

Рекомендации по укреплению откосов сооружений мостовых переходов и насыпей на прижимных участках рек наброской из каменных материалов

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО УКРЕПЛЕНИЮ ОТКОСОВ СООРУЖЕНИЙ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И НАСЫПЕЙ НА ПРИЖИМНЫХ УЧАСТКАХ РЕК НАБРОСКОЙ ИЗ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одобрены Главтранспроектom

Москва 1979

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящих Рекомендациях, предназначенных для использования при проектировании мостовых переходов и насыпей, рассматривается методика, расчета набросных укреплений при защите откосов сооружений постовых переходов (струенаправляющих дамб, поперечных регуляционных сооружений и поименных подходов) и насыпей на прижимных участках рек от продольных течений.

Методика включает определение требуемой крупности однородного камня или деформации укрепления при использовании неоднородного по крупности материала заданного гранулометрического состава, а также необходимой толщины укрепления.

В работе приведены рекомендации по назначению определяющих силовых воздействий на откосные сооружения, получению исходных данных для проектирования укрепления, расчету срезки выпуклого берега и компоновки поперечных сооружений для уменьшения силового воздействия потока на откосе насыпей и берегов на прижимах рек.

Работа выполнена в соответствии с программой решения научно-технической проблемы 0.85.01 "Разработать научно-технические основы и комплекс мероприятий по улучшению использования водных ресурсов и охраны вод", утвержденной Постановлением Государственного Комитета Совета Министров СССР по науке и технике № 435 от 10 декабря 1976 г.

Рекомендации разработаны в лаборатории мостовой гидравлики и гидрологии отделения изысканий и проектирования железных дорог ЦНИИС кандидатами техн. наук В.Ш. Цыпиным и Г.Я. Волченковым при участии инж. Н.Л. Мойжес под общим руководством и при участии канд. техн. наук В.В. Невского.

Зам. директора института	Н.Б. Соколов
Зав. отделением изысканий и проектирования железных дорог	А.К. Козлов

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УКРЕПЛЕНИЙ ОТКОСОВ НАСЫПЕЙ И ПРИЖИМНЫХ УЧАСТКАХ

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УКРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ СООРУЖЕНИЙ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА

4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО УМЕНЬШЕНИЮ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКА НА ОТКОСЫ НАСЫПЕЙ И БЕРЕГОВ НА ПРИЖИМАХ

5. РАСЧЕТ НАБРОСКИ ИЗ ОДНОРОДНОГО ПО КРУПНОСТИ МАТЕРИАЛА

6. РАСЧЕТ НАБРОСКИ ИЗ НЕОДНОРОДНОГО ПО КРУПНОСТИ МАТЕРИАЛА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОДОЛЬНЫХ ТЕЧЕНИЙ

Приложение РАСЧЕТ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НАБРОСНОГО УКРЕПЛЕНИЯ НА ОТКОСАХ НАСЫПЕЙ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Каменную наброску применяют для защиты подошвы и откосов сооружений преимущественно от волнового воздействия и размывов продольным течением¹. Наброска относится к одному из наиболее целесообразных типов укрепления в районе распространения вечной мерзлоты, пучения и большой просадочности грунтов при наличии местного строительного материала - камня.

¹ Расчет набросных укреплений при волновых воздействиях приводится в СН 288-64 [1].

1.2. Область применения каменной наброски ограничивается гидрологическими условиями, указанными в табл.1. определяющее силовое воздействие, при котором требуется более мощное укрепление, находят согласно п. 5.2.

Таблица 1

Вид силового воздействия	Защищаемое сооружение	Допускаемые расчетные значения
Продольное течение	Насыпи	Скорость до 4-5 м/с
	Струенаправляющие дамбы	Скорость до 4 м/с
	Поперечные сооружения (при угле примыкания более 45 °)	Скорость до 3,5 м/с
Ветровая волна	Пойменные подходы	Высота волны до 1,7 м
	Насыпь на прижимах	

Статическая нагрузка от льда при изменении уровня воды	Толщина льда менее 0,5 м или 1 м в нешироких руслах (до 50-60 м)
--	--

1.3. Материал из природного камня для устройства наброски но должен иметь признаков выветривания и трещин, прослоек мягких пород и размокаемых включений. Плотность камня должна быть не меньше 2 т/м³.

Требования, предъявляемые к камню по морозостойкости, приведены в табл.2

Таблица 2

Области применения или щебня	Минимальная марка камня по морозостойкости для районов с климатическими условиями	
	умеренными и суровыми	особо суровыми
Части сооружений, находящиеся в зоне переменного уровня воды	50-100	150
Надводные части	25-50	50-100
Подводные части	Не нормируются	

Примечание. Всем указанным требованиям обычно удовлетворяют материалы, получаемые из изверженных и метаморфических пород. Применение материалов из осадочных пород должно быть технико-экономически обосновано с учетом периодического пополнения укрепления.

1.4. Применение однородного каменного материала в наброске ограничивается диаметром окатанных камней до 50 см и неокатанных (получаемых в результате взрыва) до 70 см. Камень более крупных размеров, образующий в наброске большие щели, требуется укладывать в укреплении методом мощения (без расклинки, но с подбором лица) не менее чем в два слоя.

При устройстве укрепления из однородных крупных камней методом наброски (без подбора лица) необходим объем материала, обеспечивающий коэффициент сплошности укладки не менее $\alpha_{сп} = 1,7$. Под коэффициентом сплошности понимают отношение площади проекций камней на откос к площади поверхности, на которой разместились камни.

1.5. Гранулометрический состав несортированного камня, получаемого взрывным способом, зависит от прочности и трещиноватости пород, а также вида и метода взрывных работ. Классификацию скальных пород по прочности принимают согласно СНиП IV-13 [2] с разделением на весьма сильнотрещиноватые, средне - и слаботрещиноватые и практически монолитные [3].

Для новых карьеров гранулометрический состав каменного материала на стадии проектирования выявляют у специалистов, проектирующих и рассчитывающих буровзрывные работы с учетом требуемой на данном объекте крупности камня.

При этом следует иметь в виду, что для практически монолитных массивов можно получить камень, близкий к однородному; в случае сильнотрещиноватых - камень неоднородный и обычно не крупнее 20-30 см.

Тип меандрирования русла	Отношение радиуса кривизны потоков по оси русла, когда поток не выходит на пойму, к ширине	$h_{п(бр)}$ при коэффициентах заложения от $-H_{п(бр)}$ коса вогнутого берега m				
		Менее 0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2	Более 2
Свободное и незавершенное	2-4	2,5	2,2	2	1,8	1,6
	4-6	2,3	2	1,8	1,6	1,4
Ограниченное	2-4	2	1,75	1,6	1,45	1,30
	4-6	1,85	1,6	1,45	1,30	1,15

В остальной части излуины (зона II)- по интерполяции между граничным сечением зоны I и перекатом.

Примечание. Указанные границы зон получены для ограниченно меандрирующих русел, наиболее характерных для прижимного участка рек, и условно распространены на другие типы руслового процесса (свободного и незавершенного меандрирования).

2.3. Для прямолинейных участков русла расчетную скорость потока $v_{п}$ у подошвы откоса насыпи определяют по формуле

$$v_{п} = v \left(\frac{k_{п}}{H} \right)^{2/3} \quad (1)$$

где v, H - средние по сечению русла скорость и глубина потока (с учетом общего размыва).

2.4. На криволинейных участках русла скорость потока $v_{п}$ подошвы откоса насыпи рассчитывают по формуле

$$v_{п} = v K_r \quad (2)$$

где K_r - коэффициент увеличения скорости у вогнутого берега по сравнению со средней скоростью потока по всему сечению (стесненного или нестесненного) русла, определяемый по табл.5 или по формуле

$$K_r = 0,9 \frac{(1 + \xi)^3}{1 + \xi^2}, \quad (3)$$

где $\xi = \frac{B_{бр}}{2R_c}$ - коэффициент относительной ширины русла;

$B_{бр}$ - ширина русла в бровках;

R_c - радиус кривизны потока по оси русла, определяемый согласно п. 2.5.

Таблица 5

$\frac{B_{бр}}{R_c}$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,35	0,50	0,60
K_r	1,03	1,11	1,20	1,28	1,43	1,66	1,82

Особенности определения средней скорости v стесненного потока при наличии срезки выпуклого берега см. в 4.6.

2.5. Величину радиуса кривизны потока по оси русла в зависимости от гидроморфологических параметров реки и местоположения насыпи, а также мероприятий по ее защите.

В нестесненном русле, когда поток не выходит из бровок русла, величина R_c совпадает с радиусом кривизны излучины и определяется по данным топогеодезических и гидрометрических работ, а при отсутствии последних - по формуле

$R_c = \frac{\lambda_u^2}{4a_u},$	(4)
-----------------------------------	-------

где a_u - расстояние от середины шага излучины λ_u (до ее вершины (см. рис.1).

Если поток выходит из бровок русла, радиус кривизны потока определяют

а) в нестесненном русле, а также в стесненном русле без срезки выпуклого берега при расположении оси насыпи, попадающей в русло, параллельно вогнутому берегу или составляющей с ним на входе в русло угол не более 10° (рис.2) - по графику (рис.3) или по формуле.

$R_c = \frac{B_{бр}\zeta}{\xi_0 \left(\frac{k_{ш}}{H} \right)^{2/9} - 1},$	(5)
---	-------

$\xi_0 = [1,12(1 + \xi^2)]^{1/3}$ - коэффициент, определяемый подбором, а в первом приближении принимаемый равным 1,04-1,06.

ζ - коэффициент, принимаемый равным 0,6 при отсутствии и 0,55-0,6 при наличии срезки выпуклого берега.

Если при расчете по формуле (5) или по графику ось (рис. 3) R_c окажется меньше полученного по формуле (4), то к расчету принимается радиус по формуле (4);

б) в тех же условиях, но при угле между осью насыпи и берегом на входе (трассы) в русло более 10° - в первом приближении по формуле (4) для входного участка и по формуле (5) для остального участка стесненного русла (см. рис. 2).

Входной участок должен составлять не менее ширины нестесненного русла $B_{бр}$;

в) при наличии срезки выпуклого берега - по формуле (5).



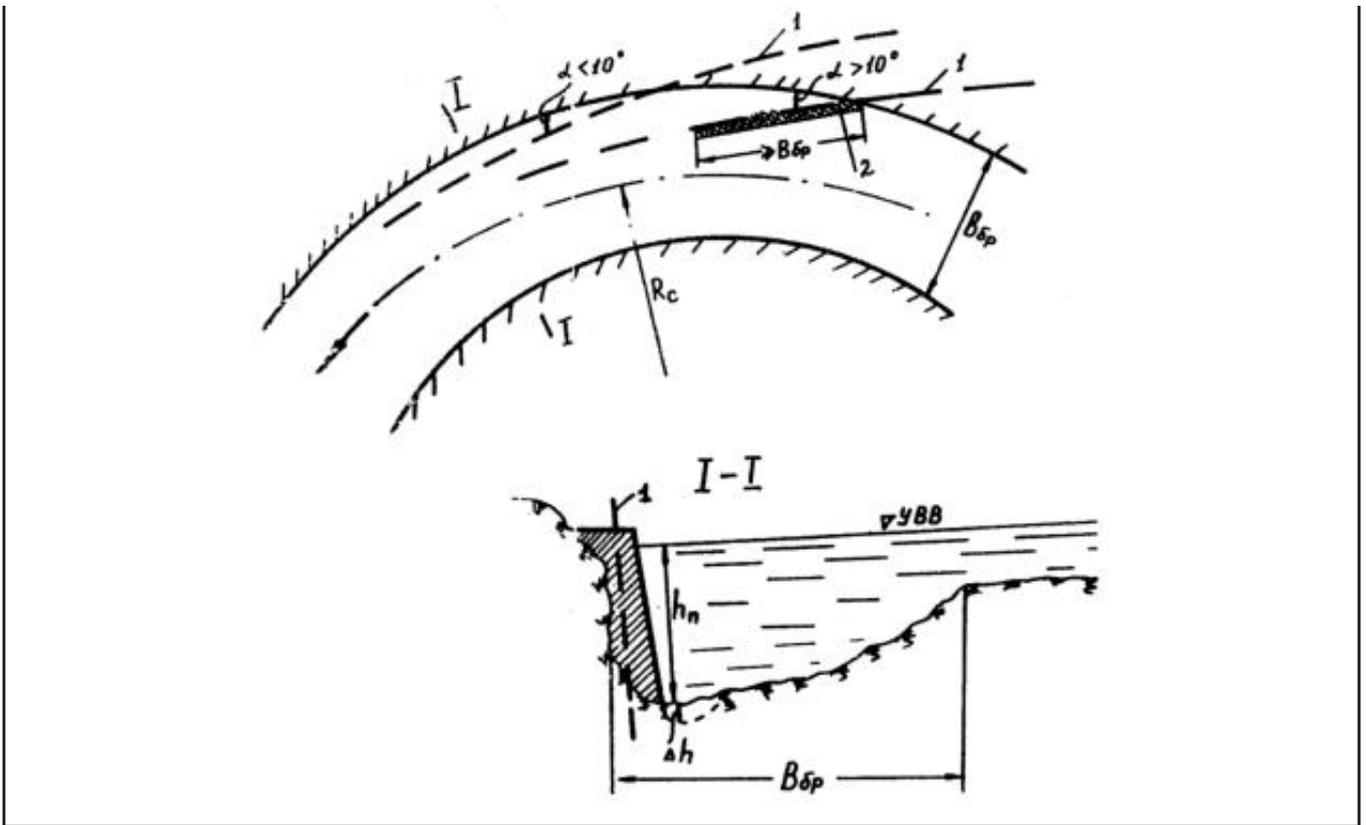


Рис. 2 . Варианты расположения трассы в русле:

1 - трасса; 2 - входной участок при $\alpha > 10^\circ$

Для уточнения радиуса R_c в условиях, указанных в п. " б" и " в", желательно проводить физическое моделирование.

2.6. При проектировании укреплений следует учитывать возможность деформаций основания насыпи. Они могут быть вызваны:

а) в русле - понижением отметок дна при перемещении наносных скоплений (побочной, гряд и т.д.); местным размывом у подошвы насыпи, ограничивающей естественный ход руслового процесса; общим размывом русла, стесненного насыпью;

б) на пойме - превышением средней скорости потока у подошвы насыпи над размывающей для грунта поймы; превышением скорости струй у подошвы насыпи, возникающий при волновом воздействии, над донной размывающей для грунта поймы.

2.7. В русле понижение отметок дна при перемещении наносных скоплений определяют как разницу глубин потока (в бровках русла), определенных по наибольшей бытовой глубине согласно п. 2.2 и на момент изысканий.

Глубину местного размыва у подошвы насыпи, образованного в связи с предотвращением естественного руслового процесса, для условий выхода воды на пойму определяют по формуле [4]

$$\Delta h = \eta H - h_{\pi} , \quad (6)$$

где $\eta = \frac{h_{\pi} + \Delta h}{H}$ - отношение глубины потока у подошвы насыпи после размыва к средней глубине потока H в рассматриваемом створе излучины, определяемое по формуле

$$\eta = 0,67 e^{M_0} , \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{1,26}{n^{1/4} (1+m)^{1/4}} \frac{v}{v_0} \frac{R^2 - R_c^2}{R_c^2}, \quad (8)$$

где

M - коэффициент формы укреплений, равный единице для каменной наброски;

Здесь v - средняя скорость потока по сечению русла;

v_0 - размывающая скорость для слагающих русло грунтов со средним диаметром частиц d при средней глубине потока, излучины H ;

$$v_0 = 1,15 \sqrt{g(Hd)^{1/4}}; \quad (9)$$

g - ускорение свободного падения;

n - коэффициент шероховатости укрепления, определяемый в зависимости от материала укрепления; для каменной наброски принимают $n = 0,03-0,045$;

m - коэффициент заложения откоса насыпи;

$R = \frac{B_{бр}}{2} + R_c$ - радиус кривизны потока у подошвы насыпи ($B_{бр}$ - ширина в бровках стесненного русла).

Для быстрого определения η и (только для условий выхода воды на пойму) $\frac{R^2 - R_c^2}{R_c^2}$ величины рекомендуется пользоваться соответственно графиками (рис. 4 и 3).

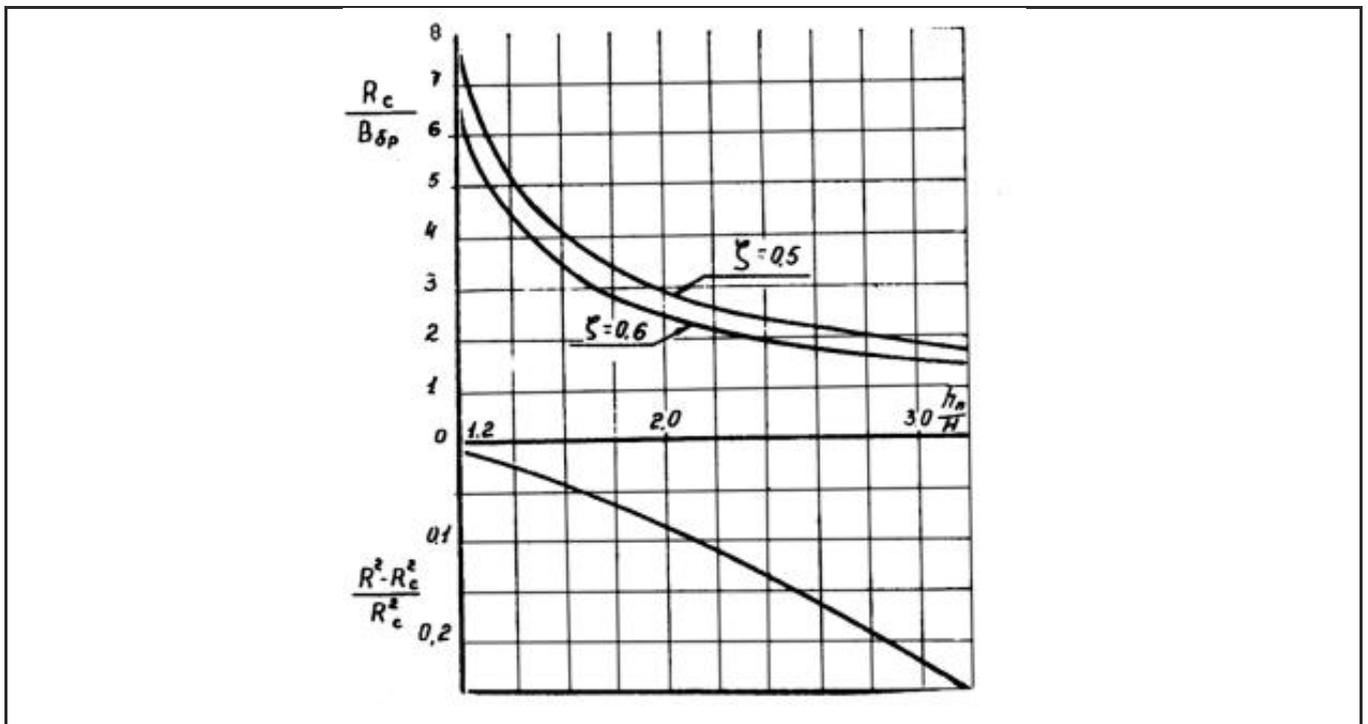


Рис.3 . Графики для определения $\frac{R_c}{B_{бр}} = f\left(\frac{h_n}{H}\right)$ и $\frac{R^2 - R_c^2}{R_c^2} = f\left(\frac{h_n}{H}\right)$

При определении размывающей скорости v_0 , средний диаметр частиц грунта d находят для несвязного грунта по гранулометрическому составу, для связного - по формуле

$$d = 4,5(0,15 + C_p) \text{ мм}; \quad (10)$$

где C_p - расчетное сцепление связных грунтов, тс/м², устанавливаемое по данным испытаний.

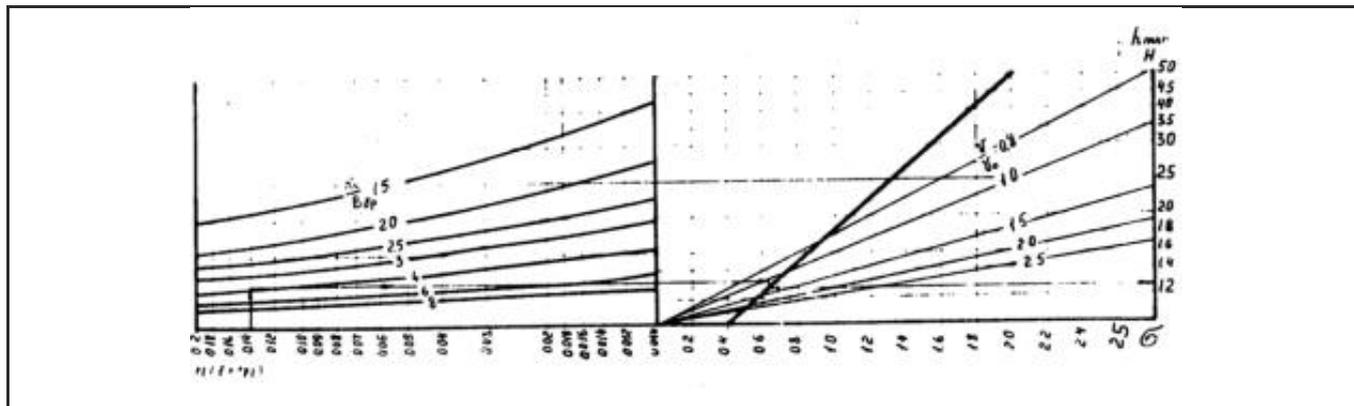


Рис.4 . Номограмма для определения $\eta = \frac{h_{\pi} + \Delta h}{H}$

За расчетный размыв Δh принимают наибольший, определенный при расчетном уровне и для условий протекания потока в бровках русла. В последнем случае расчет размыва определяют по формулам (7) и (8), в которых вместо H , v и v_0 подставляют соответствующие значения \bar{H} , \bar{v} и \bar{v}_0 на вертикали по динамической оси потока.

2.8. Глубину общего размыва русла у подошвы насыпи определяют из условия стабилизации размыва при достижении скорости потока на рассматриваемой вертикали динамической скорости по формуле

$$\Delta h = 0,93 \left(\frac{q_{\pi}}{\sqrt{gd}^{0,2}} \right)^{0,77} - h_{\pi}, \quad (11)$$

где $q_{\pi} = v_{\pi} h_{\pi}$ - удельный расход воды у подошвы насыпи.

2.9. Глубину размыва у подошвы пойменных насыпей при превышении средней скорости потока над размывающей для грунта поймы определяют по формуле

$$\Delta h = \frac{0,9}{d^{0,2}} \left(\frac{q_{\pi}}{\sqrt{g}} \right)^{0,8} - h_{\pi}, \quad (12)$$

Глубину размыва у подошвы пойменных насыпей при волновом воздействии определяют по методу, изложенному в работе [5].

Примеры расчета

Пример 1. Определить скорость потока у подошвы вогнутого берега с коэффициентом заложения $m = 2,5$ на участке криволинейного, ограничено меандрирующего русла шириной в бровках $B_{бр} = 120$ м и средней глубиной $C_{бр} = 2,7$ м при выходе воды на пойму. Средние по сечению скорость и глубина потока в русле при заданном уровне воды равны соответственно $v = 1,8$ м/с и $H = 3,8$ м.

Шаг излучины и расстояние от шага излучины до ее вершины (см. рис.1) соответственно равна $\lambda_U = 580$ м, $a_U = 190$ м.

Вначале определим по формуле (4) радиус кривизны по оси излучины, когда поток проходит в бровках русла:

$$R_c = \frac{580^2}{4 \cdot 190} \approx 440 \text{ м.}$$

По табл.1 при $\frac{R_c}{B_{бр}} \approx 3,7$ и $m = 2,5$ находим $\frac{h_{п(бр)}}{H_{бр}} = 1,3$, откуда глубина потока (проходящего в бровках русла) у вогнутого берега равна $h_{п(бр)} = 1,3 \cdot H_{бр} = 1,3 \times 2,7 = 3,50$ м, а при заданном уровне $h_{п} = h_{п(бр)} + (H - H_{бр}) = 3,50 + (3,8 - 2,7) = 4,6$ м.

По формуле (5) при $\xi_0 = 1,04$ и $\zeta = 0,5$ находим радиус кривизны потока по оси русла при заданном уровне:

$$R_c = \frac{120 \cdot 0,5}{1,04 \left(\frac{4,6}{3,8} \right)^{2,79} - 1} = 705 \text{ м.}$$

По табл. 2 при $\frac{B_{бр}}{R_c} = \frac{120}{705} = 0,16$ находим коэффициент увеличения скорости у вогнутого берега $K_r = 1,13$. По формуле (2) скорость потока у подошвы откоса берега равна $v_{п} = 1,8 \cdot 1,13 = 2,03$ м/с.

Пример 2. Для условий примера 1 определить глубину местного размыва у подошвы вогнутого берега, укрепленного каменной наброской. Русло сложено гравийно-песчаным материалом со средним диаметром частиц 6 мм. В бровках русла в рассматриваемом створе на вертикали по динамической оси потока глубина и скорость соответственно равны $\bar{H} = 3,1$ м, $\bar{v} = 1,6$ м/с.

Определим глубину местного размыва Δh для расчетного уровня. Дополнительные исходные

данные: принимаем коэффициент шероховатости укрепления $n = 0,04$;

по формуле (9) размывающая скорость равна

$$v_0 = 1,15 \cdot \sqrt{9,8} \cdot (3,8 \cdot 0,006)^{1/4} = 1,4 \text{ м/с.}$$

По графику (рис.4) при $n(1+m) = 0,04(1+2,5) = 0,14$, $\frac{R_c}{B_{бр}} = \frac{705}{120} = 5,88$ и $\frac{v}{v_0} = \frac{1,8}{1,4} = 1,285$

определяем отношение глубины потока у подошвы вогнутого берега после размыва к средней глубине потока в рассматриваемом створе $\eta = 1,14$.

По формуле (6) глубина размыва равна $\Delta h = 1,14 \cdot 3,8 - 4,6 < 0$, т.е. размыва, связанного с предотвращением естественного хода руслового процесса при укреплении берега излучины, не будет.

Определим размыв дня условий протекания потока в бровках русла. Предварительно по формуле (9) определим размывающую скорость на вертикали по динамической оси потока

$$\bar{v}_0 = 1,15 \cdot \sqrt{9,8} \cdot (3,1 \cdot 0,006)^{1/4} = 1,33 \text{ м/с.}$$

По графику (см. рис.4) при $n(1+m) = 0,14$;

$$\frac{R_c}{B_{\text{сп}}} = \frac{440}{120} = 3,7 \quad \text{и} \quad \frac{v}{v_0} = \frac{1,6}{1,33} = 1,2 \quad \text{определяем } \eta = 1,26.$$

По формуле (6) глубина размыва равна $\Delta h = 1,26 \cdot 3,1 - 3,50 = 3,90 - 3,50 = 0,40 \text{ м.}$

За расчетный размыв принимаем, согласно п. 2.7, $\Delta h = 0,40 \text{ м.}$

Пример 3. Для условий примера 1 определить глубину общего размыва у подошвы насыпи, стесняющей русло со стороны вогнутого берега. Средняя скорость потока в русле возросла с 1,8 м/с до 2 м/с.

Согласно расчету (см. пример 1), $K_r = 1,13$; по формуле (2) скорость потока у подошвы насыпи равна $v_n = 2 \cdot 1,13 = 2,26 \text{ м/с.}$ Тогда по формуле (11) глубина общего размыва у подошвы насыпи равна

$$\Delta h = 0,93 \left(\frac{2,26 \cdot 4,6}{\sqrt{9,8} \cdot 0,006^{0,2}} \right)^{0,77} - 4,6 = 5,14 - 4,6 \approx 0,55 \text{ м.}$$

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УКРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ СООРУЖЕНИЙ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА

3.1. За расчетную глубину потока h_n у подошвы откосов сооружений мостового перехода принимают:

- а) для поперечных сооружений в русле (шпор) - бытовую глубину, определенную по материалам изысканий или согласно пп. 2.1- 2.2;
- б) для подходной насыпи и поперечных сооружений на пойме (траверсов) - глубину на пойме в месте предполагаемого расположения сооружения с учетом подпора от стеснения пойменного потока согласно Рекомендациям [4];
- в) для верховой струенаправляющей дамбы - бытовую глубину потока с учетом общего размыва под мостом и возможных переформирований русла в результате руслового процесса; при дифференцировании укрепления дамбы на рассматриваемых вертикалях выше створа перехода необходимо учесть подпор.

3.2. Расчетную скорость потока v_n у подошвы поперечных сооружений определяют в зависимости от угла примыкания сооружений к защищаемым берегу или насыпи (рис. 5) по формулам



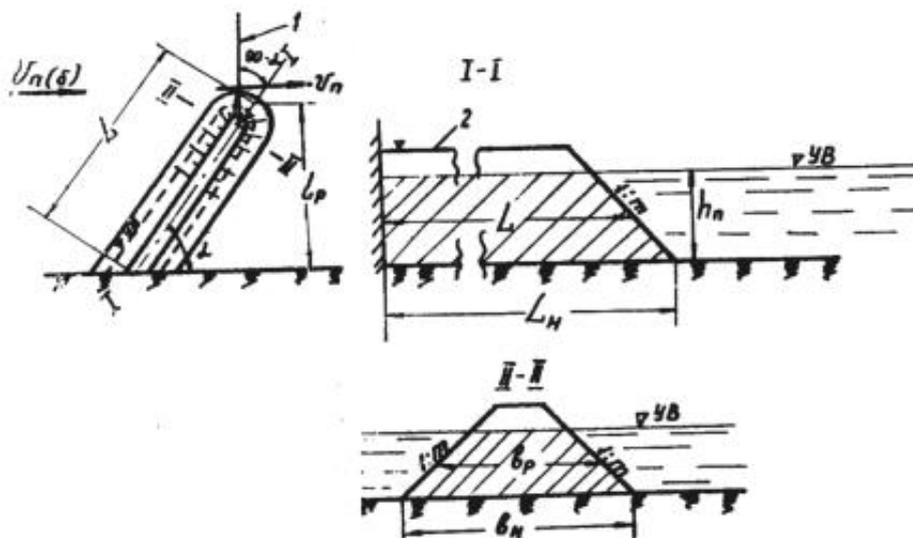


Рис.5. Поперечное сооружение: 1- расчетный створ; 2 - верх сооружения

при $90^\circ \geq \alpha \geq 45^\circ$

$$v_{\pi} = 0,9 v_{\pi(\delta)} \left(\frac{L_p}{h_{\pi}} \right)^{1/4}; \quad (13)$$

при $\alpha \geq 45^\circ$

$$v_{\pi\alpha} = (v_{\pi} - v_{\pi(\delta)})^3 \sqrt{\frac{\alpha}{45}} + v_{\pi(\delta)}, \quad (14)$$

где $v_{\pi(\delta)}$ - скорость потока в бытовых условиях до устройства поперечных сооружений на вертикали у подошвы головной части сооружения» определяемая для руслового потока по формулам (1) или (2), на пойменных участках - по формуле (18);

L_p - расчетная длина поперечного сооружения, определяемая по формуле

$$L_p = L \sin \alpha; \quad (15)$$

L - длина поперечного сооружения равна средней длине его сечения под водой и створе, совпадающем с его продольной осью и определяется по формуле

$$L = L_H - \frac{1}{2} m h_{\pi}; \quad (16)$$

L_H - длина поперечного сооружения понизу вдоль его продольной оси.

3.3. При устройстве поперечных (сооружений расчетную скорость у защищаемых насыпи или берега определяют как максимальную скорость течения в водоворотной зоне по формуле

$$v_{\pi} = 0,4 v_{\pi(\delta)} \quad (17)$$

3.4. При отсутствии поперечных сооружений расчетную скорость потока на вертикалях у подошвы подданной насыпи определяют по формуле, приведенной в работе [4].

$$v_{\pi} = 2 \frac{Q_{\text{пд}}}{B_{\text{пк}} h_{\pi}} - \frac{h_{\text{бер}}}{h_{\pi}} v_{\text{бер}}, \quad (18)$$

$h_{бер}$, $v_{бер}$ - глубина и скорость на границе руслового и пойменного потока в рассматриваемом створе, отстоящем на расстоянии X от оси перехода (рис.6);

$B_{пх}$, $Q_{пх i}$ - ширина пойменного участка от русла до подошвы насыпи, расположенной на расстоянии X от оси перехода, в расходе проходящий в этом сечении; указанные величины определяют по Рекомендациям [4].

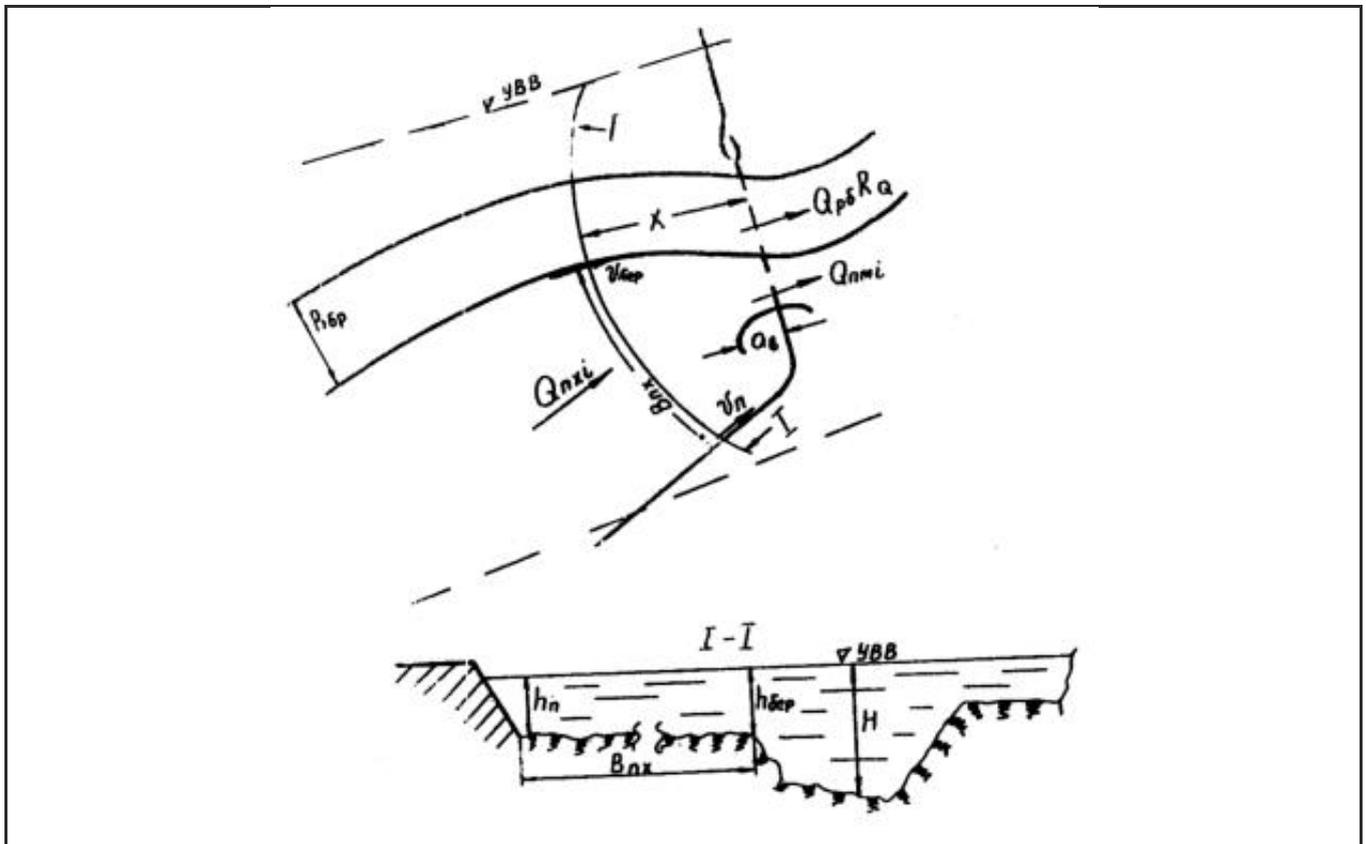


Рис.6 . К определению скорости потока v_n у пойменной насыпи

3.5. Расчетную скорость потока у подошвы верховой струнаправляющей дамбы определяют в зависимости от морфологических особенностей подмостового сечения и возможных плановых и глубинных деформаций:

а) при отсутствии пойменной части отверстия (мост перекрывает только русло) v_n рассчитывают по формуле (1) для двух вариантов сечения русла под мостом: до размыва и после размыва с наибольшей глубиной потока у подошвы дамбы (если это возможно по прогнозу плановых деформаций). К расчету принимают наибольшую скорость v_n ;

б) при наличии пойменной части отверстия шириной $l_{п i}$ к расчету принимают наибольшую скорость для двух указанных вариантов сечения русла под мостом.

Для подмостового сечения до размыва (со срезкой) расчетную скорость определяют по формуле

$$v_n = \frac{Q_{пх i}}{l_{п i} h_n}, \quad (19)$$

где $Q_{пх i}$ - расход воды, проходящей на пойменной части моста (со стороны рассматриваемой струнаправляющей дамбы) шириной $l_{п i}$.

$$Q_{пх i} = \frac{Q_{п i}}{\sum Q_{п i}} (Q - Q_{рв} R_{рв}), \quad (20)$$

где $Q_{пi}, \sum Q_{п}$ - расходы воды, проходящей в бытовых условиях по пойме со стороны дамбы и по двум поймам;

$Q, Q_{рб}$ - полный расход и расход, проходящий в русле в бытовых условиях;

R_Q - коэффициент увеличения руслового расхода в отверстии моста по сравнению с бытовыми условиями, определяемый по формуле

$R_Q = \sqrt{1 + \frac{2g\Delta h_e}{\beta}}$	(21)
---	------

β - коэффициент, определяемый по зависимости

$\beta = v_{рб}^2 + \alpha v_6 \sqrt{L_{разл} g i_6}$	(22)
---	------

$v_{рб}, v_6$ - средняя скорость потока, при отсутствии стеснения соответственно в русле и по всему живому сечению;

i_6 - продольный уклон водной поверхности нестесненного потока;

$L_{разл}$ - расчетная ширина разлива; при одностороннем стеснении потока принимается равной полной ширине разлива, при двустороннем - половине ширины разлива;

α - коэффициент, принимаемый и зависимости от стеснения потока по табл. 9 гл. УШ НИМГ-72 [6];

Δh_e - предмостовой подпор;

$\Delta h_e = K \frac{v_m^2 - v_{6м}^2}{2g}$	(23)
--	------

здесь $v_m, v_{6м}$ - средние скорости потока соответственно под мостом и в части живого сечения на ширине моста при отсутствии стеснения;

K - коэффициент, определяемый по зависимости

$K = 1 + \left(\frac{v_6}{v_{6м}}\right)^2 \frac{\alpha}{\sqrt{\frac{F_y}{l_6}}}$	(24)
---	------

$F_y = \frac{v_6^2}{g L_{разл}}$	(25)
----------------------------------	------

В случае, когда мост перекрывает только русло, коэффициент увеличения руслового расхода принимают равным

$$R_Q = \frac{Q}{Q_{рб}}$$

Расчетную скорость v_n в подмостовом сечении после размыва определяют:

при односторонней пойменной части отверстия - как в п. "а"; при двусторонней пойменной части отверстия со стороны вогнутого бетона - также по формуле (1), в которой средняя скорость по сечению русла

--	--

$$v = \frac{Q_{\text{рв}} R_{\text{д}}}{B_{\text{ср}} H}, \quad (26)$$

3.6. Скорость потока $v_{\text{п}}$ у подошвы струенаправляющей дамбы выше створа моста определяют с учетом рекомендаций п. 3.5,б по формуле (1), в которой средняя скорость по сечению русла равна

$$v = \frac{Q_{\text{рв}} R_{\text{д}}}{B_{\text{ср}} H} \sqrt{\frac{L_{\text{м}}}{L_{\text{м}} + a_i}}, \quad (27)$$

где $L_{\text{м}}$ - отверстие моста;

a_i - часть длины вылета (a_e) верховой струенаправляющей дамбы до рассматриваемой вертикали у подошвы дамбы.

3.7. Глубину местного размыва Δh у головной части траверсов, массивных незатопляемых шпор и струенаправляющих дамб определяют по рекомендациям ВСН 62-69 [7].

Коэффициент уменьшения местного размыва у сквозных шпор по сравнению с пассивными, принимают по НИМП-72 в зависимости от коэффициента застройки сооружения и числа рядов свай (или иных элементов) в шпоре.

Глубину местного размыва у полузапруд можно определять путем умножения глубины местного размыва, вычисленной для аналогичного незатопляемого сооружения, на коэффициент $(h_c/h_{\text{п}})^{0,4}$, где h_c - высота полузапруды.

Примеры расчёта

Пример 1. Определить скорости потока до размывов у подошвы правобережной дамбы (с проекциями: на ось пути шириной разворота $a_e = 62,5$ м и на плоскость, перпендикулярную оси пути - вылетом $a_e = 125$ м) в створе моста и на расстоянии $a_i = 70$ м от оси моста. Отверстие моста $L_{\text{м}} = 320$ м перекрывает русло ($B_{\text{ср}} = 250$ м), 20м левой и $l_{\text{п}i} = 50$ м правой поймы. Гидрологические характеристики живого сечения реки в створе мостового перехода при расчетном расходе приведены в табл. 6.

Таблица 6

Участки живого сечения	Расход, м ³ /с	Средняя скорость, м/с	Ширина участка, м	Средняя глубина, м
Коренное русло	2630	1950	250	7,0
Левая пойма	200	0425	570	1,40
Правая пойма	797	0,35	1200	1,90
Русло и пойма	3627	0,82	2020	-

Согласно проведенным расчетам (см. [4], пример 1 на стр.30), коэффициент увеличения руслового расхода в отверстии моста $R_Q = 1,337$. Тогда по формуле (20) найдем расход $Q_{\text{пм}i}$, проходящий на пойменной части моста (со стороны правой поймы):

$$Q_{\text{пм}i} = \frac{797}{(797 + 200)} (3627 - 2630 \cdot 1,337) = 88 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расчетную скорость (до размыва) у подошвы правобережной дамбы в створе моста находим по формуле (19):

$$v_{\pi} = \frac{88}{50 \cdot 1,90} = 0,93 \text{ м/с.}$$

Для определения скорости потока у подошвы дамбы (до размыва) на расстоянии $a_i = 70\text{м}$ от оси моста предварительно по формуле (27) найдем среднюю скорость потока в русле в указанном створе (в этом створе с учетом подпора средняя глубина потока увеличивалась на 2 см и в русле равна $H = 7,02\text{ м}$)

$$v = \frac{2630 \cdot 1,337}{250 \cdot 7,02} \sqrt{\frac{320}{320 + 70}} = 1,82 \text{ м/с.}$$

По формуле (1) расчетная скорость у подошвы дамбы на расстоянии 70м от моста равна

$$v_{\pi} = 1,82 \left(\frac{1,92}{7,02} \right)^{2/3} = 0,76 \text{ м/с.}$$

Пример 2. Условия примера 1. Требуется определить скорости на тех же вертикалях после размыва. В отверстии моста после размыва средняя глубина в русле $H = 8,8\text{ м}$, у подошвы правобережной дамбы $K = 5,3\text{ м}$. В створе на расстоянии 70 м от моста $H = 8,35\text{ м}$, $h_{\pi} = 4,90\text{ м}$.

Для створа моста определяем:

по формуле (26)

$$v = \frac{2630 \cdot 1,337}{250 \cdot 8,80} = 1,6 \text{ м/с.}$$

по формуле (1)

$$v_{\pi} = 1,6 \left(\frac{5,30}{8,80} \right)^{2/3} = 1,15 \text{ м/с.}$$

Для створа выше моста на $a_i = 70\text{м}$:

по формуле (27)

$$v = \frac{2630 \cdot 1,337}{250 \cdot 8,35} \sqrt{\frac{320}{320 + 70}} = 1,53 \text{ м/с.}$$

по формуле (1)

$$v_{\pi} = 1,53 \left(\frac{4,90}{8,35} \right)^{2/3} = 1,07 \text{ м/с.}$$

4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО УМЕНЬШЕНИЮ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКА НА ОТКОСЫ НАСЫПЕЙ И БЕРЕГОВ НА ПРИЖИМАХ

4.1. Для гашения скоростей потока вдоль подходной насыпи на пойме следует применять сплошные прямолинейные незатопляемые траверсы, которые рекомендуется примыкать к земляному полотну под углом 70 - 90°.

Траверсы отжимают от подходной насыпи продольные течения на пойме, но не оказывают влияния на работу струнаправляющих дамб.

Траверсы не устраивают, если волновые воздействия являются определяющими при назначении укреплений для подходов (т. е. требуются более мощные укрепления для защиты от волновых воздействий, чем от продольных течений вдоль подходов). Расчет определяющих воздействий см. в п. 5.2.

4.2. Для отжима руслового потока от вогнутого берега следует применять поперечные сооружения типа шпор и полузапруд.

На реках с интенсивным ледоходом, где возможно образование заторов льда, применять поперечные сооружения не рекомендуется.

Массивные незатопляемые шпоры применяют обычно для защиты насыпи на прижимах.

Расчетную длину сплошных шпор назначают из условия стеснения живого сечения потока менее 15 % по формуле

$L_p < 0,15 \left(\frac{H}{h_{\text{н}}} \right)^{5/3} B_{\text{шп}},$	(28)
---	--------

Наиболее экономичным решением является примыкание к земляному полотну под углом 70-90°. При этом оптимальный коэффициент заложения откоса сооружения, обеспечивающий наименьшую крупность камня в наброске, составляет (1,7-1,75) m_0 , где m_0 - коэффициент естественного заложения камня (см. п. 5.3).

При угле примыкания более 45° расчетную крупность камня в наброске можно снизить только уменьшением расчетной длины сооружения.

Если требуется дальнейшее уменьшение крупности камня в наброске, то необходимо задавать угол примыкания менее 45°. В этом случае снижение крупности камня можно обеспечить уменьшением расчетной длины L_p и угла примыкания α или уположением откосов m . Эффективное снижение крупности камня достигается при уположении откоса до $m = 3 \div 3,5$.

Шпоры сквозной конструкции и полузапруды применяют обычно для защиты подмываемого берега при плановых деформациях русла, поскольку они дешевле (но менее эффективны), чем сплошные шпоры. Сквозные шпоры проектирует в основном из свайных рядов.

Полузапруды представляют собой массивные сооружения (обычно из каменной наброски), затопляемые при проходе паводка выше бровок русла. Расчет сквозных конструкций производят согласно рекомендациям НИМП-72; конструкцию и компоновку полузапруд - работы [5].

4.3. Защитный фронт, образуемый незатопляемым поперечным сооружением, распространяется вверх от расчетного створа на длину L_p , вниз - на длину x , определяемую по формулам: на прямых и криволинейных участках при угле разворота излучины [4] оси $\alpha_u \leq 60^\circ$

--	--

$$Z = 7L_p, \quad (29)$$

на криволинейных участках при $\alpha_u > 60^\circ$

$$Z \leq \frac{2L_p}{\operatorname{tg} \frac{\alpha_u}{4}}. \quad (30)$$

Для того, чтобы между соседними поперечными сооружениями был защищенный участок насыпи (берега), расстояние между ними должно быть не менее длины защитного фронта Z верхового сооружения.

При компоновке поперечных сооружений нижестоящее сооружение должно выступать из водоворотной зоны, образованной верховым сооружением (рис. 7). Траектория граничной струи транзитного потока, фиксирующая водоворотную зону, описывается эллипсом с малой $a_y = 1,4 L_p$ и большой $a_x = \frac{Z + L_p}{2}$ полуосями. Ось абсцисс X располагают на прямой,

касательной к берегу в точке пересечения с продольной осью сооружения (см. рис. 7). Ось Y расположена в створе наибольшего удаления граничной струи транзитного потока от берега (или оси X при криволинейном русле) на расстоянии от расчетного створа, равном

$$Z_0 = \frac{Z - L_p}{2}. \quad (31)$$

В любом створе, расположенном на расстоянии X от оси Y , граничная струя транзитного потока удалена от оси X на отрезок Y , равный

$$Y = \frac{a_y}{a_x} \sqrt{a_x^2 - x^2}. \quad (32)$$

4.4. С целью уменьшения силового воздействия потока на вогнутый берег, когда насыпь попадает в русло, можно устраивать срезку выпуклого берега. Размеры срезки рассчитывают на расход, проходящий и бровках русла (с вероятностью превышения 40-50 %), с учетом топографо-геологических условий и стеснения русла.

Уровень срезки принимают на 0,25-0,5 м выше горизонта межени или до отметки слабо разрываемого нижнего слоя грунта на пойме, если верхний легкоразмываемый слой толщиной не менее 1-2 м располагается выше горизонта межени. Если на участке срезки разница отмоток уровня межени более 0,3-0,4 м, то срезке придают продольный уклон, равный уклону дна русла.

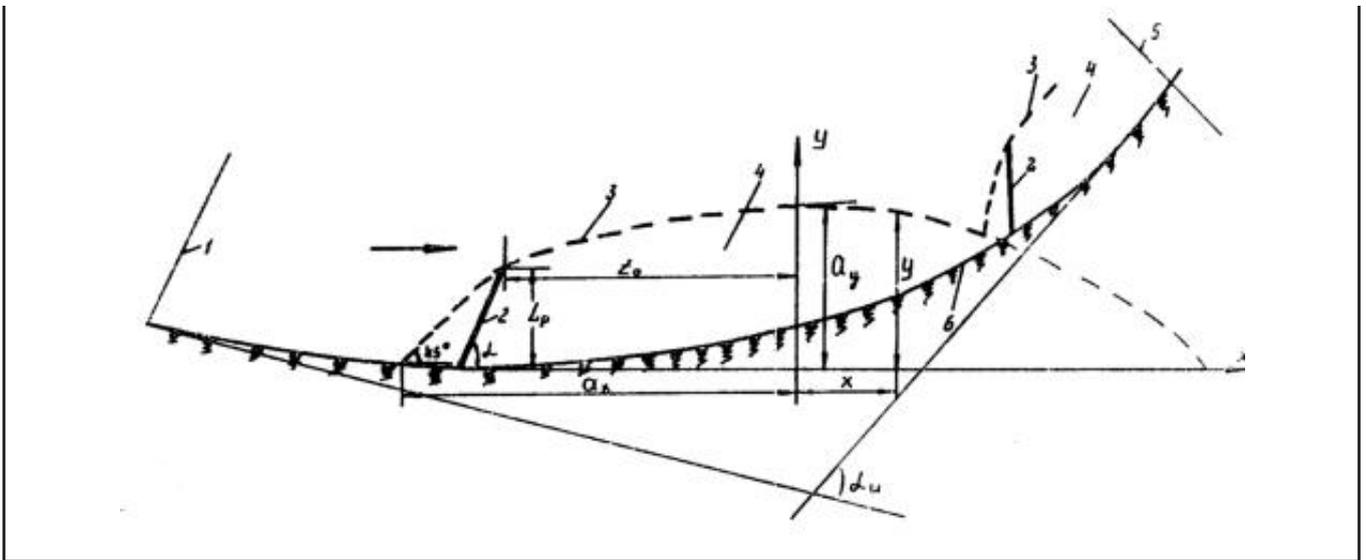
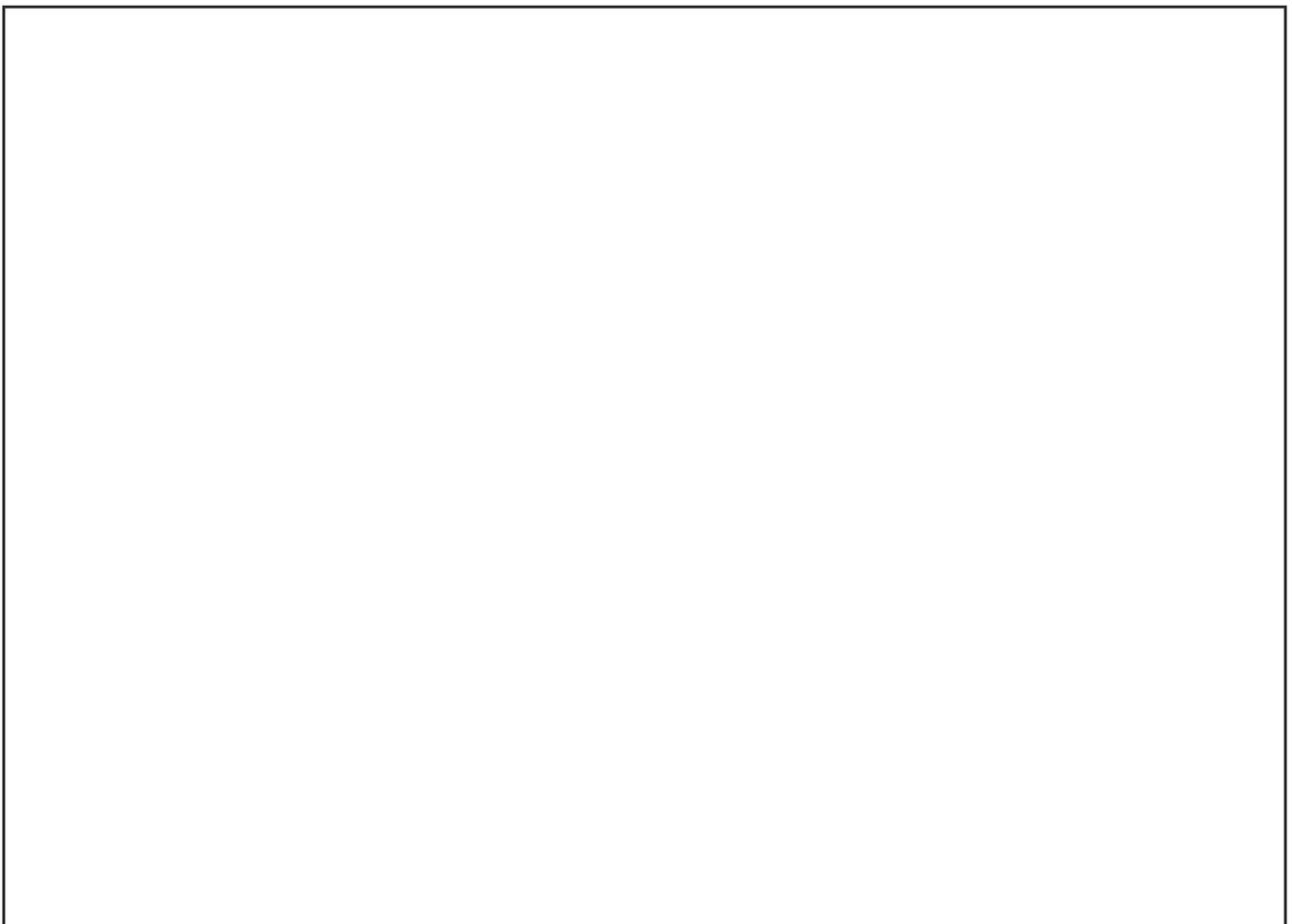


Рис. 7. Размеры водоворотных зон у поперечных сооружений: 1 - начало излучины; 2 - поперечные сооружения; 3 - границная струя транзитного потока; 4 - водоворотная зона; 5 - конец излучины; 6 - берег русла.

4.5. Внешнюю бровку срезки обычно назначают по круговой кривой, плавно сочетающейся с бровками русла и практически симметричной относительно створа с наибольшим стеснением (рис. 8).

Радиус круговой кривой подбирают из условия вписывания в нее поперечных сечений срезки, которые назначают:

а) при однородной геологическом строении поймы и русла - из условия равенства площадей сечений срезки и части насыпи $\omega_{\text{нер}}$, перекрывающей русло до отметок бровок (рис. 8,б);



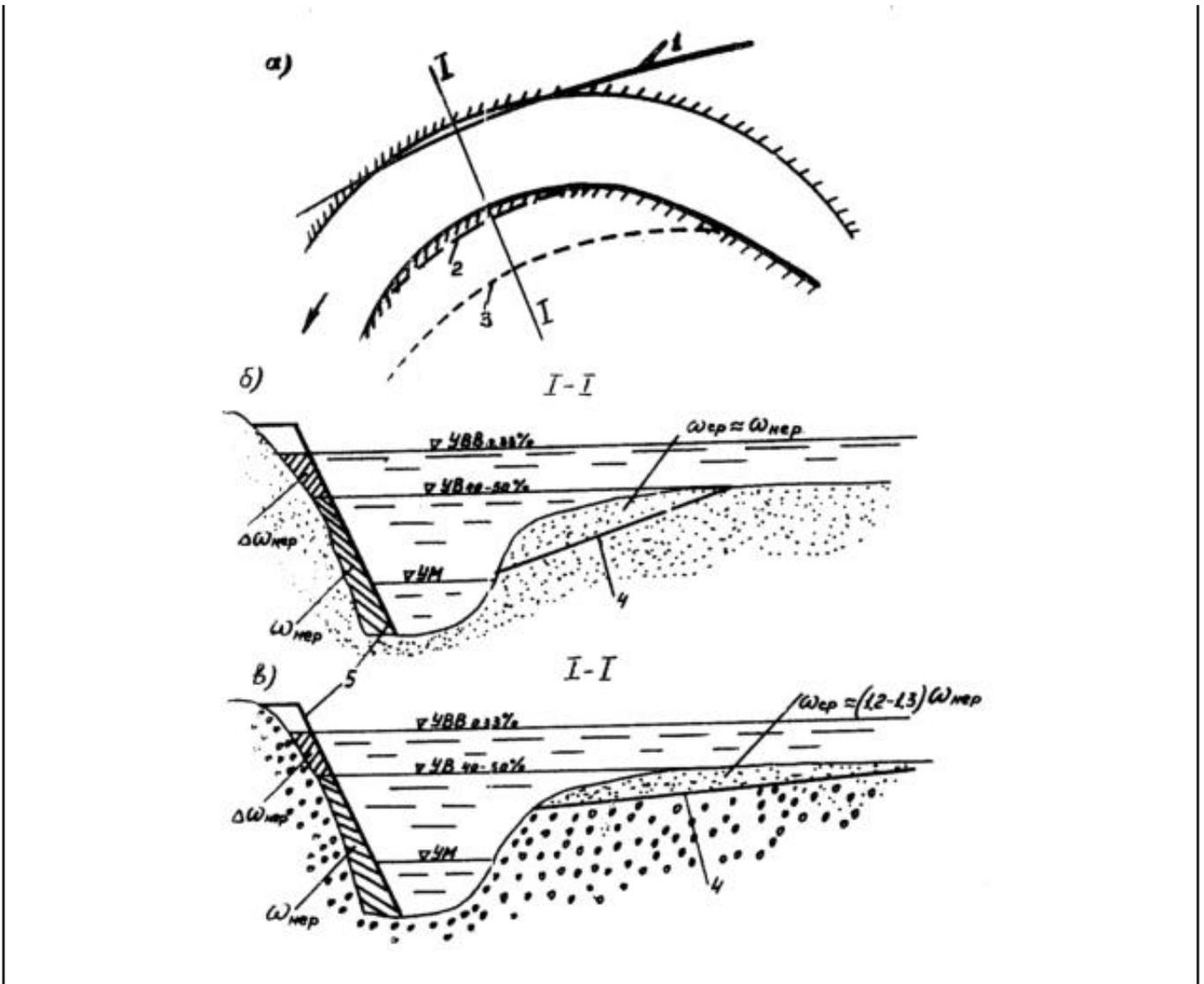


Рис. 8 . Срезка выпуклого берега:

а - план срезки ; б - поперечное сечение створа I-I при однородном геологическом строении долины; в - то же при неоднородном строении:

1 - трасса; 2 - граница срезки при однородном геологическом строении долины; 3 - то же при неоднородном; 4 - поперечное сечение срезки; 5- насыпь

б) при неоднородном геологическом строении по ширине долины, когда на пойме имеется верхний легкоразмываемый слой толщиной свыше 1 м, - из расчета площади сечения срезки на 20-30% больше площади $\omega_{нep}$ (рис. 8,в).

4.6. При устройстве срезки среднюю скорость потока в русле рассчитывают как бытовую с коэффициентом $K_{срез}$, определяемым по формулам:

для условий п. 4.5.а

$K_{срез} = \frac{\omega_{рб}}{\omega_{рб} - 0,3\omega_{нep} - \Delta\omega_{нep}} ;$	(33)
---	------

для условий п. 4.5.б

$K_{срез} = \frac{\omega_{рб}}{\omega_{рб} + (0,1 \div 0,2)\omega_{нep} - \Delta\omega_{нep}} ;$	(34)
--	------

где $\omega_{рб}$ - площадь сечения русла в бытовых условиях при расчетном (или другом рассматриваемом) уровне;

$\Delta\omega_{\text{нер}}$ - часть площади насыпи, стесняющей русло выше его бровок (см. рис.8).

Если по формуле (34) получают $K_{\text{срез}} \leq 1$, то коэффициент $K_{\text{срез}}$ следует принимать равным единице.

Примеры расчета

Пример 1. Определить длину защитного фронта шпоры длиной $L = 25$ м, примыкающей к вогнутому берегу криволинейного русла под углом $\alpha = 70^\circ$. Угол разворота излучины $\alpha_n = 96^\circ$ (рис. 9)

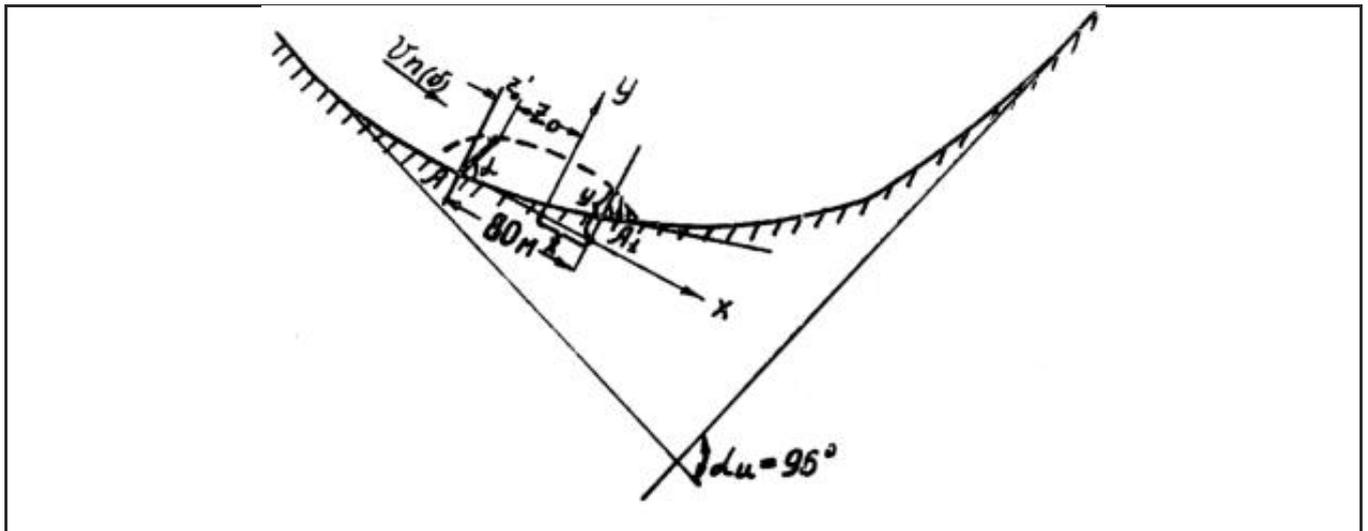


Рис.9 . К расчету длины низовой шпоры

По формуле (15) определяем расчетную длину шпоры $L_p = 25 \cdot \sin 70^\circ = 23,5$ м. По формуле (30) длина защитного фронта шпоры равна

$$Z \leq \frac{2 \cdot 23,5}{\frac{\text{tg} \frac{96}{4}}{4}} = 105 \text{ м.}$$

Для прямого участка русла длина защитного фронта по формуле (29) будет равна $Z = 7 \cdot 23,5 \approx 165$ м.

Пример 2. Для условий примера 1 определить наименьшую расчетную длину шпоры, расположенной ниже по течению от указанной в примере 1 на 80 м.

Проведем линию, касательную к берегу в точке примыкания сооружения (точка А на рис. 9). Эта линия будет осью X. Тогда ось Y, расположенная в створе наибольшего удаления граничной струи от оси X, по формуле (31) будет находиться от расчетного створа сооружения на расстоянии $Z_0 = \frac{105 - 23,5}{2} = 40,75$ м.

Нетрудно убедиться, что расчетный створ отстоит от корня сооружения точки А на

$$Z_0^1 = \frac{L_p}{\text{tg} \alpha} = \frac{23,5}{\text{tg} 70^\circ} = 8,5 \text{ м.}$$

Ось Y будет ниже корня сооружения на $Z_0 + Z_0^1 = 40,75 + 8,5 \approx 49$ м,

а следующее сооружение предполагается расположить ниже оси Y на $X = 80 - 49 = 31$ м.

Найдем оси эллипса, по которому описывается граничная струя транзитного потока:

малая полуось $a_y = 1,4L_p = 1,4 \cdot 23,5 \approx 33$ м, большая $a_x = \frac{Z + L_p}{2} = \frac{105 + 23,5}{2} \approx 64$ м. По формуле (32) в створе $X = 31$ м граничная струя транзитного потока будет отстоять от оси X на $Y = \frac{33}{64} \sqrt{64^2 - 31^2} = 29,4$ м.

Из рис. 9 определяем, что по створу, расположенному в 80 м от корня верхового сооружения, расстояние от берега (точка A_1) до граничной струи транзитного потока приблизительно равно 15 м. Этот створ примыкает к берегу под углом $\alpha_j = 75^\circ$. Тогда по формуле (15) расчетная длина шпоры в рассматриваемой створе должна быть более $L_p > 15 \cdot \sin 75^\circ = 14,5$ м. В то же время из условия стеснения живого сечения потока расчетная длина шпоры должна быть не более длины, рассчитанной по неравенству (28).

Расчет размеров траверс производится аналогичным способом. При этом условие неравенства (28) соблюдать не надо.

Пример 3. Определить для условий примера 1 (п. 2) скорость потока у подошвы насыпи на прижимном участке криволинейного русла со срезкой, запроектированной с учетом однородного геологического строения русла и поймы. В сечении наибольшего стеснения русла площади насыпи от расчетного уровня воды до бровки русла и ниже бровки русла соответственно равны (см. рис. 8) $\Delta\omega_{\text{нер}} = 18 \text{ м}^2$ и $\omega_{\text{нер}} = 80 \text{ м}^2$.

По формуле (5) при $\xi_0 = 1,04$ и $\zeta = 0,55$ находим радиус кривизны по оси русла при заданном

уровне $R_c = \frac{120 \cdot 0,55}{1,04 \left(\frac{4,6}{3,8} \right)^{2/9} - 1} = 755$ м, а по табл. 5 при $\frac{B_{\text{бр}}}{R_c} = \frac{120}{775} = 0,155$ коэффициент

увеличения скорости у вогнутого берега $K_r \approx 1,12$. Площадь сечения русла в бытовых условиях при расчетном уровне $\omega_{\text{бр}} = B_{\text{бр}}H = 120 \cdot 3,8 = 456 \text{ м}^2$. По формуле (33) коэффициент

увеличения средней скорости потока в русле равен $K_{\text{сред}} = \frac{456}{456 - 0,3 \cdot 80 - 18} = 1,1$

Скорость потока у подошвы насыпи получим с учетом формулы (2) и рекомендаций п. 4.6:

$$v_{\text{п}} = K_r K_{\text{сред}} v = 1,12 \cdot 1,1 \cdot 1,8 = 2,22 \text{ м/с.}$$

Заметим, что в нестесненном русле (см. пример 1, п.2) аналогичная скорость равна 2,03 м/с.

При неоднородном геологической строении долины по ее ширине коэффициент увеличения средней скорости потока в русле по формуле (34) был бы равен

$$K_{\text{сред}} = \frac{456}{456 - 0,15 \cdot 80 - 18} \approx 1,02 .$$

Тогда $v_{\text{п}} = 1,12 \cdot 1,02 \cdot 1,8 \approx 2,06 \text{ м/с.}$

5. РАСЧЕТ НАБРОСКИ ИЗ ОДНОРОДНОГО ПО КРУПНОСТИ МАТЕРИАЛА

5.1. Каменный материал, применяемый для укрепления откосов, считается однородным, если:

при ледовых и волновых воздействиях наброска содержит неполномерных камней, имеющих массу не менее половины расчетного, не более 25 % от общего объема;

при воздействии продольных течений соблюдается условие

$$\frac{d_n}{d_{10}} \leq 1,6 ; \quad (35)$$

где d_n , d_{10} - средний диаметр материала наброски и диаметр частиц, мельче которых в наброске содержится не более 10 % по массе.

5.2. Определяющие воздействия при укреплении каменной наброской откосов насыпей и берегов находят методом сопоставления требующихся крупностей камня для рассматриваемых силовых воздействий или рассчитывают по следующим неравенствам.

При сопоставлении; воздействий от продольных течений и волн на пойменные подходы волновые воздействия будут определять мощность укрепления при соблюдении условия

$$h_e > 1,1 \frac{v_{\pi}^4}{g^2 h_{\pi}} f(m) ; \quad (36)$$

где h_e - расчетная высота волны, определяемая согласно СНиП П-57-75 [8];

$f(m)$ - коэффициент, зависящий от крутизны откоса насыпи и коэффициента естественного откоса камня под водой [4]; при $m_0 = 1,2$ значение коэффициента можно определять по табл. 7.

Таблица 7

m	1,5	2,0	2,5	$\geq 3,0$
$f(m)$	1,66	1,1	1,0	0,97

На прилимных участках мощность укрепления определяют ледовые воздействия при соблюдении условия

$$h_{\pi} > \frac{150}{B_p} d_x^2 . \quad (37)$$

где h_{π} - расчетная толщина льда, определяемая по НИМП-72, для района БАМ - по работе [9];

d_x - расчетная крупность однородного камня, устойчивого на откосе насыпи при воздействии продольных течений: определяют согласно п. 5.3;

B_p - ширина русла на уровне подвижки льда.

5.3. Расчетная (требуемая) крупность однородного камня d_k для укрепления откосов насыпей при воздействии продольных течений зависят от местоположения насыпи относительно русла и наличия поперечных сооружений.

Для насыпей, находящихся под защитой поперечных сооружений, расчетную крупность однородного камня определяют по формуле

$$d_x = 0,04 \frac{v_{\pi}^2}{g} \frac{m}{\sqrt{m^2 - m_0^2}} , \quad (38)$$

где m_0 - коэффициент заложения естественного откоса камней под водой (для практических расчетов $m_0 = 1,3-1,1$, где большие значения принимают для округлых, а меньшие - для угловатых камней).

При отсутствии поперечных сооружений d_k рассчитывают по следующим формулам:

для пойменных насыпей

$d_x = 0,58 \frac{v_{\pi}^4}{g^2 h_{\pi}} \left(\frac{m}{\sqrt{m^2 - m_0^2}} \right)^{1/2};$	(39)
---	------

для насыпей (и берегов) на прижимах рек при числах Фруда $F_r \leq 0,43 \frac{K_{v_0(\pi)}^3}{K_{v_0}}$

$d_x = 0,58 \frac{v_{\pi}^4}{g^2 h_{\pi} K_{v_0} K_{v_0(\pi)}^3},$	(40)
--	------

при числах Фруда $F_r > 0,43 \frac{K_{v_0(\pi)}^3}{K_{v_0}}$

$d_x = \frac{v_{\pi}^2}{4g^2 K_{v_0}^3},$	(41)
---	------

где $K_{v_0}, K_{v_0(\pi)}$ - коэффициенты уменьшения размывающей скорости потока соответственно на откосе и подошве, определяемые по формулам

$K_{v_0} = \left(\sqrt{1 - \left(\frac{m_0}{m} \right)^2} - 10 \frac{m_0}{m} \frac{h_{\pi}}{R} \right)^{1/2},$	(42)
--	------

$K_{v_0(\pi)} = \left(1 - 10 \frac{m_0}{m} \frac{h_{\pi}}{R} \right)^{1/2},$	(43)
---	------

В формулах (42) и (43) радиус кривизны потока у подошвы насыпи на криволинейных участках определяют согласно п. 2.7; на прямолинейных участках принимают $R = \infty$.

При $10 \frac{m_0}{m} \frac{h_{\pi}}{R} \geq 0,3$ второй член в формулах (42) и (43) принимают равный 0,3.

Числа Фруда определяют для вертикали у подошвы насыпи по формуле

$F_r = \frac{v_{\pi}^2}{g h_{\pi}},$	(44)
--------------------------------------	------

5.4. Расчетную крупность однородного камня для укрепления откосов насыпей от ледовых воздействий можно определять в первом приближении по формуле

--	--

$$d_x = 1,1 \left(\frac{B_p h_x \rho_0 - \rho_x}{\rho_k} \frac{1}{1 + 4,42 \frac{m}{\sqrt{1+m^2}}} \right)^{1/2}, \quad (45)$$

ρ_0, ρ_l, ρ_k - соответственно плотность воды, льда и камня.

При ледовых воздействиях можно пользоваться также упрощенной формулой, полученной из равенства (45) для $m = 2$; $\rho_0 = 1 \text{ тс/м}^3$, $\rho_l = 0,9-0,95 \text{ тс/м}^3$ и $\rho_k = 2,65 \text{ тс/м}^3$.

$$d_x = 0,083 (B_p h_x)^{1/2}, \quad (46)$$

5.5. Подошва откосов насыпей должна укрепляться, если возможны деформации основании насыпи (см. п. 2.6).

При волновых воздействиях основания пойменных насыпей будут деформироваться при условии

$$\frac{h_e}{\lambda} \geq \frac{1,32}{\rho} \sqrt{\frac{v_0}{\lambda} \sqrt{\frac{d}{S h} \frac{4 \pi h_{\text{п}}}{\lambda}}}, \quad (47)$$

где λ - расчетная длина волны, определяемая согласно СНиП II-57-75 [8];

ρ - коэффициент, принимаемый в зависимости от пологости волны λ / h_e (табл.8)

Таблица 8

λ / h_e	8	10	15	20
ρ	1,06	1,24	1,33	1,42

Значение гиперболической функции рекомендуется определять по графику (рис. 10).

5.6. Крупность камня в рисбермах, устраиваемых для защиты подошвы насыпи от воздействия продольных течений, рекомендуется назначать как для откосов при соответствующих условиях (см. п. 5.3).

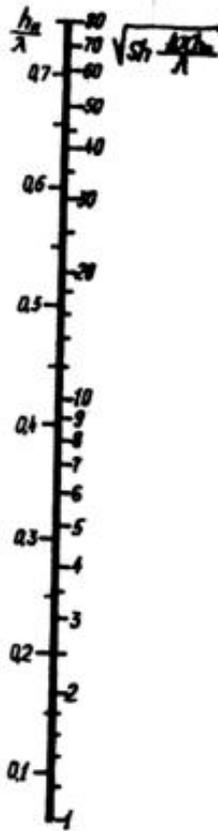


Рис. 10 . Значение гиперболической функции $Sh \frac{4\pi h_{т}}{\lambda}$.

При волновых воздействиях крупность камня в рисберме определяют по формуле

$$d_x = 0,25 \frac{\rho_e^2 h_e^2}{\lambda \sqrt{Sh \frac{4\pi h_{т}}{\lambda}}} \quad (48)$$

В обычных случаях при учете воздействия на пойменную насыпь ветровых волн высотой до $h_e \leq 1,5$ м в рисберму требуется материал мельче 3-5 см.

5.7. Расчетная крупность однородного камня для укрепления откосов поперечных сооружений (траверсов, шпор и т.п.) зависит от размеров и планового положения этих сооружений.

Для сооружений, примыкающих к насыпи или берегу под углом $90 \geq d \geq 45^\circ$ (см. рис.5) расчетную крупность однородного камня определяют по формулам в зависимости от величины $\Delta /$ (см. п. 5.6):

при $\frac{\Delta}{m} \leq h_{т}$

$$d_x = C_v \left[\left(\frac{L_p}{h_{т}} \right)^{1/2} + 9,25 \frac{v_{m(6)}^2}{g h_{т}} \left(\frac{h_{т}}{e_p} \right)^{1/4} \frac{m^2}{\sqrt{m^2 - m_0^2}} \right], \quad (49)$$

при $\frac{\Delta}{m} > h_{т}$

$$d_x = 0,38 \frac{v_{m(6)}^4}{g^2} \frac{L_p}{h_{т}^2} \frac{m^2}{m^2 - m_0^2}, \quad (50)$$

где C_v - коэффициент, определяемый по формуле

$$C_v = 0,1 \frac{v_{п(б)}^2}{g} \frac{m}{\sqrt{m^2 - m_0^2}}, \quad (51)$$

e_p - расчетная ширина поперечного сооружения, определяемая по формуле

$$e_p = e_n - h_{\pi} m, \quad (52)$$

e_n - ширина поперечного сооружения понизу по створу, перпендикулярному продольной оси (см. рис.5).

Для сооружений, примыкающих к насыпи (берегу) под углом $\alpha < 45^\circ$,

$$d_x = 0,58 \frac{v_{п(б)}^4}{g^2} \frac{C_\alpha^4}{h_{\pi}} \frac{m^2}{m^2 - m_0^2}, \quad (53)$$

где

$$C_\alpha = 1 + 0,9 \left(\frac{L_0}{h_{\pi}} \right)^{1/4} \sqrt[3]{\frac{\alpha}{45}} - \sqrt[3]{\frac{\alpha}{45}}. \quad (54)$$

5.8. Величину отжима потока Δl от поперечных сооружений (рис. 11), примыкающих к насыпи (берегу) под углом $90 \geq \alpha \geq 45^\circ$, определяют по формуле

$$\Delta l \approx 0,3 e_p. \quad (55)$$

5.9. По крупности камня в наброске укрепления попе речных сооружений можно разделять на три участка (см. рис. 11).

К участку I относится головная часть сооружений, откосы которой требуется укреплять камнем расчетной крупности, определенной по формулам (49), (50), (53).

К участку II относятся части поперечных сооружений, попадающие в водоворотную зону. Крупность камня для укрепления откосов на участке II определяют по формуле (38).

Третий участок - I A - выделяют только для сооружений, примыкающих к насыпи (или берегу) под углом $\alpha < 45^\circ$. К участку I A относится верховая часть поперечных сооружений между участками I и II. Крупность камня для укрепления откосов рассматриваемого участка определяют по формуле

$$d_x = 0,58 \frac{v_i^4 m^2}{g^2 h_{\pi} (m^2 - m_0^2)}, \quad (56)$$

где v_i - наибольшая скорость потока у подошвы откоса на выбранном участке I A, определяемая по линейной интерполяции между скоростями $v_{п \alpha}$ в расчетном створе и $0,4 v_{п(б)}$ на участке примыкания к рассматриваемому сооружению водоворотной зоны от вышестоящего сооружения.

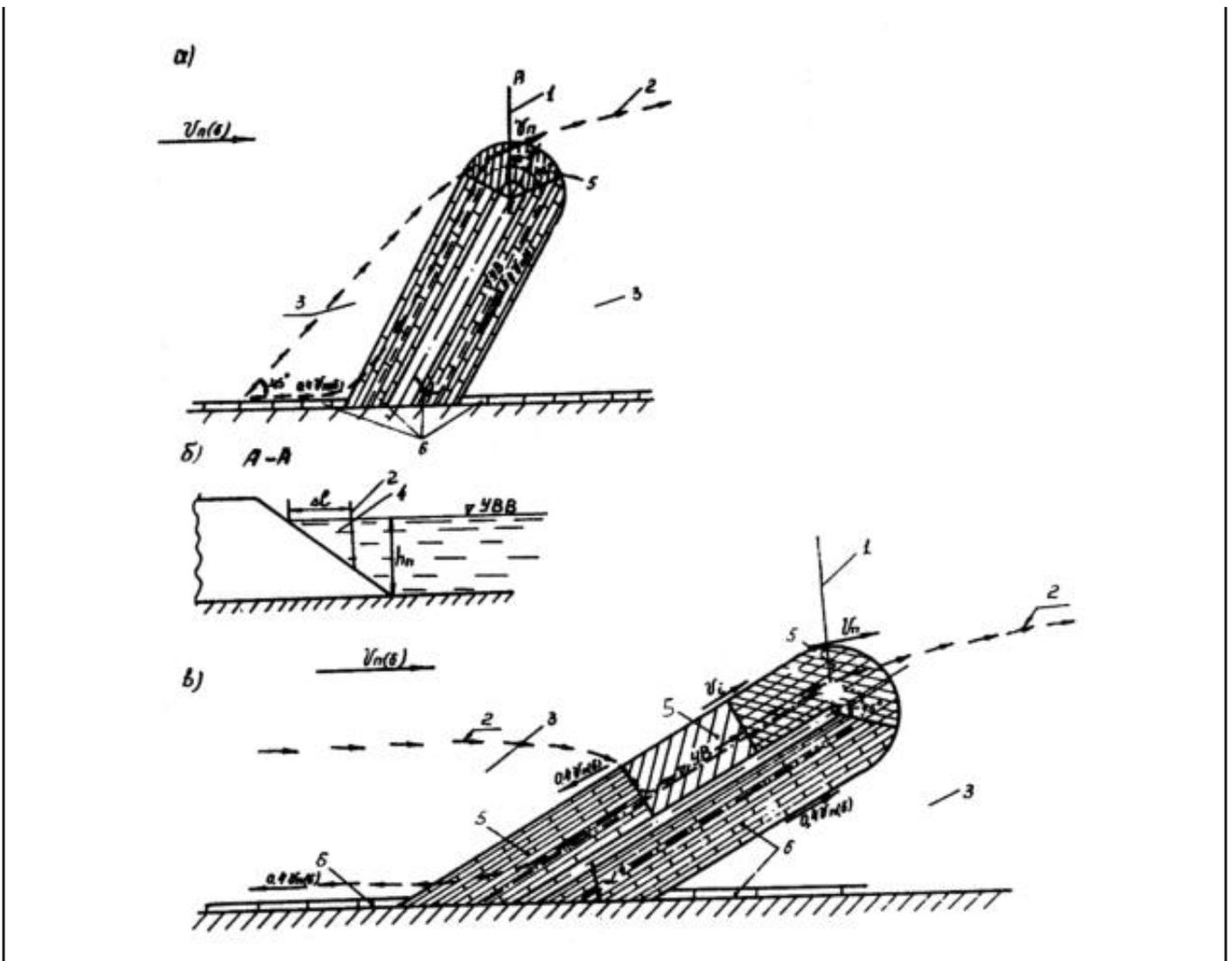


Рис. 11 . Укрепление откосов поперечных сооружений:

а - примыкание под углом $\alpha \geq 45^\circ$; б - сечение А-А; в - примыкание под углом $\alpha < 45^\circ$:

1 - расчетный створ; 2 - границная струя транзитного потока; 3 - водоворотная зона; 4 - участок не транзитного потока ; 5 -участок с укреплением типа I; 6 - то же типа II; 7 - то же типа IА

5.10. Крупность камня у основания сооружений для защиты подошвы поперечных сооружений от воздействия продольных течений рекомендуется назначать, как для откосов в соответствующих условиях (см. пп. 5.7 и 5.9).

5.11. Расчетную крупность однородного камня для укрепления откосов струенаправляющих дамб определяют по формулам

при числах Фруда $F_r \leq 0,43 \frac{\sqrt{m^2 - m_0^2}}{m}$

$$d_x = \frac{v_{\pi}^2}{4g} \frac{m}{\sqrt{m^2 - m_0^2}}, \quad (57)$$

при числах Фруда $F_r > 0,43 \frac{\sqrt{m^2 - m_0^2}}{m}$

$$d_x = 1,35 \frac{v_{\pi}^6}{g^3 h_{\pi}^2} \left(\frac{m}{\sqrt{m^2 - m_0^2}} \right)^3, \quad (58)$$

Числа Фруда определяют по формуле (44) для вертикали у подошвы дамб в створе мостового перехода.

5.12. По крупности камня в наброске укрепления струенаправляющих дамб можно разделить на два участка (рис. 12).

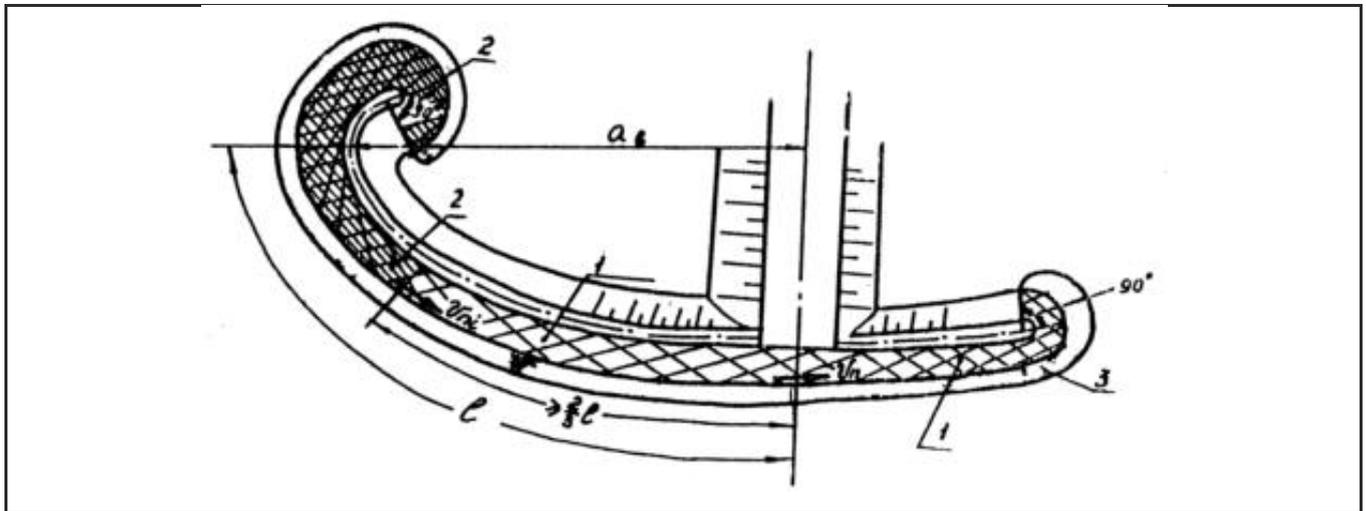


Рис.12 . Укрепление струенаправляющих дамб :

1 - участок с укреплением типа I; 2 - то же типа II; 3 - укрепление подошвы

К участку I относятся низовая и 2/3 верховой дамбы (считая от оси моста по подошве). Откосы участка I укрепляют камнем расчетной крупности согласно п. 5.11.

К участку II относятся головная часть верховой дамбы. Этот участок при условии $v_{pi} < 0,50 v_n$ можно укреплять камнем, крупность которого определяют по формуле

$$d_x = 0,455 \frac{v_{pi}^2}{g} \frac{m}{\sqrt{m^2 - m_0^2}}, \quad (59)$$

при числах Фруда $F_r > 0,43 \frac{\sqrt{m^2 - m_0^2}}{m}$

$$d_x = 8,15 \frac{v_{pi}^6}{g^3 h_{pi}^2} \left(\frac{m}{\sqrt{m^2 - m_0^2}} \right)^3, \quad (60)$$

где v_{pi} , h_{pi} - скорость и глубина потока у подошвы струенаправляющей дамбы на границе I и II участков.

При $v_{pi} \geq 0,50 v_n$ струенаправляющая дамба должна укрепляться камнем одной крупности, определенной по формулам (57) иди (58);

5.13. Для защиты подошвы струенаправляющих дамб от воздействия продольных течений крупность камня у основания сооружений рекомендуется назначать как для откосов в соответствующих условиях (см. п. 5.11 и 5.12).

5.14. Требуемую толщину однородной наброски на откосе (в направлении, перпендикулярном откосу) определяют по формуле

$$\delta = A \frac{m}{\sqrt{m^2 - 1}} \frac{v_\phi \sqrt{d_x}}{\sqrt{g}} \left(\frac{v_\phi}{v_{0(от)}} - 1 \right)^{3/4}, \quad (61)$$

где A - коэффициент, зависящий от числа слоев наброски и определяемый по табл.9.

Таблица 9

Число слоев,	1	2	3	4	5	≥ 6
A	1,10	0,75	0,65	0,56	0,50	0,47

$v_{0(от)}$ - размывающая скорость для частиц грунта, подстилающих наброску на откосе, определяемая согласно п. 5.16;

$v_{ф}$ - фактическая скорость, по которой определяли крупность камня на рассматриваемом участке откоса.

При определении толщины слоев следует учитывать, что толщина одного слоя составляет $(0,7 \div 0,8) d_H$.

Для определения требуемой толщины наброски задаются числом слоев наброски $n_{ук}$ и рассчитывают величину δ по формуле (61), которую сопоставляют с фактической толщиной наброски в $n_{ук}$ слоев

$\delta_{ф} = (0,7 \div 0,8) n_{ук} d_H$,	(62)
--	-------

При $\delta_{ф} < \delta$ число слоев увеличивают и повторяют расчет до соблюдения условия $\delta_{ф} \geq \delta$

5.15. Для уменьшения толщины наброски устраивают щебеночную подготовку. В этом случае требуемая толщина наброски равна

$\delta_H = \delta - \delta_{эвб(п)}$,	(63)
---	-------

где $\delta_{эвб(п)}$ - эквивалентная толщина щебеночной подготовки, определяемая по формуле

$\delta_{эвб(п)} = \delta_H \sqrt{\frac{d_H}{d_{п}}}$,	(64)
---	-------

Здесь d_H , δ_H - крупность материала и толщина подготовки. При определении δ в формуле (63) коэффициент A назначают по суммарному числу слоев к числу слоев подготовки прибавляют отыскиваемое число слоев наброски;

5.16. Размывающую скорость $v_{0(от)}$ для частиц грунта d , подстилающих наброску на откосе, определяют по табл. 10 в зависимости от типа сооружения и его местоположения относительно русла

Таблица 10

Тип сооружения	Дополнительные условия	Расчетная формула размывающей скорости	№ формулы
Насыпи и поперечные сооружения	Находятся под защитой поперечных сооружений	$v_{0(от)} = 2 \sqrt{gd} \left(\frac{m^2 - m_0^2}{m^2} \right)^{1/4}$	65
Пойменная насыпь	Поперечных сооружений нет	$v_{0(от)} = 1,15 \sqrt{g} (k_H d)^{1/4} \left(\frac{\sqrt{m^2 - m_0^2}}{m} \right)^{7/8}$	66

Насыпь на прижимах рек (без поперечных сооружений)	$F_r \leq 0,43 \frac{K_{v_0}^3}{K_{v_0}}$	$v_{0(от)} = 1,15 \sqrt{g} (h_{\pi} d)^{1/4} K_{v_0} \left(\frac{K_{v_0}}{K_{v_0(\pi)}} \right)^{3/4}$	67
	$F_r > 0,43 \frac{K_{v_0}^3}{K_{v_0}}$	$v_{0(от)} = 2K_{v_0} \sqrt{gh}$	68
Поперечные сооружения	Примыкание $\alpha \leq 45^\circ; \frac{\Delta l}{m} \leq h_{\pi}$	$v_{0(от)} = 0,85 \sqrt{g} (d e_p)^{1/4} \left(\frac{m^2 - m_0^2}{m^3} \right)^{1/4}$	69
	То же при $\frac{\Delta l}{m} > h_{\pi}$ или с примыканием $\alpha < 45^\circ$	$v_{0(от)} = 1,15 \sqrt{g} (d h_{\pi})^{1/4} \left(\frac{\sqrt{m^2 - m_0^2}}{m} \right)^{1/2}$	70
Струенаправляющая дамба	-	См. формулу 65	

5.17. Для обеспечения устойчивости каменной наброски на откосе рекомендуется устраивать упорную призму. При размывах подошвы откоса размеры призмы назначают такими, чтобы в призме было достаточно камней, как для упора вышележащей конструкции укрепления, так и для защиты образуемого при размыве откоса.

Для укреплений из каменной наброски, если коэффициент заложения укрепляемого откоса сооружений или берега не меньше $m = 2$, призма назначается только из расчета защиты образуемого при размыве откоса.

Объем 1 м призмы (рисбермы) для защиты образуемого при размыве откоса определяют по формуле

$W_{\text{пр}} = \Delta h d_{\text{н}} \sqrt{1 + m_{\text{от}}^2},$	(71)
---	------

где Δh - высота откоса, подлежащего защите при размыве основания сооружений;

$m_{\text{от}}$ - коэффициент естественного заложения размываемого грунта под водой; для несвязных грунтов с диаметром частиц мельче 2-3 мм $m_{\text{от}} = 1,6-2$.

Примеры расчета

Пример 1. Найти определяющее силовое воздействие на откосы пойменной насыпи.

Исходные данные: скорость и глубина потока у подошвы насыпи соответственно $v_{\pi} = 1,8 \text{ м/с}$, $h_{\pi} = 2,2 \text{ м}$; расчетная высота волны $h_{\text{в}} = 0,25 \text{ м}$; откосы насыпи $m = 2$. Определяем правую часть неравенства (36), в которой из табл. 7 $f(m) = 1,1$.

$1,1 \frac{1,8^4}{9,8^2 \cdot 2,2} = 1,1 = 0,06 < h_{\text{в}} = 0,25 \text{ м}$. Следовательно, волновые. Бездействия будут определять мощность укрепления откосов (при их укреплении каменной наброской).

Пример показывает, что в практических случаях даже при незначительных волновых воздействиях на подходную насыпь они будут определяющими.

Пример 2. Для условий примера 1 определить возможность деформации основания насыпи, если пойма сложена несвязным грунтом со средним диаметром частиц $d = 0,7$ мм, а длина ветровой волны $\lambda = 3,6$ м.

Возможность деформации основания насыпи определяем по неравенству (47).

Предварительно по табл. 8 при $\frac{\lambda}{h_e} = \frac{3,6}{0,25} = 14,4$ находим коэффициент $\rho = 1,32$; при

$\frac{h_{\pi}}{\lambda} = \frac{2,2}{3,6} = 0,61$ по графику (см. рис. 10) значение гиперболической функции $\sqrt{Sh \frac{4\pi h_{\pi}}{\lambda}} = 33$ и

по формуле (9) величину размывающей скорости $v_0 = 1,15 \sqrt{9,8(2,2 \cdot 0,0007)^{1/4}} = 0,93$ м/с.

Правая часть неравенства (47) равна.

$$\frac{1,32}{1,32} \sqrt{\frac{0,93}{3,6} \sqrt{\frac{0,0007}{9,8}}} 33 = 1,59, \text{ что больше } \frac{h_e}{\lambda} = \frac{0,25}{3,6} = 0,07 \text{ Следовательно, укреплять}$$

основание насыпи не требуется.

Пример 3. Найти крупность однородного камня для защиты откосов насыпи, попадающей в русло, от определяющего силового воздействия. Исходные данные для расчета: у подошвы насыпи с крутизной откосов $m = 2$ скорость $v_n = 4,4$ м/с, глубина потока $h_n = 6,3$ м, радиус кривизны токов $R = 560$ м; на уровне подвижки льда расчетной толщиной $h_n = 0,5$ м ширина русла $B_p = 60$ м.

Вначале рассчитаем крупность однородного камня для защиты от продольных течений.

Найдем предварительно по формулам (42) и (43) коэффициенты уменьшения размывающей скорости потока (принимая $m_0 = 1,15$):

$$K_{v_0} = \left(\sqrt{1 - \left(\frac{1,15}{2} \right)^2} - 10 \frac{1,15}{2} \frac{6,3}{560} \right)^{1/2} = 0,867 ;$$

$$K_{v_0(\pi)} = \left(1 - 10 \frac{1,15}{2} \frac{6,3}{560} \right)^{1/2} = 0,968$$

По формуле (44) определяем число Фруда для потока на вертикали у подошвы насыпи

$$F_v = \frac{4,4^2}{9,8 \cdot 6,3} = 0,315 \text{ и сопоставляем это число с критериальным } 0,43$$

$$\frac{K_{v_0(\pi)}^3}{K_{v_0}} = 0,43 \cdot \frac{0,968^3}{0,867} = 0,446 .$$

Поскольку фактическое число Фруда меньше критериального ($F_v < 0,43 \frac{K_{v_0(\pi)}^3}{K_{v_0}}$), крупность

однородного камня находим по формуле (40)

$$d_x = 0,58 \frac{4,4^4}{9,8^2 \cdot 6,3 \cdot 0,867 \cdot 0,967^3} = 0,465 \text{ м.}$$

Рассчитываем правую часть неравенства (37):

$\frac{150}{B_p} d_x^2 = \frac{150}{60} \cdot 0,465^2 = 0,543$ м, что больше расчетной толщины льда. Следовательно, продольные течения являются определяющими при расчете укрепления откосов насыпи.

По Формуле (46) при ледовых воздействиях требуется однородный камень крупностью

$$d_x = 0,083(60 \cdot 0,5)^{1/2} = 0,455 \text{ м.}$$

Пример 4. Для условий примера 3 (ледовые воздействия отсутствуют) рассчитать крупность однородного камня в голове сплошной незатопляемой шпоры с расчетными параметрами: длина $L_p = 20$ м, ширина $b_p = 14$ м и коэффициент заложения откосов $m = 1,7$. Шпора примыкает к насыпи под углом $\alpha = 70^\circ$.

По формуле (55) определим величину отжима потока от поперечного сооружения $\Delta l = 0,3 \cdot 14 = 4,2$ м.

При $\frac{\Delta l}{m} = \frac{4,2}{1,7} < h_{кр} = 6,3$ м и крупность однородного камня определяем по формуле (49)

$$d_x = 0,1 \frac{4,4^2}{9,8} \frac{1,7}{\sqrt{1,7^2 - 1,15^2}} \left[\left(\frac{20}{6,3} \right)^{1/2} + 9,25 \frac{4,4^2}{9,8 \cdot 6,3} \left(\frac{6,3}{14} \right)^{1/4} \frac{1,7^2}{\sqrt{1,7^2 - 1,15^2}} \right] =$$

$$= 0,268(1,78 + 5,46) = 1,94 \text{ м.}$$

Понятно, что такая крупность камня не может быть применена в наброске. При этом согласно п. 4.2 снижение крупности камня при $\alpha > 45^\circ$ можно добиться только уменьшением расчетной длины сооружения. Это снижение незначительно. Действительно, сократив в два раза ($L_p = 10$ м) получим $d_k = 1,71$ м.

Для унижения крупности камня примем угол примыкания шпоры к насыпи $\alpha = 25^\circ$, а коэффициент заложения откоса $m = 2$ и $m = 2,5$ (для простоты расчета размеры шпор оставим постоянными и равными $L_p = 10$ м, $b_p = 14$ м).

По формуле (54) предварительно найдем коэффициент

$$C_\alpha = 1 + 0,9 \left(\frac{10}{6,3} \right)^{1/4} \sqrt[3]{\frac{25}{45}} - \sqrt[3]{\frac{25}{45}} = 1,01$$

Тогда по формуле (55) крупность однородного камня будет равна

при $m = 2$

$$d_x = 0,58 \frac{4,4^4 \cdot 1,01^4}{9,8^2 \cdot 6,3} \frac{2^2}{2^2 - 1,15^2} = 0,562 \text{ м;}$$

при $m = 2,5$

$$d_x = 0,58 \frac{4,4^4 \cdot 1,01^4}{9,8^2 \cdot 6,3} \frac{2,5^2}{2,5^2 - 1,15^2} = 0,477 \text{ м.}$$

Пример 5. Для условий примера 3 (ледовые воздействия отсутствуют) рассчитать крупность однородного камня на откосе насыпи при наличии поперечных сооружений. Расчет производим по формуле (38)

$d_x = 0,04 \frac{4,4^2}{9,8} \frac{2}{\sqrt{2^2 - 1,15^2}} = 0,097$ м (для сравнения: без поперечных сооружений крупность камня $d_k = 0,465$ м - см. пример 3).

Пример 6. Для условий примеров 1 и 2 (п. 3) рассчитать в створе моста крупность однородного камня для укрепления правобережной дамбы с откосами $m = 1,5$.

Расчет проведем для гидравлических условий до и после размыва (будем их обозначать соответственно индексами "1" и "2").

Вначале по формуле (44) определим числа Фруда на рассматриваемой вертикали у подошвы дамбы.

$$F_{v1} = \frac{0,93^2}{9,8 \cdot 1,90} = 0,0462, \quad F_{v2} = \frac{1,15^2}{9,8 \cdot 5,30} = 0,0253$$

и сопоставим их с критериальным числом $0,43 \frac{\sqrt{1,5^2 - 1,15^2}}{1,5} = 0,276$. Поскольку соблюдается

неравенство $F_v < 0,43 \frac{\sqrt{m^2 - m_0^2}}{m}$, то крупность однородного камня определяем по формуле (57). При этом определяющими будут условия после размыва (так как $v_{п2} > v_{п1}$).

$$d_x = \frac{1,15^2}{4 \cdot 9,8} \frac{1,5}{\sqrt{1,5^2 - 1,15^2}} \approx 0,052 \text{ м.}$$

Крупность камня получена небольшая, поэтому дифференциации участков по крупности камня в наброске не требуется.

Пример 7. Для условий примера 3 рассчитать толщину набросного укрепления откосов насыпи из однородного камня средней крупностью $d_n = 0,5$ м. Тело насыпи сложено из гравийно-песчаной смеси со средним диаметром частиц $d = 6$ мм.

Толщину наброски определяем по формуле (61). Предварительно по формуле (67) рассчитываем размывающую скорость для грунта тела

$$\text{насыпи } v_{0(\text{от})} = 1,15 \cdot \sqrt{9,8} (6,3 \cdot 0,006)^{1/4} 0,867 \left(\frac{0,867}{0,968} \right)^{3/4} = 1,27 \text{ м/с.}$$

Задаемся тремя слоями камня; $\delta_\phi = 0,5 \cdot 0,70 \cdot 3 = 1,05$ м. По табл. 9 при $n_{ук} = 3$; $A = 0,65$. Тогда

$$\delta = 0,65 \frac{2}{\sqrt{1+2^2}} \frac{4,4\sqrt{0,5}}{\sqrt{9,8}} \left(\frac{4,4}{1,27} - 1 \right)^{3/4} = 1,14 \text{ м.}$$

Так как $\delta_\phi < \delta$, то требуется увеличить число слоев. При $n_{ук} = 4$, $A = 0,56$, $\delta_\phi = 0,5 \cdot 0,70 \cdot 4 =$

$$1,40 \text{ м и } \delta = 0,56 \frac{2}{\sqrt{1+2^2}} \frac{4,4\sqrt{0,5}}{\sqrt{9,8}} \left(\frac{4,4}{1,27} - 1 \right)^{3/4} = 0,98 \text{ м.}$$

К расчету следует принимать наброску из четырех слоев толщиной 1,4 м.

Для уменьшения числа слоев устроим щебеночную подготовку (щебень крупностью $d_n = 60$ мм) толщиной $\delta_n = 20$ см (пять слоев $n_n = 5$).

По формуле (64) эквивалентная толщина подготовки равна $\delta_{\text{эв(гр)}} = 0,20 \sqrt{\frac{0,5}{0,06}} \approx 0,57 \text{ м.}$

По формуле (61) определяем требуемую эквивалентную толщину укрепления при пятислойной щебеночной подготовке и одном слое камня $d_H = 0,5\text{м.}$ Для суммарного числа слоев $n_{\text{ук}} = 5 + 1 = 6, A = 0,47.$

$$\delta = 0,47 \frac{2}{\sqrt{1+2^2}} \frac{4,4\sqrt{0,5}}{\sqrt{9,8}} \left(\frac{4,4}{1,27} - 1 \right)^{3/4} = 0,71 \text{ м.}$$

По формуле (63) требуемая толщина одного слоя камня равна $\delta_H = 0,71 - 0,57 = 0,14 \text{ м.}$

Фактическая толщина одного слоя камня $\delta_{\phi} = 0,5 \cdot 0,70 \cdot 1 = 0,35 \text{ м.}$

Поэтому при щебеночной подготовке требуется только один слой камня (формально, требуется толщина, составляющая менее одного камня).

Пример 8. Определить толщину набросного укрепления откосов шпоры в примере 4 (с крутизной откосов $m = 2,5$ и ($\alpha = 25^\circ$) из однородного камня средней крупностью $d_H = 0,5 \text{ м.}$ Тело шпоры отсыпается из гравийно-песчаного материала со средней крупностью $d = 6 \text{ мм.}$

Предварительно по формуле (70) определяем скорость для грунта тела шпоры

$$v_{0(\text{гр})} = 1,15 \sqrt{9,8} (0,006 \cdot 6,3)^{1/4} \left(\frac{\sqrt{2,5^2 - 1,15^2}}{2,5} \right)^{1/2} = 1,5 \text{ м/с, а по формуле (14) фактическую}$$

скорость потока, воздействующую на укрепление,

$$v_{\phi} = v_{\text{пк}} = (0,9 \cdot 4,4 \left(\frac{10}{6,3} \right)^{1/4} - 4,4) \sqrt[3]{\frac{25}{45}} + 4,4 = 4,45 \text{ м/с.}$$

По формуле (61) определяем требуемую толщину наброски (задаваясь тремя слоями камня $\delta_{\phi} = 0,5 \cdot 0,70 \cdot 3 = 1,5 \text{ м,}$ при которых по табл. 9 $A = 0,65$)

$$\delta = 0,65 \frac{2,5}{\sqrt{1+2,5^2}} \frac{4,45\sqrt{0,5}}{\sqrt{9,8}} \left(\frac{4,45}{1,50} - 1 \right)^{3/4} = 1 \text{ м} < \delta_{\phi}.$$

Следовательно, требуется три слоя камня $d_H = 0,5 \text{ м.}$

Пример 9. Определить требуемый удельный объем рисбермы на 1 м) для защиты подошвы у струнаправляющей дамбы в примере 6 (см. также примеры 1 и 2 п. 3),

Из расчетов в примере 6 получено, что требуется крупность однородного камня для защиты откосов $d_K = 0,052 \text{ м.}$ Согласно п. 5.12, такая крупность рекомендуется для защиты подошвы сооружений.

К расчету принимается имеющийся однородный камень средней крупностью $d_H = 15 \text{ см.}$

Высоту откоса, подлежащего защите при размыве основания у дамбы, определим как разность глубин потока в створе моста у подошвы дамбы до и после размыва

$$\Delta h = 5,30 - 1,90 = 3,40 \text{ м.}$$

Тогда по формуле (71) удельный объем камня в рисберме будет равен (принимая $m_{\text{ог}} = 1,7$)

$$W_{\text{тр}} = 3,40 \cdot 0,15 \sqrt{1+1,7^2} = 1 \text{ м}^3/\text{м}.$$

6. РАСЧЕТ НАБРОСКИ ИЗ НЕОДНОРОДНОГО ПО КРУПНОСТИ МАТЕРИАЛА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОДОЛЬНЫХ ТЕЧЕНИЙ

6.1. Каменный материал считается неоднородным, если не удовлетворяется условия п. 5.1. В материале, применяемом в укреплении, должно быть не менее 15% камней (по массе) крупнее d_k .

6.2. В наброске из неоднородного каменного материала происходят деформации, которые вызываются разделением гранулометрического состава камней наброски на мелкие, выносимые потоком, и более крупные, вымачивающие откосы, т.е. происходит естественная отмостка.

Максимальную глубину размыва наброски на откосах определяют по формуле

$$\Delta h_{\text{max}} = 0,75 \frac{\sqrt{1+m^2}}{m} \frac{D}{d_k d_{\phi} P} - 0,7D, \quad (72)$$

где D - расчетный диаметр отмачивающих камней, определяемый согласно п. 6.3;

$P = \sum_{P_{\alpha(\text{max})}}^{P_{\alpha(\text{min})}} P_i$ - содержание по массе в наброске всех фракций материала, отмоствовавшего откос;

$P_i, P_{H(\text{max})}, P_{H(\text{min})}$ - содержание по массе в наброске i -й, наибольшей и наименьшей фракций крупностью соответственно $d_i, d_{H(\text{max})}$ и $d_{H(\text{min})}$, входящих в слой отмостки (рис. 13); определение $d_{H(\text{min})}$ см. в п. 6.3;

α_k - коэффициент неоднородности отмачивающих камней, определяемый по формуле

$$\alpha_k = \frac{D}{P} \sum \frac{P_i}{d_i}, \quad (73)$$

α_k - коэффициент формы отмачивающих камней; для грубоколотого камня $\alpha_{\phi} = 0,8-1$, для слоистого ($\alpha_{\phi} = 1,2-1,4$).

Расчет поперечного сечения набросного укрепления после размыва на откосах насыпей приведен в приложении.



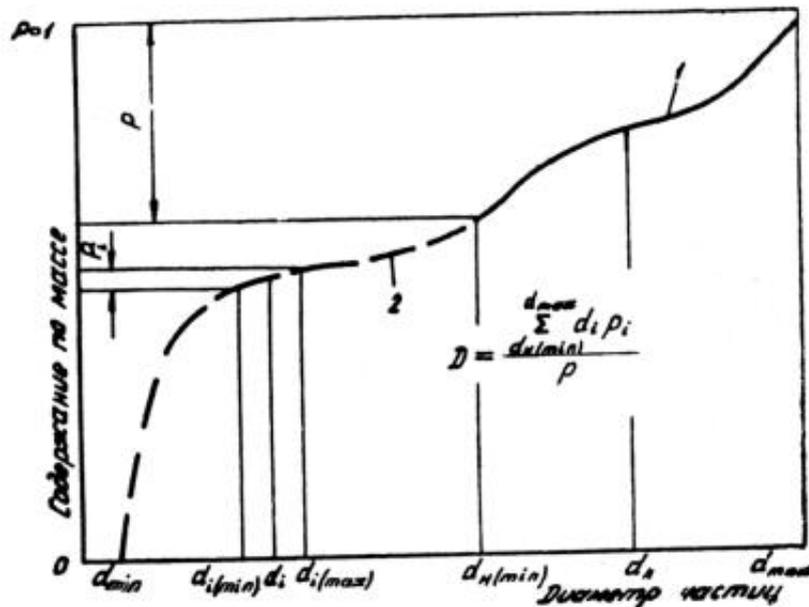


Рис. 13 . К определению расчетного диаметре частиц отмостки по гранулометрической кривой состава материала в наброске:

1 - отмащивающие фракции наброски; 2 - выносимые фракции наброски

6.3. Расчетный диаметр отмащивающих камней D определяют в следующей последовательности:

а) рассчитывают крупность однородных, устойчивых на откосе частиц d_k согласно п. 5;

б) по гранулометрическому составу (см. рис. 13) материала в наброске (при наличии в нем камней крупнее d_k) находят фракции крупнее $d_{x(\min)} = \frac{d_k}{4}$; эти $d_{x(\min)}$ фракции войдут в состав отмостки;

в) определяют расчетный диаметр частиц отмостки по формуле

$$D = \frac{\sum_{d_{\text{о(мин)}}}^{d_{\text{о(макс)}}} d_i P_i}{P}, \quad (74)$$

6.4. Требуемая толщина деформируемой наброски на откосах (в направлении,

перпендикулярном откосу) складывается из размываемой части наброски $\Delta h_{\text{мах}} \frac{m}{\sqrt{1+m^2}}$,

толщины отмостки $0,7 D$ и толщины δ_n , предохраняющей грунта земляных сооружений от механической суффозии.

В общем виде (при наличии подстилающего слоя) требуемую толщину оставшейся после размыва наброски δ_n определяют по формуле

$$\delta_n = A \frac{m}{\sqrt{1+m^2}} \frac{v_\phi \sqrt{d_{\text{н(эв)}}}}{\sqrt{g}} \left(\frac{v_\phi}{v_{0(\text{ор})}} - 1 \right)^{3/4} - \delta_{\text{н}} \sqrt{\frac{d_{\text{н(эв)}}}{\alpha_n}} - 0,7 D \sqrt{\frac{d_{\text{н(эв)}}}{D_{\text{эв}}}}, \quad (75)$$

где d_n - средний диаметр частиц наброски; индекс "эв" показывает, что в расчет принимают эквивалентный диаметр частиц материала, определяемый по формуле

$$d_{\text{эв}} = \left(\sum P_i \sqrt{d_i} \right)^2. \quad (76)$$

Здесь P_i содержание по массе в материале фракции со средним диаметром частиц d_i .

Для материала отмостки

$$D_{\text{ук}} = \left(\frac{\sum P_i \sqrt{d_i}}{P} \right)^2 \quad (77)$$

В формуле (75) число слоев укрепления принимают равным

$$n_{\text{ук}} = n_{\text{н}} + n_{\text{п}} + 1, \quad (78)$$

где $n_{\text{н}}$, $n_{\text{п}}$ - соответственно отыскиваемое число слоев наброски и число слоев подготовки. Подбор числа слоев наброски производят согласно п. 5.13.

Примеры расчета

Пример 1. Для условий примеров 3 и 7 (п. 5) рассчитать толщину набросного укрепления откосов насыпи из камня, гранулометрический состав которого представлен в табл.11.

Таблица 11

Размеры фракций, м	1-0,7	0,7-0,4	0,4-0,2	0,2-0,1	<0,1
Весовое содержание фракций во всем материале по массе P_i , %	10	20	10	10	50

Средний диаметр материала наброски

$$d_{\text{н}} = \sum P_i d_i = \frac{1-0,7}{2} 0,1 + \frac{0,7+0,4}{2} 0,2 + \frac{0,4+0,2}{2} 0,1 + \frac{0,2+0,1}{2} 0,1 + 0,1 \cdot 0,5 = 0,29 \text{ м.}$$

Проверяем однородность этого материала (при $d_{10} = 0,10$ м):

$$\frac{d_{\text{н}}}{d_{10}} = \frac{0,29}{0,10} = 2,9 > 1,6. \text{ Следовательно, из неравенства (35) материал наброски неоднородный, и он будет деформироваться при воздействии потока.}$$

В материале наброски камней крупнее $d_{\text{к}} = 0,465$ м (см. пример 3 п.5) содержится, считая, что во фракциях крупности распределена равномерно.

$$p = 10 + 20 \frac{0,70 - 0,465}{0,70 - 0,40} = 25,6 \%. \text{ что больше } 15 \%.$$

Следовательно, этот материал может быть использован в набросном укреплении.

Для неоднородного материала расчет толщины набросного укрепления определяет в следующей последовательности.

I. Определение параметров отмачивающего слоя. Находим минимальную крупность камня, который не будет выноситься потоком, $d_{\text{н(мин)}} = \frac{d_{\text{н}}}{4} = \frac{0,465}{4} = 0,116$ м. Тогда самая мелкая (по крупности) фракция $d_{\text{мин}} = 0,1$ м будет вымываться потоком. Из следующей за ней

фракции в состав отмостки войдут камни со средним диаметром частиц

$$d_{н(мин)} = \frac{0,2 + 0,116}{4} = 0,158 \text{ м, составляющих в материале наброски}$$

$$P_{н(мин)} = \frac{10}{0,20 - 0,1} (0,2 - 0,116) = 8,4 \cdot \%$$

По формуле (74) расчетный диаметр частиц отмостки равен

$$D = \frac{0,85 \cdot 0,10 + 0,55 \cdot 0,20 + 0,30 \cdot 0,10 + 0,158 \cdot 0,084}{0,10 + 0,20 + 0,10 + 0,084} = \frac{0,238}{0,484} = 0,492 \text{ м, а содержание по}$$

массе в наброске всех фракций материала, отмостившего откос, составляет

$$P = \sum_{P_{н(мин)}}^{P_{н(макс)}} P_i = 0,10 + 0,20 + 0,10 + 0,084 = 0,484 .$$

Коэффициент неоднородности отмащивающих камней определяем по формуле (73)

$$\alpha_{н} = \frac{0,492}{0,484} \left(\frac{0,10}{0,85} + \frac{0,20}{0,55} + \frac{0,10}{0,30} + \frac{0,084}{0,158} \right) = 1,37$$

Коэффициент формы отмащивающих камней α_{ϕ} как и для грубоколотого камня (см. п. 6.2), принимаем равным единице.

II. Определение максимальной глубины, размыва наброски на откосах по Формуле (72)

$$\Delta h_{\text{max}} = 0,75 \frac{\sqrt{1+2^2}}{2} \frac{0,492}{1,37 \cdot 1 \cdot 0,484} - 0,7 \cdot 0,492 = 0,62 - 0,34 = 0,28 \text{ м.}$$

III. Определение требуемой толщины наброски. Предварительно рассчитаем по формуле (76) эквивалентные диаметры частиц наброски $d_{н(экв)}$ и отмостки $D_{\text{экв}}$:

$$d_{н(экв)} = \left(0,10 \sqrt{0,85} + 0,20 \sqrt{0,55} + 0,10 \sqrt{0,30} + 0,10 \sqrt{0,15} + 0,5 \sqrt{0,10} \right)^2 = 0,242 \text{ м;}$$

$$D_{\text{экв}} = \left(\frac{0,10 \sqrt{0,85} + 0,20 \sqrt{0,55} + 0,10 \sqrt{0,30} + 0,084 \sqrt{0,158}}{0,484} \right)^2 = 0,460 \text{ м.}$$

По формуле (75) находим требуемую толщину наброски, которая остается после размыва, $\delta_{н}$. В формуле (75) второй член равен 0, так как щебеночную подготовку не устраивают; $v_{\phi} = 4,4 \text{ м/с}$, $v_{0(от)} = 1,27 \text{ м/с}$ (см. пример 7 п.5). Назначаем двухслойную толщину наброски под слоем отмостки - по формуле (62) $\delta_{\phi} = 0,7 \cdot 2 \cdot 0,29 = 0,406 \text{ м}$, а по формуле (77) $n_{\text{ук}} = 2 + 1 = 3$, и по табл. 9 $A = 0,65$. Тогда

$$\delta_{н} = 0,65 \frac{2}{\sqrt{1+2^2}} \frac{4,4 \sqrt{0,242}}{\sqrt{9,8}} \left(\frac{4,4}{1,27} - 1 \right)^{3/4} - 0,7 \cdot 0,492 \frac{\sqrt{0,242}}{0,46} = 0,79 - 0,25 = 0,54 \text{ м} > \delta_{\phi} = 0,406 \text{ м}$$

поэтому принимаем трехслойную толщину наброски под отмосткой. При этом

$$\delta_{\phi} = 0,29 \cdot 3 \cdot 0,7 \approx 0,61 \text{ м,}$$

$$n_{\text{ук}} = 3 + 1 = 4 \text{ и } A = 0,56.$$

По формуле (75)

$\delta_n = 0,68 - 0,25 = 0,43 \text{ м} < \delta_\phi = 0,61 \text{ м}$. Построив графики $\delta_n = f(n_{yk})$ и $\delta_\phi = f(n_{yk})$, получим, что $\delta_\phi = \delta_n = 0,49 \text{ м}$. Эту толщину и принимаем к расчету.

Полная толщина наброски складывается из размываемой части толщины наброски и полученной толщины под наброской

$$\delta = \Delta h_{\max} \frac{m}{\sqrt{1+m^2}} + 0,7D + \delta_n = 0,28 \frac{2}{\sqrt{1+2^2}} + 0,34 + 0,49 = 1,08 \text{ м}.$$

К расчету принимаем $\delta = 1,10 \text{ м}$. (Для сравнения: при однородном камне $d_n = 0,5 \text{ м}$ требуется толщина наброски $\delta = 1,4 \text{ м}$ - см. пример 7)

Приложение

РАСЧЕТ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НАБРОСНОГО УКРЕПЛЕНИЯ НА ОТКОСАХ НАСЫПЕЙ

Наибольшие силовые воздействия потока на откос приходятся на вертикаль, называемую критической, с глубиной h_T . Глубину h_T определяют по формуле

$$h_T = h_{T0} \left(\frac{K_{v0}}{K_{v0(T)}} \right)^3. \quad (1)$$

При укреплении откосов неоднородным каменным материалом возможны деформации наброски.

Наибольшая глубина размыва Δh_{\max} будет располагаться на вертикали, где на момент стабилизации размыва глубина потока равна h_T . Эта вертикаль перемещается вверх по откосу от вертикали с такой же глубиной до размыва на расстояние $m \Delta h_{\max}$ (рис. 1). Положение вертикали с Δh_{\max} от подошвы насыпи (с наброской) будет равно

$$l_{\max} = m(h_{T0} + \Delta h_{\max} - h_T). \quad (2)$$

Глубину потока h_{\min} , на которой размыва не будет, определяют по формуле

$$l_{\min} = h_{T0} \left(\beta K_{v0} \frac{v_{0(\min)}}{v_{T0}} \right)^4. \quad (3)$$

где $v_{0 \min}$ - размывающая скорость плоского потока для наименьших (по крупности) частиц наброски d_{\min} содержащихся в наброске в количестве не менее 10% по массе, при глубине потока h_{T0} ;

β - поправочный коэффициент к размывающей скорости, определяемый в зависимости от отношения диаметра частиц d_{\min} к среднему для наброски d_n по графику (рис. 2) или по формуле

--	--

$$\beta = \left(\frac{d_{\text{т}}}{d_{\text{мин}}} \right)^{\frac{d_{\text{max}}}{d_{\text{т}}}}$$

(4)

На вертикали с глубиной потока $h_{\text{мин}}$ деформации отсосано произойдут только в том случае, если между глубинами $h_{\text{мин}}$ и $h_{\text{т}}$ коэффициент заложения деформированного откоса m_g будет больше коэффициента естественного откоса наброски m_0 . При $m_g < m_0$ происходит деформация откоса за счет скатывания камней на крутом участке (см. рис. 1).

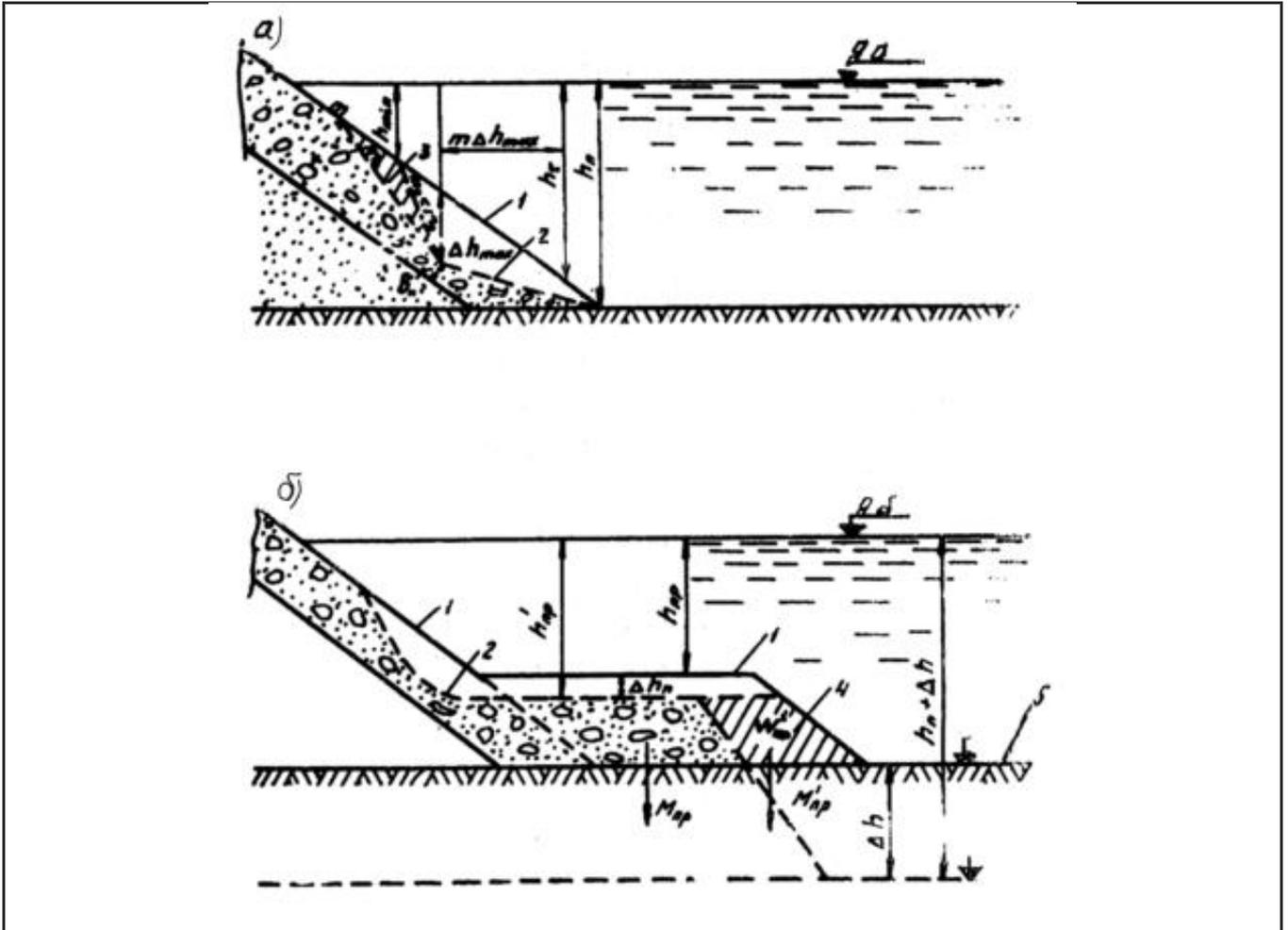


Рис. 1 . Схема деформации наброски на откосе: а - конструкция укрепления при отсутствии размывов дна русла; б - то же при размывах дна русла. 1 - поперечное сечение откоса до размыве; 2 - то же после размыва; 3 - участок скатывания и камней с откоса; 4- часть призмы, разрушаемая при размыве дна; 5 - дно после размыва

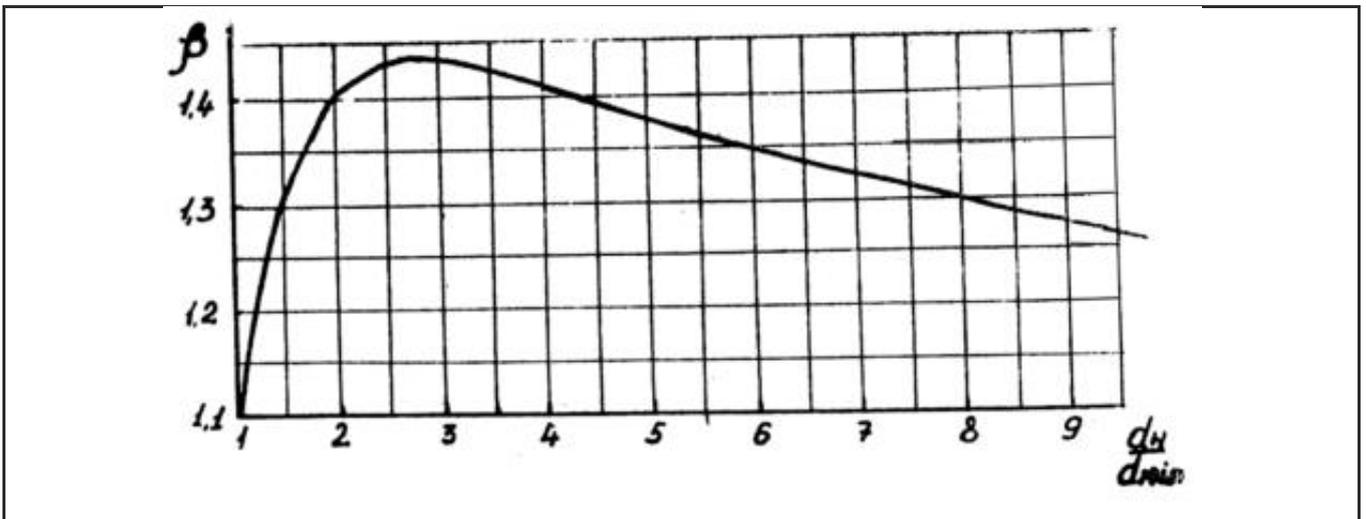


Рис.2 . График для определения коэффициента

Деформации откоса за счет скатывания камней на вертикали с глубиной h_{\min} определяют по формуле (при $h_{\tau} - h_{\min} > \Delta h_{\max}$)

$$h_{\min} = \frac{m}{m_0} \Delta h_{\max} - \left(\frac{m}{m_0} - 1 \right) (h_{\tau} - h_{\min}) . \quad (5)$$

Критерием отсутствия скатывания камней с откоса является условие $\Delta h_{\min} \leq 0$. При $\Delta h_{\min} > 0$, а также когда вертикаль с глубиной Δh_{\min} оказывается ближе к подошве, чем вертикаль с наибольшей глубиной размыва (т.е. $h_{\tau} < \Delta h_{\max} < h_{\min}$), поперечный профиль откоса после размыва на участке выше вертикали с Δh_{\max} будет представлять откос с крутизной $m_g > m_0$ (см. рис. 1).

Если известно, что деформации подошвы откоса не происходит, то третьей вертикалью (наряду с вертикалями h_{τ} и h_{\min}) для построения поперечного профиля откоса после размыва будет вертикаль с глубиной потока $h_{\text{п}}$.

Обычно русло у подошвы насыпи деформируется, и для защиты откоса от подмыва устраивается упорная призма (см. рис 1,б).

Размеры призмы назначаются таким образом, чтобы в ней было достаточно камней, как для упора вышележащей конструкции укрепления, так и для защиты образуемого при размыве откоса.

Достаточность массы призмы определяется по схеме плоского сдвига из условия отсутствия сползания укрепления по откосу.

Это условие соблюдается при

$$M_{\text{пр}} \geq \frac{Km}{f_{\text{пр}}(1-m^2)} (1-fm)M_{\text{ук}} . \quad (6)$$

где $M_{\text{пр}}$, $M_{\text{ук}}$ - масса 1 м призмы с учетом взвешивающего действия воды соответственно упорной призмы и укрепления откоса ниже уровня воды;

$f_{\text{пр}}$, f - коэффициенты трения упора по основанию в плоскости сдвига и покрытия по расчетной плоскости скольжения; в расчетах можно принимать $f_{\text{пр}} = f = 0,3 + 0,4$;

K - коэффициент запаса, включающий коэффициенты перегрузки и условия работы и принимаемый равным 1,35-1,4.

Расчет дополнительного удельного объема $W_{\text{пр}}^1$ (см. рис. 1,б) призмы по условию размыва сводится к определению объема камня в разрушаемой при размыве призмы, достаточного для распределения его по защищаемому от размыва откосу, производят по формуле

$$W_{\text{пр}}^1 \geq \frac{\Delta h D \sqrt{1-m_{\text{ор}}^2}}{\alpha_{\text{к}} \alpha_{\text{ф}} P} \quad (7)$$

Расчетный диаметр отматчивающих камней D рассматриваемого откоса и их содержание в неоднородном материале определяют по вышеприведенному методу (см. п. 6).

Если призма отсыпается из однородного камня d_n , то в формуле (7) принимают $D = d_n$, $p = d_n = 1$. Для определения разрушаемой части призмы необходимо рассчитать понижение отметок верха упорной призмы при гидравлических характеристиках потока после стабилизации русла. По мере понижения отметки верха призмы увеличиваются глубина и скорость потока над ней. Поэтому расчет размыва верха призмы производится методом подбора. Задаваясь глубиной размыва Δh_n , определяют по образовавшейся над призмой глубиной h_{np}^1 (см. рис. 1,б) скорость потока v_{np} , крупность устойчивого однородного камня

$d_{k(n)}$, расчетный диаметр частиц отмостки D_n и содержание этих частиц P_n в наброске, а затем глубину размыва. При равенстве принятой и рассчитанной глубин размыва Δh_n расчет понижения отметки верха призмы заканчивается. Указанные параметры определяют:

$d_{k(n)}$ - по формулам (40) и (41);

D_n и P_n - по методу, изложенному в п. 6;

скорость потока над призмой - по формуле

$v_{np} = v_n \left(\frac{h_{np}}{h_n} \right)^{0,5}$	(8)
--	------

Откос выше призмы (см. рис. 1,б) рассматривается как откос с недеформированной подошвой, глубина потока у которого равна $h_n = h_{np}$. Метод построения поперечного профиля такого откоса после размыва рассмотрен выше.

Возможность прогнозирования поперечного сечения укрепленного откоса после прохода расчетного паводка позволяет назначить оптимальные по технико-экономическим показателям основные параметры конструкции укрепления: толщину наброски δ и коэффициент заложения откоса m .

Уположение откоса (увеличение коэффициента m) приводит обычно к увеличению объема материала наброски. Потому коэффициент m желательно назначать минимальным из условия устойчивости насыпи. Обычно принимают $m = 2$, поскольку при $m \geq 2$ конструкция укрепления не требует упора в виде призмы у подошвы насыпи.

К уположению откоса следует прибегать в том случае, если имеющаяся крупность камня недостаточна или прогнозируются значительные деформации наброски.

Расчеты показывают, что уположение откоса $m = 2$ до $m = 3$ позволяет сократить расчетную крупность камня d_k не намного: в 1,1 раза на прямолинейном и в 1,15-1,25 раза на криволинейных участках.

Если возникает необходимость в уположении откоса, то можно рассмотреть вариант укрепления с переменным коэффициентом откоса: $m \geq 2$ на участке откоса от подошвы до глубины потока h_{min} и $m < 2$ - выше вертикали с глубиной h_{min} .

Конструкция укрепления, запроектированная из условия устойчивости материала наброски от воздействия продольных течений, будет искомой, если эти воздействия являются определяющими. (Критерии назначения определяющих воздействий см. в п. 5.2).

Расчет конструкций набросных укреплений для защиты от волновых воздействий изложен в соответствующих нормативных документах [1].

Следует отметить, что в подавляющем большинстве случаев на прижимных участках волновые воздействия не будут определяющими.

Для каменной наброски на откосе насыпи наиболее опасным из возможных воздействий льда является статическая нагрузка от примерзшего к нему ледяного покрова при повышении (или понижении) уровня воды в реке. Крупность однородного камня при этой определяют по формуле (45) или (46).

Прочность укреплений для защиты сооружений от ударов льда, не зависит от крупности материала наброски, поскольку такая динамическая нагрузка воспринимается всей толще; укрепления и телом насыпи.

Если оказывается, что ледовые воздействия являются определяющими, то камень крупностью, подсчитанной по формулам (45) или (46), следует укладывать только в нижней части откоса до отметки принятого уровня подвижки льда (УПЛ) с запасом 0,25-0,5 м в зависимости от точности рассчитанного уровня (рис. 3).

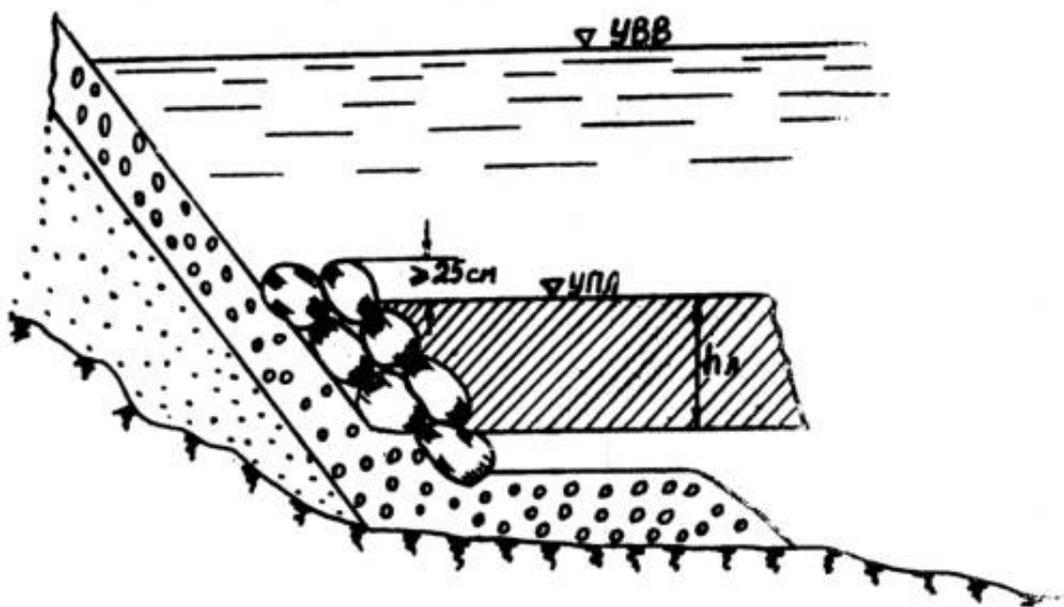


Рис. 3. Укрепление откоса наброской при ледовых воздействиях

При определяющих ледовых воздействиях обычно требуется камень значительных размеров (негабарит). Его требуется укладывать не менее чем в два слоя со сплошностью $\alpha_{сп} \geq 0,85$ каждого слоя (о сплошности см. п. 1).

Камень укладывают на наброску обычно такой же крупности, которая защищает откос насыпи выше отметки расположения негабаритных камней. Камень, воспринимающий ледовые воздействия, не должен деформироваться при размывах русла. С этой целью следует устраивать призму, верх которой желательно располагать ниже уровня льда (см. рис. 3).

Пример. Для условий примера 1 п.6 (а также примеров 3 и 7 п. 5) рассчитать поперечное сечение набросного укрепления на откосе насыпи после размыва и параметры призмы для защита образуемого при размыве откоса глубиной $\Delta h = 2,5$ м.

Определяем по формуле (1) глубину потока на вертикали с наибольшим силовым воздействием

$$h_r = 6,3 \left(\frac{0,867}{0,968} \right)^3 = 4,52 \text{ м.}$$

Так как русло у подошвы насыпи деформируется, устраиваем упорную призму. Размеры ее должны обеспечить только защиту образуемого при размыве откоса, поскольку при $m = 2$ конструкция укрепления не требует упора.

Основание упорной призмы располагаем на отметке дна до постройки сооружения (при глубине потока $h_{\text{п}} = 6,3$ м). Высоту призмы можно назначить так, чтобы максимальная глубина размыва находилась на откосе призмы (при этом вертикаль с $h_{\text{т}}$ должна пересекать укрепление ниже верха призмы) и на откосе насыпи. При заданных условиях наиболее надежным будет первый вариант укрепления. Высоту призмы назначаем больше $h_{\text{п}} - h_{\text{т}} = 6,3 - 4,52 = 1,78$ м и равной 2 м с откосом $m = 2$. Тогда $h_{\text{пр}} = h_{\text{т}} - 2 = 6,3 - 2 = 4,3$ м. Наибольшее удаление вертикали с максимальной глубиной размыва $\Delta h_{\text{max}} = 0,28$ м от недеформированной подошвы призмы (бермы) по формуле (2) будет равно м. Определяем по формуле (3) глубину потока h_{min} , на которой размыва не будет. Предварительно для $h_{\text{п}} =$

0,29 м и $d_{\text{min}} = 0,10$ м по формуле (4) $\beta = \left(\frac{0,29}{0,10} \right)^{\frac{0,10}{0,29}} = 1,44$, а по формуле (9)

$$v_{0(\text{min})} = 1,15 \sqrt{9,8(6,3 \cdot 0,10)^{1/4}} = 3,22 \text{ м/с.}$$

Тогда

$$h_{\text{min}} = 6,3 \left(1,44 \cdot 0,867 \frac{3,22}{4,4} \right)^4 = 4,34 \text{ м.}$$

Эта глубина также будет на откосе бермы ($h_{\text{пр}} < h_{\text{min}}$).

Поскольку вертикаль с глубиной h_{min} оказалась ближе к подошве, чем вертикаль с наибольшей глубиной размыва (т.е. $h_{\text{т}} - \Delta h_{\text{max}} = 4,52 - 0,28 = 4,24 \text{ м} < h_{\text{min}} = 4,34 \text{ м}$), поперечный профиль откоса после размыва на участке выше вертикаля с Δh_{max} будет представлять откос с крутизной $m_g = m_0 = 1,15$.

Так как вертикаль с глубиной h_{min} пересекает укрепление ниже верха бермы, то понижения отметок верха бермы не будет. (Действительно, при $h_{\text{пр}} = 4,3$ м по формуле (8)

$v_{\text{пр}} = 4,4 \left(\frac{4,30}{6,30} \right)^{0,5} = 3,63$ м/с, по формуле (40) при $K_{v0} = 0,867$ и $K_{v0(\text{п})} = 0,967$ (см. пример 3 п.

5)

$d_{\text{к(к)}} = 0,58 \frac{3,63^4}{9,8^2 \cdot 4,30 \cdot 0,867 \cdot 0,967^3} = 0,30$ м, а $d_{\text{к(мин)}} = \frac{d_{\text{к(к)}}}{4} = 0,075$ м, что мельче самой

мелкой по крупности фракции (см. табл. 11). Поэтому в состав отмостки войдут все фракции материала, т.е. размыва не будет, поскольку наброска однородна).

По той же причине размыва наброски на откосе насыпи также не будет. Если бы наброску на откосе насыпи отсыпали из другого материала (менее устойчивого к силовым воздействиям от продольных течений), то расчет размыва и других параметров конструкции укрепления следовало бы производить с учетом $v_{\text{п}} = v_{\text{пр}} = 3,63$ м/с и глубины потока $h_{\text{п}} = h_{\text{пр}} = 4,30$ м.

Удельный объем призмы $W_{\text{пр}}^1$ для защиты образуемого при размыве откоса определяем по формуле (7) (при $D = 0,492$, $p = 0,484$, $\alpha_{\text{н}} = 1,37$ и $\alpha_{\text{н}} = 1$ (см. пример 1 п. 6)

$$W_{\text{пр}}^1 \geq \frac{2,5 \cdot 0,492 \sqrt{1 + 1,7^2}}{1,37 \cdot 1 \cdot 0,484} 3,65 \text{ м}^3/\text{м.}$$

Высота бермы, как показал расчет, не изменяется (равна $\delta_{пр} = 2,0$ м), поэтому минимальная ширина бермы (пренебрегая незначительными деформациями ее откоса) определен из условия м. Принимаем с запасом $l = 2,5$ м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указания по проектированию гидротехнических сооружений, подверженных волновым воздействиям. СН 288-64. М., Стройиздат, 1965.
2. Строительные нормы и правила, ч. IV. Сметные нормы. Гл. 13. Буровзрывные работы. СНиП IV-13 -71. М., Стройиздат, 1971.
3. Технические указания по проектированию и производству буровзрывных работ при сооружении земляного полотна. В СН 178-74. М., Оргтрансстрой, 1974.
4. Рекомендации по регулированию потока на мостовых переходах через реки с меандрирующими руслами. М., ЦНИИС, 1978,
5. Бегам Л.Г., Алтунин В.С., Цыпин В.Ш. Регулирование водных потоков при проектировании дорог. М., "Транспорт", 1977.
6. Наставление по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки. (НИМП-72). М., "Транспорт", 1972.
7. Технические указания по расчету местного размыва у опор мостов, струенаправляющих дамб и траверсов. ВСН 62-69. М., Оргтрансстрой, 1970.
8. Строительные нормы и правила, ч. П. Нормы проектирования. Гл. 57. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). СНиП II-57-75. М., Стройиздат, 1976.
9. Методические рекомендации по расчету гидрологических характеристик рек, пересекаемых трассой БАМа, М., ЦНИИС, 1976.

Похожие документы

- СП 32-102-95 Сооружения мостовых переходов и подтопляемых насыпей. Методы расчета местных размывов (/gost/2/SP_3210295_Sooruzheniya_mostov.html)
- Рекомендации Рекомендации по организации и выполнению работ, связанных с предоставлением и закреплением земельных участков под строительство (/gost/2/RekomendaciiRekomendacii_po_or.html)
- Методические рекомендации Методические рекомендации по проведению экспертизы технико-экономических обоснований (ТЭО) и проектов на строительство (реконструкцию) автомобильных дорог и мостовых переходов (/gost/2/Metodicheskie_rekomendaciiMeto2.html)
- Рекомендации Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов (/gost/2/RekomendaciiRekomendacii_po_uc.html)
- Рекомендации Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их

- реконструкции и восстановлении (/gost/2/RekomendaciiRekomendacii_po_ob.html)
- Рекомендации Рекомендации по составу архитектурно-планировочного задания на проектирование и строительство зданий, сооружений и их комплексов (/gost/2/RekomendaciiRekomendacii_po_so2.html)

0 комментариев

Новые ▾

Оставить комментарий...