...3 м (рис. 10.1в).

Откосы пойменных насыпей на мостовых переходах, расположенные ниже отметки  $H_{\min}$ , укрепляют для защиты от воздействия волн и течений. Тип укрепления может быть назначен с учетом данных табл. 8.2.

Откосы, расположенные выше берм, следует защищать только от поверхностных вод, образующихся при дожде или таянии снега.

## 11. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУЕНАПРАВЛЯЮЩИХ ДАМБ

Пойменные струенаправляющие дамбы предназначены для разгрузки пойменного участка отверстия моста от излишнего количества воды, плавного направления потока под мост, ликвидации опасных местных размывов у конусов насыпи, уменьшения скорости общего размыва русла под мостом и обеспечения его равномерности.

Криволинейная струенаправляющая дамба должна иметь длину, зависящую от размера отверстия моста  $L$  и коэффициента стеснения потока  $\beta$ .

Длина верховых струенаправляющих дамб  $l_B$  рассчитывается по формуле (6.5). Разбивка очертания оси струенаправляющей дамбы (рис. 11.1) выполняется по парным координатам (начало координат расположено в точке примыкания насыпи к устою моста) с использованием относительных координат, приведенных в табл. 11.1. Координаты оси дамбы получают путем умножения табличных величин на величину радиуса кривизны в голове дамбы  $R$ , определяемого по формуле:

$$R = \frac{1}{3}l_B, \text{ м}, \quad (11.1)$$

где  $l_B$  – длина верховой струенаправляющей дамбы.

Отметка верха струенаправляющей дамбы назначается такой же, как у низкой пойменной насыпи  $H_{\min}$ . Почти на всем ее протяжении ширина поверху принимается в пределах от 3 до 5 м, а крутизна откосов – 1:2. Только в голове струенаправляющей дамбы, где условия работы наиболее тяжелые, ширину поверху увеличивают до 5...6 м, а крутизну

откосов уменьшают до 1:3. Откосы струенаправляющих дамб защищают от воздействия воды и течений, а подошву – от возможного подмыва гибкими защитными покрытиями (тюфяками) или рисбермами. Поперечные профили струенаправляющих дамб показаны на рис. 11.2.

Таблица 11.1

## Относительные координаты

Координаты оси струенаправляющей дамбы при						
N точек	$V = V_M = \text{const}$			$V = V_M \times \sqrt{\cos \alpha}$		
	$\bar{S}$	$\bar{X}$	$\bar{Y}$	$\bar{S}$	$\bar{X}$	$\bar{Y}$
1	0	2,321	1,435	0	2,084	0,875
2	0,2	2,300	1,237	0,2	2,033	0,686
3	0,4	2,243	1,036	0,4	1,860	0,545
4	0,6	2,151	0,870	0,6	1,713	0,424
5	0,8	2,027	0,710	0,8	1,543	0,324
6	1,0	1,886	0,570	1,0	1,354	0,243
7	1,2	1,732	0,453	1,2	0,168	0,177
8	1,4	1,556	0,348	1,4	0,972	0,121
9	1,6	1,375	0,254	1,6	0,773	0,077
10	1,8	1,186	0,193	1,8	0,575	0,042
11	2,0	1,000	0,134	2,0	0,381	0,018
12	2,2	0,805	0,087	2,2	0,178	0,004
13	2,4	0,610	0,050	2,38	0	0
14	2,6	0,410	0,023	2,6	-0,219	0,006
15	2,8	0,210	0,006	2,8	-0,421	0,022
16	3,01	0	0	3,0	-0,620	0,043
17	3,2	-0,192	0,005	3,2	-0,819	0,064
18	3,4	-0,393	0,020	3,4	-1,018	0,085
19	3,6	-0,592	0,041	3,5	-1,117	
20	3,8	-0,791	0,062			
21	4,0	-0,990	0,082			
22	4,2	-1,189	0,103			

**Примечания.**

Первым уравнением (бисинусоиды) пользуются при сильно работающих поймах, так как очертание дамбы получено исходя из постоянства скорости, обтекающей ее струи.

Второе уравнение предполагает постепенное увеличение скорости вдоль дамбы от нуля в головной ее части по зависимости –

$$V = V_M \times \sqrt{\cos \alpha}.$$

Точка с координатами  $x = 0$  и  $y = 0$  соответствует месту примыкания дамбы к мосту.

$S$  – длина дамбы от ее головы до данной точки.

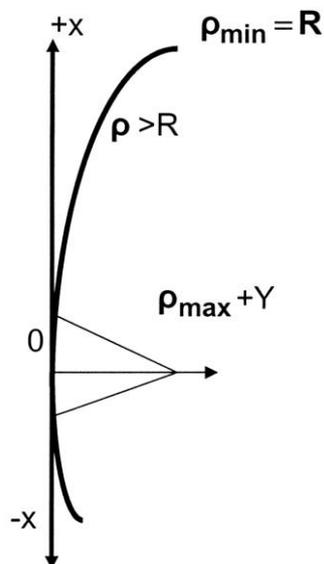


Рис. 11.1. Разбивка оси струенаправляющей дамбы

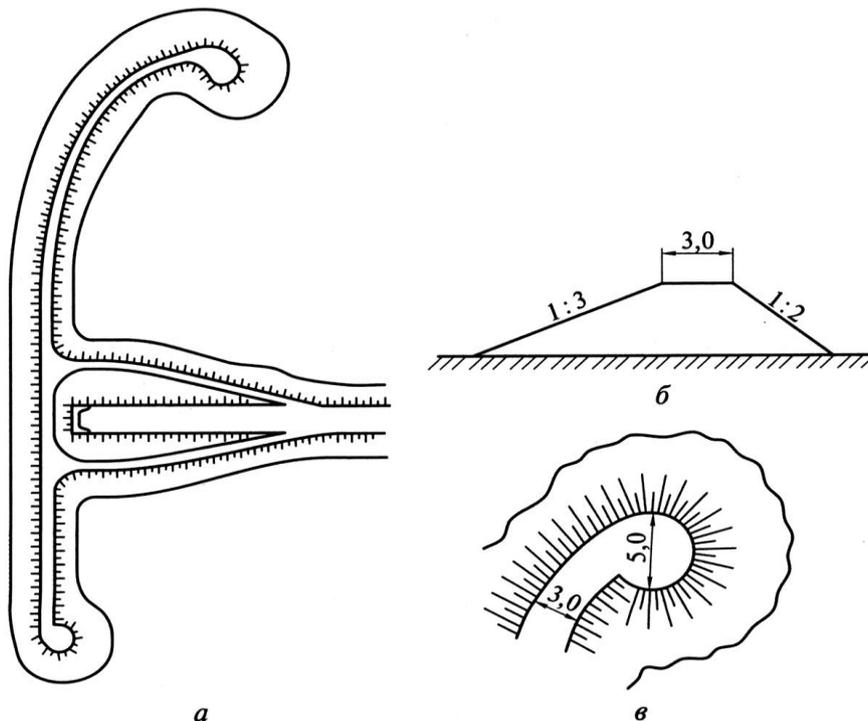


Рис. 11.2. Конструкции струенаправляющей дамбы: а – план дамбы и подходов к мосту на участке сопряжения пойменной насыпи с проездом на мосту; б – поперечный профиль дамбы; в – план головы дамбы

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## Неразмывающие скорости для несвязанных грунтов

Грунт (условные названия)	Разновидность	$d$ , мм	Донная неразмывающая скорость $V_{нд}$ , м/с	$\frac{V_{нд}}{d^{1/6}}$
Песок	Мелкий	0,05–0,25	0,20	0,55–0,60
	Средний	0,25–1,00	0,20	0,60–0,65
	Крупный	1,00–2,50	0,20–0,25	0,65–0,70
Гравий	Мелкий	2,50–5,00	0,25–0,35	0,70–0,85
	Средний	5,00–10,0	0,35–0,50	0,85–1,10
	Крупный	10,0–15,0	0,50–0,60	1,10–1,25
Галька	Мелкий	15,0–25,0	0,60–0,80	1,25–1,50
	Средний	25,0–40,0	0,80–1,00	1,50–1,70
	Крупный	40,0–75,0	1,00–1,35	1,70–2,10
Булыжник	Мелкий	75,0–100	1,35–1,60	2,10–2,30
	Средний	100–150	1,60–1,95	2,30–2,60
	Крупный	150–200	1,95–2,25	2,60–2,95
Валуны	Мелкий	200–300	2,25–2,75	2,95–3,35
	Средний	300–400	2,75–3,15	3,35–3,70
	Крупный	> 400	> 3,15	> 3,70

## Неразмывающие скорости для связанных грунтов

Грунт	Донная неразмывающая скорость, м/с	Средние неразмываю- щие скорости, м/с при значении $\delta$ для естественных русел		Средние неразмывающие скорости, м/с при глубине русел, м			
		0,7	0,9	0,2-0,5	1	2	3 и более
Супесь: малоплотная среднеплотная плотная очень плотная	0,20 0,30 0,40 0,50	0,30 0,45 0,55 0,70	0,20 0,35 0,45 0,55	0,20 0,30 0,40 0,50	0,25 0,40 0,50 0,60	0,30 0,45 0,55 0,70	0,35 0,50 0,60 0,80
Глина и суглинок: малоплотные среднеплотные плотные очень плотные	0,35 0,70 1,00 1,4	0,50 1,00 1,40 2,00	0,40 0,80 1,10 1,55	0,35 0,70 1,00 1,55	0,40 0,85 1,20 1,40	0,45 0,95 1,40 1,90	0,50 1,10 1,50 2,10
Лёсс: малоплотный среднеплотный плотный очень плотный	0,30 0,60 0,80 1,10	0,45 0,85 1,15 1,55	0,35 0,65 0,90 1,20	0,30 0,60 0,80 1,10	0,40 0,70 1,00 1,30	0,45 0,80 1,20 1,50	0,50 0,85 1,30 1,70

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

**Образец бланка исходных данных  
на проектирование мостового перехода**

Студент

Группа

Категория дороги: 1А, 1Б,1В, 2, 3, 4, 5.

Река А по типу руслового процесса: меандрирующая, немеандрирующая.

Коэффициент шероховатости по Базену:

русла – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9;

поймы – 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 20.

**Максимальные годовые уровни над нулем графика  
водомерного поста**

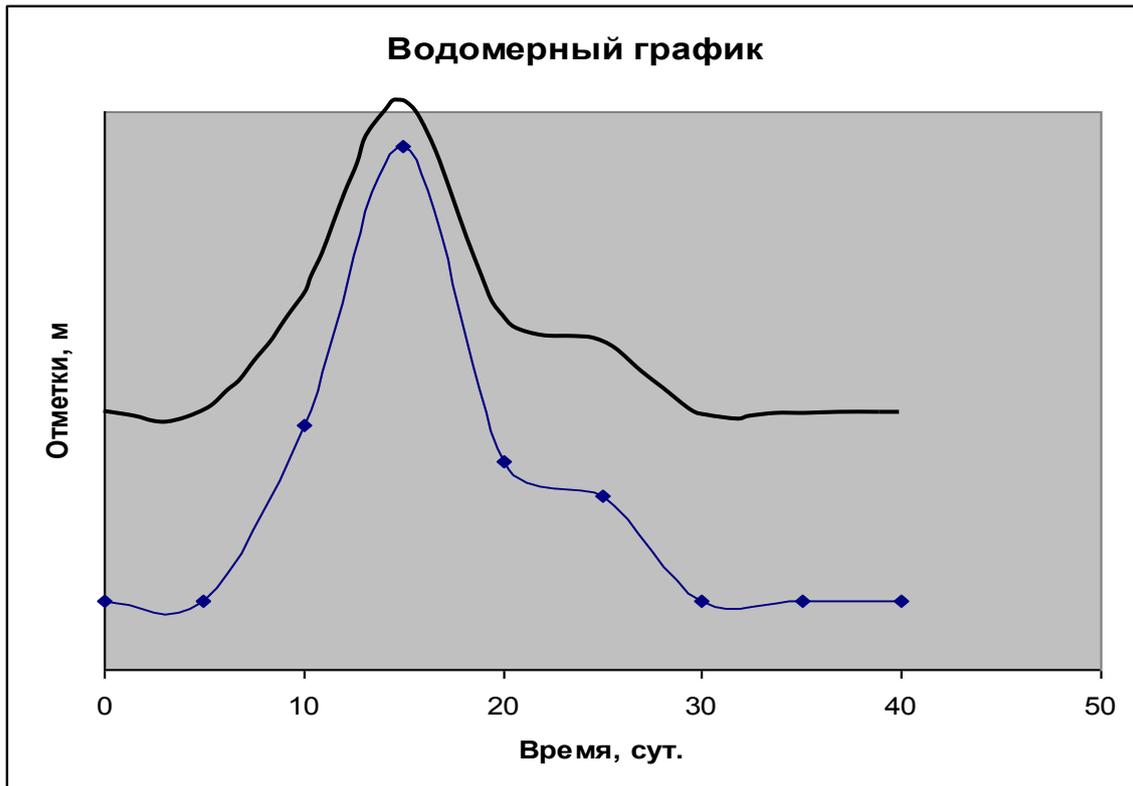
Год	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Н, см	740	661	644	436	588	810	799	602	276	761	786	850	526
Год	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
Н, см	475	833	948	725	678	555	702	901	750	690	866	633	

Отметка нуля графика водомерного поста 94,25 м.

Уровень меженных вод УМВ 97,5 м.

**Отметки земли по оси мостового перехода**

Отмет- ки, м	Расстоя- ния, м								
110,5			230	95,0			50	102,1	
	150	102,5			40	99,0			200
107,0			120	93,2			200	101,9	
	300	101,1			20	101,3			200
104,6			100	92,0			100,0	102,5	
	150	100,9			30	100,0			300
101,5			30	95,3			200	103,4	
	150	98,4			50	101,6			100
99,7			20	101,1			200	109,5	



Класс реки по судоходству: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

Продолжительность периода навигации 175 суток.

Геология русла: песок мелкий – 2 м; песок крупный – 2 м; гравий средний – 2 м; глина малоплотная. Пойменный наилот – супесь плотная – 4 м.

#### Координаты кривой скорости

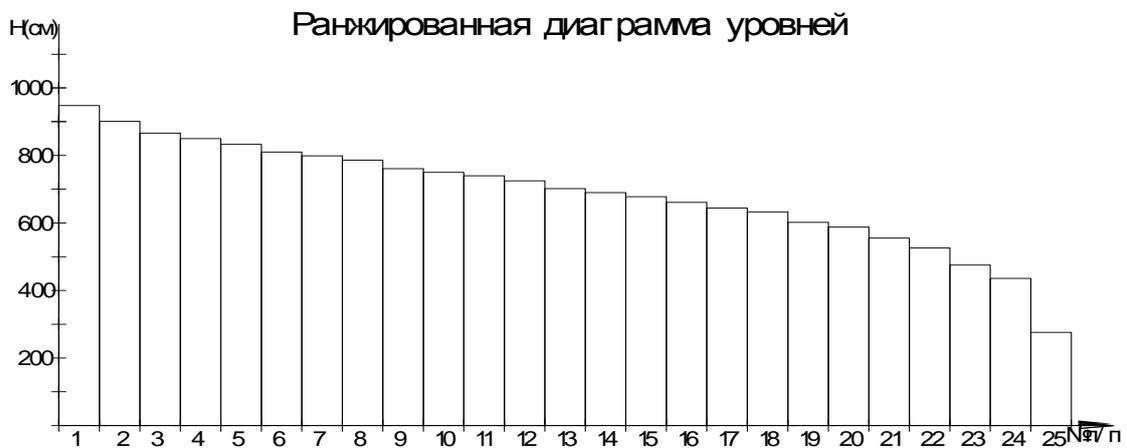
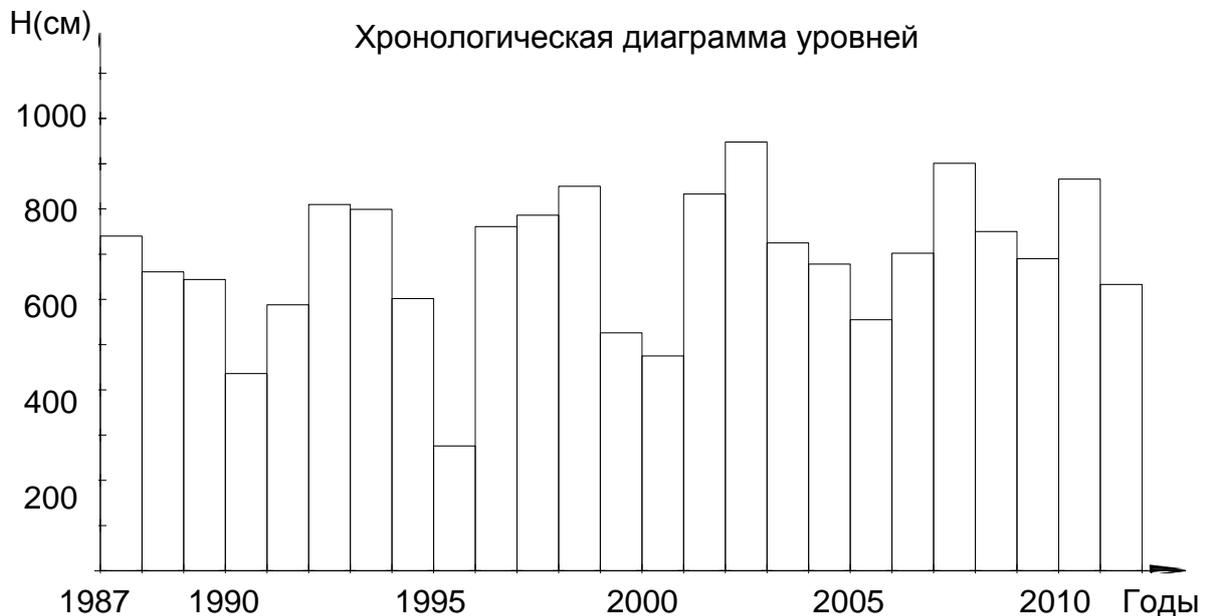
Уровни, Н, см	638	741	854	948
Скорость, м/с	1,03	1,16	1,25	1,38

## Пример расчета мостового перехода для курсового проектирования

### Проектирование мостового перехода

#### Определение расчетного уровня высокой воды (РУВВ)

Для определения РУВВ используем графоаналитический метод с построением кривой вероятностей на клетчатке нормального распределения. Предварительно по данным фактических наблюдений уровней воды в реке строим хронологическую и ранжированную диаграмму уровней.



Эмпирическая вероятность превышения каждого из максимальных уровней в ранжированном ряду:

$$P_3 = \frac{m-0.3}{n+0.4} \times 100\%,$$

где  $m$  – номер любого члена ранжированного (убывающего) ряда уровней воды в реке;  $n$  – общее число членов ряда (лет наблюдений за режимом реки).

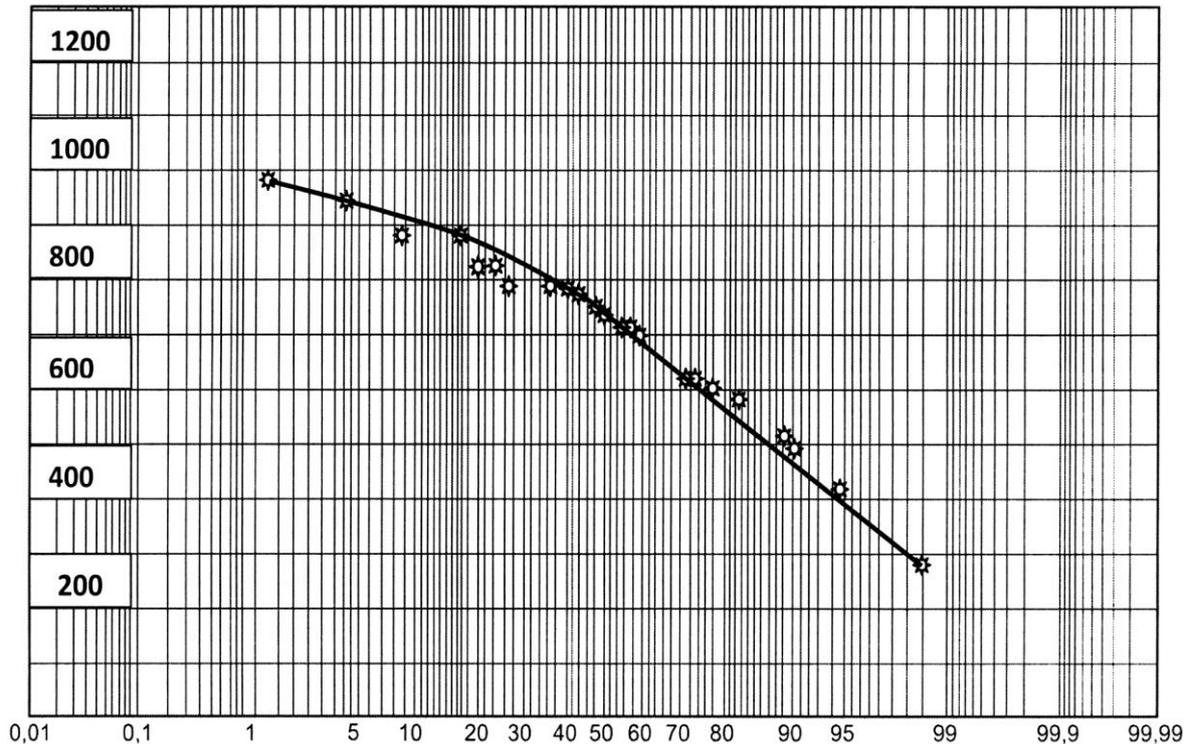
$m$	год	$H$ , см	$P_3$ , %
1	2002	948	1,86
2	2007	901	5,87
3	2010	866	9,88
4	1998	850	13,90
5	2001	833	17,91
6	1992	810	21,92
7	1993	799	25,93
8	1997	786	29,94
9	1996	761	33,95
10	2008	750	37,97
11	1987	740	41,98
12	2003	725	45,99
13	2006	702	50,00
14	2009	690	54,01
15	2004	678	58,02
16	1988	661	62,03
17	1989	644	66,05
18	2011	633	70,06
19	1994	602	74,07
20	1991	588	78,08
21	2005	555	82,09
22	1999	526	86,10
23	2000	475	90,12
24	1990	436	94,13
25	1995	276	98,14

Абсолютное значение РУВВ:

$$\text{РУВВ} = \frac{H_p}{100} + H_{\text{н.г.}} = \frac{990}{100} + 136,0 = 145,9 \text{ (м)},$$

где  $H_{\text{н.г.}}$  – отметка нуля графика водомерного поста.

H, см



### Морфометрический расчет

Целью морфометрического расчета является определение распределения расхода между руслом и поймами, скоростей течения в русле и на поймах при расчетном уровне.

Глубина на каждой вертикали определяется как разность отметки расчетного уровня высоких вод (РУВВ) и отметки поверхности земли  $H_3$ :

$$h_i = \text{РУВВ} - H_{3i}, \text{ м.}$$

Средняя глубина на участке длиной  $l_i$  между двумя соседними вертикалями рассчитывается по формуле:

$$h_{\text{ср}i} = \frac{h_{i-1} + h_i}{2}, \text{ м.}$$

Площадь поперечного сечения потока  $\omega$  определяется по формуле:

$$\omega_i = h_{\text{ср}i} \times l_i, \text{ м}^2.$$

Площади поперечного сечения потока правой поймы  $\omega_{\text{пп}}$ , главного русла  $\omega_{\text{рб}}$  определили суммированием площадей в их пределах.

Результаты вычислений приведены в таблице:

№ точки	Отметка дна, м	Глубина, м	Средняя глубина, м	Расстояние, м	Площадь, м <sup>2</sup>	
Левая пойма		$B_{лп} = 616$ м		$\omega_{лп} = 3413$ м <sup>2</sup>		
1	145,90	0,00	2,11	55	116,05	
2	141,68	4,22		4,99	25	124,63
3	140,15	5,75		6,00	60	360
4	139,65	6,25		6,07	60	364,20
5	140,01	5,89		6,06	40	242,20
6	139,68	6,22		6,24	50	311,75
7	139,65	6,25		5,92	50	296
8	140,31	5,59		5,54	50	277
9	140,41	5,49		5,52	50	276
10	140,35	5,55		5,58	60	334,80
11	140,29	5,61		5,95	66	392,37
12	139,62	6,28		6,36	50	318
13	139,46	6,44				
Главное русло		$B_{рб} = 275$ м		$\omega_{рб} = 2739,73$ м <sup>2</sup>		
14	139,68	6,82	6,63	40	265,20	
15	137,05	8,85	7,83	30	235,05	
			9,54	20	190,80	
16	135,67	10,23	10,35	20	206,90	
			10,63	20	212,60	
17	135,44	10,46	11,50	30	345	
			12,79	20	255,70	
18	135,10	10,80	14,19	30	425,55	
			13,27	25	331,63	
19	133,70	12,20	9,67	20	193,30	
			3,90	20	78	
20	132,53	13,37				
21	130,90	15,00				
22	134,37	11,53				
23	138,10	7,80				
24	145,90	0,00				

Средняя глубина потока на левой пойме:

$$h_{\text{лп}} = \frac{\omega_{\text{лп}}}{B_{\text{лп}}} = \frac{3413}{616} = 5,54 \text{ м.}$$

Средняя глубина потока в главном русле:

$$h_{\text{рб}} = \frac{\omega_{\text{рб}}}{B_{\text{рб}}} = \frac{2739,73}{275} = 9,96 \text{ м.}$$

Коэффициент Шези для левой поймы:

$$C = \frac{87}{1 + \gamma/\sqrt{h}} = \frac{87}{1 + 9/\sqrt{5,54}} = 18,04.$$

Коэффициент Шези для главного русла:

$$C = \frac{87}{1 + \gamma/\sqrt{h}} = \frac{87}{1 + 9/\sqrt{9,96}} = 44,6.$$

где  $\gamma$  – коэффициент шероховатости по Базену.

Для определения расходных характеристик использовались зависимости:

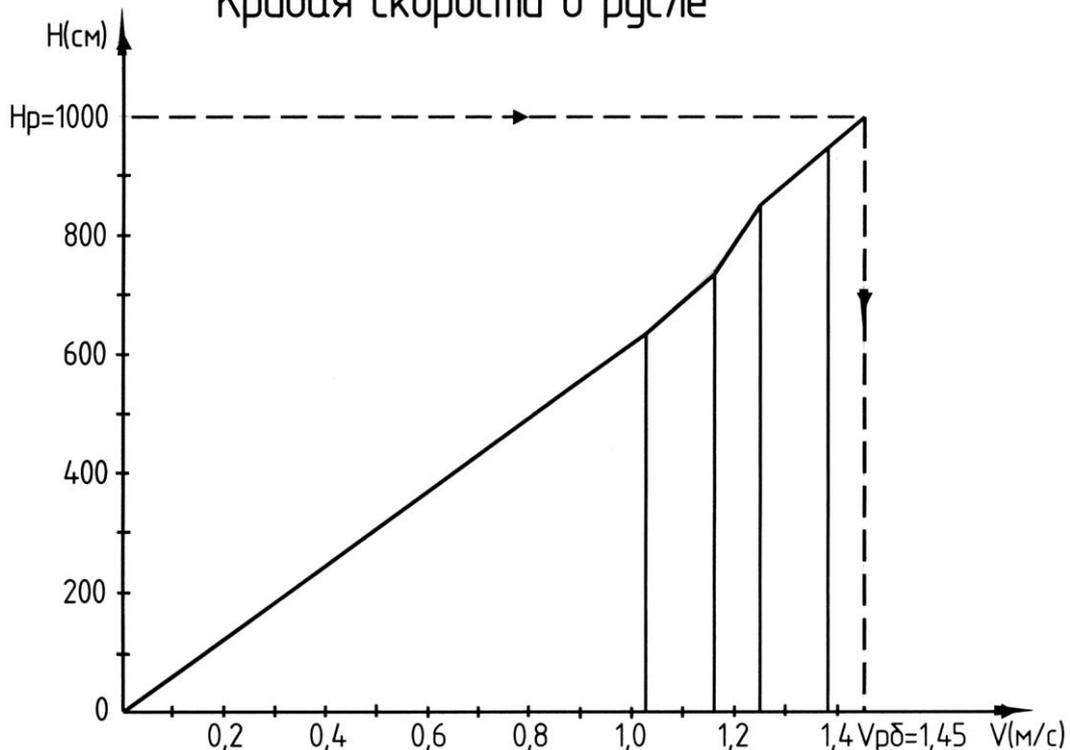
$$K_{\text{лп}} = \omega_{\text{лп}} \times C_{\text{лп}} \times \sqrt{h_{\text{лп}}} = 3413 \times 18,04 \times \sqrt{5,54} = 144899,5;$$

$$K_{\text{рб}} = \omega_{\text{рб}} \times C_{\text{рб}} \times \sqrt{h_{\text{рб}}} = 2739,73 \times 44,6 \times \sqrt{9,96} = 385723,6.$$

Соотношение расхода воды в русле  $Q_{\text{рб}}$  и полного расчетного расхода  $Q$  вычислено через соотношение расходных характеристик:

$$\tau = \frac{Q_{\text{рб}}}{Q} = \frac{K_{\text{рб}}}{K_{\text{лп}} + K_{\text{рб}}} = \frac{385723,6}{144899,5 + 385723,6} = 0,73.$$

Кривая скорости в русле



Средняя скорость течения в главном русле:  $V_{рб} = 1,45$  м/с.

Расход воды в русле:

$$Q_{рб} = V_{рб} \times \omega_{рб} = 1,45 \times 2739,73 = 3972,6 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Полный расход:

$$Q = Q_{рб}/t = 3972,6/0,73 = 5441,9 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход на левой пойме:

$$Q_{лп} = \frac{Q - Q_{рб}}{K_{лп}} \times K_{лп} = \frac{5441,9 - 3972,6}{144899,5} \times 144899,5 = 1469,3 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Средняя скорость течения на левой пойме:

$$V_{рб} = \frac{Q_{лп}}{\omega_{лп}} = \frac{1469,3}{3413} = 0,43 \text{ м/с}.$$

Уклон водной поверхности при пропуске расчетного расхода:

$$I_6 = \frac{V_{рб}^2}{C_{рб}^2 \times h_{рб}} = \frac{1,45^2}{44,6^2 \times 9,96} = 0,00011 = 0,11\%.$$

### Расчет глубины общего размыва под мостом

Минимальная величина отверстия моста  $L_{\min}$  определяется по формуле

$$L_{\min} = \frac{\delta \times B_{рм} + \sum l_{укр} + 2m \times h_{п}}{1 - \lambda}, \text{ м},$$

где  $B_{рм}$  – ширина русла под мостом с учетом его уширения;  $\delta$  – коэффициент запаса ( $\delta = 1,1$ );  $\sum l_{укр}$  – укрепления откосов устоев;  $m$  – заложение откоса конуса обсыпного устоя;  $\lambda$  – относительная ширина опоры моста

$$\lambda = \frac{b_{опор}}{l_{укр}},$$

где  $b_{опор}$  – ширина опоры;  $l_{укр}$  – длина пролета.

Величину  $\lambda$  принимаю равной 0,05.

Ширина русла под мостом  $B_{рм}$  рассчитывается по формуле

$$B_{рм} = B_{рб} \times [(\beta^{0,93} - 1)K_{п} \times K_{р} + 1], \text{ м}.$$

Коэффициент стеснения потока

$$\beta = \frac{Q}{Q_{рб} + \frac{Q_{лп} \times (L - B_{рб})}{\sum B_{лп}}} = \frac{5441,9}{3972,6} = 1,37.$$

В первом приближении  $L = B_{рб}$ .

$K_p$  – коэффициент, учитывающий вероятность затопления пойм.

Вероятность затопления пойм определена с использованием клетчатки вероятности путем определения вероятности превышения средней отметки поймы, устанавливаемой как разность между отметкой расчетного уровня высоких вод и средней глубины воды на пойме:

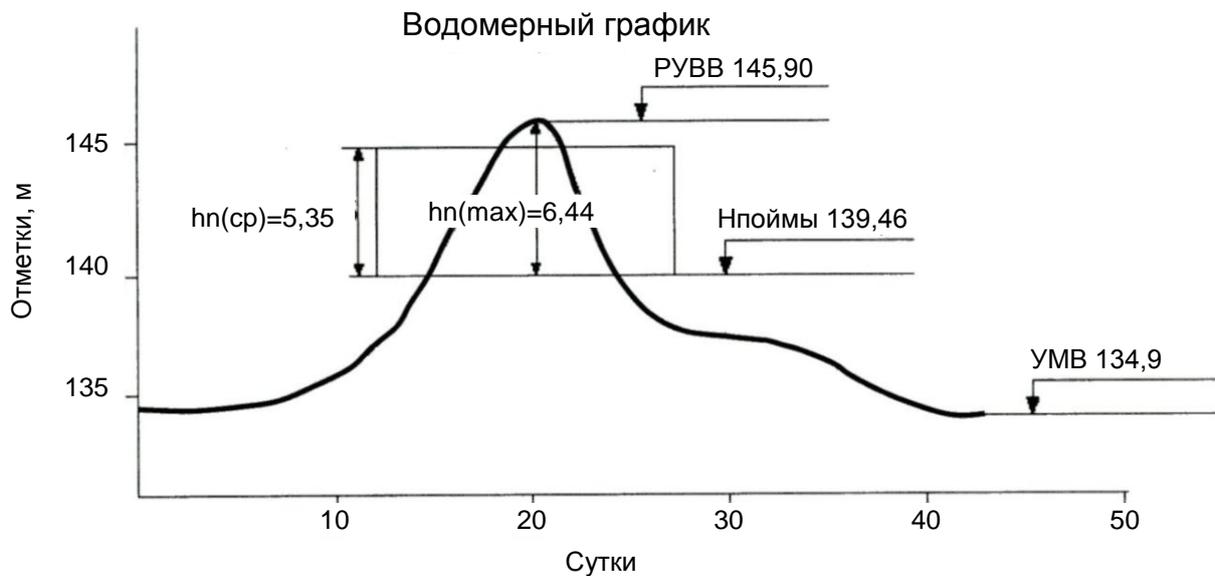
$$H_{\text{пср}} = PУВВ - h_{\text{пб}} = 145,9 - 5,53 = 140,37 \text{ см}, P_{\text{п}} = 95\%, \\ P_{\text{п}} \geq 95\% K_p = 1.$$

$K_{\text{п}}$  – коэффициент, учитывающий полноту паводка  $\Pi$  и коэффициент стеснения  $\beta$ , рассчитан по формуле

$$\text{при } P \geq 95\% K_{\text{п}} = 0,79 \times \Pi^{0,5} = 0,79 \times 0,83^{0,5} = 0,72,$$

где  $\Pi$  – полнота паводка – отношение средней высоты расчетного паводка  $h_{\text{п(ср)}}$  над уровнем поймы к его максимальной высоте.

$$\Pi = \frac{h_{\text{п(ср)}}}{h_{\text{п(max)}}} = \frac{5,35}{6,44} = 0,83.$$



$$B_{\text{рм}} = B_{\text{рб}} [(\beta^{0,93} - 1)K_{\text{п}}K_p + 1] = \\ = 275 \times [(1,37^{0,93} - 1) \times 0,72 \times 1 + 1] = 342,3 \text{ м}. \\ L_{\text{min}} = \frac{1,1 \times 342,3 + 15 + 2 \times 2 \times 6,44}{1 - 0,05} = 440 \text{ м}.$$

### Расчет максимальной глубины после общего размыва в русле

Произведен для гипотетического предела общего размыва – наибольшего общего размыва, который может возникнуть в результа-

те прохождения серии значительных реальных паводков, последним из которых является расчетный паводок:

$$h_{рм(max)} = h_{рб(max)} \left[ \left( \beta^{8/9} - 1 \right) \Pi^{1/2} + 1 \right] \left[ \frac{B_{рб}}{B_{рм}(1 - \lambda)} \right]^{2/3} =$$

$$= 15 \times \left[ \left( 1,37^{8/9} - 1 \right) \times 0,83^{1/2} + 1 \right] \left[ \frac{275}{342,3 \times (1 - 0,05)} \right]^{2/3} = 17,35 \text{ м.}$$

Так как коэффициент размыва  $P = \frac{h_{рм(max)}}{h_{рб(max)}} = \frac{17,35}{15} = 1,16 < 1,5$ , то принимаем за расчётное значение отверстия моста  $L_{min} = 440 \text{ м}$ .

Производим проверку возможности ограничения максимальной глубины размыва в русле.

Для каждого из пластов донных отложений из несвязных грунтов неразмывающая скорость  $V_{нерi}$ :

$$V_{нер} = \frac{V_{ндi}}{d_i^{1/6}} h_i^{1/6}, \text{ м/с,}$$

где  $V_{ндi}$  – донная неразмывающая скорость для  $i$ -го типа грунта;  $d_i$  – средний диаметр частиц  $i$ -го типа грунта;  $h_i$  – глубина, отсчитываемая от РУВВ.

Для песка мелкого  $h = 2,0 \text{ м}$ :

$$V_{нер п1} = 0,55 \times 15^{1/6} = 0,86 \text{ м/с;}$$

$$V_{нер п2} = 0,55 \times (15 + 1)^{1/6} = 0,87 \text{ м/с;}$$

$$V_{нер п3} = 0,55 \times (15 + 2)^{1/6} = 0,88 \text{ м/с.}$$

Для песка крупного  $h = 2,0 \text{ м}$ :

$$V_{нер пк1} = 0,65 \times 17^{1/6} = 1,04 \text{ м/с;}$$

$$V_{нер пк2} = 0,65 \times (17 + 1)^{1/6} = 1,05 \text{ м/с;}$$

$$V_{нер пк3} = 0,65 \times (17 + 2)^{1/6} = 1,06 \text{ м/с.}$$

Для гравия среднего  $h = 2,0 \text{ м}$ :

$$V_{нер гс1} = 0,85 \times 19^{1/6} = 1,39 \text{ м/с;}$$

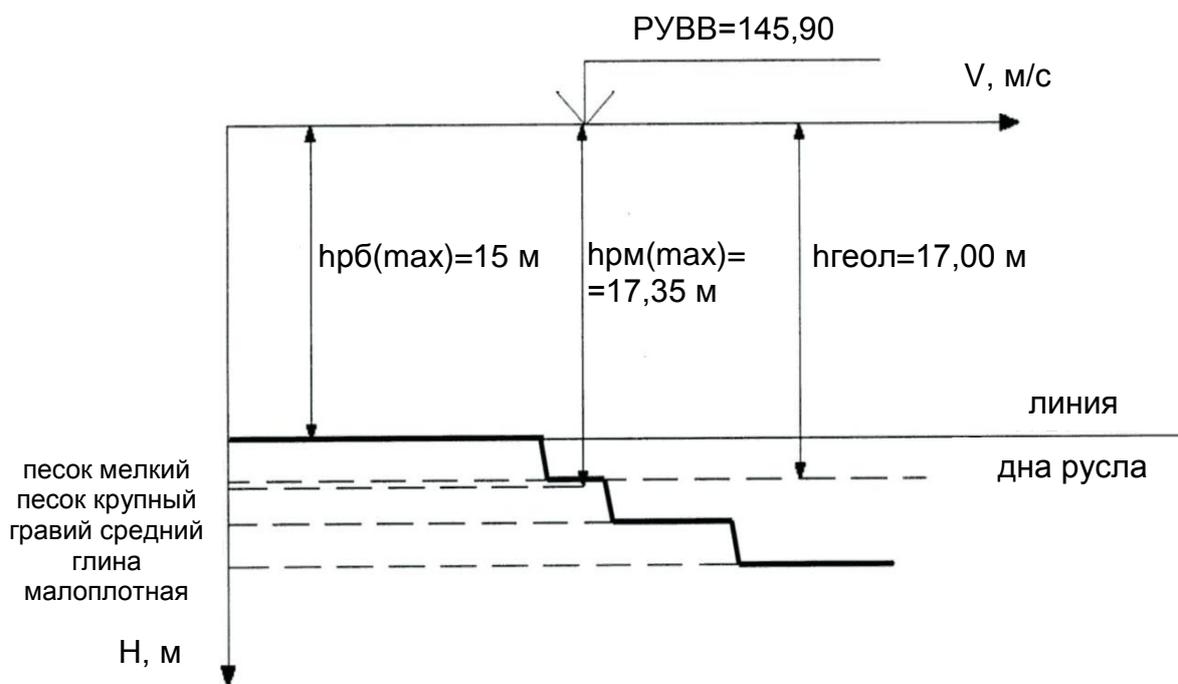
$$V_{нер гс2} = 0,85 \times (19 + 1)^{1/6} = 1,4 \text{ м/с;}$$

$$V_{нер гс3} = 0,85 \times (19 + 2)^{1/6} = 1,41 \text{ м/с.}$$

Величина скорости водного потока в русле под мостом после завершения общего размыва:

$$v_{pm} = v_{pb} \left[ \frac{B_{pb}}{B_{pm}(1-\lambda)} \right]^{\frac{1}{4}} \left( \frac{h_{pm(max)}}{h_{pb(max)}} \right)^{\frac{1}{8}} =$$

$$= 1,45 \left[ \frac{275}{342,3(1-0,05)} \right]^{\frac{1}{4}} \times \left( \frac{17,35}{15} \right)^{\frac{1}{8}} = 0,98 \frac{m}{c}.$$



Из графика следует, что происходит ограничение глубины размыва по геологическим условиям, поэтому для дальнейших расчетов принимаем  $h_{pm(max)} = 17,0$  м.

### Расчет глубины местного размыва у опор моста

Местный размыв у опор моста является следствием локального изменения структуры потока при обтекании им опор. Образование воронки местного размыва происходит у лобовой грани и с боков опоры. Глубина местного размыва определяется по формуле:

– для связных грунтов:

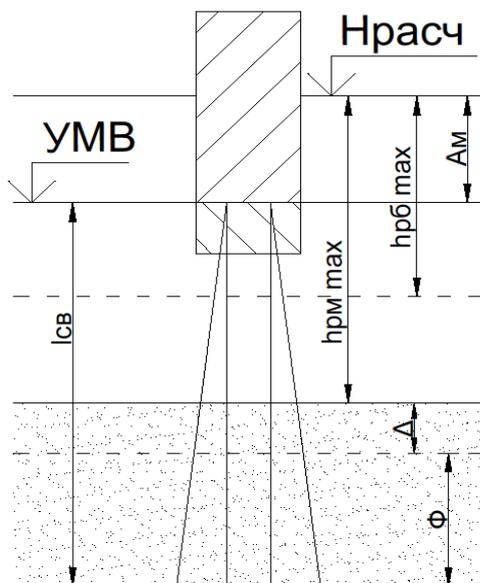
$$h_b = 3,8 \cdot k \cdot \left( \frac{v_{pm}^2}{g} \right)^{0,9} \cdot B_{оп}^{0,1} - 30 \cdot d, \text{ м},$$

$k$  – коэффициент, характеризующий форму опоры;  $B_{оп}$  – ширина опоры, м;  $d$  – средний диаметр частиц грунта.

$$h_b = 3,8 \cdot 0,85 \cdot \left( \frac{0,98^2}{9,8} \right)^{0,9} \cdot 4^{0,1} - 30 \cdot 0,0002 = 0,45 \text{ м}.$$

## Назначение глубины заложения фундаментов опор моста и выбор оптимального отверстия моста

Фундаменты опор моста должны быть достаточно заглублены в грунт, чтобы была гарантирована устойчивость моста на все время его службы. Схема к назначению глубины заложения фундамента опоры представлена на рисунке ниже:



Отметка глубины заложения фундамента опоры моста определяется по формуле:

$$H_{\phi} = R_{УВВ} - \Delta h_{рм(max)} - h_{рм(max)} - h_{в} - \Phi, \text{ м,}$$

где  $\Delta h_{рм(max)} = 0,15h$  – ожидаемая погрешность определения  $h_{рм(max)}$ ;  $\Phi$  – обязательная заделка фундамента в грунт, принимаемая не менее 5 м при свайных основаниях;  $h_{в}$  – местный размыв (воронка).

$$H_{\phi} = 145,9 - 2,55 - 17 - 0,45 - 5 = 120,9 \text{ м.}$$

$$\Delta h_{рм(max)} = 0,15 \times 17 = 2,55.$$

### Расчет подпора на мостовом переходе

При стеснении реки сооружениями мостового перехода происходит изменение уровней воды, что влияет на установление минимальной необходимой высоты подходов к мосту.

Полный подпор на мостовом переходе рассчитывается по формуле:

$$\Delta Z_0 = 1,5 \cdot l_{\text{сж}} \cdot l_6 \cdot \left( K \cdot \frac{\beta^2}{\varepsilon^{10/3}} - 1 \right) (1 + X), \text{ м,}$$

где  $l_{\text{сж}}$  – длина зоны сжатия, определяемая по формуле:

$$l_{\text{сж}} = \frac{B_0 - L}{1 + \frac{B_{\text{мп}}}{B_{\text{бп}}}} = \frac{891 - 440}{1} = 451 \text{ м;}$$

$B_0$  – ширина разлива реки при РУВВ;  $B_{\text{мп}}$  – ширина меньшей поймы;  $B_{\text{бп}}$  – ширина большей поймы;  $l_6$  – бытовой уклон реки;  $\beta$  – коэффициент стеснения потока;  $K$  – корректив начального подпора:

$$\text{при } P = 1,13 < 1,2 \quad K = \frac{1,1}{\sqrt{\beta \cdot P^{(\beta-1)}}} = \frac{1,1}{\sqrt{1,37 \cdot 1,13^{(1,37-1)}}} = 0,92.$$

$$P = \frac{h_{\text{рм(max)}}}{h_{\text{рб(max)}}} = \frac{17}{15} = 1,13 \text{ – коэффициент размыва (по площади); } \varepsilon \text{ –}$$

относительный подпор;  $X$  – относительная длина струенаправляющих дамб:

$$X = l_{\text{в}} / l_{\text{сж}} = 96,8 / 451 = 0,21.$$

$l_{\text{в}}$  – длина верховых струенаправляющих дамб:

$$l_{\text{в}} = S \times L = 0,22 \times 440 = 96,8 \text{ м.}$$

$S = l_{\text{в}} / L$  – отношение длины верховых струенаправляющих дамб к отверстию моста, принимаемое в зависимости от значения коэффициента стеснения потока  $\beta$ .

$$\Delta Z_0 = 1,5 \cdot 451 \cdot 0,00011 \cdot \left( 0,92 \cdot \frac{1,37^2}{1^{10/3}} - 1 \right) (1 + 0,21) = 0,065 \text{ м.}$$

При  $l_6 = 0,00011 < 0,001$  значения начального и полного подпоров совпадают:

$$\Delta Z = \Delta Z_0 = 0,065 \text{ м и } l_z = l_{\text{сж}} = 451 \text{ м.}$$

Подпор у насыпи:

$$\Delta Z_{\text{н}} = \Delta Z + l_6 \times l_z = 0,065 + 0,00011 + 451 = 0,11.$$

### **Определение расчетного судоходного уровня (PCY), высоты моста, расчет отметки проезжей части моста**

Расчетный судоходный уровень (PCY) следует определять в соответствии с требованиями ГОСТ 26775-97 «Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях. Нормы и технические требования».

Расчетный судоходный уровень определяется по данным наблюдений за максимальными уровнями, которые располагают в убывающем порядке. В зависимости от класса реки по судоходству находится вероятность превышения  $P\%$  паводка, водомерный график которого используется для определения РСУ. Номер  $m$  этого паводка рассчитывается по формуле:

$$m = \frac{P \cdot (n + 1)}{100} = \frac{3 \cdot (25 + 1)}{100} = 0,78,$$

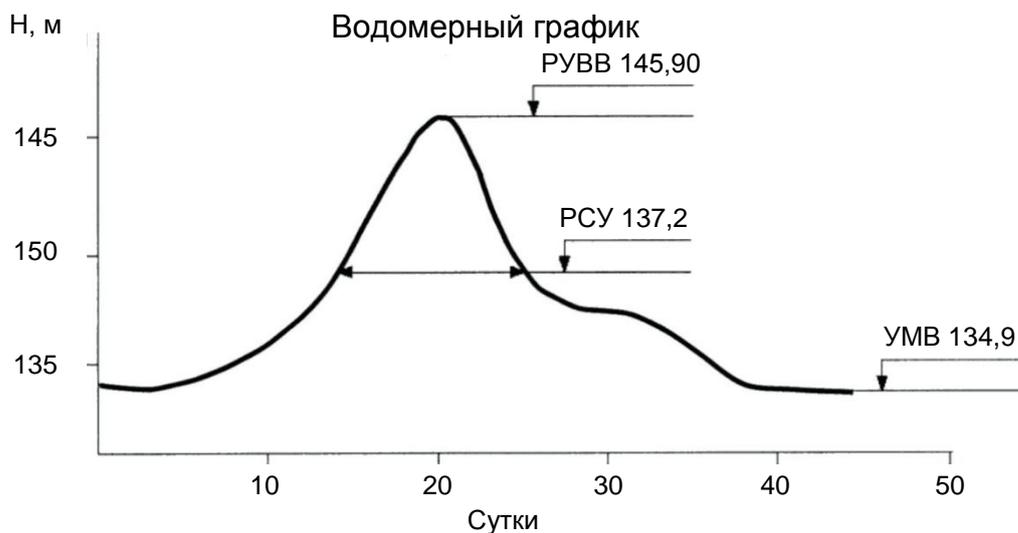
где  $n$  – число годовых максимальных уровней;  $P$  – вероятность превышения расчетного паводка для класса водного пути.

Величина допустимой продолжительности стояния в расчетном году уровней более высоких, чем расчетный определяется по формуле:

$$T = \frac{k \cdot T}{100} = \frac{6 \cdot 175}{100} = 11 \text{ суток},$$

где  $k$  – допустимая доля потерянного навигационного времени по сравнению с продолжительностью навигации;  $T$  – продолжительность навигации, сутки.

По водомерному графику расчетного паводка находим уровень, превышаемый не более суток. Этот уровень соответствует расчетному судоходному РСУ.



На судоходных и сплавных реках отметка проезжей части  $H_M$  определяется высотой подмостового габарита  $\Gamma$ , обеспечивающего безопасный пропуск судов и плотов под мостом:

$$H_M = PCY + \Gamma + h_{\text{коп}} = 137,2 + 15 + 3,5 = 155,7 \text{ м},$$

где  $\Gamma$  – судоходный габарит, отсчитываемый от РСУ и назначаемый в зависимости от класса реки по судоходству (класс II).

### Определение минимальной отметки пойменной насыпи

Минимальная отметка пойменной насыпи на подходах к мосту зависит от величины подпора  $\Delta Z_H$  и высоты набега волн на откосы.

Минимальная отметка бровки насыпи находится по формуле:

$$H_{\text{нас}} = \text{РУВВ} + \Delta Z_H + h_{\text{наб}} + \Delta, \text{ м},$$

где  $h_{\text{наб}}$  – высота набега волны на откос, определяется по формуле:

$$h_{\text{наб}} = \frac{4,3 \cdot k_{\text{ш}} \cdot h_{\text{в}}}{m_H} = \frac{4,3 \cdot 1 \cdot 1,106}{2} = 2,38 \text{ м},$$

где  $k_{\text{ш}}$  – коэффициент относительной шероховатости откоса, принимается в зависимости от типа укрепления (для монолитного бетона и асфальтобетона  $k_{\text{ш}} = 1$ );  $h_{\text{в}}$  – высота волны,  $h_{\text{в}} \approx 0,2h_{\text{пб}} = 0,2 \times 5,53 = 1,106$  м;  $m_H$  – заложение откоса насыпи;  $\Delta$  – запас, равный 0,5 м для подходов.

$$H_{\text{нас}} = 145,9 + 0,11 + 2,38 + 0,5 = 148,89 \text{ м}.$$

### Проектирование продольного профиля мостового перехода

Продольный профиль мостового перехода в пределах ширины разлива реки состоит из характерных участков:

- 1 – мост и примыкающие к нему участки высоких насыпей;
- 2 – низкая пойменная насыпь;
- 3 – участки сопряжения низких и высоких пойменных насыпей.

При заданной величине отверстия моста его длину  $L_M$  ориентировочно можно определить по формуле:

$$L_M = L + 2m \times (H_M - \text{РУВВ}) + 2l_y,$$

где  $L$  – отверстие моста;  $m$  – заложение конусов насыпей у моста;  $H_M$  – отметка проезжей части моста; РУВВ – расчетный уровень высоких вод;  $l_y$  – длина устоя моста.

$$L_M = 440 + 2 \times 2 \times (155,7 - 145,9) + 2 \times 5 = 489,2 \text{ м} \approx 490 \text{ м}.$$

Мост может располагаться в продольном профиле на участке выпуклой вертикальной кривой, прямой с уклоном не более 2%, в том числе и на горизонтальном участке.

При выборе проектного решения учтены особенности расположения русла реки в поперечном сечении речной долины, требования

обеспечения отвода воды с проезжей части моста, конструктивные особенности пролетных строений.

Минимальная суммарная длина моста и высоких пойменных насыпей, в пределах которого не допускается изменения элементов проектной линии, равна:

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{м}} + 20 = 489,2 + 20 = 509,2 \text{ м} \approx 510 \text{ м.}$$

В целях экономии объемов земляных и укрепительных работ на подходах к мосту значительная часть продольного профиля запроектирована в виде горизонтальной насыпи оптимальной высоты с отметкой  $H_{\text{min}}$ .

Участки сопряжения высокой и низкой пойменных насыпей состоят из прямой вставки с уклоном  $I_{\text{эк}}$  и примыкающих к нему выпуклой и вогнутой вертикальных кривых.

Уклон прямой вставки  $I_{\text{эк}}$ , соответствующий наименьшему объему земляных работ на участке сопряжения:

$$I_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{H_{\text{м}} - H_{\text{нас}}}{R_{\text{вып}}}} = \sqrt{\frac{155,7 - 148,89}{15\,000}} = 0,021.$$

где  $R_{\text{вып}}$  – минимальный радиус выпуклой кривой, назначаемый в зависимости от категории дороги.

Длина выпуклой вертикальной кривой, которая сопрягает горизонтальный участок с участком, имеющим уклон  $I_{\text{эк}}$ , равна:

$$l_{\text{вып}} = R_{\text{вып}} \times I_{\text{эк}} = 15\,000 \times 0,021 = 320 \text{ м.}$$

Разность отметок между началом и концом кривой составляет:

$$h_{\text{вып}} = \frac{l_{\text{вып}}^2}{2R_{\text{вып}}} = \frac{320^2}{2 \cdot 15000} = 3,4.$$

Аналогичные формулы используются и для вогнутой кривой: длина вогнутой кривой:

$$l_{\text{вог}} = R_{\text{вог}} \times I_{\text{эк}} = 5\,000 \times 0,021 = 105 \text{ м,}$$

разность отметок между началом и концом вогнутой кривой:

$$h_{\text{вог}} = \frac{l_{\text{вог}}^2}{2R_{\text{вог}}} = \frac{105^2}{2 \cdot 5000} = 1,1.$$

Длина прямой вставки с уклоном  $I_{\text{эк}}$  между выпуклой и вогнутой кривыми:

$$l_{\text{пр}} = \frac{H_{\text{м}} - H_{\text{мин}}^{\text{нас}} - h_{\text{вып}} - h_{\text{вог}}}{I_{\text{эк}}},$$

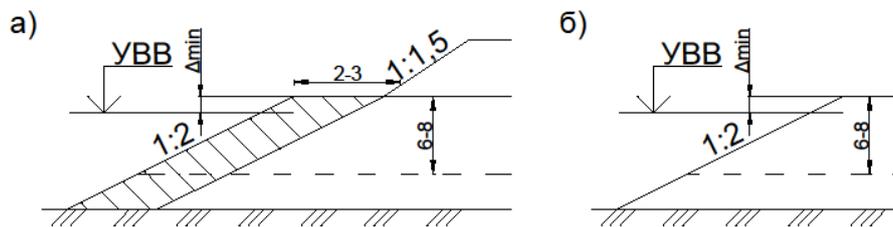
$$l_{\text{пр}} = \frac{155,7 - 148,89 - 3,4 - 1,1}{0,021} = 110 \text{ м.}$$

### Проектирование поперечных профилей пойменных насыпей

Ширину пойменных насыпей поверху назначают в соответствии с категорией дороги, а крутизну откосов – в зависимости от высоты насыпи и условий ее работы. У низких пойменных насыпей с отметкой  $H_{\text{мин}}^{\text{нас}}$  омываемый водой откос проектируют не круче, чем 1:2 с уположением  $\frac{1}{4}$  через каждые 6–8 м высоты.

У высоких насыпей откосы на отметках  $H_{\text{мин}}^{\text{нас}}$  и меньше проектируют так же, как у низких пойменных насыпей, а верхнюю часть насыпи, не подверженную воздействию волн и течений проектируют как обычную дорожную насыпь с откосами крутизной 1:1,5–1:1,75.

Сухой и омываемый откосы сопрягают горизонтальной площадкой – бермой шириной 2,5...3 м. Это повышает устойчивость насыпи и облегчает проведение ремонтных работ во время паводка.



*Поперечные профили насыпей на поймах: а – поперечный профиль высокой насыпи; б – поперечный профиль низкой насыпи*

Откосы пойменных насыпей на мостовых переходах, расположенные ниже отметки  $H_{\text{мин}}^{\text{нас}}$ , укрепляют для защиты от воздействия волн и течений. Откосы, расположенные выше берм, следует защищать только от поверхностных вод, образующихся при дожде или таянии снега.

### Проектирование струенаправляющих дамб

Пойменные струенаправляющие дамбы предназначены для разгрузки пойменного участка отверстия моста от излишнего количества воды, плавного направления потока под мост, ликвидации опасных местных размывов у конусов насыпи, уменьшения скорости общего размыва русла под мостом и обеспечения его равномерности.

Разбивка оси струенаправляющей дамбы выполняется по координатам с использованием относительных координат. Координаты оси дамбы получают путем умножения табличных величин на величину радиуса кривизны в голове дамбы  $R$ .

$$R = \frac{1}{3} l_B = \frac{1}{3} \cdot 96,8 = 32,3,$$

где  $l_B$  – длина верховой струенаправляющей дамбы.

Отметку верха струенаправляющей дамбы назначаем такой же, как у низкой пойменной насыпи  $H_{\min}$ . Почти на всем ее протяжении ширина поверху принимаем в пределах от 3 до 5 м, а крутизну откосов – 1:2. Только в голове струенаправляющей дамбы, где условия работы наиболее тяжелые, ширину поверху увеличиваем до 5...6 м, а крутизну откосов уменьшаем до 1:3. Откосы струенаправляющих дамб защищают от воздействия воды и течений, а подошву – от возможного подмыва гибкими защитными покрытиями (тюфяками) или рисбермами.

Координаты оси струенаправляющей дамбы при $V = V_M = \text{const}$			
№ точек	S	X	Y
1	0,000	74,968	46,351
2	6,460	74,290	39,955
3	12,920	72,449	33,463
4	19,380	69,477	28,101
5	25,840	65,472	22,933
6	32,300	60,918	18,411
7	38,760	55,944	14,632
8	45,220	50,259	11,240
9	51,680	44,413	8,204
10	58,140	38,308	6,234
11	64,600	32,300	4,328
12	71,060	26,002	2,810
13	77,520	19,703	1,615
14	83,980	13,243	0,743
15	90,440	6,783	0,194
16	96,900	0,000	0,000
17	103,360	-6,202	0,162
18	109,820	-12,694	0,646
19	116,280	-19,122	1,324
20	122,740	-25,549	2,003
21	129,200	-31,977	2,649
22	135,660	-38,405	3,327

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие задачи должны решаться при проектировании мостовых переходов?
2. В какой последовательности необходимо вести расчеты по проектированию мостовых переходов?
3. Как учитывается категория автомобильной дороги при проектировании сооружений мостового перехода?
4. Как назначается расчетная вероятность при определении максимальных расходов и уровней?
5. Основные цели морфометрических расчетов при проектировании мостовых переходов?
6. Что такое «отверстие моста»?
7. В чем различие процессов общего размыва в русле и на пойменных участках отверстия моста?
8. Какие факторы влияют на увеличение ширины русла под мостом в результате общего размыва?
9. Как определить коэффициент стеснения потока сооружениями мостового перехода?
10. От чего зависит максимальная глубина в русле под мостом после размыва?
11. Как определить возможность ограничения глубины размыва в русле по геологическим условиям?
12. При каких условиях возможен общий размыв на пойменных участках отверстия моста?
13. Основные факторы, влияющие на глубину местного размыва у опор моста?
14. Как определить минимальную глубину заложения фундаментов мостовых опор?
15. Какие основные факторы учитываются при расчетах изменения уровней воды в зоне мостового перехода?
16. В чем заключается различие в назначении отметки проезжей части мостов через судоходные и несудоходные реки?

17. Как рассчитать минимальную отметку низкой пойменной насыпи?

18. Что необходимо учитывать при назначении укрепления откосов пойменных насыпей?

19. Из каких участков состоит продольный профиль мостового перехода?

20. С какой целью устраивают струенаправляющие дамбы на мостовых переходах?

## **ЛИТЕРАТУРА**

### **Основная**

1. Проектирование автомобильных дорог: справочная энциклопедия дорожника. Т. V / Г.А. Федотов, П.И. Поспелова, Э.К. Кузахметова [и др.]; под ред. проф. Г.А. Федотова, проф. П.И. Поспелова. – М.: Информавтодор, 2007. – 1466 с.

2. Федотов, Г.А. Изыскания и проектирование мостовых переходов: учеб. пособие / Г.А. Федотов. – М.: Академия, 2010. – 304 с.

### **Дополнительная**

1. Бабков, В.Ф. Проектирование автомобильных дорог. Ч. 2 / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев. – М.: Транспорт, 1987. – 415 с.

2. ГОСТ 26775-97. Габариты подмостовых судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях. – М.: Изд-во стандартов, 1996.

3. Проектирование автомобильных дорог: справочник инженера дорожника / под ред. Г.А. Федотова. – М.: Транспорт, 1989. – 437 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО УРОВНЯ ВЫСОКОЙ ВОДЫ (РУВВ) .....	5
2. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ .....	9
3. РАСЧЕТ ГЛУБИНЫ ОБЩЕГО РАЗМЫВА ПОД МОСТОМ.....	14
3.1. Определение коэффициента стеснения потока.....	15
3.2. Определение полноты паводка.....	16
3.3. Определение вероятности затопления пойм .....	17
3.4. Определение коэффициента $K_p$ .....	17
3.5. Определение коэффициента $K_n$ .....	17
3.6. Расчет максимальной глубины после общего размыва .....	17
3.6.1. Расчет максимальной глубины после общего размыва в русле под мостом.....	18
3.6.2. Проверка возможности ограничения максимальной глубины размыва .....	18
3.6.3. Расчет общего размыва на пойменном участке отверстия моста .....	20
4. РАСЧЕТ ГЛУБИНЫ МЕСТНОГО РАЗМЫВА У ОПОР МОСТА.....	22
5. НАЗНАЧЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ОПОР МОСТА И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ОТВЕРСТИЯ МОСТА.....	22
6. РАСЧЕТ ПОДПОРА НА МОСТОВОМ ПЕРЕХОДЕ .....	25
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО СУДОХОДНОГО УРОВНЯ, РАСЧЕТ ОТМЕТКИ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ МОСТА.....	27
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОЙ ОТМЕТКИ ПОЙМЕННОЙ НАСЫПИ.....	29
9. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА.....	31
10. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПОЙМЕННЫХ НАСЫПЕЙ.....	33
11. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУЕНАПРАВЛЯЮЩИХ ДАМБ.....	34

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Неразмывающие скорости для связанных грунтов .....	37
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Неразмывающие скорости для связанных грунтов .....	38
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Образец бланка исходных данных на проектирование мостового перехода .....	39
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Пример расчета мостового перехода для курсового проектирования.....	41
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	57
ЛИТЕРАТУРА .....	58

Учебное издание

**ПУРКИН** Владимир Иосифович,  
**ХОЛИН** Александр Сергеевич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Учебное пособие

*Редактор* Т.А. Феоктистова

Подписано в печать 16.06.2014 г. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 3,75. Тираж 300 экз. Заказ . Цена 65 руб.  
МАДИ, Москва, 125319, Ленинградский пр-т, 64