Р С Ф С Р

МИНИСТЕРСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Государственный дорожный проектно-изыскательский
и научно-исследовательский институт "Гипродорнии"

"Утверждаю"
Директор Гипродорнии
Е.К.Кутцов
"17" июня 1980г

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ГИДРАВЛИЧЕСКИМ И РУСЛОВЫМ РАСЧЁТАМ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Москва 1980 г

gost.e-ecolog.ru

П Р Е Д И С Л О В И Е

Проектирование мостовых переходов включает большой комплекс расчетов, одной из важнейших частей которых являются гидравлические и русловые расчеты, во многом определяющие генеральные размеры переходов.

Необходимость разработки "Методических рекомендаций по гидравлическим и русловым расчетам мостовых переходов" вызвана значительным совершенствованием методов расчета после выхода в свет в 1972 г. "Наставления по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки" (НИМП-72) и в 1976 г. "Методического пособия по гидрологическому и гидравлическому обоснованию проектов мостовых переходов" (ГипродорНИИ).

Настоящие "Методические рекомендации" включают лишь те вопросы, которые получили в последние годы значительное развитие. При решении других вопросов необходимо обращаться к указанным выше изданиям и изданиям, перечисленным в списке рекомендуемой литературы.

"Методические рекомендации" составлены главным специалистом ГипродорНИИ, кандидатом технических наук Г.С.Пичуговым.

При подготовке материалов автор пользовался консультациями доцента Московского автомобильно-дорожного института доктора технических наук Г.А.Федотова.

На "Методические рекомендации" получены положительные рецензии от Гипротрансмоста, кафедры проектирования дорог МАДИ и ряда филиалов ГипродорНИИ. они одобрены секцией НТС проектной части Гипродорнии.

О всех замечаниях и пожеланиях, возникающих при использовании "Методичеоких рекомендаций", просьба сообщать по адресу: 109089, Москва, Ж-89, наб. Мориса Тореза, 34, ГипродорНИИ, технический отдел.

I. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Гидравлические и русловые расчеты в большинстве случаев являются основой для назначения отверстий мостов, глубины фундирования опор, размеров искусственных уширений, отметок бровок земляного полотна на подходах, назначения укреплений и т.д.

Расчет оптимального отверстия моста должен производиться в комплексе с расчетом назначения глубины фундирования опор, с учетом тех возможных отрицательных последствий, которые могут появиться после постройки мостового перехода.

При назначении отверстия моста, определении глубины заложения фундаментов опор, проектировании регуляционных сооружений необходимо учитывать возможные природные деформации русла, которые наблюдаются на водотоках в бытовых условиях и часто интенсифицируются после постройки перехода. Плановые природные деформации могут вызвать смещение русла в пределах отверстия моста с приближением к устоям, излучины реки могут приблизиться к насыпи подходов и угрожать ее сохранности, помимо этого может увеличиться ширина русла под мостом. Глубинные природные деформации, в зависимости от типа руслового процесса [5,8] , могут вызвать смещение максимальной глубины воды на участке реки в районе перехода как в поперечном, так и продольном направлении.

Избежать негативное влияние природных деформаций на работу мостового перехода можно как их учетом при назначении генеральных размеров перехода, так и соответствующей регуляцией руслового потока (спрямлением русла, устройством укреплений берегов, поперечных и продольных регуляционных сооружений).

Уширения подмостовых русел могут обусловливаться также стеснением паводкового потока подходами к мосту, которое приводит к искусственному изменению руслоформирующего расхода на участке мостового перехода.

Фундирование опор определяется суммой общего и местного размыва с учетом возможных глубинных природных деформаций.

При проектировании мостового перехода следует рассматривать целесообразность устройства одного или нескольких отверстий.

Дополнительные мосты, помимо основного, на переходах необходимы при наличии проток, используемых под судоходство, для целей водоснабжения и нужд рыбного промысла, а также для снижения общего подпора перед мостовым переходом и уменьшения подтопления населенных пунктов, предприятий и ценных угодий, для сохранения лесного массива и уменьшения заболачиваемости пойм, для улучшения условий судоходства в основном русле реки и уменьшения размыва, а следовательно, и глубины фундирования опор и т.д.

В некоторых случаях для осушения бессточных частей пойм, а иногда и для целей водоснабжения и нужд рыбного промысла, устраиваются водопропускные трубы. Наличие на пойме водопропускных труб практически не влияет на гидравлическую работу основного руслового моста и на величину подпоров и размывов. Гидравлический расчет пойменных труб необходимо производить по перепаду уровней с верховой и низовой стороны насыпи, учитывая наихудшие условия, которые могут возникнуть при том или ином уровне.

Расчеты глубинных и боковых русловых деформаций и подпора (включая расчет групповых отверстий) на мостовых переходах рекомендуется производить(особенно в сложных случаях проектирования

и на судоходных реках) с использованием ЭВМ по программе . "Гидрав-3" и "Рур-Г"/10/ или по упрощенным методам расчета без обращения к ЭВМ (приведенным ниже).

При расчете мостовых переходов в условиях подпора, ниже капитальных плотин, через блуждающие реки и при геологическом ограничении размыва следует пользоваться рекомендациями проф. О..Андреева/1/.

При проектировании мостовых переходов в горно-предгорной зоне можно пользоваться "Рекомендациями по расчету отверстий мостов на реках горно-предгорной зоны"(Ростовский филиал Гипродорнии, 1980г.).

Производить подготовку исходных данных и определять состав необходимых расчетов рекомендуется в соответствии с "Руководством по составу инженерно-гидрометеорологических изысканий и расчетов при проектировании водопропускных сооружений автомобильных дорог" (Гипродорнии, 1979г.).

2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Комплексный расчет мостовых переходов рекомендуется производить на ЭВМ по программам "Гидрам-3" и "Рур-I", являющимся реализацией методологии комплексного расчета мостовых переходов, разработанной д.т.н. Г.А.Федотовым [5,10] .

Основу указанных программ составляет одновременное решение в конечных разностях строгих дифференциальных уравнений: уравнения баланса наносов Экснера, уравнения неразрывности неустановившегося потока и уравнения неравномерного, плавно изменяющегося движения неустановившегося потока в открытых непризматических руслах Сен-Венана.

Программы предусматривают расчет по длительной серии паводков с учетом, при необходимости, периода межени. Расчет можно производить по натурной серии паводков с вводом в ЭВМ каждого паводка без схематизации (ежедневные уровни в отчетах рейки ближайшего к оси перехода водпоста).

Водомерные графики автоматически переносятся по кривой связи на ось перехода, которая вводится в ЭВМ в виде криволинейных отрезков. На реках с устойчивым гидрографом (когда разные по высоте паводки имеют приблизительно одинаковую форму, продолжительность и время подъема и спада) вполне допустимо расчеты вести по типовой серии. В этом случае в ЭВМ вводится в табличной форме лишь один, наиболее характерный для всей серии водомерный график паводка, а каждый паводок натурной серии характеризуется лишь одним максимальным уровнем.

В программах учитывается нелинейность изменения руслового расхода вдоль потока и перераспределение общего

расхода между руслом и поймой, при деформациях русла и свободной поверхности потока.

Закон изменения ширины живого сечения вдоль потока может задаваться по данным натурных наблюдений и лабораторного моделирования или определяться по специально выведенным зависимостям.

Расход руслоформирующих наносов вычисляется как по теоретико-эмпирическим формулам, так и по данным натурных измерений. Расчет при этом может выполняться как по среднему диаметру донных отложений, так и пофракционно с автоматическим учетом отмостки дна русла крупными фракциями. Расчет расхода донных и взвешенных руслоформирующих наносов производится по формулам И.И.Леви. Входящие в формулы параметры свойств донных и взвешенных наносов наиболее точно определяются по данным гидрометрических измерений, а при их отсутствии - по эмпирическим формулам.

При решении дифференциальных уравнений водомерные графики паводков $H_i = f(t)$ заменяются ступенчатыми с шагом Δt (см. рис.2.1). Весь исследуемый участок русла делится на ряд отрезков длиной $\Delta \ell_{pm}$ и средней шириной B_{pm} (см.рис.2.2).

Программа "Гидрам-3" позволяет решать следующие задачи:

- расчет во времени общих размывов под мостами как при однородном, так и слоистом строении русла, с учетом возможной отмостки дна русла крупными фракциями;

- построение кривых свободной поверхности потока с учетом взаимодействия с русловыми деформациями;

- анализ работы искусственных уширений русел(срезок);

- расчет возможных русловых деформаций на значительном протяжении вверх и вниз от оси моста с целью прогноза

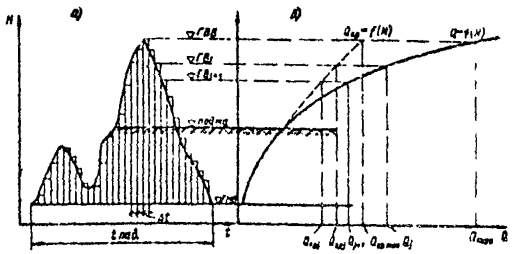


Рис. 2.I. Основные гидрометрические кривые:
а) водомерный график паводка;
б) кривые расходов

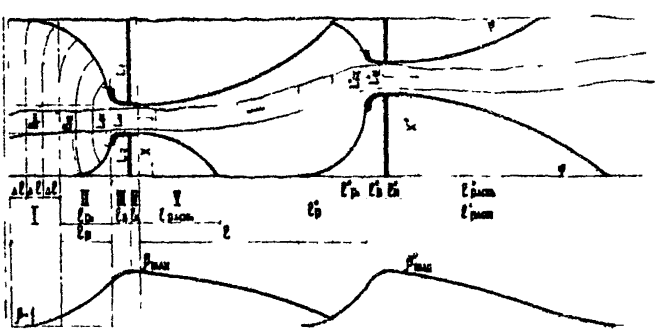


Рис.2.2. Схема зон влияния мостовых переходов

возможных размывов существующих и проектируемых переходов коммуникаций (нефтепроводов, газопроводов, кабельных переходов и т.д.); прогноза условий судоходства; назначения расчетных судоходных уровней (РСУ) с учетом допустимых для судоходства скоростей течения;

– оценка влияния выработок грунта в руслах рек на работу мостовых переходов и других гидротехнических сооружений;

– учет взаимодействия нескольких мостовых переходов при расчетах русловых деформаций и кривых свободной поверхности ;

– расчет мостовых переходов в нижних бьефах плотин;

– расчет мостовых переходов в подпоре;

– построение кривых свободной поверхности потока от плотин и прогноз заиления водохранилищ;

– расчет мостовых переходов с переливаемыми подходами;

– расчет мостовых переходов в условиях регрессивной эрозии.

С использованием программы "Гидрам-3" можно выполнять расчеты перехода с несколькими мостами на общем разливе по методу, разработанному Л.А.Пустовой [9] .

В основу этого метода положено равенство общих подпоров перед всеми мостами, то-есть подпоров, соответствующих общей подпорной поверхности, ниже которой происходит разделение общего расхода между мостами. Определение общих подпоров производится взаимным решением русловых деформаций и деформаций свободной поверхности воды.

Расчет ведется графо-аналитическим методом в следующем порядке:

– задаются величинами отверстий мостов;

– задаются тремя произвольными положениями водоразделительной линии между мостами;

– положение нулевого (расчетного) створа выбирается заведомо выше створа разделения потока на самостоятельные, идущие в разные отверстия, т.е. на общей подпорной поверхности;

– при каждом заданном положении водоразделительной линии выполняются отдельные расчеты на ЭВМ по программе "Гидрам-3", для которого из двух мостов и соответствующим им потоков по одному и тому же *реальному расчетному паводку* (для определения подпора) и по серии паводков (для определения максимального подпора, идущего под пойменный мост, и соответствующего разлива);

– строятся графики изменения общих подпоров для обоих мостов в выбранном расчетном створе в зависимости от положения водоразделительной линии;

– пересечение двух кривых определяет единственное значение расхода, идущего под основной и дополнительный мост, и соответствующее ему положение водоразделительной линии.

Для исключения графо-аналитического метода Л.Л.Пуговой [9] к программе "Гидрам-3" разработан блок автоматического подбора водоразделительной линии в ходе паводка. При расчете по серии паводков изменение водоразделительной линии учитывается автоматически, а ЭВМ выводит на печать кривые свободной поверхности $\Delta Z=f(\ell)$ и профили размытого дна $H=f(\ell)$ для основного и дополнительного моста.

Расчет может выполняться и при устройстве на общем разливе более двух мостов.

Программа "Рур-1" позволяет решать следующие задачи:

– определение координат зон самоуширения подмостовых русел;

– определение координат наибольшего искусственного уширения;

– расчет вероятного самоуширения, а также искусственного уширения подмостовых русел при геологическом ограничении бытового размыва;

– определение рациональных величин отверстий мостов с учетом уширения подмостовых русел.

С помощью гидравлического моделирования на ЭВМ по программам "Гидра-3" и "Рур-1" Г.А.Федотовым получены формулы для упрощенного расчета уширения подмостового русла, общего размыва и характерных подпоров [4,5,7] и Л.А.Пустовой – для определения общего подпора на переходах с несколькими мостами [9], на основании которых предлагаются методы расчета, изложенные в п.п.3,4,6 и 7.

3. РАСЧЕТ УШИРЕНИЙ РУСЛА ПОД МОСТОМ И НАЗНАЧЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ МОСТОВ

При затоплении пойменных участков в верхнем бьефе мостового перехода русловой расход на участке влияния перехода оказывается увеличенным по сравнению с бытовыми условиями за счет слива воды с пойм, что может привести к самоуширению русла на этом участке [5,6] .

Искусственное уширение русла под мостом (срезка) может быть устойчивой (не заиливаться во время эксплуатации), если величина срезки не превышает размеры возможного самоуширения русла. При необходимости получения дополнительных объемов грунта размеры срезки под мостом в некоторых случаях могут быть увеличены, но при расчете общего размыва величину срезки необходимо принимать равной расчетной ширине русла. Так как срезка является искусственным уширением русла (фронта переноса наносов), то ее надо устраивать за счет удаления связных грунтов пойменного наилка, но не за счет русловых элементов - побочней, осередков и т.д. Можно устраивать как одностороннюю, так и двухстороннюю срезку. При этом уширение между соответствующими поймами надо распределять в общем случае пропорционально сливу воды с каждой из них, с направкой на возможные природные плановые деформации русла. На меандрирующих реках срезку можно устраивать как на вогнутых, так и выпуклых берегах. Форма уширения русла в плане должна быть эллиптической с плавным сопряжением его с неуширенным руслом в верхнем и нижнем бьефах для плавного пропуска воды и наносов (см.рис.3.I). Общая длина срезки- не меньше четырех-шести ее ширин.

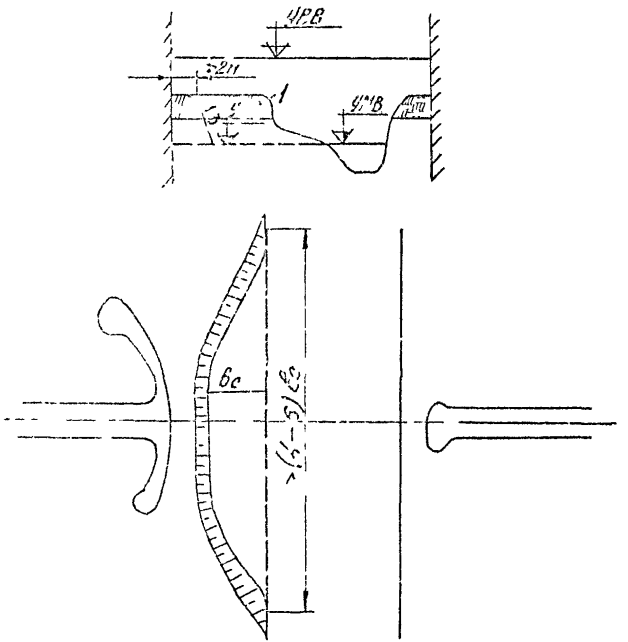


Рис. 3.1 Очертание фрезы в поперечном сечении в плане.
1 – наилок поймы.

Не рекомендуется устраивать срезку, повторяющую очертание струенаправляющей дамбы и доходящей до головы этой дамбы (рекомендации НИИМП-72), так как в этом случае не обеспечивается плавность подвода к мосту руслового потока и наносов и ослабляется одно из наиболее уязвимых мест перехода – голова струенаправляющих дамб.

Возможность уширения русла под мостом определяется по табл. 3.I или по рис. 3.2. Если при данном β $P_{п\%}$ больше значений, указанных в таблице, уширение возможно.

Таблица 3.I.

β	I,7	2,0	2,5	3,0	3.5	4,0	1,5
$P_{п\%}$	95	75	50	33	2I	I3	6

где: β – степень стеснения потока подходами,

$\beta = \frac{Q}{Q_{рб}}$ (в том случае, если пойменная часть сечения пропускает значительную часть расхода, что бывает сравнительно редко,

$\beta = \frac{Q}{Q_{рб} + q_п(L_м - B_{рм})}$ и расчет повторяется после назначения отверстия моста);

$P_{п\%}$ – вероятность затопления пойм, определяемая по графику обеспеченности уровней по средней отметке поймы.

Если уширение возможно, то определяется ширина русла под мостом:

$$B_{рм} = B_{рб}\left[\left(\beta^{0,93} - 1\right) k_п k_{р\%} + 1\right], \qquad (3.1),$$

где: $k_{р\%}$ – коэффициент, учитывающий вероятность затопления пойм, определяемый по известным β и $P_{п\%}$ по графику на рис.3.2;

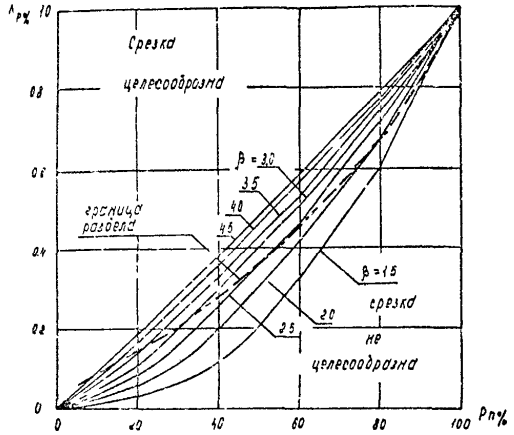


Рис 32 График для определения целесообразности срезки и коэффициента $K_{P\%}$.

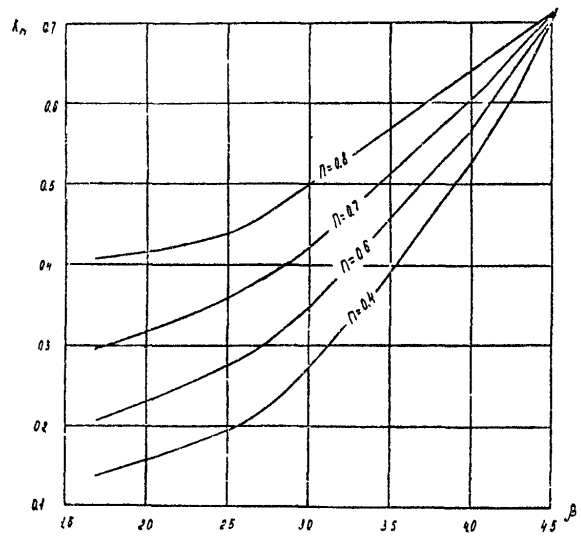


Рис 33 График для определения коэффициента Kn

$k_п$ – коэффициент, учитывающий полноту расчетного паводка, определяемый по известным β и $П$ по графику на рис.3.3;

$П = \frac{\bar{h}_{пав}}{h_{max(пав)}}$ – полнота паводка (при отсутствии данных приближенно можно принимать $П \approx 0,7$);

$\bar{h}_{пав}; h_{max(пав)}$ соответственно средняя и максимальная высота паводка над средней отметкой поймы, определяемые по водомерному графику расчетного паводка (величина $\bar{h}_{пав}$ определяется как сумма n числа ординат, деленная на n).

Значения коэффициентов Кр% и Кп могут быть определены по формулам:

$$K_{р\%} = \left(\frac{P_{1\%}}{100}\right)^{\left(0,5+\frac{2,5}{\beta}\right)};$$

$$K_п = \left(\frac{7,7}{\beta} - I\right)\left(\frac{П}{2}\right)^{(3,8-0,85\beta)}, \quad \text{при } \beta < 4,5;$$

$$K_п = 0,7 \quad \text{при } \beta \geq 4,5:$$

Ширина расчетной срезки принимается равной $B_{рм} - B_{рб}$.

Отверстия моста рекомендуется назначать не меньше величины, определяемой по формуле:

$$L_м \geq \delta b_{рм} + \Sigma b_{оп} + \Sigma b_{укр} + 2mh_{пк}, \text{ м} \qquad (3.2),$$

где: δ = I,I – гарантийный запас;

$\Sigma b_{оп}$ – суммарная ширина промежуточных опор,м;

$\Sigma b_{укр}$ – ширина укреплений подошв конусов,м;

m – коэффициент заложения откоса конусов;

$h_{пк}$ – глубина воды у подошвы конусов при РУВВ,м:.

Так как пойменная часть моста обычно пропускает незначительный погонный расход, то увеличение отверстия моста, полученного по формуле (3.2), как правило, не приводит к существенному снижению общего размыва и скоростей под мостом и подпоров.

4. РАСЧЕТ ОБЩЕГО РАЗМЫВА

По способу определения расчетного для опор общего размыва все мостовые переходы могут быть разделены на четыре группы [5,4,11].

К первой группе мостовых переходов характеризуется потенциальной размывающей способностью расчетного паводка, требуемой для достижения нижнего предела размыва, наибольшего размыва, вызываемого длительным воздействием расчетного паводка постоянной высоты.

К второй группе относятся мостовые переходы, характеризующиеся способностью, вызывающей расчетный размыв, равный размыву от прохода одного расчетного паводка по неразмытому дну (верхний предел размыва).

К третьей группе относятся переходы, характеризующиеся размывающей способностью, вызывающей расчетный размыв, равный размыву от воздействия многих проходящих один за другим расчетных паводков (гипотетический предел размыва).

К четвертой группе относятся переходы, характеризующиеся размывающей способностью слишком малой для реализации гипотетического размыва. Для этой группы расчетный общий размыв занимает промежуточное положение между верхним и гипотетическим пределами и должен определяться по длительной натурной серии паводков с пропуском расчетного в конце одного из наиболее опасных многоводных периодов. В этом случае с некоторым запасом расчетный размыв может быть определен по гипотетическому пределу.

Группа мостового перехода определяется по табл. 4.I или по графикам на рис.4.I по отношению продолжительности расчетного паводка ($t_{пав}$) к времени предельного размыва ($t_н$).

Таблица 4.I

Группа мостового перехода	Признаки групп переходов	
I	$\frac{t_{пав}}{t_н} \geq \frac{1}{n^{1,5\varphi}}$	$h_{рм(в)} \geq h_{рм(н)}$
II	$1 \leq \frac{t_{пав}}{t_н} < \frac{1}{n^{1,5\varphi}}$	$h_{рм(г)} \leq h_{рм(в)} < h_{рм(г)}$
III	$0,15 \leq \frac{t_{пав}}{t_н} < 1$	$0,85 h_{рм(г)} \leq h_{рм(в)} < h_{рм(г)}$
IУ	$\frac{t_{пав}}{t_н} < 0,15$	$h_{рм(в)} < 0,85\, h_{рм(г)}$

Время продолжительности паводка $t_{пав}$ определяется по водомерному графику расчетного паводка $H=f(t)$ при $H=H_п$.

Время предельного размыва определяется по формуле:

$$t_н = \frac{l_{сж} h_{рб} (k_{фв} + 2\chi)}{172800\, q_б}, \text{ сут.} \qquad (4.I)$$

Длина зоны сжатия потока под мостом ($l_{сж}$) определяется по формуле:

$$l_{сж} = \frac{B_0 - L_м}{I + l_{мп}/l_{бп}} \qquad (4.2),$$

где: $l_{мп}$ и $l_{бп}$ – соответственно длина малой и большой пойм в м.

Бытовой погонный расход наносов ($q_б$) определяется по фоомуле:

$$q_б = \left(\frac{A_д}{h_{рб}^{4}} + A_в \right) \left(v_{рб} - v_{нер} \right) v_{рб}^2, \qquad (4.3),$$

где: $v_{нер}$ – неразмывающая скорость для грунтов русла, определяемая по рис.4.2;

$A_д$ и $A_в$ – характеристики соответственно донных и взвешенных наносов, определяемые по $d_{ср}$ по рис. 4.3.

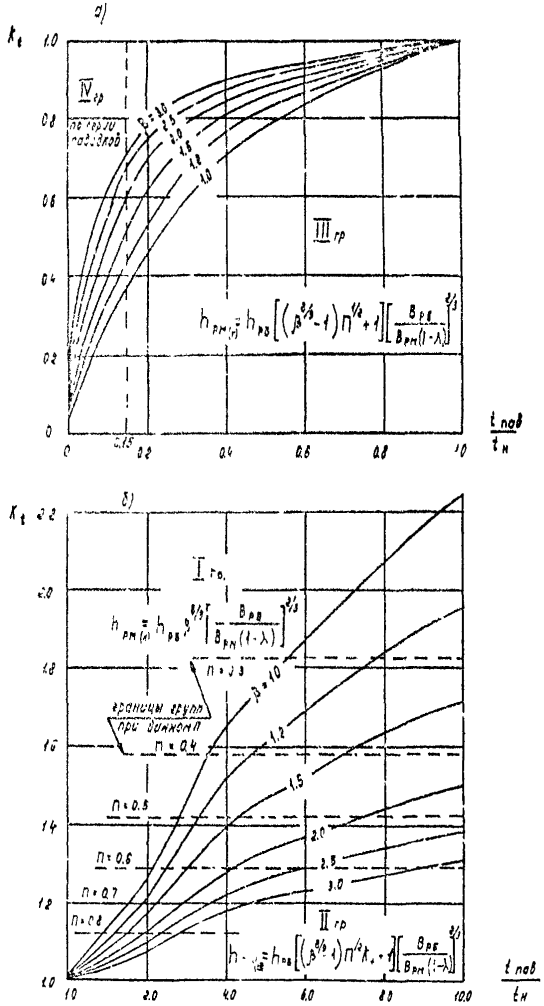


Рис 4.1. Графики для определения группы настового перехода и K_t:
а) при $t_{пов}/t_н \leq 10$; б) при $t_{пов}/t_н \geq 1$

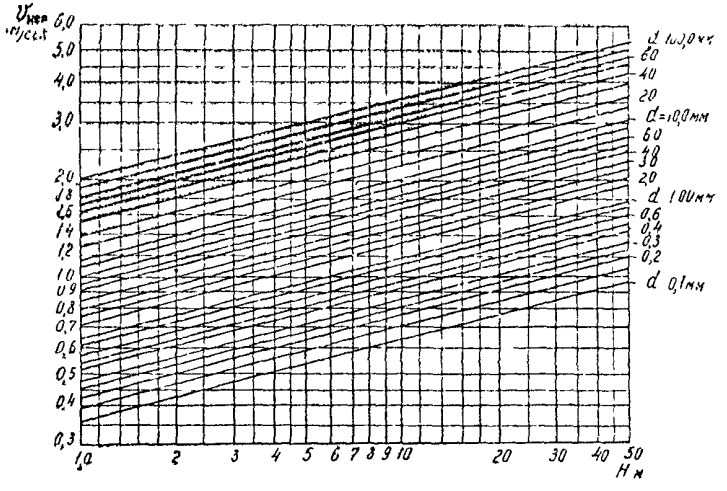


Рис.4.2. График для определения неразмывающей скорости.

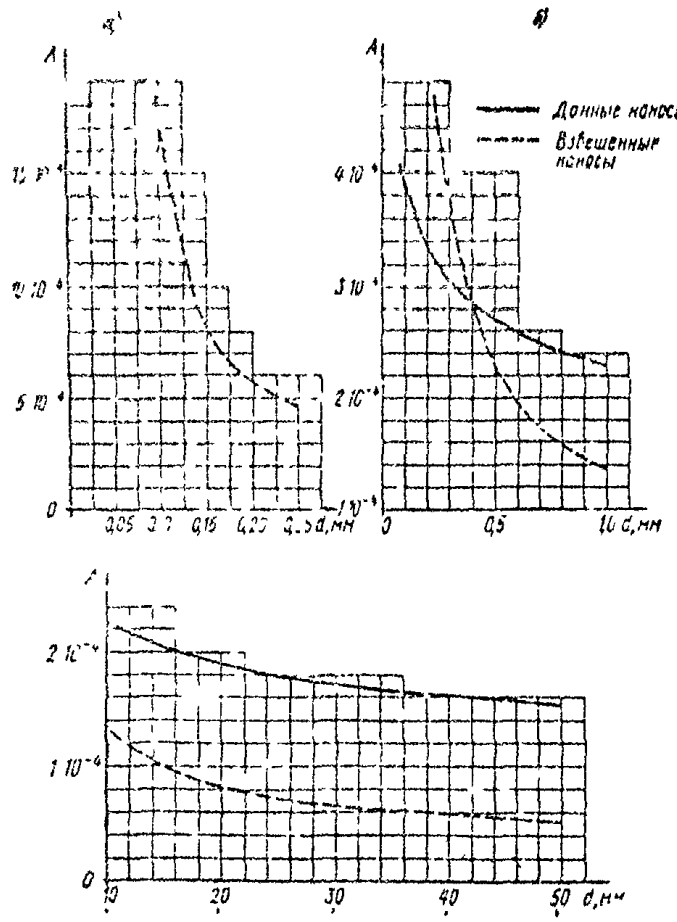


Рис.4.3. Графики для определения коэффициентов A_η и A_p: а/ мелкие, б/средние и в/крупные наносы.

Коэффициент, учитывающий форму воронки размыва $K_{фв}$, определяется по формуле:

$$K_{фв} = 0,4 \left(\frac{l_{ро}}{l_{вл}} - 0,5 \right)^2 + 0,8 \qquad (4.4)$$

Относительная длина верховой струенаправляющей дамбы (χ) определяется по формуле:

$$\chi = \frac{l_{вд}}{l_{сж}} \qquad (4,5),$$

где: $l_{вд}$ – проекция наибольшей верховой дамбы на ось потока (расчет струенаправляющих дамб рекомендуется производить согласно § 64 НИ 1-72).

Расчетный общий размыв определяется по формулам, соответствующим группе мостового перехода, приведенным на рис. 4.1.

(где $\lambda = \frac{\sum l_{оп}}{l_{н}}$ – относительное стеснение подмостового отверстия опорами).

Значение коэффициента K_t, учитывающего влияние длительности паводка, может быть определено по следующим формулам:

$$K = (1 + \frac{0,53}{\beta})\left(\frac{t_{пав}}{t_{н}} \right)^{\frac{0,75}{\beta}}, \text{ при } K < 0,80;$$

$$K = \left(\frac{t_{пав}}{t_{н}} \right)^{\frac{0,35}{\beta}}, \text{ при } K_t \geq 0,80.$$

Глубина общего размыва в русле выше моста при известном расчетном размыве в русле под мостом определяется по формуле:

$$\Delta h_{рк} = \Delta h_{рм}\left(1 - \frac{l_в}{l_{сж}}\right)^{3/2}, \qquad (4.6),$$

где: $l_в$ – расстояние от оси перехода коммуникации до входа в зону, охватываемую струенаправляющими дамбами;

$\Delta h_{рк}$ – средний смыв грунта в русле на расстоянии $l_в$ выше моста;

$\Delta h_{рм}$ – расчетный смыв грунта в русле под мостом, определенный без учета влияния срезки на величину размыва (поскольку последняя изменяет величину размыва лишь в пределах искусственно уширенного русла).

Если переход коммуникации расположен в пределах искусственного уширения русла, то величина смыва грунта определяется с учетом фактической ширины русла в створе перехода коммуникации:

$$\Delta h_{ркс} = (\Delta h_{рк} + h_р)\left(\frac{B_{рб}}{B_{рк}}\right)^{2/3} - h_{рб} \qquad (4.7),$$

где $h_{ркс}$ – средний смыв грунта в русле по оси перехода коммуникации с учетом срезки;

$B_{рк}$ – ширина уширенного русла в створе перехода коммуникации.

Влияние мостового перехода практически распространяется на расстоянии порядка трех длин растекания потока за мостом. Смыв грунта в русле ниже моста при известном расчетном размыве в русле под мостом рекомендуется определять по зависимости

$$\Delta h_{рк} = \Delta h_{рм}\left(1 - \frac{\ell_н}{3\ell_{рст}}\right)^6, \qquad (4.8),$$

где: $\Delta h_{рк}$ – средний смыв в русле в створе коммуникации;

$\Delta h_{рм}$ – средний смыв грунта в русле под мостом, определенный без учета влияния на размыв искусственного уширения русла(срезки);

$\ell_{рст}$ – длина зоны растекания потока за мостом; $\ell_{рст} \approx 2\ell_{сж}$;

$\ell_н$ – расстояние от перехода коммуникации до низовых струенаправляющих дамб.

Если переход коммуникации расположен в пределах искусственного уширения русла ниже моста, то величина смыва грунта тоже определяется по формуле (4.7).

5. РАСЧЕТ МЕСТНОГО РАЗМЫВА

В настоящее время расчеты местного размыва выполняются согласно ВСН 62-69 [13]. Ввиду того, что по указанному методу расчета имелись неоднократные замечания о завышении глубин размыва, рекомендуется для сравнительных расчетов применять метод, разработанный в Союздорнии к.т.н. М.М.Журавлевым [12] . Основные расчетные формулы указанного метода получены путем обработки натурных данных о местных размывах у мостовых опор. Ниже излагается метод расчета Союздорнии для несвязных грунтов.

Наибольшая глубина местного размыва у опоры определяется по формуле:

а) при поступлении наносов в воронку размыва, при $v > v_{нер}$:

$$h = 1{,}1 \cdot \sqrt{bH}\left(\frac{v}{v_в}\right)^n K_ф K_α \text{ (м)} \qquad (5.1)$$

б) при отсутствии поступления наносов в воронку размыва, при $v < v_{нер}$:

$$h = 1{,}1 \cdot b^{0,6} H^{0,4}\left(\frac{v}{v_в}\right)^{0,67} K_ф K_α \text{ (м)} \qquad (5.2),$$

где: b – расчетная ширина опоры, в м;

H – глубина потока перед опорой, м;

v – средняя скорость потока на вертикале перед опорой, м/сек;

$v_в$ – средняя взмучивающая скорость турбулентного потока перед опорой, определяется по графику на рис. 5.1, м/сек;

n – показатель степени: при $\frac{v}{v_в}\left(\frac{H}{d}\right)^{0,06} > 1$, $n = 1$, а при $\frac{v}{v_в}\left(\frac{H}{d}\right)^{0,06} \leq 1$, $n = 0{,}67$;

$K_ф$ – коэффициент формы опоры;

$K_α$ – коэффициент косины потока;

$v_{нер}$ – неразмывающая скорость, определяемая по графику на рис. 4.2 ; м/сек.

d – средний диаметр грунта в формулу подставляется в м;

Значения $K_ф$ и $K_α$ определяются согласно ВСН 62-69.

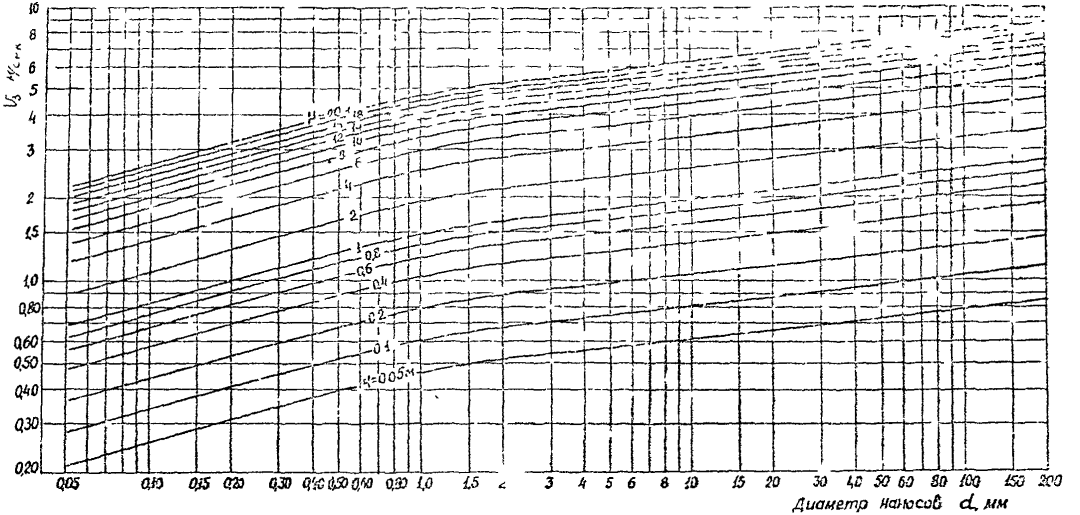


Рис. 5.1. Значения взмучивающей скорости $V_в$ в зависимости от диаметра руслевых наносов и глубины потока.

6. РАСЧЕТ ПОДПОРА

При проектировании мостовых переходов возникает необходимость в определении величин характерных подпоров: начального ΔZ_0 – в начале сжатия потока (при расчете дополнительных отверстий, построении свободной поверхности и т.д.); полного ΔZ – в створе с максимумом подпора; подмостового $\Delta Z_м$ – в створе самого моста (для расчета минимальных отметок бровок струенаправляющих дамб, отметок верха укреплений и т.д.); подпора у насыпи $\Delta Z_н$ – для расчета минимальных отметок бровок земляного полотна на подходах (см.рис.6.1) [5,7].

На форму кривой свободной поверхности и величины характерных подпоров на мостовых переходах значительное влияние оказывают русловые деформации. Развитие общего размыва у мостовых переходов приводит к существенному снижению величин начального и полного подпоров, а также подпора у насыпи. С ростом вала отложений ниже моста происходит резкое увеличение подмостового подпора, который затем уменьшается при размыве вала отложений.

Наиболее опасной (расчетной) схемой для вычисления характерных подпоров является пик первого расчетного паводка с учетом русловых деформаций, происшедших на ветви его подъема. При этом все характерные подпоры имеют наибольшие возможные значения.

Начальный подпор определяется методом последовательных приближений по формуле:

$$\Delta Z_0 = A_I \left(\frac{A_2}{\Sigma^{1/3}} - I \right), \qquad (6.1)$$

где: $$A_I = \frac{3}{2} \ell_{см} J_б (I+\gamma) \qquad (6.2)$$

A_2 – определяется по графику на рис.6.2 по известным β и ρ'_ω;

$J_б$ – бытовой уклон свободной поверхности;

Σ – относительный подпор.

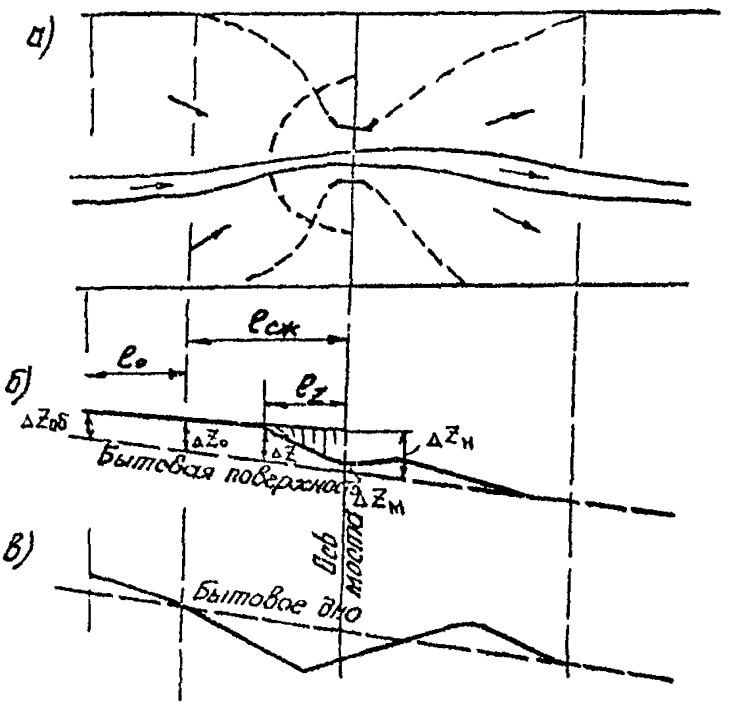


Рис.6.1. Схема к определению характерных подпоров на мостовом переходе:
а. План перехода; б. Кривая свободной поверхности;
в. Профиль размытого дна на пике паводка;

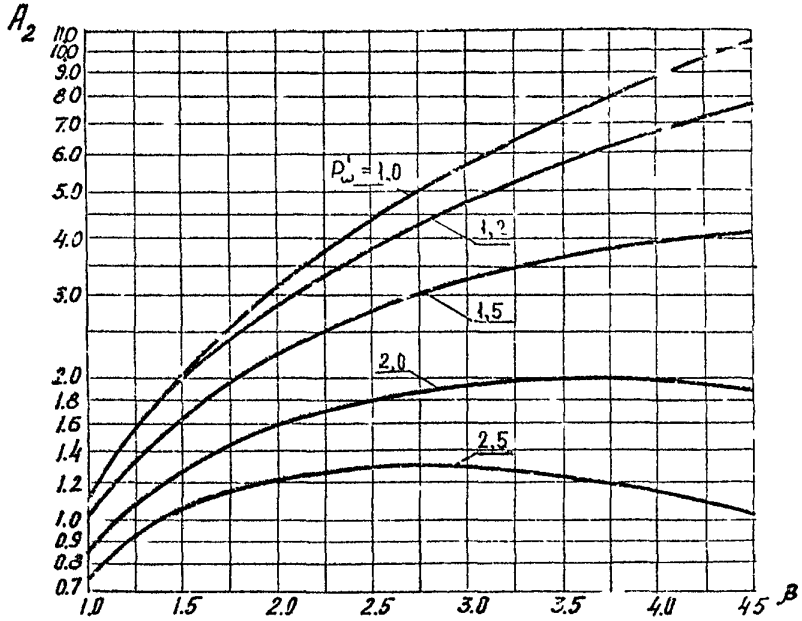


Рис. 6.2. График для определения параметра A_2

Параметр A_2 может быть определен по формулам:

$$A_2 = \frac{1{,}1\beta^2}{\sqrt{\beta}\,P_\omega^{(\beta+1)}}, \quad \text{при } P_\omega \leq 1{,}2;$$

$$A_2 = \frac{1{,}3\beta^2}{\sqrt{\beta}\,P_\omega^{1{,}2\beta}}, \quad \text{при } P_\omega > 1{,}2.$$

Коэффициент размыва под мостом по площади P'_ω определяется на пике первого расчетного паводка

$$P'_\omega = \frac{\omega_{пр}}{\omega_{зр}} = \frac{h'_{рм}B_{рм} + h_{пб}(L_п - B_{рм})}{h_{рб}B_{рз} + h_{пв}(L_м - B_{рб})}, \qquad (6.3)$$

где: $h'_{рм}$ – средняя глубина размыва в русле принимается равной:

$$h'_{рм} = h_{рб} + 0{,}7\,(h_{рм(в)} - h_{рб}). \qquad (6.4)$$

Дальнейший расчет начального подпора производится методом последовательных приближений в следующем порядке:

а) принимается $\Sigma_1 = 1$ и по формуле 6.1 вычисляется ΔZ_{o1};

б) при $\Delta Z_{o2} = \frac{0 + \Delta Z_{o1}}{2}$ и $\Sigma_2 = \frac{h_s + \Delta Z_{o2}}{h_s}$ вычисляется ΔZ_{o2};

где h_s – средняя бытовая глубина всего потока определяется по формуле

$$h_s = \frac{h_{рб}B_{рб} + h_{пб}(B_o - B_{рб})}{B_o} \qquad (6.5)$$

в) при $\Delta Z_{оч} = \frac{\Delta Z_{o2} + \Delta Z_{o3}}{2}$ и $\Sigma_3 = \frac{h_s + \Delta Z_{оч}}{h_s}$ вычисляется ΔZ_{o5}.

Обычно после выполнения трех вычислений получаются близкие значения ΔZ_{o5} и $\Delta Z_{оч}$ ($< 10\%$), поэтому принимается $\Delta Z_o = \frac{\Delta Z_{o5} + \Delta Z_{оч}}{2}$.

Полный подпор перед мостом принимается при $J_б \leq 0{,}0001$, $\Delta Z = \Delta Z_o$ при $J_б > 0{,}0001$

$$\Delta Z = \Delta Z_0 + 0{,}25\beta J_\delta \left(\frac{\ell_{сж} - \ell_z}{\ell_{сж}} \right)^{1/2} (\ell_{сж} - \ell_z) \qquad (6.6)$$

где : ℓ_z – расстояние от моста до створа полного подпора;

$$\ell_z = \frac{\beta/\Sigma^{1/3} - 1}{\beta - 1}\, \ell_{сж}, \qquad (6.7)$$

$$\Sigma = \frac{h_\delta + \Delta Z_0}{h_\delta} .$$

Максимальный подпор у насыпи

$$\Delta Z_1 = \Delta Z + J_\delta \ell . \qquad (6.8)$$

Подмостовой подпор определяется методом последовательных приближений по формуле:

$$\Delta Z_м = A_3 \left(\frac{A_5}{\Sigma_м^{10/3}} - 1 \right) - A_4 \qquad (6.9)$$

$$A_3 = \frac{1}{2} \ell_{сж} J_\delta (2 + \chi) \qquad (6.10)$$

$$A_4 = \frac{\alpha_м v_м^2 - \alpha_б v_б^2}{2g} \qquad (6.11)$$

где: $v_б$ и $v_м$ – соответственно бытовая средняя скорость всего потока и средняя скорость под мостом с учетом размыва;

$\alpha_м$ и $\alpha_б$ – коэффициенты Кориолиса в подмостовом сечении и бытовых условиях;

$$\alpha_б = \frac{v_р^3 \omega_р + v_п^3 \Sigma \omega_п}{v_б^3 (\omega_р + \Sigma \omega_п)} + 0{,}2 \qquad (6.12)$$

$$\alpha_м = (\alpha_б - 1{,}2) \frac{L_м - B_{рб}}{B_0 - B_{рб}} + 1{,}2 \qquad (6.13)$$

$v_р$ и $v_п$ – скорости на русловой и пойменной частях живого сечения;

v – средняя скорость по сечению;

$\omega_р$ и $\Sigma\omega_п$ – площади русловой и пойменных частей живого сечения.

Параметр A_5 определяется по графику на рис. 6.3 по известным β и P'_ω .

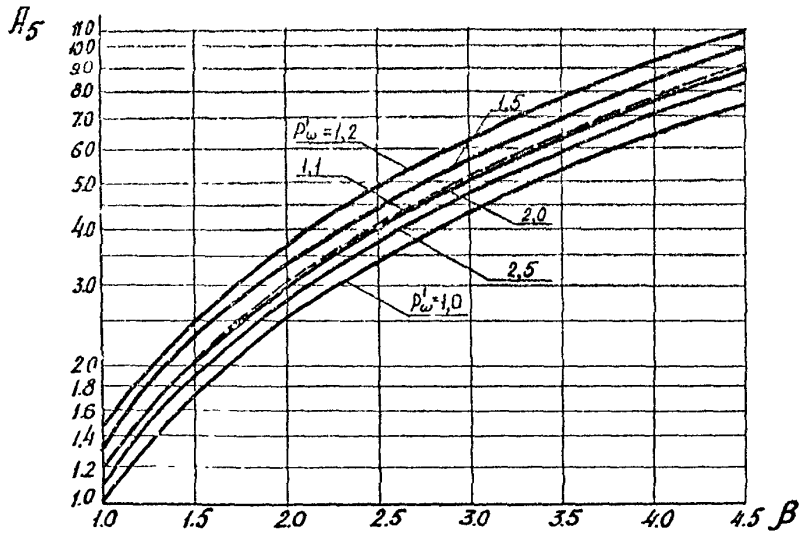


Рис. 6.3. График для определения параметра A_5

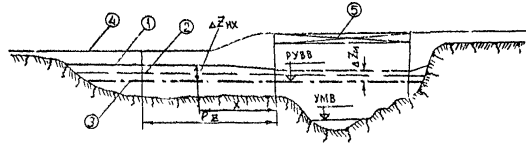


Рис.6.4 Профиль свободной поверхности вдоль пойменных насыпей:

1 – профиль с верховой стороны;

2 – профиль с низовой стороны;

3 – бытовая свободная поверхность;

4 – насыпь; 5 – мост;

Параметр A_5 может быть определен по формулам:

$$A_5 = \beta^2 \rho^{4/3} \quad \text{, при } P_\omega \leq 1{,}2;$$

$$A_5 = \frac{1{,}5\beta^{4/3}}{P^{1/3}} \quad \text{, при } P_\omega > 1{,}2.$$

Дальнейший расчет выполняется методом последовательных приближений аналогично расчету начального подпора.

При этом $\Sigma_м = \dfrac{h_м + \Delta Z_м}{h_м}$

где $h_м$ – средняя глубина под мостом до размыва

$$h_м = \frac{h_{рб} b_{рб} + h_{пб}(L_м - B_{рб})}{L_м} \qquad (6.14)$$

Построение кривой свободной поверхности с верховой стороны насыпи (см.рис.6.4) производится с использованием формулы:

$$\Delta Z_{мх} = (\Delta Z_н - \Delta Z_м)\left[1 - \left(\frac{l_г - X}{l_г}\right)^3\right] + \Delta Z_м, \qquad (6.15)$$

где $\Delta Z_{мх}$ – подпор у насыпи на расстоянии X от устоя моста при $X < l_г$.

При $X > l_г$, $\Delta Z_{мх} = \Delta Z_н$.

Поверхность у низового откоса практически горизонтальна и имеет отметку, соответствующую уровню воды у низовых струенаправляющих дамб, которая определяется по формуле подмостового подпора (6.9), но при $A_3 = l_{см} J_б$.

7. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДА С НЕСКОЛЬКИМИ МОСТАМИ В ПРЕДЕЛАХ ОБЩЕЙ ЗОНЫ РАЗЛИВА

Расчет нескольких отверстий ведется графо-аналитическим методом из условия равенства общих подпоров перед мостами [9].

Расчет перехода с двумя мостами выполняется с учетом русловых деформаций под обоими мостами. При влечении руслоформирующих наносов для определения полного подпора общий размыв определяется по формуле верхнего предела размыва (см.п.4). При отсутствии влечения наносов под пойменным мостом расчет ведется в предположении прохода расчетного паводка по неразмытому дну, т.е. без учета русловых деформаций.

При определении наибольшего расхода, идущего под пойменный мост при влечении руслоформирующих наносов, русловые деформации определяются по формуле типотетического предела размыва (см.п.4). При определении наибольшего расхода, идущего под пойменный мост при отсутствии влечения наносов на пойме, русловые деформации вычисляются по формуле:

$$h_{пм} = \frac{\beta_п v_{пб} h_{пб}}{v_{нер}(1-\lambda)} \qquad (7.1)$$

где: $h_{пб}$ и $h_{пм}$ – соответственно глубина на пойме до и после размыва;

$v_{нер}$ – неразмывающая скорость для грунтов поймы;

$v_{пб}$ – бытовая скорость на пойме;

λ – относительная ширина промежуточных опор;

$\beta_п$ – коэффициент стеснения пойменного потока.

При слоистом геологическом строении пойменных участков расчет следует вести графо-аналитическим методом.

Расчет рекомендуется выполнять в следующем порядке [9].

I. Задаются величинами отверстий мостов.

2. Выбираются произвольно три различных положения водоразделительной линии между мостами.

3. Расстояние ℓ от оси мостового перехода до расчетного (нулевого) створа выбирается заведомо выше створа разделения потока на два самостоятельных. Обычно ℓ принимается равной ширине разлива реки B_0.

4. При каждом положении водоразделительной линии определяются величины русловых деформаций с учетом указаний, изложенных выше.

5. При каждом положении водоразделительной линии по формуле (4.2) определяются расстояния до створов с начальным подпором ($\ell_{сж}$) перед каждым мостом и по формуле (6.I) вычисляются значения этих подпоров (ΔZ_0).

6. Определяются расстояния от створов с начальным подпором до нулевого створа (ℓ_0) и вычисляются величины общего подпора в нулевом створе ($\Delta Z_{об}$) для каждого моста при трех положениях водоразделительной линии.

$$\Delta Z_{об} = \Delta Z_0 - J_б \ell_0 \left(\frac{\Sigma_{ср}^{10/3} - I}{\Sigma_{ср}^{10/3}} \right), \qquad (7.2)$$

где $\Sigma_{ср}$ – средний относительный подпор на рассматриваемом участке.

7. Строятся кривые изменения общих подпоров в нулевом створе для пойменного моста $\Delta Z_{об(пм)} = f(Q_{пм})$, и основного моста $\Delta Z_{об(см)} = f(Q_{пм})$ в зависимости от положения водоразделительной линии. Пересечение кривых определяет значение расхода, идущего под пойменный мост, и соответствующее ему положение водоразделительной линии.

При устройстве на общем разливе реки более двух отверстий определяется $\Delta Z_{об(кр)}$ для двух крайних отверстий, а затем, принимая для средних отверстий $\Delta Z_{об(ср)}$ несколько меньше, чем получены для крайних отверстий, по которым определяются границы водоразделов для средних отверстий. Далее, для средних отверстий производится самостоятельный расчет при трех положениях водоразделов. После построения кривой связи общих подпоров перед крайними отверстиями и расчетными значениями общих подпоров перед средними $\Delta Z_{об(кр)} = f(\Delta Z_{об(ср)})$, под углом 45° к оси абсцисс проводится прямая линия, пересечение которой с кривой дает искомое значение общего подпора $\Delta Z_{об}$ (расч.) . По полученному значению общего подпора, одинакового перед всеми мостами, определяется положение водоразделительных линий между отверстиями и соответствующие значения расходов.

8. НАЗНАЧЕНИЕ УКРЕПЛЕНИЙ ПОДХОДОВ К МОСТУ

Наиболее частыми повреждениями насыпей подходов являются обрушения откосов из-за потери устойчивости, размыва продольным течением, разрушения волнобоем, повреждения ледоходом.

Для обеспечения устойчивости откосы насыпей уполаживаются, а также устраивают бермы с отметкой низкой насыпи с целью пригрузки нижней части откоса. Кроме того, бермы служат для обеспечения проезда автотранспорта на регуляционные сооружения при ремонтных работах.

Верхнюю часть откоса подходов, не подверженную воздействиям высоких вод, укрепляют, как обычную насыпь, с целью защиты от ветровой эрозии и размыва стекающими струйками воды.

Конструкцию укрепления части откоса, подверженной воздействиям высоких вод, назначают по соображениям защиты насыпи от волнобоя и продольных течений. При назначении конструкций и расчетах укреплений следует руководствоваться СН 449-72 [I4]и типовыми проектами укреплений [I5,I6] .

Для активной защиты откосов пойменных насыпей при продольном течении,при отсутствии значительного волнобоя , устраивают также поперечные сооружения – траверсы, отжимающие поток от верхового откоса насыпи (см. НИМП-72, § 64).

Расчет местной устойчивости основания плиткой защиты откосов при волновом воздействии рекомендуется производить по методу И.А.Ярославцева [I7] , который приводится ниже.

В результате расчета определяется минимально допустимая толщина плиты $\delta_{пл}$, при которой грунтовое основание остается

устойчивым при ветровом волнении заданных параметров.

$$\delta_{ш} = (\alpha h_в + \beta \lambda_в) K_щ \ (см),$$

где: $h_в$ – высота волны в м,

$\lambda_в$ – длина волны в м,

α, β – коэффициенты, определяемые по зависимостям:

$$\beta = c_1 + (c_2 - c_3 h_в) h_в$$

$$\alpha = c_4 - c_5 \beta$$

$c_1 - c_5$ – коэффициенты, определяемые в зависимости от вида грунта (по СНиП II-15-74) и крутизны откоса m .

Пески пылеватые и мелкозернистые

m	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
2,0	0,62	0,39	0,06	10,32	9,01
2,5	0,42	0,20	0,03	11,24	12,87
3,0	0,37	0,12	0,02	11,65	16,84
3,5	0,37	0,11	0,02	12,04	20,04
4,0	0,37	0,08	0,01	12,80	23,74

Пески средние и крупнозернистые

m	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
2,0	0,39	0,22	0,03	10,75	11,19
2,5	0,37	0,13	0.02	11,48	16,12
3,0	0,34	0,12	0,02	11,53	18,95
3,5	0,35	0,09	0,01	11,87	21,69
4,0	0,36	0,08	0,01	12,59	25,16

Коэффициент $K_щ$ – учитывающий толщину или отсутствие щебеночной подготовки, равен:

– при отсутствии подготовки ($\delta_{щ} = 0$)

$K_щ = 0{,}95 + 0{,}075 \sqrt{h_в}$;

при $\delta_{щ} = 0{,}1$ м $K_щ = 1$;

при $\delta_{щ} = 0,2$ м $\quad K_{щ} = \dfrac{I}{h_в + 2,85} - 0,0I5\,\dfrac{\lambda_в}{h_в} + C_6$

Во всех формулах $h_в$ и $\lambda_в$ в м.

Коэффициент C_6 определяется по таблице в зависимости от крутизны откоса.

m	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
C_6	0,845	0,88	0,9I	0,94	0,95

Формула для определения $\delta_{пл}$ справедлива для указанных в табл. песчаных грунтов и при следующих условиях:

$0,5 \text{ м} \leq h_в \leq 4,0$ м; $7 \leq \dfrac{\lambda_в}{h_в} \leq I8$; $2 \leq m \leq 4$;

$\delta_д \leq 0,2$ м. Длина ребра плиты $B_{пл} \geq I2\delta_{пл}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Андреев О.В. Проектирование мостовых переходов. М.,Автотрансиздат,1980, 295 с.

2. Андреев О.В.,Глаголева Т.Н., Федотов Г.А.,Абрамов Г.В. Основы расчета мостовых переходов. М."Высшая школа",1971, 145 с.

3.Бабков В.Ф., Андреев О.В., Проектирование автомобильных дорог, Том II,М.,"Транспорт",1979, 407 с.

4. Андреев О.В., Федотов Г.А. Упрощенный расчет общего размыва "Автомобильные дороги", № II, 1979,с.15-17.

5. Федотов Г.А. Расчет мостовых переходов с применением ЭВМ, М.,"Транспорт",1977,208 с.

6. Федотов Г.А., Расчет срезок на мостовых переходах. "Автомобильные дороги", № 8,1979, с.21-22.

7. Андреев О.В.,Федотов Г.А.,Пустова Л.А. Методика расчета подпора на мостовых переходах."Автомобильные дороги",№ I,1979, с.23-25.

8. Наставление по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки. ЦНИИС-Главтранспроект (НИМП-72),М.,"Транспорт",1972,280 с.

9. Федотов Г.А.,Пустова Л.А. Методика проектирования мостовых переходов с пойменными отверстиями. "Автомобильные дороги ",№ I, 1977,с.23-25.

I0. Программа расчета мостовых переходов ГИДРАМ-3 и РУР-I, Гипротрансмост.,М,1976,63 с.

II. Методическое пособие по гидрологическому и гидравлическому обоснованию проектов мостовых переходов. Гипродорнии, М.1976.63 с.

I2. Куравлев М.М. Расчет местного размыва у опор мостов в несвязных грунтах."Автомобильные дороги", № 6,1979,с.26-28.

I3. Технические указания по расчету местного размыва у опор мостов, струенаправляющих дамб и траверсов.(ВСН 62-69),М., Оргтрансстрой,1970,с.40.

I4. Указания по проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог (СН 449-72).М.,"Стройиздат",1973,с.12.

I5. Альбом конструкций креплений откосов земляного полотна железных и автомобильных дорог общей сети Союза ССР. Мосгипротранс, Главтранспроект,М.,1970,с.197.

I6. Технические указания по применению сборных решетчатых конструкций для укрепления конусов и откосов земляного полотна. (ВСН 181-74),М.,Оргтрансстрой,1974,с.50.

I7.Ярославцев И.А.,Крылов В.В. Расчет работающих на волну плитных покрытий откосов по условию устойчивости оснований."Транспортное строительство", № 3,1980.

I8. Методические указания по инженерно-гидрометеорологическим изысканиям автомобильных дорог. Союздорпроект,1974.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

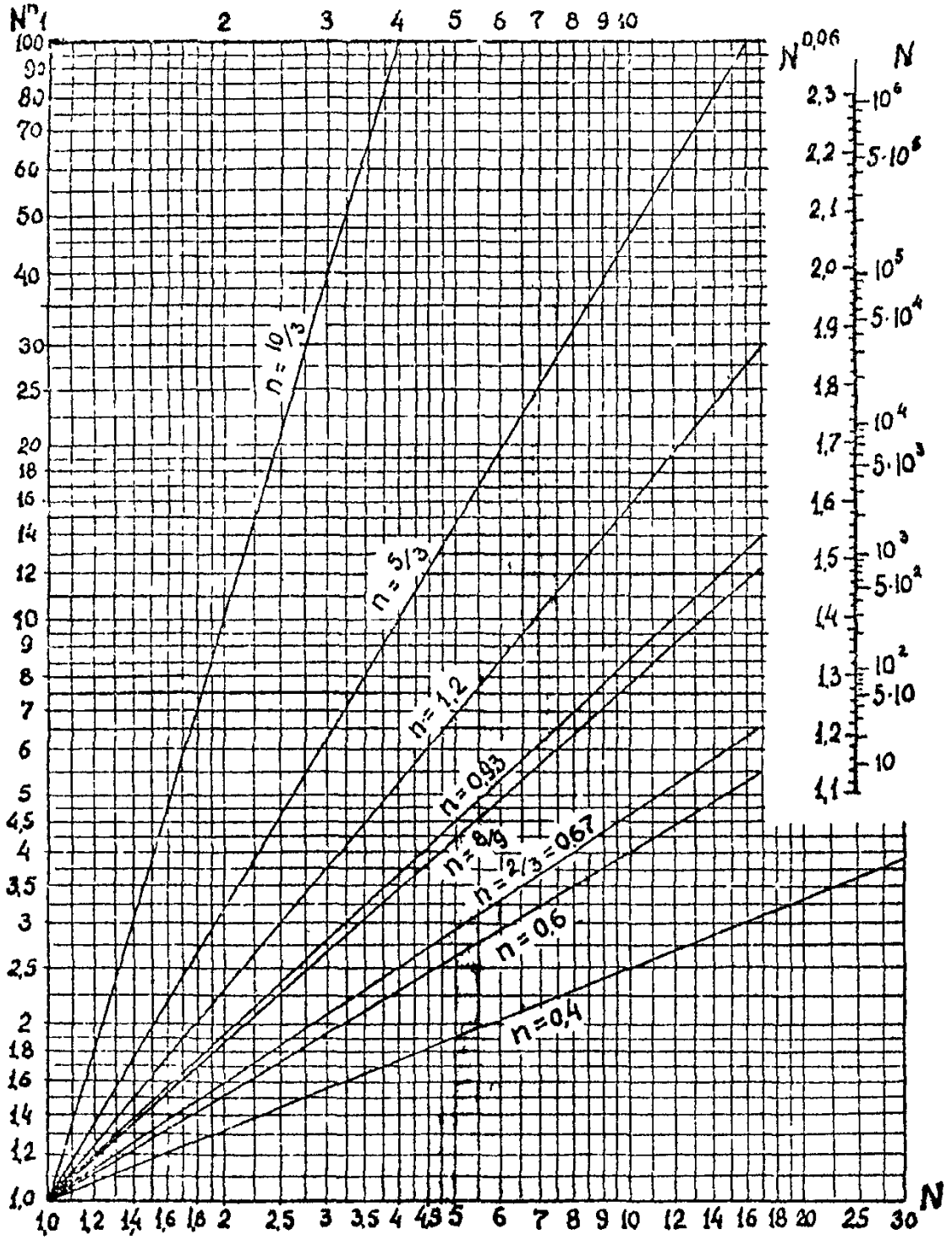


График для возведения числа N в степень n

Приложение 2.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Исходные данные

Расчетный уровень высоты воды	$H_{1\%}$	= 103,60 м
Средняя отметка дна русла до размыва	$H_{др}$	= 91,70 м
Средняя отметка поймы	$H_{п}$	= 99 80м
Бытовая ширина русла	$B_{рб}$	= 750 м
Ширина разлива	L_{0}	= 5100 м
Общий (расчетный) расход	$Q_{1\%}$	= 20.000 м^3/сек
Русловой бытовой расход	$Q_{рб}$	= 11700 м^3/сек
Бытовой уклон свободной поверхности	$J_{б}$	= 0,00005
Средняя бытовая глубина потоке	$h_{б}$	= 5,04 м
Полнота паводка	$П$	= 0,5
Средний диаметр грунта в русле	$d_{ср}$	= 0,2 мм

Дополнительно необходимо иметь следующий графический материал: 1) морфоствор по оси перехода; 2) план мостового перехода; 3) водомерный график расчетного паводка; 4) график обеспеченности уровней.

1. Расчет уширения русла под мостом и назначение отверстия моста

Определяем степень стеснения потока подходами

$$\beta = \frac{Q_{1\%}}{Q_{рб}} = \frac{20.000}{11.700} = 1,71$$

Частота затопления поймы $P_{П}$= 95%. Согласно таблице 3.1 возможно уширение русла под мостом, поэтому вычисляем ширину русла под мостом после размыва.

По графику на рис. 3.2 при $P_{П\%}$ = 95% и β = 1,71 $K_{р\%}$= 0,9; По графику на рис.3.3 при П=0,5 и β = 1,71 $K_{П}$= 0,17.

По формуле 3.1:

$$B_{рм} = P_{рб}\left[(\beta^{0,93}-1)K_{П}K_{р\%}+1\right] = 750\left[(1,71^{0,93}-1)\cdot 0,17\cdot 0,9+1\right] =$$

= 825 м.

Определим необходимое (минимальное) отверстие моста:

$$L_м = \delta B_{рм} \sum \ell_{оп} + \sum \ell_{укр} + 2mh_{пк} = 1{,}1 \cdot 825 + 24 + 8{,}0 + 2 \cdot 2 \cdot 3.80 =$$

$=955$ м.

Ввиду того, что на пойме современный аллювий подстилается мощным слоем слабых илов, которые могут дать значительную осадку, высокая насыпь заменена пойменной эстакадой. Общее отверстие моста ($L_м$) принято 1200 м.

Учитывая, что значительную часть подмостового отверстия составляет пойменная часть, пересчитываем степень стеснения потока:

$$\beta = \frac{Q_{1\%}}{Q_{рб} + q_{пб}(L_м - B_{рм})};$$

где: $q_{пб} = \frac{Q_{1\%} - Q_{рб}}{B_0 - B_{рб}} = \frac{20.000 - 11.700}{5100 - 750} = 1{,}91$ м^2/сек;

тогда $\beta = \frac{20.000}{11700 + 1{,}91\ (1200 - 825)} = 1{,}61$,

$\beta = 1{,}61 < 1{,}70$, следовательно, уширения русла под мостом не будет.

II. Расчет общего размыва под мостом

Для определения группы мостового перехода найдем время предельного размыва:

$$t_н = \frac{\ell_{сж} h_{рб} (K_ф + 2\chi)}{172800\, q_б}$$

Для этого определим длину зоны сжатия:

$$\ell_{сж} = \frac{B_0 - L_м}{1 + \ell_{мп}/\ell_{вп}} = \frac{5100 - 1200}{1 + 0/4350} = 3900 \text{ м.}$$

Для определения погонного расхода наносов при $d_{ср} = 0{,}2$ мм по рис. 4.3 находим $A_g = 3{,}35 \cdot 10^{-4}$ и $A_в = 5{,}15 \cdot 10^{-4}$ и по рис.4.2 $v_{нор} = 0{,}78$ м/сек и $v_{рб} = \frac{Q_{рб}}{h_{рб} B_{рб}} = \frac{11.7000}{11{,}90 \cdot 750} = 1{,}31$ м/сек.

Тогда $q_в = (\frac{A_q}{h^{1/4}} + A_в)(\upsilon_{рб} - \upsilon_{нер}) \cdot \upsilon_{рб}^3 =$

$$= (\frac{3,35 \cdot 10^{-4}}{11,90^{1/4}} + 5,15 \cdot 10^{-4})(1,31-0,78) \cdot 1,31^3 = 8,41 \cdot 10^{-4} м^2/сек.$$

Определяем коэффициент, учитывающий форму воронки:

$$K_{фв} = 0,4(\frac{\ell_{мп}}{\ell_{бп}} - 0,5)^2 + 0,8 = 0,4(\frac{0}{4350} - 0,5)^2 + 0,8 = 0,90;$$

По методике, изложенной в § 64 НИМП-72, рассчитана сторонаправляющая дамба и получено $\ell_{вд}$ =430 м, тогда относительная длина верховой дамбы

$$\lambda = \frac{\ell_{вд}}{\ell_{сж}} = \frac{430}{3900} = 0,11 .$$

Тогда

$$t_н = \frac{\ell_{сж} h_{рб} (K_{фв} + 2\lambda)}{172800} = \frac{3900 \cdot 11,90(0,90+2 \cdot 0,11)}{172800 \cdot 8,41 \cdot 10^{-4}} = 358 \text{ сут.}$$

Продолжительность расчетного паводка согласно водомерному графику $t_{пав}$ = 58 сут.

$$\frac{t_{пав}}{t_н} = \frac{58}{358} = 0,162 > 0,15$$ и согласно табл.4.1 этот переход относится к III группе мостовых переходов, для которой глубина общего размыва определяется по гипотетическому пределу.

$$h_{рм(г)} = h_{рб}\left[(\beta^{8/9} - 1)П^{1/2} + 1\right]\left[\frac{B_{рб}}{B_{рм}(1-\lambda)}\right]^{2/3} = 11,90\left[(1,61^{8/9} - 1) \cdot 0,5^{1/2} + 1\right] \times \left[\frac{750}{750 \cdot 0,97}\right]^{2/3} = 13,6 \text{ м.}$$

Для проверки группы мостового перехода по второму признаку определяем глубину размыва по верхнему пределу. По рис.4.1 при β = 1,61 и $\frac{t_{пав}}{t_н}$ = 0,162 K_t = 0,56;

$$h_{рм(в)}=h_{рб}\left[(\beta^{8/9}-1)\,\Pi^{1/2}K_{\Phi}+1\right]\left[\frac{B_{рб}}{B_{рм}(1-\lambda)}\right]^{2/3}=11{,}90\left[(1{,}6^{8/9}-1)\,0{,}5\cdot0{,}56+1\right]\left(\frac{750}{750\cdot0{,}97}\right)^{2/3}=12{,}9\ м.$$

$h_{рм(г)} > h_{рм(в)} > h_{рм(г)}\cdot0{,}85 = 11{,}6$ м, следовательно по этому признаку переход относится к III группе.

III. Расчет местного размыва у опор

Для опор моста согласно ВСН 62-69 принимаем коэффициент косины потока $K_{\alpha} = 1{,}0$ и коэффициент формы $K\Phi=1{,}15$; приведенная ширина опоры $\beta = 2{,}2$ м, глубина потока $H = 16{,}2$ м и $v = v_{рм}\left(\frac{h_{max}}{h_{рм}}\right)^{2/3} = 1{,}2$ м/сек.

Так как в воронку размыва поступают наносы, $v > v_{нер}$, размыв определяется по формуле (5,1):

$$h = 1{,}1\sqrt{\beta H}\left(\frac{v}{v_{в}}\right)^{n}K\Phi K_{\alpha}\ .$$

Предварительно по рис. 5,1 для $H = 16{,}2$ и $d_{ср} = 0{,}2$ мм получим $v_{в} = 2{,}95$ м/сек.

Так как $\frac{v}{v_{в}}\left(\frac{H}{d_{ср}}\right)^{0,06} = \frac{1{,}2}{3{,}8}\left(\frac{16{,}2}{0{,}0003}\right)^{0,06} = 0{,}7 < 1$, $n = 0{,}67$,

тогда $h = 1{,}1\sqrt{2{,}2\cdot16{,}2}\left(\frac{1{,}2^{2}}{2{,}95}\right)^{0,67} = 1{,}0\cdot1{,}0 = 3{,}62$ м.

IV. Расчет характерных подпоров

Начальный подпор определяем по формуле

$$\Delta Z_{o} = A_{1}\left(\frac{v^{2}}{\varepsilon^{10/3}}-1\right);$$

где: $A_I = \frac{3}{2} \ell_{см} J_б (I+\chi) = \frac{3}{2} \cdot 3900 \cdot 0,00005 (I+0,II) = 0,$ [illegible]5.

Для определения A_2 по формуле (6,4) найдем среднюю глубину разлива на пике первого расчетного паводка:

$$h'_{рм} = h_{рб} + 0,7(h_{рм(б)} - h_{рб}) = II,90 + 0,7(I2,90 - II,$$ [illegible] $= II,6$ [illegible]

и по формуле (6,3) коэффициент размыва:

$$P'_{\omega} = \frac{h'_{рм} B_{рм} + h_{пб}(L_м - B_{рм})}{h_{рб} B_{рб} + h_{пб}(L_м - B_{рб})} = \frac{I2,6 \cdot 750 + 3,80(I200 - 750)}{II,90 \cdot 750 + 3,80(I200 - 750)} = 1,05.$$

При $\beta = I,6I$ и $P'_{\omega} = I,05$ по графику на рис.6.2 $A_2 = 2,05$.

Определяем ΔZ_o методом последовательных приближений. Если считать начать с $\varepsilon = 1$, то значения ΔZ_o не сходятся, поэтому за исходное значение принимаем $\varepsilon = I,I$.

I. При $\varepsilon_I = I,I$; $\Delta Z_o = (I,I)h_б - h_б = I,$ [illegible] $5,04 - 5,04 =$ [illegible]

$$\Delta Z_{o1} = 0,325 \left(\frac{2,25}{I,I^{\,I0/3}} - I\right) = 0,208 \text{ м}.$$

2. При $\Delta Z_{o2} = \frac{0,502 + 0,208}{2} = 0,355$; $\varepsilon_2 = \frac{h_б + \Delta Z_{o2}}{h_б} = \frac{5,04 + 0,355}{5,04} =$ [illegible]

$$\Delta Z_{o3} = 0,325 \left(\frac{2,25}{I,07^{\,I0/3}} - I\right) = 0,206 \text{ м}.$$

3. при $\Delta Z_{o4} = \frac{0,355 + 0,206}{2} = 0,280$; $\varepsilon_3 = \frac{5,04 + 0,28}{5,04} =$ [illegible]$,055$

$$\Delta Z_{o5} = 0,325 \left(\frac{2,25}{I,055^{\,I0/3}} - I\right) = 0,285 \text{ м}.$$

принимаем $\Delta Z_o = \frac{0,280 + 0,285}{2} = 0,28$ м.

при этом $\varepsilon = I,06$.

При $J_б = 0{,}00005 < 0{,}0001$ полный подпор перед мостом

$\Delta Z = \Delta Z_о = 0{,}28$ м.

Полостовой подпор определяем по формуле

$$\Delta Z_м = A_3\left(\frac{A_5}{\varepsilon_м^{10/3}} - 1\right) - A_4;$$

где $A_3 = \frac{1}{2}\ell_{см} J_б (2+\chi) = \frac{1}{2} 3900 \cdot 0{,}00005(2+0{,}11) = 0{,}206;$

при $\beta = 1{,}61$ и $P_ш' = 1{,}05$ по графику на рис.6,3 $A_5 = 2{,}1$;

$$A_4 = \frac{\alpha_м v_м^2 - \alpha_б v_б^2}{2g}.$$

$$\alpha_б = \frac{v_{рб}^3 \omega_{рб} + v_{пб}^3 \Sigma\omega_{пб}}{v_б^3(\omega_{рб} + \Sigma\omega_{пб})} + 0{,}2 = \frac{1{,}31^3 \cdot 750 \cdot 11{,}90 + 0{,}50^3 \cdot 16{,}500}{0{,}78^3 \cdot 25.440} + 0{,}2 =$$

$= 2{,}04.$

$$\alpha_м = (\alpha_б - 1{,}2)\frac{L_м - B_{рб}}{B_о - B_{рб}} + 1{,}2 = (2{,}04 - 1{,}2)\frac{1200-750}{5100-750} + 1{,}2 = 1{,}29,$$

$$v_м = \frac{Q_{1\%}}{h'_{рм} B_{рм} + h_{пб}(L_м - B_{рм})} = \frac{20.000}{12{,}6 \cdot 750 + 3{,}80(1200-750)} = 1{,}79 \text{ м/сек.}$$

$$A_4' = \frac{1{,}29 \cdot 1{,}79^2 - 2{,}04 \cdot 0{,}78^2}{2 \cdot 9{,}81} = 0{,}149.$$

Определяем $\Delta Z_м$ методом последовательных приближений:

1) принимаем $\varepsilon_{м1} = 1{,}0$, тогда $\Delta Z_{м1} = 0{,}206\left(\frac{2{,}1}{1} - 1\right) - 0{,}149 = 0{,}078$

2) $\Delta Z_{м2} = \frac{0 + 0{,}078}{2} = 0{,}039,$

$$h_м = \frac{h'_{рм} B_{рм} + h_{пб}(L_м - B_{рм})}{L_м} = \frac{12{,}6 \cdot 750 + 3{,}80(1200-750)}{1200} = 9{,}3 \text{ м.}$$

$$\varepsilon_{м2}=\frac{9,3+0,039}{9,3}=1,003$$

$$\Delta Z_{м3}=0,206\left(\frac{2,1}{1,003^{10/3}}-1\right)-0,149=0,073;$$

3) $$\Delta Z_{мч}=\frac{0,039+0,073}{2}=0,056;\quad \varepsilon_{м3}=\frac{9,3+0,056}{9,3}=1,007,$$

$$\Delta Z_{м5}=0,206\left(\frac{2,1}{1,007^{10-3}}-1\right)-0,149=0,050$$

Принимаем $$\Delta Z_{м}=\frac{0,056+0,050}{2}\approx 0,05\ м.$$

Максимальный подпор у насыпи определяем по формуле:

$$\Delta Z_{н}=\Delta Z+J_{в}\ell_{з},$$

где $$\ell_{з}=\frac{\beta/\varepsilon^{5/3}}{\beta-1}-1\quad \ell_{сж}=\frac{1,61/1,06^{5/3}-1}{1,61-1}\cdot 3900=2940\ м,$$

тогда $\Delta Z_{н}=0.28+0,00005.2940=0,43$ м.

У. Расчет перехода с двумя мостами в пределах общей зоны разлива

Рассмотрим вариант перехода с устройством дополнительного отверстия на русловой протоке.

Дополнительные исходные данные :

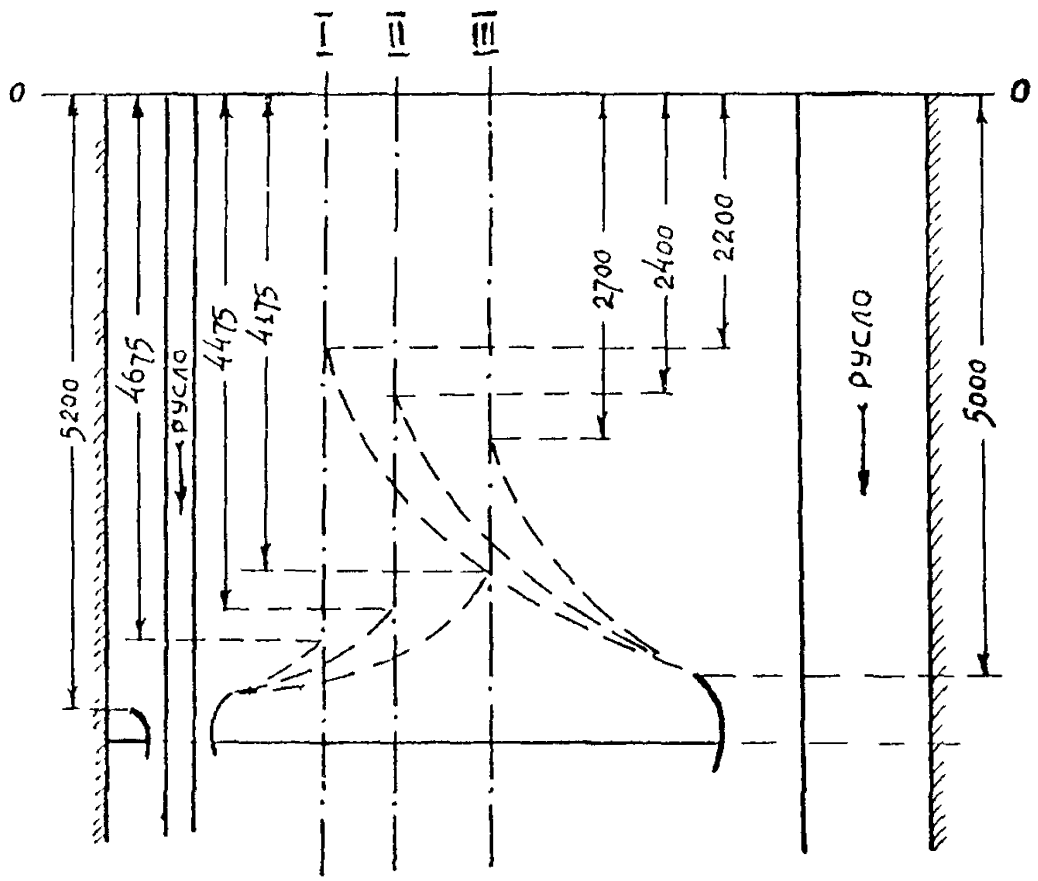
Средняя отметка дна протоки до размыва $H_{д(п)}=98,2$ м.

Бытовая ширина русла протоки $B_{рб(п)}=150$ м

Русловой бытовой расход протоки $Q_{рб(п)}=615\ м^3/сек.$

Через коренное русло оставляем мост с таким же отверстием $L_{м(р)}=1200$ м, а через протоку $L_{м(п)}=350$ м.

Назначаем три положения водораздельной линии (см. рис.) и для каждого вычисляем общий размыв под обоими мостами по гипотетическому пределу ($h_{рм(г)}$), и с его учетом – начальный подпор ($\Delta Z_{о}$) , а по нему – общий подпор ($\Delta Z_{об}$).


I
II
III
0
0
5200
4675
русло
4475
4175
2700
2400
2200
русло
5000

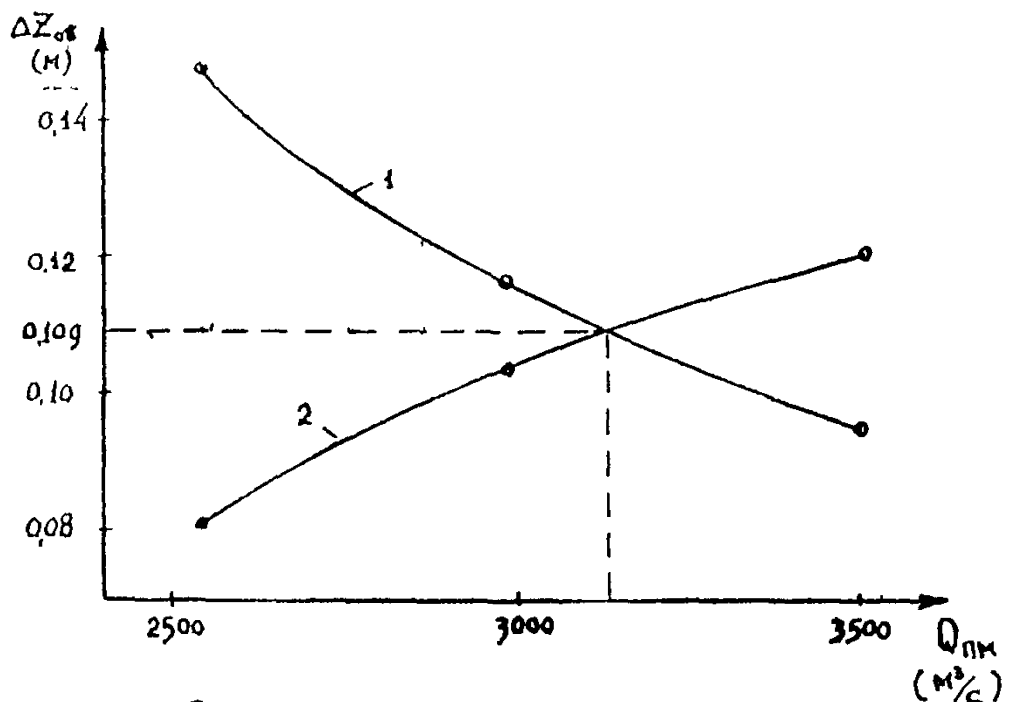

ΔZ_ов (м)
0,14
0,12
0,109
0,10
0,08
1
2
2500
3000
3500
Q_пм (м³/с)

Рис.

Расчеты сведены в таблицу

Наименование параметра	Расчетная формула или график	Iполож. водор. линий	2полож. водор. линий	3полож. водор. линий
I	2	3	4	5
Врм,м	-	4000	3800	3500
Впм,м	Во-Врм	II00	I300	I600
Q пм,м³/сек	-	2550	2930	3500
Q рм,м³/сек	-	I7450	I7070	I6500
β рм	см.п.3	I,4	I,37	I,326
β пм	-"-	2,5	2,87	3,43
ℓ сж,рм,м	форм.4,2	2800	2600	2300
ℓ сж пм,м	-"-	525	725	I025
χ пм	форм.4.5	0,38	0,276	0,I9
χ рм	-"-	0,I4	0,I54	0,I7
h рм(р),м	рис.4.I	I4,84	I4,6I	I4,29
h рм(п),м	-"-	I0,20	II,32	I3,00
P_ω (р)	форм.6.3	I,207	I,I9	I,168
P_ω (п)	-"-	I,46	I,566	I,726
ΔZ о(р),м	форм.6.I	0,I59	0,I28	0,I05
ΔZ о(п),м	-"-	0,095	0,II8	0,I36
ℓ о(р),м	см.рис.	2200	2400	2700
ℓ о(П),м	-"-	4675	4475	4I75
ΔZ об(р),м	форм.7.2	0,I48	0,II9	0,096
ΔZ об(п),м	-"-	0,082	0,I02	0,II9

Строим кривые изменения общих подпоров в пулевом створе для моста через протоку ΔZ об(п)= φ ($Q_{пм}$) и основного моста $\Delta Z_{об(р)}$= = φ ($Q_{пм}$) в зависимости от положения водоразделительной линии (см.рис.).Пересечение кривых дает ΔZ об =0,I09 и Q пм=3I50м³/сек, тогда расход,приходящийся на основной мост,составит : Q рм=$Q_{I,}$ - -$Q_{пм}$ =20.000-3.130=I6,870м³/сек.

Дальнейший расчет производится для каждого моста отдельно по методике,изложенной выше.

gost.e-ecolog.ru