

ВСЕСОЮЗНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО РАСЧЕТУ
ВЫХОДНЫХ РУСЕЛ
ДОРОЖНЫХ
ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ
С УКРЕПЛЕНИЯМИ
ИЗ КАМЕННОЙ НАБРОСКИ

Москва 1980

ВСЕСОЮЗНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО РАСЧЕТУ
ВЫХОДНЫХ РУСЕЛ
ДОРОЖНЫХ
ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ
С УКРЕПЛЕНИЯМИ
ИЗ КАМЕННОЙ НАБРОСКИ

Одобрены Главтранспроектом

Москва 1980

УДК 625.745.2;624.137.4

(C) Всесоюзный научно-исследовательский институт
транспортного строительства, 1980

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящих Рекомендациях излагаются методы расчета выходных русел дорожных водопропускных труб с укреплениями из каменной наброски.

Рекомендации позволяют выбрать рациональные типы выходных русел, определить размеры их укреплений и глубину заделки концевых частей при различных условиях: гидрологических, гидравлических и грунтовых.

Рекомендации разработаны в лаборатории мостовой гидравлики и гидрологии отделения изысканий и проектирования железных дорог ЦНИИС канд.техн.наук Г.Н.Волченковым при участии инж. И.Б.Невской под общим руководством канд.техн.наук В.В.Невского.

Зам.директора института

Н.Б.СОКОЛОВ

Зав.отделением изысканий
и проектирования железных дорог

А.И.КОЗЛОВ

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Согласно настоящей методики могут рассчитываться выходные русла труб, устраиваемые из сортированного и несортированного камня.

1.2. Указанный тип выходных русел труб может использоваться во всех случаях, где расчетом будет подтверждена надежность его работы по защите сооружения от размыва.

Рациональность применения данного типа выходных русел определяется путем технико-экономического сравнения с другими типами.

Наиболее целесообразно применять укрепления из каменной наброски в районах с суровым климатом при наличии вечной мерзлоты, где вероятна деформация основания, а также для надогруженных труб.

1.3. Для устройства выходных русел труб из каменной наброски требуется камень, не имеющий признаков выветривания и трещин, прослоек мягких пород и размываемых включений с удельной плотностью выше $2 \text{ т}/\text{м}^3$. Этим требованиям удовлетворяют материалы, полученные из изверженных и метаморфических пород.

Крупность камня в наброске не должна превышать 40 см.

1.4. Выходные русла из каменной наброски могут быть двух типов:

а) не допускающие выноса потоком частиц наброски – неразмываемые;

б) допускающие вынос частиц наброски потоком – размываемые. Их устойчивость обеспечивается за счет отмостки по срхности укрепления крупными частицами, накапливающимися по мере выноса мелких частиц. Эти укрепления носят название самоотмосток.

Неразмываемые выходные русла в свою очередь делятся на два вида:

а) недеформируемые;

б) деформируемые.

Недеформируемые выходные русла не допускают выноса грунта из-под них и поэтому их элементы сохраняют под воздействием потока свое первоначальное положение в пространстве.

Деформируемые выходные русла допускают вынос потоком частиц грунта лога из-под них.

Это приводит к деформации укрепления без перемещения потоком его частиц. При этом устойчивость укреплений обеспечивается.

1.5. Гранулометрический состав несортированного камни, получаемого взрывным способом, зависит от прочности и трещиноватости пород, а также вида и метода взрывных работ.

Согласно СНиП ИУ-13-71^x скальные породы подразделяются на сильно-, средне- и слаботрещиноватые и практически монолитные.

Вероятный гранулометрический состав каменного материала устанавливается при разработке проекта буровзрывных работ применительно к заданным карьерам с учетом погрешности крупности камня.

Для предварительных расчетов можно допустить что из скальных прочных малотрещиноватых пород взрывным способом получается однородный камень заданной крупности.

При взрыве средне- и сильнотрещиноватых скальных пород можно ориентироваться на гранулометрический состав, приведенный в табл. 1.

Таблица 1

Крупность камней, см	Содержание фракций данной крупности, %
Более 40	15-30
40-20	50-70
20-5	10-20
Менее 5	5-10

^x Строительные нормы и правила ч.4. Сметные нормы. Гл. В. Буровзрывные работы. СНиП ИУ 3-71. М., Стройиздат

I.6. Исходными данными для расчета выходных русел из каменной наброски являются:

- a) характеристика водопропускной трубы (форма поперечного сечения, отверстие, тип выходного оголовка и уклон лотка);
- б) характеристика грунтов лога (связный или несвязный; для связного приводится величина сцепления, для несвязного - гранулометрический состав); пробы грунтов должны обеспечить получение указанных выше грунтовых характеристик по всей глубине вероятного размыва, но не менее 2 м;
- в) характеристика каменного материала: названия, крепость и трещиноватость породы и ее вероятный гранулометрический состав
- г) регламентируемые расходы воды, пропускаемые трубой: для железных дорог - расчетный и наибольший, для автомобильных расчетный; глубины и скорости на выходе из трубы.

I.7. Расчеты выходных русел из каменной наброски включаются в определении:

- а) минимальной крупности однородного камня или в проекции по заданному гранулометрическому составу неоднородного камня устойчивости каменной наброски от размыва;
- б) глубины деформаций (размыва) укреплений;
- в) плановых размеров укреплений (длины и ширины);
- г) глубины размыва за укреплениями;
- д) глубины заложения концевой части укрепления.

I.8. Для обеспечения необходимых запасов в размерах укреплений при пропуске расчетных расходов, последние увеличиваются на 30%.

При этом для труб на железных дорогах размеры укреплений определяют по большему из расходов Q_{\max} или $1,8 Q_p$, где Q_p и Q_{\max} соответственно расчетный и наибольший расходы в сооружении.

I.9. При расчете выходных русел из каменной наброски и определении их размеров исходят из конструкции, приведенной на рис. I.

Здесь и далее под выходными руселями из каменной наброски понимаются выходные руселя с укреплениями из камня.

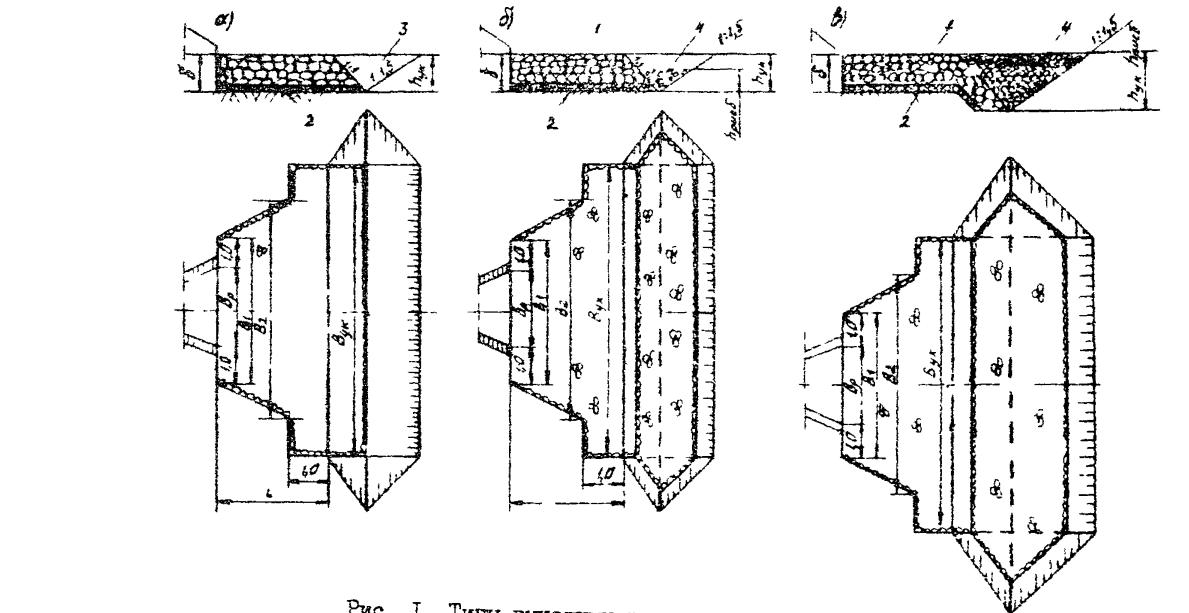


Рис. I. Типы выходных русел из каменной наброски:
 а - тип I; б - тип II; в - тип III; 1 - укрепление из наброски; 2 - щебеночная подготовка;
 3 - обратная засыпка грунта; 4 - рисберма; 5 - толщина наброски; 6 - глубина заделки
 укрепления; $H_{рисб}$ - высота рисбермы; B_p - ширина укреплений у оголовка; B_1 , B_2 и $B_{ук}$ - ши-
 рина соответственно в начале и у концевой части укрепления

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КАМЕННОЙ НАБРОСКИ ОТ РАЗМЫВА

2.1. Расчеты, излагаемые в настоящей главе, являются общими для всех типов выходных русел из каменной наброски. Они предшествуют всем расчетам, излагаемым в последующих главах.

2.2. Расчеты устойчивости наброски начинают с определения средних скоростей на выходе из труб $v_{\text{вых}}$, м/с, пользуясь типовыми проектами сооружений или формулами, приведенными в "Руководстве по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений". М., "Транспорт", 1979.

Для круглых труб можно использовать графики зависимости относительных скоростей на выходе из трубы $\frac{v_{\text{вых}}}{\sqrt{gD}}$ от параметров расхода $P_d = \frac{Q}{d^{3/2} \sqrt{gD}}$, приведенные на рис. 2 и 3. Параметры расхода можно найти по номограмме (рис. 4).

2.3. Устанавливают, является ли наброска однородной в отношении размыва из условия

$$\frac{d_{H(\max)}}{d_H} \leq 2, \quad (1)$$

где $d_{H(\max)}$ - средний диаметр крупных частиц, которые составляют не менее 5% от веса наброски;

d_H - средний диаметр частиц наброски.

При несоблюдении условия (1) каменная наброска неоднородна.

2.4. Для однородной наброски определяют минимальный диаметр ее частиц, при котором укрепление будет устойчивым от размыва

$$d_H \geq \frac{(v_{\text{вых}} K_{\alpha\beta}(v))}{43}^2 \text{ м}, \quad (2)$$

где $K_{\alpha\beta}(v)$ - коэффициент, учитывающий влияние оголовка на размывающую скорость для частиц наброски; для безоголовочной трубы $K_{\alpha\beta}(v) = 1$, для трубы с раструбными оголовками $K_{\alpha\beta}(v) = 0,8$.

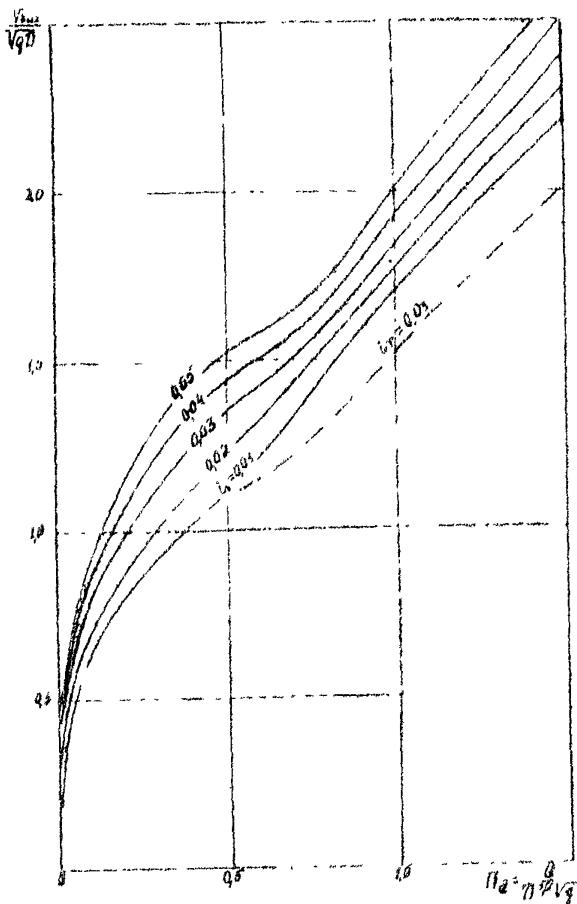


Рис. 2. График для определения скоростей на выходе из круглых технически гладких (железобетонных или бетонных) труб при разных уклонах:

— с коническим энвом; — без него

Формулу (2) можно представить:

а) для безголовочной трубы

$$Q_{H(\text{гол})} = \frac{V_{\text{безголов}}^2}{4.3} \quad \text{л/с}$$

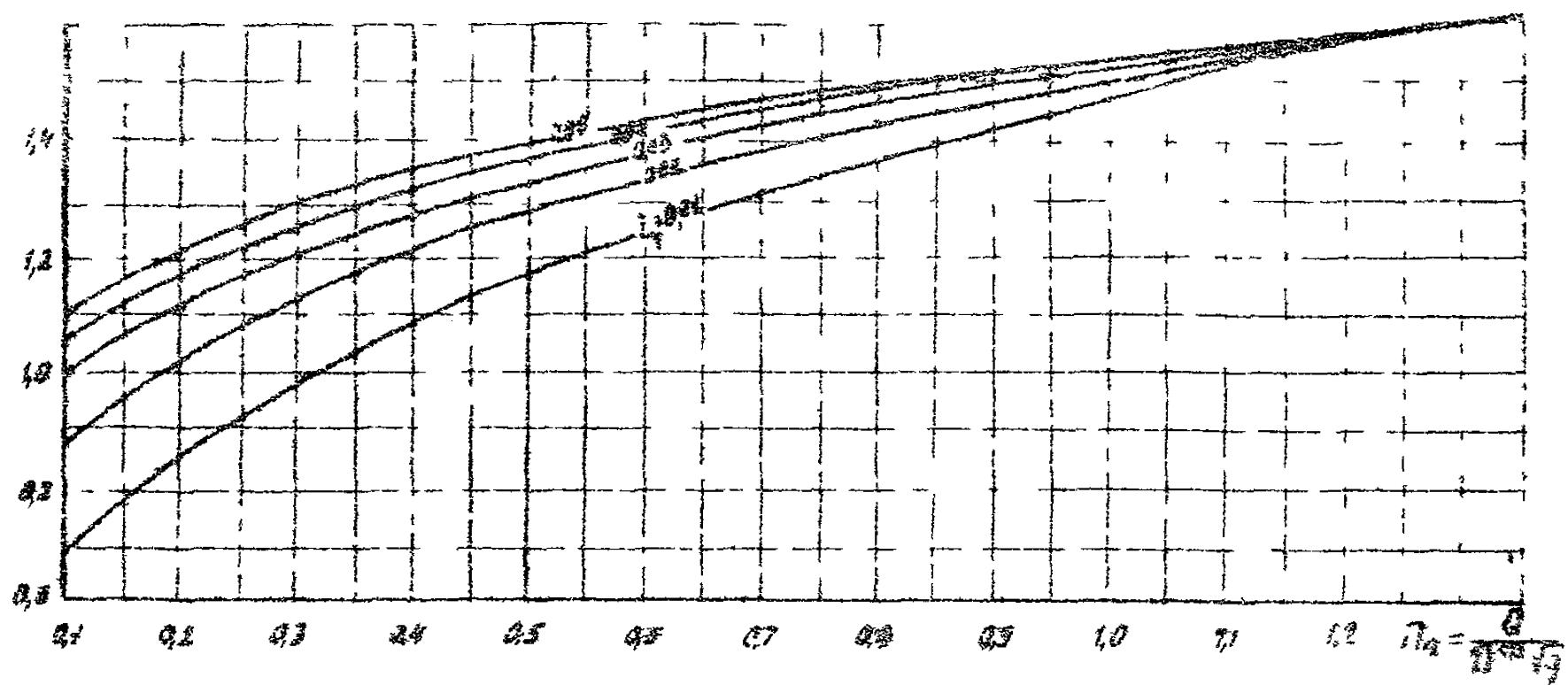


Рис. 3. График для определения скоростей на выходе из кривых магнитных пологоизменяющих труб

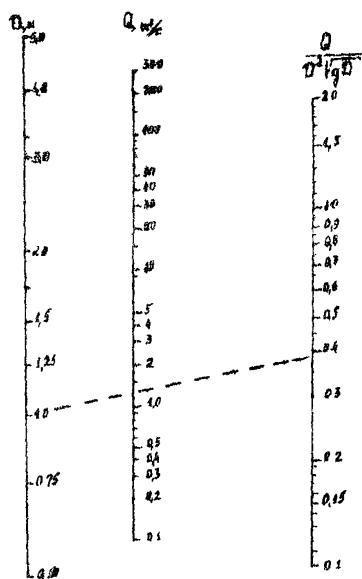


Рис.4. Номограмма для определения параметров расхода для круглых труб

б) для трубы с рас трубными или порталыми оголовками

$$d_{H(\text{дол})} \geq \frac{U_{\text{бы/х}}^2}{67} \text{ м. (2,б)}$$

2.5. Для неоднородной наброски, заданной своим гранулометрическим составом, устанавливают, будут ли устойчивы ее частицы под воздействием потока исходя из любого из двух приведенных ниже условий

$$Q \leq Q_{np} = 3.2 K_{\sigma/(g)} D_3 d_{H(M)}^{3/2} \sqrt{g} K_{np} \quad (3)$$

$$U_{\text{бы/х}} < U_{np} = \frac{2.1 \sqrt{g} d_{H(M)}}{K_{\sigma/(u)}} K_{np}^{\eta} \quad (4)$$

- Q - расход в сооружении, $\text{м}^3/\text{s}$;
- Q_{np} и U_{np} - соответственно предельный расход, $\text{м}^3/\text{s}$, и предельная скорость, $\text{м}/\text{s}$, при которой на броски сохраняет устойчивость против размыва;
- D_3 - эквивалентный диаметр трубы, м; для круглых труб эквивалентный диаметр трубы равен диаметру трубы $D_3 = D$; для труб прочих поперечных сечений и для многоочковых труб $D_3 = 1.13 \sqrt{\frac{4}{\pi} \omega_{\text{соп}}}$;
- $\omega_{\text{соп}}$ - площадь поперечного сечения сооружения, м^2 ;
- $K_{\sigma/(u)}$ - коэффициент, учитывающий влияние оголовка

на величину прецельного расхода, при котором сохраняется устойчивость наброски; $K_{02}(R)$ определяют по табл. 2 в зависимости от типа труб и режима протекания потока в трубе

Таблица 2

Тип труб	Режим протекания	$K_{02}(R)$
Круглые	Безнапорный	1,95
	Полунапорный	1,40
	Напорный	1,35
Прямоугольные	Безнапорный	2,95
	Полунапорный	1,35

g - ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$;
 K_{np} - коэффициент неоднородности грунта, учитывающий влияние гранулометрического состава наброски на ее устойчивость, определяемый по формуле

$$K_{np} = 1,15 \sqrt{\frac{d_n - d_{n/m}}{d_{n/m} \rho_{n/m}}} , \quad (5)$$

d_n - средний диаметр частиц наброски, м;
 $\rho_{n/m}$ - соответственно диаметр частиц, м, и весовое содержание самой мелкой фракции, которой в наброске содержится не менее 10% ($\rho_{n/m} \geq 0,1$); в случае, если ее содержание составляет менее 10%, то под $d_{n/m}$ понимают средний диаметр частиц смеси, состоящей из самой мелкой фракции и последующих фракций, дополняющих ее до 10%, т.е. $\rho_{n/m} = \rho_{n/m} + \sum \rho_{n/i} = 0,1$

$$d_{n/m}' = \frac{\rho_{n/m} d_{n/m} + \sum \rho_{n/i} d_{n/i}}{0,1} \quad (6)$$

Здесь ρ_{H_1} и d_{H_1} – соответственно весовая доля и средний диаметр, м., фракций, дополняющих малую фракцию до 10%.

Если $K_{\text{пр}} < 1$ (5), то принимают $K_H = 1$.

7 показатель степени, определяемый по табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Тип труб	Режим протекания	n
Круглые	Безнапорный	1/3
	Полунапорный	2/3
	Напорный	3/4
Прямоугольные	Безнапорный	1/4
	Полунапорный	3/4

Режим протекания потока в трубах можно определить путем сравнения параметров расчета \bar{P}_d с $\bar{P}_{d/\text{гр}}$

где $\bar{P}_{d/\text{гр}}$ – граничный параметр расхода, соответствующий переходу к полунапорному режиму для всех типов технически гладких труб, кроме круглых с конической зонами и к напорному для круглых труб с коническими зонами; для гофрированных труб с некоторым запасом можно пользоваться теми же данными.

Значения $\bar{P}_{d/\text{гр}}$ для круглых труб (наиболее распространенный тип) приведены в табл. 4. Режимы протекания для остальных типов можно определить по [1,2].

Т а б л и ц а 4

Оголовок	$\bar{P}_{d/\text{гр}}$	Режим протекания
Без оголовков	0,415	Полунапорный
Портальный	0,440	Горизонтальный
Воротниковый	0,460	...
Раструбный с углом расширения $\alpha_p = 20^\circ$	0,495	...
Раструбный с коническими зонами $\alpha_p = 20^\circ$	0,600	Напорный

При использовании формулы (4) расчет начинают, предполагая безнапорный режим протекания потока в трубе.

Затем, вычислив U_{pr} , определяют относительную скорость $\frac{U_{pr}}{\sqrt{g}D}$ и по графикам (см.рис.2 и В) находят параметр расхода Π_q . Сравнив его с $\Pi_{q/pr}$, приведенным в табл.4, устанавливают режим протекания.

При $\Pi_q < \Pi_{q/pr}$ – режим безнапорный, следовательно, U_{pr} вычислена правильно. Далее расчет продолжают, устанавливая устойчивость наброски из условия (4).

При $\Pi_q > \Pi_{q/pr}$ – режим полунапорный или напорный (см.табл.4).

В этом случае для установленного режима протекания определяют показатель степени n по табл.3 и пересчитывают U_{pr} . После этого, используя условие (4), устанавливают устойчивость наброски.

При соблюдении условий (3) или (4) укрепление из неоднородной наброски будет устойчивым и неразмыаемым.

В противном случае укрепление будет размываемым и для определения его устойчивости выполняют дополнительные расчеты.

2.6. Определяют минимально допустимый диаметр частиц наброски $d_{n/gon}$ (2а) или (2б), считая ее однородной.

2.7. Сравнивают полученный диаметр частиц наброски $d_{n/gon}$ со средним диаметром частиц наиболее крупной фракции $d_{n/max}$, содержащейся в ней.

При $d_{n/max} > d_{n/gon}$ укрепление может работать как самоотмостка, а возможность применения его для заданного сооружения может быть определена специальным расчетом для данного типа укреплений (см. гл.4).

При $d_{n/max} < d_{n/gon}$ – наброска неустойчива и не может быть использована для защиты выходных русел споружения от

размыва. Ее требуется заменить наброской с частицами большей крупности или другим типом укрепления.

3. РАСЧЕТ НЕРАЗГЛАДИМЫХ ВЫХОДНЫХ РУСЕЙ

Незадернируемые выходные русла

3.1. Определяют толщину слоя наброски, при которой укрепление будет недеформируемым по формулам:

а) для наброски, состоящей из нескольких фракций

$$\delta = D_3 \left[0,45 \sqrt{\frac{d_H - \rho_{H(M)} d_{H(M)}}{\rho_{H(M)} d_{H(M)} + 1}} + 1,15 \left(\frac{v_{\text{вых}} K_{\partial \sigma / \Delta h}}{\sqrt{g D_3}} - 1 \right) \right], \quad (7)$$

где $K_{\partial \sigma / \Delta h}$ – коэффициент, учитывающий влияние оголовка на глубину деформации наброска; для безоголовочной трубы $K_{\partial \sigma / \Delta h} = 1$; для растреснутых и портальных оголовков $K_{\partial \sigma / \Delta h} = 0,7$.

При $\rho_{H(M)} = 0,95$ наброску считают однородной со средним диаметром частиц $d_{H(M)}$, для чего в (7) условно принимают $\rho_{H(M)} = 0$;

б) для наброски, состоящей из одной фракции

$$\delta = D_3 \left[0,45 \sqrt{\frac{d_H}{d}} + 1,15 \left(\frac{v_{\text{вых}} K_{\partial \sigma / \Delta h}}{\sqrt{g D_3}} - 1 \right) \right]. \quad (7a)$$

Для несвязанных грунтов средний диаметр частиц отдельной фракции $d_{,m}$, определяют

$$d = \frac{\sum d_i p_i}{100}, \quad (8)$$

где p_i – весовая доля фракции, %.

Для связанных грунтов расчетный диаметр d , мм, определяют

$$d = 1,5 (0,15 + C_p), \quad (9)$$

где C_p – расчетное сцепление грунтов, tc/m^2 .

Для наброски, состоящей из нескольких слоев различного гранулометрического состава (например, при наличии щебеночной подготовки), часто d_H , подставляют эквивалентный диаметр, определяем по формуле

$$\sigma_{H,0} = \left(\sigma_{H,1} b_1 + \sigma_{H,2} b_2 + \sigma_{H,3} b_3 + \dots + \sigma_{H,n} b_n \right) \frac{1}{\delta}, \quad (10)$$

где $\sigma_{H,i}$ и b_i - соответственно средний диаметр и толщина первого, второго... и n -го слоя наброски, м;
 $\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n$ - полная толщина всех слоев наброски, м.

По этой же формуле вычисляют для каждого слоя средний диаметр мелкой фракции $d_{NM(\theta)}$, м.

3.2. Длину укрепления принимают $L = (1,5-2,0) D_g$, м.

3.3. Определяют ширину растекания потока $V_{раст}$, м, которая используется в дальнейших расчетах при назначении ширины укрепления, по формуле

$$V_{раст} = \delta \left[\left(\frac{x}{D_g} - 1 \right)^n + b_p \right], \quad (11)$$

где x - расстояние от конца оголовка до рассматриваемого створа, м; в конце укрепления $x = 1$;
 δ - отверстие трубы, м;
 b_p - ширина оголовка в конце его, м;
 Q_k - эталонный расход, м³/с, т.е. расход, при прохождении которого критическая глубина в сооружении равна $0,75 D_g$;

$$Q_k = 0,51 \sqrt{g D_g}, \quad (12)$$

или $Q_k = 1,6 D_g^{5/2} \cdot 10^3$; (12a)
 n - показатель степени

$$n = 0,78 + 0,36 \lg \frac{Q_k}{Q}; \quad (13)$$

Q - расход в сооружении (расчетный или наибольший).

3.4. Назначают размеры укрепления в плане с учетом принятой ширины укрепления:

a) в створе на выходе из оголовка

$$B_1 = b_p + 2 \text{ м};$$

б) в конце укрепления

$B_2 = B_{\text{раст}} + 1 \text{ м}$, где 2 и 1 м-запас в ширине укрепления, назначаемый соответственно по 1 и 0,5 м с каждой стороны укрепления.

Деформируемые выходные русла

3.5. Определяют предельную глубину деформации укрепления $\Delta h_{\text{приг}}$ за счет выноса грунта из-под него:

а) для наброски, состоящей из нескольких фракций,

$$\Delta h_{\text{приг}} = 0,85 D_g \sqrt{\frac{\alpha_n - \rho_{n/m} \alpha_{n/m}}{(\rho_{n/m} \alpha_{n/m})^2 / \alpha} - 1,93 \delta + 2 D_g / 1,15 \frac{C_{\text{вых}} K_{\text{огр/н}}}{Vg D_g} - 1} \quad (14)$$

При $\rho_{n/m} > 0,95$ считают наброску однородной со средним диаметром частиц $d_{n/m}$, для чего в формуле (14) условно принимают $\rho_{n/m} = 0,95$.

б) для однородной наброски

$$\Delta h_{\text{приг}} = 0,85 D_g \sqrt{\frac{\alpha_n}{\alpha} - 1,93 \delta + 2 D_g / 1,15 \frac{C_{\text{вых}} K_{\text{огр/н}}}{Vg D_g} - 1}. \quad (14a)$$

При наличии в наброске слоев разного гранулометрического состава в формулу (14) вместо d_n и $d_{n/m}$ подставляют $d_{n/3}$ и $d_{n/m/3}$, определяемые по формуле (10).

Толщиной слоя наброски δ задается, принимая ее равной не менее $2 d_n$.

3.6. Определяют глубины потока на выходе из технических гладких труб по формулам [1, 2].

Для круглых труб можно воспользоваться также графиками, приведенными на рис. 5 и 6.

3.7. Определяют глубины на выходе из оголовков труб по формуле

$$h_{\text{вых/ог}} = h_{\text{вых}} K_{\text{огр/н}}, \quad (15)$$

где $K_{\text{огр/н}}$ — коэффициент, учитывающий влияние оголовка на глубину потока на выходе из сооружения

$$K_{\text{огр/н}} = \left(\frac{\beta}{\beta_p} \right)^{1/3} \quad (16)$$

3.8. Находят расстояние от выхода из трубы до места расположения предельной глубины деформации укрепления по

формуле

$$l_{np(g)} = U_{b0/x} \sqrt{\frac{2h_{max}(x) + \Delta h_{np(g)}}{g}} \quad (I7)$$

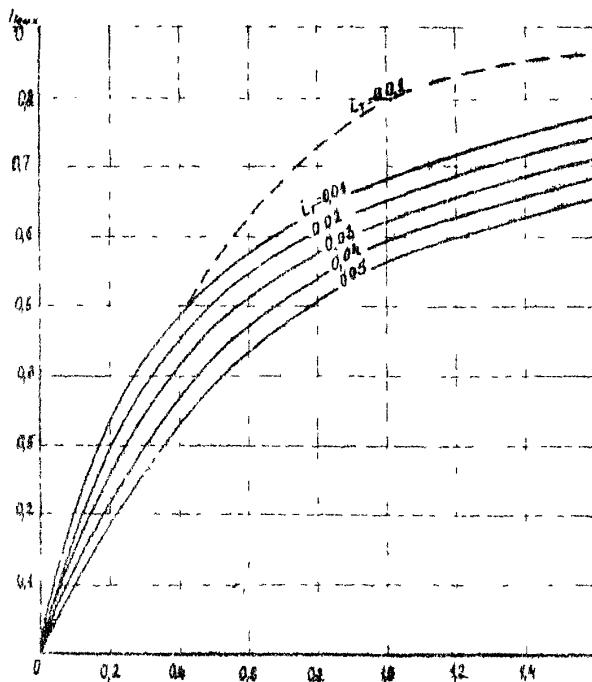


Рис. 5. График для определения глубин на выходе из круглых железобетонных и бетонных труб: с коническим звеном; без конического звена

3.9. Устанавливают предельную глубину деформации укрепления у выходного сечения трубы

$$\Delta h_{np(g)b0/x} = \Delta h_{np(g)} - \frac{l_{np(g)}}{2} \quad (I8)$$

При $0 < \Delta h_{\text{посл}} \leq 0,5$ м предусматривают укладку на выходе из трубы **фундаментных блоков**, либо наброски большой крупности, имеющих вертикальные размеры $(1,2 + 1,3)\Delta h_{\text{посл}}$.

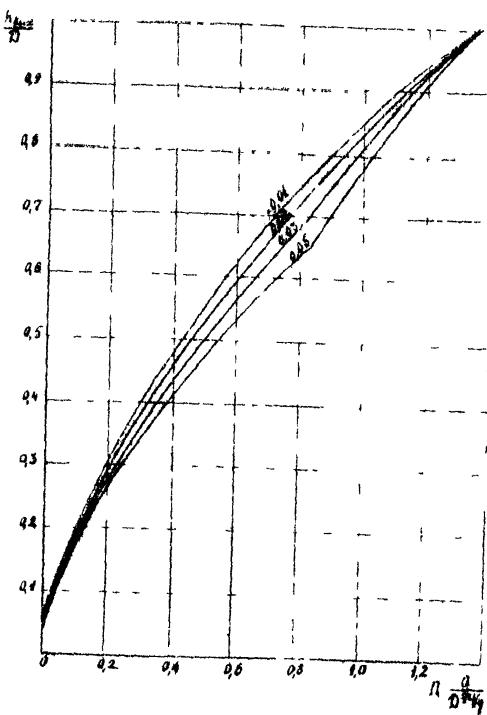


Рис. 6. График для определения глубин на выходе из круглых металлических гофрированных труб

При $\Delta h_{\text{посл}} > 0,5$ м либо изменяют параметры укрепления из каменной наброски (толщину слоя, крупность камня

и т.п.), либо применяют иной тип укрепления.

3.10. Определяют минимальные размеры укрепления в плане исходя из размеров воронки деформации

$$L = B = 4 \Delta h_{\text{деф}} \quad (19)$$

где L и B – соответственно длина и ширина укрепления, м.
длину укрепления L , вычисленную по формуле (19),
принимают для дальнейшего расчета.

3.11. Находят ширину укрепления (см. рис. I)
в конце оголовка (B_1)

$$B_1 = \delta_p + 2 \text{ м};$$

в конце укрепления (B_2)

а) при $\frac{\Delta h}{\delta_p} > 0,5$,

B_2 принимают по большей из величин B_1 и B (см.
формулу (19));

б) при $\frac{\Delta h}{\delta_p} \leq 0,5$,

B_2 принимают по большей величине B и $B_{\text{раст}}$, вычис-
ленной по формуле (17), но не менее B_1 .

4. РАСЧЕТЫ ВЫХОДНЫХ РУСЕЛ – ОДНОСТОЙКОСТИ

4.1. Определяют долю ($\rho_{\text{от}}$) и средний диаметр ($D_{\text{ср}}$)
фракции отмостки в следующей последовательности:

а) вычисляют параметр

$$N_{\text{пар}} = \frac{3 \sqrt{\phi_{\text{ст}} D_p}}{\phi^2} . \quad (20)$$

Здесь $\varphi = \delta_M \psi D_p \left(\frac{D_p}{\delta_p} \right)^{0.2}$, (21)

где ψ – коэффициент, учитывающий заделку конца ЭИ
части укреплений, для деформации укреплении
из каменной наброски $\psi = 0,7$;
 δ_M – масштабный коэффициент, определяемый по
табл. 5.

Таблица 5

Эквивалентный диаметр тру- бы D_e , м	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2	3	4	5	6	10	15
Насыщенный коэффициент δ_m	0,89	0,87	0,85	0,83	0,82	0,81	0,79	0,77	0,76	0,75	0,73	0,7

б) по гранулометрическому составу наброски вычисляют $\rho_{\text{от}}$ сначала для первой (самой крупной) фракции (причем $\rho_{\text{от}}$ должно быть больше 5%, т.е. $\rho_{\text{от}} \geq 0,05$).

в) сравнивают $\frac{\rho_{\text{от}}}{d_{\text{от}}^{1.6}}$ с $N_{\text{расч}}$

Если $N_{\text{расч}} > \frac{\rho_{\text{от}}}{d_{\text{от}}^{1.6}}$, то в расчет включают следующую фракцию (или ее часть), и так продолжают до тех пор, пока не будет соблюдено условие $\frac{\rho_{\text{от}}}{d_{\text{от}}^{1.6}} \approx N_{\text{расч}}$ с точностью до 5%.

Если $\frac{\rho_{\text{от}}}{d_{\text{от}}^{1.6}}$ будет меньше $N_{\text{расч}}$ для всех фракций, то отмстки Δh образуются и предельные глубины деформации укрепления определяют, как для однородного грунта по формуле

$$\Delta h_{\text{пр}} = C_m \varphi D_p \left(\frac{G}{G_k} \right)^{0.6} \left(\frac{D_p^2}{\delta \theta_p f_n} \right)^{0.2} \quad (22)$$

Коэффициент $\varphi = 0,6$.

Определяют максимальные глубины размыва

$$L h_{\text{max}} = r \Delta h_{\text{пр}}, \quad (23)$$

где r - доля предельной глубины размыва за время паводка; с некоторым приближением можно принять $r = 0,6$ для несвязанных грунтов и $r = 0,75$ - для связанных.

Если для частиц самой крупной фракции, которых в наброске более 5%, $\frac{\rho_{\text{от}}}{d_{\text{от}}^{1.6}} > N_{\text{расч}}$, то эти частицы определяют неомстку.

4.2. Определяют максимальную глубину размыва в неоднородной наброске $\Delta h_{\text{max}(H)}$, по формуле

$$\Delta h_{\text{max}(H)} = \sqrt{\frac{1.8 h_{\text{расч}}(a_1) D_p d_{\text{от}} + \Delta h_{\text{max}}^3(d_{\text{от}})}{\rho_{\text{от}}}}, \quad (24)$$

где $\Delta h_{\text{max}}(d_{\text{от}})$ - максимальная глубина размыва в наброске со средним диаметром частиц $d_{\text{от}}$, определяемая по формуле (23) при $\Delta h_{\text{пр}} = \Delta h_{\text{пр}}(d_{\text{от}})$

$$\Delta h_{\text{max}}(d_{\text{от}}) = \Delta h_{\text{пр}}(d_{\text{от}}) \zeta.$$

Здесь $\Delta h_{\text{пр}}(d_{\text{от}})$ - предельная глубина размыва в наброске со средним диаметром частиц $d_{\text{от}}$, м;

$\Delta h_{\text{пр}}(d_{\text{от}})$ определяют по формуле (22).

Толщину слоя наброски в укреплении принимают равной
 $\delta = \Delta h_{max(H)}$.

Дальнейший расчет укреплений-самоотмосток выполняют в соответствии с пунктами 3.8-3.11 размываемых укреплений, подставляя вместо $\Delta h_{np(q)}$ глубину $\Delta h_{max(H)}$, вычисленную по формуле (24).

4.3. При значительных губинах размыва в выходном сечении сооружения $\Delta h_{max(H)} > 0,5$ м целесообразно укрепления-самоотмости заменить на иные типы укреплений из каменной наброски или из бетонных элементов.

5. РАСЧЕТ РАЗМЫВА ЗА УКРЕПЛЕНИЯМИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЫРОВ ИХ КОНЦЕВЫХ ЧАСТЕЙ

5.1. Определяют предельную глубину размыва в русле лога за укреплением

$$\Delta h_{np} = \delta_m \psi D_3 \left(\frac{d}{D_K} \right)^{0,6} \left[\frac{D_3^3}{\left(\frac{L}{D_3} + 1 \right)^3 \beta B_p d} \right]^{0,2}, \quad (25)$$

где ψ - коэффициент для размыва за каменной наброской
 $\psi = 0,6$;
 d - средний диаметр частиц грунта нога, определяемый по формулам (8) и (9);
 β - показатель степени, равный 5/2 для недеформируемых укреплений и 10/3 - для деформируемых и самоотмосток.

5.2. Определяют максимальную глубину размыва за время паводка Δh_{max} по формуле (23).

5.3. Сравнивают толщину наброски δ с максимальной глубиной размыва Δh_{max} .

При $\delta > \Delta h_{max}$ назначают выходное русло типа I (см. рис. I,a), для которого глубина заложения концевой части принимается равной $h_{yk} = \delta$.

Дальнейший расчет ведут с п.5.6.

При $\delta < \Delta h_{max}$ за укреплением назначают рисберму из камня $d'_H = (0,4 \div 1,0) d_H$ и продолжают расчет.

5.4. Определяют максимальную глубину размыва за укреплением при наличии там рисбермы из каменной наброски

$$\Delta h_{max(H)} = \Delta h_{np} \left(\frac{d}{d_H} \right)^{1/3} + 0.5 d_H' \frac{\Delta h_{max}^2}{W_k}, \quad (26)$$

где W_k — удельный объем каменной наброски на единицу ширины укрепления, m^2 .

У цельный объем камня в рисберме принимают равным (см.рис. I,б) $W_k = 1,25 \delta^2$ (исходя из крутизны откосов рисбермы: верхового I:1, а низового I:1,5 и глубины ее $h_{risb} = \delta$).

5.5. Сравнивают δ с $\Delta h_{max(H)}$.

При $\delta > \Delta h_{max(H)}$ — выходное русло типа II принято правильно, и глубина заложения концевой части укрепления равна δ .

При $\delta < \Delta h_{max(H)}$ указанный тип выходного русла будет неустойчив, и его заменяют выходным руслом типа III (см. рис. I,в).

5.6. Для случая $\delta > \Delta h_{max(H)}$ (выходное русло типа II) пересчитывают глубину рисбермы h_{risb} при глубине ее заложения δ

$$h_{risb} = \sqrt[3]{\frac{0.5 d_H' \Delta h_{max}^2}{1.25 [\delta - \Delta h_{np} \left(\frac{d}{d_H} \right)^{1/3}]}} \quad (27)$$

Дальнейший расчет для этого типа русел ведут, начиная с п.5.8.

5.7. Для случая $\delta < \Delta h_{max(H)}$ (выходное русло типа III) глубину заложения концевой части укрепления $h_{yk} = h_{risb}$ в выходных руслах типа III (см.рис. I,в) находят из уравнения

$$h_{yk}^3 - M h_{yk}^2 - N = 0, \quad (28)$$

где коэффициенты M и N определяют по формулам

$$M = \Delta h_{np} \left(\frac{d}{d_H} \right)^{1/3}; \quad (28a)$$

$$N = 0.4 d_H' \Delta h_{max}^2 \quad (28b)$$

5.8. Определяют ширину воронки размыва в конце укрепления во всех типах выходных русел

$$B = \frac{3,5 \Delta h_{\max}}{K}, \quad (29)$$

где K — коэффициент, учитывающий форму воронки размыва, определяемый по графику (рис. 7);

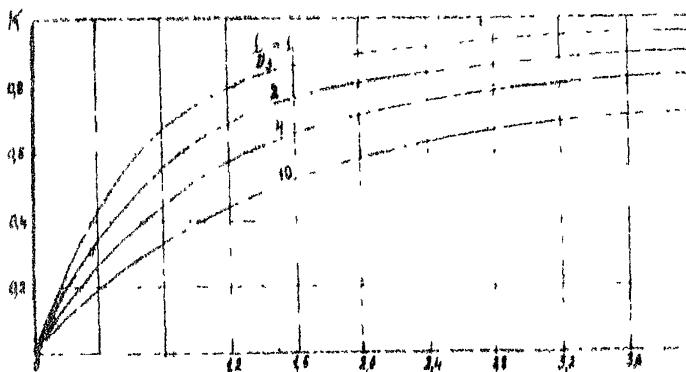


Рис. 7. График для определения коэффициента формы воронки размыва K

5.9. Сравнивают ширину воронки размыга B с шириной B_2 и в качестве расчетнойширины укрепления в концевой части его B_{yk} принимают большую из этих величин.

Протяженность концевой части укрепления по длине (участок, имеющий ширину B_{yk}) принимают равной 1 м.

При длине оставшейся части укрепления (без концевой части) менее 1 м назначают укрепление трапециoidalной формы в плане шириной

- а) на выходе из трубы B_1 ;
- б) у конца укрепления B_{yk} .

Примеры расчетов, выполненные согласно настоящим указаниям, приведены в приложениях I-3.

Приложение I

РАСЧЕТ НЕДЕФОРМИРУЕМЫХ ВЫХОДНЫХ РУСЕЛ

Исходные данные

Круглая железобетонная труба $D = 1 \text{ м}$ без конических звеньев с раструбным оголовком $\delta_p = 2,1 \text{ м}$ расположена на автомобильной дороге.

Сток снеговой - аккумуляции не учитывается.

Расчетный расход в сооружении $Q_p = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}.$

Грунты лога - пески со средним диаметром частиц $a' = 1 \text{ мм}.$

Уклон лотка трубы $i_r = 0,01.$

Требуется определить размеры неразмыываемого недеформируемого выходного русла, изготавливаемого из однородного камня на щебеночной подготовке.

Расчет

I. Определение лимитирующего расхода

Для обеспечения запаса в устойчивости укрепления увеличиваем расчетный расход на 30%

$Q = 1,3 Q_p = 1,3 \cdot 1,5 \approx 2,0 \text{ м}^3/\text{с}$ и принимаем этот расход для дальнейших расчетов.

II. Определение размеров укреплений

I. Определяем скорости на выходе из трубы по графику (см.рис. 2).

Предварительно по nomogramme (см.рис. 4) определяем параметр расхода $\Pi_q = \frac{Q}{D^{5/2} \sqrt{g}}$. При $D = 1,00 \text{ м}$ и $Q = 2,0 \text{ м}^3/\text{с}$ $\Pi_q = 0,63$. Зная Π_q и $i_r = 0,01$, находим по рис. 2 $\frac{v_{\delta_{b1x}}}{\sqrt{g D}} = 1,26$ и $v_{\delta_{b1x}} = 1,26 \sqrt{g D}$

$$v_{\delta_{b1x}} = 1,26 \sqrt{9,81 \cdot 1} = 3,95 \text{ м/с.}$$

Определяем минимальный диаметр частиц наброски, при котором укрепление будет устойчивым от размыва.

Для труб с раструбным оголовком воспользуемся фор-

мудой (26)

$$d_{\text{н}} \leq \frac{\sigma_{\text{нис}}^2}{67} = \frac{3,95^2}{67} = 0,23 \text{ м.}$$

Принимаем средний диаметр камней наброски $d_{\text{н}} = 0,25 \text{ м.}$
3. Определяем по формуле (7а) толщину слоя наброски, при котором укрепление будет недеформируемым.

Расчет вначале ведем без учета ползунки.

$$\delta = D_2 [0,45 \sqrt{\frac{d_{\text{н}}}{d}} + 1,15 (\frac{\sigma_{\text{нис}} K_{\text{пр/н}}}{\sqrt{D_2}} - 1)].$$

В нашем случае $D_2 = 1 \text{ м.}$, $d_{\text{н}} = 0,25 \text{ м.}$, $a = 0,001 \text{ м.}$, $\sigma_{\text{нис}} = 3,95 \text{ м/с}$, $K_{\text{пр/н}} = 0,7$.

Подставив эти значения в формулу, получим

$$\begin{aligned} \delta &= 1,0 [0,45 \sqrt{\frac{0,25}{0,001}} + 1,15 (\frac{3,95 \cdot 0,7}{0,95 \cdot 1,0} - 1)] = \\ &= 0,45 \cdot 2,50 - 0,14 \approx 1 \text{ м.} \end{aligned}$$

Примем, что 20% этой глубины составит подготовка щебня со средней крупностью частиц $d_{\text{нис}} = 0,05 \text{ м.}$, и повторим расчет по той же формуле, подставив в нее вместо $d_{\text{н}}$ величину $d_{\text{нис}}$, определяемую по формуле (10)

$$\begin{aligned} d'_{\text{нис}} &= 0,25 \frac{0,80 \cdot 1,0}{1,0} + 0,05 \frac{0,20 \cdot 1,0}{1,0} = 0,20 + 0,01 = \\ &= 0,21 \text{ м.} \end{aligned}$$

Тогда имеем

$$\delta = 1,0 (0,45 \sqrt{\frac{0,21}{0,01}} - 0,14) = 0,44 \cdot 2,44 - 0,14 = 0,95 \text{ м.}$$

Принимаем укрепление состоящим из каменной наброски толщиной

$\delta_1 = 0,95 \cdot 80 \approx 0,75 \text{ м}$ и щебеночной подготовки $\delta_2 = 0,20 \text{ м.}$

4. Принимаем длину укрепления $L = 1,5 D_2 = 1,5 \cdot 1,0 = 1,5 \text{ м.}$

5. Определяем ширину растекания потока в конце укрепления ($x = L = 1,5 \text{ м}$) по формуле (II).

$$B_{расч} = \delta \left[\left(-\frac{2}{D_2} + 1 \right)^n - 1 \right] b_p.$$

Предварительно вычислим эталонный расход Q_k по формуле (12а), а показатель степени n по (13)

$$\begin{aligned} Q_k &= 1,6 \frac{D_2^{\frac{1}{2}}}{D_2} = 1,6 \cdot 1 = 1,6 \text{ м}^3/\text{с}; \\ n &= 0,78 + 0,36 \lg \frac{D_2}{D} = 0,78 + 0,36 \lg \frac{1,6}{2,0} = 0,78 - 0,04 = \\ &= 0,74. \end{aligned}$$

Остальные входящие в формулу (II) величины равны

$$\delta = D = 1,0 \text{ м}, \quad b_p = 2,1 \text{ м}.$$

Откуда имеем

$$B_{расч} = 1 \left[\left(-\frac{1,5}{1} + 1 \right)^{0,74} - 1 \right] + 2,1 = 3,1 \text{ м}.$$

6. Назначаем ширину укрепления

а) в створе на выходе из оголовка

$$B_1 = b_p + 2,0 = 2,1 + 2,0 = 4,1 \text{ м};$$

б) в створе конца укрепления

$$B_2 = B_{расч} + 1,0 = 3,1 + 1,0 = 4,1 \text{ м} = B_1.$$

III. Расчеты размыва за укреплениями и определение размеров их концевых частей

I. Определяем глубину размыва в грунте лога за укреплениями по формуле (26)

$$\Delta h_{np} = \delta_m \varphi D_2 \left(\frac{Q}{Q_k} \right)^{0,6} \left[- \frac{D_2^3}{\left(\frac{L}{D_2} + 1 \right)^s \delta b_p d'} \right].$$

Находим величины, входящие в формулу.

Масштабный коэффициент δ_m для трубы $D = 1$ м находим по табл. 5 $\delta_m = 0,85$.

Коэффициент $\varphi = 0,6$.

Показатель степени для недеформируемых укреплений $s = 2,5$.

Остальные величины определены выше.

Подставив значение всех величин в формулу, получим

$$\Delta h = 0,85 \cdot 0,6 \cdot 1,0 \left(\frac{2,0}{1,6} \right)^{0,6} \left[\frac{1,6}{\left(\frac{1,5}{1,0} + 1 \right)^{2,5} \cdot 1,0 \cdot 2,1 \cdot 0,001} \right]^{0,2}$$

$$= 1,26 \text{ м.}$$

2. Определяем максимальную глубину размыва за время наводки по формуле (23)

$$\Delta h_{max} = \rho \Delta h_{np} = 0,6 \cdot 1,26 = 0,76 \text{ м} < \delta = 1 \text{ м.}$$

Применяем выходное русло типа 1, конструкция которого представлена на рис. 1,а.

Концевая часть этого укрепления представляет собой часть наброски,ложенную за укреплением с откосом 1:1 и глубиной $h_{yk} = \delta$.

Рисберма за укреплением в этом типе выходных русел не устраивается.

3. Определяем ширину воротки размыва в конце укрепления по формуле (29)

$$B_B = \frac{3,6 \Delta h_{max}}{K}$$

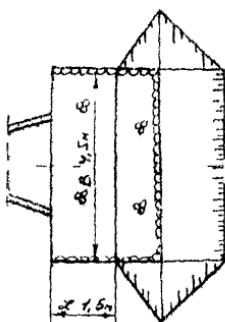
Предварительно определяем коэффициент K по таблице (см. рис. 7)

$$\text{при } \frac{\Delta h_{max}}{D} = \frac{0,76}{1,0} \approx 0,76 \text{ и } \frac{L}{D} = \frac{1,5}{1,0} = 1,5 \quad K = 0,6,$$

$$\text{струда } B_B = \frac{3,6 \cdot 0,76}{0,60} = 4,6 \text{ м} \Rightarrow B_B = 4,1 \text{ м.}$$

Ввиду относительно малой цепи укрепления $L = 1,5 \text{ м}$, не устраиваем на концевом участке его полосу длиной 1 м и шириной B_{yk} а назначаем укрепление прямоугольной формы шириной $B_{yk} = 4,5 \text{ м}$ и длиной $L = 1,5 \text{ м}$.

Конструкция укрепления представлена на рисунке.



Основные размеры укреплений из каменной наброски в примерах расчета недеформируемых выходных русел: I - каменная наброска; 2 - щебеночная подготовка

Объем камня в укреплении (без щебеночной подготовки)

$$W_k = 4,5 \cdot 1,5 \cdot 0,75 + 4,5 \frac{0,75^2}{2} = 5,1 + 1,3 = 6,4 \text{ м}^3.$$

Объем щебеночной подготовки

$$W_{\text{щ}} = 4,5 (1,5 + 0,75) 0,20 \approx 2 \text{ м}^3.$$

Приложение 2

РАСЧЕТЫ ДЕФОРМИРУЮЩИХ ВЫХОДНЫХ ГУСКИ

Исходные данные

Круглая металлическая нифрирочная труба $D = 1,5$ м без оголовков расположена на коленчатой трассе.

Сток снеговой, аэрокумуляция не считается.

Расчетный расход $Q_p = 2,3 \text{ м}^3/\text{с}$, начальный расход $Q_{max} = 3,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

Грунты лога суглинки с расчетным сцеплением $c_p = 1,0 \text{ т}/\text{м}^2$.

Уклон лотка трубы $i_t = 0,01$.

Требуется определить размеры неразмываемого деформируемого выходного русла, изоганливаемого из однородного камня на щебеночной подготовке 15 см со средним диаметром частиц 5 см.

Расчет

I. Определение лимитирующего расхода

Расчет начинаем с определения лимитирующего расхода.

Для этого увеличиваем расчетный расход на 30% (для учета запаса) и сравниваем эту величину с наибольшим расходом

$$1,3 Q_p = 2,3 \cdot 1,3 \approx 3,0 \text{ м}^3/\text{с} = Q_{max} = 3,0 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Для дальнейшего расчета принимаем расход $Q_p = Q_{max} = 3,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

II. Определение размеров укреплений

I. Определяем скорости на выходе из трубы по графику рис. 3.

Предварительно по nomogramme рис. 4 определяем параметр расхода $N_q = \frac{Q}{D^2 \sqrt{g D}} = 0,33$.

По величинам $N_q = 0,33$ и $i_t = 0,01$ находим

$$\frac{v_{\text{брос}}}{\sqrt{gD}} = 1,01 \text{ и } v_{\text{брос}} = 1,01 \sqrt{gD} = 1,01 \sqrt{9,81 \cdot 1,15} = 3,87 \text{ м/с.}$$

2. Определяем минимальный диаметр частиц наброски, при котором укрепление будет устойчивым от размыва.

Для трубы без оголовка воспользуемся формулой (2а)

$$d_s \geq \frac{v_{\text{брос}}}{43} = \frac{3,87^2}{43} = 0,35 \text{ м.}$$

Принимаем средний диаметр частиц наброски $d_H = 35 \text{ см.}$

3. Определяем предельную глубину деформации укрепления за счет выноса грунта из-под него по формуле (14а)

$$\Delta h_{np(g)} = 0,85 D_2 \sqrt{\frac{d_H \delta_1}{g} - 1,93 \delta + 2 \delta_2 / 1,15 \frac{v_{\text{брос}} K_{\text{вр}}(d_H)}{\sqrt{gD_2}} - 1}$$

Предварительно задавшись толщиной слоя наброски $\delta_1 = 2 \cdot 0,35 = 0,70 \text{ м}$ и зная толщину слоя щебеночной подушки $\delta_2 = 0,15 \text{ м}$, а также полную толщину укрепления $\delta = 0,70 + 0,15 = 0,85 \text{ м}$, находим по формуле (10) эквивалентный диаметр частиц наброски

$$d_{H(g)} = (d_H \delta_1 + d_s \delta_2) \frac{1}{\delta} = (0,35 \cdot 0,70 + 0,05 \cdot 0,15) \frac{1}{0,85} = 0,30 \text{ м.}$$

Затем по формуле (9) при $C_p = \pi / m^2$ определяем средний диаметр частиц грунта

$$d = 4,5 (0,15 + C_p) = 4,5 (0,15 + 1,0) = 5,2 \text{ мм,}$$

откуда

$$\Delta h_{np(g)} = 0,85 \cdot 1,5 \sqrt{\frac{0,300}{0,0052}} - 1,93 \cdot 0,85 + 2 \cdot 1,5 (1,15 \times \frac{3,87 \cdot 1,0}{\sqrt{9,81 \cdot 1,5}} - 1) = 1,21 \text{ м.}$$

4. Определяем глубины потока на выходе из трубы по графику (см. рис. 6).

При $L_p = 0,33$ (см. выше) и $i_r = 0,01 \frac{h_{\text{вых}}}{D} = 0,42$ и $h_{\text{брос}} = 0,42 \cdot 1,5 = 0,63 \text{ м.}$

Для трубы без оголовка $h_{\text{брос}/pr} = h_{\text{брос}} = 0,63 \text{ м.}$

Получим расстояние от трубы до места размыва при расположении предельной глубины деформации укрепления по формуле (17)

$$t_{\text{пред}} = \alpha_{\text{труб}} \cdot \sqrt{\frac{2(\Delta h_{\text{пред}} + \Delta h_{\text{труб}})}{f}} = 3,11 \cdot \sqrt{\frac{2(1,21 + 2,7)}{8,81}} = 2,36 \text{ м}$$

б. Устанавливаем предельную глубину деформации укрепления t , находящегося сечении по формуле (18)

$$\Delta h_{\text{пред}} = \Delta h_{\text{труб}} - \frac{\delta_{\text{труб}}}{k} = 1,21 - \frac{0,12}{1,5} = 1,05 \approx 0 \quad \text{тогда}$$

труба не будет подмыта.

б. Определяем минимальные размеры укрепления в плане по формуле (19)

$$L - B = 4\Delta h_{\text{пред}} = 4 \cdot 1,21 = 4,84 \text{ м} \approx 4,9 \text{ м.}$$

7. Длину укрепления назначаем равной $L = 4,9$.

8. Назначаем ширину укрепления.

Предварительно определяем $\frac{\Delta h_B}{D_2} = \frac{1,21}{1,5} = 0,8 > 0,5$;

а) ширина укрепления в конце оголовка

$$B_1 = \delta_p + 2,0 = 1,50 + 2,0 = 3,50 \Rightarrow B = 4,9 \text{ м.}$$

Принимаем $B_1 = 4,9 \text{ м.}$

б) ширина укрепления в конце его B_2

Так как B_2 принимается по большей из величин B_1 и B ,
то расчет принимаем $B_2 = B = 4,9 \text{ м.}$

III. Расчеты размыва за укреплениями и определение размеров их концевых частей

1. Определяем глубину размыва в грунте лога за укреплениями по формуле (25)

$$\Delta h_{\text{рз}} = \delta \psi D_2 \left(\frac{Q}{Q_m} \right)^{0.6} \left[\frac{D_2^3}{\left(\frac{L}{D_2} + 1 \right)^5 \delta B_p d} \right]^{0.2}$$

Предварительно находим величины, входящие в эту формулу: масштабный коэффициент δ_m для трубы $D = 1,5 \text{ м}$
находим по табл. 5 $\delta_m = 0,82$. Коэффициент $\psi = 0,6$.

Показатель спечки $\beta_{\text{сп}}$ для формируемых выходных русел равен $\frac{10}{3}$, величина $b = b_p = D = 1,5$ м, $D_2 = D = 1,5$ м. Этой наряду с $\beta_{\text{сп}}$ коэффициент по формуле (12а) $R_K = 1,6 \cdot D^{2/3} = 1,6 \cdot 1,5^{2/3} = 4,4 \text{ м}^2/\text{с}$.

Подставив значение всех величин в формулу, получим

$$\Delta h_{np} = 0,85 \cdot 0,7 \cdot \frac{1,5^{1/3}}{4} = \frac{0,85 \cdot 1,5^{1/3} \cdot 1,5^2 \cdot 0,0052}{1,5} = 0,7 \text{ м}$$

2. Определение максимальную глубину размыва за время падения $t_{\text{пад}}$ по формуле (23)

$$\Delta h_{\text{max}} = 2 \Delta h_{np} \quad t = 1,53 \text{ м} \approx 3 = 0,85 \text{ м.}$$

Применим «однотипное» уравнение типа I (см. рис. I, а). Концевая часть этого ук. имеет превращающую собой часть наброски, установленную за время падения с отходом t и глубиной заложения b .

Рис. креплением в этом типе выходных русел не различается.

3. Определение ширину воронки размыва в конце укрепления по формуле (29).

Предварительно определяем коэффициент K по графику (см. рис. 7) при $\frac{\Delta h_{\text{max}}}{D} = \frac{0,53}{1,5} = 0,35$ и $\frac{t}{D} = \frac{0,0}{1,5} = 0$

$$= 1,42 \quad K = 0,36,$$

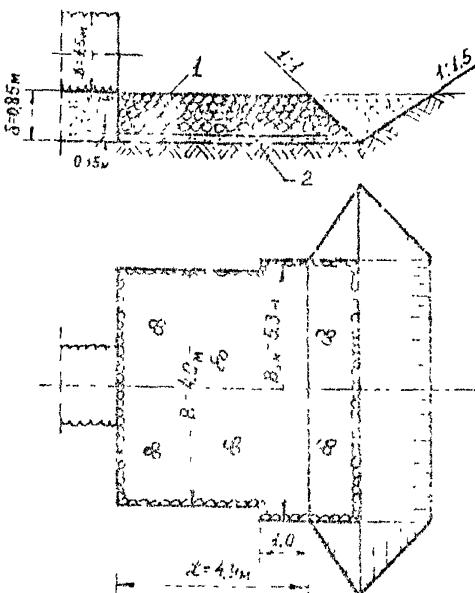
$$\text{откуда } B_f = \frac{0,36 \cdot 0,53}{0,36} = 5,3 \text{ м} > B_2 = 4,9 \text{ м.}$$

Принимаем ширину укрепления на концевом участке длиной 1 м равной $B_{f1} = B_f = 5,3$ м.

Конструкция укрепления проведена на рисунке.

Объем камня в укреплении (без щебеночной подготовки)

$$W_K = 4,9 \cdot 3,2 \cdot 0,7045 \cdot 3 \cdot 1,0 + \frac{0,71}{2} \cdot 0,7 = 18,4 \text{ м}^3.$$



Основные размеры укреплений из каменной наброски в примерах расчета деформируемых русел:
1 - каменная наброска; 2 - шебеночная подготовка

Объем шебеночной подготовки

$$W_{\text{ш}} = (4.9 \cdot 3.9 + 0.3 (1.6 + 7 \cdot 1)) 0.15 = 4.2 \text{ м}^3.$$

Итого: наброски $W_{\text{н}} = 18.4 + 4.2 \text{ м}^3 = 22.6 \text{ м}^3$.

Для сравнения при данных условиях определим размеры укреплений недеформируемого естественного русла.

Расчет продолжаем с п.3.

3. Определяем по формуле (7а) толщину слоя наброски, при которой укрепление будет недеформируемым.

Расчет вначале ведем без учета подсыпки

$$\delta = 1.5 \left[0.45 \sqrt{\frac{250}{6.2}} - 1.15 \left(\frac{3.87}{\sqrt{9.81 \cdot 1.5}} - 1 \right) \right] = 1.29 \text{ м.}$$

Примем, что 20% от этой толщины составляет щебеночная подготовка (крупности) $d_{H/4} = 0,05$ м, и повторим расчет по той же формуле, подставив в нее вместо d_H величину $d_{H/4}$, определяемую по формуле (10), а также

$$\delta_1 = 0,8 + 1,29 = 1,03 \text{ м} \quad \delta_2 = 0,2 \cdot 1,29 = 0,26 \text{ м},$$

$$d_{H/4} = 0,25 \cdot \frac{1,03}{1,29} + 0,05 = 0,26 + 0,05 = 0,31 \text{ м}.$$

Тогда имеем

$$\delta = 1,6 \left[(0,45 \sqrt{\frac{210}{0,2}} + 1,16 \left(\frac{3,87}{79,01 \cdot 1,5} - 1 \right)) \right] = 1,24 \text{ м}.$$

(Эффективность учета слоя щебеночной подготовки, составляющей 20% от толщины слоя наброски, малая, поэтому при определении ее можно не учитывать).

Приимем укрепление состоящим из каменной наброски, уложенной однородной слоем толщиной $\delta_1 = 1,00$ м и щебеночной подготовки $\delta_2 = 0,21$ м.

4. Назначаем длину укрепления равной $1,5+1,5 = 2,5$ м и ини с округлением до 0,5 м.

$$L = 2,5 \text{ м}.$$

5. Определяем ширину растекания потока на конце укрепления ($x = L = 2,5$ м) по формуле (II), определив предварительно "п" по формуле (13).

$$0,78 + 0,36 \lg \frac{4,4}{30} = 0,84,$$

$$\beta_{расп} = 1,5 \left[(1,5+1)^{0,84} - 1 \right] + 1,5 = 3,25 \text{ м}.$$

6. Назначаем ширину укрепления:

а) в створе на выходе из трубы

$$\beta_1 = \sigma_p + 2,0 = 1,5 + 2,0 = 3,5 \text{ м};$$

б) в створе конца укрепления

$$\beta_2 = \beta_{расп} + 1,0 = 3,25 + 1,0 = 4,25 \text{ м} \approx 4,3 \text{ м}.$$

Выполняем расчеты размыва за укреплениями для определения размеров их концевых частей.

1. Определяем глубину размыва в грунте лога за укреплениями по формуле (25)

$$\Delta h_{\text{раз}} = 0,82 \cdot 0,6 \cdot 1,5 \cdot \frac{(3,0)}{4,4}^{0,6} \left[\frac{1,5^3}{(2,5+1)^2 \cdot 5 \cdot 1,5^2 \cdot 0,0052} \right]^{0,2} =$$

- 1,11 м.

2. Определяем максимальную глубину размыва за время паводка по формуле (23)

$$\Delta h_{\text{max}} = 0,6 \cdot 1,11 - 0,07 \text{ м} \Rightarrow \delta = 1,24 \text{ м.}$$

Применяем выходное русло типа Г.

3. Определяем ширину воронки размыва в конце укрепления по формуле (29).

Предварительно определяем коэффициент K по графику (см. рис. 7) при $\frac{\Delta h_{\text{max}}}{D} = \frac{0,67}{1,5} = 0,45$

$$\frac{L}{D} = \frac{2,5}{1,5} = 1,67, \text{ т.е.}$$

$$K = 0,43,$$

$$B_E = \frac{3,6 \cdot 0,67}{0,43} = 5,6 \text{ м} > B_2 = 4,3 \text{ м.}$$

Назначаем ширину концевой части укрепления на участке длиной 1 м: $B_{y_k} = 5,6 \text{ м.}$

Объем камня в укреплении (без щебеночной подготовки)

$$W_k^I = 1,5 \frac{3,5 + 4,3}{2} \cdot 1,0 + 5,6(1,0 + \frac{0,7}{2}) \cdot 1,0 = 13,3 \text{ м}^3.$$

Объем щебеночной подготовки

$$W_{y_k}^I = [1,5 \frac{3,5 + 4,3}{2} + 5,6(1,0 + 0,7 \cdot 1,0)] \cdot 0,24 = 3,7 \text{ м}^3.$$

Итого наброски

$$W_h = 13,3 + 3,7 = 17,0 \text{ м}^3.$$

При цеформировании укреплении объем наброски был

$$W_h = 22,6 \text{ м}^2.$$

Таким образом, деформируемое укрепление потребовало большие объемы наброски, чем недеформируемое. Увеличение составляет

$$\frac{22,6 - 17,0}{17,0} \cdot 100 = 33\%.$$

Однако при этом глубина заложения наброски при недеформируемом укреплении оказалась больше, чем при деформируемом, т.е. 1,24 м вместо 0,85 м, увеличение

$$\frac{1,24 - 0,85}{0,85} \cdot 100 = 45\%.$$

Приложение 3

РАСЧЕТЫ ВЫХОДНЫХ РУСЕЛ-САМООТМОСТОК

Исходные данные

Исходные данные те же, что и в примере 1 (расчеты недеформируемых выходных русел), за исключением состава наброски.

Гранулометрический состав наброски задан и приведен в таблице.

Средний диаметр частиц наброски по фракциям $d_{n(f)}$, мм	400-200	200-100	100-50	Менее 50	Средний диаметр частиц наброски d_n , мм
Весовое содержание фракций, %	5	50	40	5	122,5

Требуется определить размеры выходных русел-самоотмосток.

Расчет

Расчет ведем в следующей последовательности:

1. Устанавливаем, будет ли наброска однородной в отношении различия из условия (1)

$$\frac{d_{n(\max)}}{d_n} = \frac{300}{76} \approx 4 > 2 \quad - \text{наброска неоднородная.}$$

2. Используем гидравлические характеристики, полученные в приложении I, и приведенные там исходные данные

$$D = 1,0 \text{ м;}$$

$$Q = 2,0 \text{ м}^3/\text{с}; \sigma_{byx} = 3,95 \text{ м/с}; Q_k = 1,6 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$\gamma_q = 0,63; \nu = 0,01.$$

3. Устанавливаем, будут ли устойчивы ее частичи под воздействием потока, исходя из условия (4).

$$\sigma_{byx} \leq \sigma_{np} = \frac{2 \sqrt{g d_{H(M)}}}{K_{cor(v)}} K_{np}^n$$

Предварительно определяем величины, входящие в формулу. Согласно п.2.5, необходимо, чтобы содержание самой мелкой фракции было больше 10%, т.е. $\mu_{H(M)} \geq 0,1$.

В нашем случае самая мелкая фракция (менее 50 мм) имеет содержание 5%.

Поэтому дополняем ее последующей фракцией до 10% и находим средний диаметр частиц смеси по формуле (5)

$$d'_{H(M)} = \frac{0,05 + \frac{50}{2} + 0,05 \frac{100-50}{2}}{0,1} = 50 \text{ мм}$$

$$\mu_{H(M)} = 0,1.$$

Затем вычисляем коэффициент неоднородности

$$K_{np} = 1,15 \sqrt{\frac{d_H - d_{H(M)} \rho_{H(M)}}{d_{H(M)} \rho_{H(M)}}} = 1,15 \sqrt{\frac{122,5 - 50 \cdot 1,0}{50 \cdot 1,0}} =$$

$$= 1,15 \sqrt{\frac{72,5}{5}} = 1,15 \cdot 4,86 = 5,5.$$

Показатель степени n находим из табл. для заданного типа труб, предполагая безнапорный режим протекания потока.

Для круглой трубы с раструбными заголовками без конических эавильев при безнапорном режиме

$$n = \frac{1}{3}$$

правая часть будет равна

$$\sigma_{np} = \frac{2 \cdot 1 \sqrt{\rho d_{H(M)}}}{K_{cor(v)}} K_{np}^n = \frac{2 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 0,05}{0,01} = 3,96 \text{ м/с.}$$

Относительная скорость будет равна

$$\frac{U_{np}}{\sqrt{gD}} = \frac{3,25}{9,81 \cdot 1,0} = 1,03.$$

По графику (см.рис.2) находим при $\frac{U_{np}}{\sqrt{gD}} = 1,03$

$$P_d = 0,4.$$

Сравнивая $P_d = 0,4$, с определяемым по табл. 4 $P_{d(np)} = 0,495$, устанавливаем, что режим протекания (безнапорный) установлен правильно.

Затем из условия (4) определяем устойчивость наброски против размытия.

$U_{bx} = 3,95 \text{ м/с} > U_{np} = 3,25 \text{ м/с}$ - наброска будет размываться.

Проверяем возможность работы укреплений как самоотмосток из условия (2б), подставляя $d_{n(max)}$ вместо d_n . При этом фракция $d'_{n(max)}$ должна содержаться в количестве $P_{n(max)} \geq 5\%$.

В нашем случае фракция $d'_{n(max)} = \frac{0,4+0,2}{2} = 0,3 \text{ м}$ имеет содержание $P_{n(max)} = 5\%$, следовательно, ее принимаем в расчет

Проверяем выполнение условия (2б). Для этого вычисляем правую его часть

$$\frac{U_{bx}^2}{g} = \frac{3,95^2}{67} = \frac{15,6}{67} = 0,23 \text{ м} < d_{n(max)} = 0,30 \text{ м}.$$

Укрепление может работать как самоотмостка.

4. Определяем глубину потока на выходе из цилиндрической части трубы по графику (см.рис.5) при $P_d = 0,63$ и на выходе из оголовка по формулам (15) и (16).

Имеем $\frac{h_{bx}}{d} = 0,59 \quad h_{bx} = 0,59 \text{ м.}$

$$K_{or/h} = \left(\frac{b}{b_p} \right)^2 = \left(\frac{1,0}{2,0} \right)^{4/3} = 0,4,$$

$$h_{bx/or} = h_{bx} K_{or/h} = 0,59 \cdot 0,40 = 0,24 \text{ м.}$$

5. Определяем долю (ρ_{ot}) и средний диаметр d_{ot} фракций отмостки в следующей последовательности:

а) вычислим по формуле (20) параметр

$$N_{pac} = \frac{3h_{bx} D}{\varphi^3}$$

Предварительно по формуле (21) находим φ

$$\varphi = \delta_{\mu} \psi D_3 / (\frac{D_3}{d_{cr}})^{0,2} = 0,85 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot (\frac{1}{1,0 \cdot 2,0})^{0,2} = 0,52.$$

$$\text{Тогда } N_{\rho_{ocu}} = \frac{3 \cdot 0,21 \cdot 1}{0,52^3} = 4,5;$$

б) по гранулометрическому составу наброски вычисляем $\frac{\rho_{or}}{d_{cr}^{7,8}}$ и сравниваем с $N_{\rho_{ocu}}$.

Расчет начинаем с наиболее крупной фракции.

Предварительно определяем средний диаметр ее частиц

$$d_{or(1)} = \frac{0,4 + 0,2}{2} = 0,3 \text{ м.}$$

$$\text{Затем находим } \frac{\rho_{or(1)}}{d_{or(1)}} = \frac{0,05}{0,3^{1,6}} = 0,34 < 4,5.$$

Следовательно, необходимо включить в расчет следующую фракцию.

Находим средний диаметр частиц первых двух фракций

$$d_{1-2} = \frac{0,05 \cdot 300 + 0,50 \cdot 150}{0,55} = 164 \text{ мм} = 0,164 \text{ м};$$

$$\frac{\rho_{or(1-2)}}{d_{or(1-2)}} = \frac{0,55}{0,164^{1,6}} = 9,5 > N_{\rho_{ocu}} = 4,5.$$

Следовательно, необходимо к первой фракции добавить лишь часть второй.

Добавляем к I-II фракции 22% второй

$$d_{1-2} = \frac{0,05 \cdot 300 + 0,22 \cdot 150}{0,27} = 178 \text{ мм} = 0,178 \text{ м.}$$

$\frac{\rho_{or(1-2')}}{d_{or(1-2')}} = \frac{0,27}{0,178^{1,6}} = 4,31 < 4,5$, но отклонение менее 5%.

Следовательно, обеспечивающие самоотмостку фракции будут иметь $\rho_{or} = 0,27$ и $d_{or} = 0,178 \text{ м.}$

6. Определяем предельную глубину размыва в неоднородной наброске по формуле (24)

$$\Delta h_{max/N} = \sqrt{\frac{1,8 h_{6ix}(\sigma_f) D_g d_{or}}{\rho_{or}}} + \Delta h_{max/d_{or}}^3$$

Предварительно определяем $\Delta h_{np/d_{or}}$ и $\Delta h_{max/d_{or}}$ по формулам (22) и (23), принимая $d_{or} = d_{\sigma_f}$

$$\Delta h_{np} = \delta_m \psi D_g \left(\frac{Q}{Q_K} \right)^{0.6} \left(\frac{D_g}{8 \delta_p d_{or}} \right)^{0.2}$$

При $D_g = D = 1,0$ м, $\delta_p = 2 D = 2,0$ м, $\delta_m = 0,85$, $\psi = 0,6$, $Q = 2,0$ м³/с, $Q_K = 1,6$ м³/с (см. пример I).

Имеем

$$\Delta h_{np/d_{or}} = 0,85 \cdot 0,6 \cdot 1,0 \left(\frac{2,0}{1,6} \right)^{0,6} \left[\frac{1}{1 \cdot 2 + 0,175} \right]^{0,2} = 0,85 \text{ м.}$$

$$\Delta h_{max/d_{or}} = \Delta h_{np/d_{or}} / \rho = 0,85 \cdot 0,6 = 0,51 \text{ м.}$$

Откуда $\Delta h_{max/\sigma_f} = \sqrt{\frac{1,8 \cdot 0,24 \cdot 0,178}{0,27}} + 0,51^3 = 0,74 \text{ м.}$

Укладываем наброску слоем $\delta = 0,75$ м без щебеночной подготовки.

7. Находим расстояние от выхода из трубы до месторасположения максимальной глубины размыва по формуле (17), подставляя $\Delta h_{max/\sigma_f}$ вместо $\Delta h_{max/g}$

$$l_{np/g} = \delta_{6ix} \sqrt{\frac{2(h_{6ix} + \Delta h_{max/\sigma_f})}{g}} =$$

$$= 3,95 \sqrt{\frac{2(0,24 + 0,74)}{9,81}} = 1,77 \text{ м.}$$

8. Устанавливаем максимальную глубину укрепления у выходного сечения трубы по формуле (18), заменяя $\Delta h_{np/g}$ и $\Delta h_{np/g}$ соответственно на $\Delta h_{max/\sigma_f}$ и $\Delta h_{max/\sigma_f}$

$$\Delta h_{max/\sigma_f} = \Delta h_{max/\sigma_f} - \frac{l_{np/g}}{2} = \\ = 0,74 - \frac{1,77}{2} = 0,14 \text{ м} < 0.$$

Лоток трубы на выходе и подошва насыпи подмыты не будут.

9. Определяем размеры укрепления в плане по формуле (19), подставляя в него $\Delta h_{max,pr}$ вместо $\Delta h_{np,pr}$:

$$L = B = 4 \Delta h_{max,pr} = 4 \cdot 0,74 = 3,0 \text{ м.}$$

10. Назначаем длину укрепления $L = 3,0 \text{ м.}$

11. Назначаем ширину укрепления.

$$\text{Предварительно вычисляем } \frac{\Delta h_{max,pr}}{D_2} = \frac{0,74}{1,0} = 0,74 = 0,5$$

1) ширина укрепления в конце оголовка

$$B_1 = b_p + 2,0 = 2,1 + 2,0 = 4,1 \quad B = 3,0 \text{ м.}$$

2) ширина укрепления в конце его

$$B_2 = B_1 = 4,1 \text{ м.}$$

II. Расчеты размыва за укреплениями и определение размеров их концевых частей

1. Определяем глубину размыва в грунте лога за укреплениями по формуле (25).

$$\Delta h_{np} = \delta_m \varphi D_2 \left(\frac{Q}{Q_k} \right)^{0,6} \left[\frac{D_2^3}{\left(\frac{L}{D_2} + 1 \right)^5 b_p d} \right]^{0,2} =$$

$$= 0,85 \cdot 0,6 \cdot 1,0 \left(\frac{2,00}{1,6} \right)^{0,6} \left[\frac{1}{\left(\frac{5,8}{1} + 1 \right)^{10/3} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,001} \right]^{0,2} =$$

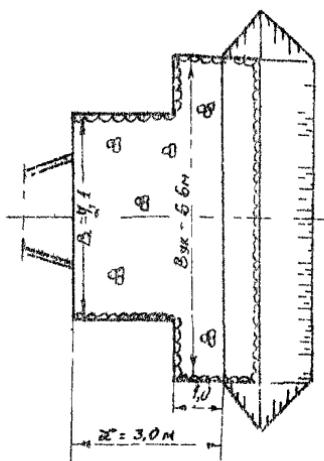
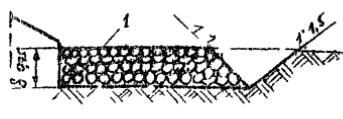
$$= 0,54 \text{ м.}$$

2. Определяем максимальную глубину размыва за время паводка по формуле (23)

$$\Delta h_{max} = \gamma \Delta h_{np} = 0,6 \cdot 0,54 = 0,33 \text{ м} < \delta = 0,75 \text{ м.}$$

Назначаем пойменное русло типа 1.

3. Определяем ширину воронки размыва в конце укрепления по формуле (29).



Основные размеры укреплений из каменной наброски в примерах расчета выходных русел-самоотмосток:

Т - каменная наброска

Предварительно находим коэффициент K по графику (см. рис. 7) при

$$\frac{\Delta h_{max}}{D} = \frac{1,33}{1} = 0,33$$

и $\frac{1}{D} = \frac{1,8}{1} = 5,8$

$$K = 0,16,$$

$$\text{откуда } B_A = \frac{1,6 \cdot 0,33}{0,16} =$$

$$= 6,6 > B_2 = 4,1 \text{ м.}$$

Принимаем ширину укрепления в воинской его части на длине в 1 м ($B_{44} = 6,6$ м).

Конструкция укрепления приведена на рисунке.

Объем камня в укреплении равен

$$W_A = 4,1 \cdot 2,0 \cdot 0,75$$

$$6,6 (1,0 + 0,75 \cdot 1/2)$$

$$\approx 0,75 = 12,9 \text{ м}^3.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений. М., Транспорт, 1979.
2. Методические рекомендации по гидравлическому расчету металлических гофрированных труб. М., изд. ЦНИИС, 1979.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	4
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КАМЕННОЙ НАБРОСКИ ОТ РАЗМЫВА	8
3. РАСЧЕТЫ НЕРАЗМЫВАЕМЫХ ВЫХОДНЫХ РУСЕЛ	15
4. РАСЧЕТЫ ВЫХОДНЫХ РУСЕЛ-САМООТМОСТОК	20
5. РАСЧЕТЫ РАЗМЫВА ЗА УКРЕПЛЕНИЯМИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ИХ КОНЦЕВЫХ ЧАСТЕЙ	23
ПРИЛОЖЕНИЯ	
1. РАСЧЕТЫ НЕДЕФОРМИРУЕМЫХ ВЫХОДНЫХ РУСЕЛ	26
2. РАСЧЕТЫ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ВЫХОДНЫХ РУСЕЛ	31
3. РАСЧЕТЫ ВЫХОДНЫХ РУСЕЛ-САМООТМОСТОК	32
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	44

Редактор Н.С Букова
Корректор О.Д.Сухова

Надл. к неч. 24.06.80. Заказ № 368
Объем 3,0 п.л. Тираж 150 экз. Цена 35 коп.
Ротапринт ЦНИИСа