

9 ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАЛЫХ МОСТОВ

9.1 Применение малых мостов

9.2 Расчет бытовой глубины и бытовой скорости потока в русле

9.3 Схемы протекания воды под мостом

9.4 Определение напора воды перед мостом

9.5 Определение длины мостового отверстия

9.6 Определение минимальной отметки проезда по малому мосту

9.7 Определение длины малого моста

9.1 Применение малых мостов

Мосты длиной не более 25 м называются *малыми мостами*. Их также относят к группе малых искусственных сооружений. На рис. 9.1 приведено фото малого арочного моста через реку Белокуруху (г. Белокуруха, Алтайский край).



Рисунок 9.1 – Малые мосты через реку Белокуруху:
слева – арочный; справа – с откосными крыльями

Малые мосты применяют в случаях [2]:

- когда трубы не могут обеспечить пропуск всей воды, притекающей к дороге. Многоочковые трубы с числом очков более 4 уже экономичны, поэтому в этих случаях проектируют малые мосты;

- при наличии ледохода и карчехода;
- в местах возможного возникновения селей и образования наледи;
- на болотах.

Так же как и трубы, малые мосты работают на пропуск воды всего несколько часов в год; тогда как большие мосты работают в условиях длительных паводков, продолжающихся неделями, а иногда и месяцами. Отверстия малых мостов назначаются по расчётному максимальному расходу, определяемому по нормам стока, а отверстия больших и средних мостов – по многолетним данным в створе будущего перехода водотока.

Гидравлический расчёт малого моста сводится к определению размеров водопропускного отверстия (отверстия моста) и условиям протекания воды под мостом при пропуске расчётного расхода воды заданной вероятности. *Отверстием моста* называют расстояние в свету между крайними опорами, за вычетом ширины промежуточных опор и конусов. Для балочного моста, показанного на рис 9.2, $b_m = B_{\text{рувб}} - 2b_{\text{оп}}$.

Глубину и среднюю скорость воды в русле, соответствующие расчётному расходу Q_p в бытовых условиях (т.е. до строительства сооружения), называют *бытовой глубиной* и *бытовой скоростью* соответственно. Стеснение бытового потока мостовым отверстием приводит к увеличению скоростей воды под мостом. Если скорость воды превысит *неразмывающую*¹ скорость, то возникнет размыв русла. Для его предотвращения устраивают укрепление.

9.2 Расчет бытовой глубины и бытовой скорости потока в русле

Глубину и среднюю скорость воды в русле, соответствующие расчётному расходу Q_p в бытовых условиях (т.е. до строительства сооружения) определяют методом последовательных приближений. Алгоритм следующий [2].

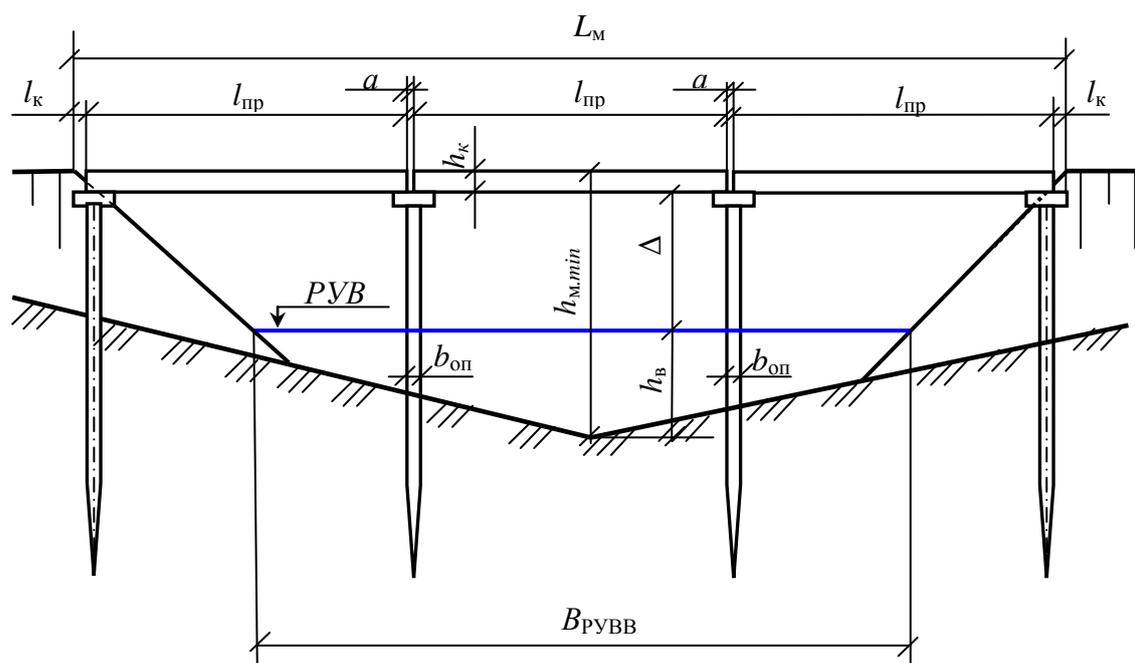


Рисунок 9.2 – Схема малого моста с конусами подходов насыпей

Так как русло малого водотока обычно имеет треугольное сечение, то задаваясь начальным значением бытовой глубины h_b , вычисляют следующие параметры:

¹ *Неразмывающими скоростями* называются наибольшие скорости, допускаемые для данного грунта ложа потока по условиям размыва.

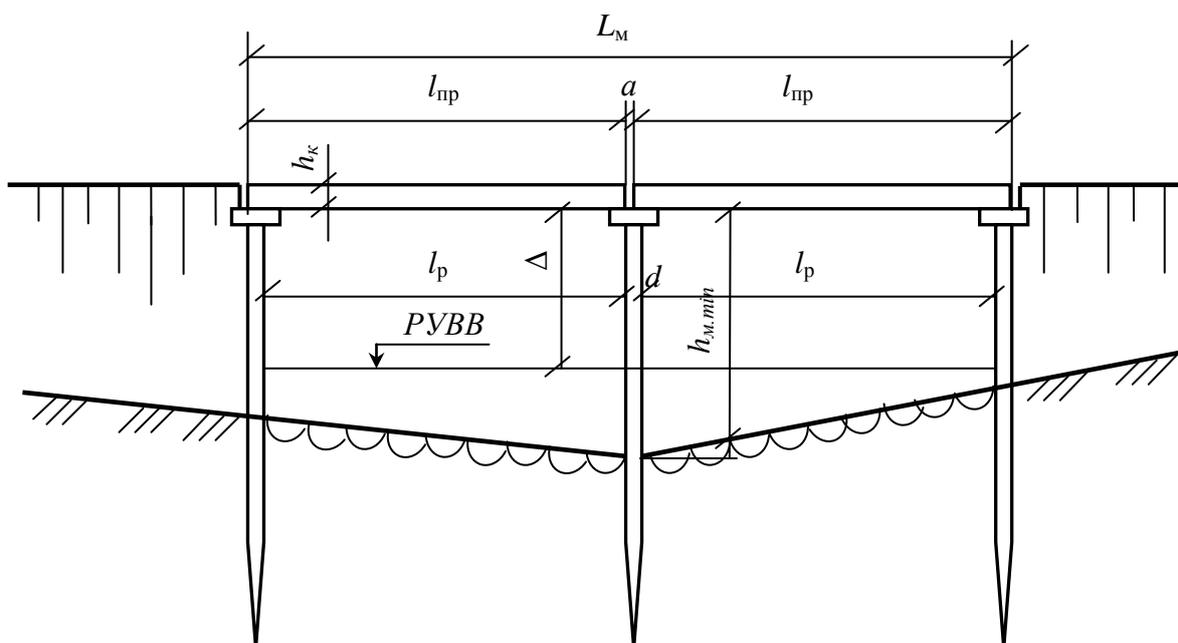


Рисунок 9.3 – Схема малого моста с заборными стенками

- площадь живого сечения:

$$\omega = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} \right) \cdot h_6^2, \quad (9.1)$$

где i_1, i_2 – средние уклоны откосов русла;

- гидравлический радиус:

$$R = \frac{1}{2} \cdot h_6; \quad (9.2)$$

- коэффициент Шези:

$$c = \frac{R^{1/6}}{n}, \quad (9.3)$$

где n – коэффициент шероховатости откосов русла, см. табл. 9.1;

Таблица 9.1

Укрепление	n
Засев трав или одерновка	0,025
Мощение	0,02
Бетонные плиты	0,017
Неукрепленные канавы	0,03

- бытовую скорость:

$$v_6 = c \cdot \sqrt{R \cdot i_{\text{л}}}; \quad (9.4)$$

- расход воды:

$$Q = \omega \cdot v_6. \quad (9.5)$$

Полученное значение сравнивают с Q_p , т. е. вычисляют относительную погрешность ε по зависимости

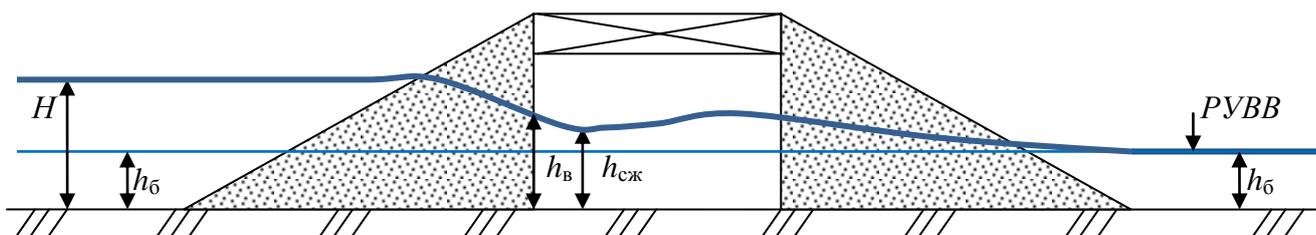
$$\varepsilon = \frac{Q - Q_p}{Q_p} \cdot 100. \quad (9.6)$$

Если она составляет более 5%, то необходимо задать новое значение бытовой глубины и расчеты повторить. Для удобства результаты сводят в таблицу.

9.3 Схемы протекания воды под мостом

Различают две схемы протекания воды под мостом: свободного и несвободного истечения. *Свободное протекание* – это когда уровень воды за мостом не влияет на условия протекания воды под мостом. *Несвободное протекание* – это когда уровень воды за мостом влияет на условия протекания воды под мостом [1]. На рис. 9.4 приведены поперечные разрезы малых мостов с различными схемами протекания.

а)



б)

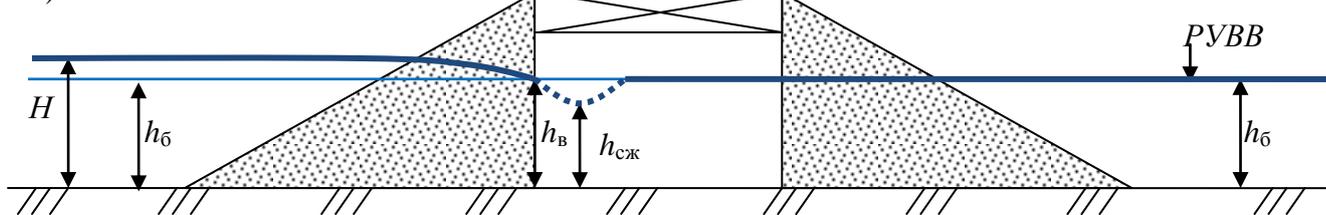


Рисунок 9.4 – Схемы протекания под мостом: а – свободное; б - несвободное

Свободное протекание возникает при условии

$$1,3h_{кр} > h_6, \quad (9.7)$$

где $h_{кр}$ – критическая глубина.

Она определяется по формуле

$$h_{кр} = \frac{v_{доп}^2}{g}, \quad (9.8)$$

где g – ускорение свободного падения.

Чаще всего малые мосты рассчитывают по схеме свободного протекания. Только при очень большой бытовой глубине воды расчет ведут по второй схеме.

9.4 Определение напора воды перед мостом

Скорость воды в подмостовом русле, как правило, превышает значения, допустимые по условиям размыва, для грунтов. Поэтому требуется укрепление дна водотока в районе моста. В зависимости от типа укрепления и глубины потока в бытовом состоянии h_6 по табл. 9.2 устанавливают допустимую скорость $v_{\text{доп}}$ для водного потока. Наибольшая скорость потока достигается в *сжатом сечении* под мостом. В приближённых расчетах её принимают

$$v_c = 1,1v_{\text{доп}} \quad (9.9)$$

Напор воды перед мостом определяют по зависимости:

- в схеме свободного протекания

$$H = 1,46 \frac{v_{\text{сж}}^2}{g}; \quad (9.10)$$

- в схеме несвободного протекания

$$H = h_6 + \frac{v_{\text{сж}}^2}{2g\varphi^2}, \quad (9.11)$$

где φ – коэффициент скорости, зависящий от формы устоев.

Он имеет значения:

$\varphi = 0,9$ – для устоев с конусами (см. рис. 9.2);

$\varphi = 0,85$ – для устоев с откосными крыльями (см. рис. 9.1, справа);

$\varphi = 0,76$ – для устоев с заборными стенками (см. рис. 9.3).

Таблица 9.2

Тип укрепления	Размер камня, см	Допустимые скорости течения, м/с, при средней глубине потока			
		0,4 м	1,0 м	2,0 м	3,0 м
Одерновка плашмя	–	0,9	1,1	1,3	1,4
Одерновка в стенку	–	1,5	1,8	2,0	2,2
Каменная наброска из булыжника с галькой	7,5	2,0	2,4	2,8	3,1
Грунты, укрепленные битумом	–	2,3	2,7	3,0	3,3
Одиночное мощение на щебне	15,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	20,0	3,0	3,5	4,0	4,5
	25,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Двойное мощение из рваного камня на щебне	15,0÷20,0	3,5	4,5	5,0	5,5
Бутовая кладка из известняка	–	3,0	3,5	4,0	4,5
Бетон марки 150	–	6,0	7,0	8,0	9,0
Бутовая кладка из камня крепких пород	–	6,5	8,0	10,0	12,0
Бетонные лотки	–	12,0	14,0	16,0	18,0

Из формулы (9.11) видно, что при реализации второй схемы глубина воды за мостом влияет на пропускную способность отверстия.

9.5 Определение длины мостового отверстия

Длина отверстия моста находится по формуле:

- в схеме свободного протекания

$$v_m = \frac{Q_p}{1,33\sqrt{H^3}} ; \quad (9.12)$$

- в схеме несвободного протекания

$$v_m = \frac{Q_p}{h_b v_{сж}} . \quad (9.13)$$

Для перекрытия отверстия моста применяют типовые пролетные строения. Их параметры приведены в табл.9.3. Если одно пролетное строение длиной $l_{пр}$ не перекрывает отверстие ($l_{пр} < v_m$), то проектируют мост с числом пролетов 2 и более. Длина отверстия для одно- и двухпролетного моста составит $v_m = l_p$ и $v_m = l_{p1} + l_{p2}$ соответственно.

Таблица 9.3

№	Наименование пролета	Длина пролетного строения $l_{пр}, м$	Длина пролета в свету $l_p, м$	Строительная высота $h_k, м$
1	Унифицированные сборные пролетные строения из предварительно напряженного железобетона (пустотные плиты, армированные стержневой арматурой)	6,0	5,60	0,42
		9,0	8,60	0,57
		12,0	11,40	1,23
		15,0	14,40	1,23
		18,0	17,40	1,23
2	Сборные железобетонные пролетные строения для автодорожных мостов	12,0	11,40	1,05
		15,0	14,40	1,05
		18,0	17,40	1,17
3	Сборные железобетонные плитные мосты	6,0	5,68	0,42
		9,0	8,60	0,57

Далее для схемы свободного протекания воды уточняют величину напора воды перед мостом:

$$H = \left(\frac{Q_p}{1,33 \cdot v_m} \right)^{2/3} . \quad (9.14)$$

Глубина воды перед мостом составит:

- в схеме свободного протекания

$$h_b = 0,88H; \quad (9.15)$$

- в схеме несвободного протекания

$$h_{\text{в}} = h_{\text{б}}. \quad (9.16)$$

9.6 Определение минимальной отметки проезда по малому мосту

Минимальная высота моста $h_{\text{м.мин}}$ определяется по формуле

$$h_{\text{м.мин}} = h_{\text{в}} + \Delta + h_{\text{к}}, \quad (9.17)$$

где $h_{\text{в}}$ – глубина воды под мостом; Δ – минимальное возвышение низа пролетного строения над уровнем подпертой воды; $h_{\text{к}}$ – строительная высота пролетного строения.

Зазор Δ между уровнем воды и низом пролетного строения принимают равным 0,5 м; при ледоходе и карчеходе – 1,0 м. Значения $h_{\text{к}}$ приведены в табл. 9.3.

Минимально допустимая отметка настила моста – $H_{\text{м.мин}}$:

$$H_{\text{м.мин}} = H_0 + h_{\text{м.мин}},$$

где H_0 – отметка дна лога у моста.

Она является контрольной точкой для проектной линии продольного профиля автомобильной дороги. Необходимо, чтобы фактическая отметка настила моста была не меньше $H_{\text{м.мин}}$. Высота моста устанавливается в процессе проектирования продольного профиля автомобильной дороги.

9.7 Определение длины малого моста

Длина моста – расстояние между началом и концом моста, измеренное по его оси. При этом *начало моста* – первая по ходу отсчета километража точка пересечения линии, соединяющей концы открылков устоя или других видимых конструктивных элементов устоя или пролетного строения с осью моста. *Конец моста* – последняя по ходу отсчета километража точка пересечения линии, соединяющей концы открылков устоя или других видимых конструктивных элементов устоя или пролетного строения с осью моста [3]. Другими словами, мост начинается там, где заканчивается насыпь и начинается первая (береговая) опора моста. Переходные плиты в длину моста не включаются.

Длина моста зависит от числа пролетов, их размеров и типа береговых опор. При свайных опорах с заборными стенками, рис.9.3, она равна

$$L_{\text{м}} = \sum l_{\text{пр}} + \sum a, \quad (9.18)$$

где $\sum l_{\text{пр}}$ – сумма длин пролетных строений; $\sum a$ – сумма величин зазоров между соседними пролетными строениями, $a = 0,05$ м.

При свайных опорах с конусами, рис. 9.2, расчетная длина моста зависит от его высоты и схемы протекания воды. Предварительно она находится по формуле

$$L_{\text{м}} = B_{\text{ПВВБ}} + 2 \cdot 1,5 \cdot (h_{\text{м}} - h_{\text{в}}) + \sum b_{\text{оп}} + 2l_{\text{к}}, \quad (9.19)$$

где $\Sigma b_{\text{оп}}$ – сумма значений ширины промежуточных опор (у свайных опор $b_{\text{оп}} = 0,35$ м, у опор-стенок $b_{\text{оп}} = 0,4$ м); $l_{\text{к}}$ – расстояние между вершиной конуса и началом или концом моста, $l_{\text{к}} = 0,325$ м; $h_{\text{в}}$ – глубина потока в мостовом сечении, $h_{\text{м}}$ – проектная высота моста

Затем подбирают число типовых пролетов и окончательно устанавливают длину моста по формуле (9.19).

Если длина моста $L_{\text{м}}$ окажется более 25 м, то следует принять другой тип укрепления русла. При этом значения неразмывающей скорости $v_{\text{доп}}$ и напора H увеличатся, а размер расчетного отверстия моста $b_{\text{м}}$ уменьшится.

Источники информации

1. Федотов Г.А., Поспелов П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн.1: Учебник. – М.: Высш. шк., 2009. – 646 с.
2. Проектирование переходов через водотоки: Методические указания к курсовой работе для студентов специальности 291000 «Автомобильные дороги и аэродромы» / Т.В. Гавриленко, П.В. Милащенко, Е.А. Иванова. – Красноярск: КрасГАСА, 2001. – 44 с.
3. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2011. – 287 с.