

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Проектирование дорог»

ПРОЕКТ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ВОДОТОКА

Методические указания
к выполнению курсового проекта
по дисциплине «Специальные вопросы проектирования
автомобильных дорог и аэродромов»
для студентов специальности 1-70 03 01
«Автомобильные дороги»

Минск
БНТУ
2014

УДК 625.7/8(075.8)

ББК 39.311я7

П79

Составители:

И. К. Яцевич, Е. И. Кононова

Рецензенты:

Л. Г. Расинская, В. Н. Юхновец

В методических указаниях изложены вопросы расчета водопропускных сооружений на малых и больших водотоках. Для малых водотоков подробно рассмотрена методика определения расчетного расхода от таяния снега, от ливня, методика обоснования отверстия водопропускной трубы с учетом аккумуляции ливневых вод, длины водопропускной трубы, отметок ее лотка, размеров укрепления русла и откосов. Приведены зависимости по определению объемов работ по строительству труб, даны рекомендации по составлению чертежа водопропускной трубы.

В случае большого водотока даны рекомендации по расчету бытовых характеристик водотока, по определению отверстия моста без уширения или с уширением русла за счет пойм, по проектированию струнаправляющих дамб, продольного профиля мостового перехода и поперечных профилей насыпей подходов.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Раздел 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО РАСХОДА ВОДЫ И ОТВЕРСТИЯ ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ	6
1.1. Определение расчетного расхода талых вод по методике А. П. Лебедева	6
1.2. Определение расчетного расхода ливневых вод	10
1.2.1. <i>Определение расчетного расхода ливневых вод по методике Союздорпроекта</i>	10
1.2.2. <i>Определение расчетного расхода ливневых вод по методике А. П. Лебедева</i>	13
1.2.3. <i>Определение расчетного расхода от ливня по методике О. В. Андреева</i>	15
1.3. Построение графика зависимости расхода воды от глубины	17
1.4. Определение отверстия круглой железобетонной водопроектной трубы	21
Раздел 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ	28
2.1. Определение длины трубы	28
2.1.1. <i>Определение длины трубы при заложении откоса насыпи $t = 1,5$ и высоте откоса насыпи $h_{он} \leq 12$ м</i>	29
2.1.2. <i>Определение длины трубы при заложении откоса насыпи $t > 1,5$ и высоте откоса насыпи $h_{он} \leq 6$ м</i>	32
2.1.3. <i>Определение длины трубы при заложении откоса насыпи $t > 1,5$ и высоте откоса насыпи $h_{он} > 6$ м</i>	38
2.2. Назначение отметок лотка трубы	47
2.3. Выбор группы звена водопроектной трубы по несущей способности	48
2.4. Типы укрепления русел и откосов у труб	49
2.5. Проектирование и определение размеров укрепления русла и откосов у водопроектных труб	52
2.5.1. <i>Укрепление русла на выходе</i>	52
2.5.2. <i>Укрепление русла на входе</i>	59
2.5.3. <i>Укрепление откосов насыпей у трубы</i>	60

2.6. Составление чертежа водопропускной трубы	61
2.6.1. Продольный разрез трубы	61
2.6.2. Поперечные разрезы тела трубы	64
2.6.3. План трубы	69
2.6.4. Деталь стыка звеньев трубы, сопряжение откосов и русла	71
2.6.5. Составление спецификации элементов трубы	74
2.6.6. Основная надпись	75
2.7. Определение объемов работ по строительству водопропускной трубы	76
2.7.1. Устройство тела трубы	77
2.7.2. Устройство противофильтрационного экрана	87
2.7.3. Устройство ковша размыва	89
2.7.4. Укрепление русла и откосов	90
Раздел 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА	94
3.1. Определение бытовых характеристик водотока	94
3.2. Определение отверстия моста	98
3.2.1. Определение отверстия моста минимальной длины	99
3.2.2. Определение отверстия моста с уширенным руслом	102
3.2.3. Определение отверстия моста при сохранении пойм	109
3.2.4. Определение пикетного положения начала и конца отверстия моста	112
3.3. Проектирование струенаправляющих дамб	112
3.3.1. Расчет очертания оси СНД в плане	112
3.3.2. Поперечный профиль струенаправляющих дамб	114
3.4. Проектирование продольного и поперечного профиля	119
3.4.1. Проектирование продольного профиля мостового перехода	119
3.4.2. Проектирование поперечного профиля насыпей подходов	131
3.5. Чертеж «План мостового перехода»	133
ЛИТЕРАТУРА	137

ВВЕДЕНИЕ

Водотоки делятся на малые (суходолы, ручьи) и большие (реки). Такое деление вызвано различием в методике определения расчетного расхода.

Расчетный расход – это объем воды (м^3), протекающий через поперечное сечение водотока в секунду при паводках заданной вероятности превышения (1–3 %).

На больших водотоках (реках) при определении расчетного расхода используют данные многолетних наблюдений гидрометеослужбы о максимальных уровнях и расходах воды на водомерных постах. На малых водотоках таких данных нет и расчетный расход определяют по эмпирическим формулам.

В равнинной местности воду, протекающую по водотоку, пропускают под автомобильной дорогой с помощью водопропускных сооружений.

В качестве водопропускных сооружений на автомобильных дорогах, пересекающих малые водотоки, применяют круглые и прямоугольные трубы и малые мосты (длиной до 25 м).

На пересечении больших водотоков проектируют мостовые переходы, основным элементом которых являются большие мосты.

Раздел 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО РАСХОДА ВОДЫ И ОТВЕРСТИЯ ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ

Отверстия водопропускных сооружений на пересечении малого водотока определяются величиной расхода заданной вероятности превышения при паводках от снеготаяния или ливня. Вероятность превышения паводка равна 1 % для дорог I категории, 2 % – для дорог II и III категории и 3 % – для дорог IV и V категорий, 10 % – для дорог VI категории [4].

1.1. Определение расчетного расхода талых вод по методике А. П. Лебедева

В курсовом проекте расчетный расход талых вод вычисляется по формуле А. П. Лебедева.

Формула А. П. Лебедева [3] имеет вид:

$$Q_{\text{сн}} = \frac{0,56 \cdot h_n \cdot F}{(1 + \alpha) \cdot \gamma \cdot t_n} \cdot \delta_{\text{л}} \cdot \delta_{\text{б}} \cdot \lambda, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.1)$$

где F – площадь водосбора, км²;

h_n – слой стока в фазе подъема половодья расчетной вероятности превышения 1 % (табл. 1.1), мм;

α – коэффициент формы гидрографа (табл. 1.2);

γ – коэффициент полноты гидрографа (табл. 1.2);

t_n – продолжительность подъема половодья в сутки максимальной интенсивности снеготаяния (в часах), складывается из продолжительности водоотдачи на склоны t_c (табл. 1.2) и продолжительности стекания по логу $t_{\text{л}}$, определяемой по формуле

$$t_{\text{л}} = \frac{1,85 \cdot L}{Q_3^{1/4} \cdot J_0^{1/3}}, \text{ ч}, \quad (1.2)$$

где L – длина лога от водораздела до створа, км;

Q_3 – расчетный расход, которым предварительно задаются, м³/с;

J_0 – общий уклон лога от водораздела до створа, ‰;

λ – коэффициент, зависящий от вероятности превышения: равен 1 – при ВП = 1 %, 0,87 – при ВП = 2 % и 0,81 – при ВП = 3 %;

δ_d – коэффициент, учитывающий снижение расхода в связи с залесенностью бассейна f_d (табл. 1.3);

δ_6 – то же в связи с заболоченностью бассейна (табл. 1.4).

Таблица 1.1

Слой стока h_n

Районы Республики Беларусь (райцентры)	Грунты		
	Пески	Супеси	Суглинки, глины
Малорита, Драгичин, Высокое, Пружаны, Кобрин, Брест, Пинск, Мозырь, Петриков, Столин, Хойники, Калинковичи, Лоев	7	10	12
Ошмяны, Мосты, Щучин, Новогрудок, Гродно, Лида, Островец, Волковыск, Молодечно, Барановичи, Слуцк, Дзержинск, Столбцы, Слоним, Солигорск, Старые дороги, Гомель, Ляховичи, Воложин, Брагин, Лунинец, Ивацевичи, Береза, Речица	9	12	15
Минск, Мядель, Вилейка, Логойск, Смолевичи, Червень, Докшицы, Поставы, Борисов, Бобруйск, Быхов, Краснополье, Крупки, Осиповичи, Рогачев, Жлобин, Светлогорск, Ветка, Чечерск	12	15	18
Шклов, Дубровно, Чаусы, Чериков, Лизно, Костюковичи, Климовичи, Мстиславль, Чашники, Браслав, Полоцк, Витебск, Лепель, Орша, Могилев, Бешенковичи, Сенно, Шумилино, Городок, Рассоны, Верхнедвинск, Шарковщина, Глубокое, Миоры	14	18	20

Таблица 1.2

Значения коэффициентов α , γ , t_c

№ географического района	α	γ	t_c , ч
1	0,10	0,77	3
2	0,15	0,79	4
3	0,20	0,81	5

Примечание. Географический район № 1 – южнее северной широты 53° (линии Волковыск–Барановичи–Слуцк–Рогачев), географический район № 2 – севернее этой линии и южнее широты 55° (линии Поставы–Глубокое–Бешенковичи–Лиозно), географический район № 3 – севернее последней линии.

Таблица 1.3

Значение коэффициента δ_l

f_l	Залесенность бассейна, %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,20	1,00	0,87	0,81	0,70	0,64	0,58	0,53	0,50	0,46	0,43	0,41
0,25	1,00	0,88	0,81	0,72	0,67	0,61	0,57	0,53	0,50	0,47	0,44
0,30	1,00	0,90	0,82	0,74	0,70	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47
0,35	1,00	0,90	0,83	0,75	0,71	0,65	0,61	0,57	0,54	0,51	0,48

Таблица 1.4

Значение коэффициента δ_b

Заболоченность бассейна %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
δ_b	1,0	0,92	0,85	0,79	0,74	0,71	0,65	0,61	0,58	0,55	0,53

Значение общей лесистости f_l может быть определено по карте лесистости зоны. Можно принять среднюю относительную лесистость f_l :

- для Витебской области – 0,25;
- Гродненской области – 0,20;
- Брестской, Гомельской и Могилевской областей – 0,35;
- Минской области – 0,30.

Порядок определения расчетного расхода снеготаяния

1. Для заданных районов строительства и грунтов по табл. 1.1 определяют значение h_n для ВП = 1 %.
2. Показатели α , γ , $\delta_{л}$, $\delta_{б}$ принимают по табл. 1.2 и 1.3.
3. Задаваясь при первой попытке значением $Q_3 = F$, определяют $t_{л}$ по формуле (1.2) и затем находят $t_n = t_{л} + t_c$.
4. По формуле (1.1) вычисляют $Q_{сн}$. Если полученный расход будет отличаться от Q_3 не более чем на 5 %, то расчет закончен. В противном случае его следует повторить при другом значении Q_3 до получения необходимого результата.

Пример

Исходные данные. Дорога II технической категории проходит в Полоцком районе и пересекает водоток площадью водосбора $3,62 \text{ км}^2$, длиной главного лога $2,64 \text{ км}$. Общий уклон лога – $5,54 \%$. Грунты водосбора – супеси. Залесенность водосбора 10% , болота отсутствуют.

Определить расчетный расход от таяния снега.

Решение. По табл. 1.1 для Полоцкого района и супеси принимаем слой стока $h_n = 18 \text{ мм}$. По табл. 1.2, 1.3 назначаем для географического района № 3 $\alpha = 0,20$, $\gamma = 0,81$, $\delta_{л} = 0,88$ и $t_c = 5 \text{ ч}$.

Задаемся расходом воды $Q_3 = 3,6 \text{ м}^3/\text{с}$ и определяем время стекания воды по логу по формуле (1.2):

$$t_{л} = \frac{1,85 \cdot L}{Q_3^{1/4} \cdot J_0^{1/3}} = \frac{1,85 \cdot 2,64}{3,6^{1/4} \cdot 5,54^{1/3}} = 1,97 \text{ ч};$$

$$t_n = t_{л} + t_c = 1,97 + 5 = 6,97 \text{ ч}.$$

Вычислим расход от таяния снега по формуле (1.1):

$$Q_{сн} = \frac{0,56 \cdot 18 \cdot 3,62}{(1 + 0,20) \cdot 0,81 \cdot 6,97} \cdot 0,88 \cdot 1 \cdot 0,87 = 4,12 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Полученный расход отличается от заданного более чем на 5 %. Примем $Q_3 = 4,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Вычислим $t_{л} = 1,95$; $t_n = 6,95$; $Q_{сн} = 4,1 \text{ м}^3/\text{с}$.

Полученный расход отличается от заданного на 0,1 м³/с, что составляет 2,5 %. Принимаем $Q_{\text{сн}} = 4,1 \text{ м}^3/\text{с}$.

1.2. Определение расчетного расхода ливневых вод

В курсовом проекте расчетный расход ливневых вод вычисляется по методике «Союздорпроекта» (А. П. Лебедев и О. В. Андреева). Для дальнейшего проектирования принимается большее значение расхода ливневых вод.

1.2.1. Определение расчетного расхода ливневых вод по методике Союздорпроекта

Расчетный расход ливневых вод вычисляется по методике «Союздорпроекта», изложенной в ТКП 200–2009 [2]:

$$Q_{\text{л}} = 16,7 \cdot a_{\text{р}} \cdot \alpha_{\text{р}} \cdot F \cdot \varphi \cdot K_i \cdot K_{\text{ф}} \cdot \delta_{\text{б}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.3)$$

где $a_{\text{р}}$ – расчетная интенсивность осадков, мм/мин, определяется по формуле (1.4);

$\alpha_{\text{р}}$ – расчетный коэффициент склонового стока, определяется по формуле (1.7);

F – площадь водосбора, км²;

φ – коэффициент редукции стока, в зависимости от площади водосбора определяется по формуле (1.10);

K_i – коэффициент, учитывающий влияние крутизны склонов на расчетный расход, определяется по формуле (1.11);

$K_{\text{ф}}$ – коэффициент, учитывающий форму водосбора, определяется по формуле: $K_{\text{ф}} = F/L^2$, где L – длина водосбора;

$\delta_{\text{б}}$ – коэффициент, учитывающий снижение расхода при наличии болот, озер, определяется по формуле (1.12).

Расчетная интенсивность осадков вычисляется по формуле:

$$a_{\text{р}} = a_{\text{час}} \cdot K_t, \text{ мм/мин}, \quad (1.4)$$

где $a_{\text{час}}$ – максимальная часовая интенсивность ливня, определяемая по формуле для заданной вероятности превышения ВП в процентах:

$$a_{\text{час}} = 0,9324 \cdot \text{ВП}^{-0,2211}, \text{ мм/мин}, \quad (1.5)$$

K_t – коэффициент редукиции часовой интенсивности ливня, зависящий от площади водосбора:

$$K_t = 1,2927 / F^{0,127}. \quad (1.6)$$

Расчетный коэффициент склонового стока

$$\alpha_p = \alpha_0 \cdot \delta_e, \quad (1.7)$$

где α_0 – коэффициент склонового стока при полном насыщении почв водой, определяется по формуле

$$\alpha_0 = 0,6621 - 0,0551 \cdot \text{ВП}, \quad (1.8)$$

δ_e – коэффициент, учитывающий естественную аккумуляцию стока на поверхности водосбора в зависимости от залесенности и почвогрунтов, определяемый при сплошной залесенности при однородных грунтах по всему водосбору по формуле:

$$\delta_e = 1 - \gamma_r \cdot \beta, \quad (1.9)$$

где γ_r – коэффициент, учитывающий различную проницаемость почвогрунтов на склонах водосбора (принимается равным 0,04–0,09 при суглинках, 0,05–0,09 при супесях, песках, задернованных почвах и 0,15–0,20 в лесу);

β – коэффициент, учитывающий состояние почвогрунтов к началу формирования расчетного паводка, принимается равным 1,05–1,10 для суглинков и 1,10–1,15 для супесей и песков.

Коэффициент редукиции максимального стока

$$\varphi = \left(\sqrt[4]{10 \cdot F} \right)^{-1}. \quad (1.10)$$

Коэффициент, учитывающий крутизну склонов:

$$K_i = 0,0023J_0 + 0,8008, \quad (1.11)$$

где J_0 – общий уклон водосбора, ‰.

Коэффициент, учитывающий наличие на площади водосбора болот, озер:

$$\delta_{\bar{6}} = 1 - f_{\bar{6}} - f_{\text{оз}}, \quad (1.12)$$

где $f_{\bar{6}}$, $f_{\text{оз}}$ – относительные (в долях единицы) значения заболоченности и озерности.

Пример 1

Исходные данные. Трасса дороги II технической категории пересекает малый водоток с площадью водосбора $F = 3,62 \text{ км}^2$, длиной главного лога $L = 2,64 \text{ км}$. Общий уклон лога $J_0 = 20 \text{ ‰}$. Грунты водосбора – суглинки. Заболоченность 10 ‰.

Определить максимальный расход воды, притекающий к трубе в период ливня.

Решение. Примем вероятность превышения паводка 2 ‰ для дороги II технической категории.

По формуле (1.3) находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{л}} &= 16,7 \cdot a_{\text{р}} \cdot \alpha_{\text{р}} \cdot F \cdot \varphi \cdot K_i \cdot K_{\text{ф}} \cdot \delta_{\bar{6}} = \\ &= 16,7 \cdot 1,20 \cdot 0,50 \cdot 3,62 \cdot 0,41 \cdot 0,85 \cdot 0,52 \cdot 0,9 = 5,91 \text{ м}^3/\text{с}. \end{aligned}$$

Составляющие данной формулы вычислены по формулам (1.4)–(1.11):

$$a_{\text{р}} = a_{\text{час}} \cdot K_t = 0,80 \cdot 1,51 = 1,20 \text{ мм/мин};$$

$$a_{\text{час}} = 0,9324 \cdot \text{ВП}^{-0,2211} = 0,9324 \cdot 2^{-0,2211} = 0,80 \text{ мм/мин};$$

$$K_t = 1,2927 / F^{0,127} = 1,2927 / 3,62^{0,127} = 1,51;$$

$$\alpha_p = \alpha_0 \cdot \delta_e = 0,55 \cdot 0,9 = 0,50;$$

$$\alpha_0 = 0,6621 - 0,0551 \cdot \text{ВП} = 0,6621 - 0,0551 \cdot 2 = 0,55;$$

$$\delta_e = 1 - \gamma_r \cdot \beta = 1 - 0,09 \cdot 1,1 = 0,9;$$

$$\varphi = \left(\sqrt[4]{10 \cdot F} \right)^{-1} = \left(\sqrt[4]{10 \cdot 3,62} \right)^{-1} = 0,41;$$

$$K_i = 0,0023 J_0 + 0,8008 = 0,0023 \cdot 20 + 0,8008 = 0,85;$$

$$K_\phi = F / L^2 = 3,62 / 2,64^2 = 0,52;$$

$$\delta_\sigma = 1 - 0,10 = 0,90.$$

Пример 2

Исходные данные принять по примеру 2 кроме длины главного лога: $L = 1,80$ км.

Решение. Примем вероятность превышения паводка 2 % для дороги II технической категории.

По формуле (1.3) находим расчетный расход от ливня:

$$\begin{aligned} Q_{\text{л}} &= 16,7 \cdot a_p \cdot \alpha_p \cdot F \cdot \varphi \cdot K_i \cdot K_\phi \cdot \delta_\sigma = \\ &= 16,7 \cdot 1,20 \cdot 0,50 \cdot 3,62 \cdot 0,41 \cdot 0,85 \cdot 1,12 \cdot 0,9 = 12,73 \text{ м}^3/\text{с}. \end{aligned}$$

$$K_\phi = F / L^2 = 3,62 / 1,80^2 = 1,12.$$

Сравнение полученных по формуле (1.3) расчетных расходов показывает очень сильное влияние на их величины формы водосбора.

1.2.2. Определение расчетного расхода ливневых вод по методике А. П. Лебедева

Максимальный расчетный расход ливневых вод [3]

$$Q_{\text{л}} = 0,56 \cdot \alpha_{1p} \cdot J_0^{0,3} \cdot F \cdot \delta \cdot \lambda, \quad (1.13)$$

где α_{1p} – расчетная интенсивность водоотдачи при общем уклоне лога $J_0 = 1 \%$;

J_0 – общий уклон лога, %;

F – площадь водосбора, км²;

δ – коэффициент снижения расхода вследствие залесенности и заболоченности водосбора;

λ – переходной коэффициент, зависящий от вероятности превышения паводка: $\lambda = 1$ при ВП = 1 %; $\lambda = 0,85$ при ВП = 2 %; $\lambda = 0,77$ при ВП = 3 %.

Расчетная интенсивность водоотдачи при общем уклоне лога $J_0 = 1 \%$:

$$\alpha_{1p} = K / (F + 0,15)^{0,43}, \quad (1.14)$$

где K – эмпирический коэффициент, величина которого зависит от рельефа водосбора.

Для суходольных и периодически действующих водотоков, протекающих в зоне возвышенностей и гряд, $K = 6,1$. Для водотоков, протекающих в зоне равнин и низин с уклоном склонов менее 10 % – $K = 1,2$.

Величина коэффициента δ вычисляется по формуле

$$\delta = 1 - 0,8f_{л} - f_{бол} - f_{оз}, \quad (1.15)$$

где $f_{л}$, $f_{бол}$, $f_{оз}$ – относительные (в долях единицы) значения лесистости, заболоченности и озерности водосбора.

Для водосборов, сложенных легкодренирующими грунтами (песками, легкими супесями), залесенность не учитывается.

Пример 3

Исходные данные. Дорога II технической категории пересекает малый водоток с площадью водосбора $F = 3,62$ км². Длина водосбора 2,64 км, общий уклон $J_0 = 20 \%$ и $J_0 = 5 \%$.

Определить расчетный расход от ливня.

Решение. Вычислим по формуле (1.10) величину α_{1p} при $J_0 = 20 \%$ и при $J_0 = 5 \%$:

$$\alpha_{1p,20} = \frac{6,1}{(3,62 + 0,15)^{0,43}} = 3,43;$$

$$\alpha_{1p,30} = \frac{1,2}{(3,62 + 0,15)^{0,43}} = 0,68.$$

Расчетный расход при $J_0 = 20 \%$

$$Q_{л} = 0,56 \cdot 3,43 \cdot 20^{0,3} \cdot 3,62 \cdot 0,85 = 14,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расчетный расход при $J_0 = 5 \%$

$$Q_{л} = 0,56 \cdot 0,68 \cdot 5^{0,3} \cdot 3,62 \cdot 0,85 = 1,9 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Сравнение полученных по формуле (1.6) расчетных расходов показывает очень сильное влияние на их величину рельефа водосбора.

1.2.3. Определение расчетного расхода от ливня по методике О. В. Андреева

Расчетный расход определяется по формуле [4]

$$Q_{л} = 16,7 \cdot \alpha_{ч} \cdot K_t \cdot F \cdot \alpha \cdot \varphi, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.16)$$

где $\alpha_{ч}$ – интенсивность ливня часовой продолжительности (мм/мин), для климатических условий Республики Беларусь равна 0,97 при ВП = 1 %, 0,82 при ВП = 2 % и 0,75 при ВП = 3 %;

K_t – коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности $\alpha_{ч}$ к интенсивности ливня расчетной продолжительности, определяется по формуле (1.17);

F – площадь водосбора, км²;

α – коэффициент потерь стока (табл. 1.5);

φ – коэффициент редукции, учитывающий неполноту стока в связи с неравномерностью стока по площади водосбора, определяется по формуле (1.10).

Расчетная продолжительность ливня равна времени добегаания воды от наиболее удаленной части водосбора до замыкающего створа (до дороги).

Коэффициент K_t для задержанных поверхностей по формуле:

$$K_t = \frac{5,5}{L^{2/3}} \cdot J_0^{1/6}, \quad (1.17)$$

где L – длина водосбора,

J_0 – общий уклон водосбора в долях единицы.

Таблица 1.5

Коэффициент потерь стока α

Вид и характер поверхности	$F, \text{ км}^2$	
	$F = 0,1-10$	$F = 10-100$
Суглинки	0,55–0,90	0,50–0,75
Супеси	0,20–0,55	0,20–0,45
Песчаные почвы	0,15–0,20	0,10

Примечание. Меньшие значения соответствуют суточным слоям осадков $H < 80$ мм, большие значения – $H > 200$ мм, промежуточные вычислять методом интерполяции. В курсовом проекте принимать для $H < 80$ мм.

Пример 4

Исходные данные. Дорога II технической категории (ВП = 2 %). Площадь водосбора 3,62 км², длина водосбора 2,64 км. Общий уклон лога 15 % (вариант 1) и 30 % (вариант 2), грунты: а) суглинки; б) супеси.

Определить расчетный расход ливневых вод.

Решение. Вычислим по формуле (1.6) K_t при $J_0 = 15 \%$ и K_t при $J_0 = 30 \%$, а также φ по формуле (1.7).

$$K_{t,15} = \frac{5,50 \cdot 0,015^{1/6}}{2,64^{2/3}} = 1,43;$$

$$K_{t,30} = \frac{5,50 \cdot 0,030^{1/6}}{2,64^{2/3}} = 1,61.$$

$$\varphi = \frac{1}{(10 \cdot 3,62)^{0,25}} = 0,41.$$

Расчетный расход от ливня при $J_0 = 15 \%$ и суглинках ($\alpha = 0,55$):

$$Q_{\text{л}} = 16,7 \cdot 0,82 \cdot 1,43 \cdot 3,62 \cdot 0,41 \cdot 0,55 = 15,98 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расчетный расход от ливня при $J_0 = 15 \%$ и супесях ($\alpha = 0,20$):

$$Q_{\text{л}} = 16,7 \cdot 0,82 \cdot 1,43 \cdot 3,62 \cdot 0,41 \cdot 0,20 = 5,81 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Если общий уклон J_0 водосбора $J_0 = 30 \%$, то расчетный расход при суглинках по формуле (1.17) равен $Q_{\text{л}} = 18,00 \text{ м}^3/\text{с}$, при супесях – $Q_{\text{л}} = 6,52 \text{ м}^3/\text{с}$.

Сравнение полученных по формуле (1.16) расчетных расходов показывает, что их величина очень сильно зависит от вида грунта водосбора.

1.3. Построение графика зависимости расхода воды от глубины

График зависимости расхода от глубины воды $Q = f(h)$ необходим для определения бытовой глубины h_6 во время расчетного паводка в нестесненном живом сечении водотока после пересечения его дорогой. В качестве расчетного расхода принимают сбросной расход, на который проектируется водопропускное сооружение.

Для построения графика зависимости расхода воды от глубины $Q = f(h)$ задаются несколькими уровнями воды H и для каждого из них вычисляют глубину потока h на вертикалях, скорости потока на вертикалях, элементарные расходы.

Скорость на вертикалях при глубине воды h_i вычисляют по формуле

$$V = m \cdot h_i^{2/3} \cdot J_c^{1/2}, \quad (1.18)$$

где m – коэффициент, учитывающий шероховатость лога и склонов;
 J_c – уклон лога у сооружения в долях единицы.

Назначается для ровного земляного русла – 25, извилистого или заросшего русла (ручей) – 20, сильно заросшего – 10–15.

Элементарный расход на вертикалях рассчитывается по формуле

$$q_i = V_i \cdot h_i. \quad (1.19)$$

Расход в элементе живого сечения при расстоянии между вертикалями L_i рассчитывается по формуле

$$Q_i = 0,5(q_{i+1} + q_i)L_i, \quad (1.20)$$

где (q_{i+1}, q_i) – элементарные расходы на соседних вертикалях.

По данным об элементарных расходах строят их эпюру по ширине живого сечения потока. Суммарный расход при данном уровне равен площади эпюры элементарных расходов.

Результаты расчетов оформляют в табличной форме (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Определение расчетного расхода

Заданный уровень H	Отметка дна на вертикали H_i	Глубина на вертикали h_i	Скорость на вертикали V_i	Элементарный расход на вертикали q_i	Расстояние между вертикалями L_i	Q_i , м ³ /с

Пример

Исходные данные. Уклон водотока у сооружения 10 ‰, русло сильно заросшее ($m = 15$).

Поперечное сечение водотока характеризуется черными отметками, приведенными в метрах:

Пикет, плюс	0 + 00	0 + 10	0 + 15	0 + 18	0 + 21	0 + 24	0 + 29	0 + 36
Отметки	68,00	67,50	67,00	66,00	66,00	67,00	67,50	68,00

Требуется построить график зависимости $Q = f(h)$.

Задаем уровень воды 67,00, вычисляем глубины (рис. 1.1, а) на вертикалях, соответствующих точкам 0 + 18, 0 + 21, и вычисляем скорости движения воды по формуле (1.18), элементарные расходы по формуле (1.19). Эти данные заносим в табл. 1.7 и строим эпюру элементарных расходов (рис. 1.1, а). Эта эпюра состоит из двух треугольников и прямоугольника. Вычисляем их площадь и заносим в табл. 1.7 (графа 7). Суммарная площадь эпюры равна расходу при уровне 67,00.

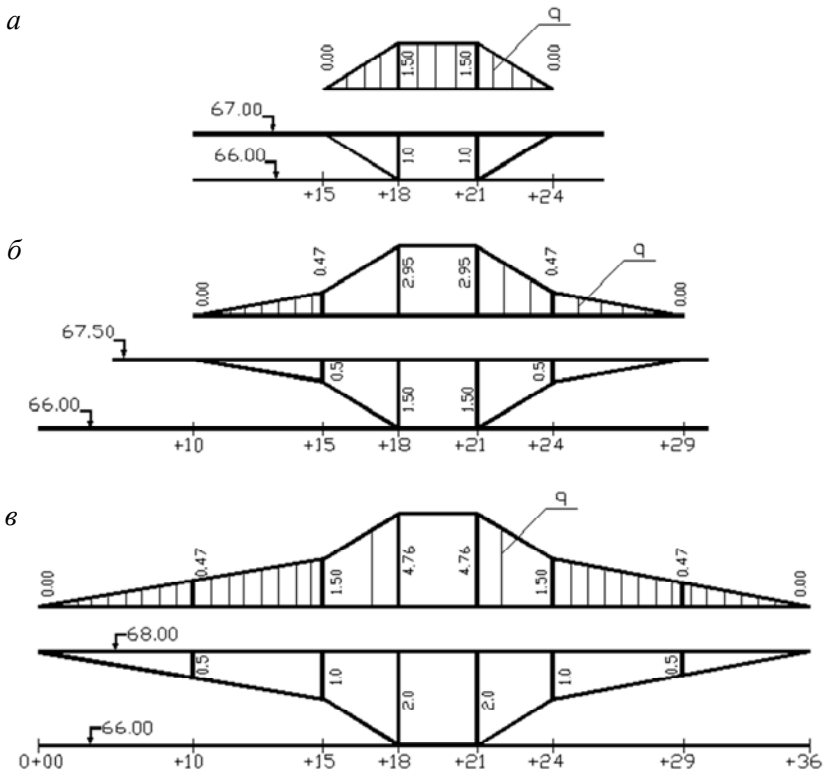


Рис. 1.1. Живое сечение водотока и эпюра элементарных расходов воды при уровнях: а – 67,00; б – 67,50; в – 68,00

Принимаем отметки уровня 67,50 и 68,00 и проводим аналогичные вычисления. Строим эпюры элементарных расходов (рис. 1.1, б, в), вычисляем их площади (табл. 1.7), равные расходами при уровнях 67,50 и 68,00. Уровням 67,00; 67,50 и 68,00 (рис. 1.1) соответствуют максимальные глубины 1,0; 1,50; и 2,0 м и расходы (табл. 1.7) 9,0; 21,47 и 47,66 м³/с.

Таблица 1.7

Определение расчетного расхода
(пример)

Заданный уровень H	Отметка дна H_i	Глубина h_i	Скорость V_i	Элементарный расход q_i	Расстояние L_i	Q_i
67,00	67,00	0,0	0,00	0,00	3	2,25
	66,00	1,0	1,50	1,50	3	4,50
	66,00	1,0	1,50	1,50	3	2,25
	67,00	0,0	0,00	0,00	–	–
	Сумма					
67,50	67,50	0,0	0,000	0,000	5	1,181
	67,00	0,5	0,945	0,472	3	5,131
	66,00	1,5	1,966	2,948	3	8,845
	66,00	1,5	1,966	2,948	3	5,131
	67,00	0,5	0,945	0,472	5	1,181
	67,50	0,0	0,000	0,000	–	–
Сумма						21,47
68,00	68,00	0,0	0,000	0,000	10	2,362
	67,50	0,5	0,945	0,472	5	4,931
	67,00	1,0	1,500	1,500	3	9,393
	66,00	2,0	2,381	4,762	3	14,287
	66,00	2,0	2,381	4,762	3	9,393
	67,00	1,0	1,500	1,500	5	4,931
	67,50	0,5	0,945	0,472	10	2,362
	68,00	0,0	0,000	0,000	–	–
Сумма						47,66

По полученным данным строим график зависимости расхода воды от глубины $Q = f(h)$ (рис 1.2).

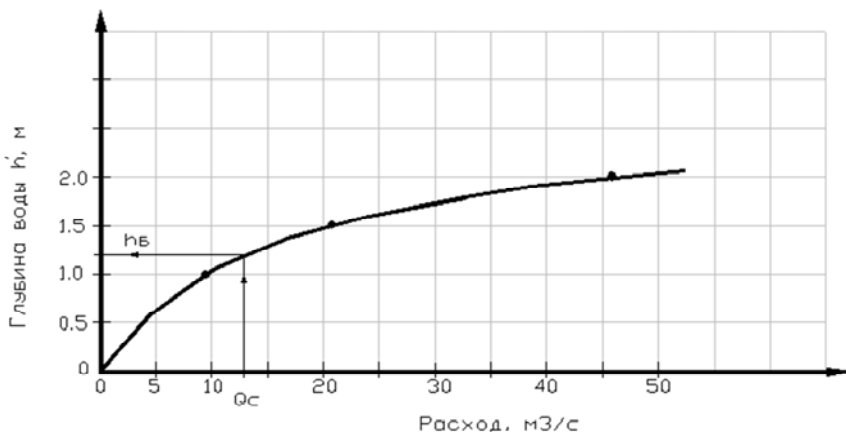


Рис. 1.2. График зависимости $Q = f(h)$ по данным примера 1 § 3

1.4. Определение отверстия круглой железобетонной водопропускной трубы

В разделе 1 курсового проекта рассматриваются вопросы проектирования круглых водопропускных труб. В настоящее время широко применяют железобетонные трубы типа ТВ отверстием 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6 и 2,0 м. В последнее время начали применять металлические (гофрированные) трубы с отверстием 1,8...3,8 м.

Водопропускные трубы на автомобильных дорогах проектируют на безнапорный режим прохождения воды в трубе. Для определения отверстия трубы пользуются таблицами пропускной способности трубы или рассчитывают отверстие трубы по формулам.

В табл. 1.8 приведены расчетный расход Q , критическая глубина $h_{кр}$, критический уклон $J_{кр}$, глубина воды перед трубой H , скорость на выходе $V_{вых}$ для одноочковых оголовочных круглых железобетонных труб отверстием 1,0; 1,2; 1,4 и 1,6 м. В случае многоочковых оголовочных труб пропускная способность трубы увеличивается пропорционально количеству очков. Например, одноочковая оголовочная труба отверстием 1,20 м при глубине воды перед трубой 1,50 м пропускает расход 2,50 м³/с. Двухочковая оголовочная труба отверстием 1,20 м при той же глубине воды 1,50 м пропускает $2 \times 2,50$ м³/с. Остальные показатели ($h_{кр}$, $J_{кр}$, $V_{вых}$) одинаковы, как для одноочковой трубы.

В случае безоголовочных труб пропускная способность снижается. При использовании табл. 1.8 следует вводить понижающий коэффициент 0,83. Так, безоголовочная труба отверстием 1,20 м при глубине воды 1,50 м пропускает расход $0,83 \times 2,50 = 2,08 \text{ м}^3/\text{с}$.

Табл. 1.8 составлена для незатопленного истечения воды из трубы. Поэтому при использовании табл. 1.8 следует проверять критерий такого истечения:

$$h_{\text{б}} < 1,3h_{\text{кр}}, \quad (1.21)$$

где $h_{\text{б}}$, $h_{\text{кр}}$ – бытовая и критическая глубина.

Величина отверстия трубы зависит от значения расчетного расхода при паводках от ливня летом и от таяния снега весной.

Если расход ливневых вод окажется больше расхода от снеготаяния, то величину сбросного расхода во время ливня устанавливают с учетом аккумуляции ливневых вод. В курсовом проекте в учебных целях для случая, когда расход от снеготаяния больше расхода от ливня, условно меняют эти расходы местами, рассчитывают аккумуляцию стока ливневых вод.

Аккумуляция ливневых вод перед дорогой происходит вследствие уменьшения живого сечения водотока насыпью автомобильной дороги. Живое сечение водопропускной трубы меньше живого сечения несжатого потока. Перед дорогой образуется пруд объемом

$$W_{\text{пр}} = \frac{(m_1 + m_2)H^3}{6 \cdot J_c}, \text{ м}^3, \quad (1.22)$$

где m_1 и m_2 – крутизна склонов водосбора;

J_c – уклон лога у сооружения, в долях единицы.

Сбросной расход, проходящий через водопропускное сооружение при уровне H , определяют по формуле

$$Q_c = Q_{\text{л}} \left(1 - \frac{W_{\text{пр}}}{0,7 \cdot W} \right), \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.23)$$

где $Q_{\text{л}}$ – максимальный расчетный расход без учета аккумуляции, $\text{м}^3/\text{с}$;

W – общий объем стока за паводок [3]:

$$W = 1000 \cdot h_1 \cdot F, \text{ м}^3, \quad (1.24)$$

где F – площадь водосбора, км²;

h_1 – слой стока при паводке по [3]:

$$h_1 = 4 + 2,44 \cdot F^{0,18}, \text{ мм}. \quad (1.25)$$

Для определения отверстия трубы на пропуск паводка от ливня необходимо сначала построить график зависимости сбросного расхода от глубины пруда аккумуляции, пользуясь формулой (1.23).

Для этого задаются различными значениями глубины пруда перед трубой, вычисляют по формуле (1.22) объем пруда $W_{\text{пр}}$ и по формуле (1.23) сбросной расход. Строят зависимость сбросного расхода от глубины пруда (кривая I на рис. 1.3).

При расчете по формуле (1.23) может быть получено отрицательное значение Q_c при объеме пруда, превышающем значение объема стока. Это значение Q_c не принимать для дальнейших расчетов.

Далее используют табл. 1.8 пропускной способности круглых труб.

Таблица 1.8

Пропускная способность круглых труб

$d, \text{ м}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$h_{\text{кр}}, \text{ м}$	$h_{\text{сж}}, \text{ м}$	$J_{\text{кр}}$	$H, \text{ м}$	$V_{\text{вых}}$	
						$i \leq I_{\text{кр}}$	$i > I_{\text{кр}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1,00	0,50	0,40	0,36	0,001	0,64	1,4	1,7
	1,00	0,57	0,52	0,004	0,94	2,4	2,9
	1,40	0,68	0,62	0,004	1,15	2,7	3,3
	1,70	0,75	0,68	0,006	1,27	2,7	3,3
1,20	1,00	0,55	0,50	0,004	0,87	2,3	2,8
	1,50	0,66	0,60	0,005	1,10	2,7	3,2
	2,00	0,77	0,70	0,005	1,29	2,9	3,5
	2,50	0,87	0,79	0,006	1,50	3,2	3,8
	2,60	0,89	0,81	0,006	1,52	3,9	–
1,40	2,50	0,86	0,78	0,006	1,35	2,8	3,4
	2,80	0,91	0,83	0,006	1,46	3,0	3,6
	3,00	0,95	0,86	0,006	1,54	3,1	3,7
	3,50	1,03	0,94	0,007	1,67	3,2	3,9
	3,80	1,06	0,96	0,007	1,78	3,4	4,1

1	2	3	4	5	6	7	8
1,60	2,50	0,80	0,73	0,004	1,31	2,9	3,5
	3,00	0,87	0,79	0,004	1,47	3,1	3,8
	3,50	0,94	0,86	0,004	1,55	3,1	3,8
	4,00	1,02	0,92	0,005	1,70	3,3	4,0
	4,50	1,08	0,98	0,005	1,82	3,5	4,2
	5,00	1,14	1,04	0,005	1,94	3,6	4,3
	5,30	1,18	1,07	0,006	2,04	3,7	4,4

Примечания. d – отверстие одноочковой трубы; Q – расход; H – глубина воды перед трубой; i – уклон трубы; $h_{кр}, J_{кр}$ – критические глубина и уклон; $V_{вых}$ – скорость движения воды на выходе из трубы.

Назначают конкурентоспособные варианты труб. По данным табл. 1.8 строят графики пропускной способности труб с различными отверстиями (кривые 2 и 3 на рис. 1.3)

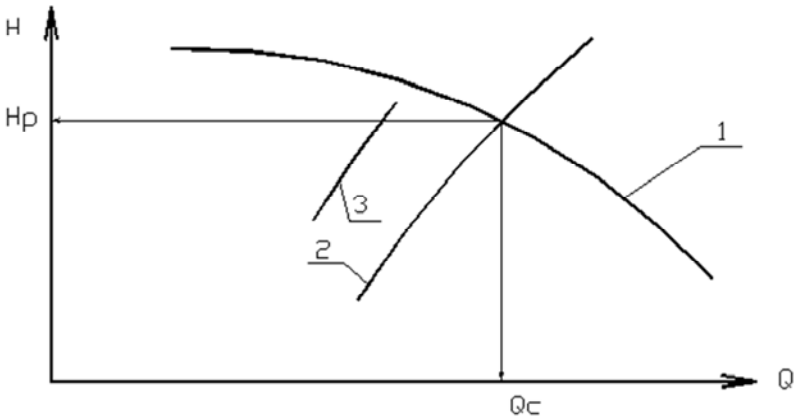


Рис. 1.3. Графическое определение расчетного расхода с учетом аккумуляции:

1 – зависимость $Q_c = f(H)$; 2, 3 – зависимости пропускной способности труб от подпора H

На графике (рис. 1.3) наносят данные всех одно-, двух- и трехчковых труб отверстием d , максимальная пропускная способность которых находится выше кривой 1, а минимальная ниже кривой 1. На пересечении кривых 1 и 2 получают величину сбросного расхода Q_c для данного отверстия.

По [4] допускается снижать сбросной расход за счет аккумуляции не более чем в два раза. Если вариант конкурентоспособной трубы не выполняет это условие, то его отбрасывают. Из всех вариантов труб принимают для дальнейшего рассмотрения вариант с меньшей стоимостью. Для него по графику рис. 1.3 получают сбросной расход Q_c при паводке от ливня.

На малом водотоке весной имеет место паводок от таяния снега, для которого расчетный расход воды $Q_{сн}$. Если окажется, что сбросной расход от ливня Q_c меньше расчетного расхода от таяния снега $Q_{сн}$, то отверстие водопропускной трубы следует назначать исходя из пропуска талых вод с расчетным расходом $Q_{сн}$. Тогда сбросным расходом для водопропускной трубы будет $Q_c = Q_{сн}$.

По сбросному расходу, пользуясь таблицей пропускной способности труб определяют критический уклон $J_{кр}$, критическую глубину $h_{кр}$, глубину воды перед трубой и скорость на выходе $V_{вых}$, приняв продольный уклон трубы i равным уклону лога у сооружения, т. е. $i = J_c$. Для сбросного расхода Q_c по графику $Q_c = f(h)$ (рис. 1.2) определяют бытовую глубину $h_б$ и проверяют режимы истечения по условию (1.24). Необходимо, чтобы истечение из трубы было свободным ($h_б \leq 1,3h_{кр}$), для которого составлена таблица пропускной способности труб.

Пример

Исходные данные. Сечение водотока имеет форму двух плоскостей с заложением откосов 1 : 150 и 1 : 100. Уклон лога у сооружения 10 ‰. Площадь водосбора 6 км². Максимальный расход от ливня 6 м³/с, от таяния снега – 4 м³/с.

Определить сбросной расход с учетом аккумуляции ливневых вод.

Решение. Назначаем глубину воды 1,0 м и по формуле (1.22) вычисляем объем пруда:

$$W_{пр} = \frac{(150 + 100)1^3}{6 \cdot 0,01} = 4167 \text{ м}^3.$$

По формуле (1.24) с учетом формулы (1.25) вычисляем общий объем стока за паводок:

$$W = 1000(4 + 2,44 \cdot F^{0,18})F = 1000(4 + 2,44 \cdot 6^{0,18})6 = 24\,000 \text{ м}^3.$$

Сбросной расход по формуле (1.23):

$$Q_c = 6 \left(1 - \frac{4167}{0,7 \cdot 24000} \right) = 4,50 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Принимаем глубину 1,25 м и вычисляем $W_{\text{пр}} = 8139 \text{ м}^3$, $Q_c = 3,12 \text{ м}^3/\text{с}$. Назначаем глубину 1,50 м и вычисляем $W_{\text{пр}} = 14\,063 \text{ м}^3$, $Q_c = 0,96 \text{ м}^3/\text{с}$. При глубине воды 1,75 м получаем $Q_c = -1,99 \text{ м}^3/\text{с}$, т. е. Q_c отрицательно. Необходимо уменьшить глубину воды. При $H = 1,58 \text{ м}$ получим $Q_c = 0,18 \text{ м}^3/\text{с}$.

По полученным данным строим график зависимости сбросного расхода от глубины (кривая 1 рис. 1.4). На этот график наносим зависимость пропускной способности труб от глубины воды H перед трубой, пользуясь табл. 1.8.

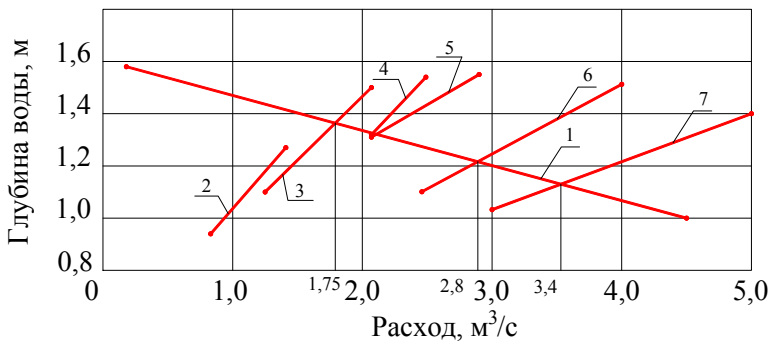


Рис. 1.4. Определение сбросного расхода при аккумуляции:

1 — зависимость сбросного расхода от глубины воды (пример параграфа 1.4);
2, 3, 4, 5, 6, 7 — пропускная способность труб отверстиями 1,0; 1,2; 1,4, 1,6 и $2 \times 1,4$, $2 \times 1,6$

Рассмотрим одноочковые безоголовочные трубы. Данные по величинам пропускных расходов при глубине воды H , приведенные в табл. 1.8, умножаем на 0,83.

Труба отверстием 1,0 м при $H = 1,27$ м пропускает расход $1,7 \cdot 0,83 = 1,41 \text{ м}^3/\text{с}$ и $0,83 \text{ м}^3/\text{с}$ при $H = 0,94$. Нанесем эти точки на график (кривая 2 на рис. 1.4). Кривая 2 не пересекается с кривой 1. Следовательно, одноочковая труба отверстием 1,0 не подходит.

Одноочковая труба с отверстием 1,2 м при глубине $H = 1,50$ м пропускает максимальный расход $0,83 \cdot 2,50 = 2,07 \text{ м}^3/\text{с}$, при $H = 1,10$ м расход $1,25 \text{ м}^3/\text{с}$. Нанесем эти точки на рис. 1.4 (кривая 3). Кривая 3 пересекается с кривой 1 в точке со сбросным расходом $1,75 \text{ м}^3$. Если примем этот сбросной расход, то уменьшение расхода за счет аккумуляции ливневых вод составляет $6,0 / 1,75 > 2$, что недопустимо.

Одноочковая труба с отверстием 1,4 м, при $H = 1,54$ м пропускает $0,83 \cdot 3,0 = 2,49 \text{ м}^3/\text{с}$, при $H = 1,35$ м она пропускает $2,07 \text{ м}^3/\text{с}$. Наносим эти точки на график (кривая 4 рис. 1.4). Кривая 4 пересекается с кривой 1 при сбросном расходе $1,90 \text{ м}^3/\text{с}$. Уменьшение расхода за счет аккумуляции, больше чем в 2 раза, что недопустимо.

Одноочковая труба с отверстием 1,6 м при $H = 1,31$ м пропускает расход $2,07 \text{ м}^3/\text{с}$, при $H = 1,55$ м расход $2,90 \text{ м}^3/\text{с}$. По этим данным построим кривую 5 (рис. 1.4). Она пересекается с кривой 1 при сбросном расходе $2,20 \text{ м}^3/\text{с}$. Уменьшение расхода за счет аккумуляции $6,0 / 2,2 = 2,72$, что также не допустимо. Следовательно, одноочковые трубы не подходят.

Рассмотрим двухочковые трубы отверстием $2 \times 1,4$ и $2 \times 1,6$. Труба отверстием $2 \times 1,4$ при глубине воды $H = 1,54$ м пропускает $2 \cdot 2,49 \text{ м}^3/\text{с}$, при $H = 1,35$ м она пропускает $2 \times 2,07 \text{ м}^3/\text{с}$. По этим точкам наносим на рис. 1.4 кривую 6 и получаем сбросной расход $2,8 \text{ м}^3/\text{с}$. Уменьшение расхода за счет аккумуляции $6,0 / 2,8 > 2$.

Труба отверстием $2 \times 1,6$ при глубине воды $H = 1,31$ м пропускает $4,1 \text{ м}^3/\text{с}$, при $H = 1,55$ м – $5,8 \text{ м}^3/\text{с}$. По этим точкам наносим на рис. 1.4 кривую 7 и получаем сбросной расход $3,4 \text{ м}^3/\text{с}$. Уменьшение расхода за счет аккумуляции $6,0 / 3,4 < 2$.

Следовательно, можно принять с учетом аккумуляции ливневых вод отверстие трубы $2 \times 1,6$ м.

Раздел 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

2.1. Определение длины трубы

В курсовом проекте проектируют круглые безоголовочные трубы. Предварительно проверяют достаточность заданной высоты насыпи по двум условиям:

- по засыпке над трубой;
- по возвышению над уровнем воды перед трубой в расчетный паводок.

$$h_n = d + t + 0,5 + h_{qm} + i_{п} \left(c + \frac{b}{2} \right); \quad (2.1)$$

$$h_n = H + 0,5 + i_o (a_o - c) + i_{п} \left(\frac{b}{2} + c \right), \quad (2.2)$$

где d , t – диаметр и толщина стенки круглой трубы (табл. 2.1);

h_{qm} – толщина монолитных слоев дорожной одежды (по заданию);

$i_{п}$, i_o – поперечный уклон проезжей части, обочин;

c – ширина укрепленной или остановочной полосы;

a_o – ширина обочины;

b – ширина проезжей части двухполосной дороги или одного направления дороги I категории;

H – глубина воды перед трубой, определяется по заданному расходу и заданному отверстию трубы по табл. 1.8.

Таблица 2.1

Основные размеры звена

Диаметр звена, м	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0
Толщина стенки, см	8	13	14	15	16	15
Толщина раструба, см	8,2	11,6	11,6	11,6	10,5	11,6
Длина раструба, см	10	12	12	12	12	13

Если окажется, что полученная по формулам (2.1) и (2.2) высота насыпи больше, чем по заданию, то для дальнейших расчетов принимают большую высоту.

Высота откоса насыпи при нулевом поперечном уклоне местности

$$h_{o,n} = h_n - i_{\text{п}} \left(c + \frac{b}{2} \right) - i_o (a_o - c), \quad (2.3)$$

Длина трубы зависит от ширины дорожного полотна, высоты $h_{o,n}$ и заложения откосов m насыпи.

По ТКП [2] заложение откоса принимается 1 : 4 для дорог I–III категорий при высоте откоса насыпи до 3 м. На дорогах IV и V категорий и высоте откоса насыпи до 2 м заложение откосов – 1 : 3. При большей высоте откоса насыпи (до 6 м) заложение откоса принимается равным $m = 1,5$ при мелких и пылеватых песках и $m = 1,75$ при супесях, суглинках. При высоте откоса насыпи более 6 м заложение откоса в нижней части принимается 1 : 2 при суглинках и супесях и при мелких и пылеватых песках.

На входе и выходе трубы откос насыпи укрепляют монолитным бетоном, бетонными плитами, неткаными геотекстильными полотнами с семенами трав (НГ СТ). При укреплении НГ СТ максимальная крутизна откоса 1 : 1,5. При укреплении монолитным бетоном или бетонными плитами рекомендуется заложение откоса 1 : 1,5.

2.1.1. Определение длины трубы при заложении откоса насыпи $m = 1,5$ и высоте откоса насыпи $h_{o,n} \leq 12$ м

Теоретическая длина трубы (рис. 2.1) с откосом насыпи 1 : 1,5 вычисляется по формуле

$$L_T = B_{\text{д.п}} + 2 \cdot 1,5 \cdot h_{o,n}, \quad (2.4)$$

где $B_{\text{д.п}}$ – ширина дорожного полотна, зависит от категории дороги;

$h_{o,n}$ – высота откоса насыпи, определяются по формуле (2.3).

Фактическая длина трубы определяется по формуле

$$L_{\text{тр}} = 2,5 \cdot n + l_p, \quad (2.5)$$

где n – число звеньев трубы;

l_p – длина раструба звена трубы (табл. 2.1).

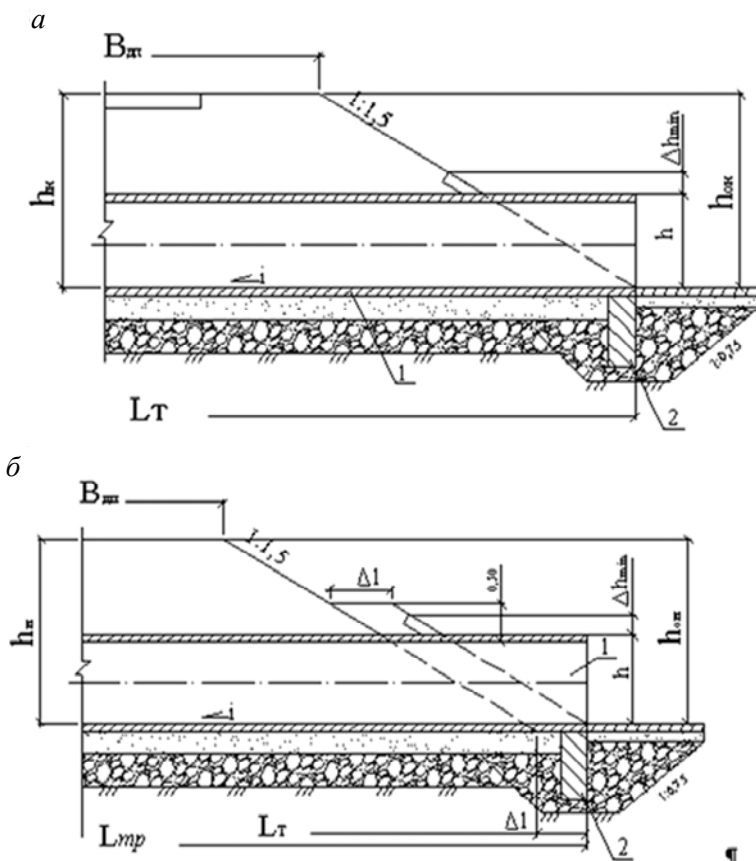


Рис. 2.1. Схема к определению длины трубы при заложении откоса $m = 1,5$:
а – теоретической; *б* – фактической; *1* – звено трубы;
2 – противофильтрационный экран

Число звеньев трубы назначается из условия, чтобы фактическая длина трубы была равна или больше теоретической.

Если $L_{тр} > L_T$, то принимают длину трубы равной фактической $L_{тр}$, полученной по формуле (2.5), отодвигая противофильтрационный экран от оси дороги на входе на величину (рис. 2.1)

$$\Delta l_1 = L_{тр} - L_T. \quad (2.6)$$

Если полученное значение Δl_1 больше 1,0 м, то целесообразно вход и выход трубы отодвинуть от оси дороги на расстояние

$$\Delta l_2 = 0,5 (L_{\text{тр}} - L_{\text{T}}). \quad (2.7)$$

Длина верховой и низовой части трубы при смещении трубы на входе определяется по формулам

$$L_1 = \frac{(0,5 \cdot L_{\text{T}} + (L_{\text{тр}} - L_{\text{T}}))}{(1 + i \cdot m_0)}; \quad (2.8)$$

$$L_2 = \frac{0,5 \cdot L_{\text{T}}}{(1 - i \cdot m_0)}, \quad (2.9)$$

где i – продольный уклон трубы (по заданию);

m_0 – заложение откоса насыпи у трубы.

При смещении начала и конца трубы от оси дороги длины верховой и низовой части трубы вычисляются по формулам:

$$L_1 = \frac{(0,5 \cdot L_{\text{T}} + 0,5 \cdot (L_{\text{тр}} - L_{\text{T}}))}{(1 + i \cdot m_0)} = \frac{0,5 L_{\text{тр}}}{(1 + i \cdot m_0)}; \quad (2.10)$$

$$L_2 = \frac{(0,5 \cdot L_{\text{T}} + 0,5 \cdot (L_{\text{тр}} - L_{\text{T}}))}{(1 - i \cdot m_0)} = \frac{0,5 L_{\text{тр}}}{(1 - i \cdot m_0)}. \quad (2.11)$$

Пример

Исходные данные. Дорога III технической категории ($B_{\text{дп}} = 12,0$ м). Высота насыпи – 4,16 м, заложение откоса – 1 : 1,5, уклон трубы – 0,010.

Определить общую длину трубы и ее составляющие (верховую и низовую).

Решение. По формуле (2.3) вычислим высоту откоса насыпи:

$$h_{0,н} = 4,16 - 0,02 \left(0,5 + \frac{7}{2} \right) - 0,04 (2,5 - 0,5) = 4,0 \text{ м.}$$

Теоретическую длину трубы вычислим по формуле (2.4):

$$L_T = 12 + 2 \cdot 1,5 \cdot 4 = 24 \text{ м.}$$

Фактическая длина трубы определяется по формуле (2.5). При 9 звеньях длина трубы $L_{\text{тр}} = 22,02$ м, что недостаточно. При $n = 10$ длина трубы $L_{\text{тр}} = 25,12$ м, что больше теоретической на $\Delta l_1 = 25,12 - 24,00 = 1,12$ м. Сместим начало и конец трубы от подошвы насыпи на $0,5 \cdot \Delta l_1 = 0,56$ м. Тогда длина верховой части трубы L_1 и низовой L_2 :

$$L_1 = (0,5 \cdot 24 + 0,56) / (1 + 0,010 \cdot 1,5) = 12,37 \text{ м;}$$

$$L_2 = 12,56 / (1 - 0,010 \cdot 1,5) = 12,75 \text{ м.}$$

2.1.2. Определение длины трубы при заложении откоса $m > 1,5$ и высоте откоса насыпи $h_{o,n} \leq 6$ м

Предельная крутизна укрепленного откоса $m_o = 1,5$ (1,35). Поэтому для уменьшения длины трубы перемещаем ее начало и конец от подошвы насыпи к оси дороги (рис. 2.2), принимая откос насыпи у трубы с заложением $1 : m_o$.

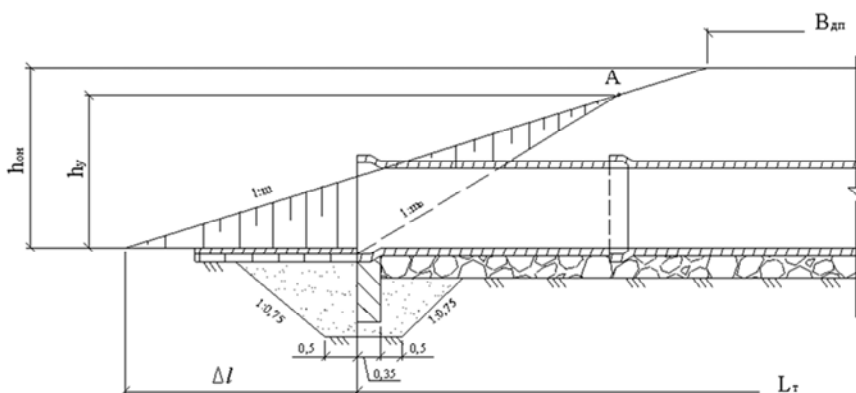


Рис. 2.2. Схема к определению длины трубы при $m > 1,5$ и $h_{o,n} \leq 6$ м

Высота укрепления откоса насыпи у трубы на выходе

$$h_{y2} = d + t + 0,25, \quad (2.12)$$

где d, t – внутренний диаметр трубы, толщина стенки определяются по табл. 2.1.

Если глубина воды перед трубой $H \leq (d + t)$, то и на входе высота укрепления откоса определяется по формуле (2.12). Если же $H > (d + t)$, то высота укрепленного откоса на входе определяется по формуле

$$h_{y1} = H + 0,25, \quad (2.13)$$

где H – глубина воды перед трубой (формула (2.2)).

Назначим сопряжение откосов с заложением $1 : m$ и $1 : m_0$ (точка A на рис. 2.2) на высоте укрепления откоса h_{y1} на входе и h_{y2} на выходе.

Теоретическая длина трубы на входе L_{T1} и на выходе L_{T2} определяется по формулам (2.14) и (2.15). При пользовании этой формулой вначале следует принять высоту откоса насыпи на входе трубы $h_{o.n1}$ и на выходе $h_{o.n2}$ одинаковой, рассчитанной по формуле (2.3), т. е. $h_{o.n1} = h_{o.n2} = h_{o.n}$:

$$L_{T1} = 0,5B_{д.п} + m(h_{o.n1} - h_{y1}) + m_0 \cdot h_{y1}; \quad (2.14)$$

$$L_{T2} = 0,5B_{д.п} + m \cdot (h_{o.n2} - h_{y2}) + m_0 \cdot h_{y2}, \quad (2.15)$$

где $B_{д.п}$ – ширина дорожного полотна, зависит от категории дорог;

$h_{o.n1}, h_{o.n2}$ – высота откоса насыпи на входе трубы и на выходе;

h_{y1}, h_{y2} – высота укрепления откоса на входе и на выходе;

m, m_0 – заложение откоса насыпи и укрепления у трубы.

Вычислим теоретическую длину верховой и низовой части трубы с учетом ее продольного уклона i :

$$L_{T1} = \frac{L_{T1}}{(1 + i \cdot m_0)}; \quad (2.16)$$

$$L_{T2} = \frac{L_{T2}}{(1 - i \cdot m_0)}, \quad (2.17)$$

Вычислим высоту откоса насыпи с учетом поперечного уклона на входе трубы $h_{o,n1}$ и выходе $h_{o,n2}$ по формулам

$$h_{o,n1} = h_{o,n} - i \cdot L_{T1}; \quad (2.18)$$

$$h_{o,n2} = h_{o,n} + i \cdot L_{T2}. \quad (2.19)$$

Повторно вычислим теоретическую длину верховой и низовой части трубы по формулам (2.14) и (2.15) при значениях высоты откоса насыпи на входе $h_{o,n1}$ и выходе $h_{o,n2}$, полученных по формулам (2.18) и (2.19).

Общая теоретическая длина трубы равна сумме длин верховой и низовой ее частей $L_T = L_{T1} + L_{T2}$.

Фактическую длину трубы вычислим по формуле (2.5).

При подборе числа звеньев возможны два варианта, отличающиеся по длине трубы на 2,5 м (на одно звено).

Вариант 1. Назначаем длину трубы меньше теоретической ($L_{тр} < L_T$).

Смещаем начало и конец трубы к оси дороги.

Возможность такого решения существует, если выполнено условие

$$h_{o,n1} + h_{o,n2} \geq (L_T - L_{тр}) / (m - m_o) + h_{y1} + h_{y2}, \quad (2.20)$$

где m, m_o – заложение откосов насыпи и укрепления.

Если условие (2.20) выполняется, то рассматривается смещение начала и конца трубы на одинаковую величину. Также решение вызывает смещение точки перелома откосов насыпи и укрепления (точки A , рис. 2.2) на величину:

$$\Delta h = 0,5(L_T - L_{тр}) / (m - m_o). \quad (2.21)$$

Проверяем достаточность высоты откосов для размещения точки сопряжения A_1 (рис. 2.2) на откосе насыпи по условиям

$$h_{o,n1} \geq h_{y1} + \Delta h; \quad (2.22)$$

$$h_{o,n2} \geq h_{y2} + \Delta h. \quad (2.23)$$

При выполнении данных условий вычисляем длину верховой L_1 и низовой L_2 части трубы:

$$L_1 = L_{T1} - 0,5(L_T - L_{тр}); \quad (2.24)$$

$$L_2 = L_{T2} - 0,5(L_T - L_{тр}), \quad (2.25)$$

где L_{T1} , L_{T2} – см. формулы (2.16) и (2.17).

Общая длина трубы $L_{тр} = L_1 + L_2$.

Если одно из условий (2.22) или (2.23) не выполнено, то смещаем точку пересечения откосов (точку A_1 , рис. 2.2) на различную высоту до выполнения каждого из условий.

Например, если не выполнено условие (2.22), то принимаем $\Delta h_1 = h_{о.н1} - h_{y1}$ и вычисляем

$$\Delta h_2 = 2\Delta h - \Delta h_1,$$

где Δh – вычислено по формуле (2.21).

Вычисляем смещение начала и конца теоретической трубы к оси дороги.

$$\Delta l_1 = (m - m_о)\Delta h_1;$$

$$\Delta l_2 = (m - m_о)\Delta h_2.$$

Определяем длину верховой части трубы L_1 и низовой L_2 :

$$L_1 = L_{T1} - \Delta l_1;$$

$$L_2 = L_{T2} - \Delta l_2.$$

Фактическая длина трубы равна сумме верховой и низовой частей ($L_{тр} = L_1 + L_2$).

Если условие (2.20) не выполнено, то вариант 1 при принятом заложении укрепленного откоса $m_о$ не подходит. Если есть возможность изменить величину $m_о$, то повторно проходят весь предыдущий путь решения поставленной задачи или рассматривают вариант 2.

Вариант 2. Принимаем длину трубы больше теоретической ($L_{\text{тр}} > L_{\text{T}}$).

Отодвигаем начало и конец трубы от оси дороги на величину:

$$\Delta l = 0,5(L_{\text{тр}} - L_{\text{T}}).$$

Длину верховой части трубы и низовой части определяем по формулам

$$L_1 = L_{\text{T1}} + \Delta l; \quad (2.26)$$

$$L_2 = L_{\text{T2}} + \Delta l, \quad (2.27)$$

Если отодвигать начало и конец трубы от оси дороги на одинаковую величину, равную Δl , то заложение откоса на входе m_{o1} и на выходе m_{o2} определится по формулам

$$m_{o1} = m_o + \frac{\Delta l}{h_{y1}}; \quad (2.28)$$

$$m_{o2} = m_o + \frac{\Delta l}{h_{y2}}. \quad (2.29)$$

Пример

Исходные данные. Дорога II технической категории, высота откоса насыпи 3,0 м, заложение откоса 1:3, отверстие трубы 1,2 м, глубина воды перед трубой 1,4 м, уклон трубы 10 ‰.

Определить длину трубы.

Решение. Высота укрепления откоса насыпи на входе:

$$h_{y1} = H + 0,25 = 1,4 + 0,25 = 1,65 \text{ м};$$

$$h_{y1} = 1,2 + 0,14 + 0,25 = 1,59 \text{ м}.$$

Принимаем $h_{y1} = 1,65 \text{ м}$, $h_{y2} = 1,59 \text{ м}$.

Заложение откоса на высоту укрепления 1 : 1,5, а на остальной части – 1 : 3. Примем $h_{о.н1} = h_{о.н2} = h_{о.н} = 3,0$ м.

Теоретическая длина трубы на входе и на выходе вычисляется по формулам (2.14) и (2.15):

$$L_{Т1} = 0,5 \cdot 13,0 + 3(3,0 - 1,65) + 1,5 \cdot 1,65 = 6,5 + 4,05 + 2,48 = 13,03 \text{ м};$$

$$L_{Т2} = 0,5 \cdot 13,0 + 3(3,0 - 1,59) + 1,5 \cdot 1,59 = 6,5 + 4,23 + 2,39 = 13,12 \text{ м}.$$

Вычислим длину верховой и низовой части теоретической трубы с учетом ее уклона $i = 0,010$:

$$L_{Т1} = 13,03 / (1 + 1,5 \cdot 0,01) = 12,84 \text{ м};$$

$$L_{Т2} = 13,12 / (1 - 1,5 \cdot 0,01) = 13,32 \text{ м}.$$

Вычислим высоту откоса насыпи на входе и выходе по формулам (2.18) и (2.19):

$$h_{о.н1} = 3,0 - 0,01 \cdot 12,84 = 2,87 \text{ м};$$

$$h_{о.н2} = 3,0 + 0,01 \cdot 13,32 = 3,13 \text{ м}.$$

Вычислим длину теоретической трубы на входе и выходе по формулам (2.14) и (2.15):

$$L_{Т1} = 0,5 \cdot 13,0 + 3(2,87 - 1,65) + 1,5 \cdot 1,65 = 6,5 + 3,66 + 2,48 = 12,64 \text{ м};$$

$$L_{Т2} = 0,5 \cdot 13,0 + 3(3,13 - 1,59) + 1,5 \cdot 1,59 = 6,5 + 4,62 + 2,39 = 13,51 \text{ м}.$$

Общая длина трубы $L_T = 12,64 + 13,51 = 26,15$ м.

Фактическую длину трубы вычислим по формуле (2.5).

Если принять 10 звеньев, то длина трубы 25,12 м, что меньше теоретической ($L_{тр} < L_T$) на величину $\Delta l = 1,03$ м. Примем длину трубы 25,12 м, придвинув откос с заложением 1 : 1,5 на величину $\Delta l / 2 = 0,52$ м (рис. 2.3) к оси дороги.

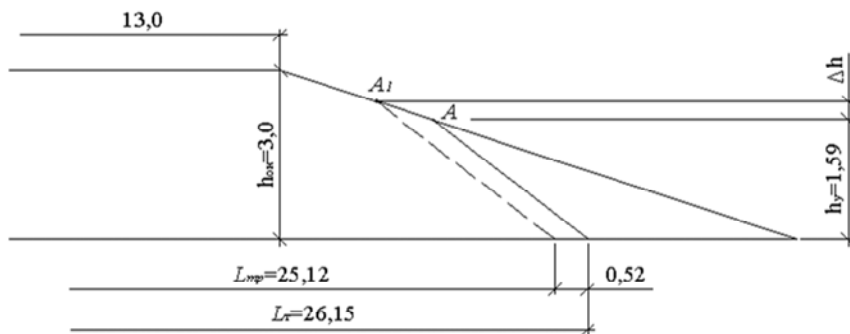


Рис. 2.3. Схема к примеру пункта 2.1.2

Точка сопряжения откосов с заложением 1 : 3 и 1 : 1,5 поднимется на величину

$$\Delta h = 0,52 / (3 - 1,5) = 0,35 \text{ м.}$$

Она находится ниже бровки обочины, так как выполняются условия (2.22) и (2.23):

$$h_{о,н1} > (1,65 + 0,35), \text{ т. е. } 2,87 > 2,00 \text{ м;}$$

$$h_{о,н2} > (1,59 + 0,35), \text{ т. е. } 3,13 > 1,94 \text{ м;}$$

Высота откоса с заложением m_0 на входе $h_{y11} = 1,65 + 0,35 = 2,00$ м, на выходе $h_{y21} = 1,59 + 0,35 = 1,94$ м.

2.1.3. Определение длины трубы при заложении откоса насыпи $m > 1,5$ и высоте откоса насыпи $h_{о,н} > 6$ м

Высокие насыпи проектируют с ломаным откосом, имеющим заложение $m = 1,75$ в верхней части насыпи высотой откоса 6 м и заложением $m_1 = 2,0$ в нижней части насыпи высотой ($h_{о,н} = 6$ м).

Теоретическая длина трубы определяется следующим образом.

Для уменьшения длины трубы перемещаем ее начало и конец к оси дороги, принимая укрепленный откос насыпи у трубы с заложением 1 : m_0 .

Сопряжение этого откоса с откосом насыпи может быть:

1) в нижней части насыпи на входе и на входе трубы (*случай 1*) при условии

$$(h_{o.n1} - 6) \geq h_{y1}; \quad (2.30)$$

2) в верхней части насыпи на входе и в нижней части насыпи на выходе (*случай 2*) при условии

$$(h_{o.n1} - 6) < h_{y1}, \quad (2.31)$$

$$(h_{o.n2} - 6) \geq h_{y2}; \quad (2.32)$$

3) в верхней части насыпи на входе и на выходе (*случай 3*) при условии

$$(h_{o.n1} - 6) < h_{y1}, \quad (2.33)$$

$$(h_{o.n2} - 6) < h_{y2}, \quad (2.34)$$

где $h_{o.n1}$, $h_{o.n2}$ – высота откоса насыпи на входе трубы и на выходе;

h_{y1} , h_{y2} – высота укрепления откоса на входе трубы и на выходе, определяется по формулам (2.13) и (2.12).

В условиях (2.30)–(2.34) неизвестными являются $h_{o.n1}$ и $h_{o.n2}$. Первоначально примем их равными высоте откоса насыпи, полученной по формуле (2.3), т. е. $h_{o.n1} = h_{o.n2} = h_{o.n}$, и определим имеющий место случай в соответствии с условиями (2.30)–(2.34). Для этого случая вычислим теоретическую длину трубы на входе L_{T1} и на выходе L_{T2} при угле трубы $i = 0$ и $h_{o.n1} = h_{o.n2} = h_{o.n}$.

Случай 1. $(h_{o.n1} - 6) \geq h_{y1}$.

Теоретическая длина верховой и низовой частей трубы:

$$L_{T1} = 0,5B_{д.п} + 6 \cdot m + m_1 (h_{o.n1} - 6 - h_{y1}) + m_o \cdot h_{y1}; \quad (2.35)$$

$$L_{T2} = 0,5B_{д.п} + 6 \cdot m + m_1 (h_{o.n2} - 6 - h_{y2}) + m_o \cdot h_{y2}, \quad (2.36)$$

где m, m_1 – заложение откоса верхней части насыпи и нижней ($m = 1,75, m_1 = 2,0$);

$h_{o.n1}, h_{o.n2}$ – высота откоса насыпи на входе трубы и на выходе трубы.

Случай 2. $(h_{o.n1} - 6) < h_{y1}$ и $(h_{o.n2} - 6) > h_{y2}$.

Теоретическая длина верховой L_{T1} и низовой L_{T2} частей трубы:

$$L_{T1} = 0,5B_{д.п} + m(h_{o.n1} - h_{y1}) + m_o \cdot h_{y1}; \quad (2.37)$$

$$L_{T2} = 0,5B_{д.п} + 6 \cdot m + m_1(h_{o.n2} - 6 - h_{y2}) + m_o \cdot h_{y2}, \quad (2.38)$$

Случай 3. $(h_{o.n1} - 6) < h_{y1}$ и $(h_{o.n2} - 6) < h_{y2}$.

Теоретическая длина верховой L_{T1} и низовой L_{T2} частей трубы вычисляется по формулам (2.14)–(2.15) при $m = 1,75$.

После вычисления теоретической длины верховой и низовой частей трубы при ее продольном уклоне $i = 0$ корректируем значения L_{T1} и L_{T2} с учетом продольного уклона по формулам (2.16), (2.17). Далее уточняем высоту откоса насыпи на входе $h_{o.n1}$ и на выходе $h_{o.n2}$ по формулам (2.18)–(2.19).

Повторно рассматриваем условия (2.30)–(2.34) при полученных по (2.18)–(2.19) значениях $h_{o.n1}$ и $h_{o.n2}$.

Если не выполнено условие (2.30) или (2.33)–(2.34), то переходим к условию (2.31)–(2.32), вычисляем величину L_{T1} и L_{T2} по формулам (2.37)–(2.38), корректируем значение их в соответствии с уклоном трубы i по формулам (2.16)–(2.17). Вычисляем величину $h_{o.n1}$ и $h_{o.n2}$ по формулам (2.18)–(2.19). Проверяем принятые условия (2.31)–(2.32) или (2.33)–(2.34).

Если условия (2.30)–(2.34) выполнены, то по формулам (2.35)–(2.36) или (2.37)–(2.38) или (2.14)–(2.15) повторно вычисляем L_{T1} и L_{T2} при значениях $h_{o.n1}$ и $h_{o.n2}$, полученных по формулам (2.18)–(2.19).

Теоретическая длина трубы равна сумме длин верховой L_{T1} и низовой L_{T2} частей ее, полученных по формулам (2.16)–(2.17), т. е. $L_T = L_{T1} + L_{T2}$.

Фактическая длина трубы определяется по формуле (2.5). Принимаем количество звеньев трубы таким, чтобы длина трубы была меньше теоретической ($L_T - L_{тр} < 2,5$).

Назначим смещение входа и выхода теоретической трубы к оси дороги одинаковым на величину $\Delta l = 0,5(L_T - L_{тр})$ (рис. 2.4).

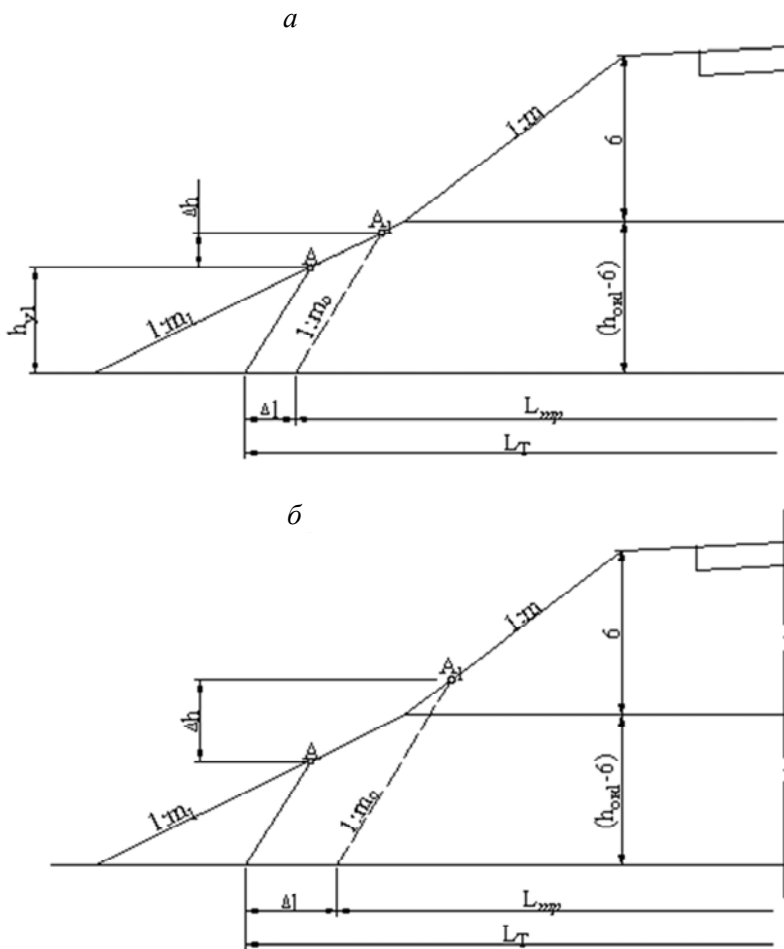


Рис. 2.4. Схема к определению смещения Δh по высоте откоса точки A_1 :
 а – точка A_1 на откосе нижней части насыпи;
 б – точка A_1 на откосе верхней части насыпи

Точка A – пересечение откоса с заложением m_0 с откосом насыпи – сместится вверх на величину Δh (точка A_1), которая вычисляется по различным формулам в зависимости от места расположения точки A на откосе нижней части насыпи (рис. 2.3, a) или верхней части (рис. 2.3, b). Возможны следующие случаи в соответствии с условиями (2.30)–(2.34).

Случай 1. $(h_{o.n1} - 6) > h_{y1}$; $(h_{o.n2} - 6) > h_{y2}$.

Точка A_1 (рис. 2.3) может быть расположена на откосе нижней части насыпи, если выполнено условие (2.39) на входе и (2.40) на выходе:

$$(h_{o.n1} - 6) \geq (h_{y1} + \Delta h); \quad (2.39)$$

$$(h_{o.n2} - 6) \geq (h_{y2} + \Delta h), \quad (2.40)$$

где Δh – смещение по высоте точки A_1 относительно точки A :

$$\Delta h = \frac{0,5(L_T - L_{TP})}{(m_1 - m_0)}. \quad (2.41)$$

В этом случае высота откоса с заложением m_0 на входе $h_{y11} = h_{y1} + \Delta h$, на выходе $h_{y21} = h_{y2} + \Delta h$.

Если условие (2.39) или (2.40) не выполняется, то точка A располагается на откосе нижней части насыпи с заложением $m_1 = 2,0$, точка A_1 на откосе верхней части насыпи с заложением $m = 1,75$. Смещение точки A_1 относительно точки A вычисляется по формуле (2.42) на входе и по формуле (2.43) на выходе:

$$\Delta h_1 = (h_{o.n1} - 6 - h_{y1}) + \frac{\Delta l - (m_1 - m_0)(h_{o.n1} - 6 - h_{y1})}{m - m_0}; \quad (2.42)$$

$$\Delta h_2 = (h_{o.n2} - 6 - h_{y2}) + \frac{\Delta l - (m_1 - m_0)(h_{o.n2} - 6 - h_{y2})}{m - m_0}, \quad (2.43)$$

где $\Delta l = 0,5(L_T - L_{TP})$.

Если не выполняется только условие (2.39), то высота откоса с заложением m_0 на входе $h_{y11} = h_{y1} + \Delta h_1$, а на выходе $h_{y21} = h_{y2} + \Delta h$. Если не выполнены условия (2.39) и (2.40), то $h_{y11} = h_{y1} + \Delta h_1$, $h_{y21} = h_{y2} + \Delta h_2$.

Случай 2. $(h_{o.n1} - 6) \leq h_{y1}$ или $(h_{o.n2} - 6) \leq h_{y2}$.

Точки A и A_1 расположены на откосе верхней части насыпи ($m = 1,75$). Величина Δh определяется по формуле

$$\Delta h = \frac{0,5(L_T - L_{Tp})}{(m - m_0)}, \quad (2.44)$$

Высота откоса с заложением m_0 на входе $h_{y11} = h_{y1} + \Delta h$, на выходе $h_{y21} = h_{y2} + \Delta h$.

Пример 1

Исходные данные. Дорога II технической категории. Высота откоса насыпи – 8,0 м, заложение верхней части насыпи – 1 : 1,75, нижней – 1 : 2. Отверстие трубы – 1,2 м, глубина воды перед трубой – 1,4 м.

Определить длину трубы.

Решение. Высота укрепления откоса насыпи на входе $h_{y1} = 1,4 + 0,25 = 1,65$ м, на выходе $h_{y2} = 1,2 + 0,14 + 0,25 = 1,59$ м.

Так как $(h_{o.n} - 6) > h_{y1}$ ($(8 - 6) > 1,65$ м), то имеет место первый случай. При уклоне трубы $i = 0$ теоретическую длину верховой и низовой ее частей вычислим по формулам (2.35) и (2.36)

$$L_{T1} = 0,5 \cdot 13 + 6 \cdot 1,75 + 2 \cdot (8 - 6 - 1,65) + 1,5 \cdot 1,65 = 20,18 \text{ м};$$

$$L_{T2} = 0,5 \cdot 13 + 6 \cdot 1,75 + 2 \cdot (8 - 6 - 1,59) + 1,5 \cdot 1,59 = 20,20 \text{ м}.$$

По формулам (2.16)–(2.17) вычислим теоретическую длину верховой и низовой части трубы с учетом уклона $i = 10$ ‰.

$$L_{T1} = 20,18 / (1 + 0,01 \cdot 1,5) = 19,88 \text{ м};$$

$$L_{T2} = 20,20 / (1 - 0,01 \cdot 1,5) = 20,52 \text{ м}.$$

Вычислим высоту откоса насыпи на входе и выходе по формулам (2.18)–(2.19):

$$h_{o.n1} = 8,00 - 0,01 \cdot 19,88 = 7,80 \text{ м};$$

$$h_{o.n2} = 8,00 + 0,01 \cdot 20,52 = 8,20 \text{ м}.$$

Проверим, сохранилось ли условие (2.30):

$$(h_{o.n1} - 6) \geq h_{y1};$$

$$(7,80 - 6) > 1,65.$$

Следовательно, это условие сохранилось и L_{T1} , L_{T2} определены правильно при $h_{o.n1} = h_{o.n2} = h_{o.n}$. Корректируем длину верховой и низовой части трубы по формулам (2.35)–(2.36) с учетом высоты откоса на входе и выходе:

$$L_{T1} = 0,5 \cdot 13 + 6 \cdot 1,75 + 2 \cdot (7,8 - 6 - 1,65) + 1,5 \cdot 1,65 = 19,48 \text{ м};$$

$$L_{T2} = 0,5 \cdot 13 + 6 \cdot 1,75 + 2 \cdot (8,2 - 6 - 1,59) + 1,5 \cdot 1,59 = 20,92 \text{ м}.$$

Теоретическая длина трубы $L_T = L_{T1} + L_{T2} = 19,48 + 20,92 = 40,40 \text{ м}$.

Фактическая длина трубы определяется по формуле (2.5). Примем трубу из 16 звеньев ТВ.120.25 длиной 40,12 м, что меньше длины теоретической трубы на $\Delta l = 40,40 - 40,12 = 0,28 \text{ м}$.

Рассмотрим варианты смещения точки пересечения откосов насыпи с $m = 2$ и откоса с заложением $m = 1,5$ к оси дороги на величину $\Delta l / 2 = 0,28 / 2 = 0,14 \text{ м}$ на входе и на выходе. Предположим, что точ-

ка A_1 (рис. 2.4) находится на откосе нижней части с заложением $m_1 = 2$ выше точки A на величину Δh . Эту величину вычислим по формуле (2.41).

$$\Delta h = 0,14 / (2,0 - 1,5) = 0,28 \text{ м.}$$

Проверим условия (2.39) и (2.40):

$$(7,80 - 6 - 1,65) > 0,28;$$

$$(8,20 - 6 - 1,59) > 0,28.$$

Условия (2.39) и (2.40) выполняются на входе и на выходе из трубы. Следовательно, точки A и A_1 располагаются на откосе нижней части насыпи.

Высота откоса с заложением m_0 на входе $h_{y11} = 1,65 + 0,28 = 1,93$ м, на выходе $h_{y21} = 1,59 + 0,28 = 1,87$ м.

Длина верховой части трубы $L_1 = 19,48 - 0,14 = 19,34$ м, длина низовой части $L_2 = 20,92 - 0,14 = 20,78$ м.

Общая длина трубы $L_{\text{тр}} = 19,34 + 20,78 = 40,12$ м.

Пример 2

Исходные данные. Дорога IV технической категории. Высота откоса насыпи – 9 м, заложение откоса верхней части насыпи – 1 : 1,75, нижней – 1 : 2. Высота укрепления откоса на входе – 1,65 м, на выходе – 1,59 м.

Определить длину трубы отверстием 1,2 м при ее продольном уклоне 10 ‰.

Решение. Теоретическая длина трубы определяется следующим образом. Вычислим $h_{\text{о.н}} - 6 = 9 - 6 = 3,0$ м. Так как $h_{\text{о.н}} - 6 > h_{y1}$, т. е. $3,0 > 1,65$, то имеет место **случай 1**, когда точка A сопряжения откосов с заложениями m_0 и m_1 на нижней части.

Длины L_{T1} , L_{T2} вычислим по формулам (2.35)–(2.36) ($L_{T1} = 20,68$ м, $L_{T2} = 20,70$ м). Корректируем их значения в соответствии с уклоном $i = 10$ ‰ по формулам (2.16)–(2.17).

$L_{T1} = 20,56$ м, $L_{T2} = 21,02$ м. Высота откоса насыпи по формулам (2.18)–(2.19) на входе $h_{\text{о.н}1} = 8,80$ м, на выходе $h_{\text{о.н}2} = 9,20$ м.

Проверим выполнение условия на входе $h_{o,n} - 6 = 2,80$ м; $2,80 > 1,65$.
Условие (2.30) выполняется. Повторно вычисляем L_{T1} и L_{T2} по формулам (2.35)–(2.36). $L_{T1} = 20,28$ м, $L_{T2} = 21,10$ м.

Теоретическая длина трубы $L_T = 20,28 + 21,10 = 41,38$ м.

Фактическая длина трубы $L_{тр}$ из 16 звеньев ТВ.120.25 по формуле (2.5) равна 40,12 м, из 17 звеньев – 42,62 м.

Примем длину трубы $L_{тр} = 40,12$ м, что меньше длины теоретической трубы на $\Delta l = 41,38 - 40,12 = 1,26$ м. Переместим точку A сопряжения откосов с заложением m_o и m_1 на входе и на выходе на одинаковое расстояние по горизонтали на $\Delta l_1 = 0,5 \cdot \Delta l = 0,63$ м и по вертикали на Δh_1 . Предположим, что точка A_1 находится на откосе нижней части насыпи. Тогда по формуле (2.41) $\Delta h = \frac{0,63}{(2,0 - 1,5)} = 1,26$ м.

Проверим условие (2.39) на входе:

$$(h_{o,n1} - 6 - h_{y1}) = (8,8 - 6 - 1,65) = 1,15 \text{ м}; 1,15 < 1,26;$$

на выходе

$$(9,21 - 6 - 1,59) = 1,62 \text{ м}; 1,62 > 1,26.$$

Следовательно, точка A_1 на входе находится на откосе верхней части насыпи ($m = 1,75$), на выходе – на откосе нижней части насыпи выше точки A .

Вычислим смещение точки A_1 относительно точки A на входе по формуле (2.42):

$$\Delta h_1 = (8,8 - 6 - 1,65) + \frac{0,63 - (2,0 - 1,5)(8,8 - 6 - 1,65)}{1,75 - 1,50} = 1,15 + 0,23 = 1,38 \text{ м}.$$

На выходе смещение точки A_1 относительно точки A вычислено ранее по (2.41): $\Delta h_2 = \Delta h = 1,26$ м.

Общая высота откоса с заложением m_o

$$\Delta h_{y11} = h_{y1} + \Delta h_1 = 1,65 + 1,38 = 3,03 \text{ м (на входе);}$$

$$\Delta h_{y21} = h_{y2} + \Delta h_2 = 1,59 + 1,26 = 2,85 \text{ м (на выходе).}$$

Заложение укрепленного откоса $m_o = 1,5$.

Фактическая длина трубы на входе и на выходе:

$$L_1 = 20,28 - 0,63 = 19,55 \text{ м};$$

$$L_2 = 21,10 - 0,63 = 20,47 \text{ м}.$$

Общая длина трубы $L_{\text{тр}} = 19,65 + 20,47 = 40,12 \text{ м}$.

2.2. Назначение отметок лотка трубы

Отметки лотка трубы по оси дороги, на входе и на выходе назначаются с учетом отметок местности, условий проектирования продольного профиля, продольного уклона трубы, длины трубы и ее строительного подъема. Продольный уклон принимают обычно равным поперечному уклону местности, т. е. уклону J_C , но не менее критического и не более 20 %.

Отметка лотка трубы по оси дороги (рис. 2.5) определяется по формуле:

$$H_o = H_{\text{ч}} + f, \quad (2.45)$$

где $H_{\text{ч}}$ – отметка черного профиля дороги на пересечении водотока;

f – строительный подъем середины трубы, учитывающий большую осадку середины трубы под действием нагрузки от насыпи.

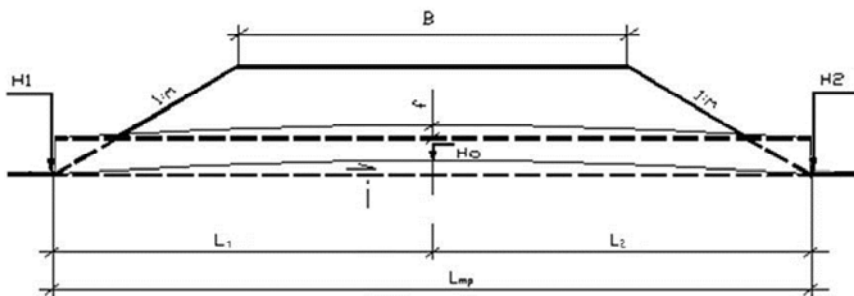


Рис. 2.5. Схема к определению отметок лотка трубы

Строительный подъем при основании из песков крупных, средних и мелких принимается по дуге круга $f = 1/80h_n$ (где h_n – высота насыпи), для глинистых грунтов $f = 1/40h_n$.

Отметки лотка трубы на входе H_1 (рис. 2.5) и на выходе H_2 определяются по формулам

$$H_1 = H_0 - f + (i \cdot L_1); \quad (2.46)$$

$$H_2 = H_0 - f - (i \cdot L_2), \quad (2.47)$$

где i – продольный уклон лотка трубы в долях единицы (его можно принять равным уклону водотока у сооружения J_C);

L_1, L_2 – фактическая длина трубы с верхней и нижней стороны (рис. 2.4)/

После расчета отметок лотка трубы следует проверить отсутствие застоя воды у входа до осадки середины трубы ($H_1 \geq H_0$).

Если $H_1 < H_0$, то необходимо увеличить продольный уклон трубы i .

2.3. Выбор группы звена водопропускной трубы по несущей способности

В настоящее время в Республики Беларусь выпускают звенья круглой трубы железобетонные безнапорные диаметром 500–2000 мм для водопропускных сооружений на автомобильных дорогах. Расчетная длина τ звеньев труб – 2500 мм.

Звенья труб рассчитаны на прочность и трещиностойкость как железобетонные изгибаемые элементы на действие нагрузок: давление грунта от веса насыпи, давление грунта от действия подвижной колесной нагрузки НК – 112, на собственный вес трубы.

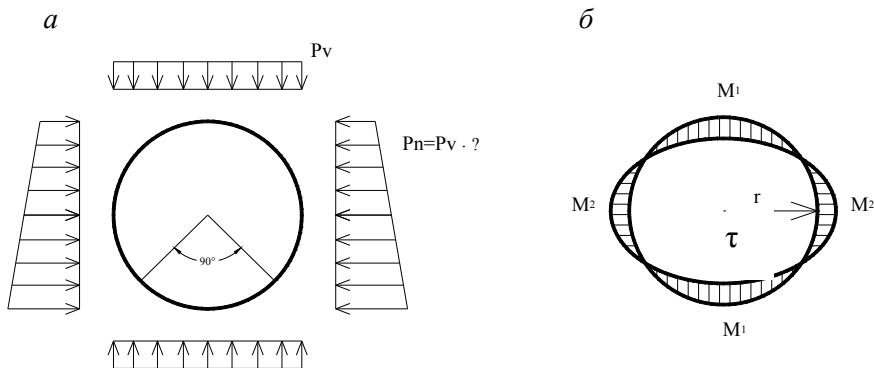


Рис. 2.6. Схема действия нагрузок на звено (а) и изгибающие моменты (б)

В типовом проекте [4] изгибающие моменты M_1 (рис. 2.6) в стенках звеньев трубы определены при их укладке на песчаное основание с углом обхвата 90° при нормальной (для круглых труб 500, 600 и 800 мм) и повышенной (для труб 1000, 1200, 1400, 1600 и 2000 мм) степени уплотнения пазух вокруг трубы (коэффициент уплотнения $K_y = 0,95$).

Насыпь в зоне трубы (на расстоянии от нее два диаметра и выше не менее чем на 20 см) должна быть из песка с модулем крупности $M_k = 1,5 \dots 2,5$.

Звенья труб по несущей способности бывают двух групп. Высота засыпки труб до низа дорожной одежды не должна превышать 5 м для первой группы по несущей способности и 10 м для труб второй группы по несущей способности. Высоту засыпки допускается увеличить до 15 м для звена диаметром 2000 мм с использованием железобетонной обоймы.

Обозначение марки трубы состоит из букв ТВ (трубы водопропускные), цифр, которые обозначают внутренний диаметр звена (в сантиметрах), расчетную длину звена (в дециметрах), группу звена по несущей способности и букву П (пониженная водопроницаемость). Так, звено диаметром 1200 мм при высоте засыпки 3 м имеет первую группу по несущей способности и обозначается ТВ 120.25-1-П.

2.4. Типы укрепления русел и откосов у труб

По типовому проекту ТПБ 3.503.1-8.04 «Укрепление водопропускных сооружений на автомобильных дорогах» (Минск, 2004) рекомендуется укрепление русел у труб монолитным бетоном В25, сборными плитами ПК 100.12.е, каменной наброской. Укрепление откосов может выполняться монолитным бетоном, плитами ПК 50.8.е или ПК 100.12.е, нетканым геотекстильным полотном с семенами трав (НГ СТ). По СТБ 1071–2007 для укрепления могут применяться плиты К40.7.е-М.

Монолитный бетон В25 толщиной 12 см на выходе укладывают на слое щебня толщиной 10 см. Для предотвращения образования температурных трещин укрепление из монолитного бетона делят на отдельные карты (плиты) с помощью укладки до бетонирования на поверхность щебеночного основания антисептированных досок. Длина стороны карты не более 3 м.

Толщина слоя из монолитного бетона при укреплении русла на выходе равна 12 см, при укреплении русла на входе и откосов – 8 см.

Сборные плиты ПК100.12.е имеют размер сторон 100 см, толщину – 12 см и требования по морозостойкости и водонасыщению: F200, W6). Плиты ПК100.12.е укладывают на слой строительного раствора толщиной 2 см и щебеночное основание толщиной 10 см.

Сборные плиты ПК50.8.е имеют форму квадрата со срезанными углами и арматурными выпусками, расположенными в углах плит. Плиты укладывают по слою строительного раствора толщиной 2 см, ниже которого находятся щебеночное основание толщиной 10 см. На поверхности щебеночного основания разбивают прямоугольные карты с размером сторон 1–3 м путем укладки антисептированных досок высотой 12 см.

Сборные плиты К40.7 толщиной 7 см имеют форму квадрата со стороной 40 см, укладываются по слою строительного раствора толщиной 2 см по слою щебня толщиной 10 см.

Нетканое геотекстильное полотно с семенами трав НГ СТ (СТБ 1030–2008) применяют для укрепления откосов насыпей у водопропускных труб, когда трубы расположены на суходолах и работают в безнапорном режиме, а русло укрепляется плитами ПК100.12.е. НГ СТ укладывают полосами сверху вниз с нахлестом 10–15 см по слою растительного грунта 10 см. По линии нахлеста выполняют крепление анкерными скобами и деревянными кольями по контуру укрепления (рис. 2.16, 2.22). НГ СТ укладывают в канавку глубиной 20–30 см, закрепляют кольшками и заполняют грунтом. Сверху НГ СТ засыпается растительным грунтом толщиной 3 см. В русле НГ СТ заводят под плиты ПК100.12.е.

Каменная наброска может применяться на постоянно действующих водотоках, где укрепление бетоном или плитами сложно выполнить. Размер самой крупной фракции не должен быть более 40 см, а фракции менее 5 мм не должны превышать 20 %. Толщина наброски камня определяется глубиной размыва. По типовому проекту [6] она назначена равной 1,0 м.

Для каждого типа укрепления нормируются допускаемые (неразрывающиеся) скорости течения воды в зависимости от глубины потока (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Допускаемые скорости, м/с

Тип укрепления	Глубина потока, м		
	0,4	1,0	2,0
Каменная наброска слоем 30 см из несортированного камня толщиной 10–15 см	2,5	3,0	3,5
Каменная наброска слоем 30 см из несортированного камня толщиной 15–20 см	3,0	3,5	4,0
Каменная наброска слоем 30 см из несортированного камня толщиной 20–25 см	3,5	4,0	4,5
Сборные плиты К40.7 из бетона В20 толщиной 7 см на слое щебня $h = 10$ см	3,0	3,5	4,0
Монолитный бетон класса В25 толщиной 10 см на слое щебня $h = 10$ см	6,5	8,0	8,0
Сборные плиты ПК100.12.е на цементном растворе $h = 2$ см и слое щебня $h = 10$ см	6,5	8,0	8,0

Глубина потока воды на выходе из трубы (в зоне растекания) определяется по формуле

$$h_{\text{вых}} = K d (\Pi_Q)^n, \quad (2.48)$$

где K и n – эмпирические коэффициенты; $K = 0,75$; $n = 0,5$;

d – отверстие одноочковой трубы;

Π_Q – безразмерный параметр расхода.

$$\Pi_Q = Q_c / (3,13 \cdot d^{2,5}), \quad (2.49)$$

Q_c – сбросной расход на одно очко.

Для этой глубины потока по табл. 2.2 определяется допускаемая скорость движения воды для каждого типа укрепления.

Тип укрепления русла на выходе назначается по скорости движения воды на выходе из трубы, увеличенной в 1,2 раза. Необходимо выполнение условия:

$$1,2V_{\text{вых}} \leq V_{\text{пер}}, \quad (2.50)$$

где $V_{\text{вых}}$ – скорость движения воды на выходе, принимается по таблицам пропускной способности труб для сбросного расхода на одно очко.

2.5. Проектирование и определение размеров укрепления русла и откосов у водопропускных труб

2.5.1. Укрепление русла на выходе

Укрепление русла на выходе заканчивается предохранительным откосом 3 (рис. 2.7).

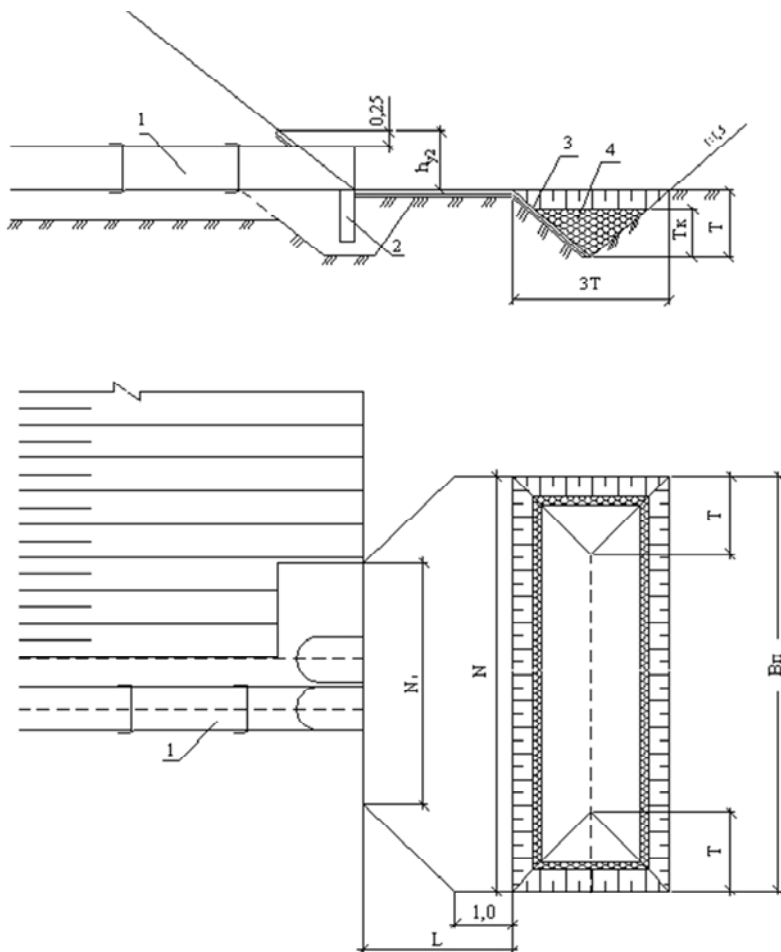


Рис. 2.7. Схема укрепления русла и откосов:
1 – звено трубы; 2 – противофильтрационный экран;
3 – предохранительный откос; 4 – наброска камня

Для уменьшения длины укрепления русла принято, что в паводок скорость движения воды после конца укрепления больше размывающей для грунта. Поэтому после конца укрепления образуется воронка размыва, выполняющая роль водобойного колодца как гасителя энергии водного потока. Ее называют ковшом размыва. **Ковш размыва** включает предохранительный откос и наброску камня (рис. 2.7).

Предохранительный откос предназначен для предотвращения развития размыва по направлению к трубе. Наброска камня уменьшает глубину размыва.

Ширина укрепления у предохранительного откоса N , ширина предохранительного откоса $B_{\text{п}}$, глубина предохранительного откоса T и толщина каменной наброски $T_{\text{к}}$ обосновываются расчетом.

Ширина укрепления у предохранительного откоса

$$N = B_{\text{раст}} + 3, \quad (2.51)$$

где $B_{\text{раст}}$ – ширина растекания потока.

Ширина растекания потока определяется по формуле

$$B_{\text{раст}} = d \left(\frac{L}{D_3} + 1 \right)^n + b_{\text{п}} - d, \quad (2.52)$$

где d – отверстие одноочковой трубы;

L – длина укрепления от конца оголовка (табл. 2.4);

$b_{\text{п}}$ – ширина потока на выходе (табл. 2.3);

D_3 – эквивалентный диаметр, равный для круглых труб $D_3 = d\sqrt{n_0}$;

n_0 – количество очков труб (по заданию);

n – показатель степени, определяемый по формуле

$$n = 0,78 + 0,36 \cdot \lg \left(\frac{Q_k}{Q_c} \right), \quad (2.53)$$

где Q_c – сбросной расход (по заданию);

Q_k – эталонный расход:

$$Q_k = 1,6 \cdot D_3^{5/2}. \quad (2.54)$$

Таблица 2.3

Ширина потока на выходе, м

Отверстие, м	1,0	2 × 1,0	3 × 1,0	1,2	2 × 1,2	3 × 1,2
Ширина потока на выходе $b_{п}$, м	1,00	2,45	3,92	1,20	2,90	4,62
Отверстие, м	1,4	2 × 1,4	3 × 1,4	1,6	2 × 1,6	3 × 1,6
Ширина потока на выходе $b_{п}$, м	1,40	3,32	5,22	1,60	3,75	5,36

Длина укрепления L назначается в зависимости от отверстия трубы с учетом типа укрепления. Русло на выходе трубы по типовому проекту [6] рекомендуется укреплять монолитным бетоном или плитами ПК100.12.е. В этом случае длину укрепления L можно принять по табл. 2.4.

Таблица 2.4

Длина укрепления на выходе L , м

Отверстие, м	1,0	2 × 1,0	3 × 1,0	1,2	2 × 1,2	3 × 1,2
Длина укрепления L , м	<u>2,0</u> 2,0	<u>2,8</u> 3,0	<u>3,4</u> 3,0	<u>2,0</u> 2,0	<u>2,8</u> 3,0	<u>3,4</u> 3,0
Отверстие, м	1,4	2 × 1,4	3 × 1,4	1,6	2 × 1,6	3 × 1,6
Длина укрепления L , м	<u>3,0</u> 3,0	<u>4,2</u> 4,0	<u>5,1</u> 5,0	<u>3,5</u> 4,0	<u>4,7</u> 5,0	<u>5,6</u> 6,0

Примечание. В числителе значения указаны для укрепления монолитным бетоном, в знаменателе – для укрепления плитами ПК100.12.е

Ширина предохранительного откоса (рис. 2.7) обосновывается следующим образом. Вначале определяется предельная глубина в конце укрепления при неограниченном времени прохождения паводка и отсутствии каменной наброски:

$$T_{гр} = 0,9 \cdot \delta_m \cdot D_3 \cdot \left(\frac{Q_c}{Q_k} \right)^{0,6} \left(\frac{D_3^3}{M} \right)^{0,2}, \quad (2.55)$$

где δ_m – масштабный коэффициент:

Эквивалентный диаметр трубы D_3 , м	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0
Масштабный коэффициент δ_m	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80

Q_c, Q_k, L, D_3, d, b_n – см. экспликацию формулы (2.51);

$$M = \left(\frac{L}{D_3} + 1 \right) d \cdot b_n \cdot d_{гр}, \quad (2.56)$$

$d_{гр}$ – расчетный диаметр частиц грунта лога, м (по заданию).

Далее вычисляется расчетная глубина размыва в конце укрепления при ограниченном времени прохождения паводка и отсутствии каменной наброски:

$$T_p = K_c \cdot T_{пр}, \quad (2.57)$$

где K_c – коэффициент снижения глубины размыва за счет ограниченного времени прохождения паводка (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Значение коэффициента K_c

Вид грунта	Количество очков		
	1	2	3
Песчаный и супесчаный	0,6	0,56	0,51
Гравий, суглинки, глины	0,75	0,70	0,64

Ширина предохранительного откоса вычисляется по формуле

$$B_{п} = \frac{3 \cdot T_p}{K_1}, \quad (2.58)$$

где K_1 – коэффициент, определяемый по табл. 2.6.

Полученное по формуле (2.58) значение $B_{п}$ сопоставляется с шириной укрепления у предохранительного откоса N по формуле (2.51). Если $B_{п} < N$, то принимается $B_{п} = N$, если $B_{п} > N$, то оставляют полученную $B_{п}$ и принимают $N = B_{п}$.

В случае укрепления русла плитами ПК100.12.е следует принять ширину конца укрепления кратной ширине стороны плиты.

Таблица 2.6

Значение K_1

T_p/D_0	L/D_0			
	1	2	3	4
0	0	0	0	0
0,2	0,25	0,17	0,12	0,10
0,4	0,43	0,35	0,25	0,19
0,6	0,58	0,47	0,35	0,26
0,8	0,68	0,56	0,45	0,32
1,0	0,75	0,63	0,50	0,40
1,2	0,80	0,69	0,57	0,44
1,4	0,83	0,73	0,61	0,48
1,6	0,85	0,76	0,65	0,52
1,8	0,88	0,80	0,68	0,56
2,0	0,90	0,82	0,71	0,58
2,4	0,91	0,85	0,75	0,63
2,8	0,93	0,86	0,78	0,66
3,2	0,95	0,87	0,80	0,68

Глубина предохранительного откоса может быть принята равной полученной по формуле (2.57) при отсутствии каменной наброски, т. е. $T = T_p$. Если эта глубина большая ($T_p > 1,5$ м), то для ее уменьшения следует предусматривать каменную наброску в ковш размыва. В этом случае предусматривается наброска камня, и глубина предохранительного откоса T определяется, исходя из расчетной глубины размыва в конце укрепления при ограниченном времени прохождения паводка и наличии каменной наброски по формуле

$$T_{p(n)} = T_{пр} \cdot \left(\frac{d_{гр}}{d_n} \right)^{1/3} + 0,13 \left(\frac{d_n}{W_K} \right) T_p^2, \quad (2.59)$$

где $T_{пр}$ – глубина размыва по формуле (2.55);

$d_{гр}$ – диаметр частиц грунта, м (по заданию);

d_n – диаметр камня наброски (0,10–0,30), м;

T_p – глубина размыва по формуле (2.57);

W_K – удельный (на 1 м ширины предохранительного откоса) объем каменной наброски, определяется по формуле

$$W_K = 1,5 \cdot h_{\text{кам}}^2, \quad (2.60)$$

где $h_{\text{кам}}$ – высота каменной наброски; задается в пределах 0,30–0,80 м.

При укреплении русла на выходе монолитным бетоном глубину заложения предохранительного откоса принимают равной расчетной глубине размыва, полученной по формуле (2.59). В случае укрепления откоса плитами ПК100.12.е эту глубину следует согласовать с размерами плит, укладываемых на откос с заложением 1 : 1,5. При заложении предохранительного откоса 1 : 1,5 при длине плиты 1,0 м высота откоса 0,56 м. Следует учесть конструкцию сопряжения плит русла и откосов (рис. 2.21).

Ширину N_1 укрепления русла на выходе у подошвы насыпи (рис. 2.7) назначают по табл. 2.7.

Таблица 2.7

Значение N_1 , м

Отверстие	1 × 1,0	2 × 1,0	3 × 1,0	1 × 1,2	2 × 1,2	3 × 1,2
Ширина N_1 , м	<u>3,4</u> 4,0	<u>4,7</u> 5,0	<u>6,2</u> 7,0	<u>3,5</u> 5,0	<u>5,2</u> 6,0	<u>6,9</u> 8,0
Отверстие	1 × 1,4	2 × 1,4	3 × 1,4	1 × 1,6	2 × 1,6	3 × 1,6
Ширина N_1 , м	<u>3,7</u> 5,0	<u>5,6</u> 7,0	<u>7,6</u> 8,0	<u>4,0</u> 5,0	<u>6,1</u> 7,0	<u>8,3</u> 9,0

Примечание. В числителе приведены значения для укрепления монолитным бетоном, в знаменателе – плитами ПК100.12.е

Пример

Исходные данные. Круглая одноочковая труба отверстием 1,6 м пропускает сбросной расход $Q_c = 5,0 \text{ м}^3/\text{с}$, расчетный диаметр частиц грунта $d_{\text{гр}} = 0,5 \text{ мм} = 0,0005 \text{ м}$, укрепление русла произведено монолитным бетоном.

Требуется запроектировать укрепление русла на выходе трубы.

Решение. По табл. 2.4 назначаем длину укрепления русла $L = 3,5 \text{ м}$, по табл. 2.3 – ширину потока $b_{\text{п}} = 1,60 \text{ м}$. Эквивалентный диаметр трубы $D_3 = 1,6 \text{ м}$. Эталонный расход $Q_K = 1,6$, $D_3^{5/2} = 5,18 \text{ м}^3/\text{с}$.

Вычислим показатель степени n в формуле (2.52) по формуле (2.53):

$$n = 0,78 + 0,36 \cdot \lg\left(\frac{Q_k}{Q_c}\right) = 0,78 + 0,36 \cdot \lg\left(\frac{5,18}{5,0}\right) = 0,79.$$

Вычислим ширину растекания потока по формуле (2.52):

$$B_{\text{раст}} = d\left(\frac{L}{D_3} + 1\right)^n + b_n - d = 1,6\left(\frac{3,5}{1,6} + 1\right)^{0,79} + 1,6 - 1,6 = 4,5 \text{ м.}$$

Ширина конца укрепления по формуле (2.51)

$$N = B_{\text{раст}} + 3 = 4,5 + 3 = 7,5 \text{ м.}$$

Вычислим предельную глубину размыва по формуле (2.55), предварительно определив величину M по формуле (2.56):

$$M = \left(\frac{L}{D_3} + 1\right) d \cdot b_{\text{п}} \cdot d_{\text{гр}} = \left(\frac{3,50}{1,6} + 1\right) 1,6 \cdot 1,6 \cdot 0,0005 = 0,0040958;$$

$$\begin{aligned} T_{\text{пр}} &= 0,9 \cdot \delta_m \cdot D_3 \left(\frac{Q_c}{Q_k}\right)^{0,6} \left(\frac{D_3^3}{M}\right)^{0,2} = \\ &= 0,9 \cdot 0,82 \cdot 1,6 \left(\frac{5,0}{5,18}\right)^{0,6} \left(\frac{1,6^3}{0,0040958}\right)^{0,2} = 5,52 \text{ м.} \end{aligned}$$

Расчетная глубина размыва в конце укрепления при ограниченном времени прохождения паводка и отсутствии каменной наброски вычисляется по формуле (2.57) при $K_c = 0,6$ для супесчаных грунтов по табл. 2.6:

$$T_p = K_c \cdot T_{\text{пр}} = 0,6 \cdot 5,52 = 3,3 \text{ м.}$$

Ширину предохранительного откоса вычислим по формуле (2.58). Коэффициент K_1 найдем в табл. 2.6 методом интерполяции:

$$T_p / D_3 = 3,3 / 1,6 = 1,25 \text{ и } L / D_3 = 3,5 / 1,6 = 2,2 \Rightarrow K_1 = 0,72;$$

$$B_{\text{п}} = 3 \cdot 3,3 / 0,72 = 13,75 \text{ м.}$$

Сопоставим ширину предохранительного откоса $B_{\text{п}} = 13,75$ м и ширину конца укрепления русла $N = 9,1$ м монолитным бетоном. Принимаем $N = B_{\text{п}} = 13,75$ м.

В случае укрепления русла плитами ПК100.12.е следует принять ширину конца укрепления кратной ширине стороны плиты, т. е. $N = B_{\text{п}} = 14,0$ м.

При отсутствии наброски камня глубина размыва большая ($T_{\text{р}} = 3,3$ м). Поэтому для уменьшения глубины размыва проектируем наброску камня высотой 0,60 м средним диаметром камня 0,20 м.

Удельный объем камня (на 1 м) найдем по формуле (2.60):

$$W_K = 1,5 \cdot h_{\text{кам}}^2 = 1,5 \cdot 0,6^2 = 0,54 \text{ м}^3.$$

Расчетную глубину размыва при наличии наброски камня вычислим по формуле (2.59):

$$\begin{aligned} T &= T_{\text{пр}} \left(\frac{d_{\text{гр}}}{d_{\text{н}}} \right)^{1/3} + 0,13 \left(\frac{d_{\text{н}}}{W_K} \right) T_{\text{р}}^2 = \\ &= 5,52 \left(\frac{0,0005}{0,2} \right)^{1/3} + 0,13 \left(\frac{0,2}{0,54} \right) 3,3^2 = 1,22 \text{ м}. \end{aligned}$$

В практике проектирования укрепления принимают высоту наброски камня равной половине высоты предохранительного откоса. Оставляем высоту предохранительного откоса 1,22 м и высоту наброски камня 0,60 м.

При укреплении откоса плитами ПК 100.12.е в один ряд высота укрепления составит $0,56 + 0,12 = 0,68$ м, в два ряда – $2 \cdot 0,56 + 0,12 = 1,24$ м.

2.5.2. Укрепление русла на входе

Укрепление русла на входе, как правило, выполняется из одинаковых материалов как и на выходе. Размеры этого укрепления назначаются без расчета с учетом накопленного практикой дорожного строительства опыта. Укрепление на входе принимается в виде прямоугольника.

Длина укрепления принимается по табл. 2.8.

Таблица 2.8

Длина укрепления русла на входе, м

Отверстие трубы, м	Тип укрепления		
	Бетоном	Плитами ПК50.8.е	Плитами ПК100.12.е
1,0	2,5	2,5	3,0
1,2	3,0	3,0	3,0
1,4	3,5	3,5	3,0
1,6	4,0	4,0	4,0

Ширина укрепления русла на входе принимается по табл. 2.9.

Таблица 2.9

Ширина укрепления русла на входе, м

Отверстие трубы, м	Тип укрепления		
	Бетоном	Плитами ПК50.8.е	Плитами ПК100.12.е
1 × 1,0	4,5	4,5	5,0
2 × 1,0	6,0	6,0	7,0
3 × 1,0	7,5	7,5	9,0
1 × 1,2	5,0	5,0	6,0
2 × 1,2	7,0	7,0	8,0
3 × 1,2	9,0	9,0	9,0
1 × 1,4	5,5	5,5	6,0
2 × 1,4	7,5	7,5	8,0
3 × 1,4	9,5	9,5	10,0
1 × 1,6	6,0	6,0	7,0
2 × 1,6	8,0	8,0	8,0
3 × 1,6	10,0	10,0	11,0

2.5.3. Укрепление откосов насыпей у трубы

Откосы могут укрепляться:

– нетканым геотекстильным полотном с семенами трав (НГ СТ), укладываемым на слой плодородного грунта толщиной 10 см и засыпаемого сверху слоем этого грунта толщиной 3 см;

– сборными плитами ПК100.12е, ПК50.8.е или К40.7.е на цементном растворе $h = 2$ см и слое щебня $h = 10$ см;

– монолитным бетоном В20 толщиной 8 см на слое щебня $h = 10$ см.

Укрепление НГ СТ применяется на суходолах в случае, когда русло укреплено сборными плитами.

Высота укрепления откоса на входе h_{y11} и на выходе h_{y21} определяется расчетом (см. § 2.1)

Длина укрепления откоса

$$l_o = h_y (1 + m_o^2)^{1/2}, \quad (2.61)$$

где m_o – заложение откоса насыпи в зоне укрепления ($m_o = 1,5; 1,35$).

Ширина низа и верха укрепления откосов принимается равной ширине укрепления русла у подошвы насыпи в соответствии с табл. 2.9 на входе и табл. 2.7 на выходе.

2.6. Составление чертежа водопропускной трубы

Составление чертежа водопропускной трубы выполняется совместно с определением размеров элементов трубы и их объемов (см. § 2.7).

Чертеж водопропускной трубы включает:

- 1) продольный разрез по оси трубы;
- 2) поперечные разрезы тела трубы;
- 3) план водопропускной трубы;
- 4) детали стыка звеньев между собой, сопряжение откосов и русла;
- 5) спецификацию;
- 6) основную надпись.

2.6.1. Продольный разрез трубы

Продольный разрез по оси трубы включает разрезы тела трубы, противодиффузионного экрана. Схема продольного разреза трубы на выходе представлена на рис. 2.8. Детальные продольные разрезы тела трубы представлены на рис. 2.9 и 2.10.

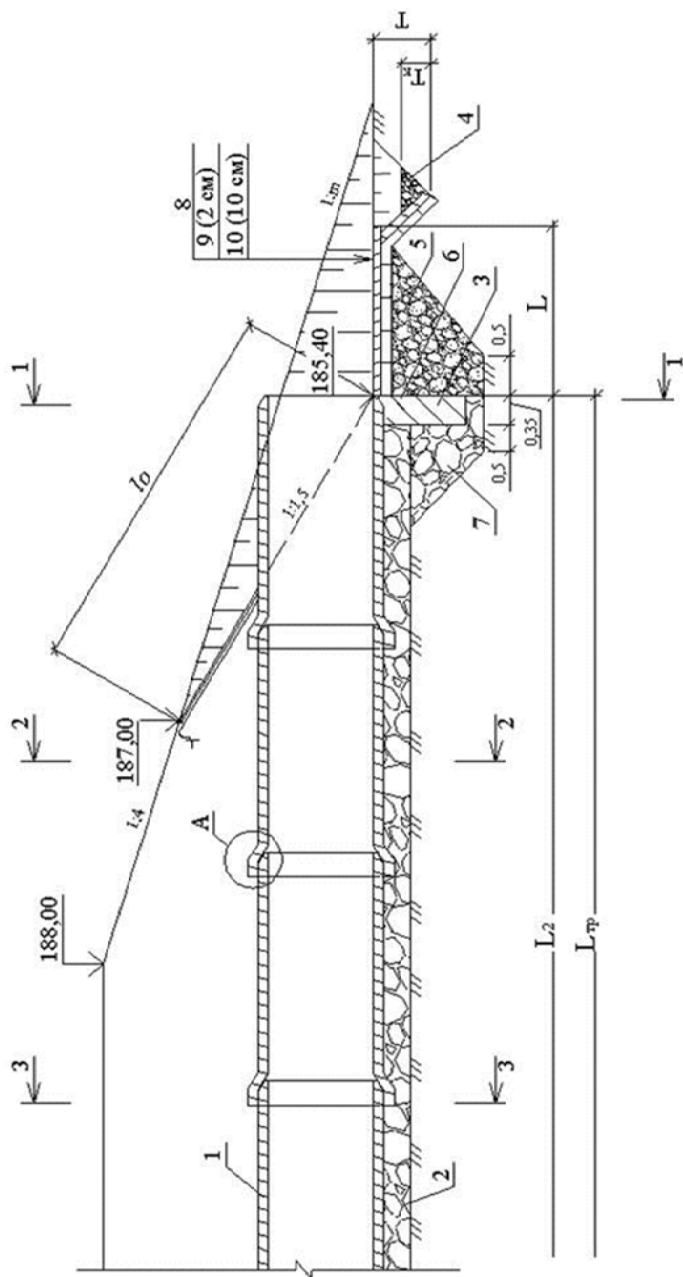


Рис. 2.8. Продольный разрез безфундаментной трубы на выходе при заложении откоса насыпи 1 : 4:
 1 – звено трубы; 2 – ПГС, щебень; 3 – противофильтратционный экран; 4 – наброска камня; 5 – засыпка ПГС;
 6 – бетон В25; 7 – щебень; 8 – плиты ПК 100.12.е; 9 – строительный раствор; 10 – щебень

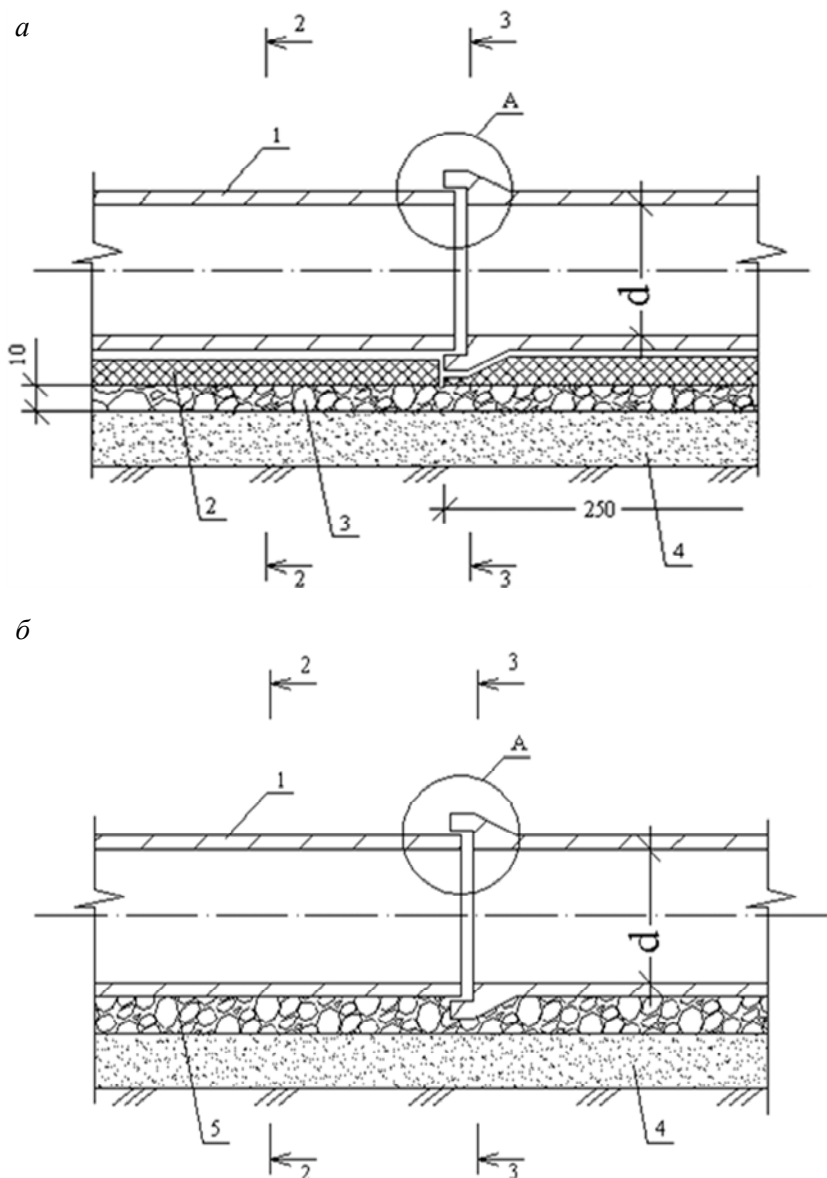


Рис. 2.9. Фрагмент продольного разреза трубы:

а – на монолитном фундаменте; *б* – на подушке из ПГС: 1 – звено трубы; 2 – монолитный бетон; 3 – щебень (10 см); 4 – замена грунта основания; 5 – ПГС

На продольном разрезе указывают ширину дорожного полотна, длину трубы общую и верховой и низовой части, толщину каменной наброски, отметки бровки обочины, верха укрепления.

На продольном разрезе указывают отметки лотка трубы на входе H_1 , по оси H_0 и на выходе H_2 .

По оси дороги указывают две отметки лотка: первая – отметка после осадки насыпи; вторая (в скобках) – с учетом строительного подъема.

Также на продольном разрезе показывают поперечные сечения ковша размыва (глубину, размеры наброски камня и предохранительного откоса), конструкцию укрепления русла, откосов насыпи. Обозначение позиций назначается в соответствии со спецификацией (см. п. 2.6.5).

2.6.2. Поперечные разрезы тела трубы

На чертеже трубы (рис. 2.10–2.11) приводятся поперечные сечения тела трубы (2–2) и сечение стыка трубы (3–3) для принятого по заданию типа фундамента и необходимости замены грунта основания.

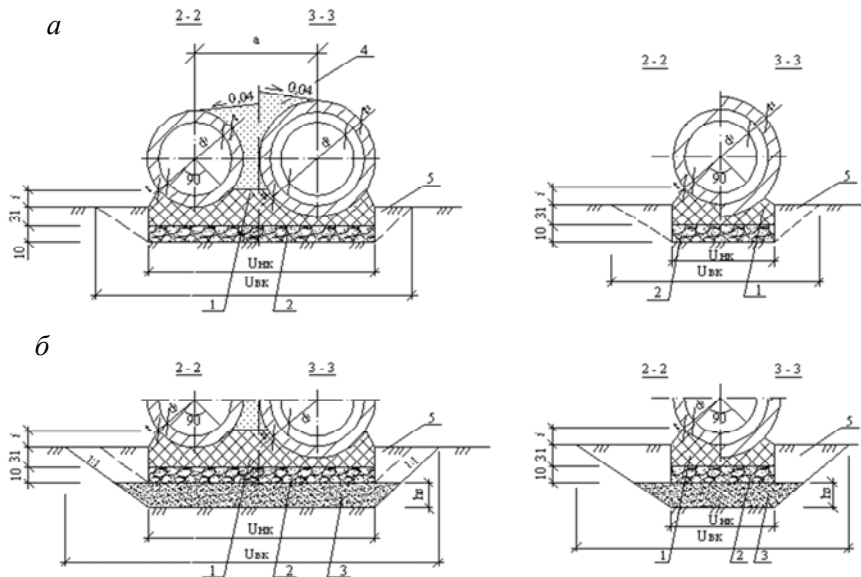


Рис. 2.10. Поперечные разрезы 2–2 и 3–3 (см. рис. 2.9, а) фундаментной трубы: а – без замены грунта основания; б – с заменой: 1 – бетон фундамента В25; 2 – щебень толщиной 10 см; 3 – замена грунта основания; 4 – заполнение пазух двухчковой трубы бетоном В7,5; 5 – обратная засыпка котлована

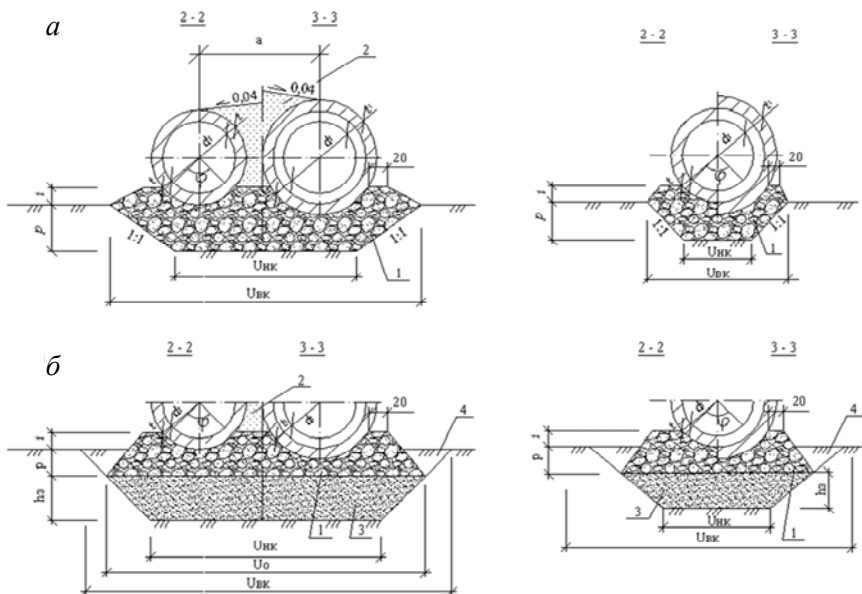


Рис. 2.11. Поперечные разрезы 2–2 и 3–3 (см. рис. 2.8 и 2.9, б) труб на подушке из ПГС (щебня): без замены грунта основания (а) и с заменой (б):
 1 – ПГС (щебень); 2 – засыпка пазух ПГС; 3 – замена грунта основания;
 4 – обратная засыпка котлована

Толщину монолитного фундамента предусматривают равной 31 см. Толщину подушки из гравийно-щебеночной смеси и толщину замены слабого грунта основания принять по заданию.

Поперечные сечения (2–2) и (3–3) приведены на рис. 2.10 и 2.11. Вместо буквенных обозначений подставляются данные, полученные расчетом по формулам (см. § 2.7).

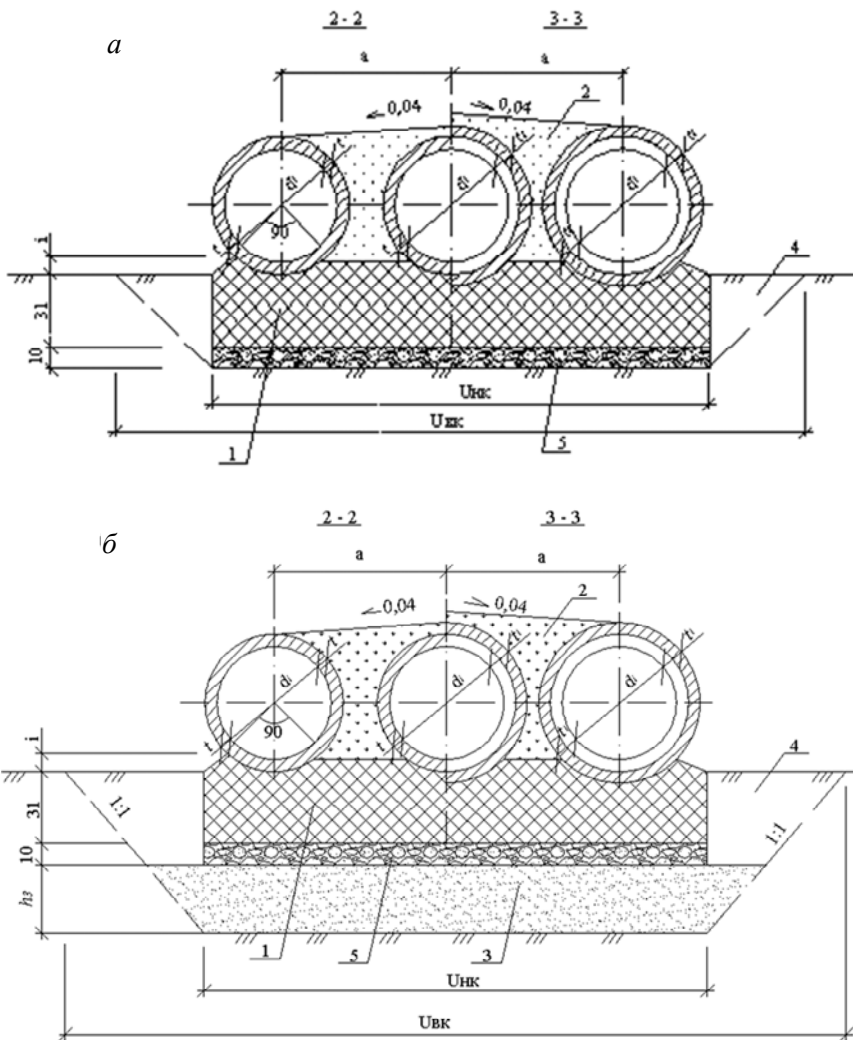


Рис. 2.13. Поперечные разрезы 2-2 и 3-3 (см. рис. 2.9) трехочковых труб на монолитном фундаменте без замены грунта основания (а) или с заменой (б): 1 – бетон В25; 2 – засыпка пазух бетоном В7,5; 3 – замена грунта основания; 4 – обратная засыпка котлована; 5 – щебень толщиной 10 см

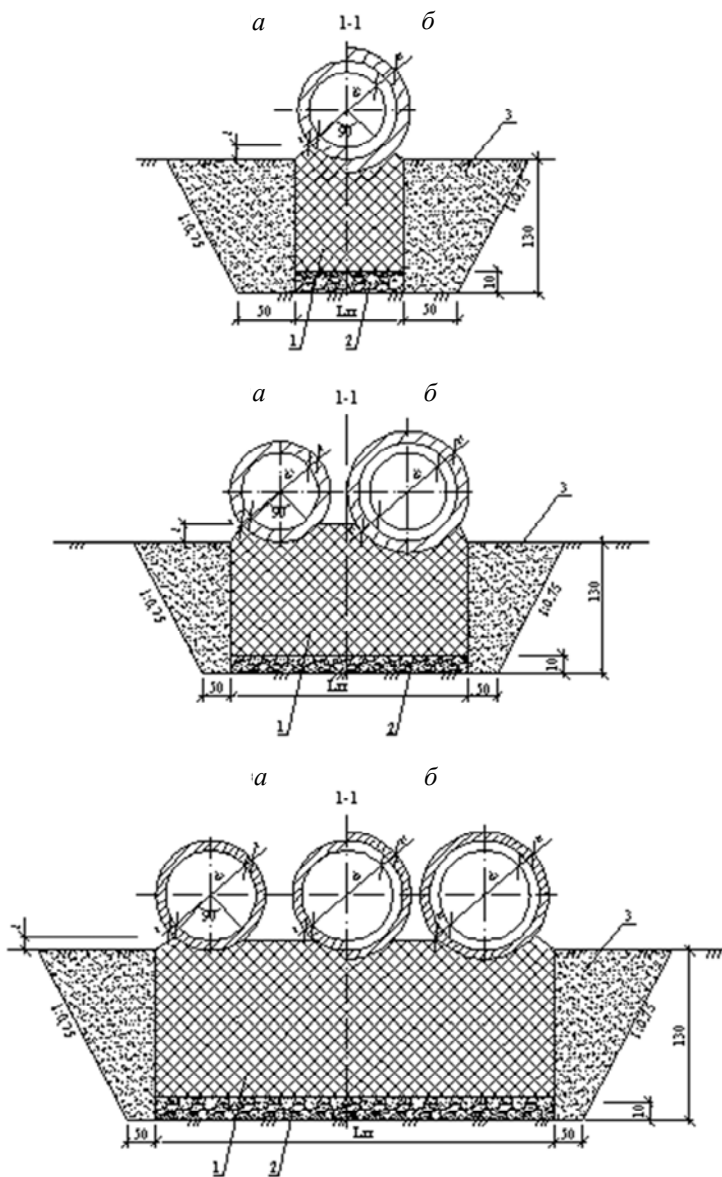


Рис. 2.14. Поперечные разрезы противофильтрационного экрана на выходе (а) и на входе (б): 1 – бетон В25; 2 – щебеночная подготовка толщиной 10 см; 3 – засыпка котлована ПГС

2.6.3. План трубы

План включает (рис. 2.15–2.17) изображение начала и конца трубы, очертание границ укрепления русла на выходе, на входе, откосов в соответствии с принятым типом укрепления, его размерами (см. § 2.5).

Схема плана трубы приведена на рис. 2.15 и 2.16.

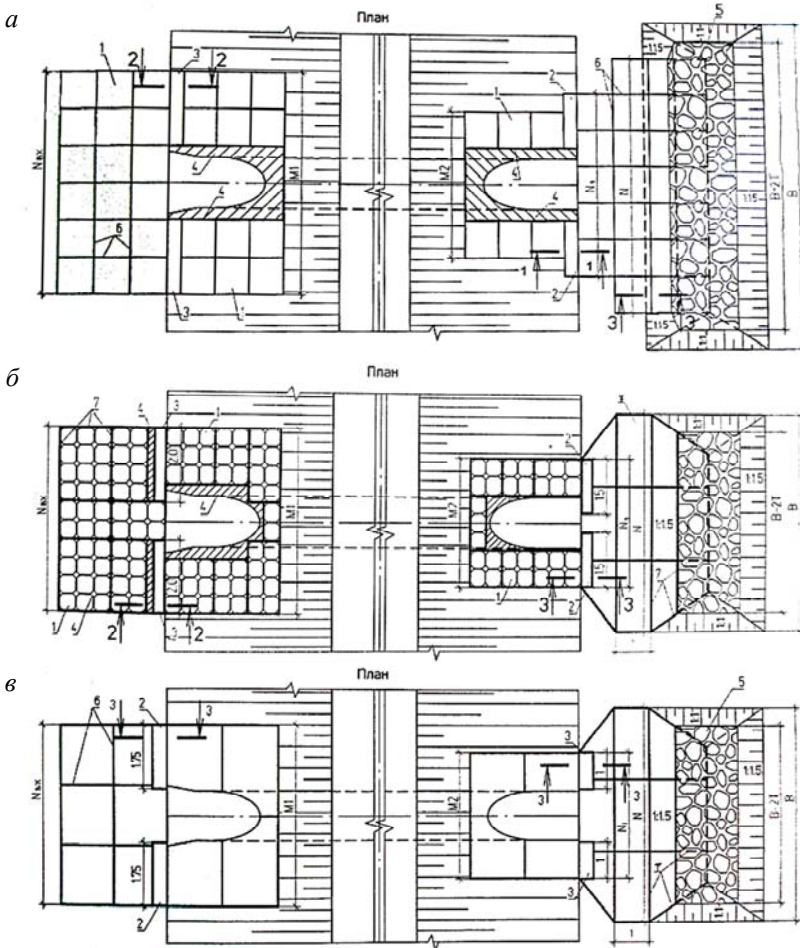


Рис. 2.15. Схемы плана трубы при укреплении:

- a* – плитами ПК100.12.е; *б* – русла на выходе монолитным бетоном, русла на входе и откосов плитами ПК50.8.е; *в* – монолитным бетоном: 1 – плиты; 2, 3 – блок упора; 4 – бетон В25; 5 – наброска камня; 6 – строительный раствор; 7 – антисептированные доски

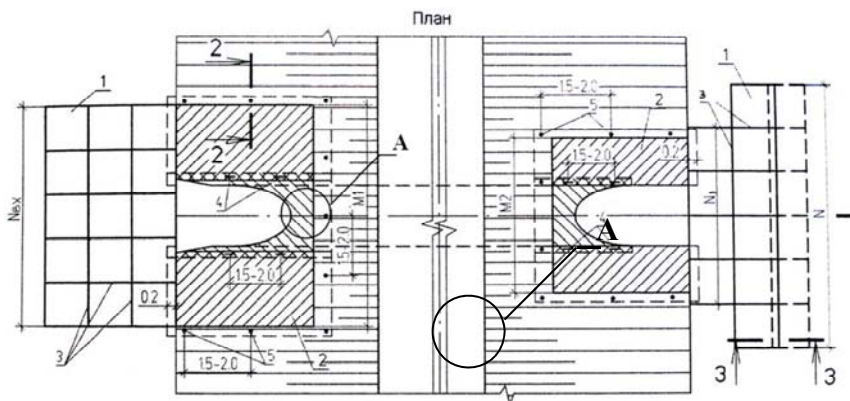


Рис. 2.16. Схема плана трубы при укреплении откосов нетканым геотекстильным полотном русла плитами ПК 100.12.е: 1 – плиты ПК100.12.е; 2 – НГ СТ; 3 – строительный раствор; 4 – скобы; 5 – кольца

В случае пологих откосов насыпи начало и конец трубы смещаются от подошвы насыпи к оси дороги (см. § 2.1). В этом случае на плане трубы приводится схема сопряжения откосов. Пример такого сопряжения представлен на рис. 2.17.

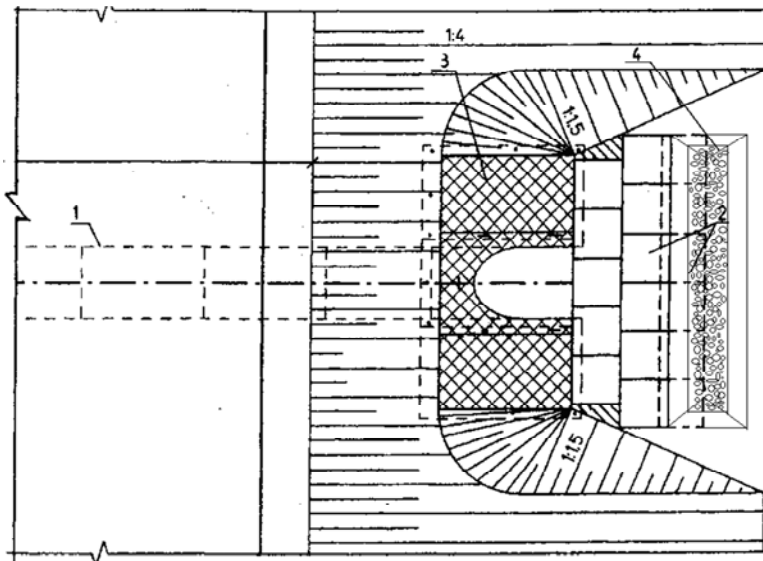


Рис. 2.17. Пример плана трубы на выходе:
1 – звено; 2 – плиты ПК 100.12.е; 3 – НГ СТ; 4 – наброска камня

В случае, когда начало (конец) трубы отодвигаются от подошвы насыпи по направлению от оси дороги, на плане трубы приводится сопряжение откосов насыпи и обсыпки трубы, пример которого представлен на рис. 2.18.

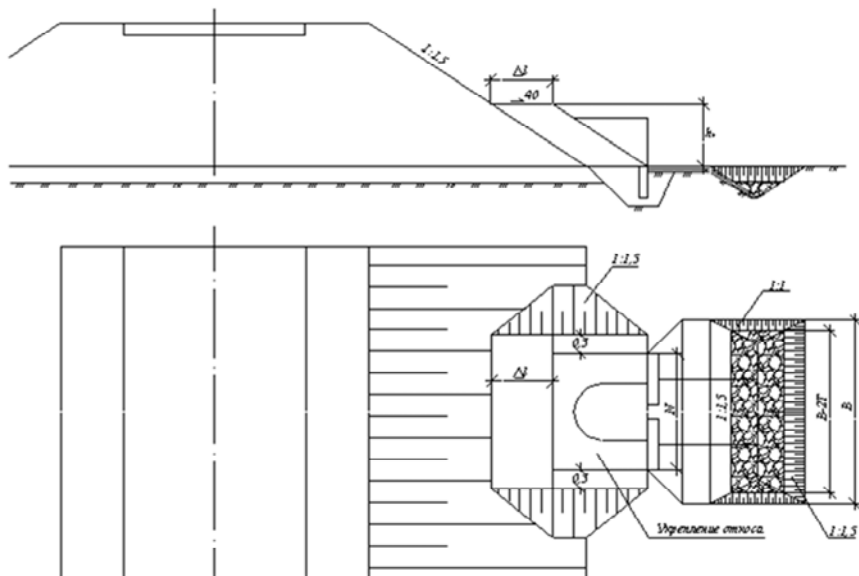


Рис. 2.18. Сопряжение откосов насыпи и обсыпки трубы

2.6.4. Деталь стыка звеньев трубы, сопряжение откосов и русла

Детали стыка звеньев труб (узел А, рис. 2.8) приведены на рис. 2.19.

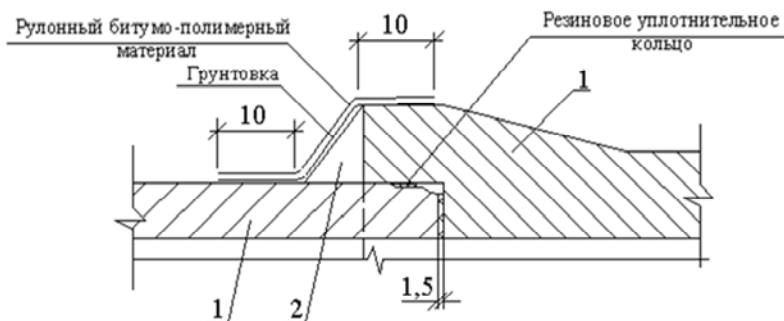
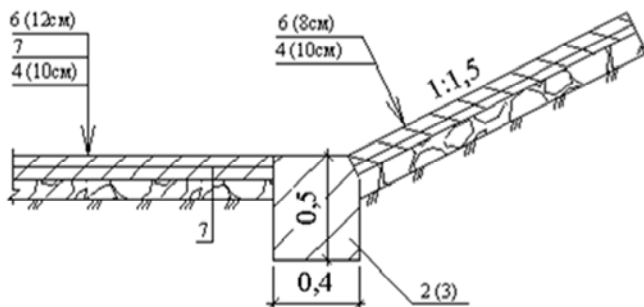


Рис. 2.19. Сопряжение звеньев между собой:
1 – звено; 2 – строительный раствор

Кроме того, на чертеже трубы приводятся детали сопряжения укрепления откоса насыпи у трубы и русла при использовании в качестве укрепления монолитного бетона или сборных плит. При укреплении русла бетоном блок упора размещается в русле за подошвой насыпи (рис. 2.15, *в* и 2.20, *а*). При укреплении русла сборными плитами блоки упора размещаются у подошвы насыпи со стороны откоса (рис. 2.15, *а* и 2.20, *б*).

а

3-3 (Рис. 2.15)



б

1-1 (Рис. 2.15)

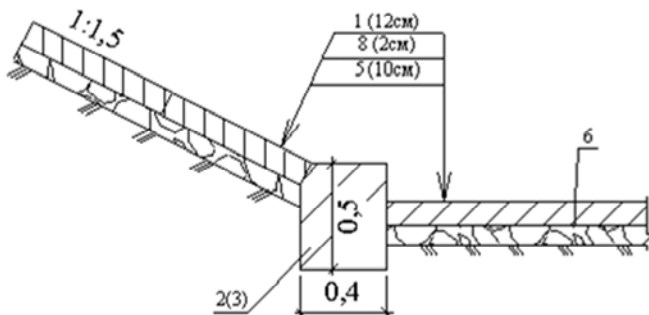


Рис. 2.20. Сопряжение укрепления откоса и русла:

а – при укреплении русла монолитным бетоном; *б* – при укреплении русла плитами ПК 100.12.е: 1 – плиты ПК 100.12.е; 2, 3 – блок упора БУП 150.40.5.е (БУП 200.40.50.е); 4, 5 – щебень; 6 – бетон В25; 7 – арматурная сетка; 8 – цементный раствор

Сопряжение укрепления бетонными плитами русла и предохранительного откоса ковша размыва приведено на рис. 2.21.

3 - 3 (Рис. 2.15, а)

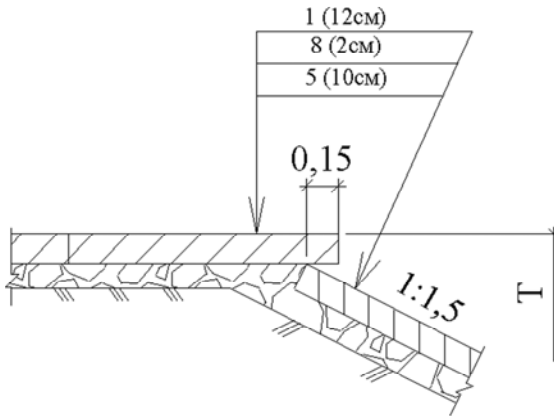


Рис. 2.21. Сопряжение укрепления русла и ковша размыва:
1 – плиты ПК 100.12.е; 5 – щебень; 8 – цементный раствор

В случае укрепления откосов нетканым геотекстильным полотном НГ СТ (рис. 2.16) приводится деталь сопряжения укрепления прилегающего откоса (рис. 2.22). В русле полотна НГ СТ заводятся под плиты ПК 100.12.е.

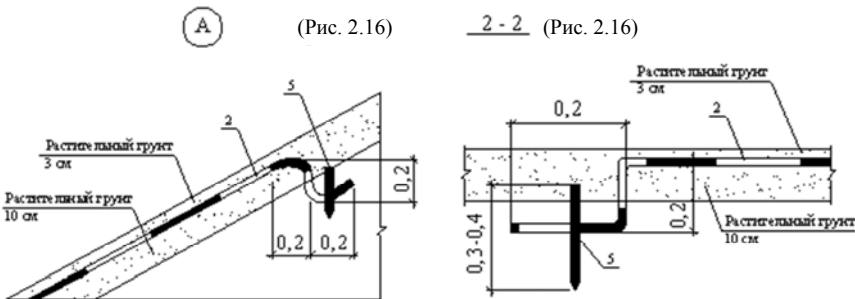


Рис. 2.22. Сопряжение укрепления нетканым геотекстильным полотном (НГ СТ) с прилегающим неукрепленным откосом: 2 – НГ СТ; 5 – деревянные колья

2.6.5. Составление спецификации элементов трубы

На чертеже водопропускной трубы приводится спецификация элементов трубы по форме, представленной в табл. 2.11.

Спецификация включает перечень сборных элементов, монолитных участков и материалов, их количество и объем. Спецификация составляется после определения объемов работ (см. § 2.7).

В спецификации по каждой позиции указывается ее марка (номер на чертеже), обозначение нормативного документа на элемент или материал (номер типового проекта, ГОСТа, СТБ). Обозначения нормативных документов приведены в табл. 2.12. Для сборных бетонных или железобетонных элементов указывается их количество, масса единицы (см. табл. 2.13). В случае сборных элементов в графе «Примечание» указывается характеристика бетона, например В25, W6, F200.

Таблица 2.11

Спецификация элементов трубы

Марка позиции	Обозначение	Наименование	Количество (объем)	Масса ед., кг	Примечание
Раздел 1. Сборные конструкции					
...
Раздел 2. Материалы					
...	не за-полн.	...

Таблица 2.12

Обозначения нормативных документов

№ п/п	Наименование материала (элемента)	Обозначение
1	2	3
1	Звено ТВ100.50; ТВ120.25; ТВ140.25; ТВ160.25 (В30, W6, F200)	ТПБ 008.1–2.08
2	Анкерные скобы	ГОСТ 5781–82
3	Плиты ПК50.8.е (В25, W6, F200)	СТБ 1261–2001
4	Плиты ПК100.12.е (В25, W6, F200)	СТБ 1261–2001
5	Плиты К40.7.е (В20, W6, F200)	СТБ 1071–2007

Окончание табл. 2.12

1	2	3
6	Блок упора БУП150.40.50 (В30, W6, F200)	СТБ 1261–2001
7	Блок упора БУП200.40.50 (В30, W6, F200)	СТБ 1261–2001
8	Бетон В25, W6, F200	СТБ 1310–2002
9	Раствор строительный М200	СТБ 1307–2002
10	Смесь песчаногравийная природная	ГОСТ 23731–89
11	Щебень	ГОСТ 8267–93
12	Нетканое геотекстильное полотно с семенами трав (НГ СТ)	СТБ 1030–96
13	Бетон В 7,5	
14	Антисептированные доски	–
15	Деревянные колья	–
16	Арматурная сетка из стержней $d = 6$ мм А240 ячейки 20×20 см	ГОСТ 5781–82
17	Анкерные скобы А240 $d = 6$ мм	ГОСТ 5781–82

Таблица 2.13

Характеристика сборных конструкций

Наименование элемента	Марка элемента	Масса, кг	Расход бетона В30, м ³
Звено	ТВ100.25-1	3130	1,27
	ТВ100.25-2	3170	1,27
	ТВ120.25-1	3950	1,60
	ТВ120.25.-2	4020	1,60
	ТВ140.25-1	4700	1,90
	ТВ140.25-2	4830	1,90
	ТВ160.25-1	5170	2,30
	ТВ160.25-2	5890	2,30
Блок упора	БУП150.40.50	720	–
	БУП200.40.50	960	–
Плита	ПК100.12	300	–
	ПК50.8	50	–
	К40.7	30	–

2.6.6. Основная надпись

Основная надпись размещается в правом нижнем углу чертежа и имеет вид (рис. 2.23).

185																										
17				23				15				10				70					15		15		20	
1																										
2																										
9				10				11				12				5		14		15		16				
13				10				11				12				10		5		6		7				
3																										
4																										
15																										
8																										
5																										
Формат...																										

Рис. 2.23. Основная надпись

- В основной надписи вместо цифр на рис. 2.23 следует указывать:
- 1 – Курсовой проект «Проект пересечения водотока»;
 - 2 – Дисциплина «Специальные вопросы проектирования автомобильных дорог и аэродромов»;
 - 3 – Пересечение малого водотока;
 - 4 – Проект водопропускной трубы;
 - 5 – КП (курсовой проект);
 - 6 – Порядковый номер чертежа;
 - 7 – Количество чертежей;
 - 8 – БНТУ Кафедра «Проектирование дорог»;
 - 9, 13 – Руководитель, Исполнитель;
 - 10, 11, 12 – Фамилии, Подписи, Даты подписей;
 - 14, 15, 16 – Стадия, Лист, Листов.

2.7. Определение объемов работ по строительству водопропускной трубы

Ведомость объемов работ составляется по форме, приведенной в табл. 2.14. В ведомости отдельно даются объемы работ на устройство фундамента и тела трубы, на устройство противофильтрационного экрана, на укрепление русла на выходе, откосов на выходе, русла на входе, откосов на входе, на устройство ковша размыва. По каждому разделу приводится перечень работ, записывается форму-

ла вычисления и общий объем работ. В названии ведомости указываются количество очков n , отверстие трубы и марка звена по прочности (например, 2 ТВ 120.25-1).

Таблица 2.14

Форма ведомости объемов работ на устройство трубы
(n ТВ ...25-1)

Номер		Наименование разделов и работ	Ед. измерения	Формула расчета	Общий объем
раздела	работ				
1		Устройство тела трубы n ТВ ...25-1(2)			
2		Устройство противофильтрационного экрана			
3		Устройство ковша размыва			
4		Укрепление откосов на входе			
5		Укрепление русла на входе			
6		Укрепление откосов на выходе			
7		Укрепление русла на выходе			

2.7.1. Устройство тела трубы

Основные работы по устройству тела трубы приведены в табл. 2.15.

Таблица 2.15

Основные работы по устройству тела трубы

Номер работы	Наименование работы	Ед. изм.
1.1	Рытье котлована	m^3
1.2	Устройство щебеночной подготовки	m^3
1.3	Устройство фундамента из бетона В25	m^3
1.4	Устройство подушки из ПГС (щебня)	m^3
1.5	Монтаж звеньев труб	шт./ m^3
1.6	Омоноличивание стыков звеньев строительным раствором	m^3
1.7	Гидроизоляция оклеечная стыков звеньев	m^3
1.8	Заполнение пазух ПГС (бетоном В7,5)	m^3
1.9	Обратная засыпка котлована	m^3
1.10	Замена грунта под основание	m^3

Бесфундаментные трубы без замены грунта под основание

Устройство тела трубы включает (табл. 2.15) работы 1.1, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7 и 1.8 в случае многоочковых труб (рис. 2.11, 2.12).

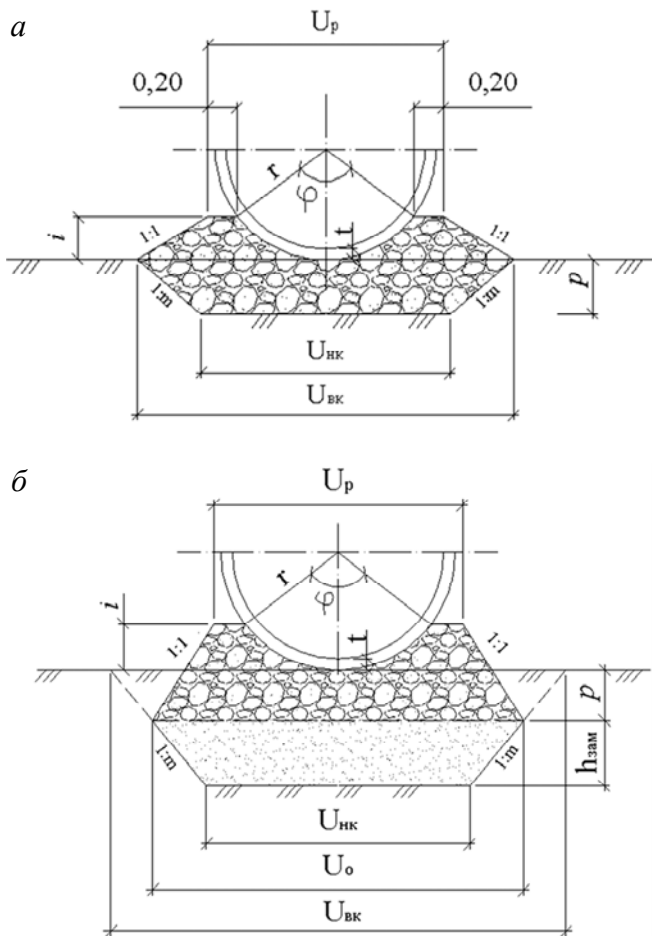


Рис. 2.24. Поперечное сечение основания бесфундаментной одноочковой трубы без замены грунта под основание (а) и с заменой грунта (б)

Предварительно вычисляют основные размеры поперечного сечения основания (рис. 2.24).

Высота подсыпки у трубы:

$$i = r - r \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right), \quad (2.62)$$

где r – радиус наружной поверхности звена трубы ($r = \frac{d}{2} + t$), м;

φ – угол обхвата звена (по заданию);

t – толщина стенки трубы, см. табл. 2.1;

d – диаметр звена, м.

Ширина подсыпки (рис. 2.24, а):

$$U_p = 2r \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) + a(n-1) + 0,4, \quad (2.63)$$

где n – число очков трубы;

a – расстояние между осями звеньев многоочковой трубы, м; зависит от диаметра звена d , м:

d , м	1,0	1,2	1,4	1,6
a , м	1,47	1,72	1,92	2,16

Ширина верха и низа котлована

$$U_{\text{вк}} = U_p + 2 \cdot i; \quad (2.64)$$

$$U_{\text{нк}} = U_{\text{вк}} - 2 \cdot m \cdot p, \quad (2.65)$$

где m – заложение откоса котлована ($m = 0,75$, $m = 1,0$, по заданию);

p – толщина основания из ПГС (по заданию).

Единичные объемы (на 1 м тела трубы) работы 1.1 «Рытье котлована», 1.4 «Устройство подушки из ПГС» вычисляются по формулам

$$W_{1,1} = 0,5(U_{\text{вк}} + U_{\text{нк}})p; \quad (2.66)$$

$$W_{1,4} = W_{1,1} + 0,5(U_p + U_{\text{вк}})i - 0,5 \cdot n \cdot r^2 \left(\frac{\pi \cdot \varphi}{180} - \sin \varphi \right), \quad (2.67)$$

где n – число очков трубы.

Общий объем получают, умножая единичные объемы на длину котлована за вычетом толщины противofильтрационных экранов, равной $2 \times 0,35$ м.

Пример

Исходные данные. Труба одноочковая ТВ 120.25 состоит из восьми звеньев, имеет длину 20,12 м, толщина основания – из ПГС 0,40 м, угол обхвата $\varphi = 110^\circ$, заложение откосов котлована $m = 0,75$.

Требуется вычислить объемы работ по рытью котлована и по устройству подушки из ПГС.

По табл. 2.1 принимаем $t = 0,14$ м. Тогда $r = 1,2 / 2 + 0,14 = 0,74$ м. Вычислим по формулам (2.62)–(2.65):

$$i = 0,74 - 0,74 \cdot \cos(110^\circ / 2) = 0,32 \text{ м};$$

$$U_p = 2 \cdot 0,74 \cdot \sin(110^\circ / 2) + 0,4 = 1,61 \text{ м};$$

$$U_{вк} = 1,61 + 2 \cdot 0,32 = 2,25 \text{ м};$$

$$U_{нк} = 2,25 - 2 \cdot 0,75 \cdot 0,4 = 1,65 \text{ м}.$$

Единичные объемы работ 1.1 «Рытье котлована» и 1.4 «Устройство подушки из ПГС» (табл. 2.15):

$$W_{1.1} = 0,5(2,25 + 1,65)0,4 = 0,78 \text{ м}^3/\text{п. м};$$

$$W_{1.4} = 0,78 + 0,5(1,6 + 2,25)0,32 - 0,5 \times \\ \times 0,74^2 \left(\pi \cdot 110^\circ / 180 - \sin 110^\circ \right) = 1,13 \text{ м}^3/\text{п. м}.$$

Длина тела трубы между противofильтрационными экранами составляет $20,12 - 0,70 = 19,42$ м.

Общий объем по работе 1.1 «Рытье котлована» и 1.4 «Устройство подушки из ПГС»:

$$W_{1,1} = 0,78 \cdot 19,42 = 15,15 \text{ м}^3;$$

$$W_{1,4} = 1,14 \cdot 19,42 = 22,14 \text{ м}^3.$$

В табл. 2.14 в графу «Формула расчета» записывается в строке «Рытье котлована»: « $0,78 \cdot 19,42$ », а в строке «Устройство подушки из ПГС» – « $1,14 \cdot 19,42$ ». В графе «Общий объем» записываются результаты умножения.

Методика определения объемов работ 1.5, 1.6, 1.7 и 1.8 (табл. 2.15) изложена в § 2.7 «Определение объемов работ 1.5, 1.6, 1.7 и 1.8 (табл. 2.15)».

Бесфундаментные трубы с заменой грунта под основание

Устройство тела трубы безголовочных труб с заменой грунта включает работы (табл. 2.15) 1.1, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.9, 1.10 и 1.8 в случае многоочковых труб.

Предварительно вычисляют высоту подсыпки i по формуле (2.62), ширину подсыпки U_p по формуле (2.63), ширину основания из ПГС (щебня) (рис. 2.24, б):

$$U_o = U_p + 2(p_o + i), \quad (2.68)$$

где p_o – толщина основания из ПГС (щебня) (по заданию).

Ширина верха котлована:

$$U_{вк} = U_o + 2 \cdot p_o \cdot m. \quad (2.69)$$

Ширина низа котлована:

$$U_{нк} = U_o - 2 \cdot m \cdot h_{зам}, \quad (2.70)$$

где m – заложение откоса (по заданию);

$h_{зам}$ – толщина слоя заменяемого грунта (по заданию).

Единичные объемы (на 1 п. м) работ 1.1 «Рытье котлована», 1.4 «Устройство подушки из ПГС (щебня)» и 1.10 «Замена грунта под основание» вычисляются по формулам

$$W_{1.1} = 0,5(U_{вк} + U_{нк})(p_0 + h_{зам}); \quad (2.71)$$

$$W_{1.10} = 0,5(U_{нк} + U_0) \cdot h_{зам}; \quad (2.72)$$

$$W_{1.4} = 0,5(U_0 + U_p)(p_0 + i) - 0,5 \cdot n \cdot r^2 \left(\frac{\pi \cdot \varphi}{180} - \sin \varphi \right), \quad (2.73)$$

где r – радиус наружной поверхности звена трубы, м;

φ – угол обхвата звена (по заданию), град.;

n – число очков трубы.

Единичный объем (на 1 п. м) работ 1.9 «Обратная засыпка котлована» вычисляется по формуле

$$W_{1.9} = (1 + m)p_0^2, \quad (2.74)$$

где m – заложение откоса котлована (по заданию).

Общий объем работ 1.1, 1.4, 1.9 и 1.10 получают, умножая единичные объемы, полученные по формулам (2.71–2.74), на длину котлована, которая равна длине трубы, уменьшенной на 0,70 м.

Объемы работ 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 (табл. 2.15) определяются по методике, изложенной в § 2.7 «Определение объемов работ по строительству водопропускной трубы».

Фундаментные трубы без замены грунта под основание

Устройство тела фундаментной трубы включает работы (табл. 2.15) 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.7, 1.9 и 1.8 для многоочковых труб.

Предварительно вычисляют размеры поперечного сечения трубы (рис. 2.25).

Высота подбивки бетоном трубы i (рис. 2.25) определяется по формуле (2.62), принимая угол обхвата по заданию.

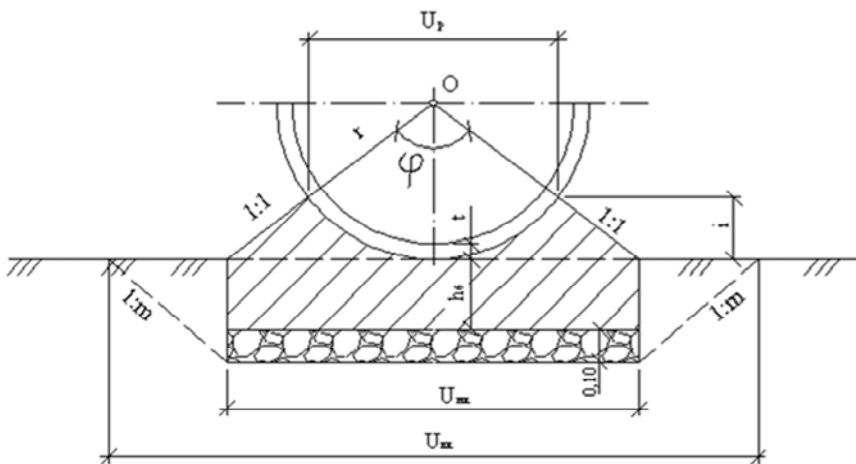


Рис. 2.25. Поперечное сечение бетонного фундамента трубы

Ширина подбивки определяется по формуле

$$U_p = 2r \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) + a(n-1), \quad (2.75)$$

где r – радиус наружной поверхности звена трубы, м;

n – число очков трубы;

a – расстояние между осями звеньев многоочковой трубы (см. формулу (2.63)).

Ширина низа котлована (бетонного фундамента) (рис. 2.25):

$$U_{нк} = U_p + 2 \cdot i, \quad (2.76)$$

Ширина верха котлована

$$U_{вк} = U_{нк} + 2 \cdot m(h_б + 0,10), \quad (2.77)$$

где $h_б$ – толщина бетонного фундамента ($h_б = 0,31$ м).

Объемы работ на 1 п. м тела трубы:

1.1. «Рытье котлована»:

$$W_{1.1} = 0,5(U_{вк} + U_{нк}) \cdot (h_б + 0,1); \quad (2.78)$$

Предварительно вычисляют основные размеры поперечного сечения (рис. 2.26). Высота подбивки i_6 трубы бетоном определяется по формуле (2.62), ширина подбивки U_p по формуле (2.75), ширина низа котлована по (2.76).

Ширина верха котлована:

$$U_{BK} = U_{HK} + 2 \cdot m \cdot h_k, \quad (2.82)$$

где m – заложение откосов котлована;

h_k – глубина котлована, определяется по формуле

$$h_k = h_{зам} + 0,10 + h_6, \quad (2.83)$$

где $h_{зам}$ – толщина слоя замены грунта (по заданию);

h_6 – толщина бетона ($h_6 = 0,31$ м).

Объемы работ на 1 п. м трубы:

1.1 «Рытье котлована»:

$$W_{1.1} = 0,5(U_{HK} + U_{BK}) \cdot h_k, \quad (2.84)$$

1.10 «Замена грунта под основание» слоем $h_{зам}$:

$$W_{1.10} = U_{HK} \cdot h_{зам} + m \cdot h_{зам}^2, \quad (2.85)$$

1.9 «Обратная засыпка котлована»:

$$W_{1.9} = m \cdot (h_k^2 - h_{зам}^2), \quad (2.86)$$

Единичные объемы работ 1.2, 1.3 (табл. 2.15) определяются по формулам (2.79), (2.80).

Единичные объемы работ 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 определяют по методике, изложенной в следующем пункте.

Определение объемов работ 1.5, 1.6, 1.7 и 1.8 (табл. 2.15)

Работа 1.5 «Монтаж звеньев» включает количество звеньев ТВ ...25... и их общий объем. Количество звеньев определяется длиной трубы. Объем бетона на 1 звено и масса звена приведены в табл. 2.13.

Работа 1.6 «Омоноличивание промежуточных стыков» осуществляется строительным раствором. Объем строительного раствора на стык определяется по формуле

$$W_{1.6} = \pi \cdot t_1^2 (0,5 \cdot d + t + 0,3t_1), \quad (2.87)$$

где d – диаметр трубы;

t – толщина звена;

t_1 – толщина раструба (табл. 2.1).

Площадь оклеечной изоляции одного стыка звеньев (работа 1.7)

$$F_{1.7} = (0,2 + \sqrt{2} \cdot t_1) \cdot \pi \cdot (d + 2t + t_1), \text{ м}^2. \quad (2.88)$$

Пазухи многоочковой трубы заполняются ПГС в случае бесфундаментной трубы или бетоном В7,5 в случае фундаментной трубы. Единичный объем (на 1 п. м) работы 1.8:

$$W_{1.8} = (n - 1) \cdot (a \cdot (d + t - i) - \pi \cdot r^2 + r^2 \left(\frac{\pi \cdot \varphi}{180} - \sin \varphi \right) / 2), \quad (2.89)$$

где n – число очков трубы;

a – расстояние между осями звеньев многоочковой трубы (см. формулу (2.72);

r – радиус внешней поверхности звена;

φ – угол обхвата (по заданию).

Единичные объемы включают в табл. 2.14 в колонку «Формула расчета». В эту колонку записывают длину тела трубы или количество звеньев, (стыков) звеньев между собой. Умножая единичные объемы на длину котлована под тела трубы на количество звеньев или стыков, получают общие объемы.

2.7.2 Устройство противofильтрационного экрана

Устройство противofильтрационного экрана включает работы, приведенные в табл. 2.16.

Таблица 2.16

Работы по устройству противofильтрационного экрана

Номер работы	Наименование работы	Ед. измерения
2.1	Рытье котлована	м ³
2.2	Устройство щебеночной подготовки	м ³
2.3	Устройство противofильтрационного экрана из монолитного бетона В20	м ³
2.4	Устройство подушки из ПГС	м ³

Предварительно вычисляют ширину противofильтрационного экрана L_{Π} , длину котлована (вдоль оси трубы) (рис. 2.27) по низу a_{H} и по верху a_{B} ($a_{\text{H}} = 1,35$ м, $a_{\text{B}} = 3,30$ м), ширину низа котлована e_{H} и верха e_{B} :

$$L_{\Pi} = U_{\text{p}} + 2 \cdot i; \quad (2.90)$$

$$e_{\text{H}} = L_{\Pi} + 1; \quad (2.91)$$

$$e_{\text{B}} = e_{\text{H}} + 1,95; \quad (2.92)$$

где U_{p} , i – определяются по формулам (2.75) и (2.62).

Работа 2.1 «Рытье котлована» под один противofильтрационный зуб определяется по формуле объема усеченной пирамиды:

$$W_{2.1} = h_{\text{к}} \cdot (S_1 + \sqrt{S_1 \cdot S_2} + S_2) / 3, \quad (2.93)$$

где $h_{\text{к}}$ – глубина котлована ($h_{\text{к}} = 1,30$ м);

S_1 , S_2 – площади дна котлована и верха:

$$S_1 = a_{\text{H}} \cdot e_{\text{H}}; \quad (2.94)$$

$$S_2 = a_{\text{B}} \cdot e_{\text{B}}. \quad (2.95)$$

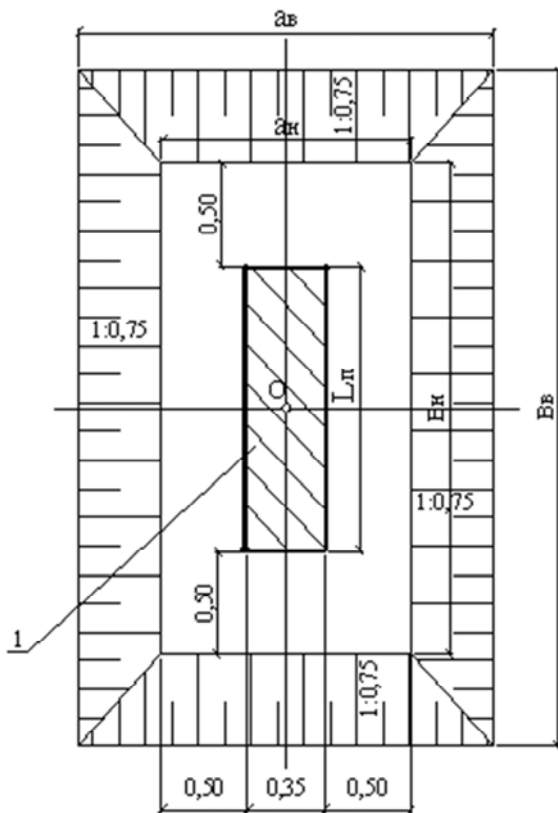


Рис. 2.27. Схема к определению объемов работ по устройству противофильтрационного экрана 1

Объемы работ 2.2, 2.3 (табл. 2.16) определяются по формулам:

$$W_{2,2} = 0,10 \cdot 0,35 \cdot L_{\text{п}};$$

$$W_{2,3} = 0,35 \cdot 1,20 \cdot L_{\text{п}} + 0,35 \cdot i \cdot \frac{(U_{\text{п}} + L_{\text{п}})}{2} - 0,5 \cdot n \cdot r^2 \left(\frac{\pi \cdot \varphi}{180} - \sin \varphi \right),$$

где n , r , φ – обозначения, указанные в экспликации формулы (2.73).

Работа 2.4 (табл. 2.16) «Устройство подушки из ПГС»:

$$W_{2,4} = W_{2,1} - W_{2,2} - 0,35 \cdot 1,20 \cdot L_{\text{п}}.$$

2.7.3. Устройство ковша размыва

Устройство ковша размыва может включать работы, приведенные в табл. 2.17.

Таблица 2.17

Работы по устройству ковша размыва

Номер работы	Наименование работы	Ед. измерения
3.1	Разработка грунта под ковш размыва	м ³
3.2	Планировка поверхности под укрепление	м ²
3.3	Устройство щебеночной подготовки	м ³
3.4	Укладка бетона В25	м ³
3.5	Монтаж плит ПК100.12.е	м ² /шт.
3.6	Наброска камня	м ³
3.7	Установка антисептированных досок	м ³
3.8	Укладка строительного раствора	м ³

Если предохранительный откос устраивается из монолитного бетона, то включаются работы 3.1–3.4 и 3.6, 3.7: если из плит ПК100.12.е, то работы 3.1–3.3, 3.5, 3.6 и 3.8.

Работа 3.1. «Объем грунта» определяется по формуле

$$W_{3.1} = 1,5 \cdot T^2 \cdot B_{\text{п}}, \text{ м}^3, \quad (2.96)$$

где T – глубина ковша размыва (по расчету, см. § 2.5);

$B_{\text{п}}$ – ширина предохранительного откоса (по расчету, см. § 2.5).

Работы 3.2, 3.3, 3.4 и 3.5 определяются площадью предохранительного откоса с заложением 1 : 1,5.

$$F_{\text{п.о}} = \sqrt{3,25} \cdot T \cdot B_{\text{п}}, \text{ м}^2, \quad (2.97)$$

Площадь планировки поверхности (работа 3.2, табл. 2.17) равна площади поверхности предохранительного откоса. Устройство ще-

беночной подготовки под укрепление толщиной 0,10 м (работа 3.3, табл. 2.17):

$$F_{3.2} = F_{п.о.}; \quad (2.98)$$

$$W_{3.3} = 0,1 \cdot F_{п.о.}, \text{ м}^3. \quad (2.99)$$

Укладка бетона (работа 3.4, табл. 2.17) толщиной 0,12 м:

$$W_{3.4} = 0,12 \cdot F_{п.о.}, \text{ м}^3, \quad (2.100)$$

Укладка строительного раствора (работа 3.8, табл. 2.17) толщиной 0,02 м:

$$W_{3.8} = 0,02 \cdot F_{п.о.}, \text{ м}^3, \quad (2.101)$$

Монтаж плит ПК100.12.е (работа 3.5, табл. 2.17) по площади равен площади предохранительного откоса. Последняя должна быть кратна площади одной плиты, т. е. 1 м².

Объем наброски камня (работа 3.6, табл. 2.17)

$$W_{3.6} = 1,5 \cdot T_{\text{к}}^2 (B_{\text{п}} - 2(T - T_{\text{к}})), \quad (2.102)$$

где $T_{\text{к}}$ – высота наброски камня (по расчету).

Объем антисептированных досок (работа 3.7, табл. 2.17)

$$W_{3.7} = 0,01 \cdot F_{п.о.} \quad (2.103)$$

2.7.4. Укрепление русла и откосов

Объемы работ по устройству укрепления русла и откосов определяют отдельно для русла на входе, на выходе, откосов на входе, на выходе. Для этого предварительно определяют площади укрепления по размерам укрепления на чертеже трубы. Тип укрепления русла и откосов принимается по заданию.

Укрепление русла трубы на входе и на выходе и откосов может включать следующие работы (табл. 2.18).

Таблица 2.18

Работы по укреплению русла и откосов

Номер работы	Наименование работы	Ед. измерения
4.1	Разработка грунта вручную	м ³
4.2	Планировка поверхности под укрепление откосов	м ²
4.3	Планировка поверхности под укрепление русла	м ²
4.4	Устройство щебеночной подготовки	м ²
4.5	Укладка бетона В25	м ³
4.6	Монтаж плит ПК100.12.е	м ² /шт.
4.7	Монтаж плит ПК50.8.е	м ² /шт.
4.8	Монтаж блоков упоров	кг/шт.
4.9	Укладка строительного раствора	м ³
4.10	Укладка нетканого геотекстильного полотна с семенами трав	м ²
4.11	Подсыпка растительного грунта	м ³
4.12	Установка антисептированных досок	м ³
4.13	Установка анкерных скоб	шт.
4.14	Установка деревянных кольев	шт.

В таблице 2.18 все работы условно отнесены к разделу 4 (табл. 2.14) ведомости объемов работ. В пояснительной записке объем работ по укреплению русла на входе относится к разделу 5, на выходе – к разделу 7.

Например, работа 4.5 «Укладка бетона В25» в русле на входе имеет номер 5.5, в русле на выходе – 7.5, на откосах на входе – 4.5, на выходе – 6.5

Укрепление откосов и русла монолитным бетоном включает работы 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.8 и 4.12. Укрепление откосов и русла на входе плитами ПК100.12.е включает работы 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.6, 4.8 и 4.9. Укрепление откосов и русла на входе плитами ПК50.8.е предусматривает работы 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.7, 4.8, 4.9, 4.12.

На откосах плиты ПК100.12.е, ПК50.8.е и К40.7.е могут не закрыть требуемую площадь укрепления. В этом случае такие участки укрепляются монолитным бетоном и дополнительно включается работа 4.5.

Укрепление откосов нетканым геотекстильным полотном с семенами трав включает работы 4.1, 4.2, 4.10, 4.11, 4.13, 4.14.

В случае укрепления откосов необходимо определить длину укрепленного откоса при известной его высоте h_y и заложении откоса $1 : m_0$. Эта длина

$$l_0 = \sqrt{(1 + m_0^2)} \cdot h_y, \quad (2.104)$$

где h_y – высота укрепления откоса на входе и на выходе, определяются расчетом (см. § 2.1).

Площадь укрепления откосов у трубы нетканым геотекстильным полотном определяется как разность площадей прямоугольника и эллипса по формуле

$$F_{0,т} = l_0 \cdot b_0 - \frac{\pi}{4} \cdot (d + 2 \cdot t)(d + t) \sqrt{1 + m_0^2} \cdot n, \quad (2.105)$$

где b_0 – ширина укрепления откоса;

d – отверстие трубы;

t – толщина стенки звена трубы (табл. 2.1);

n – число очков.

В случае укрепления откоса и русла монолитным бетоном площадь укрепления откоса также определяется по формуле (2.105).

Если откос укрепляется сборными плитами, следует выполнять раскладку плит по контуру укрепления. Оставшуюся часть укрепления выполнить из бетона. Следует учесть также, что блоки упоров размещаются на откосе у его подошвы, уменьшая площадь укрепления.

Объем по разработке грунта вручную под укрепление равен произведению площади укрепления на толщину укрепления. Например, при укреплении откоса плитами ПК100.12.е на слое цементного раствора 2 см и щебня 10 см на площади 20 м^2 объем разрабатываемого вручную грунта составит $(0,12 + 0,02 + 0,10) 20 = 4,8 \text{ м}^3$.

Площадь планировки поверхности под укрепления равна площади укрепления.

Объем щебеночной подготовки толщиной 0,10 м равен произведению этой толщины на площадь укрепления. Аналогично получа-

ем и объем бетона слоем 0,12 м, умножая 0,12 на площадь укрепления. Объем слоя строительного раствора толщиной 0,02 м также равен произведению толщины на площадь укрепления.

Блоки упоров предусматриваются при укреплении откосов плитами или бетоном. Их сечение $0,4 \times 0,5$ м и длина 1,50 и 2,0 м (БУП150.40.50 и БУП200.40.50). Их количество рассчитывается исходя из ширины укрепления откосов. Масса одного блока принимается по табл. (2.13) и указывается в спецификации на чертеже трубы.

При укреплении откосов нетканым геотекстильным полотном (НГ СТ) площадь этого материала следует принять больше площади укрепления на величину, равную произведению периметра внешнего края укрепления на ширину 0,40 м. Это связано с необходимостью заделки края полотна НГ СТ шириной 0,20 м на глубину 0,20 м.

Кроме того, полотна шириной 2,0 м укладываются внахлест шириною 0,15 м и крепятся анкерными скобами через 1,0–1,5 м между собой и деревянными кольями по периметру укрепления откоса через 1,0–1,5 м.

Раздел 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА

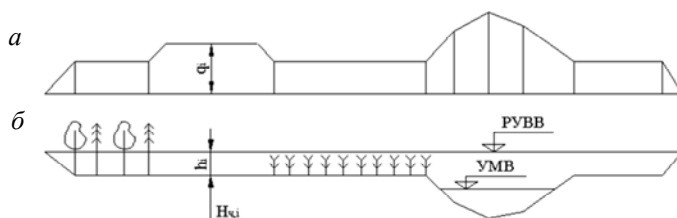
3.1. Определение бытовых характеристик водотока

Исходными данными являются поперечное сечение реки и его морфологические характеристики, расчетный уровень высокой воды РУВВ и расчетный уклон J .

На вертикалях поперечного сечения вычисляют глубины воды h_i как разность отметок РУВВ и поверхности поймы или дна русла, а также вычисляют скорости движения воды по формуле (1.18).

На вертикалях поперечного сечения вычисляют элементарные расходы по формуле (1.19).

Строят эпюру элементарных расходов (рис. 3.1).



Морфологические показатели	Лес редкий	Луг	Кустарник	Русло	Луг
Характеристика шероховатости	m_1	m_2	m_3	m_p	m_2
Глубина		h_i			
Скорость		V_i			
Элементарный расход		q_i			
Площадь живого сечения					

Рис. 3.1. Схема к определению расчетного расхода при РУВВ:
а – эпюра элементарных расходов; б – морфоствор

Общая площадь эпюры элементарных расходов равна расчетному расходу. Площадь эпюры над руслом равна расчетному расходу в русле $Q_{p \text{ б}}$, над поймами – расчетному расходу на левой и правой поймах $Q_{п \text{ б}}$, ($Q_{л.п \text{ б}}$, $Q_{п.п \text{ б}}$).

$$Q = Q_{p \text{ б}} + Q_{л.п \text{ б}} + Q_{п.п \text{ б}}, \quad (3.1)$$

Вычисляют площади живого сечения между вертикалями и площади русла и пойм.

Принимают условно поперечное сечение русла и пойм прямоугольным шириною $B_{p\delta}$ и высотой $h_{p\delta}$ в случае русла и $B_{п\delta}$ и $h_{п\delta}$ в случае поймы. Получают среднюю глубину воды в бытовых условиях при РУВВ.

Значения средних глубин определяются по формулам (3.2) и (3.3), скоростей – (3.4)–(3.6).

$$h_{p\delta} = \frac{\omega_{p\delta}}{B_{p\delta}}; \quad (3.2)$$

$$h_{п\delta} = \frac{\omega_{п\delta}}{B_{п\delta}}, \quad (3.3)$$

где $\omega_{p\delta}$, $\omega_{п\delta}$ – площадь живого сечения при РУВВ соответственно русла и поймы.

$$V_{p\delta} = \frac{Q_{p\delta}}{\omega_{p\delta}} = \frac{Q_{p\delta}}{(B_{p\delta} \cdot h_{p\delta})}; \quad (3.3)$$

$$V_{п\delta} = \frac{Q_{п\delta}}{(B_{п\delta} \cdot h_{п\delta})}; \quad (3.4)$$

$$V_{\delta} = \frac{(Q_{p\delta} + Q_{п\delta})}{((B_{p\delta} \cdot h_{p\delta}) + (B_{п\delta} \cdot h_{п\delta}))}, \quad (3.5)$$

где $h_{p\delta}$, $h_{п\delta}$ – средняя бытовая глубина в русле и на пойме.

Пример

Исходные данные. Поперечный профиль приведен на рис. 3.2 для реки с односторонней поймой. Расчетный уровень воды – 53,30 м, коэффициенты m , характеризующие шероховатость русла и поймы, равны соответственно 25 и 10. Расчетный продольный уклон водной поверхности $J = 0,0003$.

Определить основные бытовые характеристики водотока.

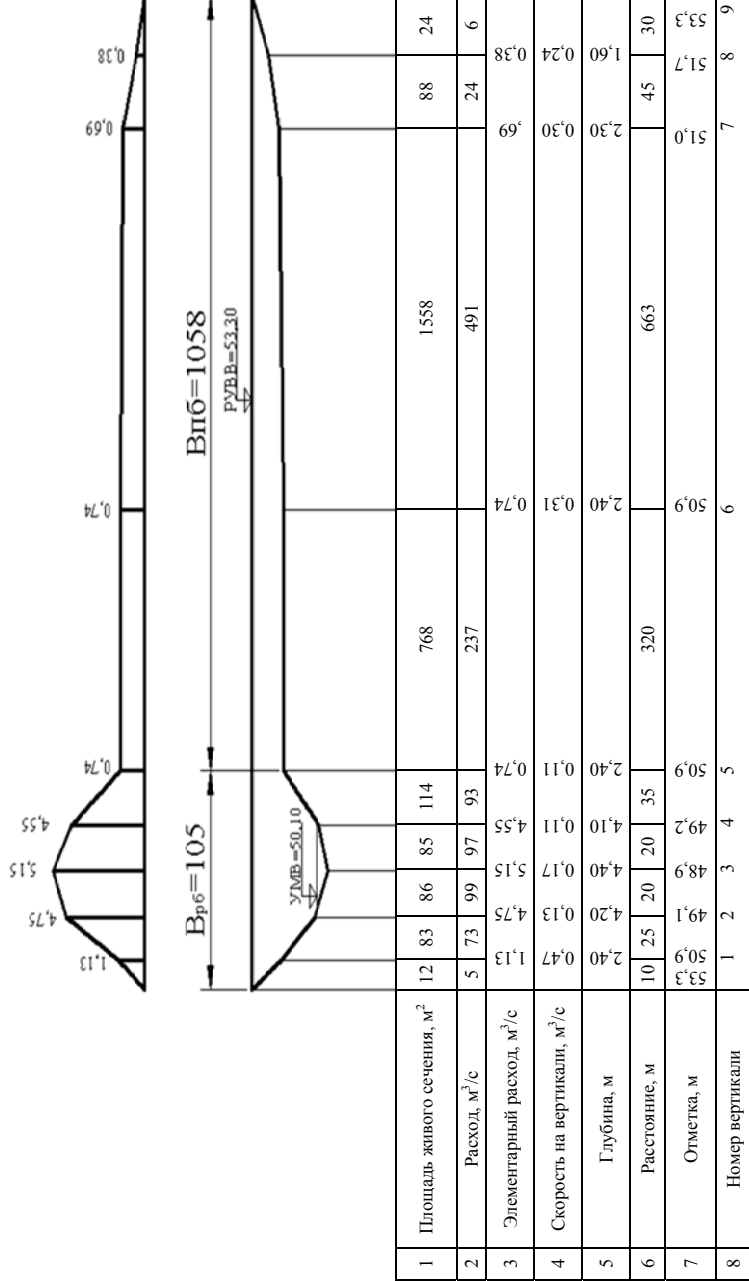


Рис. 3.2. Определение расчетного расхода в морфостворе (пример § 3.1)

Решение. Вычислим глубины, скорости на вертикалях и элементарные расходы. Данные о вычислениях приведены в таблице на рис. 3.2). Эпюра элементарных расходов приведена на рис. 3.2. Она состоит из отдельных трапеций. Площадь трапеции равна произведению полусуммы оснований на высоту, т. е. полусумме элементарных расходов на соседних вертикалях на расстояние между ними.

Общий расход на пойме:

$$Q_{пб} = 237 + 491 + 24 + 6 = 758 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход на пойме, проходящий через сечение шириной 1 м, – элементарный расход

$$q_{пб} = \frac{Q_{пб}}{B_{пб}} = 758/1058 = 0,73 \text{ м}^3/\text{с на 1 п. м}.$$

Расход в русле в бытовых условиях

$$Q_{рб} = 5 + 73 + 99 + 97 + 93 = 367 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расчетный расход

$$Q = 758 + 367 = 1125 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Ширина элементов живого сечения (рис. 3.2) и ширина разлива воды:

$$B_{рб} = 105 \text{ м}, B_{пб} = 1058 \text{ м}, B_0 = 105 + 1058 = 1163 \text{ м}.$$

Площадь живого сечения поймы

$$\omega_{пб} = 768 + 1558 + 88 + 24 = 2438 \text{ м}^2.$$

Площадь живого сечения русла

$$\omega_{рб} = 12 + 83 + 86 + 85 + 114 = 380 \text{ м}^2.$$

Средняя скорость течения воды определяется как отношение расхода к площади живого сечения:

$$V_{пб} = 758 / 2438 = 0,31 \text{ м/с};$$

$$V_{рб} = 367 / 380 = 0,97 \text{ м/с};$$

$$V_{б} = 1125 / (2438 + 380) = 0,4 \text{ м/с}.$$

Средняя глубина равна отношению площади живого сечения к его ширине:

$$h_{пб} = 2438 / 1058 = 2,31 \text{ м};$$

$$h_{рб} = 380 / 105 = 3,62 \text{ м}.$$

3.2. Определение отверстия моста

Отверстие моста – расстояние между откосами конусов подходов или откосами струенаправляющих дамб по расчетному уровню высоких вод за вычетом ширины промежуточных опор.

На равнинных реках отверстие моста меньше ширины разлива воды в паводок, так как поймы частично или полностью перекрываются насыпями подходов. Вследствие этого под мостом происходит стеснение потока.

Степень стеснения потока β равна отношению расхода, который проходит через поперечное сечение водотока (русла, поймы) под мостом, к расходу, который проходил через это сечение в бытовых условиях (до строительства мостового перехода).

Стеснение потока вызывает общие размывы русла, пойм.

Коэффициент общего размыва под мостом P равен отношению средней глубины воды в русле после размыва к средней глубине воды до размыва.

По [4] величина коэффициента общего размыва, как правило, не должна превышать 2,0. При морфометрической основе определения расчетного расхода коэффициент общего размыва следует принимать не более 1,75.

При проектировании мостовых переходов возможны три случая расчета отверстия моста:

- определение отверстия моста минимальной длины;
- определение отверстия моста с уширенным руслом;
- определение отверстия моста с сохранением пойм.

3.2.1. Определение отверстия моста минимальной длины

Поймы реки пересыпаются почти полностью. Непересыпанной остается только ширина поймы между подошвой насыпи подхода и бровкой русла, необходимая для размещения укрепления подошвы конуса подхода шириной $l_{укр}$.

Отверстие моста минимальной длины (рис. 3.3):

$$l_{M1} = l_{min} = \delta \cdot B_{рб} + \Sigma l_{укр} + 2 \cdot m \cdot h_{пб}, \quad (3.7)$$

где δ – гарантийный запас, равный 1,1 при морфометрической основе расчетов расхода и 1,0 при гидрометрической основе (в курсовом проекте $\delta = 1,1$);

$l_{укр}$ – ширина укрепления у подошвы конусов подходов с заложением откоса $m = 2$ или у подошвы струенаправляющих дамб (в курсовом проекте первоначально принимается 10 м);

$h_{пб}$ – бытовая глубина воды на пойме у бровки русла.

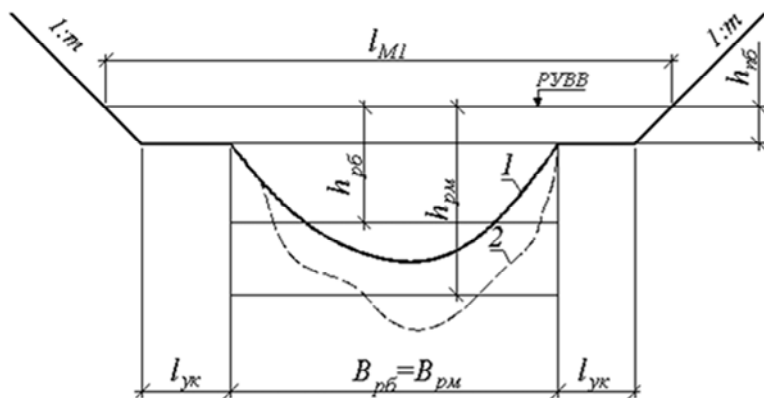


Рис. 3.3. Схема к определению отверстия минимальной длины:
1 – дно русла до размыва; 2 – дно русла после размыва

В случае минимального отверстия моста по формуле (3.7) средняя глубина воды в русле под мостом определяется по формуле

$$h_{p\ m} = h_{p\ б} \cdot \beta_1^{8/9} \left(\frac{1}{(1-\lambda)} \right)^{2/3}, \quad (3.8)$$

где $h_{p\ б}$ – средняя бытовая глубина воды в русле;

λ – коэффициент, учитывающий стеснение потока опорами моста, равный отношению ширины опоры к длине пролета моста (в курсовом проекте может быть принят 0,05);

β_1 – степень стеснения потока насыпями подходов:

$$\beta_1 = \frac{Q}{Q_{p\ б} + q_{п\ б}(l_{m1} - B_{p\ б} - m \cdot h_{п\ б})}, \quad (3.9)$$

где Q , $Q_{p\ б}$ – расходы, расчетный и в русле бытовой;

$q_{п\ б}$ – средний элементарный расход на пойме бытовой;

l_{m1} – отверстие моста, определяемое по формуле (3.7);

$B_{p\ б}$ – бытовая ширина русла.

Коэффициент размыва в русле, равный отношению площади живого сечения после размыва и до размыва, определяется по формуле

$$P = \frac{h_{p\ m}}{h_{p\ б}}. \quad (3.10)$$

Необходимо, чтобы коэффициент размыва не превышал допустимого значения.

$$P \leq P_{\text{доп}}; \quad (3.11)$$

$$\frac{h_{p\ m}}{h_{p\ б}} \leq P_{\text{доп}}, \quad (3.12)$$

где $P_{\text{доп}}$ – допустимая величина коэффициента размыва ($P_{\text{доп}} = 1,75$).

Если условия (3.11)–(3.12) не выполнены, то вариант отверстия минимальной длины $l_{\text{м1}} = l_{\text{мин}}$ не подходит. Для уменьшения глубины после размыва $h_{\text{рм}}$ следует уменьшить расход в русле под мостом. Для этого часть пойм не пересыпается подходами. При этом рассматривается вариант уширения русла за счет срезки пойм.

Пример

Исходные данные. Ширина русла – 105 м, средняя глубина русла в бытовых условиях – 3,62 м, расчетный расход – 1125 м³/с, расход в русле в бытовых условиях – 367 м³/с, допускаемый коэффициент общего размыва $P_{\text{доп}} = 1,75$. Средний элементарный расход на пойме – 0,73 м³/с, глубина воды $h_{\text{пб}} = 2,31$ м.

Определить отверстие моста минимальной длины и возможность его применения.

Решение. Вычислим по формуле (3.7) отверстие моста:

$$l_{\text{м1}} = 1,1 \cdot 105 + 10 + 10 + 2 \cdot 2 \cdot 2,31 = 145 \text{ м.}$$

Определим по формуле (3.9) степень стеснения потока β_1 , по формуле (3.8) – среднюю глубину в русле после размыва:

$$\beta_1 = \frac{1125}{367 + 0,73(145 - 105 - 2 \cdot 2,31)} = 2,88;$$

$$h_{\text{рм}} = 3,62 \cdot 2,88^{8/9} \left(\frac{1}{(1 - 0,05)} \right)^{2/3} = 3,62 \cdot 2,62 = 9,48 \text{ м.}$$

Проверим условия (3.11)–(3.12):

$$\frac{h_{\text{рм}}}{h_{\text{пб}}} = \frac{9,48}{3,62} = 2,62 > 1,75.$$

Эти условия не выполнены. Следовательно, вариант отверстия моста $l_{\text{м1}} = 145$ м не подходит.

3.2.2. Определение отверстия моста с уширенным руслом

Уширение русла под мостом возможно за счет срезки пойм.

При редком затоплении пойм срезка заиливается, на пойме восстанавливается бытовая глубина. Поэтому срезка целесообразна при выполнении следующего условия:

$$0,4\beta(0,01ВП_{п} + 0,5) \geq 1, \quad (3.13)$$

где β – степень стеснения потока подходами, равная отношению расчетного расхода Q к русловому бытовому $Q_{рб}$ ($\beta = \frac{Q}{Q_{рб}}$);

$ВП_{п}$ – вероятность затопления поймы, % (по заданию).

Если условие (3.13) выполнено, то максимальная ширина русла под мостом с учетом срезки:

$$B_{р.м} = B_{р.б} \left((\beta^{0,93} - 1) K_{п} \cdot K_{ВП_{п}} + 1 \right), \quad (3.14)$$

где $B_{р.м}$, $B_{р.б}$ – ширина русла под мостом и бытовая;

β – степень стеснения потока подходами (см. формулу (3.13));

$K_{п}$ – коэффициент, учитывающий полноту расчетного паводка;

$K_{ВП_{п}}$ – коэффициент, учитывающий частоту затопления пойм.

Полнота расчетного паводка Π равна отношению средней глубине воды на пойме к максимальной. Для рек Республики Беларусь можно принять $\Pi = 0,55$.

Коэффициент $K_{п}$ при $\beta < 4,5$ и частоте затопления пойм $ВП_{п} < 95$ % определяется по формуле

$$K_{п} = \left(\frac{7,7}{\beta} - 1 \right) \cdot \left(\frac{\Pi}{2} \right)^{(3,8 - 0,85\beta)}, \quad (3.15)$$

При $\beta \geq 4,5$ и $ВП_{п} < 95$ % коэффициент $K_{п} = 0,7$.

При $ВП_{п} \geq 95$ % коэффициент $K_{п} = 0,79 \cdot \Pi^{1/2} = 0,59$.

Коэффициент частоты затопления пойм при $ВП_{п} < 95$ % определяется по формуле

$$K_{ВП_{п}} = (0,01ВП_{п})^{(0,5+2,5/\beta)}, \quad (3.16)$$

где β – степень стеснения потока подходами (см. формулу (3.13)).

При $ВП_{п} \geq 95\%$ коэффициент $K_{ВП_{п}} = 1,0$.

Отверстие моста при уширении русла (рис. 3.4):

$$l_{М2} = \delta \cdot B_{р\ м} + \sum l_{укр} + 2 \cdot m \cdot h_{п\ б}, \quad (3.17)$$

где δ , $l_{укр}$, m , $h_{п\ б}$ – см. формулу (3.7).

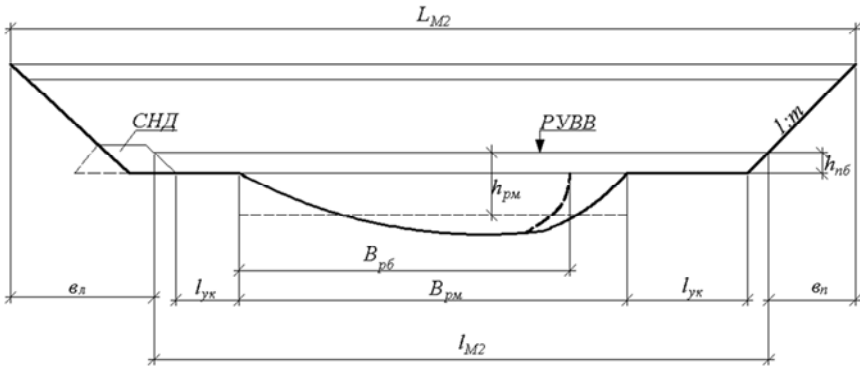


Рис. 3.4. Схема к определению отверстия моста с уширенным руслом

Вычислим среднюю глубину в русле после размытия $h_{р\ м}$ (по О. В. Андрееву):

$$h_{р\ м} = h_{р\ б} \cdot \beta_2^{8/9} \left(\frac{B_{р\ б}}{B_{р\ м} \cdot (1-\lambda)} \right)^{2/3}, \quad (3.18)$$

где $h_{р\ б}$ – максимальная глубина воды в русле в бытовых условиях;

$B_{р\ б}$, $B_{р\ м}$ – ширина русла бытовая и под мостом;

β_2 – степень стеснения потока насыпями подходов, равная отношению расхода воды, который проходит через поперечное сечение под мостом, к расходу, который проходил через это сечение в бытовых условиях:

$$\beta_2 = \frac{Q}{Q_{p\delta} + q_{п\delta}(l_{M2} - B_{p\delta} - m \cdot h_{п\delta})}, \quad (3.19)$$

где Q , $Q_{p\delta}$ – расходы, расчетный и в русле бытовой;

$q_{п\delta}$ – средний элементарный расход на пойме, равный отношению бытового расхода на пойме к ее ширине $q_{п\delta} = \frac{Q_{п\delta}}{B_{п\delta}}$.

Далее проверяем условия (3.11)–(3.12). Возможны следующие случаи.

1. Указанные условия не выполняются. Увеличиваем отверстие моста за счет части поймы, на которой не предусматривалась срезка, до величины l_{M21} . Она определяется по формуле

$$l_{M21} = B_{p\delta} + m \cdot h_{п\delta} + \frac{\left(\frac{Q}{\beta_{21}} - Q_{p\delta}\right)}{q_{п\delta}}, \quad (3.20)$$

где m , $h_{п\delta}$ – см. экспликацию формулы (3.7);

β_{21} – степень стеснения потока насыпями подходов при отверстии моста l_{M21} , определяется по формуле

$$\beta_{21} = \frac{(P_{\text{доп}})^{9/8}}{\left(\frac{B_{p\delta}}{B_{pM}(1-\lambda)}\right)^{3/4}}, \quad (3.21)$$

где $P_{\text{доп}}$ – допускаемый коэффициент общего размыва ($P_{\text{доп}} = 1,75$);

$B_{p\delta}$, B_{pM} – ширина русла бытовая и полученная по формуле (3.14).

2. Указанные условия выполняются, но коэффициент общего размыва значительно меньше допускаемого значения. Для уменьшения длины моста следует уменьшить ширину срезки поймы, приняв меньшее значение B_{pM} ширины русла под мостом, чем было получено по формуле (3.14).

Новая ширина русла под мостом B_{pM2} и отверстие моста l_{M22} определяются подбором по следующей схеме. Задаются значением

ширины русла под мостом $B_{p\ m\ 2} < B_{p\ m}$ по формуле (3.14), определяющую степень стеснения потока насыпями подходов:

$$\beta_{22} = \frac{(P_{\text{доп}})^{9/8}}{\left(\frac{B_{p\ б}}{B_{p\ m\ 2}(1-\lambda)} \right)^{3/4}}, \quad (3.22)$$

Далее вычисляют среднюю глубину после размыва при ширине русла под мостом $B_{p\ m\ 2}$ по формуле (3.18) и проверяют условия (3.11)–(3.12). Если они не выполнены (различие более 5 %), то изменяют величину $B_{p\ m\ 2}$, повторно вычисляют β_{22} по формуле (3.22), $h_{p\ m}$ по (3.18).

Если условия (3.11)–(3.12) выполнены, то вычисляют отверстие моста l_{m21} по формуле (3.17), приняв $B_{p\ m} = B_{p\ m\ 2}$.

Пример 1

Исходные данные. Расчетный расход – 1125 м³/с, расход в русле бытовой – 367 м³/с, элементарный расход на пойме – 0,73 м³/с, бытовая глубина на пойме – 2,31 м, в русле – 3,62 м, вероятность затопления поймы – 50 %, ширина русла бытовая – 105 м. Допускаемый коэффициент общего размыва $P_{\text{доп}} = 1,75$.

Определить отверстие моста при уширении русла за счет срезки поймы.

Решение. Вычислим степень стеснения потока насыпями подходов:

$$\beta = \frac{Q}{Q_{p\ б}} = \frac{1125}{367} = 3,08.$$

Проверим условие (3.13) целесообразности срезки:

$$0,4 \cdot 3,08(0,01 \cdot 50 + 0,5) = 1,23;$$

$$1,23 > 1,0.$$

Условие (3.13) выполнено, следовательно, срезка целесообразна.

Определим коэффициенты K_{Π} по формуле (3.15) и $K_{\text{ВП}\Pi}$ по формуле (3.16):

$$K_{\Pi} = \left(7,7 / 3,08 - 1\right) \left(0,55 / 2\right)^{(3,8-0,85 \cdot 3,08)} = 0,33;$$

$$K_{\text{ВП}\Pi} = (0,01 \cdot 50)^{(0,5+2,5 / 3,08)} = 0,4.$$

Максимальную ширину русла под мостом с учетом срезки вычислим по формуле (3.14):

$$B_{\text{р м}} = 105 \left((3,08^{0,93} - 1) 0,33 \cdot 0,4 + 1 \right) = 131 \text{ м.}$$

Срезка поймы на $\Delta B = 131 - 105 = 26 \text{ м}$.

Отверстие моста при уширении русла за счет срезки поймы вычислим по формуле (3.17):

$$l_{\text{м}2} = 1,1 \cdot 131 + 10 + 10 + 2 \cdot 2 \cdot 2,31 = 173 \text{ м.}$$

Вычислим степень стеснения потока насыпями подходов:

$$\beta_2 = 1125 / 367 + 0,73 \cdot (173 - 105) - 2 \cdot 2 \cdot 2,31 = 2,72.$$

Средняя глубина в русле под мостом:

$$h_{\text{р м}} = 3,62 \cdot 2,72^{8/9} \left(\frac{105}{131 \cdot (1 - 0,05)} \right)^{2/3} = 3,62 \cdot 2,02 = 7,31 \text{ м.}$$

Проверим условия (3.11)–(3.12):

$$h_{\text{р м}} / h_{\text{р б}} = 2,02;$$

$$2,02 > 1,75.$$

Так как указанные условия не выполняются, то увеличим отверстие моста.

Вычислим по формуле (3.21) степень стеснения потока при $P = P_{\text{доп}} = 1,75$:

$$\beta_{21} = \frac{1,75^{9/8}}{\left(\frac{105}{131 \cdot (1 - 0,05)} \right)^{3/4}} = 2,26.$$

Требуемое отверстие моста по формуле (3.20):

$$l_{\text{м2}} = 1,1 \cdot 105 + 2 \cdot 2,31 + \frac{\left(\frac{1125}{2} / 2,26 - 367 \right)}{0,73} = 301 \text{ м.}$$

Пример 2

Исходные данные. Расчетный расход – 1100 м³/с, расход в русле бытовой – 500 м³/с, элементарный расход на пойме – 0,8 м³/с, средняя глубина в русле – 3,6 м, на пойме – 2,0 м, бытовая ширина русла – 150 м, вероятность затопления поймы – 85 %, допускаемый коэффициент общего размыва $P_{\text{доп}} = 1,75$.

Определить отверстие моста при уширении русла за счет срезки поймы.

Решение. Вычислим степень стеснения потока насыпями подходов:

$$\beta = \frac{Q}{Q_{\text{рб}}} = 1100 / 500 = 2,2.$$

Проверим целесообразность срезки поймы по формуле (3.13):

$$0,4 \cdot 2,2(0,01 \cdot 85 + 0,5) = 1,19;$$

$$1,19 > 1,0.$$

Следовательно, срезка поймы целесообразна.

Определим коэффициенты $K_{\text{п}}$ по формуле (3.15) и $K_{\text{ВПп}}$ по формуле (3.16):

$$K_{\Pi} = \left(7,7 / 2,2 - 1\right) \left(0,55 / 2\right)^{(3,8-0,85 \cdot 2,2)} = 0,36;$$

$$K_{\text{ВП}\Pi} = (0,01 \cdot 85)^{(0,5+2,5 / 2,2)} = 0,77.$$

Максимальную ширину русла под мостом вычислим по формуле (3.14):

$$B_{p\text{ м}} = 150 \left((2,2^{0,93} - 1) \cdot 0,36 \cdot 0,77 + 1 \right) = 195 \text{ м.}$$

Срезка поймы на $\Delta B = 195 - 150 = 45 \text{ м.}$

Отверстие моста при уширении русла за счет срезки пойм найдем по формуле (3.17):

$$l_{\text{м2}} = 1,1 \cdot 195 + 10 + 10 + 2 \cdot 2 \cdot 2,0 = 242 \text{ м.}$$

Вычислим степень стеснения потока насыпями подходов по формуле (3.19):

$$\beta_2 = 1100 / 500 + 0,8 \cdot (242 - 150 - 2 \cdot 2) = 1,98.$$

Вычислим среднюю глубину в русле под мостом по формуле (3.18):

$$h_{p\text{ м}} = 3,6 \cdot 1,98^{8/9} \left(\frac{150}{195 \cdot 0,95} \right)^{2/3} = 3,6 \cdot 1,49 = 5,36 \text{ м.}$$

Коэффициент размыва

$$P = 5,36 / 3,60 = 1,49 < 1,75.$$

Условия (3.11)–(3.12) выполняются.

Так как коэффициент размыва меньше допустимого ($1,49 < 1,75$), то следует уменьшить срезку поймы, т. е. уменьшить ширину русла под мостом и отверстие моста.

Назначим ширину срезки поймы равной 30 м. Ширина русла под мостом $B_{p\text{ м2}} = B_{p\text{ б}} + 30 = 180 \text{ м.}$

Отверстие моста по формуле (3.17):

$$l_{M2} = 1,1 \cdot 180 + 10 + 10 + 2 \cdot 2 \cdot 2,0 = 226 \text{ м.}$$

Степень стеснения потока насыпями подходов по формуле (3.22)

$$\beta_{22} = 1,75^{8/9} / \left(\frac{150}{180 \cdot 0,95} \right)^{3/4} = 2,17.$$

Глубина в русле после размыва по формуле (3.18):

$$h_{pM} = 3,6 \cdot 2,17^{8/9} \left(\frac{150}{180 \cdot 0,95} \right)^{2/3} = 3,6 \cdot 1,72 = 6,18 \text{ м.}$$

Так как $P = \frac{6,18}{3,60} = 1,72 < 1,75$, то принимаем отверстие моста $l_{M2} = 226 \text{ м.}$

3.2.3. Определение отверстия моста при сохранении пойм

Схема к определению отверстия моста без уширения русла приведена на рис. 3.5.

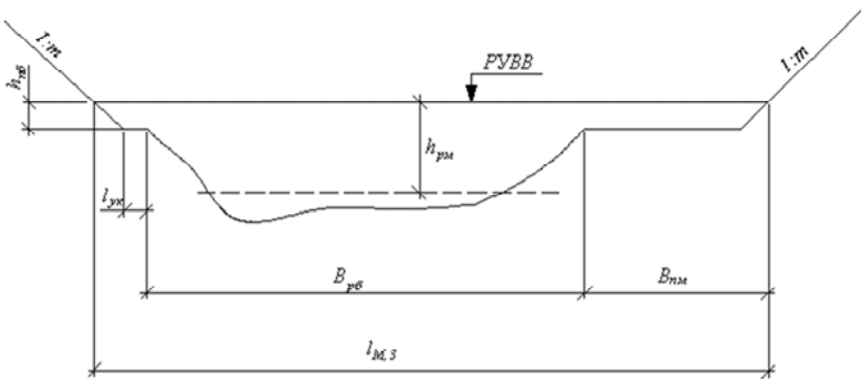


Рис. 3.5. Схема к определению отверстия моста без уширения русла

Величина отверстия моста вычисляется по формуле

$$l_{м3} = \delta \cdot B_{р\ б} + l_{укр} + B_{п\ м} + m \cdot h_{п\ б}, \quad (3.23)$$

где δ , $l_{укр}$, m , $h_{п\ б}$ – см. формулу (3.7);

$B_{п\ м}$ – ширина непересыпанной части правой поймы.

Ширина непересыпанной части поймы $B_{п\ м}$ определяется следующим образом.

Назначаем коэффициент общего размыва, равным допускаемому по условиям (3.11)–(3.12).

Вычисляем степень стеснения потока насыпями подходов по формуле (3.22) при $B_{р\ м} = B_{р\ б}$:

$$\beta_3 = P_{доп}^{9/8} (1 - \lambda)^{3/4} = Q_{р\ м} / Q_{р\ б}. \quad (3.24)$$

В русле под мостом расход

$$Q_{р\ м} = \beta_3 \cdot Q_{р\ б}. \quad (3.25)$$

На непересыпанной подходом части поймы проходит оставшаяся часть расхода

$$Q_{п\ м} = Q - Q_{р\ м}. \quad (3.26)$$

В бытовых условиях через непересыпанную часть поймы проходит расход

$$Q'_{п\ б} = Q_{п\ м} / \beta_3. \quad (3.27)$$

Величина пойменной части отверстия вычисляется по формуле

$$B_{п\ м} = Q'_{п\ б} / q_{п\ б} - l_{укр}. \quad (3.28)$$

где $q_{п\ б}$ – средняя величина бытового элементарного расхода на пойме, при средней глубине воды $h_{п\ б}$.

Пример

Исходные данные. Река с односторонней поймой, расчетный расход – $1000 \text{ м}^3/\text{с}$, расход в русле бытовой – $400 \text{ м}^3/\text{с}$, глубина воды на пойме – $2,6 \text{ м}$, элементарный расход на пойме $q_{пб} = 0,74 \text{ м}^3/\text{с}$ и вероятность затопления поймы $ВП_{п} = 40 \%$. Допускаемый коэффициент общего размыва в русле $P_{доп} = 1,75$. Ширина русла – 120 м .

Определить целесообразность срезки поймы и отверстие моста.

Решение. Вычислим степень стеснения потока подходами $\beta = 1000/400 = 2,50$. Проверим условие (3.13):

$$0,4 \cdot 2,50(0,01 \cdot 40 + 0,5) = 0,9;$$

$$0,9 < 1,0.$$

Условие (3.13) не выполняется – срезка пойм нецелесообразна.

Рассмотрим вариант отверстия с сохранением пойм.

Вычислим по формуле (3.14) допускаемую степень стеснения потока в русле

$$\beta_3 = 1,75^{8/9} (1 - 0,05)^{3/4} = 1,64 \cdot 0,96 = 1,58.$$

В русле под мостом проходит расход $Q_{рм} = 1,58 \cdot 400 = 632 \text{ м}^3/\text{с}$.

На пойме под мостом расход равен $Q_{пм} = 1000 - 632 = 368 \text{ м}^3/\text{с}$.

Примем $\beta_{п} = \beta_3 = 1,58$ и вычислим расход, который проходил в бытовых условиях через непересыпанную часть поймы.

$$Q_{пб} = Q_{пм} / \beta_{п} = 368 / 1,58 = 233 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Ширина непересыпанной части поймы по формуле (3.28):

$$B_{пм} = 233 / 0,74 - 10 = 305 \text{ м}.$$

Отверстие моста при сохранении пойм по формуле (3.23):

$$l_{м3} = 1,1 \cdot 120 + 10 + 305 + 2 \cdot 2,6 = 442 \text{ м}.$$

3.2.4. Определение пикетного положения начала и конца отверстия моста

В курсовом проекте рассматривают реку с одной правосторонней поймой. Для этого случая пикетное положение начала отверстия моста вычисляют по формуле

$$PK(НОМ) = PK(БРл) - l_{укр} - m \cdot h_{пб}, \quad (3.29)$$

где $PK(БРл)$ – пикетное положение левой бровки русла (по заданию); $l_{укр}$, m , $h_{пб}$ – см. формулу (3.7).

Пикетное положение конца отверстия моста:

$$PK(КОМ) = PK(НОМ) + l_{ми}, \quad (3.30)$$

где $l_{ми}$ – отверстие моста для принятого случая.

3.3. Проектирование струенаправляющих дамб

Струенаправляющие дамбы проектируются на поймах в случае, если степень стеснения потока насыпями подходов более 1,2.

Проектирование струенаправляющих дамб (СНД) включает расчет очертания оси СНД в плане, проектирование поперечного профиля дамб и их укрепления.

3.3.1. Расчет очертания оси СНД в плане

Криволинейные струенаправляющие дамбы предназначены для плавного подвода пойменных потоков под мостом. Они состоят (рис. 3.6) из верховой и низовой частей.

На мостовом переходе с одной поймой длину верховой струенаправляющей дамбы l_B определяют в зависимости от степени стеснения потока β_i и отверстия моста $l_{ми}$ (см. § 3.2):

β_i	1–1,2	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5
$\frac{l_B}{l_{ми}}$	0,00	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75

Верховая СНД (рис. 3.6) включает голову и корень.

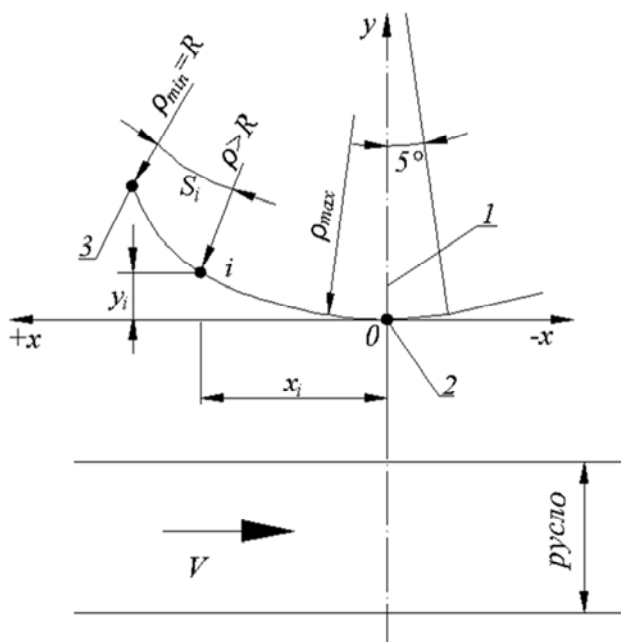


Рис. 3.6. Схема к разбивке шпоровидной струнаправляющей дамбы: 1 – ось дороги; 2 – корень дамбы; 3 – голова дамбы

Пикетное **положение корня дамбы** вычислены по формуле

$$PK(KD) = PK(KOM) + m \cdot (H_{БВ} - PУВВ) + 0,5 \cdot B_{Д}, \quad (3.31)$$

где $PK(KOM)$ – пикетное положение конца отверстия, вычисляется по формуле (3.30);

$H_{БВ}$ – отметка бровки верховой СНД, вычисляется по формуле (3.32);

$B_{Д}$ – ширина верха СНД ($B_{Д} = 3,0$ м).

Разбивку оси струнаправляющей дамбы выполняют по координатам XY (рис. 3.6). Их определяют по табл. 3.2, умножая относительные координаты S/R , X/R , Y/R на величину радиуса $R = l_{в}/3$. Расстояние S принимается от головы дамбы.

Таблица 3.1

Относительные координаты для разбивки оси
струенаправляющей дамбы

Номер точки	S/R	X/R	Y/R	Номер точки	S/R	X/R	Y/R
1	0,0	2,321	1,435	12	2,2	0,805	0,087
2	0,2	2,300	1,237	13	2,4	0,610	0,050
3	0,4	2,243	1,035	14	2,6	0,410	0,023
4	0,6	2,151	0,870	15	2,8	0,210	0,006
5	0,8	2,027	0,710	16	3,0	0	0
6	1,0	1,886	0,570	17	3,2	-0,192	0,005
7	1,2	1,732	0,453	18	3,4	-0,393	0,020
8	1,4	1,556	0,348	19	3,6	-0,592	0,041
9	1,6	1,375	0,254	20	3,8	-0,791	0,062
10	1,8	1,186	0,193	21	4,0	-0,990	0,082
11	2,0	1,000	0,134	22	4,2	-1,189	0,103

3.3.2. Поперечный профиль струенаправляющих дамб

Струенаправляющие дамбы проектируют незатопляемыми земляными насыпями (рис. 3.7). В курсовом проекте вычисляют отметки бровки верховой и низовой СНД, высоту СНД, назначают ширину верха СНД, заложение откосов и их укрепление.

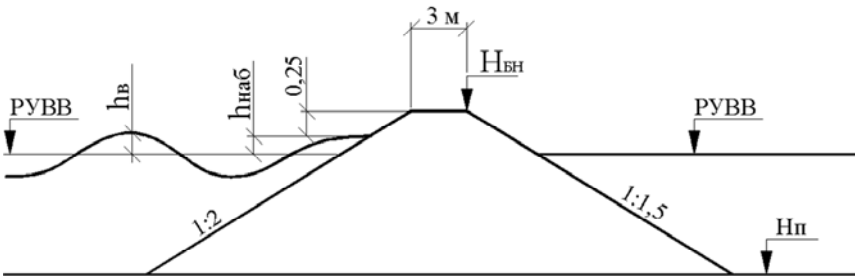


Рис. 3.7. Схема к определению отметки бровки низовой струенаправляющей дамбы

Отметка бровки СНД вычисляется по формуле (3.32) для верховой и по формуле (3.33) для низовой:

$$H_{\text{БВ}} = \text{РУВВ} + \Delta z + l_{\text{в}} \cdot I + h_{\text{наб}} + 0,25; \quad (3.32)$$

$$H_{\text{БН}} = \text{РУВВ} + h_{\text{наб}} + 0,25, \quad (3.33)$$

где Δz – подпор перед мостом;

$l_{\text{в}}$ – длина верховой СНД;

I – продольный уклон водной поверхности (по заданию);

$h_{\text{наб}}$ – высота набега воды на откос дамбы;

0,25 – запас.

Подпор перед мостом определяется по упрощенной формуле

$$\Delta z = \xi \cdot (V_{\text{м}}^2 - V_{\text{б}}^2), \quad (3.34)$$

где ξ – коэффициент, зависящий от величины пойменного расхода:

$Q_{\text{пб}}/Q, \%$	< 20	20–40	41–60	61–80
Значение ξ	0,05–0,07	0,07–0,10	0,10–0,13	0,13–0,17

$V_{\text{м}}$ – средняя скорость под мостом до размыва;

$V_{\text{б}}$ – средняя скорость течения нестесненного потока (формула 3.6).

Средняя скорость $V_{\text{м}}$ определяется по формуле:

$$V_{\text{м}} = \frac{Q}{\omega_{\text{м}}}, \quad (3.35)$$

где $\omega_{\text{м}} = \omega_{\text{рб}} + h_{\text{пб}}(l_{\text{ми}} - B_{\text{рб}} - m \cdot h_{\text{пб}})$;

$\omega_{\text{рб}}$ – площадь живого сечения бытового русла;

$h_{\text{пб}}$ – глубина воды на пойме;

$l_{\text{ми}}$ – отверстие моста;

$B_{\text{рб}}$ – ширина русла бытовая;

m – заложение откосов; $m = 2$.

Высота набега волны на откосы СНД определяется по формуле

$$h_{\text{наб}} = 4,3 \cdot K_{\text{ш}} \cdot \frac{h_{\text{вол}}}{m}, \quad (3.36)$$

где $K_{ш}$ – коэффициент гладкости откосов СНД, равный 1,0 при бетонировании откосов и 0,9 при укреплении мощением плитами ПК 100.12.е;

m – заложение откосов;

$h_{вол}$ – высота волны, рассчитывается по формуле

$$h_{вол} = 0,2 \cdot h_{пб}, \quad (3.37)$$

где $h_{пб}$ – средняя глубина воды на пойме.

Высота насыпи СНД

$$h_{нд} = H_{БВ} - H_{п}, \quad (3.38)$$

где $H_{п}$ – отметка поверхности поймы.

Ширина СНД по верху не менее 3 м. Откосы СНД с речной стороны следует принимать не круче 1 : 2, а с противоположной стороны – не круче 1 : 1,5. В головной части для уменьшения местного размыва откос дамбы уположивается до 1 : 3.

Укрепления откосов СНД с речной стороны выполняют плитами ПК100.12.е, монолитным бетоном на слое щебня. Пойменный откос может укрепляться засевом трав по плодородному слою. По подошве речного откоса и головы дамбы предусматривают упор из монолитного бетона или бетонных блоков, а также рисберма шириной 2,0 м из камня. Толщина ее равна 0,5 м (рис. 3.8).

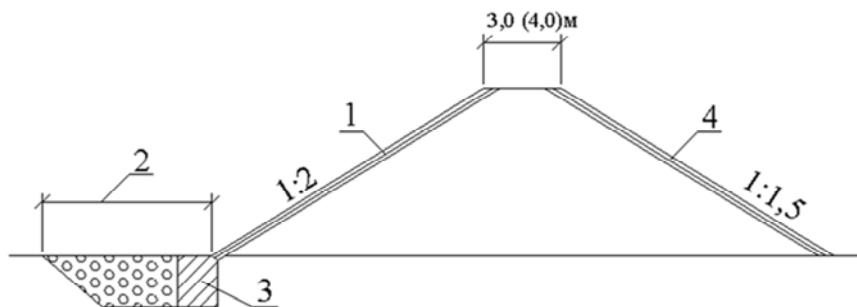


Рис. 3.8. Укрепление откосов дамбы:

1 – укрепление откоса со стороны русла; 2 – рисберма; 3 – блок упора;

4 – укрепление откоса со стороны поймы (посев трав по плодородному слою)

Пример

Исходные данные. РУВВ = 53,30, $Q_{p6} = 367 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q = 1125 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_{п6} = 758 \text{ м}^3/\text{с}$; $V_6 = 0,40 \text{ м/с}$; $h_{п6} = 2,31 \text{ м}$; степень стеснения потока $\beta_{21} = 2,26$, отверстие моста $l_{м2} = 300 \text{ м}$, начало отверстия моста расположено на пикете 1 + 75,32, конец на пикете 4 + 75,32, данные примера § 3.1.

Определить длину верховой струенаправляющей дамбы l_b , координаты XU ее оси, отметку бровки СНД, пикетное положение корня дамбы.

Решение. По табл. 3.1 для $\beta_{21} = 2,26$ методом интерполяции находим $\frac{l_b}{l_{м2}} = 0,68$. Длина верховой струенаправляющей дамбы $l_b = 0,68 \cdot 300 = 204 \text{ м}$. Радиус кривизны СНД в голове дамбы $R = \frac{204}{3} = 68 \text{ м}$.

Координаты XU оси струенаправляющей дамбы вычислим с шагом $S = 0,2 \cdot R = 0,2 \cdot 68 = 13,6 \text{ м}$, умножая данные табл. 3.2 на $R = 68 \text{ м}$.

Таблица 3.2

Координаты для разбивки оси струенаправляющей дамбы

S	X	Y	S	X	Y
0,00	157,83	97,58	149,60	54,74	5,82
13,60	156,40	81,12	163,20	41,48	3,40
27,20	152,52	70,38	176,80	27,88	1,56
40,80	146,27	59,16	190,40	14,28	0,41
54,40	137,84	48,28	204,00	0,00	0,00
68,00	128,25	38,75	217,60	-13,46	0,34
81,60	117,78	36,92	231,20	-26,72	1,36
95,20	105,81	23,66	244,80	-40,26	2,79
108,80	93,50	17,27	258,40	-53,79	4,22
122,40	80,65	13,12	272,00	-67,32	5,58
136,60	68,00	9,12	285,60	-80,85	7,00

При определении отметки бровки верховой СНД по формуле (3.32) предварительно вычислим средние скорости V_m и V_6 . Площадь жи-

вого сечения потока под мостом при варианте отверстия $l_{м2}$ состоит из площади русла и площади непересыпанной части поймы глубиной 2,31 м.

$$\omega_m = \omega_{p\bar{6}} + h_{п\bar{6}} \cdot B_{пм} = 380 + 2,31(300 - 105 - 2 \cdot 2,31) = 557 \text{ м}^2.$$

Средняя скорость движения воды под мостом

$$V_m = 1125 / 557 = 2,0 \text{ м/с.}$$

Отношение расходов на пойме и общего

$$Q_{п\bar{6}} / Q = 758 / 1125 = 0,68.$$

Подпор Δz вычислим по формуле (3.34), приняв по табл. 3.3 при $Q_{п\bar{6}} / Q = 0,68$ значение $\xi = 0,16$.

$$\Delta z = 0,16(2,0^2 - 0,4^2) = 0,61 \text{ м.}$$

Высота набега волны при заложении откоса $m = 2$, $h_{п\bar{6}} = 2,31$ м

$$h_{наб} = 4,3 \cdot 1,0 \cdot 0,2 \cdot 2,31 / 2 = 1,00 \text{ м.}$$

Отметка бровки верховой СНД по формуле (3.32) при РУВВ = 53,3, продольном уклоне $I = 0,0003$

$$H_{бв} = 53,30 + 0,61 + 204 \cdot 0,0003 + 1,00 + 0,25 = 55,22 \text{ м.}$$

Отметка бровки низовой части СНД по формуле (3.33)

$$H_{бн} = 53,30 + 1,00 + 0,25 = 54,55 \text{ м.}$$

Высота насыпи верховой СНД на рис. 3.9 при отметке поверхности поймы 50,90

$$h_n = 55,22 - 50,90 = 4,32 \text{ м.}$$

Пикетное положение корня СНД

$$PK(КД) = (4 + 75,32) + 2(55,22 - 53,30) + 0,5 \cdot 3 = 480,58 = 4 + 80,58.$$

Поперечный профиль СНД приводится на чертеже совместно с очертаниями оси СНД (рис. 3.9).

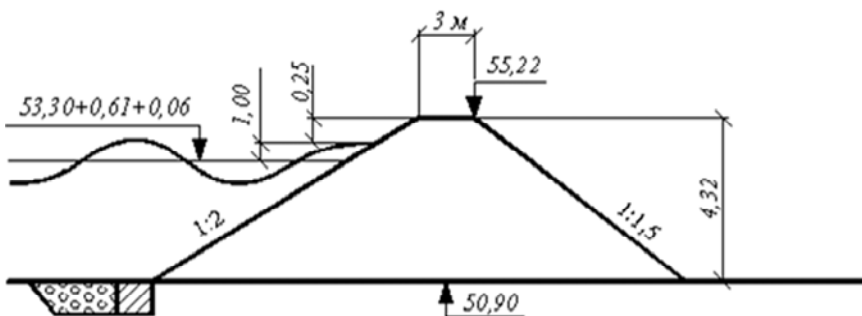


Рис. 3.9. Поперечный разрез верховой СНД

3.4. Проектирование продольного и поперечного профиля

3.4.1. Проектирование продольного профиля мостового перехода

Проектная линия мостового перехода определяется ограничивающими отметками и нормами ТКП [1] (радиусы вертикальных кривых, максимальные уклоны – 40 ‰) для дороги, на которой проектируется мостовой переход.

Ограничивающие отметки включают (рис. 3.10):

- отметки проектной линии на пойме H_n ;
- отметка моста на пойме $H_{м.п}$ (в начале подходов);
- отметка моста на судоходных пролетах $H_{м.с}$.

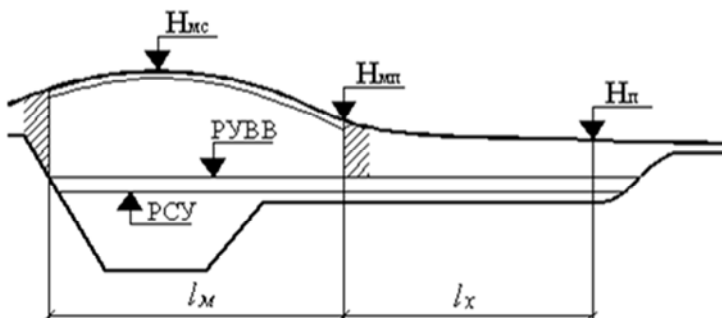


Рис. 3.10. Схема к расчету проектной линии продольного профиля мостового перехода

Минимальная отметка проектной линии на пойме принимает такие значения, чтобы бровка обочины была выше набега волны на 0,5 м.

$$H_{\text{п}} = \text{РУВВ} + \Delta z_{\text{н}} + h_{\text{наб}} + 0,5 + \Delta y, \quad (3.39)$$

где РУВВ – расчетный уровень воды;

$\Delta z_{\text{н}}$ – подпор перед насыпью, определяется по формуле (3.40);

$h_{\text{наб}}$ – высота набега волны, определяется по формуле (3.36);

Δy – разность отметок оси проезжей части и бровки обочины.

$$\Delta z_{\text{н}} = \Delta z + I \cdot l_{\text{х}}, \quad (3.40)$$

где Δz – подмостовой подпор, определяется по формуле (3.34);

I – уклон водной поверхности с верховой стороны подхода (в курсовом проекте принимаем равным продольному уклону водной поверхности);

$l_{\text{х}}$ – расстояние от конца отверстия моста до рассматриваемого сечения насыпи подхода.

Минимальная отметка моста на пойме вычисляется по формуле

$$H_{\text{м п}} = \text{РУВВ} + \Delta z + h_{\text{вол}} + \Gamma_{\text{м}} + h_{\text{кон}}, \quad (3.41)$$

где Δz – подмостовой подпор, определяется по формуле (3.34);

$h_{\text{вол}}$ – высота волны, определяемая по формуле (3.37);

Γ_M – подмостовой габарит, для несудоходных пролетов (по [4] $\Gamma_M = 0,5$ м);

$h_{\text{кон}}$ – высота конструкции пролетного строения.

В курсовом проекте на пойме следует принять железобетонные балочные пролетные строения. Для них высота конструкции пролетного строения определяется по (3.42).

$$h_{\text{кон}} = h_6 + \Delta h, \quad (3.42)$$

где h_6 – высота балки, зависит от длины пролета:

Длина пролета, м	12	15	18	21	24	33	42
Высота балки	0,9	0,9	1,20	1,20	1,5	1,7	2,0

Δh – запас, необходимый для создания поперечного уклона проезжей части и устройства дорожной одежды (в курсовом проекте можно принять равным 0,15; 0,17; 0,20 и 0,30 для дорог IV, III, II и I категории).

Разбивка моста на пролеты выполняется после определения длины мост. Длина моста зависит от отверстия моста и высоты насыпей в начале и конце моста, т. е. от положения проектной линии. Поэтому рекомендуется предварительно принять длину пролета 33 м.

Отметка моста на судоходных пролетах назначается из необходимости обеспечения подмостового габарита по высоте и по ширине (рис. 3.11).

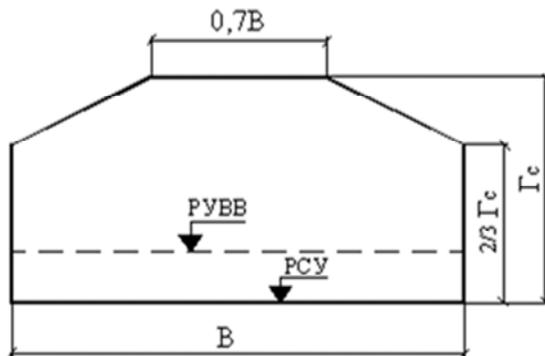


Рис. 3.11. Схема подмостового габарита

Величина подмостового габарита нормируется в зависимости от класса реки (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Нормы величины подмостового габарита

Класс реки по судоходству	Подмостовой габарит Γ_c , м	Ширина подмостового габарита B , м
I	16,0	140
II	14,5	140
III	13,0	120
IV	11,5	100
V	10,0	80
VI	7,5	60

Ширина подмостового габарита B (табл. 3.3) требует применения схем мостов с большими судоходными пролетами. В связи с этим конструкции судоходных пролетов разрабатываются индивидуально для каждого мостового перехода или применяются повторно для подобных условий.

$$H_{mc} = PCY + \Gamma_c + h_{кон}, \quad (3.43)$$

где PCY – расчетный судоходный уровень (по заданию);

Γ_c – высота судоходного габарита (рис. 3.11), зависит от класса реки в месте мостового перехода (по заданию);

$h_{кон}$ – высота конструкции пролетного строения, зависит от конструкции пролетного строения (в курсовом проекте может быть принята 2,0–4,0 м в зависимости от габарита B (табл. 3.3).

Продольный профиль мостового перехода проектируют в такой последовательности. По данным о поперечном сечении реки вычерчиваем черный профиль перехода в масштабах: горизонтальный 1 : 2000, вертикальный 1 : 200. Таблица исходной информации и проектных решений в курсовом проекте имеет сокращенную форму (см. рис. 3.12).

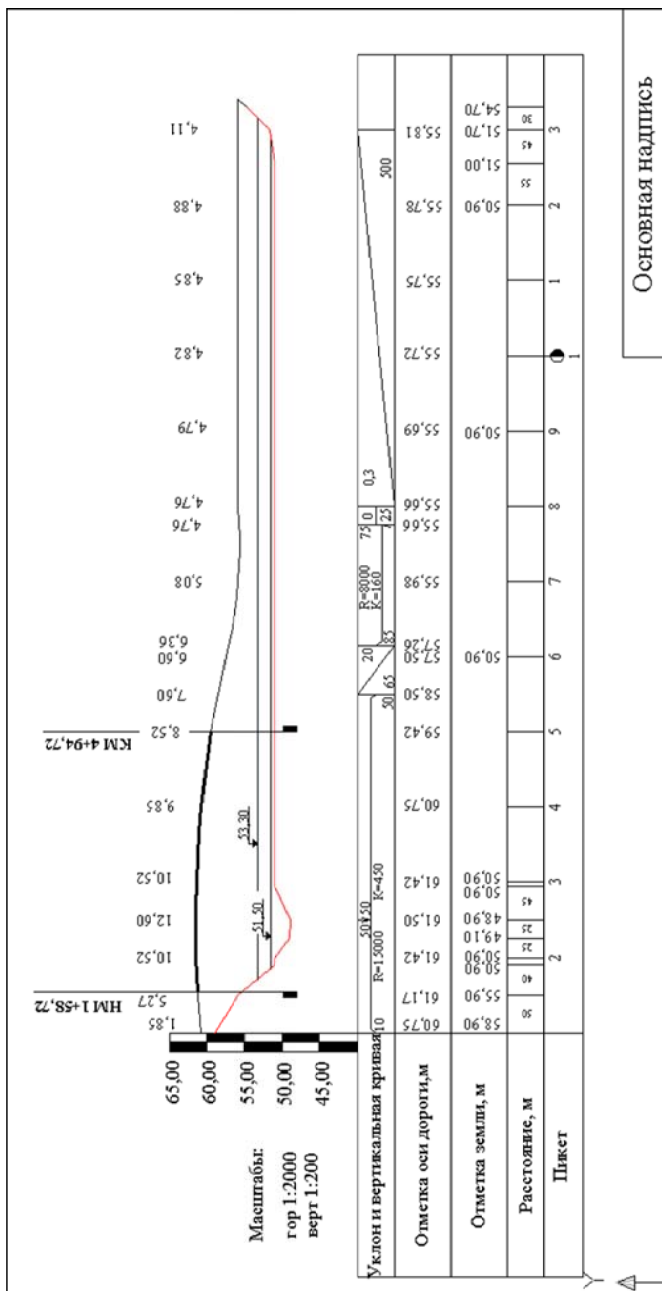


Рис. 3.12. Пример продольного профиля мостового перехода

Далее проектируют проектную линию мостового перехода. В начале над серединой русла назначают вершину выпуклой кривой с отметкой $H_{мс}$. Радиус выпуклой кривой с учетом перспективы следует принять для дороги более высокой категории, чем категория дороги, на которой проектируется мостовой переход.

Отметки точек H_i вертикальной кривой и уклоны i касательной к кривой вычисляют по формулам

$$H_i = H_B - \frac{l_i^2}{2R}, \quad (3.44)$$

$$i = \frac{l_i}{R}, \quad (3.45)$$

где H_i – отметка точки, находящейся на расстоянии l_i от вершины кривой;

H_B – отметка вершины кривой.

В формуле (3.44) знак « $-$ » – для выпуклой кривой, знак « $+$ » – для вогнутой кривой.

Длина вертикальной кривой и ее тангенс вычисляется по формулам

$$K = \omega \cdot R; \quad (3.46)$$

$$T = \frac{K}{2}, \quad (3.47)$$

где ω – перелом, равен алгебраической разности уклонов сопрягаемых кривых.

Проектная линия насыпи подхода на пойме имеет ограничивающую отметку H_n (рис. 3.10), величина которой уменьшается по мере приближения к мосту. Поэтому проектная линия на пойме вдали от моста может быть прямой с уклоном I к мосту (см. формулы (3.39) и (3.40)). Она сопрягается с выпуклой кривой с помощью вогнутой кривой радиуса 8000 м. Между этими кривыми может быть прямая вставка.

Пикетное положение начала и конца моста определяют по данным о проектных отметках и пикетном положении начала и конца отверстия моста.

Начало моста расположено на пикете при односторонней (правосторонней) пойме:

$$\text{PK}(\text{НМ}) = \text{PK}(\text{НОМ}) - m \cdot (H_{\text{НМ}} - \text{РУВВ}) - \Delta, \quad (3.48)$$

где $\text{PK}(\text{НОМ})$ – пикетное положение уреза воды при РУВВ;

m – заложение откоса насыпи под мостом (принимается $m = 2$);

$H_{\text{НМ}}$ – проектная отметка по продольному профилю на РК(НМ), определяется по данным о проектной линии подбором (см. пример § 3.4);

Δ – заглубление конструкции береговой опоры в конус насыпи подхода, принимается равным 0,75 м.

Конец моста при наличии СНД определяется по формуле

$$\text{PK}(\text{КМ}) = \text{PK}(\text{КОМ}) + m \cdot (H_{\text{КМ}} - \text{РУВВ}) + B_{\text{Д}} + \Delta, \quad (3.49)$$

где $\text{PK}(\text{КОМ})$ – пикетное положение конца отверстия моста;

$H_{\text{КМ}}$ – проектная отметка конца моста, определяется подбором;

$B_{\text{Д}}$ – ширина верха СНД, расположенной на правосторонней пойме ($B_{\text{Д}} = 3,0$ м).

Схема моста составляется из типовых балочных пролетов на поймах и индивидуальных пролетных строений на русловой части в соответствии с габаритом B подмостового сечения (табл. 3.4), зависящего от класса реки. В практике проектирования мостов в Республике Беларусь на русловой части моста широко используют сталежелезобетонные неразрезные пролетные строения по схемам: 42 + 63 + 42; 63 + 84 + 63; 63 + 106 + 63; 63 + 126 + 63; 84 + 126 + 84. Для подмостового габарита $B = 140$ м в курсовом проекте можно принять схему 84 + 146 + 84 с высотой конструкции $h_{\text{кон}} = 4,0$ м.

Требуемая длина моста равна разности пикетных положений конца и начала моста, вычисленных по формулам (3.48) и (3.49).

При составлении схемы моста может оказаться, что длина моста больше требуемой. В этом случае следует увеличить ширину укрепления у подошвы конуса подхода.

Габарит моста определяется по табл. 3.4.

Определение габарита моста

Категория дороги	Число полос движения	Ширина		Габарит моста
		правой полосы безопасности	проезжей части	
I-a	6	2,5	$2 \times 11,25$	$15,75 + Z + 15,75$
I-б, I-в	4	2,0	$2 \times 7,0$	$11,0 + Z + 11,0$
II	2	2,0	7,0	11,0
III	2	1,5	7,0	10,0
IV	2	1,0	6,0	8,0
V	2	0,5	5,5	6,5

В курсовом проекте значение ширины разделительной полосы Z можно принять 3,0 м с устройством на ней барьерного ограждения.

Пример

Исходные данные. См. данные примеров § 3.1, п. 3.2.2, п. 3.3.1. Левая бровка русла находится на пикете $2 + 00$, категория автомобильной дороги – III, класс участка реки по условиям судоходства – VI, отверстие моста $l_{м2} = 300$ м, пикетное положение конца отверстия моста – $4 + 75$, расчетный судоходный уровень – 52,00 м.

Требуется запроектировать продольный профиль мостового перехода, вычислить пикетное положение начала и конца моста, составить схему пролетов моста.

Решение. Предварительно вычислим подмостовой подпор $\Delta z = 0,61$ м по формуле (3.34) (см. п. 3.3.2), подпор у насыпи на пикете – $12 + 75$ по формуле (3.40):

$$\Delta z_{н} = 0,61 + 0,0003((12 + 75) - (4 + 75)) = 0,85 \text{ м.}$$

Высота волны по формуле (3.37) $h_{вол} = 0,2 \cdot 2,31 = 0,46$ м.

Высота набега волны по формуле (3.36) равна 1,0 м (см. пример п. 3.3.1).

Разность отметок оси проезжей части и бровки обочины на дороге III категории:

$$\Delta y = 0,02(3,5 + 0,5) + 0,04(2,5 - 0,5) = 0,16 \text{ м.}$$

Ограничивающая отметка проектной линии на пойме по формуле (3.39):

$$H_{12+75} = 53,30 + 0,85 + 1,00 + 0,16 + 0,50 = 55,81 \text{ м.}$$

На пойменном участке моста примем длины пролетов 24 или 33 м с высотой балки 1,20 или 1,50 м (табл. 3.4). Высота конструкции пролетного строения по формуле (3.42) на дороге III категории

$$h_{\text{кон}} = 1,50 + 0,17 = 1,67 \text{ м.}$$

Минимальная отметка проектной линии на пойменной части моста по формуле (3.41):

$$H_{\text{мп}} = 53,30 + 0,61 + 0,46 + 0,5 + 1,67 = 56,55 \text{ м.}$$

Минимальная отметка проектной линии на судоходном пролете для реки VI класса и РСУ = 52,00 м вычисляется по (3.43), приняв $h_{\text{кон}} = 2,00 \text{ м.}$

$$H_{\text{мс}} = 52,00 + 7,50 + 2,0 = 61,50 \text{ м.}$$

Проектная линия продольного профиля мостового перехода проектируется в такой последовательности. Назначаем радиусы вертикальных кривых: выпуклой – 15 000 м, вогнутой – 8000 м, как для II категории (проектируемая дорога имеет III категорию).

Вершину выпуклой кривой располагаем над серединой русла на пикете 2 + 50, с отметкой 61,50 м (рис. 3.12). На пойме проектная линия – прямая с уклоном 0,0003 и минимальной отметкой на пикете 12 + 75, равной 55,81 м.

Выпуклую кривую радиуса 15 000 м закончим на пикете 5 + 50 на расстоянии 300 м от вершины. Уклон касательной прямой на пикете 5 + 50 по формуле (3.45) равен $\frac{300}{15\,000} = 0,020$.

Прямая с уклоном на пойме 0,0003 имеет ограничивающую отметку на пикете 12 + 75, равную 55,81 м. На пикете 7 + 75 проектная линия должна иметь отметку не менее $55,81 - 0,0003 \cdot 500 = 55,66$ м. Найдем точку пересечения прямой с $i = 20\%$ и прямой с уклоном $i = 0\%$ и отметкой 55,66 м. Прямая с уклоном 20% на пикете 7 + 00 имеет отметку 55,50 м, ниже прямой с уклоном $i = 0$ на 0,16 м. Следовательно, пересечение прямых находится на пикете $(7 + 00) - 0,16/0,02 = 6 + 92$. Длина кривой $K = \omega \cdot R = 0,020 \cdot 8000 = 160$ м, тангенс $T = \frac{K}{2} = 80$ м. Начало кривой на пикете $(6 + 92) - 80 = 6 + 12$, конец кривой на пикете $(6 + 12) + 160 = 7 + 72$. Отметка начала кривой $57,50 - 0,020 \cdot 12 = 57,26$ м. Отметка конца кривой $57,26 - 0,020 \cdot 80 = 55,66$ м.

Пикетное положение начала отверстия моста ПК(НОМ) и конца отверстия моста ПК(КОМ) определяется по формулам (3.29) и (3.30):

$$\text{ПК(НОМ)} = (2 + 00) - (10 + 2 \cdot 2,31) = 1 + 75,32;$$

$$\text{ПК(КОМ)} = (1 + 75,32) + 300 = 4 + 75,32.$$

Пикетное положение начала и конца моста определим исходя из пикетного положения начала и конца отверстия моста, положения проектной линии и конуса подхода ($m = 2$) подбором. При подборе будем исходить из условной высоты насыпи, считая ее от РУВВ = 53,30 м до проектной линии (рис. 3.13).

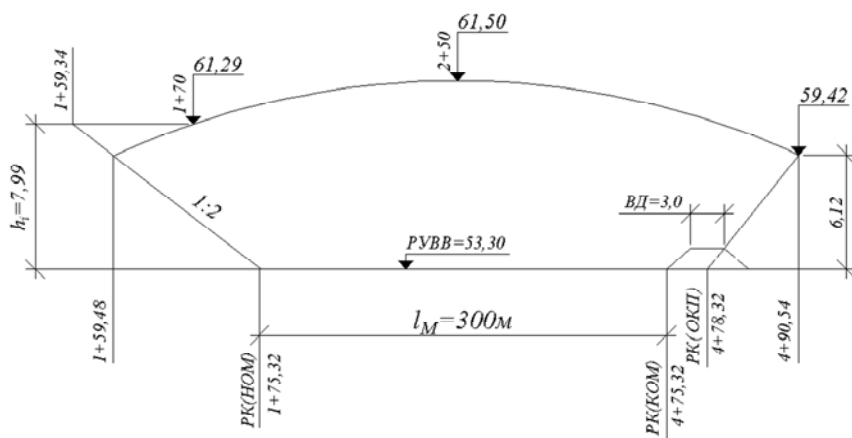


Рис. 3.13. Пример определения положения начала и конца моста

Пикетное положение начала моста вычислим следующим образом. Предположим, что пересечение откоса подхода и проектной линии произойдет на пикете $1 + 70$, расположенном на расстоянии $(2 + 50) - (1 + 70) = 80$ м от вершины выпуклой кривой. Отметка проектной линии по формуле (3.45):

$$H_{1+70} = 61,50 - 80^2 / (2 \cdot 15\,000) = 61,29 \text{ м.}$$

Условная высота насыпи над уровнем РУВВ (рис. 3.13):

$$h_{1+70} = 61,29 - 53,30 = 7,99 \text{ м.}$$

Если откос конуса подхода будет иметь высоту $7,99$ м, то горизонтальная проекция откоса при $m = 2$ равна $m \cdot h_{\text{он}} = 2 \cdot 7,99 = 15,98$ м.

В этом случае пересечение откоса насыпи и горизонтальной линии с отметкой $61,29$ (рис. (3.13)) произойдет на РК(П) = $(1 + 75,32) - 2 \cdot 7,99 = 1 + 59,34$, что не соответствует первоначальному предположению о начале моста на пикете $(1 + 70,00)$.

Предположим, что пересечение проектной линии и откоса конуса подхода РК(П) находится на пикете $1 + 60$. Вычислим $H_{1+60} = 61,23$ м, $h_{1+60} = 61,23 - 53,30 = 7,93$ м; РК(НМ) = $(1 + 75,32) - 2 \cdot 7,93 = 1 + 59,46$ м.

Предположим, что РК(П) = $1 + 59$; вычислим $H_{1+59} = 61,22$ м, $h_{1+59} = 7,92$ м; РК(П) = $(1 + 75,32) - 2 \cdot 7,92 = 1 + 59,48$ м.

Следовательно, принимаем точку пересечения проектной линии и откоса конуса левого подхода на пикете $1 + 59,47$ как среднее значение из двух предыдущих.

Пролетное строение начала моста отодвигается от этой точки на величину Δ . Начало моста находится на пикете РК(НМ) = $(1 + 59,47) - 0,75 = 1 + 58,72$ (см. формулу (3.48)).

Пикетное положение конца моста вычислим с учетом положения струенаправляющей дамбы на правой пойме.

Конец отверстия моста находится на откосе СНД на пикете $4 + 75,32$. Ширина верха СНД равна $3,0$ м. Откос конуса подхода при РУВВ = $53,30$ м с учетом ширины верха СНД находится на пикете $4 + 78,32$. Пересечение конуса подхода и проектной линии вы-

числим подбором по схеме, аналогичной вычислению положения начала моста (см. рисунок (3.13)).

Предположим, что пересечение проектной линии и откоса подхода находится на пикете $4 + 90$. Вычислим проектную отметку на пикете $4 + 90$, находящимся на расстоянии $l = (4 + 90) - (2 + 50) = 250$ м от вершины кривой:

$$H_{4+90} = 61,50 - 250^2 / (2 \cdot 15\,000) = 59,42 \text{ м.}$$

Условная высота насыпи

$$h_{4+90} = 59,42 - 53,30 = 6,12 \text{ м;}$$

$$\text{РК(П)} = (4 + 78,32) + 2 \cdot 6,12 = 4 + 90,56 \text{ м.}$$

Пикетное положение конца моста $\text{РК(КМ)} = (4 + 90,56) + 0,75 = 4 + 91,31$.

Длина моста равна разности пикетного положения конца и начала моста:

$$L_{\text{м}} = (4 + 91,29) - (1 + 58,72) = 332,57 \text{ м.}$$

Составим схему моста. Судходный пролет должен обеспечить ширину подмостового габарита B (табл. 3.3). Для класса реки VI $B = 60$ м. Если принять ширину опоры $2,0$ м, то судходный пролет должен быть не менее 62 м. Примем его равным 63 м.

Воспользуемся опытом строительства мостов в Республике Беларусь. Так, на дороге Рогачев–Жлобин–Светлогорск мост через р. Березина длиной $391,50$ м над руслом имел сталежелезобетонное неразрезное пролетное строение с пролетами $42 + 63 + 42$ м, на остальной части – из предварительно напряженных железобетонных балок. Примем такую схему в нашем случае.

Так как русло имеет ширину 105 м, то судходный пролет расположим над серединой русла. От начала моста ($1 + 58,72$) до бровки русла ($2 + 00$) расстояние $41,28$ м. Назначим в начале моста один пролет длиной 24 м. После него расположим неразрезное сталежелезобетонное пролетное строение $42 + 63 + 42$ м. Середина пролета длиной 63 м расположится на пикете $(1 + 58,72) + 24 + 42 + 31,5 = (2 + 56,22)$, т. е. на середине русла.

Остальные пролеты имеют общую длину $332,57 - (24 + 42 + 63 + 42) = 161,57$ м. Примем 5 пролетов длиной 33 м. Общая длина моста $L = 24 + 42 + 63 + 42 + 5 \cdot 33 = 336$ м, что больше требуемой длины на 3,43 м. Увеличим ширину укрепления у подошвы конуса ледового подхода (у начала моста) на 3,43 м ($l_{\text{ук}} = 10 + 3,43) = 13,43$ м.

Таким образом, схема моста $24 + 42 + 63 + 42 + 5 \cdot 33$. Длина моста 336 м. Начало на пикете (1 + 58,72), конец моста на пикете $(1 + 58,72) + 336 = (4 + 94,72)$.

Пикетное положение осей опор моста:

Номер опоры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пикет	1+ +58,72	1+ +82,72	2+ +24,72	2+ +87,72	3+ +29,72	3+ +62,72	3+ +95,72	4+ +28,72	4+ +61,72	4+ +94,72

Габарит моста на дороге III технической категории (табл. 3.1) равен $\Gamma = 10,0$ м. Примем ширину тротуаров 0,75 м, тогда габарит моста будет равен $\Gamma = (10 + 2 \cdot 0,75)$ м

В курсовом проекте приводится чертеж формата $A4 \times n$ «Продольный профиль мостового перехода». Пример такого чертежа приведен на рис. 3.12. В основной надписи (рис. 2.23) в графе 3 записывают «Проект мостового перехода», в графе 4 – «Продольный профиль мостового перехода».

3.4.2. Проектирование поперечного профиля насыпей подходов

Насыпи подходов имеют ширину дорожного полотна в соответствии с категорией автомобильной дороги. Откосы насыпи в нижней части подвержены действию воды до отметки РУВВ + $h_{\text{в}}$ с верховой стороны. С низовой стороны действие воды распространяется до отметки РУВВ + $h_{\text{н}}$.

$$h_{\text{в}} = \Delta z_{\text{н}} + h_{\text{наб}} + 0,5; \quad (3.50)$$

$$h_{\text{н}} = h_{\text{наб}} + 0,5, \quad (3.51)$$

где $\Delta z_{\text{н}}$ – подпор перед насыпью, определяется по формуле (3.40);

$h_{\text{наб}}$ – высота набега волны, определяется по формуле (3.36).

В связи с этим заложение откоса на участке cd (рис. 3.14) принимается $1 : 2$.

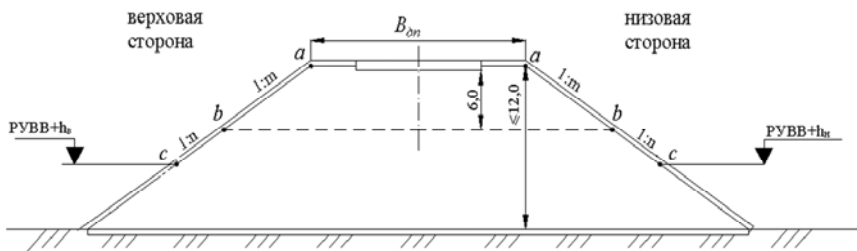


Рис. 3.14. Поперечное сечение насыпей подходов с верховой стороны (левый откос) и с низовой стороны (правый откос):
 РУВВ – расчетный уровень высокой воды

Участок откоса ac имеет заложение сухой насыпи в соответствии с высотой откоса и видом грунта насыпи. Если насыпь высотой более 6 м возводится из глинистых грунтов, то на участке откоса av заложение $1 : 1,75$, а на участке vc $1 : 2$.

При применении песчаных грунтов $m = 1,5$; $n = 1,5$ в случае крупных и средних песков и $m = 1,5$; $n = 2,0$ в случае мелких и пылеватых песков.

Возможен вариант поперечного профиля насыпей подходов с бермами с верховой стороны или с верховой и низовой стороны (рис. 3.15). В этом случае заложение сухого откоса на участке ac назначается по высоте насыпи выше бермы и внизу грунта.

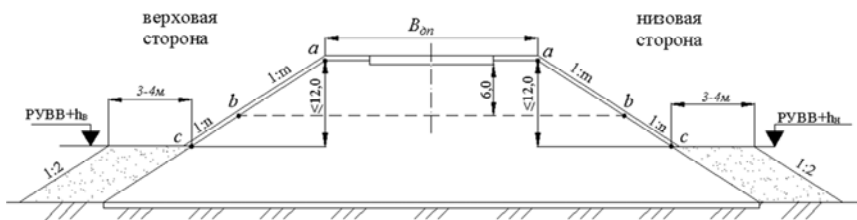


Рис. 3.15. Поперечное сечение подходов с бермами

Бермы обеспечивают возможность съезда на струенаправляющую дамбу и повышают устойчивость откоса.

Укрепление откосов назначают из следующих соображений.

Начало паводка весной сопровождается ледоходом. В это время возможен заход льдин из русла к насыпям подходов с верховой сто-

роны. Сильные ветры вызывают волны, удар которых о поверхность откоса также угрожает его устойчивости. Поэтому с верховой стороны откосы укрепляют монолитным бетоном, сборными бетонными плитами до отметки РУВВ + h . Выше этой отметки откос укрепляют посевом трав по плодородному слою или нетканым геотекстильным полотном (НГ СТ) с семенами трав.

Низовой откос в паводок не подвержен действию льдин. За счет продольного движения воды после моста ветровые волны гасятся и не оказывают влияния на низовой откос. Поэтому низовой откос укрепляют на участки подтопления до отметки РУВВ + 0,25 НГ СТ, а на неподтапливаемом участке – посевом трав.

В курсовом проекте приводят два поперечных профиля низких и высоких насыпей подходов. Поперечный профиль высокой насыпи у моста вычерчивается в соответствии с рис. 3.14 или 3.15.

На поперечных профилях взамен буквенных обозначений, приведенных на рис. (3.14), (3.15) и (3.16) указывают цифровые значения.

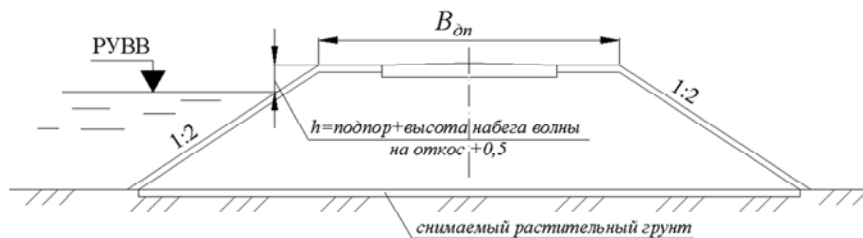


Рис. 3.16. Поперечный профиль низкой насыпи на пойме

Поперечный профиль низкой насыпи приводится для случая, когда ее высота определяется действием воды (РУВВ + h_B). При возвышении бровки обочины выше РУВВ + h_B на 1,0 м, откос по всей длине принимается с заложением откоса $m = 2,0$.

Поперечные профили вычерчивают в масштабе 1 : 100, 1 : 50 на листе формата А4. В основной надписи в графе 3 записывают «Проект мостового перехода», а графе 4 – «Поперечные профили насыпей подходов».

3.5. Чертеж «План мостового перехода»

Чертеж «План мостового перехода» формата А4 × n выполняется в масштабе 1 : 1000 или 1 : 500 в зависимости от размера струена-

правляющей дамбы (СНД). Например, длина СНД 270 м при высоте листа $A4 \times n - 297$ мм можно применять масштаб 1 : 1000. Если длина СНД 130 м, то подходит масштаб 1 : 500.

Чертеж «План мостового перехода» включает изображение положений русла, насыпи подходов, струенаправляющей дамбы, срезу поймы.

Мост изображается в виде двух параллельных относительно оси перехода линий. Указывается начало и конец моста, пикетное положение осей опор моста.

План подходных насыпей включает бровки обочин, бермы (при их наличии), подошвы откосов, конуса подходов. Положение подошвы откоса насыпи и конуса подходов определяется высотой откоса насыпи и заложением откоса.

План оси струенаправляющей дамбы вычерчивают по координатам X, Y . Начало координат размещают в корне дамбы (рис. 3.17), пикетное положение которого вычислено ранее. Далее наносят положение бровок СНД и подошвы откосов СНД при $m = 2,0$ и известной высоте СНД, равной разности отметок бровки СНД и поверхности поймы (рис. 3.17).

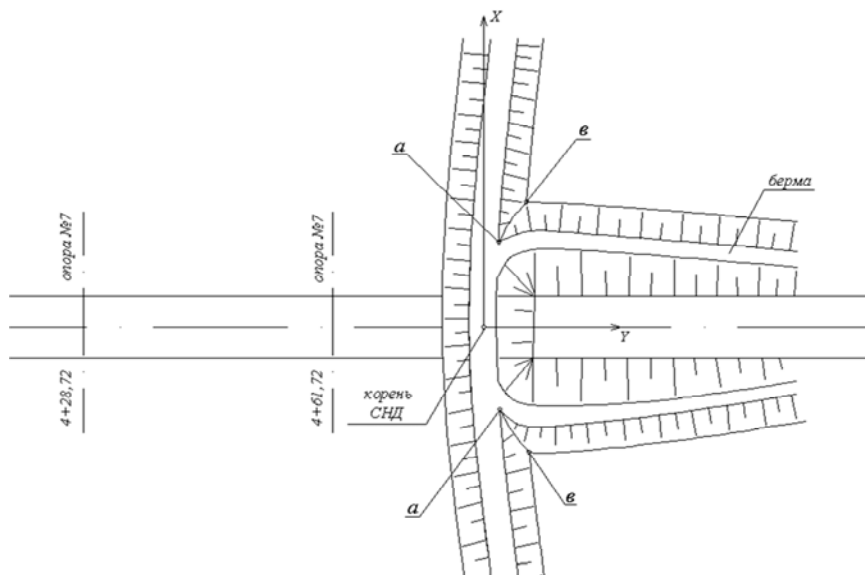


Рис. 3.17. Сопряжение СНД и насыпи подходов

На пересечении бровок бермы и СНД получают точку a , а на пересечении подошв откосов СНД и насыпи подходов – точку b . Откосы СНД и насыпи подходов пересекаются по линии ab .

План начала СНД (голова) проектируют с заложением откоса 1 : 3.

При наличии срезки шириной $\Delta B = B_{p\ m} - B_{p\ б}$ на плане мостового перехода наносятся ее контуры: ширина ΔB вдоль оси дороги и длина (4...6) ΔB вверх и вниз от оси вдоль кромки русла.

Бровки насыпи подходов относительно оси наносятся параллельными линиями как продолжение границ моста. Положение подошвы откоса относительно бровки рассчитывается в соответствии с высотой насыпи и заложением откоса. На откосе с высотой больше ограничивающей отметки $H_{п}$ наносится берма шириной 4 м. Показывается укрепление откоса.

Очертание струенаправляющей дамбы наносится по данным расчета, выполненного в § 3.3. Показывается пикетное положение корня дамбы. У подошвы речного откоса показывается рисберма (упор укрепления откоса монолитным бетоном и сборными плитами).

При наличии срезки поймы показывают ширину срезки и длину по данным расчета. Ширина равна разности ширины русла под мостом и бытовой ($\Delta B = B_{p\ м} - B_{p\ б}$). Длина срезки равна (3...4) ΔB .

В основной надписи (рис. 2.23) в графе 3 записывают «Проект мостового перехода», в графе 4 – «План мостового перехода», М1 : 1000 или М1 : 500. план мостового перехода на основе рассмотренных ранее примеров приведен на рис. 3.18.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобильные дороги. Нормы проектирования : ТКП 45-3.03-19-2006. – Минск, 2006.
2. Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования : ТКП 200-2009. – Минск, 2009.
3. Определение максимальных расходов талых и ливневых вод на малых водотоках БССР : ВСН 24-87. – Минск : Миндорстрой БССР, 1987. – 15 с.
4. Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-3.03-232-2011 (02250). – Минск, 2011.
5. Трубы железобетонные диаметром 500-2000 м для водопропускных сооружений на автомобильных дорогах : ТПБ 3.008.1-2-2008. – Минск, 2008.
6. Укрепление водопропускных сооружений на автомобильных дорогах : ТПБ 3.503.1-8-2004. – Минск, 2004.

Учебное издание

ПРОЕКТ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ВОДОТОКА

Методические указания
к выполнению курсового проекта
по дисциплине «Специальные вопросы проектирования
автомобильных дорог и аэродромов»
для студентов специальности 1-70 03 01
«Автомобильные дороги»

Составители:

ЯЦЕВИЧ Иван Климентьевич
КОНОНОВА Елена Ивановна

Редактор *Т. А. Зезюльчик*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 10.04.2014. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 8,02. Уч.-изд. л. 6,27. Тираж 300. Заказ 1260.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.