ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ ПОТОКА НА МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДАХ ЧЕРЕЗ РЕКИ С ОСЕРЕДКОВЫМ ТИПОМ РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА (ОСТРОВНОГО ТИПА)

Одобрены Главтранспроектом

МОСКВА 1977

gost.e-ecolog.ru

УДК 627.42 : 624.21

© Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства, 1977

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящих Рекомендациях рассматриваются методы регулирования потока на мостовых переходах через реки с осередковым типом руслового процесса островного вида.

В работе даны признаки, характеризующие осередковый тип руслового процесса и типы створов переходов через реки с указанным русловым процессом; приведены рекомендации по расчету струенаправляющих дамб на таких реках, проектированию мероприятий для регулирования потока в протоках (запруды и водоотводные русла) и по размыву островов в руслах, а также метод расчета каменной наброски для укрепления насыпей подходов и берегов.

Рекомендации предназначены для использования при проектировании мостовых переходов.

Рекомендации разработаны в лаборатории мостовой гидравлики и гидрологии отделения изысканий и проектирования железных дорог ЦНИИСа кандидатами техн. наук. Л.Г.Бегамом и В.Ш.Цыпиным под общим руководством и при участии канд.техн.наук В.В.Невского.

Зам.директора института Н.Б.СОКОЛОВ

Руководитель отделения изысканий и проектирования железных дорог

А.М.КОЗЛОВ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Основной задачей регулирования потока на мостовых переходах является обеспечение устойчивости сооружений перехода от воздействия водных потоков (размывов различных видов, отложения наносов, волнобоя, ледохода и др.).

1.2. При проектировании регуляционных сооружений на мостовых переходах необходимо учитывать русловой процесс на пересекаемой реке [1] .

Тип руслового процесса устанавливают по классификации Государственного гидрологического института (ГГИ) в зависимости от водного режима реки, стока наносов, рельефа и геологического строения речной долины [2] .

Признаки, характеризующие осередковый тип руслового процесса, приведены в приложении 1.

1.3. Мостовой переход через реку с осередковым типом руслового процесса островного вида рекомендуется располагать на участке сосредоточения протоков, где весь русловой поток сконцентрирован в одном русле.

В случае, когда прохождение трассы по створу с наиболее благоприятной русловой ситуацией связано с развитием линии, место мостового перехода выбирают по результатам технико-экономического сравнения вариантов.

1.4. Варианты сравнивают согласно рекомендациям "Методических указаний по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций" [3] .

1.5. При отборе вариантов для приближенной оценки стоимости регуляционных сооружений следует учитывать расчлененность русла, которая характеризуется коэффициентом

$$S = \frac{\Sigma \ell}{B_р}, \qquad (1)$$

где $B_р$ – ширина русловой зоны между внешними берегами крайних протоков;

$\Sigma \ell$ – суммарная ширина русла и протоков.

Коэффициент S определяют без учета мелких (вторичных) протоков, располагающихся на границе русловой зоны. Если на данном створе русловой поток сосредоточен в одном русле, S принимают равным единице.

Следует учитывать, что в условиях пойменной многорукавности, когда $S<0,3$, обычно одного отверстия будет недостаточно.

1.6. При проектировании регуляционных сооружений на мостовых переходах через реки с активным русловым процессом, каким является осередковый тип, следует учитывать возможное переформирование русла в период эксплуатации перехода. Если учет этого переформирования приводит к удорожанию регуляционных сооружений, то необходимо рассмотреть возможность поэтапного выполнения этих работ. Расчет целесообразности поэтапных затрат приведен в приложении 2.

1.7. В сложных морфологических и гидрологических условиях назначение отверстий и местоположение мостов, компоновку регуляционных сооружений, определение местоположения и типа укрепления берегов и подходов, а также прогнозирование плановых и глубинных деформаций целесообразно решать на основе физического моделирования.

Для исследования на физических моделях требуются следующие исходные данные:

а) План моделируемого участка реки. Требуемый масштаб плана (карты) участка реки определяют по таблице в приложении 3. Если масштаб плана (карты) мельче модели в 5 и более раз, необходимо иметь планы характерных участков (или створы) в более крупном масштабе с промером глубин в русле и протоках.

б) Расчетный и наибольший расходы реки с распределением их между руслом, поймами, протоками и т.п. в исследуемых створах до постройки сооружений.

в) Коэффициент шероховатости морфологически однородных участков реки.

г) Характеристика грунтов в русле и на пойме в толще возможного размыва.

д) Уклон свободной поверхности в межень и в расчетных условиях.

Указания по выбору методов моделирования и размеры экспериментальных установок, необходимых для моделирования мостовых переходов, приведены в приложении 3.

2. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОТОКА ПРИ СОСРЕДОТОЧЕННОМ РУСЛЕ

2.1. На переходах через реки с сосредоточенным руслом при островном виде осередкового типа руслового процесса должно быть обеспечено:

плавное подведение пойменных потоков под мост с тем, чтобы создать или сохранить под мостом форму живого сечения, близкую к оптимальной;

размыв островов или осередков, которые стесняют или могут стеснять живое сечение под мостом.

Для решения указанных задач на мостовом переходе должны быть запроектированы струенаправляющие дамбы, а также комплекс мероприятий для размыва островов.

При этом необходимо стремиться к тому, чтобы отверстие моста перекрывало только русло. Увеличение отверстия моста за счет поймы усложняет мероприятия по размыву скоплений наносов перед мостом, поскольку уменьшаются скорости потока на расчетном участке ниже створа с предмостовым подпором.

Вариант мостового перехода без осуществления мероприятий по размыву островов может быть допущен при соответствующих технико-экономических обоснованиях.

2.2. Если русловой поток направлен нормально к оси перехода, а наибольшие глубины в русле расположены в средней части руслового участка моста, то струенаправляющие дамбы проектируются криволинейными, чтобы направить пойменные потоки на прилегающие к дамбам участки отверстия моста.

При проектировании мостовых переходов через реки, характеризующиеся осередковым типом руслового процесса, длину проекции верховых струенаправляющих дамб a_g, определенную по указаниям НИМП-72 [4], рекомендуется сокращать в 1,5-2 раза, а соотношение полуосей дамбы принимать с коэффициентом 0,9.

П р и м е ч а н и е. Особенностью выбора параметров струенаправляющих дамб на реках с островной разновидностью осередкового типа руслового процесса является учет возможного размыва берегов в районе мостового перехода в результате смещения острова.

В этом случае помимо направления пойменного потока под мост дамба также защищает берег от размыва. Поэ-

тому, если в перспективе возможно смещение острова и размыв берега, у которого расположена дамба, конструкция ее укрепления должна быть усилена, а при необходимости дамба должна быть удлинена.

Необходимость отнесения на перспективу затрат, связанных с усилением конструкции и удлинением дамбы, определяется в результате технико-экономического расчета.

2.3. Если русловой поток смещен к одному из берегов или в русле расположен остров, подлежащий размыву, дамбу рекомендуется устраивать прямолинейной с тем, чтобы способствовать смещению максимальных глубин русла к середине отверстия моста или направлению пойменного потока на остров с целью его размыва.

При проектировании прямолинейной дамбы необходимо знать величину отжима потока по оси перехода, а также очертание крайней струи отжатого потока.

При прямолинейной дамбе с такой же проекцией на перпендикуляр к оси пути a_ℓ, как у требуемой по расчету криволинейной обтекаемой дамбы, максимальная величина отжима $\Delta\ell$ находится на оси перехода.

Приближенное значение отжима $\Delta\ell$ при одностороннем сжатии определяют в зависимости от величины проекции a_ℓ и отверстия моста L (табл.1).

Таблица 1

a_ℓ/L	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\Delta\ell/L$	0,23	0,31	0,35	0,38	0,40

2.4. При проектировании мостовых переходов следует учитывать, что перемещение острова к мостовому переходу может вызвать неблагоприятные направления течения, а также уменьшение живого сечения под мостом. Если имеется тенденция к смещению островов под мост, необходимо принимать меры к недопущению этого путем размыва острова еще на подходе к створу мостового перехода. К числу таких мер относятся удаление растительности с поверхности и устройство прорези, дно которой рекомендуется располагать на отметке межени.

Для улучшения работы прорези в зависимости от конкретных условий устраивают направляющие шпоры.

Определение мест размещения прорези и шпор, а также назначение их геометрических размеров целесообразно решать на основе физического моделирования.

Мероприятия по борьбе с вредным воздействием островов и осередков на протекание потока в подмостовом сечении рекомендуется проводить на участке от оси мостового перехода до створа с наибольшей величиной предмостового подпора. Свободная поверхность на этом участке характеризуется кривой спада. Поэтому скорость потока в русле повышается по сравнению с бытовой, что увеличивает эффективность мероприятий по размыву островов и осередков.

3. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОТОКА ПРИ РАЗВЕТВЛЕННОМ РУСЛЕ

3.1. Регулирование потока на переходах с разветвленным руслом зависит от типов руслового процесса в пересекаемых протоках.

Если расчленение русла на протоки вызвано осередковым типом руслового процесса основного вида, то острова между протоками, как правило, подвергаются частому затоплению. В этом случае необходимо перекрывать мостом всю русловую зону островной русловой многорукавности и регулирование остается таким же, как при сосредоточенном русле.

Если в одном из протоков имеет место осередковый тип руслового процесса, а другие развиваются по типу незавершенного меандрирования, то разветвление русла происходит за счет пойменных массивов. В этом случае (пойменной многорукавности), когда отторгчутые от поймы острова затопляются редко, целесообразно устройство двух и более отверстий.

3.2. При определении числа отверстий и мест их размещения по створу перехода следует учитывать прогноз переформирования русловой сети в районе перехода и отверстия мостов назначать с такими запасами, которые обеспечивают нормальную работу перехода.

При этом следует учитывать, что из более мощного протока в другие протоки отвлекается значительная часть наносов. Поток, перегруженный наносами, аккумулирует их. В результате ниже разветвления протоков

создаются морфологические образования, при которых на локальных участках менее мощных протоков увеличиваются отметки дна. Поэтому при распределении расхода воды между элементами русла и поймы морфологическим методом (в зависимости от глубины потока и шероховатости) в качестве расчетного живого сечения в менее мощных протоках следует принимать сечения по створу выше или ниже перехода с наинизшими отметками дна в протоке.

3.3. Для направления руслового и пойменных потоков в отверстия мостов должны быть запроектированы струенаправляющие дамбы, а также система сооружений, обеспечивающая концентрацию русловых потоков под мостами.

К сооружениям, обеспечивающим концентрацию русловых потоков под мостами, относятся запруды, имеющие целью заиление выключенных участков протоков; искусственные русла или пионерные траншеи, обеспечивающие отвод расхода протоков под мост. Для осушения поймы выше, а при необходимости и ниже перехода рекомендуется устраивать водоотводные канавы.

При выборе количества мостов, проектируемых на переходе, необходимо учитывать:

возможность и целесообразность отвода всей русловой сети в районе выше мостового перехода под один мост;

перспективные мероприятия по регулированию потока при имеющемся русловом процессе;

стоимость вариантов мостовых переходов с одним или двумя мостами.

Примечание. При сравнении вариантов мостовых переходов учитывается стоимость всех сооружений (мостов, подходов, струенаправляющих дамб, спрямляющих каналов, запруд, срезок и планировок), а также стоимость подходов между общими точками сравниваемых вариантов.

3.4. Запруды в протоках рекомендуется размещать так, чтобы между запрудами откладывались наносы, и при горизонтальном уровне отложений вровень с верхом нижней запруды уровень отложений у верхней запруды составлял бы некоторую ее долю (рис.1).

Верх запруд необходимо устраивать на отметке бровок протока.

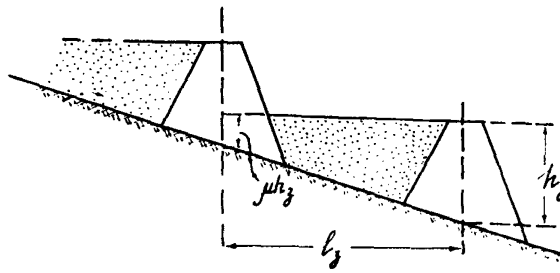


Рис.1. Схема расчета расстояний между запрудами

Расстояние между запрудами $l_з$ при высоте запруд $h_з$ и бытовом уклоне протока $i_б$ следует определять по формуле

$$l_з = \frac{h_з(1-\mu)}{i_б}, \qquad (2)$$

где μ – часть высоты верхней запруды, на которой откладываются наносы.

Значение μ принимают от 0,8 до 0,95. При прочих равных условиях при малых уклонах значение μ может приниматься большим, при больших уклонах – меньшим.

3.5. С целью сокращения объема работ искусственное русло для отвода расхода воды из протока рекомендуется рассчитывать с учетом саморазмыва пионерной траншеи.

Выбор размеров пионерной траншеи зависит от топографических и геологических условий, а также от наличия землеройной техники.

Дно траншеи устраивают на отметке межени. Пропускную способность пионерной траншеи искусственного русла следует принимать в зависимости от увеличения уклона водной поверхности в траншее $i_{тр}$ по сравнению с бытовым уклоном протока $i_б$ на участке отвода. Значения рекомендуемого отношения расхода Q, проходящего в бровках протока (повторяемостью 40–50%), к первоначальному расходу $Q_{тр}$, пропускаемому пионерной траншеей, приведены в табл.2.

Таблица 2

$i_{тр}/i_б$	1,0	1,5	2,0	3,0
$Q_{тр}/Q$	1,0	0,6	0,4	0,2

По полученному расходу $Q_{тр}$, $м^3/с$, определяют минимальную ширину пионерной траншеи по дну $в_{дн}$, м (на отметке межени)

$$в_{дн} = \frac{Q_{тр}\, n}{h_{тр}^{5/3}\sqrt{i_{тр}}} - m_{тр} h_{тр}\,, \qquad (3)$$

где n – коэффициент шероховатости траншеи, принимаемый для суглинистых и глинистых грунтов 0,020, для песчаных и гравелистых 0,025;

$h_{тр}$ – глубина потока от отметки межени до бровки траншеи, м;

$m_{тр}$ – коэффициент заложения откосов траншеи, принимаемый для несвязных грунтов не менее 1,5, для связных 1,2.

3.6. Метод саморазмыва следует применять при проектировании искусственных русел в хорошо размываемых и достаточно однородных грунтах (по глубине и гранулометрическому составу).

Грунты удовлетворяют требованиям саморазмыва, если скорость в сформированном отводящем русле $v_р$ будет больше размывающей для наибольших по крупности частиц d_{max}, составляющих не менее 5% от массы грунта. В этом случае

$$d_{max} < \frac{0{,}57\, v_р^4}{g^2 H_р}\,, \qquad (4)$$

где $H_р$ – глубина потока в отводящем русле после саморазмыва;

g – ускорение силы тяжести.

Примечание. Грунт, полученный при разработке отводящих русел, должен быть использован для засыпки выключенных участков протоков.

ПРИМЕР. Запроектировать отвод левобережного протока в русло (рис.2).

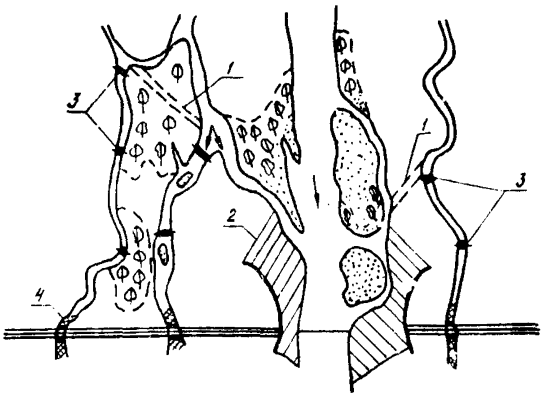


Рис.2. План мостового перехода:

1 - отвод протоков; 2 - расчистка или срезка; 3 - запруды; 4 - усиленные участки земляного полотна при пересечении протоков

Расход протока в его бровках равен Q = 96 м^3/с, уклон свободной поверхности $i_з$ = 0,0012. Ширина протока 30-35 м, глубина 2-3 м; глубина потока в межень 0,3-0,5 м .

Пойма на участке отвода сложена гравийно-песчаными грунтами, средний диаметр частиц 4 мм, наибольший d_{max} = 7,5 мм.

Для выключения участка протока перед подходной насыпью проектируем запруды. Назначаем часть высоты верхней запруды, на которой откладываются наносы M = 0,85 (см.рис.1).

Расстояние первой запруды высотой $h_з$ = 2,8 м до подходной насыпи определяем по формуле (2)

$$l_з = \frac{2{,}8(1-0{,}85)}{0{,}0012} = 350 \text{ м.}$$

Расстояние между первой и второй запрудами при высоте последней $h_з$ = 2 м равно

$$l_з = \frac{2\,(2-0{,}85)}{0{,}0012} = 250 \text{ м.}$$

Выше второй запруды проектируем отвод протока в русло. По разнице отметок свободной поверхности в протоке и русле получим, что уклон в отводе равен $i_{тр} = 0{,}002$, т.е. $i_{тр}/i_{б} = 1{,}67$.

Принимая глубину потока в отводящем русле $H_р = 2{,}5$ м, коэффициент заложения откосов $m_р = 2$ и ширину отвода по верху B = 30 м, определим среднюю скорость потока в отводном русле

$$v_р = \frac{Q}{H_р(B - m_р H_р)} = \frac{96}{2{,}5\ (30 - 2 \cdot 2{,}5)} = 1{,}54 \text{ м/с}.$$

Проверяем по уровнению (4) возможность саморазмыва при устройстве отводящего русла

$$\frac{0{,}57 \cdot 1{,}54^4}{9{,}8^2 \cdot 2{,}5} = 0{,}0133 \text{ м} > d_{max} = 0{,}0075 \text{ м}.$$

Следовательно, грунты удовлетворяют требованиям саморазмыва. Находим минимальную пропускную способность пионерной траншеи.

Между отношениями $\frac{i_{тр}}{i_б} = 2{,}0$ и $\frac{i_{тр}}{i_б} = 1{,}5$ по интерполяции имеем $\frac{Q_{тр}}{Q} = 0{,}4 + \frac{0{,}6 - 0{,}4}{2{,}0 - 1{,}5}(2{,}0 - 1{,}67) = 0{,}533$,

откуда расход пропускаемый пионерной траншеей, равен

$$Q_{тр} = 96 \cdot 0{,}533 \simeq 51 \text{ м}^3/\text{с}.$$

При глубине потока от отметки межени до бровки траншеи $h_{тр} = H_р - (0{,}3\text{–}0{,}5) = 2{,}1$ м определим по формуле (3) минимальную ширину пионерной траншеи по дну

$$b_{дн} = \frac{51 \cdot 0{,}025}{2{,}1^{5/3}\sqrt{0{,}002}} - 2{,}1 \cdot 1{,}5 \simeq 5 \text{ м}.$$

Полученая ширина пионерной траншеи по дну $b_{дн} = 5$ м технически осуществима, и ее принимаем за исходную.

4. РАСЧЕТ КАМЕННОЙ НАБРОСКИ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ СООРУЖЕНИЙ И БЕРЕГОВ РЕК

4.1. Для устройства укреплений из каменной наброски рекомендуется использовать как однородный по крупности камень, так и неоднородную горную массу, которая является наиболее дешевым строительным материалом.

Примечание. Каменная наброска относится к одному из целесообразных типов укрепления откосов насыпей и берегов рек особенно в районе распространения вечной мерзлоты, пучения и большой просадочности грунтов.

4.2. Расчетную крупность однородного, устойчивого на откосе камня определяют по формуле

$$d_к = \frac{0{,}27\, V^4}{g^2 h K^4_{v_0}}, \qquad (5)$$

где V – средняя скорость потока вблизи подошвы откоса, м/с;

h – глубина потока у основания сооружения, м;

g – ускорение силы тяжести, м/с^2;

K_{v_0} – понижающий коэффициент размывающей скорости, характеризующий уменьшение устойчивости камня на откосе за счет поперечной циркуляции, а также косого набегания потока на откос

$$K_{v_0} = \left(\sqrt{1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2} - 10\frac{m_0}{m}\frac{H}{r}\right)^{1/2} K_{уг}, \qquad (6)$$

Здесь m_0 коэффициент заложения естественного откоса камней под водой (для практических расчетов m_0 = 1,3–1,15, где большие значения применяют для округлых, а меньшие – для угловатых камней);

m – коэффициент заложения откоса сооружения или берега;

H – средняя глубина потока на криволинейном участке русла у вогнутого берега, м;

r – средний радиус кривизны излучины у вогнутого берега, м; на прямолинейных участках второй член в скобках принимают равным нулю;

$K_{уг}$ – коэффициент, учитывающий уменьшение размывающей скорости при косом набегании потока, определяемый по формуле

$$K_{уг} = \left(\frac{1 + 2\frac{h}{b}}{1 + 2\frac{h}{b} + 3{,}68\, K_m K_\alpha} \right)^{1/4}, \qquad (7)$$

где b – длина проекции сооружения на нормаль к направлению потока, м;

K_α – коэффициент, учитывающий расположение сооружения в плане, определяемый по формуле

$$K_\alpha = \sqrt[3]{\frac{\alpha}{90^\circ}}, \qquad (8)$$

α – угол, образуемый осью сооружения с направлением течения; когда сооружение в плане повернуто по течению, угол $\alpha < 90^\circ$, а против – больше 90°;

K_m – коэффициент, зависящий от крутизны укрепляемого откоса (табл.3).

Таблица 3

m	2,0	2,5	3,0	3,5
K_m	0,44	0,37	0,32	0,28

Камень в наброске будет работать как однородный материал при условии $\frac{d}{d_{min}} \leq 3$, где d – средний диаметр камней наброски, d_{min} минимальная крупность камня, принимаемая в количестве 10–15% от массы наброски.

4.3. При расчете толщины слоя наброски следует учитывать, что использование неоднородной (горной) массы для укрепления откосов приводит к его деформациям, которые вызываются выносом с откоса фракций горной массы. Стабилизация размыва наступает тогда, когда откос вымащивается крупными камнями, т.е. произойдет естественная отмостка.

4.4. Расчетный диаметр отмостки D определяется в следующей последовательности:

а) расчитывают крупность однородных устойчивых на откосе частиц $d_к$ по формуле (5);

б) по гранулометрическому составу горной массы (при наличии в ней частиц крупнее $d_к$) находят фракции крупнее $\frac{d_к}{3}$; эти фракции войдут в состав отмостки;

в) определяют расчетный диаметр отмостки

$$D = \frac{\sum_{d_{к(min)}}^{d_{к(max)}} d_i p_i}{p}, \qquad (9)$$

где $p = \sum_{p_{к(min)}}^{p_{к(max)}} p_i$ – содержание по массе в наброске всех фракций материала, отмостившего откос;

p_i, $p_{к(max)}$, $p_{к(min)}$ – содержание по массе в наброске i-й, наибольшей и наименьшей фракций крупностью соответственно d_i, $d_{к(max)}$ и $d_{к(min)}$, входящих в слой отмостки.

Глубину размыва горной массы на откосе определяют по формуле [5]

$$\Delta h = \frac{0{,}7D}{\alpha_н \alpha_ф p}(1 - \alpha_н \alpha_ф p), \qquad (10)$$

где $\alpha_ф$ – коэффициент формы отмащивающих камней; для грубоколотого камня $\alpha_ф$ = 0,8–1,0, для лещадного $\alpha_ф$ = 1,2–1,4;

$\alpha_н$ – коэффициент неоднородности отмащивающих камней, определяемый по формуле

$$\alpha_н = \frac{D}{p} \sum \frac{p_i}{d_i}. \qquad (11)$$

4.5. Для построения поперечного профиля откоса после размыва рекомендуется определить деформации укрепления (глубины размыва) на вертикалях II с наибольшей глубиной размыва, а также на вертикалях III и IУ (рис. 3), расположенных на откосе ниже и выше вертикали II.

П р и м е ч а н и е. При построении поперечного профиля откоса после размыва следует иметь в виду, что коэффициент заложения деформированного откоса не может быть меньше коэффициента естественного откоса под водой для наброски. Если при построении поперечного профиля откоса получится $m < m_o$, то деформация откоса будет происходить из-за скатывания камней на крутом участке (см.рис.3)

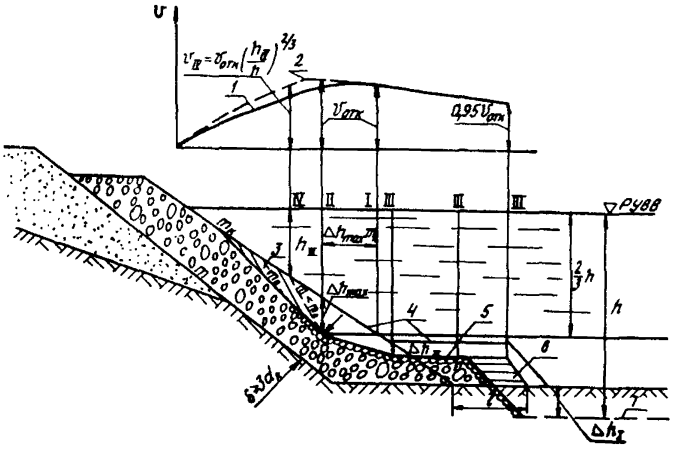


Рис.3. Деформация горной массы на откосе:
1 – эпюра распределения скоростей потока на недеформированном откосе; 2 – то же после размыва; 3 – участок скатывания камней с откоса; 4 – поперечное сечение откоса до размыва; 5 – то же после размыва; 6 – часть призмы, разрушаемой при размыве дна; 7 – линия дна после размыва

4.6. Наибольшая глубина размыва $\Delta h = \Delta h_{max}$ располагается на вертикали, у которой на момент стабилизации размыва глубина потока будет $h_{отк} = 2/3\,h$. Эта вертикаль II (см.рис.3) переместится вверх по откосу от вертикали 1 с такой же глубиной до размыва на расстояние $m_к \Delta h_{max}$, где $m_к$ – коэффициент заложения недеформированного откоса.

4.7. Глубину потока на вертикали h_{IV}, на которой размыва не будет, определяют из условия устойчивости наименьших частиц наброски d_{min}, лежащих среди более крупных камней, по формуле

$$h_{IV} = 2{,}61\,h\left(\frac{K_{V_0}\sqrt{g}}{v}\right)^{2{,}4}\left(h\,d_{min}\right)^{0{,}6}. \qquad (12)$$

Определение понижения отметки верха упорной призмы (вертикаль III) рекомендуется проводить в зависимости от относительной глубины потока над упорной призмой $A = h_п/h$, где $h_п$ – глубина потока над

упорной призмой до размыва.

При $2/3 < A < 1,0$ расчетная крупность устойчивого однородного камня в упорной призме в 1,65 А раз меньше того же на вертикали с наибольшей скоростью.

При $0 < A \leq 2/3$ крупность устойчивого однородного камня в упорной призме будет в $\frac{0,5}{A^{5/3}}$ раз меньше той же на вертикали с наибольшей скоростью. В этом случае $d_к$ определяют подбором. Подбором находят такую глубину размыва верха упорной призмы Δh, которая соответствует рассчитанной по формуле (10) с учетом изменения расчетного диаметра частиц слоя отмостки D при увеличении $A = \frac{h_п + \Delta h}{h}$.

4.8. Объем наброски, необходимый для укрепления откоса берега, земляного полотна и других сооружений, определяют по расчетному диаметру однородного камня или величине деформации горной массы. Толщину слоя наброски назначают не менее тройного размера расчетного диаметра камня (после деформации откоса).

4.9. Для защиты от выноса частиц грунта из сооружения или берега сквозь толщу однородной каменной наброски необходимо устройство обратного фильтра или подготовки.

Исходя из опыта проектирования и эксплуатации креплений откосов в виде каменной наброски, для песчаного основания рекомендуется устройство однослойной фильтровой подготовки из разнозернистого гравийно-щебеночного материала толщиной слоя не менее 20 см.

4.10. 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.

При однослойной укладке камня масса 1 пог. м разрушаемой части призмы G равна

$$G = \frac{\gamma_{об} \Delta h_1 D}{\alpha_н \alpha_\varphi p} \sqrt{1 + m_0^2}, \qquad (13)$$

где $\gamma_{об}$ – плотность камня;

Δh_1 – высота откоса, подлежащего защите при размыве дна.

Для размываемого грунта под водой принимают m_0 равным 1,6–2,0.

Расчетный диаметр D определяют по выше приведенному методу, как для вертикали на откосе с глубиной потока у подошвы недеформированной упорной призмы.

Если призма отсыпается из однородного камня, то в формуле (13) $D=d_к$; $p=1$ и $\alpha_н=1$.

Исходя из массы призмы G, определяют геометрические ее размеры. При этом высоту призмы принимают не менее трех–четырех расчетных диаметров камней, а ширину (в направлении, нормальном к течению) – минимальной по условиям стеснения живого сечения.

ПРИМЕР. Рассчитать размеры укрепления откоса насыпи горной массой. Насыпь с крутизной откоса $m = 2{,}0$ находится на прижимном участке реки у вогнутого берега. Радиус излучины $r = 160$ м. Поток плавно обтекает откос насыпи ($\alpha = 0$, $K_{уг} = 1$).

После постройки сооружения в расчетном створе (см. рис. 3) скорость и глубина потока у сооружения будут: $V = 4{,}0$ м/с, $h = 5{,}75$ м при средней глубине у вогнутого берега $H = 4{,}6$ м. До постройки насыпы глубина потока у вогнутого берега в расчетном створе была 5,0 м. Гранулометрический состав горной массы со средним диаметром частиц 0,129 м приведен в табл.4.

Таблица 4

Диаметр камней, м	0,7–0,3	0,3–0,1	0,1–0,02	0,02–0,005	<0,005
Содержание по массе фракций, %	17	8	40	3	5

По формуле (6) находят коэффициент K_{v_0}, учитывающий уменьшение размывающей скорости на откосе у вогнутого берега (для горной массы принимаем $m_0 = 1{,}2$).

$$K_{v_0} = \left(\sqrt{1 - \left(\frac{1,2}{2}\right)^2} - 10\,\frac{1,2}{2}\cdot\frac{4,6}{160}\right)^{1/2} = 0,79.$$

Определяем по формуле (5) необходимую крупность однородного камня на вертикали II (см.рис.3).

$$d_к = 0,27\,\frac{4^4}{9,8^2 \cdot 5,75 \cdot 0,79^4} = 0,320 \text{ м}.$$

Минимальная крупность камня на вертикали II, который не будет уноситься с откоса, $d_{к(min)} = \frac{d_к}{3} \simeq$ 0,107 м. Поэтому в состав слоя отмостки, образуемого на откосе в створе с наибольшей скоростью потока, войдут только две фракции горной массы со средним диаметром камней $\frac{0,7+0,3}{2} = 0,5$ м и $\frac{0,3+0,1}{2} = 0,2$ м (см.табл.4).

Параметры камней в слое отмостки при этом по формулам (9) и (11) будут следующие:

$$\mathcal{D} = \frac{0,5 \cdot 0,17 + 0,2 \cdot 0,08}{0,17 + 0,08} = 0,403 \text{ м};$$

$$p = \sum p_i = 0,17 + 0,08 = 0,25;$$

$$\alpha_н = \frac{0,403}{0,25} \cdot \left(\frac{0,17}{0,5} + \frac{0,08}{0,2}\right) = 1,19.$$

Принимаем для грубоколотого камня в горной массе $\alpha_ф = 1$.

Определим по (10) наибольшую глубину размыва на откосе (на вертикали II).

$$\Delta h_{max} = \frac{0,7 \cdot 0,403}{1,19 \cdot 1 \cdot 0,25}\,(1 - 1,19 \cdot 0,25) = 0,87 \text{ м}.$$

Так как толщина слоя наброски должна быть не менее тройного расчетного размера камня после деформации откоса, минимальная толщина укладки камня на вертикали II равна

$$3d_к\frac{\sqrt{1+m^2}}{m} + \Delta h_{max} = 3 \cdot 0,320\,\frac{\sqrt{1+2^2}}{2} + 0,87 \simeq 1,8 \text{ м}.$$

С учетом возможных деформаций горную массу отсыпают с более пологим откосом $m_к$, чем откос насыпи. Принимаем $m_к = 2,5$. Тогда расстояние между вертикалями I и II равно $m_к \Delta h_{max} = 2,5 \cdot 0,67 = 1,68$ м.

Определим вертикаль IУ на откосе (см.рис.3), выше которой размыва не будет. Глубину потока на этой вертикали найдем по формуле (12), принимая в качестве наименьшей частицы наброски $d_{min} = 0,005$ м.

$$h_{IV} = 5,75 \cdot 2,61 \left(\frac{0,79\sqrt{9,8}}{4}\right)^{2,4} (5,75 \cdot 0,005)^{0,6} = 2,25 \text{ м}.$$

Основание упорной призмы расположено на отметке дна до постройки сооружения (при глубине потока 5 м). Высоту призмы назначаем 1 м. Тогда глубина потока над недеформированной призмой равна $h_п = 5 - 1 = 4$ м. При этой глубине $A = \frac{4}{5,75} = 0,695 > \frac{2}{3}$, а крупность непередвигаемого однородного камня будет в $1,65 A = 1,65 \cdot 0,695 = 1,15$ раза меньше подсчитанного для вертикали II.

Так как $d_к = \frac{0,320}{1,15} = 0,278$ м, то $d_{к(min)} = \frac{0,278}{3} \approx 0,093$ м.

Следовательно, в состав отмостки на поверхности призмы войдет и часть фракции с размером камней от 0,1 до 0,02 м. Считая, что содержание по массе всех крупностей во фракции одинаково, камней крупностью до 0,093 м в этой фракции должно быть 40% $\frac{0,1 - 0,093}{0,1 - 0,02} = 3,5\%$, а средний диаметр таких камней равен $\frac{0,1 + 0,093}{2} = 0,098$ м.

Содержание по массе камней, вошедших в слой отмостки на поверхности недеформированной упорной призмы, будет равно $p = 0,17 + 0,08 + 0,035 = 0,285$, а средний диаметр по формуле (9)

$$D = \frac{0,5 \cdot 0,170 + 0,2 \cdot 0,08 + 0,098 \cdot 0,035}{0,17 + 0,08 + 0,035} = 0,367 \text{ м}.$$

Найдем коэффициент неоднородности частиц отмостки по формуле (11)

$$\alpha_н = \frac{0,367}{0,285}\left(\frac{0,17}{0,5} + \frac{0,08}{0,2} + \frac{0,035}{0,098}\right) = 1,43.$$

Понижение отметок верха упорной призмы найдем по формуле (10)

$$\Delta h_{III} = \frac{0,7 \cdot 0,367}{1,43 \cdot 1 \cdot 0,285}(1 - 1,43 \cdot 0,285) \simeq 0,4 \text{ м}.$$

По данным о размывах на вертикалях П, Ш и 1У можно построить поперечное сечение деформированного укрепления на откосе. В данном примере при деформации наброски участка с откосом $m < m_0$ не будет. Поэтому не будет падения камней с откоса (см.рис.3).

Имея поперечное сечение укрепления на откосе, можно определить размеры упорной призмы.

Так как укрепление каменной наброской устраивается на откосе с крутизной $m = 2$, призма назначается только из расчета защиты откоса, образуемого при размыве дна у основания насыпи. Высота этого откоса равна $\Delta h_1 = 5,75 - 5,0 = 0,75$ м.

Определим средний диаметр отмащивающих камней D на откосе, защищаемом упорной призмой.

У подошвы недеформированной призмы глубина потока равна 5 м и $A = \frac{5,0}{5,75} = 0,87 > \frac{2}{3}$. Тогда крупность устойчивого однородного камня будет в $1,65A = 1,65 \cdot 0,87 = 1,44$ раза меньше подсчитанного для вертикали II, т.е.

$$d_к = \frac{0,320}{1,44} = 0,222 \text{ м};$$

$$d_{к\,(min)} = \frac{0,222}{3} = 0,074 \text{ м}.$$

Следовательно, в состав отмостки на откосе, образуемом при размыве дна, войдет 40% $\frac{0,1 - 0,074}{0,2 - 0,02} = 13\%$ камней фракции 0,1–0,02 м со средним диаметром $\frac{0,1 + 0,074}{2} = 0,087$ м. Содержание по массе всех камней, вошедших в слой отмостки, будет $P = 0,17 + 0,08 + 0,13 = 0,38$, а средний диаметр по формуле (9)

$$\mathcal{D} = \frac{0,5 \cdot 0,17 + 0,2 \cdot 0,08 + 0,087 \cdot 0,13}{0,17 + 0,08 + 0,13} = 0,293 \text{ м.}$$

Коэффициент неоднородности частиц отмостки равен

$$\alpha_н = \frac{0,293}{0,38}\left(\frac{0,17}{0,500} + \frac{0,08}{0,200} + \frac{0,13}{0,087}\right) = 1,72.$$

При коэффициенте формы камней $\alpha_\varphi = 1$ и плотности материала $\gamma_{об} = 1,7$ т/м^3, а также коэффициенте естественного откоса размываемого грунта $m_0 = 2$ по формуле (13) масса разрушаемой части призмы равна

$$G = \frac{1,7 \cdot 0,75 \cdot 0,293}{1,72 \cdot 1 \cdot 0,38}\sqrt{1 + 2^2} = 1,28 \text{ т/пог·м.}$$

Так как высота упорной призмы после ее деформации равна $\delta = 1,0 - 0,4 = 0,6$ м, минимальная ширина разрушаемой части призмы определяется из условия

$$\ell = \frac{G}{\delta \gamma_{об}} = \frac{1,28}{0,6 \cdot 1,7} = 1,25 \text{ м.}$$

Принимаем с запасом ширину упорной призмы по низу (см.рис.3) $\ell = 2$ м.

Приложение 1

ОСЕРЕДКОВЫЙ ТИП РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА И ЕГО ОСОБЕННОСТИ

Осередковый тип руслового процесса возникает на участках русел, перегруженных наносами.

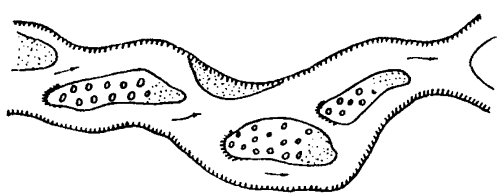
К таким участкам относятся: выход реки из гор (в частности, конуса выноса), устьевые участки рек, а также участки резкого уменьшения продольного уклона дна долины.

Повышенный транспорт донных наносов может быть обусловлен и местными источниками поступления наносов, например притоками.

Особенностью осередкового типа руслового процесса является распластанное мелкое русло, в котором движутся гряды наносов, образующие острова (осередки), разделенные извилистыми рукавами.

Следует различать два вида осередкового типа руслового процесса, каждый из которых имеет свои особенности, подлежащие учету при проектировании.

Оба вида осередкового типа руслового процесса объединяет понятие "русловая многорукавность". Русловая многорукавность островного вида (рисунок) наблюдается на реках с длительной меженью, когда обсохшие части осередков покрываются растительностью, способствующей отложению наносов, и превращаются в острова. Протоки между островами меандрируют, что вызывает деформацию островов: размывы с верховой части островов и отложения наносов в низовой обуславливают их сползание вниз по течению со скоростью 15-20 м/год.



Русловая многорукавность островного типа

Особенностью рек с русловой многорукавностью островного типа является наличие пойм, пропускающих

иногда значительную долю расчетного расхода реки.

Поймы могут быть расчленены серией протоков. Значительные уклоны долины приводят к интенсивному развитию в протоках процесса меандрирования. Такой тип руслового процесса называют пойменной многорукавностью.

При достаточно больших расходе и уклоне пойменная многорукавность переходит непосредственно в русловую многорукавность. Поэтому указанные типы руслового процесса обычно соседствуют друг с другом.

Островная разновидность осередкового типа руслового процесса встречается только на отдельных участках небольшого протяжения. На участках, где русло разветвляется на ряд протоков, осередковый тип руслового процесса может сохраняться в наиболее мощном протоке, а остальные протоки развиваются по типу меандрирующих русел.

Участки, на которых имеет место осередковый тип руслового процесса, характеризуются следующими уклонами дна долины и средними из годовых максимумов расходов воды повторяемостью 50% (таблица).

Средние из годовых максимумов расхода воды, $м^3/с$	200–300	500	800	1000	2000	3000	5000	8000
Уклоны дна долины, %	15–4	10–2,5	7–2	6–1,5	2,5–1	1,5–0,8	0,8–0,3	0,5–0,2

Приложение 2

РАСЧЕТ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПОЭТАПНЫХ ЗАТРАТ

Целесообразность поэтапных затрат диктуется выгодностью их рассредоточения во времени.

Распределение капиталовложений на постройку мостового перехода во времени назначают на основании прогноза русловых деформаций.

При распределении капитальных вложений по этапам во времени необходимо учитывать уменьшение последующих затрат в связи с их отдалением.

Вариант распределения капиталовложений по этапам является выгодным при соблюдении неравенства

$$R_{полн} > R_{част} + \frac{R_{доп}}{(1+E_{нп})^t} \qquad (1)$$

где $E_{нп}$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений для проведения разновременных затрат (в расчетах можно принимать $E_{нп} = 0{,}08$);

$R_{полн}$ – единовременные затраты, исключающие отдаленные во времени затраты;

$R_{част}$ – единовременные затраты (в небольшом объеме) с учетом отдаленных во времени дополнительных затрат $R_{доп}$;

t – число лет, после которых предусматриваются дополнительные затраты.

Период t лет определяют из неравенства

$$t > \frac{lg\,R_{доп} - lg\,(R_{полн} - R_{част})}{lg\,(1+E_{нп})}. \qquad (2)$$

ПРИМЕР. Расчетом получено, что размываемый вогнутый берег реки подойдет к подошве подходной насыпи через 17 лет. Единовременные затраты на укрепление берега и участка подходной насыпи, расположенного в зоне воздействия русла при его перемещении, равны $R_{полн} = 1000$ тыс.руб.

По второму варианту проектируется при постройке мостового перехода только устройство укрепления подходной насыпи без укрепления берега. Стоимость укрепления рассматриваемого участка подходной насыпи составляет $R_{част} = 300$ тыс.руб. На 12–15 год службы мостового перехода предусматриваются капиталовложения в сумме $R_{доп} = 1500$ тыс.руб. на укрепление берега и переустройство укрепления участка подходной насыпи.

Требуется проверить экономическую целесообразность поэтапных затрат.

Из неравенства (2) определяем минимальный период выгодности поэтапных затрат

$$\frac{lg\, R_{доп} - lg\,(R_{полн} - R_{част})}{lg\,(1+E_{нп})} = \frac{lg\,1500 - lg\,(1000-300)}{lg\,1{,}08} \approx 10 \text{ лет.}$$

Так как по второму варианту капиталовложения предусматриваются через 12–15 лет, что больше $t = 10$ лет, то вариант поэтапных затрат выгоден.

Приложение 3

ВЫБОР МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАЗМЕРОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Экспериментальные исследования проводят на гидравлических безнапорных и воздушно-напорных моделях.

Выбор метода напорного или безнапорного моделирования связан с техническими возможностями лабораторной базы, с задачами исследования и размерами моделируемого участка реки. При изучении плановой картины течения на модели мостового перехода необходимо воспроизвести участок реки на всю ширину разлива при исследуемом уровне. Максимальная длина участка вверх по течению от верхнего варианта трассы равна 1-1,5 ширины разлива и вниз (от нижнего варианта) 0,5-1 ширины.

При выборе масштаба модели ограничивающим условием обычно является воспроизведение на модели минимальных глубин потока (пойменных участков). На гидравлической модели глубина пойменного потока должна быть не менее 3-4 см, на воздушно-напорной модели 0,4-0,5 см.

Если размеры экспериментальных установок не позволяют моделировать весь требуемый участок реки в масштабе, определенном по условию воспроизведения на модели минимальных глубин потока, то прибегают к искажению масштабов модели (т.е. принимают горизонтальный масштаб мельче вертикального).

При изучении плановой картины течений на прямолинейных участках рекомендуется допускать геометрическое искажение модели в 4-5 раз, на криволинейных участках - не более чем в 2 раза.

Установки для воздушно-напорного моделирования имеют ширину не более 5 м. Гидравлическое моделирование выполняют на лотках шириной до 3-4 м. Более крупные модели устраивают на русловых площадках.

Приближенная оценка возможностей экспериментальных установок приведена в таблице.

Ширина разлива в натуре, км	Допустимый масштаб плана (не мельче)	Требуемая ширина экспериментальной установки, м, для модели			
		гидравлической безнапорной		воздушной напорной	
		при геометрическом подобии, исключая грунт	при искажении геометрических масштабов	при геометрическом подобии исключая грунт	при искажении геометрических масштабов
≤ 1	1:1000	4-6	2-3	1,3-2,0	1
2	1:2000	8-10	3,0-4,5	2,5-3,0	1,5
3	1:2000	10-12	4-5	3-5	1,5-2
5	1:5000	-	6-8	⩾ 5	2-3
10	1:10000	-	10-12	-	4-5
>10	1:10000	-	-	-	⩾ 5

ПРИМЕР. Требуется дать оценку возможностей моделирования регуляционных сооружений на переходе через реку с шириной разлива в расчетный паводок до $B = 4,5$ км. Глубина потока на пойменных участках в указанный паводок составляет не менее 3 м. Моделируемый участок реки прямолинейный.

По таблице определим размеры экспериментальной установки для гидравлического безнапорного моделирования. Вертикальный масштаб гидравлической модели определяется из отношения минимально возможной глубины потока на модели (3-4 см) к глубине потока на пойме в натуре, т.е. (3-4): 300 = 1 : (75-100).

Следовательно, даже принимая вертикальный масштаб $1 : M_н = 1 : 100$ и геометрическое искажение $\psi = 5$, требуемая ширина экспериментальной установки равна

$$\frac{B}{\psi M_н} = \frac{4500}{5 \cdot 100} = 9 \text{ м} > 3\text{-}4 \text{ м}.$$

Поэтому гидравлическое безнапорное моделирование возможно только на русловой площадке.

При воздушно-напорном моделировании геометрически подобную модель сделать также нельзя, поскольку воздушно-напорная установка требуется шириной более 5 м (см. таблицу).

По отношению глубин потока на модели (0,4–0,5 см) и в натуре (3 м) определим вертикальный масштаб $1 : M_н = (0,4 - 0,5) : 300 = 1 : (750–600)$. При геометрическом искажении до $\varphi = 3$ требуемая ширина воздушно-напорной установки равна

$$\frac{B}{\varphi M_н} = \frac{4500}{3\ (750–600)} = 2–2,5 \text{ м.}$$

Полученные масштабы моделирования на воздушно-напорной установке достаточно мелки (вертикальный 1 : (600–750), плановый около 1 : 2000). Поэтому для решения вопроса о выборе оптимальной схемы регулирования потока на мостовом переходе следует на воздушно-напорной установке подобрать оптимальные размеры регуляционных сооружений, а затем на фрагментарной гидравлической безнапорной модели убедиться в правильности выбора системы регуляции. При этом масштабы могут быть приняты соответственно рассчитанным выше (вертикальный 75–100, плановый 400–500), а ширина гидравлического лотка из расчета воспроизводства на модели ширины участка реки (1/3 – 1/5) B должна быть не менее 2–3 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Переходы через водотоки. Под ред. Л.Г.Бегама. М., "Транспорт", 1973.

2. Попов И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л., Гидрометиздат, 1969.

3. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций. М., Оргтрансстрой. 1973.

4. Наставление по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (НИМП-72). М., "Транспорт", 1972.

5. Цыпин В.Ш. Оценка однородности несвязных грунтов при прогнозе русловых деформаций. В сб. научных трудов ЦНИИСа, вып. 76, М., 1974.

gost.e-ecolog.ru