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

© 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. Н.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.М.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 недогруженных труб.

1.3. Для устройства выходных русел труб из каменной наброски требуется камень, не имеющий признаков выветривания и трещин, прослоек мягких пород и размокаемых включений с удельной плотностью свыше 2 т/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 укрепления обеспечивается.

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

Согласно СНиП IУ-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 потребной 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. 8. Буровзрывные работы. СНиП IУ 8-71. М., Стройиздат

I.6. Исходными данными для расчета выходных русел из каменной наброски[1] являются:

а) 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: название, 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 заключаются в определении:

а) минимальной крупности однородного камня или в проверке 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.

[1] Здесь и далее под выходными руслами из каменной наброски понимаются выходные русла с укреплениями из камня.

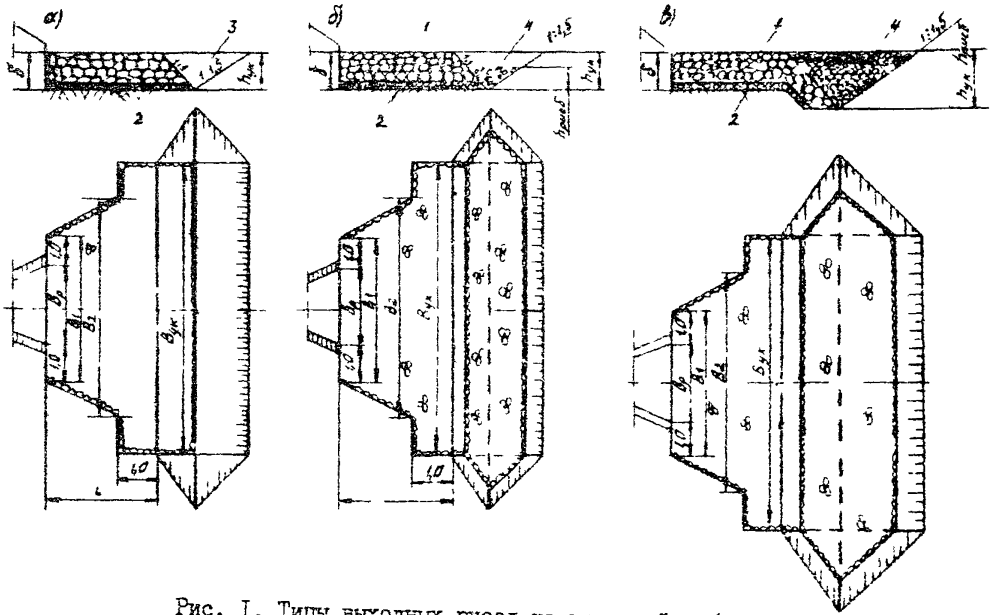


Рис. I. Типы выходных русел из каменной наброски:
а - тип I; б - тип II; в - тип III; 1 - укрепление из наброски; 2 - щебеночная подготовка; 3 - обратная засыпка грунта; 4 - рисберма; δ - толщина наброски; $h_{ук}$ - глубина заложения укрепления; $h_{рис\,б}$ - высота рисбермы; $b_р$ - ширина укрепления у оголовка; B_1, B_2 и $B_{ук}$ - ширина соответственно в начале, в конце 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 $v_{вых}$, 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 $\frac{v_{вых}}{\sqrt{gD}}$ от параметров расхода $\Pi_Q = \frac{Q}{D^{5/2}\sqrt{gD}}$, 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

$$\frac{d_{н(max)}}{d_н} \leqslant 2, \qquad (1)$$

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

$d_н$ – средний диаметр частиц наброски.

При несоблюдении условия (I) каменная наброска неоднородна.

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

$$d_н \geqslant \frac{(v_{вых} K_{ог(v)})^2}{43} \text{ м}, \qquad (2)$$

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

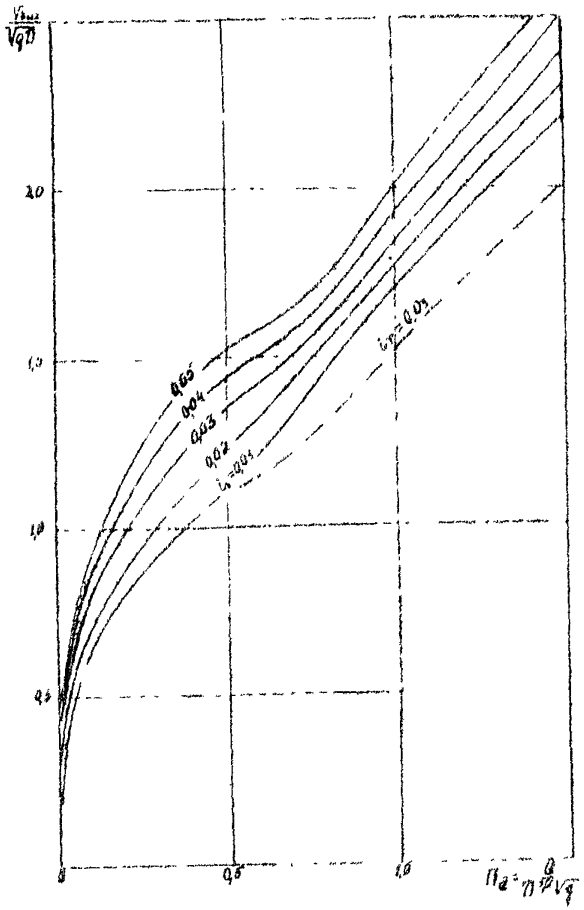


Рис. 2. График для определения скоростей на выходе из круглых технически гладких (железобетонных или бетонных) труб при разных уклонах:
– – – – – с коническим звеном; —— —— без него

Формулу (2) можно представить:

а) для безоголовочной трубы

$$Q_{н(зол)} = \frac{V_{вых}^2}{4,3} \quad м$$

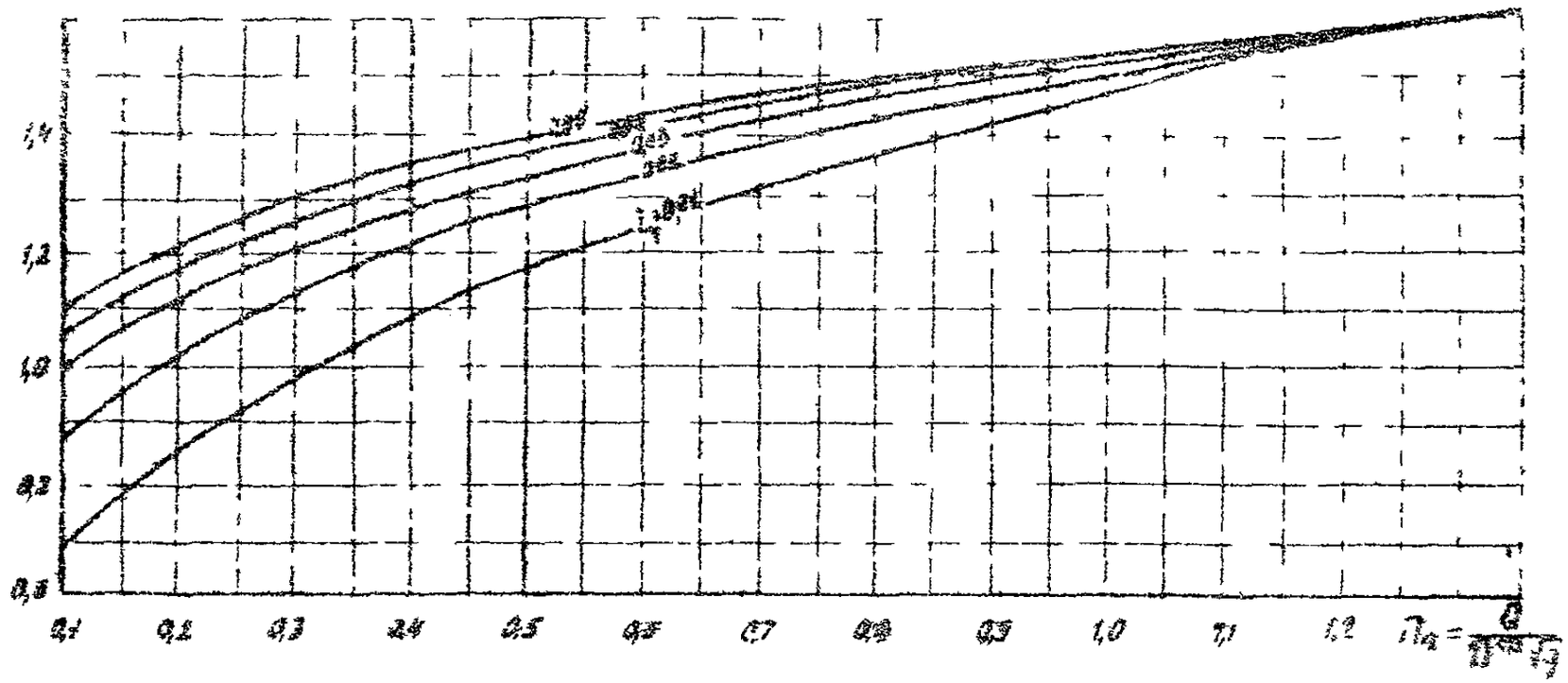


Рис. 3. График для определения скоростей на входе из круглых металлических гофрированных труб

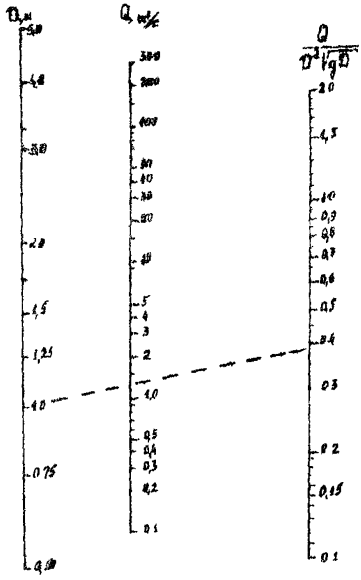


Рис.4. Номограмма для определения параметров расхода для круглых труб

б) для трубы с раструбными или портальными оголовками

$$d_{н(доп)} \geq \frac{v_{вых}^2}{67} \text{ м}. \quad (2,6)$$

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

$$Q \leq Q_{пр} = 3,2 K_{ог(в)} D_э d_{н(м)}^{3/2} \sqrt{g} K_{нр} \quad (3)$$

$$v_{вых} \leq v_{пр} = \frac{2,1\sqrt{g d_{н(м)}}}{K_{ог(v)}} K_{нр}^{n} \quad (4)$$

Q - расход в сооружении, м^3/с;

$Q_{пр}$ и $v_{пр}$ - соответственно предельный расход, м^3/с, и предельная скорость, м/с, при которой на броске сохраняет устойчивость против размыва;

$D_э$ - эквивалентный диаметр трубы, м; для круглых труб эквивалентный диаметр трубы равен диаметру трубы $D_э = D$; для труб прочих поперечных сечений и для многоочковых труб $D_э = 1,13\sqrt{\frac{\omega_{сооp}}{g}}$;

$\omega_{сооp}$ - площадь поперечного сечения сооружения, м^2;

$K_{ог(Q)}$ - коэффициент, учитывающий влияние оголовка

на величину предельного расхода, при котором сохраняется устойчивость наброски;

$K_{\alpha z/(Q)}$ определяют по табл. 2 в зависимости от типа труб и режима протекания потока в трубе.

Таблица 2

Тип труб	Режим протекания	$K_{\alpha z/(Q)}$
Круглые	Безнапорный	1,95
	Полунапорный	1,40
	Напорный	1,35
Прямоугольные	Безнапорный	2,95
	Полунапорный	1,35

g - ускорение силы тяжести, м/с^2;

$K_{нр}$ - коэффициент неоднородности грунта, учитывающий влияние гранулометрического состава наброски на ее устойчивость, определяемый по формуле

$$K_{нр} = 1,15 \sqrt{\frac{d_н - d_{н(м)} \rho_{н(м)}}{d_{н(м)} \rho_{н(м)}}}, \qquad (5)$$

$d_н$ средний диаметр частиц наброски, м;

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

$$d'_{н(м)} = \frac{\rho_{н(м)} d_{н(м)} + \Sigma \rho_{н(i)} d_{н(i)}}{0,1} \qquad (6)$$

Здесь $p_{н(i)}$ и $d_{н(i)}$ – соответственно весовая доля и средний диаметр, м, фракций, дополняющих мелкую фракцию до 10%.

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

n – показатель степени, определяемый по табл. 3.

Таблица 3

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

Режим протекания потока в трубах можно определить путем сравнения параметров расчета $П_Q$ с $П_{Q(гр)}$

где $П_{Q(гр)}$ – граничный параметр расхода, соответствующий переходу к полунапорному режиму для всех типов технически гладких труб, кроме круглых с коническими звеньями и к напорному для круглых труб с коническими звеньями; для гофрированных труб с некоторым запасом можно пользоваться теми же данными.

Значения $П_{Q(гр)}$ для круглых труб (наиболее распространенный тип) приведены в табл. 4. Режимы протекания для остальных типов можно определить по [1, 2].

Таблица 4

Оголовок	$П_{Q(гр)}$	Режим протекания
Без оголовков	0,415	Полунапорный
Портальный	0,440	То же
Воротниковый	0,460	-"-
Раструбный с углом расширения $\alpha_р = 20^0$	0,495	-"-
Раструбный с коническим звеном $\alpha_р = 20^0$	0,600	Напорный

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

Затем, вычислив $v_{пр}$, определяют относительную скорость $\frac{v_{пр}}{\sqrt{gD}}$ и по графикам (см.рис.2 и 8) находят параметр расхода Π_q. Сравнив его с $\Pi_{q(гр)}$, приведенным в табл.4, устанавливают режим протекания.

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

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

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

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

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

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

2.7. Сравнивают полученный диаметр частиц наброски $d_{н(доп)}$ со средним диаметром частиц наиболее крупной фракции $d_{н(max)}$, содержащейся в ней.

При $d_{н(max)} > d_{н(доп)}$ 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 $d_{н(max)} < d_{н(доп)}$ – наброска неустойчива и не может быть использована для защиты выходных русел сооружения от

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

3. РАСЧЕТЫ НЕРАЗМЫВАЕМЫХ ВЫХОДНЫХ РУСЕЛ

Недеформируемые выходные русла

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

а) для наброски, состоящей нескольких фракций

$$\delta = D_э\left[0{,}45\sqrt[6]{\frac{d_н - \rho_{н(м)}\, d_{н(м)}}{d(\rho_{н(м)}\, d_{н(м)} + 1)}} + 1{,}15\left(\frac{v_{вых}\, K_{ог(\Delta h)}}{\sqrt{g D_э}} - 1\right)\right], \qquad (7)$$

где $K_{ог(\Delta h)}$ – коэффициент, учитывающий влияние оголовка на глубину деформации наброски; для безоголовочной трубы $K_{ог(\Delta h)}=1$; для раструбных и портальных оголовков $K_{ог(\Delta h)}$ 0,7.

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

б) для наброски, состоящей из одной фракции

$$\delta = D_э\left[0{,}45\sqrt[6]{\frac{d_н}{d}} + 1{,}15\left(\frac{v_{вых}\, K_{ог(\Delta h)}}{\sqrt{g D_э}} - 1\right)\right]. \qquad (7а)$$

Для несвязных грунтов средний диаметр частиц отдельной фракции d ,м, определяют

$$d = \frac{\Sigma d_i p_i}{100}, \qquad (8)$$

где p_i – весовая доля фракции,%.

Для связных грунтов расчетный диаметр d , мм, определяют

$$d = 1{,}5\ (0{,}15 + C_р), \qquad (9)$$

где $C_р$ – расчетное сцепление грунтов, тс/м^2.

Для наброски, состоящей из нескольких слоев различного гранулометрического состава (например, при наличии щебеночной подготовки), вместо $d_н$, подставляют эквивалентный диаметр, определяемый по формуле

$$d_{н.ср} = \left[d_{н(1)} \delta_1 + d_{н(2)} \delta_2 + d_{н(3)} \delta_3 + \dots + d_{н(n)} \delta_n \right] \frac{1}{\delta}, \qquad (10)$$

где $d_{н(1)}$ и δ_1; $d_{н(2)}$ и δ_2; $d_{н(3)}$ и δ_3; $d_{н(n)}$ и δ_n – соответственно средний диаметр и толщина первого, второго, третьего.... 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 $d_{нм(ср)}$, м.

3.2. Длину укрепления принимают $L = (1,5\text{-}2,0) D_э$, м.

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

$$B_{раст} = b \left[\left(\frac{x}{D_э} + 1 \right)^n - 1 \right] + b_р, \qquad (11)$$

где x – расстояние от конца оголовка до рассматриваемого створа, м; в конце укрепления $x = L$;

b – отверстие трубы, м;

$b_р$ – ширина оголовка в конце его, м;

$Q_к$ – эталонный расход, $м^3/с$, т.е. расход, при прохождении которого критическая глубина в сооружении равна $0,75 D_э$;

$$Q_к = 0,51 \sqrt{g} D_э^{2,5}, \qquad (12)$$

или $Q_к = 1,6 D_э^{2,5}$, $м^3/с$; (12а)

n – показатель степени

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

Q – расход в сооружении (расчетный или наибольший).

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

а) в створе на выходе из оголовка

$$B_1 = b_р + 2 \text{ м};$$

б) в конце укрепления

$B_2 = B_{раст} + 1$ 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 $\Delta h_{пр(д)}$ за счет выноса грунта из-под него:

а) для наброски, состоящей из нескольких фракций,

$$\Delta h_{пр(д)} = 0{,}85 D_э \sqrt[6]{\frac{d_н - \rho_{н(м)} d_{н(м)}}{(\rho_{н(м)} d_{н(м)})^{1/1} d}} - 1{,}93\delta + 2D_э \left(1{,}15 \frac{v_{вых} K_{ог(ст)}}{\sqrt{g D_э}} - 1\right) \quad (14)$$

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

б) для однородной наброски

$$\Delta h_{пр(д)} = 0{,}85 D_э \sqrt[6]{\frac{d_н}{d}} - 1{,}93\delta + 2D_э \left(1{,}15 \frac{v_{вых} K_{ог(ан)}}{\sqrt{g D_э}} - 1\right). \quad (14а)$$

При наличии в наброске слоев разного гранулометрического состава в формулу (14) вместо $d_н$ и $d_{н(м)}$ подставляют $d_{н(э)}$ и $d_{нм(д)}$, определяемые по формуле (10).

Толщиной слоя наброски δ задаются, принимая ее равной не менее $2 d_н$.

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

$$h_{вых(ог)} = h_{вых} K_{ог(h)}, \quad (15)$$

где $K_{ог(h)}$ - коэффициент, учитывающий влияние оголовка на глубину потока на выходе из сооружения

$$K_{ог(h)} = \left(\frac{B}{B_р}\right)^{1/3} \quad (16)$$

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

формуле

$$l_{пр(g)} = v_{вых}\sqrt{\frac{2h_{вых(кр)} + \Delta h_{пр(g)}}{g}} \qquad (17)$$

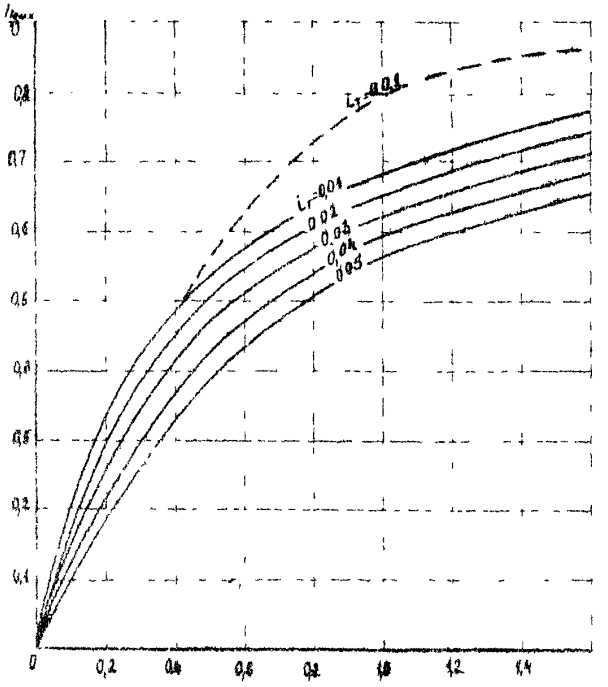


Рис. 5. График для определения глубин на выходе из круглых железобетонных и бетонных труб: с коническим звеном; без конического звена

3.9. Устанавливают предельную глубину деформации укрепления у выходного сечения трубы

$$\Delta h_{уст(g)вых} = \Delta h_{пр(g)} - \frac{l_{пр(g)}}{2} \qquad (18)$$

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

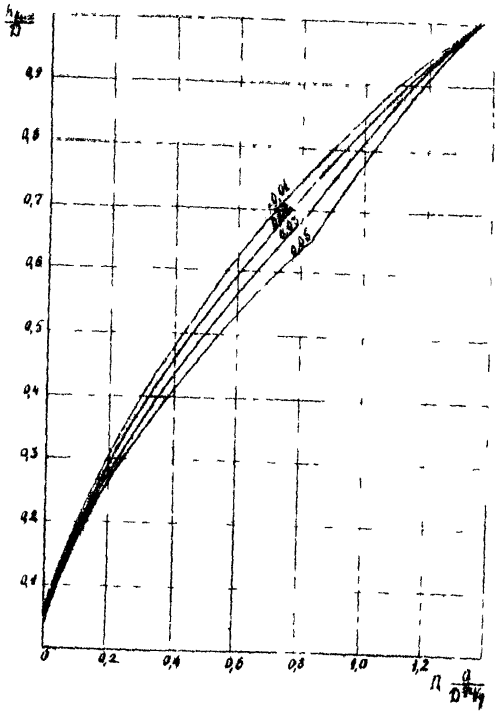


Рис. 6. График для определения глубин на выходе из круглых металлических гофрированных труб

При $\Delta h_{гр\ g)вых} > 0{,}5м$ 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

$$L = B = 4\Delta h_{пр(д)} \qquad (19)$$

где L и B - соответственно длина и ширина укрепления, м.

Длину укрепления l, вычисленную по формуле (19), принимают для дальнейшего расчета.

3.11. Назначают ширину укрепления (см.рис.1)

в конце оголовка (B_1)

$$B_1 = b_p + 2 \text{ м};$$

в конце укрепления (B_2)

а) при $\frac{\Delta h_д}{D_д} > 0,5$,

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

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

B_2 принимают по большей величине B и $B_{раст}$, вычисленной по формуле (11), но не менее B_1.

4. РАСЧЕТЫ ВЫХОДНЫХ РУСЕЛ - САМООТМОСТОК

4.1. Определяют долю ($p_{от}$) и средний диаметр ($d_{от}$) фракции отмостки φ следующей последовательности:

а) вычисляют параметр

$$N_{расч} = \frac{3/4 b_{д(ж)} D_д}{\varphi^3} . \qquad (20)$$

Здесь

$$\varphi = \delta_м \psi D_д \left(\frac{D_д}{b b_p}\right)^{0,2}, \qquad (21)$$

где ψ - коэффициент, учитывающий заделку концевой части укреплений, для деформации укреплении из каменной наброски $\psi = 0,7$;

$\delta_м$ - масштабный коэффициент, определяемый по табл. 5.

Таблица 5

Эквивалентный диаметр трубы $D_э$, м	0,5	0,75	1	I,25	I,5	2	3	4	5	6	I0	I5
Масштабный коэффициент $\delta_м$	0,89	0,87	0,85	0,83	0,82	0,8I	0,79	0,77	0,76	0,75	0,73	0,7

б) по гранулометрическому составу наброски вычисляют $\frac{p_{от}}{d_{от}^{1/6}}$ сначала для первой (самой крупной) фракции (причем $p_{от}$ должно быть больше 5%, т.е. $p_{от} \geq 0{,}05$).

в) сравнивают $\frac{p_{от}}{d_{от}^{1/6}}$ с $N_{расч}$

Если $N_{расч} > \frac{p_{от}}{d_{от}^{1/6}}$, то в расчет включают следующую фракцию (или ее часть), и так продолжают до тех пор, пока не будет соблюдено условие $\frac{p_{от}}{d_{от}^{1/6}} \approx N_{расч}$ с точностью до 5%.

Если $\frac{p_{от}}{d_{от}^{1/6}}$ будет меньше $N_{расч}$ для всех фракций, то отмостки не образуется и предельные глубины деформации укрепления определяют, как для однородного грунта по формуле

$$\Delta h_{пр} = a_m \varphi \bar{D}_э \left(\frac{Q}{\bar{D}_к}\right)^{a_6} \left(\frac{\bar{D}_э^3}{g \bar{B}_c J_н}\right)^{a_2} \qquad (22)$$

Коэффициент $\varphi = 0{,}6$.

Определяют максимальные глубины размыва

$$\Delta h_{max} = \eta \Delta h_{пр}, \qquad (23)$$

где η – доля предельной глубины размыва за время паводка; с некоторым приближением можно принять $\eta = 0{,}6$ для несвязных грунтов и $\eta = 0{,}75$ – для связных.

Если для частиц самой крупной фракции, которых в наброске более 5%, $\frac{p_{от}}{d_{от}^{1/6}} > N_{расч}$, то эти частицы определяют отмостку.

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

$$\Delta h_{max(н)} = \sqrt[3]{\frac{1{,}8 h_{быс(от)} \bar{D}_э d_{от}}{\rho_{от}} + \Delta h^3_{max(d_{от})}}, \qquad (24)$$

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

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

Здесь $\Delta h_{пр(d_{от})}$ – предельная глубина размыва в наброске со средним диаметром частиц $d_{от}$, м; $\Delta h_{пр(d_{от})}$ определяют по формуле (22).

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

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

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

5. РАСЧЕТЫ РАЗМЫВА ЗА УКРЕПЛЕНИЯМИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ИХ КОНЦЕВЫХ ЧАСТЕЙ

5.1. Определяют предельную глубину размыва в грунте ложа за укреплением

$$\Delta h_{пр} = \delta_m \varphi \bar{D}_в \left(\frac{Q}{Q_к}\right)^{0,6} \left[\frac{D_э^3}{\left(\frac{L}{D_э}+1\right)^{\vartheta} \beta \beta_р d}\right]^{0,2}, \qquad (25)$$

где φ – коэффициент; для размыва за каменной наброской $\varphi = 0,6$;

d – средний диаметр частиц грунта ложа, определяемый по формулам (8) и (9);

ϑ – 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,а), для которого глубина заложения концевой части принимается равной $h_{ук} = \delta$

Дальнейший расчет ведут с п.5.6.

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

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

$$\Delta h_{max(н)} = \Delta h_{пр}\left(\frac{d}{d'_н}\right)^{1/3} + 0{,}5 d'_н \frac{\Delta h^2_{max}}{W_к}, \qquad (26)$$

где $W_к$ – удельный объем каменной наброски на единицу ширины укрепления, $м^2$.

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

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

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

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

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

$$h_{рисб} = \sqrt{\frac{0{,}5 d'_н \Delta h^2_{max}}{1{,}25\left[\delta - \Delta h_{пр}\left(\frac{d}{d'_н}\right)^{1/3}\right]}} \qquad (27)$$

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

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

$$h^3_{ук} - M h^2_{ук} - N = 0, \qquad (28)$$

где коэффициенты M и N определяют по формулам

$$M = \Delta h_{пр}\left(\frac{d}{d'_н}\right)^{1/3}; \qquad (28а)$$

$$N = 0{,}4 d'_н \Delta h^2_{max} \qquad (28б)$$

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

$$B = \frac{3{,}6\Delta h_{max}}{K}, \qquad (29)$$

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

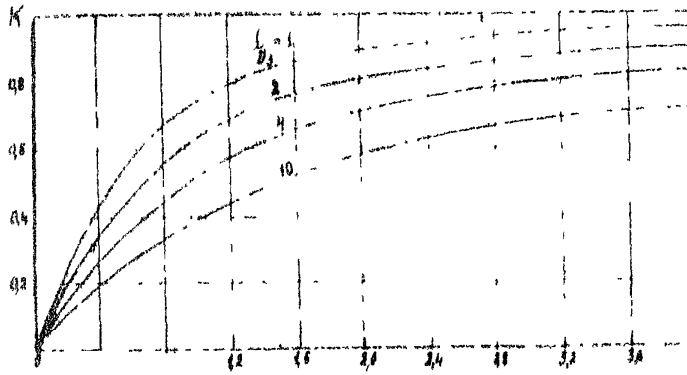


Рис. 7. График для определения коэффициента формы воронки размыва K

5.9. Сравнивают ширину воронки размыва B с шириной B_2 и в качестве расчетной ширины 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 I м.

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

а) на выходе из трубы B_1 ;

б) в конце укрепления B_{yk} .

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

Приложение I

РАСЧЕТЫ НЕДЕФОРМИРУЕМЫХ ВЫХОДНЫХ РУСЕЛ

Исходные данные

Круглая железобетонная труба D = I м без конических звеньев с раструбным оголовком $b_р$ = 2,I м расположена на автомобильной дороге.

Сток снеговой - аккумуляция не учитывается.

Расчетный расход в сооружении $Q_р$ = I,5 м^3/с.

Грунты лога - пески со средним диаметром частиц d = I мм.

Уклон лотка трубы $i_т$ = 0,01.

Требуется определить размеры неразмываемого 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%

$Q = 1,3\,Q_р = 1,3 \cdot 1,5 \approx 2,0$ м^3/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 номограмме (см.рис. 4) определяем параметр расхода $П_Q = \frac{Q}{D^{5/2}\sqrt{g}}$ При D = I,00 м и Q = 2,0 м^3/с $П_Q$ = 0,63. Зная $П_Q$ и $i_т$ = 0,01, находим по рис. 2 $\frac{v_{вых}}{\sqrt{gD}}$ = I,26 и $v_{вых} = 1,26\sqrt{gD}$

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

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

Для трубы с раструбным оголовком воспользуемся фор-

мулой (26)

$$d_н \leqslant \frac{v_{вых}^2}{67} = \frac{3,95^2}{67} = 0,23 \text{ м}.$$

Принимаем средний диаметр камней наброски $d_н$ 0,25 м.

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

Расчет вначале ведем без учета подливки.

$$\delta = D_э \left[0,45 \sqrt[6]{\frac{d_н}{d}} + 1,15 \left(\frac{v_{вых} K_{пр(ph)}}{\sqrt{g D_э}} - 1 \right)\right].$$

В нашем случае $D_э = h = 1$ м, $d_н = 0,25$ м, $d = 0,001$ м, $v_{вых} = 3,95$ м/с $K_{пр(ph)} = 0,7$.

Подставив эти значения в формулу, получим

$$\delta = 1,0 \left[0,45 \sqrt[6]{\frac{0,25}{0,001}} + 1,15 \left(\frac{3,95 \cdot 0,7}{9,81 \cdot 1,0} - 1 \right)\right] =$$

$$= 0,45 \cdot 2,50 - 0,14 \approx 1 \text{ м}.$$

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

$$d_{н(э)} = 0,25 \frac{0,80 \cdot 1,0}{1,0} + 0,05 \frac{0,20 \cdot 1,0}{1,0} = 0,20 + 0,01 =$$

$$= 0,21 \text{ м}.$$

Тогда имеем

$$\delta = 1,0 \left(0,45 \sqrt[6]{\frac{0,21}{0,01}} - 0,14\right) = 0,44 \cdot 2,44 - 0,14 = 0,95 \text{ м}.$$

Принимаем укрепление состоящим из каменной наброски толщиной

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

4. Принимаем длину укрепления $L = 1,5 D_р = 1,5 \cdot 1,0 =$ $= 1,5$ м.

5. Определяем ширину растекания потока в конце укрепления ($x = L = 1,5$ м) по формуле (11).

$$B_{раст} = B\left[\left(\frac{\lambda}{D_э} + 1\right)^{n} - 1\right] + b_р.$$

Предварительно вычисляем эталонный расход $Q_к$ по формуле (12а), а показатель степени n по (13)

$$Q_к = 1{,}6\, D_э^{5/2} = 1{,}6 \cdot 1 = 1{,}6 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$n = 0{,}78 + 0{,}36 \lg \frac{Q_к}{Q} = 0{,}78 + 0{,}36 \lg \frac{1{,}6}{2{,}0} = 0{,}78 - 0{,}04 =$$

$$= 0{,}74.$$

Остальные входящие в формулу (11) величины равны

$B = D = 1{,}0$ м , $b_р = 2{,}1$ м.

Откуда имеем

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

6. Назначаем ширину укрепления

а) в створе на выходе из оголовка

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

б) в створе конца укрепления

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

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

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

$$\Delta h_{пр} = \delta_м \varphi D_э \left(\frac{Q}{Q_к}\right)^{0{,}6}\left[\frac{D_э^3}{\left(\frac{\lambda}{D_э} + 1\right)^{s} B b_р d}\right].$$

Находим величины, входящие в формулу.

Масштабный коэффициент $\delta_м$ для трубы $D = 1$ м находим по табл. 5 $\delta_м = 0{,}85$.

Коэффициент $\varphi = 0{,}6$.

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

Остальные величины определены выше.

Подставив значение всех величин в формулу, получим

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

$= 1{,}26$ м.

2. Определяем максимальную глубину размыва во время наводка по формуле (23)

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

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

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

Рисберма за укреплением в этом типе выходных русел не устраивается.

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

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

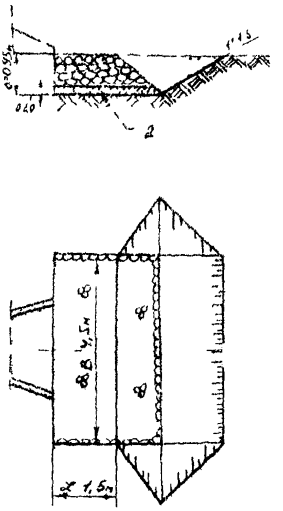
Предварительно определяем коэффициент K по графику (см.рис.7)

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

откуда $B_в = \frac{3{,}6 \cdot 0{,}76}{0{,}60} = 4{,}5$ м $> B_г = 4{,}1$ м.

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

Конструкция укрепления представлена на рисунке.



Основные размеры укреплений из каменной наброски в примерах расчета недеформируемых выходных русел: 1 – каменная наброска; 2 – щебеночная подготовка

Объем камня в укреплении (без щебеночной подготовки)

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

Объем щебеночной подготовки

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

РАСЧЕТЫ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ВЫХОДНЫХ РУСЕЛ

Исходные данные

Круглая металлическая гофрированная труба D = 1,5 м без оголовков расположена на железной дороге.

Сток снеговой, аккумуляция не учитывается.

Расчетный расход Q_p = 2,3 м³/с, наибольший расход Q_{max} = 3,0 м³/с.

Грунты лога суглинки с расчетным сцеплением C_p = = 1,0 т/м².

Уклон лотка трубы i_T = 0,01.

Требуется определить размеры неразмываемого деформируемого выходного русла, изготавливаемого 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

$1{,}3\,Q_p = 2{,}3 \cdot 1{,}3 \approx 3{,}0$ м³/с $= Q_{max} = 3{,}0$ м³/с.

Для дальнейшего расчета принимаем расход $Q_p = Q_{max} =$ = 3,0 м³/с.

II. Определение размеров укреплений

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

Предварительно по номограмме рис. 4 определяем параметр расхода $\Pi_Q = \frac{Q}{D^2\sqrt{gD}} = 0{,}33$.

По величинам Π_Q = 0,33 и i_T = 0.01 находим

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

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

Для трубы без оголовка воспользуемся формулой (2а)

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

Принимаем средний диаметр частиц наброски $d_н$ = 35 см.

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

$$\Delta h_{пр(g)} = 0,85 D_э \sqrt[6]{\frac{d_{н(э)}}{d}} - 1,93\delta + 2D_э\left(1,15 \frac{v_{вых} K_{вг(ан)}}{\sqrt{gD_э}} - 1\right)$$

Предварительно задавшись толщиной слоя наброски δ_1 = 2·0,35 = 0,70 м и зная толщину слоя щебеночной подготовки δ_2 = 0,15 м, а также полную толщину укрепления δ = 0,70 + 0,15 = 0,85 м, находим по формуле (10) эквивалентный диаметр частиц наброски

$$d_{н(э)} = (d_1\delta_1 + d_2\delta_2)\frac{1}{\delta} = (0,35 \cdot 0,70 + 0,05 \cdot 0,15)\frac{1}{0,85} = 0,30 \text{ м.}$$

Затем по формуле (9) при $C_р$ = 1т/м^2 определяем средний диаметр частиц грунта

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

откуда

$$\Delta h_{пр(g)} = 0,85 \cdot 1,5 \sqrt[6]{\frac{0,300}{0,0052}} - 1,93 \cdot 0,85 + 2 \cdot 1,5\ (1,15 \times \frac{3,87 \cdot 1,0}{\sqrt{9,81 \cdot 1,5}} - 1) = 1,21 \text{ м.}$$

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

При $\Pi_д$ = 0,33 (см.выше) и $i_т$ = 0,01 $\frac{h_{вых}}{D}$ = 0,42 и $h_{вых}$ = 0,42·1,5 = 0,63 м.

Для трубы без оголовка $h_{вых(от)} = h_{вых}$ = 0,63 м.

Находим расстояние от выхода из трубы до места расположения предельной глубины деформации укрепления по формуле (17)

$$l_{пр(g)} = a_{(1)} \cdot \sqrt{\frac{2(h_{выхо(g)} + \Delta h_{пр(g)})}{g}} = 3,85 \cdot \sqrt{\frac{2(0,25+1,21)}{9,81}} = 2,36 \text{ м}$$

5. Устанавливаем предельную глубину деформации укрепления у выходного сечения по формуле (18)

$$\Delta h_{пр(g)выхо} = \Delta h_{пр(g)} - \frac{l_{пр(g)}}{2} = \ldots \frac{\ldots}{2} = 0,05 \approx 0$$ лотов

трубы не будет подмыт.

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

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

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

8. Назначаем ширину укрепления.

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

а) ширина укрепления в конце оголовка

$B_1 = b_p + 2,0 = 1,50 + 2,0 = 3,50 < B = 4,9$ м.

Принимаем $B_1 = 4,9$ м.

б) ширина укрепления в конце его B_2

Так как B_2 принимается по большей из величин B_1 и B, в расчет принимаем $B_2 = B = 4,9$ м.

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

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

$$\Delta h_{пр} = \delta \psi D_э \left(\frac{Q}{Q_к}\right)^{0,6} \left[\frac{D_э^3}{\left(\frac{L}{D_э}+1\right)^5 b\, b_p\, d}\right]^{0,2}$$

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

Показатель степени [illegible] деформируемых выходных русел равен $\frac{10}{3}$. Величины $b = b_p = D = 1{,}5$ м, $D_э = D = 1{,}5$ м. Этап [illegible] $Q_к$ находим по формуле (12а)

$Q_к = 1{,}6 \cdot D_э^{5/2} = 1{,}6 \cdot 1{,}5^{5/2} = 4{,}4$ м³/с.

Подставив значение всех величин в формулу, получим

$$\Delta h_{пр} = 0{,}82 \cdot 0{,}6 \cdot 1{,}5 \cdot \frac{1{,}2 \cdot 2}{4} \cdot \left[\frac{1{,}5^3}{\frac{5{,}0}{1{,}5}(1)^{10/3} \cdot 1{,}5^2 \cdot 0{,}0052}\right]^{1{,}2} =$$

$= 0{,}7$ м

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

$\Delta h_{max} = \eta \Delta h_{пр}$ $\eta = 0{,}53$ м $< \delta = 0{,}85$ м.

Применяем выходное русло типа I (см. рис. I,в). Концевая часть этого укрепления представляет собой часть наброски, уложенную за укреплением с откосом 1:1 и глубиной заложения δ.

Рис [illegible] креплением в этом типе выходных русел не делается.

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

Предварительно определяем коэффициент K по графику (см. рис. 7) при $\frac{\Delta h_{max}}{D} = \frac{0{,}53}{1.5} = 0{,}35$ и $\frac{L}{D} = \frac{5{,}0}{1.5} =$

$= 1{,}42$ $K = 0{,}36$,

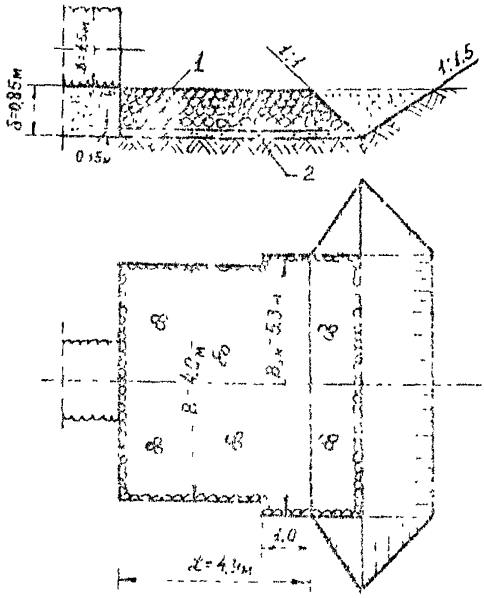
откуда $B_б = \frac{5{,}6 \cdot 0{,}53}{0{,}36} = 5{,}3$ м $> B_г = 4{,}9$ м.

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

Конструкция укрепления проведена на рисунке.

Объем камня [illegible] укреплении (без щебеночной подготовки)

$W_к = 4{,}9 \cdot 3{,}9 \cdot 0{,}70 + 5{,}3 \cdot 1{,}0 + \frac{0{,}71}{2}) \cdot 0{,}7 = 18{,}4$ м³.



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

Объем щебеночной подготовки

$$W_{щ} = (4,9 \cdot 3,9 + 0,3\,(1,6 + 7 \cdot 1))0,15 = 4,2\ м^3.$$

Итого: наброски $W_н = 18,4 + 4,2\ м^3 = 22,6\ м^3$.

Для сравнения при заданных условиях определим размеры укреплений недеформируемого выходного 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

$$\delta = 1,5\left[0,45\sqrt[6]{\frac{250}{5,2}} - 1,15\left(\frac{3,87}{\sqrt{9,81 \cdot 1,5}} - 1\right)\right] = 1,29\ м.$$

Примем, что 20% от этой глубины составляет щебеночная подготовка крупностью $d_{н(щ)} = 0{,}05$ м, и повторим расчет по той же формуле, подставив в нее вместо $d_н$ величину $d_{н(з)}$, определяемую по формуле (10), а также

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

$$d_{н(з)} = 0{,}25 \cdot \frac{1{,}03}{1{,}29} + 0{,}00 \cdot 0{,}26 = 0{,}21 \text{ м}.$$

Тогда имеем

$$\delta = 1{,}6\left[(0{,}45\sqrt[6]{\frac{210}{5{,}2}} + 1{,}15\left(\frac{3{,}87}{79{,}61 \cdot 1{,}5} - 1\right)\right] = 1{,}24 \text{ м}.$$

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

Принимаем укрепление состоящим из каменной наброски, уложенной слоем толщиной $\delta_1 = 1{,}00$ м и щебеночной подготовки $\delta_2 = 0{,}24$ м.

4. Назначаем длину укрепления равной $1{,}5 \cdot 1{,}5 = 2{,}25$ м или с округлением до 0,5 м.

$$L = 2{,}5 \text{ м}.$$

5. Определяем ширину растекания потока в конце укрепления ($x = L = 2{,}5$ м) по формуле (11), определив предварительно "n" по формуле (13).

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

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

6. Назначаем ширину укрепления:

а) в створе на выходе из трубы

$$B_1 = a_р + 2{,}0 = 1{,}5 + 2{,}0 = 3{,}5 \text{ м};$$

б) в створе конца укрепления

$$B_2 = B_{раст} + 1{,}0 = 3{,}25 + 1{,}0 = 4{,}25 \text{ м} \approx 4{,}3 \text{ м}.$$

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

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

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

$= 1{,}11$ м.

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

$\Delta h_{max} = 0{,}6 \cdot 1{,}11 = 0{,}67$ м $< \delta = 1{,}24$ м.

Применяем выходное русло типа I.

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

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

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

$$K = 0{,}43,$$

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

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

Объем камня в укреплении (без щебеночной подготовки)

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

Объем щебеночной подготовки

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

Итого наброски

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

При деформируемом укреплении объем наброски был

$$W_н = 22{,}6 \text{ м}^2.$$

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.

Средние диаметры частиц наброски по фракциям $d_{н(i)}$, мм	400-200	200-100	100-50	Менее 50	Средний диаметр частиц наброски $d_н$, 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 размыва из условия (I)

$$\frac{d_{4(max)}}{d} = \frac{300}{76} \approx 4 > 2$$ – наброска неоднородная.

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

Д = I,0 м;

Q – 2,0 м³/с; $v_{вых}$ – 3,95 м/с; $Q_к$ 1,6 м³/с;

η_Q – 0,63; i_1 = 0,01.

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

$$v_{вых} \leq v_{пр} = \frac{2\,I\sqrt{g\,d_{н(м)}}}{K_{ог(v)}}\,K_{нр}^{n}$$

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

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 (6)

$$d'_{н(м)} = \frac{0,05 \cdot \frac{50}{2} + 0,05\,\frac{100+50}{2}}{0,1} = 50 \text{ мм}$$

$$p_{н(м)} = 0,1.$$

Затем вычисляем коэффициент неоднородности

$$K_{нр} = 1,15\sqrt{\frac{d_н - d_{н(м)}\,p_{н(м)}}{d_{н(м)}\,p_{н(м)}}} = 1,15\sqrt{\frac{122,5-50\cdot 0,1}{50\cdot 0,1}}$$

$$= 1,15\sqrt{\frac{117,5}{5}} = 1,15 \cdot 4,85 = 5,58.$$

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

Для круглой трубы с раструбными оголовками без конических звеньев при безнапорном режиме $\frac{1}{3}$.

Правая часть будет равна

$$v_{пр} = \frac{2\cdot 1\sqrt{g\,d_{н(м)}}}{K_{ог(v)}}\,K_{нр}^{n} = \frac{2\cdot 1\cdot 9,81\cdot 0,05}{0,8}\,5,58^{1/3} =$$

$$= 3,25 \text{ м/с}.$$

Относительная скорость будет равна

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

По графику (см.рис.2) находим при $\frac{v_{пр}}{\sqrt{gD}} = 1,03$ $n_q = 0,4$.

Сравнивая $n_q = 0,4$, с определяемым по табл. 4 $n_{q(гр)} = 0,495$, устанавливаем, что режим протекания (безнапорный) установлен правильно.

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

$v_{вых} = 3,95$ м/с $> v_{пр} = 3,25$ м/с - наброска будет размываться.

Проверяем возможность работы укреплений как самоотмосток из условия (26), подставляя $d_{н(max)}$ вместо $d_н$. При этом фракция $d_{н(max)}$ должна содержаться в количестве $p_{н(max)} \geq 5\%$.

В нашем случае фракция $d_{н(max)} = \frac{0,4+0,2}{2} = 0,3$ м имеет содержание $p_{н(max)} = 5\%$, следовательно, ее принимаем в расчет

Проверяем выполнение условия (26). Для этого вычисляем правую его часть

$$\frac{v_{вых}^2}{67} = \frac{3,95^3}{67} = \frac{15,6}{67} = 0,23 \text{ м} < d_{н(max)} = 0,30 \text{ м}.$$

Укрепление может работать как самоотмостка.

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

Имеем $\frac{h_{вых}}{D} = 0,59$ $h_{вых} = 0,59$ м.

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

$h_{вых(ог)} = h_{вых} K_{ог(h)} = 0,59 \cdot 0,40 = 0,24$ м.

5. Определяем долю ($p_{от}$) и средний диаметр $d_{от}$ фракций отмостки в следующей последовательности:

а) вычисляем по формуле (20) параметр

$$N_{расч} = \frac{3 h_{вых} D}{\Phi^3}$$

Предварительно по формуле (21) находим φ

$$\varphi = \delta_м \psi \mathcal{D}_э \left(\frac{\mathcal{D}_э^3}{\delta B_р}\right)^{0,2} = 0,85 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \left(\frac{1}{1,0 \cdot 2,0}\right)^{0,2} = 0,52.$$

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

б) по гранулометрическому составу наброски вычисляем $\frac{\rho_{от}}{d_{от}^{1,6}}$ и сравниваем с $N_{расч}$.

Расчет начинаем с наиболее крупной фракции.

Предварительно определяем средний диаметр ее частиц

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

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

Следовательно, необходимо включить в расчет следующую фракцию.

Находим средний диаметр частиц первых двух фракций

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

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

Следовательно, необходимо к первой фракции добавить лишь часть второй.

Добавляем к 1-й фракции 22% второй

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

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

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

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

$$\Delta h_{max(н)} = \sqrt[3]{\frac{1,8 h_{вых(от)} D_э d_{от}}{\rho_{от}} + \Delta h^3_{max(d_{от})}}$$

Предварительно определяем $\Delta h_{пр(d_{от})}$ и $\Delta h_{max(d_{от})}$ по формулам (22) и (23), принимая $d_н = d_{от}$

$$\Delta h_{пр} = \delta_м \varphi D_э \left(\frac{Q}{Q_к}\right)^{0,6} \left(\frac{D_э^3}{B b_р d_{от}}\right)^{0,2}$$

При $D_э = D = 1,0$ м, $b_р = 2D = 2,0$ м, $\delta_м = 0,85$, $\varphi = 0,6$, $Q = 2,0$ м^3/с, $Q_к = 1,6$ м^3/с (см.пример I).

Имеем

$$\Delta h_{пр(d_{от})} = 0,85 \cdot 0,6 \cdot 1,0 \left(\frac{2,0}{1,6}\right)^{0,6} \left[\frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 0,175}\right]^{0,2} = 0,85 м,$$

$$\Delta h_{max(d_{от})} = \Delta h_{пр(d_{от})} \eta = 0,85 \cdot 0,6 = 0,51 м.$$

Откуда $\Delta h_{max(от)} = \sqrt[3]{\frac{1,8 \cdot 0,24 \cdot 0,178}{0,27} + 0,51^3} = 0,74$ 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 $\Delta h_{max(от)}$ вместо $\Delta h_{max(g)}$

$$l_{пр(g)} = v_{вых} \sqrt{\frac{2(h_{вых} + \Delta h_{max(от)})}{g}} =$$

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

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

$$\Delta h_{max(от)вых} = \Delta h_{max(от)} - \frac{l_{пр(g)}}{2} =$$

$$= 0,74 - \frac{1,77}{2} = 0,14 м < 0.$$

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 $\Delta h_{пр,в}$

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

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

11. Назначаем ширину укрепления.

Предварительно вычисляем $\frac{\Delta h_{max(pr)}}{D_э} = \frac{0{,}74}{1{,}0} = 0{,}74 \approx 0{,}5$

1) ширина укрепления в конце оголовка

$$B_1 = b_р + 2{,}0 = 2{,}1 + 2{,}0 = 4{,}1 \qquad B = 3{,}0 \text{ м;}$$

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).

$$\Delta h_{пр} = \delta_м \varphi D_э \left(\frac{Q}{Q_к}\right)^{0,6} \left[\frac{D_э^3}{\left(\frac{L}{D_э}+1\right)^5 B\, b_р\, d}\right]^{0,2} =$$

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

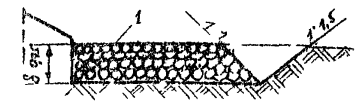
$= 0{,}54$ м.

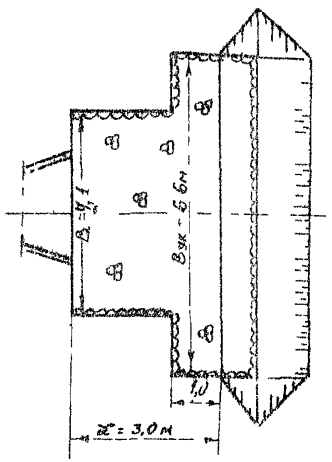
2. Определяем максимальную глубину размыва за время паводка по формуле (23)

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

Назначаем выходное 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:
I - каменная наброска

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

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

и $$\frac{l}{D_1} = \frac{5,8}{1} = 5,8$$

$K = 0,16$,

откуда $B_1 = \frac{3,6 \cdot 0,33}{0,18} =$

$= 6,6 > B_2 = 4,1$ м.

Принимаем ширину укрепления в концевой его части на длине в I м ($B_{ук} = 6,6$ м).

Конструкция укрепления приведена на рисунке.

Объем камня в укреплении равен

$W_к = 4,1 \cdot 2,0 \cdot 0,75 +$

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

$\cdot 0,75 = 12,9$ м^3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. 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

I. 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 3с

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 4/

Редактор Н.С Букова
Корректор О.Д.Сухова

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