ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ «ТРАНССТРОЙ»

ПОСОБИЕ К СНИП 2.05.03—84 «МОСТЫ И ТРУБЫ» ПО ИЗЫСКАНИЯМ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ И АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ (ПМП—91)

МОСКВА 1992

gost.e-ecolog.ru

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ «ТРАНССТРОЙ»
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА (ЦНИИС)

ПОСОБИЕ К СНИП 2.05.03—84 «МОСТЫ И ТРУБЫ» ПО ИЗЫСКАНИЯМ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ И АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ (ПМП—91)

МОСКВА 1992

УДК 624 2/8 001 2

Приведены требования нормативных документов и технология проведения гидрологических, геодезических и инженерно геологических изысканий мостовых переходов Даны рекомендации по определению расчетных расходов и уровней воды, рассмотрены методы гидравлических расчетов плановых и высотных размеров сооружений мостовых переходов их совместной работы и защиты от воздействий потока, ветровых волн и ледовых явлений

Пособие предназначено для инженерно-технических работников, выполняющих проектно изыскательские работы по мостовым переходам.

Пособие одобрено Главным управлением проектирования и капитального строительства (ГУПиКС) Минтрансстроя СССР.

Редакторы СМИРНОВА Г П. и ЦЫПИН В Ш.

© Проектный конструкторско-технологический институт транспортного строительства, 1992

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Пособии, составленном в развитие СНиП 2 05 03—84 «Мосты и трубы», излагаются методы и практические приемы, используемые при изысканиях и проектировании железнодорожных и автодорожных мостовых переходов Указаны объемы и технология проведения гидрологических, геодезических и инженерно геологических изысканий с использованием современных приборов инструментов и оборудования, даны обоснованные методы гидравлических расчетов при проектировании переходов

Рекомендации, приведенные в Пособии, учитывают требования новых нормативных и методических документов, обобщают многолетний опыт, накопленный в нашей стране и за рубежом по изысканиям и проектированию мостовых переходов, а также опыт применения в проектно изыскательских институтах Минтрансстроя и других ведомств «Наставления по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (НИМП-72)», предшествующего Пособию

Пособие разработано в НИИ транспортного строительства (ЦНИИС) в содружестве с Мосгипротрансом, Союздорпроектом и Томгипротрансом при участии большого коллектива специалистов из многих проектно изыскательских и учебных институтов

Пособие написано авторским коллективом в составе

От ЦНИИСа М А БАРАНОВ и В К ТАВЛИНОВ—п 1 7, совместно с Мосгипротрансом пп 1 5, 1 6 и 1 8, Л Г БЕГАМ—пп 14 4 и 14 6, В В БЕЛИКОВ—совместно пп 6 1—6 3, Ю Д ДУБНОВ и В А РЯПОЛОВА—совместно с Мосгипротрансом и Союздорпроектом гл 5, В Ф ЗАЛЕССКИЙ—совместно п 7 8, А Н МИЛИТЕЕВ—совместно пп 6 3 и 10 6, В С МУРОМОВ—п 8 1, К М ОРЛОВА—прил 12 3, Ю С СМИРНОВ—пп 2 1—2 4, 2 7—2 8, 2 10—2 12, В Ш ЦЫПИН—пп 6 4, 10 1—10 5, 11 1—11 2, 12 1, 12 4, 14 2—14 3, 15 2, совместно пп 3 5, 6 1—6 2, 7 1, 10 6, 11 3, 13 1, 14 1, 14 5, Л Н ЮДИН—п 12 3, прил 12 1

От Мосгипротранса—Н С КАЛЯВИНА, В Г КОНДРАТЬЕВ, П В ЛЕОНОВ—совместно с ЦНИИСом и Союздорпроектом гл 5, А М ЛЕВУШЕВ—совместно пп 1 5, 1 6 и 1 8, Л Л ЛИШТВАН—пп 3 1 и 4 3, совместно пп 1 1—1 2, 3 5, 4 2, 4 5 8 3, гл 9, п 11 3, прил 8 2, Н И МАСЛОВ—совместно пп 4 2, 4 5, В К ПАНФИЛОВ—совместно пп 1 2, 1 5, 1 6, 1 8, 8 3, прил 8 2, Ю С САХАРОВ—совместно п 1 2

От Союздорпроекта—С М БЛИКШТЕЙН—прил 12 2, Б Ф ПЕРЕВОЗНИКОВ—пп 4 1, 7 2—7 6 8 2, прил 7 1—7 5, совместно пп 7 1, 7 9 и 11 7, В А СЕЛИВЕРСТОВ—совместно п 7 9, А Н ШИРЯЕВ—пп 1 3—1 4, совместно пп. 1 1 и 13 1, В Е ФИЛЛИППОВ—совместно с ЦНИИСом и Мосгипротрансом гл 5

От Томгипротранса—Б А КОСТЕЛЯНЕЦ—пп 13 3, 15 1, прил 3 5, совместно пп 7 9 и 7 11

От Гипротрансмоста—Ю В АБРАМОВ и Л Е БУРЦЕВА—пп 3 2—3 4, 12 2, совместно пп 7 8 и 14 1

От Ленгипротрансмоста—В П СОЛОВЬЕВ и Г М СПАССКОВ—совместно с ЦНИИСом п 14 5

От Ленгипротранса—В Е СПИЦА—п 7 7

От Киевского филиала Союздорпроекта—В И БУТУСОВ—совместно п 2 6

От Тбилгипроавтодортранса—А. А АЛЕКСАНДРОВ, Л. В ГИГУАШВИЛИ, Н. А СЛОВИНСКИЙ и от ЗакНИИГоскомгидромета—пп. 4.4, 7.10, 11 4 и прил. 7 6

От Ленгипроречтранса—Н Р ГРАЧЕВ—п. 15.3.

От Ленинградского филиала Союздорнии—Т. Е. ПОЛТОРАНОВА—п. 13 2.

От НПО Росдорнии—Н Н ПЕТРОВ—совместно п 11 7

От МИИТа Г В ЖЕЛЕЗНЯКОВ, Ю Л ПЕЙЧ и Ю В ПИСАРЕВ—п 2.5 и совместно п 2 6

От МГМИ Д. В КОЗЛОВ—п 8 4 и совместно п. 7.11.

От Воронежского ИСИ—В. А ДЕМЕНТЬЕВ—пп 2 9 и 11 5

От Красноярского ИСИ—Н Я БОГДАНОВ, В Н ДОМОГАШЕВ и и В. Е. СЕРГУТИН—п. 11 6

От Одесского ГУ—Ю Н СОКОЛОВ—совместно п 3.5.

Редактирование Пособия выполнено Л Л ЛИШТВАНОМ и В Ш. ЦЫПИНЫМ.

Пособие рецензировали канд техн наук Ф. В. ЗАЛЕССКИЙ (НПО Стройизыскания Госстроя РСФСР), доктора техн наук Г В ЖЕЛЕЗНЯКОВ и Ю В. ПИСАРЕВ (кафедра гидравлики, водоснабжения и канализации МИИТа) и специалисты Мосгипротранса, Союздорпроекта, Ленгипротрансмоста, Ленгипротранса, Сибгипротранса, Томгипротранса и Киевского филиала Союздорпроекта.

1. Пособие составлено в дополнение и развитие СНиП 2.05.03—84 «Мосты и трубы», а также других нормативных документов и предназначено для использования при изысканиях и проектировании мостовых переходов постоянного типа через водотоки, перекрываемые средними и большими мостами на новых железных и автомобильных дорогах, вторых путях и при реконструкции существующих мостовых переходов.

Согласно СНиП 2.05.03—84 к средним относятся мосты длиной свыше 25 до 100 м; мосты длиной свыше 100 м, а также автодорожные (в том числе городские) длиной менее 100 м, но пролетами свыше 60 м относятся к большим. За длину моста принимают расстояние между концами береговых опор (закладных щитов).

При гидравлическом расчете мостов их определяющим параметром является не длина, а отверстие $L_м$ —ширина подмостового сечения между подошвами конусов.

2. Пособие предусматривает работы, необходимые для всех стадий проектирования мостовых переходов. Перечень и объем их в каждом случае определяют в зависимости от изученности реки и сложности перехода.

В Пособии приведены методы расчетов и способы выполнения работ, предусмотренные нормативными и другими официальными документами, методическими указаниями, рекомендованными ГУПиКСом, а также оправдавшиеся в практике изысканий и проектирования.

Методы расчета и способы производства работ, приведенные в Пособии, не исключают использования и других методов, которые проектные институты признают целесообразным применить в данных условиях для решения отдельных задач при соответствующем обосновании правомерности их применения. Результаты таких расчетов сопоставляют с результатами расчетов по Пособию.

3. Мостовой переход через водоток, включающий мост, подходы и регуляционные сооружения, должен обеспечивать безопасный пропуск высоких вод, ледохода и плывущих предметов (карчей и т. п.), при расчетных гидрологических условиях в течение срока службы перехода.

В соответствующих случаях мостовой переход должен удовлетворять требованиям судоходства и лесосплава, а также обеспечивать беспрепятственное движение сухопутного транспорта под мостом в его эстакадной части или в береговых пролетах, если это необходимо по местным условиям.

Мостовой переход следует располагать так, чтобы вызванное его сооружением изменение гидрологических условий не нарушало хозяйственных интересов местного населения, промышленных и других предприятий и организаций а также равновесия окружающей среды.

4. Выбор трассы перехода зависит от общего направления дороги и местных условий, определяющих тип и размеры элементов мостового перехода, и в проекте обосновывается технико-экономическими расчетами, базирующимися на материалах изысканий.

В результате изысканий должны быть получены данные о топографии, инженерно-геологических условиях района перехода, гидрологическом режиме и русловом процессе пересекаемого водотока, а также собраны сведения о наличии строительных материалов и другие данные, необходимые для составления проекта организации строительных работ и сметы.

5. В общем случае проектирование мостового перехода выполняют в три стадии:

1) технико-экономическое обоснование (ТЭО) или технико-экономический расчет (ТЭР); 2) проект (П); 3) рабочая документация (РД).

На стадии ТЭО (ТЭР) выполняют комплекс инженерно-геодезических, инженерно-геологических и инженерно-гидрометеорологических изысканий в объеме, достаточном для выявления принципиальных проектных и технических решений, стоимости объекта и, соответственно, обоснования необходимости строительства.

Изыскания на стадии проекта выполняют обычно в случаях, когда в процессе проектирования выявляются дополнительные обстоятельства, вызывающие необходимость уточнения положения створа перехода.

Перед разработкой рабочей документации выполняют изыскательские работы в развитие результатов рассмотрения и утверждения проекта и необходимые для составления рабочих чертежей мостового перехода.

Трехстадийность проектирования диктуется сложными ситуационными, климатическими, гидроморфологическими, антропогенными и прочими условиями, а также пересечением рек с шириной русел 100—200 м и более.

В случае несложных проектных решений проектирование мостового перехода осуществляется в две стадии: ТЭО (ТЭР) и рабочий проект.

6. По аналогии с практикой проектирования крупных гидротехнических сооружений для сложных мостовых переходов, требующих трехстадийное проектирование, рекомендуется до составления рабочей документации проектирование сопровождать научно-исследовательскими проработками технических решений. Такое сопровождение обычно является экономически оправданным, т. е. позволяющим снизить стоимость строительства на сумму, значительно превышающую затраты на исследования.

7. При выполнении проектно-изыскательских работ, помимо рекомендаций Пособия, должны соблюдаться общеобязательные инструкции и указания по технике безопасности, геодезическому надзору, а также правила использования материалов Госкомгидромета и Союзгеофонда СССР.

А. Подготовительные работы

1.1. Выбор места мостового перехода

1. Трассу мостовых переходов через малые и средние переходы назначают согласно обоснованному в ТЭО или ТЭР направлению проектируемой дороги с учетом гидрологических, топографических, инженерно-геологических условий, судоходства и сплава. Местоположение больших переходов, как правило, определяет не направление проектируемой дороги, а комплекс условий перехода через водную преграду.

В сложных случаях по планам и картам намечают створы возможных вариантов перехода и отбирают наиболее конкурентоспособные для последующего обследования. Оптимальное положение мостового перехода должно быть установлено в результате сравнения всех вариантов по их технико-экономическим показателям. Сравнение вариантов производят на участках, включающих общие точки ответвления и примыкания к трассе дороги (рис. 1.1).

2. Трассу мостового перехода через несудоходные реки следует назначать с учетом следующих требований:

а) участок русла реки в месте перехода должен быть по возможности прямолинейным или представлять собой плавную излучину; на участке перехода направления течений в русле и на пойме должны быть параллельными и мало изменяться с изменением уровня воды;

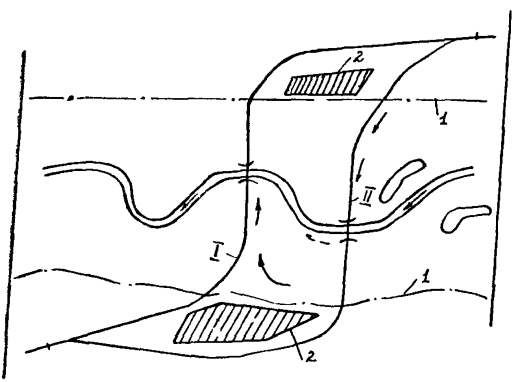


Рис. 1.1. Варианты мостового перехода:
1—граница разлива высоких вод; *2*—населенные пункты

б) мостовой переход следует располагать нормально к направлению пойменного и руслового потоков при расчетном расходе воды; если направление пойменного и руслового потока не параллельны, переход следует располагать нормально к среднему направлению более мощного из потоков;

в) переход необходимо располагать на участке рек с наиболее узкими поймами, расположенными на высоких отметках, незаболоченными, без озер, проток и староречий;

г) не следует располагать переход на перекатном участке реки, в местах образования заторов, зажоров льда, наледей или заломов леса при молевом сплаве, а также в местах, где река имеет рукава и острова;

д) во избежание отложения наносов под мостом не рекомендуется располагать переход непосредственно ниже устья притока;

е) расположение перехода вблизи гидротехнических сооружений, крупных водозаборных сооружений, трубопроводов и т. п. приводит обычно к удорожанию перехода.

3. По инженерно-геологическим условиям следует отдавать предпочтение варианту перехода, где коренные породы располагаются на более высоких отметках. Не рекомендуется располагать сооружения мостового перехода на участках рек, имеющих карстовые явления или сложенных гипсом и другими выщелачивающимися породами. Следует избегать расположения подходов к мосту на берегах, подверженных оползням или имеющих «мокрые» косогоры, на заболоченных поймах, пересечениях пойменных озер, проток и староречий.

4. Мостовой переход через судоходные и сплавные реки располагают с учетом требований ГОСТ 26775—85 /6/:

а) мост надо располагать нормально к направлению судовых и плотовых ходов при расчетном судоходном, среднем и низком уровнях воды;

б) оси судовых ходов при средних и низких уровнях воды должны быть параллельны берегам русла на протяжении тройной длины буксируемого каравана с верховой стороны от оси моста и на протяжении полуторной длины каравана с низовой;

в) отклонение оси моста от нормали к направлению течения без увеличения ширины габарита судоходных пролетов допускается при условии увеличения ширины подмостового габарита и устройства соответствующих регуляционных сооружений;

г) не следует располагать мост на участке русла, имеющем перевал судового хода от одного берега к другому;

д) расположение моста в пределах речного порта не должно ухудшать условий рейдовых операций.

5. Трасса мостового перехода на ширине разлива должна по возможности приближаться к прямой линии. Элементы плана продольного и поперечного профиля перехода должны соответствовать требованиям СНиП для железных [81] и автомобильных дорог [76], мостов и труб [75].

Искривление трассы в пределах пойм должно быть обосновано. На активно работающих поймах при углах поворота вниз по течению образуются водные «мешки», существенно ухудшающие экологические условия в районе перехода (см. рис. 1.1, вариант 1).

При углах поворота вверх по течению неблагоприятных явлений не возникает, однако в этом случае вдоль верховой стороны насыпи возможны повышенные скорости потока, что вызывает необходимость защиты ее от подмыва (см. рис. 1.1, вариант 2).

6. При пересечении пойм следует избегать пересечения озер, болот, староречий и активных проток.

7. В извилистых узких долинах, когда трасса пересекает многократно русло реки, целесообразно рассмотреть варианты спрямления и отвода русла от запроектированной трассы [15].

Косое пересечение реки, а также расположение моста на кривой должны быть обоснованы сравнением вариантов.

8. При трассировании переходов через конус выноса возможны три варианта (рис. 1.2):

а) в вершине конуса—в этом случае размеры отверстий мостов и регуляционных сооружений будут наименьшими по сравнению с другими вариантами, но при этом происходит лишний набор высоты (см. рис. 1.2, вариант I);

б) в средней части конуса—в этом случае стоимость моста и регуляционных сооружений оказывается наибольшей, а сама трасса, как правило, наименьшей по длине (см. рис 1.2, вариант II);

в) в нижней части конуса или обход его—в этом случае значительно удлиняется трасса перехода, теряется высота, однако на автомобильных дорогах низших категорий появляется возможность устройства брода-лотка вместо мостов.

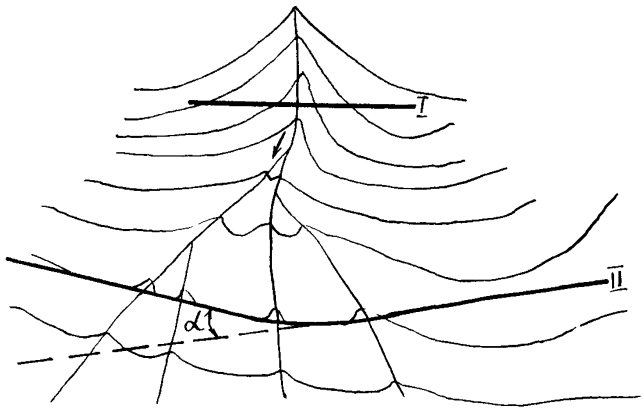


Рис. 1 2 Расположение трассы на конусе выноса

Таблица 1.1

Большие и средние мосты на железных и автомобильных дорогах категории	Минимальные расстояния, м															
	газопроводы								нефте- и нефтепродуктопроводы							
	классы трубопроводов															
	I						II			IV	III		II		I	
	диаметры трубопроводов, мм															
	300 и менее	св 300 до 600	св 600 до 800	св 800 до 1000	св 1000 до 1200	св 1200 до 1400	300 и мен	св 300	300 и мен.	св 300 до 500	св 500 до 1000	св 1000 до 1400				
I—II	100	150	200	250	300	350	75	125	75	100	150	200				
III—IV, IV—II	75	125	150	200	225	250	75	125	75	100	150	200				

Примечание Газопроводы подразделяются на классы в зависимости от давления в трубопроводе, нефте- и нефтепродуктопроводы—от диаметра трубопровода. Подводные трубопроводы через водные преграды принимают I класса

При пересечении конусов выноса в средней и нижней его части необходимо располагать трассу нормально к образующей конуса, т. е. по кривой с углом поворота α, равным или несколько большим угла растекания потока по конусу.

Для выбора оптимального местоположения трассы перехода необходима вариантная проработка.

9. Мостовые переходы, расположенные в зоне водохранилищ и нижних бьефах плотин, трассируют с учетом бытового и измененного плотиной режима реки. При этом возможны случаи:

а) мостовой переход расположен в нижнем бьефе плотины—в этом случае трассу располагают вне зоны сосредоточенного размыва русла; если плотина некапитальная, то мостовой переход рассчитывается с учетом прорыва плотины;

б) мостовой переход расположен по плотине ГЭС—этот вариант закладывается в проекте плотины;

в) мостовой переход расположен в верхнем бьефе плотины—в этом случае переход располагают в наиболее узком месте водохранилища, вне заторной ледяной зоны.

При проложении трассы дороги вдоль водохранилища необходимо ее

трассировать вне пределов прогнозируемой линии переработки берега от волнобоя.

10. При трассировании мостового перехода вблизи существующего моста необходимо учитывать, что деформации русла, вызываемые одним переходом, могут быть опасны для другого. При близком расположении переходов возможно устройство регуляционных сооружений для их совместной работы.

11. Створы мостовых переходов желательно располагать из условия обеспечения безопасности мостов выше от подводных трубопроводов, но во всех случаях на расстоянии, не менее рекомендуемых в табл. 1.1 [77]. При этом следует учитывать, что указанные расстояния могут не обеспечивать безопасность трубопроводов из-за размывов под мостами.

12. В суровых климатических условиях при выборе мест мостовых переходов необходимо учитывать возможность образования на водотоках наледей и их вредные воздействия на мостовые сооружения, а также мерзлотно-грунтовые условия и возможные геокриологические изменения в процессе строительства и эксплуатации сооружений.

При выборе мест переходов через водотоки следует избегать участков, где возможно образование больших наледей (устьевые участки рек и притоков, особенно места слияния водотоков; перекаты со скальными выступами; места с островами и староречиями; широкие заболоченные поймы; места с выходами родников подземных вод). Для мостовых переходов в наледных районах надо выбирать узкие и глубокие русла.

В зоне тундры следует учитывать снегозаносимость логов и ручьев, опорожнение верховых озер и оврагообразование.

1.2. Составление ситуационно-гидрологической схемы мостового перехода по имеющимся материалам

1. Перед производством полевых работ на основании имеющихся картографических, топографических и аэросъемочных материалов составляют ситуационно-гидрологическую масштабную схему мостового перехода.

Схема служит обоснованием выбора оси мостового перехода, расположения регуляционных сооружений, гидрометрических и морфометрических створов, строительных площадок, а также является топографической основой для инженерно-геологической съемки.

2. Ситуационно-гидрологическая схема (рис. 1.3) должна включать участок русла и пойм по ширине долины до отметок на 1—2 м выше максимального уровня воды, за исключением рек, текущих в конусах выноса, и по длине не менее полуторной ширины разлива при УВВ вверх по течению от верхнего варианта перехода, и не менее одной ширины разлива вниз от нижнего варианта перехода, за исключением устьевых участков равнинных рек, для которых размеры схем устанавливаются индивидуально.

При пересечении конусов выноса размер схемы определяется намечаемой схемой регулирования потока.

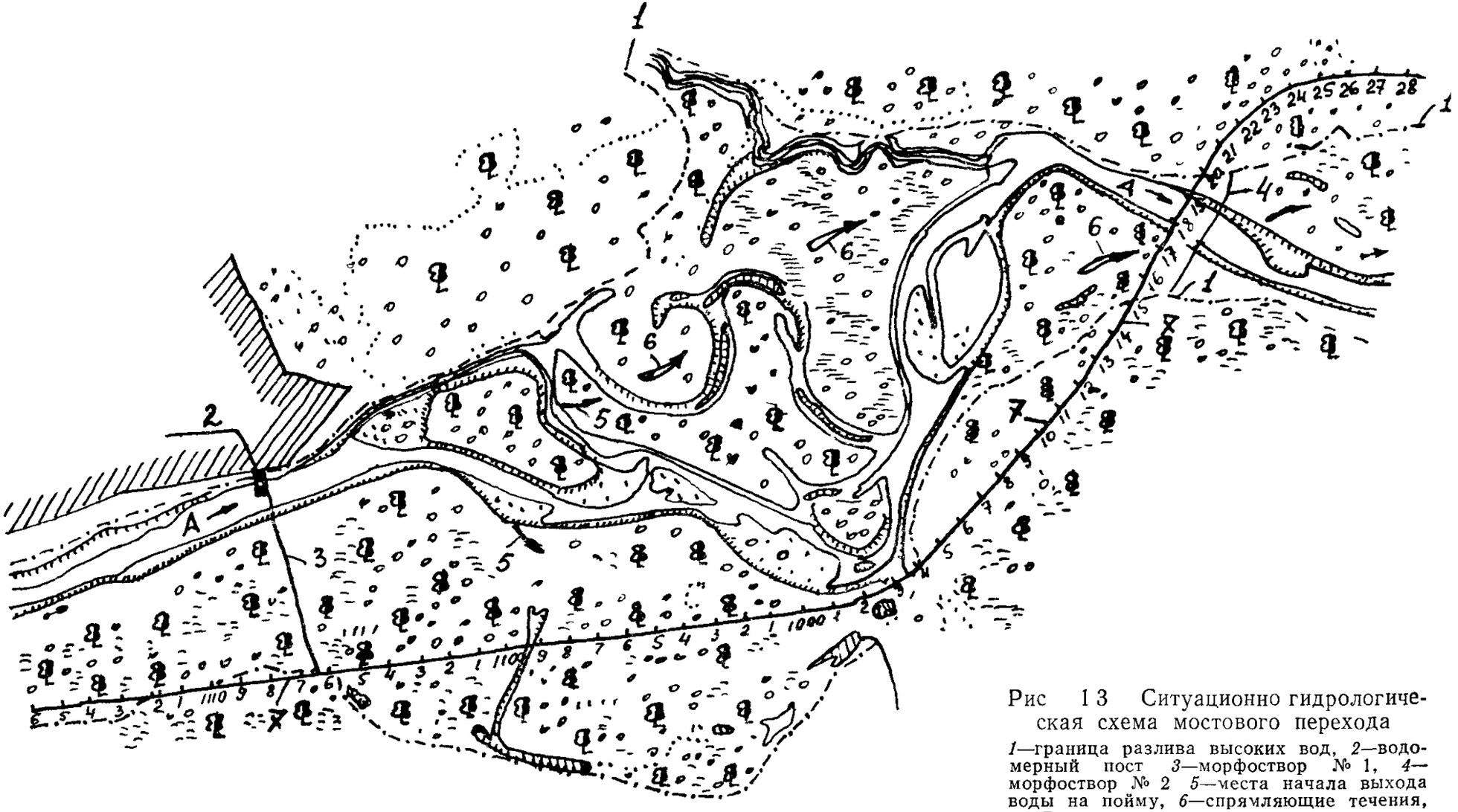


Рис 13 Ситуационно гидрологическая схема мостового перехода

1—граница разлива высоких вод, *2*—водомерный пост *3*—морфоствор № 1, *4*—морфоствор № 2 *5*—места начала выхода воды на пойму, *6*—спрямляющие течения, *7*—трасса проектируемого перехода

В случаях примыкания мостового перехода к промышленным центрам, железнодорожным узлам и портам размер схемы может быть увеличен. Масштаб составления ситуационно-гидрологической схемы зависит от величины водотока и изменяется в пределах от 1:5000 до 1:25000.

3. В процессе полевых работ в ситуационно-гидрологическую схему вносят коррективы. В частности, уточняют положение размываемых берегов русла, побочней, кос, осередков, островов, действующих проток и границы растительности на поймах, производят промеры наибольших глубин у вогнутых берегов русла и на перекатах, устанавливают следы прохода высокой воды, следы выхода льда на поймы, места образования заторов льда, заломов сплавляемой древесины, скопления карчей.

Установленные признаки прохода высоких вод привязывают в плане и наносят на схему. Кроме этого, на схеме показывают дороги, мосты, каналы, плотины и т. п., отсутствующие на исходном картографическом материале и влияющие на режим реки на участке перехода. Их технические характеристики (высоты насыпей, отверстия мостов, глубины и ширины каналов, отметки бьефов плотин и данные об их водосливах и т. п.) приводятся в экспликации.

4. Для составления ситуационно-гидрологических схем может с успехом применяться аэрофотосъемка, в особенности для случаев съемки крупных массивов, когда сравнивается большое число вариантов трассы перехода, а также при изысканиях переходов через крупные реки и в таежной местности с труднопроходимой поймой и сложным очертанием русла.

Для предварительных соображений в поле материалы аэрофотосъемки можно использовать до окончательной обработки в виде масштабной фотосхемы. На таких схемах обычно хорошо видны все морфологические особенности русла и поймы реки, на основании которых можно установить места возможных вариантов перехода, расположения створов и других пунктов наблюдения.

1.3. Источники и методы получения исходной информации о районе мостового перехода

До начала полевых работ должны быть предварительно собраны материалы, содержащие сведения о режиме пересекаемой реки и районе перехода.

1. Картографические и топографо-геодезические. Картографический материал (М 1:10000—1:1000000) приобретают в организациях-держателях этих материалов. Ранее выполненные съемки получают в территориальных проектных организациях, у областных и районных архитекторов, через территориальные институты Гипрозема, районных землеустроителей, отделах капитального строительства промышленных предприятий, заказчика проекта, в других проектно-изыскательских и эксплуатационных организациях. При получении этих материалов необходимо выписать отметки марок и реперов, их местонахождение, а также координаты пунктов триангуляции и полигонометрии.

2. Гидрологические. Для получения этих материалов могут быть использованы издания главного управления гидрометеослужбы при Совете Министров СССР и Государственного гидрологического института /ГГИ/:

Сведения об уровнях воды на внутренних водных путях СССР;

Сведения об уровнях воды на реках и озерах СССР;

Материалы по режиму рек СССР;

Гидрологические ежегодники;

Ресурсы поверхностных вод СССР, материалы водного кадастра СССР,

Материалы по максимальному стоку талых вод рек СССР;

Каталог по максимальному дождевому стоку рек СССР;

Атлас вскрытия и замерзания рек Европейской части СССР;

Каталог отметок наивысших уровней воды рек и озер СССР;

Труды ГГИ, освещающие гидрологию отдельных районов.

Кроме официальных изданий, данные о материалах ранее выполненных изысканий, проектов, научных работ можно получить в:

Гипроречтрансе Министерства речного флота РСФСР;

Гидроэпроекте Министерства энергетики и электрификации СССР и его филиалах;

Гипроводхозе (концерн Водстрой) и его отделениях;

институтах разных министерств и ведомств, занимающихся проектированием железных, автомобильных дорог, трубопроводов, наземных и подземных коммуникаций и т. д;

бюро расчетов и справок.

3. Метеорологические. Эти данные собирают на ближайших к мостовому переходу метеостанциях. Должны быть собраны сведения, характеризующие климат района: осадки; температурный режим воздуха; максимальные скорости и направления ветров за все годы наблюдений по месяцам; толщина снежного покрова и льда.

Материалы этих наблюдений публикуют в справочниках по Климату СССР, метеорологических ежемесячниках и ежегодниках и в СНиПе по строительной климатологии и геофизике [70].

4. Геологические. Эти данные должны содержать сведения: о грунтах русла реки и поймы, об уровнях и режиме подземных вод и анализе воды; об оползнях и мокрых косогорах, карстовых явлениях; о наличии в районе перехода местных дорожно-строительных материалов; о сейсмичности района.

Материалы, содержащие сведения по геологии, в основном сосредоточены в Геолфонде, архивах республиканских и местных геологических управлений и трестах инженерно-строительных изысканий, а также в организациях, выполняющих инженерно-геологические исследования.

5. Сведения о ближайших железнодорожных, автодорожных и городских мостах. Эти сведения могут быть получены в проектных институтах, проектировавших мостовые переходы, в службах пути управлений железных дорог, в дистанциях пути, в управлениях автомобильных дорог. В этих организациях необходимо получить

картографический материал с нанесенными вариантами переходов; пояснительные записки с гидрологическими расчетами; схемы мостов с геологическими разрезами; характеристику работы мостового перехода по пропуску паводков, отметкам УВВ за время работы перехода с указанием дат пиков паводков (половодий), случаи размывов, разрушений и повреждений на переходе, сведения о работе регуляционных сооружений и состояния укрепления пойменных откосов и дамб; профили живого сечения по промерам под мостом за разные годы.

6. Сведения о ближайших существующих и проектируемых ГЭС, плотинах и других гидротехнических сооружениях.

При расположении мостового перехода в зоне водохранилища или нижнем бьефе плотины необходимо получить в организациях, эксплуатирующих водохранилища, материалы, которые характеризуют бытовой режим реки до и после постройки ГЭС:

местоположение створа плотины на плане и продольном профиле реки;

класс плотины;

отметки нормального /НПУ/ и форсированного /ФПУ/ подпорных уровней;

уровня наибольшей сработки водохранилища—мертвого объема (УМО);

кривые подпора и сбросные расходы воды при паводках различных вероятностей превышения;

данные о годовом режиме водохранилища;

данные о ветровом режиме водохранилища.

7. Сведения о судоходстве и сплаве на реке. Источники получения материалов: местные бассейновые управления пути Министерства речного флота; сплавные организации. В этих организациях получают следующие сведения: класс реки; габариты судов, буксируемых плотов и перспективы увеличения их габаритов; лоцманские карты или атласы судоходных рек; условия судоходства в районе перехода; допускаемые скорости течения для сплавного судоходства.

8. Сведения экономического характера. Источники получения этих материалов: плановые и финансовые органы при Советах Министров АССР, облисполкомах и райисполкомах; местные строительные, промышленные и транспортные предприятия, которые могут быть использованы при строительстве перехода.

В этих организациях получают сведения:

об объемах и направлениях перевозок грузов и пассажиров автомобильными и другими видами транспорта;

о размещении, производственных связях и перспективах развития народного хозяйства в районе изысканий;

о работе автотранспортных предприятий, транспортно-эксплуатационных показателях работы автомобильного транспорта и данные по учету движения автомобилей, проводимому дорожно-эксплуатационной службой;

об эксплуатационно-стоимостных показателях работы сущест-

вующего мостового перехода, паромной переправы, низководного моста и т. п.;

о простоях, задержках, перерывах движения и косвенных потерях народного хозяйства;

о наличии в районе перехода электроэнергии в количестве, потребном для нужд строительства мостового перехода, рабочей силы и жилья.

1.4. Определение объема, методов выполнения и программы инженерно-гидрологических работ

1. После получения утвержденного заказчиком задания на разработку титульного мостового перехода или железной (автомобильной) дороги, в составе которых находятся мостовые переходы, приступают к составлению программы работ, выявляют перечень и объем работ, устанавливают метод и сроки их выполнения.

Инженерные гидрологические изыскания производят в соответствии с действующим законодательством, требованиями СНиПов, других нормативных документов, утвержденных в установленном порядке и содержащих дополнительные или специальные требования к изысканиям.

При составлении программы изыскательских работ нужно ориентироваться на выполнение их современными методами и инструментами. Большие площади необходимо снимать аэрофотограмметрическими методами. Неприступные расстояния и базисы опорных сетей определять прецизионными методами, русловые съемки производить с помощью эхолотов, а измерение скоростей течений и расходов воды на крупных реках методами аэрогидрометрии.

Изыскания мостовых переходов условно можно подразделить на три этапа: подготовительный, полевой и камеральный.

2. В подготовительный период производится сбор и обобщение данных о районе мостового перехода и материалов изысканий прошлых лет; составляется программа изысканий и смета; оформляются материалы для получения разрешения на производство инженерно-геодезических, инженерно-гидрологических, аэрофотосъемочных и инженерно-геологических работ; производится регистрация этих работ. Получают (с помощью заказчика) лесорубочный билет. Одновременно утверждается у заказчика смета. Совместно с представителем заказчика необходимо участие в комиссии по предварительному отводу земли под сооружения мостового перехода. Открывается в банке финансирование, укомплектовывается штат экспедиции, партии (отряда).

Для правильной организации изыскательских работ должно быть составлено общее представление о режиме реки, климатических условиях района изысканий на основе изучения и обработки предварительно собранных данных.

При наличии полных и надежных данных, собранных в подготовительный период, можно сократить объем работ, не допуская повторений и ограничиваясь привязкой этих данных к створу мостового перехода с обязательной проверкой соответствия их нату-

ре. Имея, например, детальный план перехода, необходимо предусмотреть контрольные промеры русла в пределах этого плана, а также проверить плановое положение берегов, островов, рукавов и т. п. с тем, чтобы определить за это время деформации реки в плане и профиле.

3. В подготовительный период необходимо также выявить возможные особенности проектирования мостового перехода и при необходимости учесть в смете научное обоснование проектных решений.

Научно-исследовательское сопровождение проектирования желательно для всех мостовых переходов через реки с шириной русел более 200 м, а также в случаях, связанных со сложностью проектирования из-за ситуационных и антропогенных (групповые отверстия, застройка поймы и т. п.), климатических (доминируют ледовые явления, мерзлые грунты и пр.), гидроморфологических (пересечение рек с интенсивным русловым процессом типа русловой многорукавности или на криволинейном участке русла), гидрологических (например, в зоне подпора от реки или водохранилища) и других условий.

В перечисленных случаях научно-техническая помощь на стадии составления проекта обычно является экономически оправданной* и позволяет более обоснованно принимать (и защищать) технические решения.

4. Объем и характер полевых работ зависят от сложности и степени изученности, природных условий района изысканий, а также от стадии проектно-изыскательских работ и сроков разработки проекта.

Инженерно-гидрологические изыскания на стадии технико-экономического обоснования или технико-экономических разработок имеют целью получение минимально необходимых данных по гидрологии района, оценки намеченных вариантов трассы, выбора основного направления и получения генеральных размеров проектируемого мостового перехода.

В полевой период на этой стадии выполняют, как правило, следующие виды работ:

промеры глубин по выбранному створу;

составление актов УВВ прошедших паводков путем опроса старожилов или по следам на местности;

определение продольного уклона реки в районе оси мостового перехода;

разбивка и нивелирование морфоствора там, где он необходим.

5. Инженерно-гидрологические работы для составления Проекта по схеме: ТЭО (ТЭР)—Проект—Рабочая документация и для составления Рабочего проекта по схеме ТЭО—Рабочий проект заключаются в детальном изучении гидрологических условий района мостового перехода в объеме, достаточном для проектирования

* Под экономически оправданными понимаются исследования, результаты которых позволяют снизить стоимость объекта на сумму, в пять-шесть раз превышающую затраты на исследования.

моста, земляного полотна на подходах, регуляционных сооружений и организации строительства.

Имеющиеся гидрологические материалы обычно относятся к створам, которые не совпадают с осью мостового перехода. В этих случаях программами предусматривают устройство в период изысканий водомерных постов и организацию наблюдений на них, совпадающих по времени с наблюдениями на ближайших опорных водомерных постах. Иногда необходимо проверить данные наблюдений на месте и провести контрольные промеры в случае, если на водомерных постах расход воды определяют без учета поймы или других частей живого сечения водного потока.

Независимо от наличия топографического материала предусматривают съемку мест пересечения или сближения трассы мостового перехода с инженерными сооружениями и объектами. Следует также предусмотреть съемку всех изменений ситуации

При изысканиях мостовых переходов производятся, как правило, морфометрические работы, при которых должны быть определены: количественные соотношения между морфометрическими и гидравлическими характеристиками русла и пойм, уровни воды по опросам старожилов, меткам и следам прошедших наиболее высоких исторических паводков. Ограничиться морфометрическими работами можно в случаях, когда:

а) вблизи проектируемого перехода имеются водомерные посты, материалы наблюдений, которых обеспечивают надежное определение расчетных гидрологических параметров;

б) изыскания носят срочный характер и время их производства не совпадает с паводочным периодом;

в) трасса дороги пересекает несколько водотоков, расположенных в одном гидрологически однородном районе.

Гидрометрические работы следует выполнять в особо сложных условиях, при пересечении крупных водотоков, а также при необходимости дополнения морфометрических работ При гидрометрических работах определяют расходы воды, скорости течения, уклоны водной поверхности в период прохода паводка, траектории движения судов, караванов судов, барж, отдельно плывущих предметов, поплавков. Эти работы наиболее ценны, если охватывают период высокого (выше уровня выхода воды на пойму) половодья или паводка.

В остальных случаях целесообразно применение смешанных (гидроморфологических) изысканий, выполняемых в весенне-летний период

В программе работ необходимо предусмотреть устройство вышек для засечек траектории движения судов, караванов судов, барж и т. п , лодочных переправ, аренду катеров, моторных и весельных лодок, понтонов и барж.

6. Инженерно-гидрологические работы для составления рабочей документации предназначаются для уточнения и детализации исходных данных, полученных при изысканиях для проекта и кор-

ректировки результатов гидрологических и гидравлических расчетов, выполненных на этих стадиях проектирования.

Если местоположение оси мостового перехода и гидрологические условия не изменились по сравнению с предыдущей стадией, изыскательские работы на стадии Проект отсутствуют или сводятся к уточнению полевых материалов в камеральных условиях. Обычно это—камеральный период изыскательских работ или они вообще отсутствуют.

Б. Топографо-геодезические работы

1.5. Инженерно-топографические планы мостовых переходов и требования к ним

1. Инженерно-топографические планы мостовых переходов, получаемые в результате выполнения топографо-геодезических работ, должны обеспечивать разработку технико-экономического обоснования (ТЭО), проекта (рабочего проекта) или рабочей документации на строительство моста, регуляционных и берегоукрепительных сооружений и земляного полотна на подходах.

2. Инженерно-топографические планы мостовых переходов следует составлять, как правило, аэрофототопографическим методом по материалам аэрофотосъемки.

Наземную съемку (тахеометрическую или фототопографическую) выполняют в случаях, когда выполнить аэрофотосъемку не представляется возможным или экономически нецелесообразно вследствие ограниченности снимаемой территории.

3. Площадь топографической съемки должна быть достаточна для проектирования мостового перехода и временных сооружений, необходимых для его строительства.

Границы и площади участков, подлежащих топографической съемке, а также масштаб съемки устанавливают в программе изысканий.

Минимальные размеры участка съемки принимают:

поперек реки—в пределах разлива при наибольшем уровне для железных дорог и расчетном для автодорог с превышением в пределах 1—2 м запаса над указанными уровнями по высоте;

вверх и вниз по течению в районе моста, струенаправляющих дамб и срезки подмостового русла—по 1,5 отверстия от оси мостового перехода.

На участках подходов к мосту полоса съемки должна быть достаточна для проектирования всех сооружений, связанных как со строительством мостового перехода, так и его эксплуатацией, но не меньше 100 м в каждую сторону от трассы.

Топографические съемки предусматривают также на участках долинных ходов трассы, где проектируются спрямления русла, запруды, поперечные регуляционные сооружения и укрепление берегов.

Подводную съемку русла, староречий и проток следует выполнять в пределах, необходимых для проектирования мостового

перехода, включая спрямления русла, запруды и пересыпки стариц речий и проток, а также на участках, достаточных для создания математической модели местности, если предполагается моделирование протекания потока в речной долине.

Подводная съемка производится измерением глубин по створам с плановой привязкой промерных точек и нивелированием урезов в характерные периоды времени.

В пределах мостового перехода производится съемка всех подземных и наземных коммуникаций (газо- и нефтепроводы, водопроводы, линии связи и электропередач и т. п.), проходящих по территории в границах съемки, а также пересекаемых трассой новой железной или автомобильной дороги.

4 Инженерно-топографические планы участков мостовых переходов составляют в зависимости от площади снимаемого объекта в масштабах 1:500 (при площади съемки до 10 га), 1:1000 (площадь до 50 га) и 1:2000 (площадь свыше 50 га). Высоты сечения рельефа горизонталями принимают с учетом сложности ситуации и рельефа 0,5 и 1,0 м.

5. Точность, а также содержание и оформление инженерно-топографических планов мостовых переходов должны отвечать требованиям СНиП 1.02.07—87 [69]

6 Инженерно-топографические планы мостовых переходов составляют, как правило, в системе координат и высот, принятой для проектируемой железной и автомобильной дороги.

7. Объекты, контуры местности и элементы рельефа на топографических планах изображают условными знаками, утвержденными Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР (ГУГК СССР) [88].

Полнота и правильность нанесенных на план подземных и наземных коммуникаций и их характеристики должны быть подтверждены эксплуатирующими эти коммуникации организациями.

1 6. Съемочная геодезическая сеть

1. Геодезической основой для выполнения всех видов наземных топографо-геодезических работ при изысканиях мостовых переходов служат пункты (точки) съемочной геодезической сети (съемочного обоснования).

В качестве съемочного обоснования следует использовать пункты (точки) магистральных и съемочных ходов.

Геодезической основой для аэрофототопографической съемки служит планово-высотное обоснование маршрутной аэрофотосъемки, состоящее из пунктов и реперов геодезической сети, которые надежно опознаются на аэрофотоснимках, планово-высотных и высотных опознаков и пунктов (точек) магистральных ходов.

2. Ходы съемочной геодезической сети следует прокладывать:

магистральные ходы—как правило, по оси мостового перехода (по трассе проектируемой железной или автомобильной дороги);

съемочные (теодолитные) ходы—в местах, удобных для геодезических измерений и обеспечивающих максимальную площадь съемки с каждой точки хода.

Если для составления топографического плана мостового перехода выполняется многомаршрутная аэрофотосъемка, то съемочная геодезическая сеть представляет собой магистральный ход, проложенный по оси мостового перехода, и сеть магистральных ходов, проложенных в зоне перекрытия маршрутов и опирающихся на точки полигонометрического хода по оси мостового перехода.

3. Магистральные ходы должны быть привязаны в плане и по высоте к пунктам государственной геодезической сети, а съемочные—к пунктам (точкам) магистральных ходов.

Допустимые величины невязок в ходах съемочного обоснования следует принимать в соответствии со СНиП 1.02.07—87.

4. Измерения углов и расстояний в ходах съемочного обоснования должны производиться, как правило, электронными тахеометрами (например, Рекота, Та3) или теодолитами типа 2Т2, 2Т5 с установленными на их колонками светодальномерами (например, СМ5, СТ5) по трехштативной системе.

При прокладке магистральных и съемочных ходов через водотоки шириной до 350 м допускается, при обосновании в программе изысканий, измерение углов теодолитами 2Т30 и измерение длин линий стальными мерными лентами или рулетками. При этом должно быть обеспечено выполнение требований СНиП 1.02.07—87.

5. Длина линий в ходах съемочного обоснования при использовании светодальномера не должна быть менее 20 м на застроенной территории и 40 м на незастроенной территории.

Максимальная длина стороны съемочного хода должна устанавливаться в программе изысканий в зависимости от назначения хода и используемого светодальномера.

При выполнении работ электронными тахеометрами или светодальномерами допускается использовать висячие ходы с одной стороной длиной не более 750 м [20].

В ходах планово-высотного обоснования маршрутной аэрофотосъемки максимальная длина стороны хода определяется условиями привязки опознаков и возможностями используемого светодальномера.

6. Координаты пунктов (точек) съемочной геодезической сети вычисляют по уравненным значениям углов и длин сторон магистральных и съемочных ходов.

Для уравнивания результатов линейных и угловых измерений по магистральному ходу, проложенному по трассе проектируемой дороги (оси мостового перехода), следует использовать координаты пунктов государственной геодезической сети. Для уравнивания результатов линейных и угловых измерений по съемочному ходу следует использовать точки магистрального хода, к которым примыкает съемочный ход.

7. Отметки точек магистральных и съемочных ходов и опознаков планово-высотного обоснования аэрофотосъемки допускается определять методами геометрического или тригонометрического нивелирования.

Выбор метода нивелирования определяется имеющимся парком геодезических приборов и условиями производства работ

Тригонометрическое нивелирование следует применять, как правило, при производстве работ с использованием светодальномеров или электронных тахеометров

8 Геометрическое нивелирование надлежит выполнять путем прокладки по точкам съемочного обоснования ходов технического нивелирования, которые привязывают к пунктам государственной геодезической сети, маркам и реперам нивелирной сети и к временным реперам

Невязки в нивелирных ходах не должны превышать $50 \cdot \sqrt{L}$ мм, где L—длина хода в км

При привязке к пунктам государственной геодезической сети, маркам и реперам, когда местность имеет большие углы наклона и число станций на 1 км хода более 25, допустимую невязку следует подсчитывать по формуле $f_{\text{н}} = 10\sqrt{n}$ мм, где n—число станций в ходе

При производстве инженерно-геодезических изысканий новых железных и автомобильных дорог временные реперы устанавливают не реже чем через 2 км На трассе подходов к мосту реперы устанавливают через 1 км на расстоянии не более 40 м, но за пределами земляного полотна, резервов, водоотводов и т п

При проложении нивелирных ходов должны соблюдаться требования СНиП 1 02 07—87.

Таблица 12

Сооружение	Количество		Характер закрепления пунктов
	геодезических пунктов по трассе	реперов	
Мосты длиной до 50 м	Не менее 2	1	Деревянные столбы
От 50 до 100 м	не менее 2 на каждом берегу	1 на каждом берегу	То же
От 100 до 300 м	То же	То же	Железобетонные столбы
Более 300 м	То же	2 на каждом берегу	То же
Подходы	Не менее 2 на 1 км трассы На кривой закрепляются начало и конец кривой биссектриса и вершина угла поворота трассы	Не менее 1 на 1 км трассы	Деревянные столбы

Примечания 1 Если ось моста пересекает остров, то на нем дополнительно должны быть установлены не менее одного створного знака по оси моста и одного высотного репера

2 Ось моста расположенного на кривом участке пути, закрепляется по направлению хорды, стягивающей начало и конец моста В случае расположения русловой части моста на прямой, а пойменных эстакад на кривой, криволинейные части моста следует закреплять по линии тангенсов

9. Для определения длин линий при тригонометрическом нивелировании следует использовать светодальномеры и электронные тахеометры.

Для измерения вертикальных углов нужно использовать теодолиты типа 2Т2 и 2Т5 или равноточные им электронные тахеометры. Рекомендуется использовать теодолиты с компенсатором места нуля вертикального круга.

10. Пункты (точки) ходов съемочной геодезической сети при инженерно-геодезических изысканиях мостовых переходов закрепляют на местности временными знаками—деревянными кольями диаметром около 10 см или столбами, в которые вбиты гвозди, фиксирующие центр знака.

При работах в залесенной и таежной местностях в качестве знаков могут быть использованы пни спиленных деревьев диаметром не менее 20 см.

Закрепление оси мостового перехода и трассы подходов производится в соответствии с данными табл. 1.2.

1.7. Аэрофототопографическая съемка

1. Состав работ при аэрофототопографической съемке мостовых переходов следует определять в программе изысканий.

Работы делятся на три периода: подготовительный, полевой и камеральный.

Подготовительный период включает:

сбор имеющихся картографических, геодезических, аэрофотосъемочных и других материалов;

изучение и анализ природных условий района работ;

камеральное проектирование мостового перехода по имеющимся картам и планам;

составление технического задания и календарного графика производства аэрофотосъемки, полевых и камеральных работ;

организационные мероприятия по аэрофотосъемочным, полевым геодезическим и камеральным работам (согласования, оформление разрешений, организация баз и т. п.).

При составлении технического задания тщательно определяют виды летних работ, границы стереотопографической съемки, положение аэрофотосъемочных маршрутов и ходов геодезического обоснования.

В полевой период выполняют комплекс работ и обследований, предусмотренных программой изысканий:

наземную и аэровизуальную рекогносцировку местности;

аэрофотосъемочные работы;

фотолабораторные работы;

планово-высотное обоснование и полевое дешифрирование аэрофотоснимков.

В камеральный период производят:

обработку материалов полевых работ и обследований;

фотограмметрическое сгущение опорной сети;

стереофотограмметрическую обработку аэрофотоснимков;

составление инженерно-топографических планов.

2. Аэрофотосъемку следует выполнять в соответствии с требованиями ГКИНП 09-32—80 [27] и ВСН 208—89 [20].

Аэрофотосъемку производят в соответствии с техническим заданием, составленным руководителем отдела, выполняющего аэрофототопографическую съемку.

В техническом задании должны быть указаны:

район работ, границы участка аэрофотосъемки, календарные сроки производства аэрофотосъемки и сдачи продукции;

масштабы фотографирования и создаваемых топопланов;

тип и фокусное расстояние аэрофотоаппарата (АФА);

тип носителя и необходимость применения статоскопа и радиовысотомера;

время съемки: вегетативный период (наличие или отсутствие лиственного покрова), весенний и осенний ледоход, паводковые периоды, межень;

необходимость установки дополнительных АФА и аппаратуры (гидроустановка, воздушная помпа и др.);

часы и условия производства аэрофотосъемочных работ (например, съемка при наличии сплошной облачности среднего и верхнего яруса);

используемый картографический материал для прокладки маршрутов (карты, схемы, продольные профили);

специальные требования к аэрофотосъемке.

3. Воздушное фотографирование для составления инженерно-топографических планов при изысканиях мостовых переходов следует выполнять АФА типа ТЭС-100М, ТЭ-140М, ТЭ-200М.

Для крупномасштабной аэрофотосъемки застроенных территорий рекомендуется использовать АФА-ТК 10/18, позволяющий компенсировать сдвиг изображения («смаз») в момент экспонирования. Использование АФА ТЭС-100М позволяет уменьшить масштаб фотографирования на 30%, по сравнению с АФА ТЭ, за счет более высоких измерительных свойств аэронегативов.

4. Масштаб фотографирования при аэрофототопографической съемке принимают в соответствии с требованиями СНиП 1.02.07—87, учитывая масштаб составляемого инженерно-топографического плана, высоту сечения рельефа горизонталями, а также имеющиеся в наличии АФА и стереофотограмметрические приборы.

5. Число аэрофотосъемочных маршрутов, прокладываемых при производстве аэрофотосъемки, определяется масштабом фотографирования и заданными границами съемочного участка.

Одиночный аэрофотосъемочный маршрут прокладывают, как правило, по оси мостового перехода. При производстве многомаршрутной аэрофотосъемки ось одного из маршрутов должна совпадать с осью мостового перехода.

В случае необходимости аэросъемочные маршруты допускается прокладывать вдоль направления течения реки так, чтобы главные точки снимков попадали на берег вблизи уреза воды.

Аэрофотосъемочные маршруты прокладывают, как правило, визуально по наземным надирным ориентирам, отмеченным на картах, планах или фотосхемах, составленных по материалам аэрофотосъемки предыдущих лет.

На подходах к мостовому переходу со стороны перегонов аэрофотосъемочные маршруты прокладывают на расстоянии не менее чем на два базиса за границей съемки.

Продольное перекрытие снимков принимают равным 60%. Продольное перекрытие 80 и 90% задается по специальному заданию.

При прокладке аэрофотосъемочных маршрутов вдоль варианта мостового перехода при ширине водотока более расчетного базиса фотографирования следует увеличивать продольное перекрытие снимков на участках, расположенных вблизи урезов воды, до 90% с тем, чтобы в процессе камеральной обработки можно было выбрать стереопары для стереофотограмметрических измерений.

При прокладке аэрофотосъемочных маршрутов вдоль водотока продольные перекрытия аэрофотоснимков следует увеличивать в зоне пересечения оси мостового перехода.

6. Воздушное фотографирование для составления инженерно-топографических планов мостовых переходов производят, как правило, при отсутствии облачности. Высота солнца при фотографировании на черно-белую пленку должна быть не менее 20° над горизонтом, для цветной и спектрозональной пленки—25°. Следует учитывать, что в середине дня растут восходящие и нисходящие потоки воздушных масс (особенно на границах смены подстилающих поверхностей), затрудняя вождение носителей и снижая качество работ, а в утренние и вечерние часы возникают значительные тени от рельефа и растительности, мешающие стереоскопическим измерениям и дешифрированию снимков.

Если по изображению водной поверхности на аэроснимках предполагается определять (стереофотограмметрически) скорости течения и направление струй водного потока, аэрофотосъемка должна производиться при сплошной облачности среднего и верхнего яруса, поскольку при солнечном освещении, особенно когда направление аэрофотосъемочных маршрутов совпадает с направлением на солнце, на водной поверхности возникают блики.

Для аэрофотосъемки небольших мостовых переходов эффективно использовать вместо традиционных носителей (самолета, вертолета) двухместные мотодельтапланы, на которых установлен комплекс навигационной и аэрофотосъемочной аппаратуры.

7. Фотолабораторную обработку аэрофотопленок и оценку качества залетов следует выполнять в соответствии с требованиями ВСН 208—89.

8. Топографо-геодезические работы для обоснования аэрофотосъемочных маршрутов производятся в соответствии с проектом геодезического обоснования.

Проект геодезического обоснования и схема расположения ходов съемочной геодезической сети и опознаков составляются специалистами аэрогеодезической группы с учетом назначения топо-

графических планов, их масштаба и вида стереофотограмметрических приборов, применяемых для обработки аэроснимков.

Положение планово-высотных и высотных опознаков, а также контрольных точек намечают на репродукциях накидного монтажа с учетом требований ВСН 208—89.

Планово-высотные опознаки следует выбирать в зоне тройного перекрытия аэрофотоснимков (вблизи границ съемки и урезов воды), контрольные точки—равномерно по площади стереопары.

Положение опознаков и контрольных точек уточняют под стереоскопом на контактных отпечатках и переносят на репродукции накидного монтажа.

Опознаки и контрольные точки следует располагать на горизонтальных площадках, мало отличающихся по высоте от окружающей местности.

Опознаки перед залетом должны быть замаркированы. Маркировку опознаков следует выполнять в соответствии с требованиями СНиП 1.02.07—87.

9. Инженерное дешифрирование аэрофотоснимков (полевое и камеральное) выполняют в соответствии с требованиями и рекомендациями ВСН 208—89.

Камеральные фотограмметрические работы при составлении топографических планов мостовых переходов следует выполнять в соответствии с требованиями [27].

10. Составление топографических планов мостовых переходов в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 стереофотограмметрическим способом можно выполнять как на универсальных приборах аналогов типа (СПР, СД, СЦ, Стереометрограф и т. п.), так и аналитическими методами с использованием стереокомпараторов (стекометров) и ЭВМ, а также аналитических фотограмметрических приборов типа «Анаграф» ЦНИИГАиК.

11. Составление топографических планов масштаба 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 стереотопографическими способами при изысканиях мостовых переходов можно выполнять по одной из следующих технологических схем:

аналитическое сгущение фотограмметрической сети, определение координат элементов ситуации и сооружений, составление фотоплана (ортофотоплана) в масштабе 1 : 2000 и 1 : 1000;

аналитическое сгущение фотограмметрической сети, определение координат элементов ситуации и сооружений в пределах обрабатываемой полосы местности и составление фотографического плана на универсальных приборах аналогового типа;

аналитическое сгущение фотограмметрической сети и получение цифровой модели местности (ЦММ) на обрабатываемую полосу местности с последующим составлением топографических планов на автоматизированных графопостроителях.

Технологическую схему составления инженерно-топографического плана мостового перехода выбирают с учетом оснащенности проектно-изыскательского института фотограмметрическими приборами и ЭВМ.

12. ЦММ должна обеспечивать автоматизированное составление топографических планов и получение исходных данных для автоматизированного проектирования новых сооружений в пределах съемки.

Исходная топографо-геодезическая информация о местности, необходимая для составления ЦММ, получается в результате топографо-геодезических работ, выполненных различными методами (стереотопографическая съемка, тахеометрическая съемка и др.).

Точность ЦММ должна соответствовать точности инженерно-топографического плана соответствующего масштаба. При построении и преобразованиях ЦММ точность исходной информации должна сохраняться.

13. При изысканиях мостовых переходов в результате выполнения камеральных работ должны быть получены следующие материалы:

инженерно-топографические планы или фотопланы мостового перехода с изображением рельефа горизонталями;

фотокальки или репродукции на прозрачной основе с инженерно-топографического плана или фотоплана мостового перехода;

контактные отпечатки с результатами дешифрирования;

репродукции накидного монтажа с положением точек планово-высотных опознаков и границами съемки;

каталог высот и координат пунктов съемочного обоснования и точек трассы;

координаты точек ЦММ, выданные на печать (в случае, если в процессе камеральных работ получают ЦММ), а также машинные носители информации (магнитная лента, магнитные диски), на которых записаны координаты точек ЦММ.

1.8. Наземные топографические съемки

1. Основным видом наземной топографической съемки при изысканиях мостовых переходов служит тахеометрическая съемка. Мензульную съемку выполняют при небольших площадях съемки в пересеченной местности и благоприятных климатических условиях, когда детальный топографический план необходимо составлять в поле. Для небольших открытых и плоских площадок можно использовать метод нивелирования по квадратам.

Генеральные и детальные инженерно-топографические планы мостовых переходов в горных районах, когда подходы к мосту расположены на крутых косогорах или прижимах, могут быть получены (дополнены) при помощи наземной фототопографической съемки с противоположного берега или с уреза воды.

2. Тахеометрическую съемку производят электронными (РЕКОТА, Та3), электрооптическими (ЕОТ-2 000, Та-5), номограммными (Дальта 010, Дальта 020, ТН) и внутрибазными (*BRT*-006) тахеометрами или, как исключение, теодолитами.

При съемке тахеометрами ТН, Дальта 010, Дальта 020, *BRT*-006 или тахеометрами *Theo* 200, *Theo* 030 рекомендуется использовать картографические столики, соединяющиеся механиче-

скими приспособлениями с геодезическими приборами (например, столик Карти 250).

3. Тахеометрическую съемку следует выполнять, как правило, с пунктов (точек) съемочного обоснования.

При производстве тахеометрической съемки должны соблюдаться требования, установленные СНиП 1.02.07—87.

Если в процессе составления плана обнаруживается несогласованность измерений или отсутствие промеров, то все уточнения должны быть выполнены в поле.

При автоматизированной технологии производства камеральных работ контроль составления инженерно-топографических планов должен выполняться в процессе ручной доработки.

4. Составленный инженерно-топографический план мостового перехода подлежит проверке в поле путем сравнения с натурой и проведения контрольных измерений.

Расхождения между расстояниями и высотами, взятыми с плана и полученными в натуре, не должны превышать допусков, предусмотренных СНиП 1.02.07—87.

При получении недопустимых расхождений проверяют правильность накладки точек в соответствии с абрисами, а если ошибка не обнаружена, должны быть повторены контурные измерения.

5. В результате производства тахеометрической съемки должен быть получен следующий комплекс материалов:

журналы тахеометрической съемки с абрисами станций ориентирования и наблюдения точек; при использовании столика Карти 250—планшеты съемки;

схема съемочного обоснования;

ведомость вычисления координат и высот точек съемочного обоснования;

планы тахеометрической съемки;

акты приемки и контроля работ.

9. При выполнении мензульной съемки следует руководствоваться требованиями и рекомендациями Инструкции [28].

10. Для наземных фототопографических съемок рекомендуется использовать универсальные фотокамеры с фокусным расстоянием объектива 100 мм типа *UMK* 10/1318 с последующей обработкой материалов аналитическими методами.

В качестве геодезической основы для наземной фототопографической съемки следует использовать базисный ход. Измерения линий этого хода должны выполняться, как правило, светодальномером или электронным тахеометром (в крайнем случае методом короткобазисной полигонометрии).

При выполнении наземной фототопографической съемки следует руководствоваться требованиями и рекомендациями Инструкции [28] и Методических указаний [41].

А. Наземные работы (контактный метод)

2.1. Цели и методы выполнения работ

1. Под гидрометрическими работами понимается комплекс наблюдений и работ, производимых на реке в районе перехода с целью изучения ее гидрологического режима. К ним относят измерение и направление скоростей течения, наблюдения за уровенным режимом и ледовыми явлениями.

По результатам гидрометрических работ определяют распределение расходов воды между руслом, протоками и элементами поймы при уровнях воды выше бровок русла, заполнение и опорожнение пойменных массивов и другие особенности протекания потока, что позволяет выявить уклоны свободной поверхности, коэффициенты шероховатости морфологически однородных участков, тенденции спрямлений, свала потока и прочее с целью принятия правильных проектных решений по регулированию потока.

2. Немаловажным обстоятельством при принятии решения об организации гидрометрических работ является их высокая стоимость. Поэтому к гидрометрическим работам прибегают при изысканиях мостовых переходов через неизученные и слабо изученные реки, для которых отсутствуют данные гидрометрических наблюдений, а также для крупных или сложных мостовых переходов.

3. Гидрометрические работы выполняют на стадии проекта и в особых случаях на стадии ТЭО.

Организация работ на стадии ТЭО позволяет увеличить время наблюдений за изучаемыми явлениями (ледовыми, уровенными и т. д.).

4. Гидрометрические работы по методу их проведения подразделяются на наземные (контактный метод) и аэрогидрометрические (дистанционный метод). Метод выполнения работ зависит от ширины русла и всей речной долины, а также сроков проведения изыскательских работ и технических возможностей.

2.2. Организация работ

1. Гидрометрические работы выполняют согласно Наставлению Гидрометеослужбы [43], дополнений к нему, а также с учетом предложений и требований [14, 85].

2. Гидрометрические наблюдения за водным режимом реки выполняют в два этапа. До начала половодья:

обозначают на местности и измеряют гидростворы, оборудуют тросовые перетяжки;

устраивают водомерные посты;

строят вышки для засечек поплавков, оборудуют суда для измерения скоростей вертушкой;

производят подводную съемку русла.

В период половодья выполняют:

наблюдения за уровнем воды;

измерения скоростей и наблюдения направлений течений, судовых ходов, сплава и ледохода;

подводную съемку русла, в необходимых случаях повторную съемку русла после прохода половодья.

3. При сложных условиях протекания потока на участке перехода, чтобы проследить изменения гидравлических элементов потока в продольном и поперечном направлениях, назначают два-три створа. Створ, совмещенный с осью перехода, принимают за главный. Желательно, чтобы на главном створе:

русло было прямолинейным, без резких изменений глубин, без островов и отмелей;

пойма по возможности имела наименьшую ширину, была незаросшей, без проток и озер;

направления течения на пойме и в главном русле были примерно параллельными.

4 При расположении проектируемого моста в подпоре назначают дополнительный створ вне зоны подпора для наблюдений на нем неискаженного подпором прохода половодья или используют данные наблюдений ГМС.

5. Створ на местности трассируют теодолитом с разбивкой и нивелировкой; створ закрепляют вехами по две на каждом берегу.

При широком разливе и открытой пойме устанавливают дополнительные вехи на пойме.

На заросшей пойме вырубают просеку шириной 5—6 м для свободного плавания лодок.

Вертикали на пойме закрепляют вехами или поплавками, привязанными к якорям в виде крупных камней, зарытых на глубину не менее 1 м. Длину веревки поплавка принимают равной полуторной глубине на данной вертикали при УВВ.

Вертикали в главном русле закрепляют: при работе по тросовой перетяжке—размеченными марками на тросе; при работе с лодки, устанавливаемой на якоре—предварительно вычисленными горизонтальными углами направлений на каждую вертикаль с закрепленного на местности пункта или по закрепленным на местности веерным створам.

Расстояние между промерными вертикалями должно быть на реках шириной до 800 м от $^1/_{10}$ до $^1/_{15}$ ширины реки, но не более 50 м.

При работе с существующих мостов вертикали закрепляют на нижнем поясе ферм (при работе со смотровой площадки) или на настиле тротуара.

2.3. Оборудование и устройства для наблюдений за водным режимом реки

1. Вышку для производства работ по засечке траекторий поплавков, льдин и судового хода рассчитывают на нагрузку от двух человек и ветровое давление.

Центр вышки должен быть «привязан» к пунктам опорной сети мостового перехода.

Высоту инструментального столика вышки над наивысшим уровнем воды в реке определяют по формуле:

$$H_г = 0{,}0175 D_н,$$

где $D_н$—наибольшее расстояние от центра вышки до границ участка наблюдения.

При этом должны обеспечиваться условия работ, изложенные в п. 2.6.

Строительство вышки по обоснованному расчетами проекту осуществляется специалистами, знающими правила производства работ.

2. Плавсредства для наблюдений в русле подбирают с учетом грузоподъемности и техники безопасности работ. Комплект инструментов и оборудования включает: вертушку, лебедку вертушечную с тросом и грузом, опорную лебедку с канатом и якорем, секундомеры (2 шт.), средства сигнализации, спасательные пояса или круги по числу работающих на плавсредствах, инструменты для ремонта оборудования.

Массы груза для гидрометрических вертушек и якорей подбирают с учетом скоростей течений реки по табл. 2.1.

Таблица 21

Наибольшая скорость течения, м/сек	Для вертушки		Для якоря	
	масса груза, кг	диаметр троса, мм	масса якоря, кг	диаметр каната, см
до 1,0	25	2	10	2,0
2,0	60	4	30	2,5
3,0	100	5	50	3,0
3,0	150	6	70	4,0

На пойме, при глубинах не более 3 м, применяют легкие лодки и вертушки на штанге.

3. Тросовые перетяжки для плавсредств или люлек устраивают при ширине реки до 60 м.

Диаметр троса для предварительного определения собственного веса вычисляют по формуле, в мм:

$$d_т = 0{,}35\sqrt{g},$$

где g—нагрузка, равная весу груженой люльки или гидродинамическому давлению на понтон, в ньютонах

Закрепление тросовых перетяжек должно быть надежным и обосновано расчетами.

Наибольшее натяжение троса не должно превышать $^1/_6$ его временного сопротивления на разрыв по ГОСТ 3071—74.

Расчет натяжения троса проверяют по полученной в натуре стреле провеса.

4. При работе с плавсредством, закрепленным за трос, сопротивление, воспринимаемое им, передается в виде нагрузки на трос и определяется по формуле (в Н):

$$q=3{,}5S_{\text{п}}v_{\max}^2,$$

где $v_{\max}$—максимальная поверхностная скорость течения, м/сек; $S_{\text{п}}$—смоченная поверхность плавсредства, м^2, определяемая по формуле

$$S_{\text{п}}=\frac{l_{\text{п}}}{T_{\text{п}}}+0{,}83\cdot B_{\text{п}},$$

где $l_{\text{п}}$—длина плавсредства, м; $T_{\text{п}}$—осадка плавсредства, м; $B_{\text{п}}$—ширина плавсредства, м

Для плавсредства, оборудованного в виде парома из нескольких лодок, $S_{\text{п}}$ подсчитывают с учетом числа лодок:

$$S_{\text{п}}=\frac{nl_{\text{п}}}{2T_{\text{п}}}+0{,}83\cdot B_{\text{п}}.$$

Устройство перетяжек на судоходных или сплавных реках требует получения письменного разрешения судоходных или сплавных организаций.

5. На реках, несущих в паводок наносник, деревья и прочее у перетяжки организуется постоянное дежурство для быстрого спуска троса в воду. Плавсредство должно иметь приспособление для быстрого разъединения его с тросом.

К устройству тросовых перетяжек и их эксплуатации, особенно при опускании троса для пропуска судов и плотов, должны допускаться специалисты, знающие соответствующие правила техники безопасности.

2.4. Уровни воды

1. Уровни воды измеряют с помощью водомерных постов, размещаемых в местах, не подверженных размыву, защищенных от ударов льдин и бревен, вне заводей, подпоров, обратных течений и по возможности на берегах с откосами крутизной 1 : 5—1 : 2.

2. Применяют водомерные посты:

свайные на беспойменных нескальных берегах;

реечные на пойменных террасах или скальных берегах;

свайно-реечные на высоких пойменных берегах;

с самописцами уровня.

Превышение отметок торцов соседних свай не должно быть более 0,5 м. Сваи не должны возвышаться над поверхностью земли более 25 см. Деревянные сваи забивают, а металлические завинчивают ниже глубины промерзания.

3. У водомерного поста на затопляемом месте устанавливают репер, отметку которого определяют двойной нивелировкой IV класса с допустимой невязкой $20\sqrt{L}$ (мм), где L—расстояние в км.

4. На участке мостового перехода должно быть установлено не менее трех водомерных постов; один из них совмещают с главным гидрорастворм, а два других (для определения уклона) распола-

гают вверх и вниз от него не ближе расстояния, зависящего от продольного уклона реки:

Уклон, %	0,05	0,10	0,30	0,50	1,0	и более
Расстояние, км	2	1,0	0,3	0,2	0,1	

Указанные расстояния между водпостами обеспечивают измерение осредненного на этих участках уклона водной поверхности с точностью 10% при измерении уровня воды с точностью 1 см.

На реках с малыми уклонами вместо устройства уклонных водомерных постов выполняют мгновенные наблюдения уклонов по урезным кольям.

5. На реках с разностью уровней воды у противоположных берегов более двойной точности измерений на водомерном посту (2 см), а также на обширных поймах при наличии поперечного уклона количество и расположение постов зависит от местных условий.

6. Водомерный пост снабжается:

максимальной водомерной рейкой для фиксации наивысшего уровня;

переносной водомерной рейкой ежедневных измерений уровня воды;

аккумуляторным фонарем;

легким плавсредством.

2.5. Глубина потока

1. Промерные работы следует выполнять в соответствии с положениями [38].

Измерение глубин рекомендуется выполнять с применением эхолотов. При отсутствии эхолотной аппаратуры глубины до 3—4 м измеряют наметкой, а свыше 3—4 м—лотом.

Плановая привязка гидрометрических измерений по створу может выполняться любыми геодезическими методами, которые определяются конкретными топографическими условиями створа, наличием соответствующего геодезического инструмента и квалификацией технического состава.

2. Для измерения глубин (свыше 1 м) ультразвуковым способом применяют эхолот (например, «Язь»), размещаемый на плавсредстве. На начальной и конечной стадиях перемещения плавсредства при измерениях глубин, т. е. при отходе от берега и приближении к конечной точке створа, скорость перемещения плавсредства будет отличаться от скорости его перемещения на основной части створа. Указанное обстоятельство следует учитывать при определении горизонтального масштаба записи глубин на ленте эхолота. Для этого начальный и конечный участки створа рекомендуется обеспечить средствами дополнительной плановой ориентировки. Наиболее простым и достаточно надежным способом определения планового положения промерных точек на этих участках является использование косых вспомогательных створов, выставленных на берегах реки.

3. В момент нахождения плавсредства в точках пересечения промерного и косых створов на ленте эхолота *2* делают оператив-

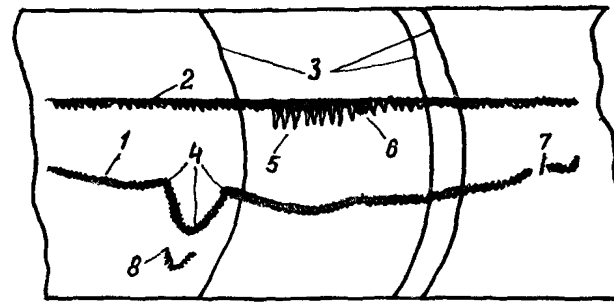


Рис 2 1. Батиграмма эхолота:

1—линия записи дна; *2*—линия начального отсчета; *3*—оперативные отметки на промежуточных промерных точках; *4*—характерные точки дна; *5* и *6*—начальная линия при толщине льда 40 и 20 см; *7*—отсутствие отраженного сигнала от дна при неправильном выборе усиления (недостаток усиления); *8*—кратный сигнал, отраженный от дна при неправильной регулировке усиления (избыток усиления)

ные отметки *3* (рис. 2.1). При дальнейшем движении плавсредства по промерному створу оперативные отметки делают через равные интервалы или по сигналам, подаваемым для угловых засечек, если это предусмотрено по условиям производства работ.

При измерении глубин наблюдатель визуально оценивает качество записи результатов измерений на батиграммной ленте эхолота и по мере необходимости ослабляет или усиливает зондирующий сигнал вращением ручки регулятора усиления мощности прибора.

4. Промеры глубин эхолотом типа «Язь» можно производить при ледяном покрове толщиной до 1 м, но не менее безопасной толщины для производства работ, если подо льдом и в его толщине нет воздушной прослойки. При промерах со льда в месте измерения глубины на лед наливают немного воды и устанавливают вибратор на смоченную поверхность.

5. Эхолотом определяют толщину льда, которая отображается на ленте самописца толщиной начальной линии. Для установления связи между толщиной льда и толщиной начальной линии эхолот тарируют. Для этого на поверхности льда устанавливают ледяной куб, одну грань которого делают ступенчатой с высотой ступени 20—30 см. На каждую ступень куба ставят вибратор и, зная толщину льда, сопоставляют ее с соответствующей толщиной начальной линии на ленте эхолота.

6. При обработке материалов промерных работ определяют линейную невязку, которую находят из сравнения общей длины створа и той же длины, полученной суммированием расстояний между промерными точками. Полученную невязку распределяют пропорционально измеренным расстояниям.

7. Участки между промерными точками определяют по отметкам и промерам точек на батиграмме. На участке между промерными точками выбирают характерные точки переломов рельефа дна для переноса их на профиль поперечника. Глубины в этих точках снимают с батиграммы, для чего применяют палетку в виде круговой кривой (радиус ее равен радиусу записи на батиграмме), на которой написаны глубины в метрах.

8. Поперечный профиль реки вычерчивают по данным промеров глубин в русле и данным нивелирования берегов на незатопляемых участках в желаемом масштабе на миллиметровой бумаге.

Участки промерного створа, заключенные между линиями оперативных отметок и характеризуемые точками рельефа русла, переносят на промерный створ, который зафиксирован на миллиметровой бумаге.

Перенос точек начала и конца участков промерного створа и характерных точек рельефа русла осуществляют, используя прямоугольный треугольник. Для этого точку начала промерного створа на батиграмме совмещают с аналогичной точкой на миллиметровой бумаге, а начальную линию отсчета на батиграмме располагают под таким углом α к горизонтальной линии, чтобы при совпадении одного катета треугольника с начальной линией отсчета точки конца промерного створа, вычерченного на батиграмме и миллиметровой бумаге, располагались по другому катету треугольника (см. ниже рис. 2.6). Положение промежуточных характерных точек русла, зафиксированных на батиграмме, переносят на горизонтальную линию профиля путем параллельного перемещения треугольника по линии начального отсчета батиграммы. При длине промерного створа более 500 м построение поперечного профиля производят последовательно по участкам створа между линиями оперативных отметок, расстояния между которыми измерены в натуре. Поперечный профиль на каждом участке промерного хода строится самостоятельно методом, изложенным выше.

2.6. Измерение скоростей и направлений течения поплавками

1. Одноточечный поплавковый способ измерения скоростей течений при своей простоте и дешевизне имеет недостаток—зависимость точности от состояния погоды.

Для определения направлений и измерения скоростей течений используют поплавки, изготовленные из дерева в виде круглого диска диаметром около 25 см и толщиной около 5 см. В центре диска укрепляют стержень высотой до 15 см с цветным флажком. Если расстояние от вышки до поплавков более 1 км, применяют поплавки треугольной формы. При длине каждой стороны 0,5 м вершины треугольников снабжают стержнями с флажками высотой 15—20 см. При плохой видимости поплавки сопровождаются лодкой.

2. Поплавковые измерения выполняют в количестве двух во время ледохода, двух на пике, двух на подъеме и трех на спаде половодья (до межени).

Длину участка наблюдений желательно принимать не менее двойной ширины русла.

Участок наблюдений выбирают так, чтобы около $^2/_3$ его протяжения располагалось выше и $^1/_3$ ниже перехода.

Число траекторий поплавков в русле в одном измерении должно быть не менее:

	Траектории
для рек шириной до 200 м	7—9
для рек шириной до 500 м	9—11
для рек шириной до 1000 м	11—13
для рек шириной свыше 1000 м	13—15

Желательно, чтобы траектории располагались равномерно по ширине потока.

На открытой пойме также выполняют поплавковые измерения в количестве, зависящем от местных условий.

3. Минимальные вертикальные углы, допускаемые при засечках поплавков, приведены в табл. 2.2.

Таблица 22

Высота инструмента над уровнем воды, м	Масштабы съемок			
	1 : 500	1 : 1000	1 : 2000	1 : 5000
	Минимальные углы наклона, град.			
10	4	3	2	1,5
20	6	4,5	3	2
30	8	5,5	4	2,5
40	10	6	4,5	3

Примечание. Углы показаны для одноминутного теодолита. Для 30-секундного теодолита значения углов уменьшаются вдвое.

4. Максимальные промежутки времени в секундах между двумя засечками поплавков указаны в табл. 2.3.

Таблица 23

Масштаб поплавкового планшета	Поверхностные скорости течения, м/сек		
	До 1	До 2	>2
	Максимальные промежутки времени, с		
1 : 5000	120	60	40
1 : 2000	90	45	30
1 : 1000	60	30	20

Линию урезов снимают одноточечным способом, одновременно с измерениями.

5. Обработка поплавковых наблюдений заключается в накладке хода поплавков на планшет с указанием промежутков времени между засечками. Накладку производят в полярных координатах по горизонтальному углу, отсчитанному от створа вышки и расстоянию от центра вышки до поплавка D, которое определяют по формуле

$$D = \frac{h_т}{\operatorname{tg} \alpha \pm i \sin \varphi},$$

где α—вертикальный угол; i—продольный уклон потока; φ—горизонтальный угол между створом, проходящим через вышку и направлением на поплавок; $h_т$—превышение отметки горизонта инструмента над отметкой рабочего уровня воды в створе вышки.

Знак минус принимают для поплавков ниже створа, а плюс—выше створа.

Отметку рабочего уровня воды $H_{раб}$ вычисляют как среднее арифметическое из отметок уровня в начале и конце измерения:

$$H_{раб} = \frac{H_{нач} + H_{кон}}{2}.$$

Разность $H_{нач} - H_{кон}$ не должна превышать для масштаба планшета 1 : 1000—0,02, 1 : 2000—0,05, 1 : 5000—0,10 м.

При больших значениях указанной разности для одного наблюдения устанавливают такое количество рабочих уровней, которое обеспечивало бы требуемую точность наблюдений.

6. Для исключения поправки на продольный уклон потока поплавковый планшет разбивают на участки по длине реки. Для каждого участка вычисляют значение $h_{тi}$ и расстояние до поплавка определяют по формуле:

$$D = h_{тi} / \operatorname{tg} \alpha.$$

Количество участков для вычисления $h_{тi}$ определяют по тем же условиям, что и количество рабочих уровней воды.

7. У каждой засечки поплавка на планшете выписывают время по секундомеру. На планшете с траекториями поплавков строят эпюры поплавковых скоростей. Для этого предварительно проводят линии равных времен хода поплавков от выбранного сечения (рис. 2.2), откладывая в каждую сторону (при масштабе скорости 1 см—0,2 м/сек) время хода, которое принимают применительно к табл. 2.3.

8. Ординаты эпюры поплавковых скоростей берут как суммы расстояний от отправного сечения до линий равных времен по нормальному направлению к створу.

На криволинейных участках русла или при резком изменении скоростей по длине реки (вследствие наличия отмелей, побочней и т. п.) способ построения эпюры поплавковых скоростей по линиям равного времени хода поплавка не применим.

В этих случаях строят изолинии поверхностных скоростей течения по засечкам на планшете, и по изолиниям—эпюру поверхностных скоростей течения для выбранного сечения.

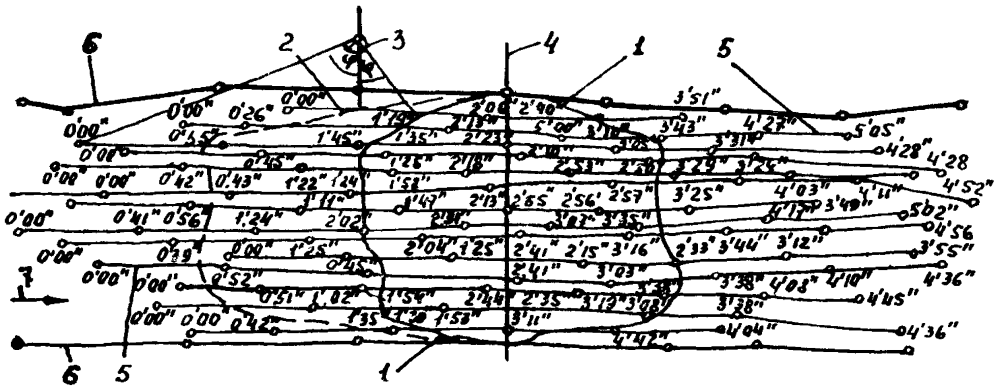


Рис 22 Измерения направлений и скоростей течения поверхностными поплавками

1—эпюра равных времен, *2*—эпюра поплавковых скоростей *3*—пункт засечки поплавков, *4*—створ наблюдений, *5*—траектории хода поплавков, *6*—линии урезов воды, *7*—направление течения

9. При невозможности постройки вышки, например в северных безлесных районах, а также при волнениях на акватории, целесообразно измерять скорости и направления течения методом засечек поплавков двумя или тремя теодолитами без измерения вертикальных углов.

Указанный метод включает сигнализацию, обеспечивающую синхронность засечек поплавков. Работа с двумя теодолитами должна ограничиваться углом пересечения засечек на поплавок в пределах 30°—150°. Это ограничение может быть соблюдено соответствующей расстановкой или периодической перестановкой одного или обоих теодолитов.

10. Эпюру поверхностных (поплавковых) скоростей $U_{пов}$ переносят на профиль живого сечения и строят эпюру фиктивных расходов на вертикалях по ординатам $q_ф = U_{пов} h$, где h—глубина на данной вертикали.

Таблица 24

Характеристика русла	Средняя глубина, м			
	1—5		>5	
	k_1	k_2	k_1	k_2
Русла прямые, чистые земляные (глина, песок), галечные гравийные	0,84	0,66	0,86	0,67
Русла извилистые, частично заросшие травой, каменистые	0,80	0,63	0,83	0,65
Русла извилистые, сложенные из крупных валунов	0,74	0,59	0,82	0,62

Фиктивный расход $Q_ф$ (м³/сек) определяют планиметрированием эпюры фиктивных элементарных расходов, а величину действительного расхода вычисляют как

$$Q=k_1Q_ф.$$

Коэффициент k_1 для приближенных расчетов определяют согласно табл. 2 4, составленной Г. В. Железняковым.

11. Для более точного определения k_1 [14] следует пользоваться формулой

$$k_1=\frac{(2{,}3\sqrt{g}+0{,}3C)C}{[(2{,}3+\beta_*)\sqrt{g}+0{,}3C]C+\beta_*g}, \qquad (2.1)$$

где g=9,8 м/сек²; β_*—параметр формы живого сечения естественных русел, принимаемый в зависимости от коэффициента формы сечения $\alpha_ф=h_{max}/H$; H, h_{max} —средняя и максимальная глубина потока

$\alpha_ф$	2,5	2,0	1,75	1,50	1,25	1,00
β_*	1,3	1,21	1,15	1,09	1,02	1,00

C—коэффициент Шези (м^{0,5}/сек), принимаемый в зависимости от коэффициента шероховатости n (см. прил 3 3) Для приближенных расчетов можно пользоваться формулой Маннинга $C=\frac{H^{1/6}}{n}$.

12. Если поплавки проходят только по стрежню потока, определяют максимальную поверхностную скорость v_{max}; расход определяют как $Q=k_2\omega v_{max}$, где ω—площадь живого сечения,

$$k_2=\frac{(2{,}3\sqrt{g}+0{,}3C)C}{(4{,}1\sqrt{g}+0{,}4C)C+g}. \qquad (2.2)$$

Для приближенных расчетов коэффициент k_2 определяют по табл. 2.4.

13. Траектории движения плотов, судов определяют также одноточечным способом. Участок наблюдений должен охватывать по одному плесу и перекату, примыкающему к переходу (выше и ниже его).

2.7. Измерение скоростей течения воды вертушками

1. Для измерения скоростей течений применяют вертушки, имеющие тарировочный паспорт. Наиболее пригодны гидрометрическая однооборотная вертушка ГР-99 для равнинных и полугорных рек с диапазоном измерения скоростей от 0,05 до 5 м/с, снабженная электромеханическим счетчиком, и малогабаритная вертушка ГР-55 для измерения скорости течения воды на горных реках и в гидротехнических сооружениях. Один электрический импульс в сигнальной цепи ГР-55 происходит через 20 оборотов лопастного винта.

2. Измерение скоростей вертушками можно выполнять во все периоды гидрологических фаз водотока сразу после окончания ледохода и до наступления межени. При летних паводках измерения желательно производить с момента начала подъема уровня.

Для полноты материалов измерения должны включать подъем, пик паводка и его спад до межени. Причем, измерения должны охватывать условия как протекания потока в бровках, так и при выходе воды на пойму.

С одного судна можно измерить в день скорости на 8—10 вертикалях.

3. Измерение вертушками скоростей по створу производят на заранее выбранных вертикалях. Если место положения вертикалей неизвестно, то измерительное плавсредство при измерении скоростей засекают любым из геодезических приемов с помощью теодолитов, светодальномеров и т. п.

4. Скорости течения на вертикали в зависимости от глубины потока измеряют пяти- (при глубине потока более 3 м), трех-, двух- и одноточечным способами.

Продолжительность измерений в каждой точке вертикали зависит от скорости течения.

При относе троса течением для определения глубины потока длину подводной части троса следует умножать на косинус угла α отклонения троса от вертикали:

α°	15	20	25	30
$\cos\alpha$	0,97	0,94	0,91	0,87

5. Измерения скоростей на реках в устьевых участках, подверженных нагонам и приливно-отливным течениям, выполняют непрерывно в течение всего паводка, захватывая всю приливно-отливную фазу. Измерения на вертикали начинают с донной точки, а затем вертушку последовательно поднимают на точки, отстоящие друг от друга на $^1/_5$ глубины вертикали при самом низком уровне.

После окончания одного измерения вертушку снова опускают на дно и весь цикл повторяется снова. Работу начинают за 30 мин до наступления максимума прилива и заканчивают на 30 мин позднее наступления следующего максимума. Момент наступления максимума перемещается по времени суток, поэтому для правильной организации наблюдений нужно составить график ежедневного начала и конца наблюдений.

В зоне прилива—отлива, с учетом ветрового режима на данном участке, измеряют продольные уклоны водной поверхности по трем постам.

Для построения зависимостей расходов, скоростей и продольных уклонов водной поверхности от уровней, кроме наблюдений в районе перехода, организуют параллельные наблюдения на контрольном створе, расположенном вне зоны прилива или ветрового нагона воды. Может быть использован створ Госкомгидромета.

6. Во ВНИИ транспортного строительства в середине 80-х годов была разработана автоматизированная гидрометрическая измерительная система «АГИС», включающая электромагнитный скоростемер «Зонд». В этой системе результаты измерений запи-

сывались на батиграммную ленту профилографа в автоматическом режиме при движении судна [38]. В связи с прекращением выпуска скоростемеров указанная технология не может быть использована.

2.8. Камеральная обработка измерений расходов и уровней воды

1. Среднюю скорость на вертикали вычисляют по формулам при способах:

а) пятиточечным:

$$U_{ср} = 0{,}1 \cdot (U_{пов} + 3U_{0{,}2h} + 3U_{0{,}6} + 2U_{0{,}8h} + U_{дон});$$

б) трехточечным:

$$U_{ср} = 0{,}25 \cdot (U_{0{,}2} + 2U_{0{,}6h} + U_{0{,}8h});$$

в) двухточечным:

$$U_{ср} = \frac{U_{0{,}2h} + U_{0{,}8h}}{2};$$

г) одноточечным:

$$U_{ср} = U_{0{,}6h}$$

При измерении скорости в точке 0,2 h:

$$U_{ср} \approx 0{,}9U_{0{,}2h}.$$

2. Для построения эпюры средних скоростей по ширине потока определяют средний рабочий уровень воды в период наблюдений (см. п. 2.6).

При изменении уровня за время наблюдений менее 0,10 м отметку среднего рабочего уровня $H_{раб}$ вычисляют как среднеарифметическое из отметок уровней начала и конца наблюдений.

При бо́льшем изменении уровня отметку рабочего уровня определяют по формуле

$$H_{раб} = \frac{q_1H_1 + q_2H_2 + \ldots + q_nH_n}{q_1 + q_2 + \ldots + q_n},$$

где H_1, $H_2 \ldots H_n$—отметки уровней, соответствующие времени работы на каждой вертикали; q_1, $q_2 \ldots q_n$—элементарные расходы на вертикалях, соответствующие отметкам H_1, $H_2, \ldots H_n$.

3. Эпюру расходов на вертикали строят по ординатам, вычисленным для каждой вертикали по формуле

$$q = U_{ср} h \cos \alpha,$$

где $U_{ср}$—средняя скорость; h—глубина, вычисляемая от рабочего уровня; α—угол отклонения струй от нормали к створу, учитываемый при $\alpha \geqslant 6°$.

Значения q вычисляют для точек переломов профиля живого сечения реки по створу.

4. Расход по створу определяют планиметрированием фигуры, ограниченной линией расходов на вертикалях и линий среднего рабочего уровня.

5. Масштабы живых сечений и эпюр принимают:

а) горизонтальных расстояний 1 : 500—1 : 10000;

б) глубин 1 : 50—1 : 500;

в) скоростей в 1 см—0,1÷0,5 м/сек;

г) расход на вертикали в 1 см—0,5÷2,0 м²/сек.

6. При оформлении материалов гидрометрических наблюдений приводят характерные эпюры при УВВ, при уровне начала работы пойм и при межени.

7. Точность гидрометрических измерений определяют согласно указаниям [14].

8. При обработке вертушечных наблюдений на устьевых участках рек, подверженных действию приливов, для каждой точки на вертикали строят график хода скоростей по фазам прилива—отлива.

С графиков хода скоростей по фазам прилива—отлива снимают значения скоростей в каждой точке вертикали отдельно для каждого часа, считая от момента максимума прилива. По этим данным для каждого часа в период наблюдений по всем вертикалям вычисляют средние скорости по формуле

$$U_{ср} = \frac{1}{2(n-1)}(U_1 + 2U_2 + \ldots + 2U_{n-1} + U_n),$$

где U_1, U_2, ... U_n—значения скоростей в точках вертикали, считая от дна (так как интервал между точками сохраняется постоянный, то число точек меняется в зависимости от уровней).

По вычисленным средним скоростям на вертикалях строят отдельно для каждого часа наблюдения эпюры $U_{ср}$ (рис. 2.3, *а*) и вычисляют полные расходы согласно указаниям п. 11 и 12.

9. По вычисленным для каждого часа полным расходам строят кривую хода расходов по фазам прилива—отлива (рис. 2.3, *б*). Площади фигур, ограниченные линией хода расходов и линией времени, равны объемам стока соответственно за фазу отлива $W_{отл}$ и фазу прилива $W_{пр}$.

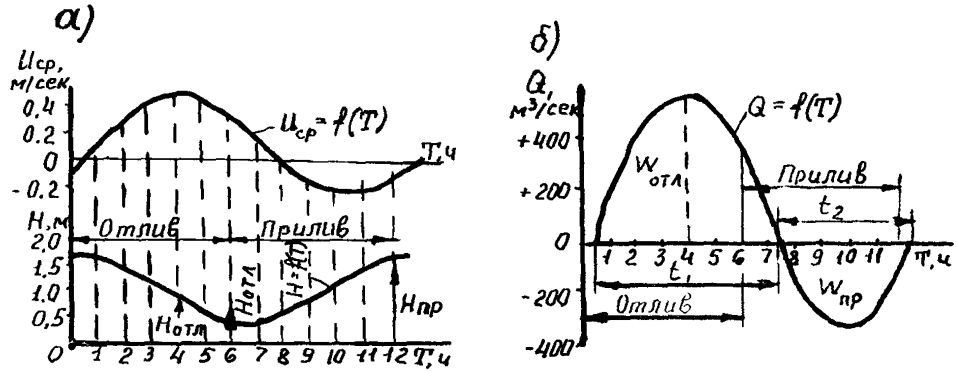


Рис. 2.3. Изменение гидрологических характеристик реки за приливно-отливной цикл:

а—кривые хода уровней и скоростей на вертикали по фазам прилива и отлива, *б*—кривая хода полных расходов воды по фазам прилива и отлива

Объем речного стока $W_{реч}$ за весь приливно-отливной цикл:

$$W_{реч} = W_{отл} - W_{пр}.$$

Средний за приливно-отливной цикл расход воды:

$$Q_{реч} = W_{реч}/(t_1 + t_2),$$

где t_1 и t_2—продолжительность течении одного знака (см рис 2 3, *б*)

Наибольший расход воды Q_{max} за приливно-отливной цикл наблюдается во время отлива при уровне $H_{отл}$.

Разность $\Delta Q = Q_{max} - Q_{реч}$ переменна по времени как за период лунного месяца, так и за период паводка. Поэтому для определения расчетных значений Q исследуют и экстраполируют зависимости:

$$Q_{реч} = f\left(\frac{H_{пр} + H_{отл}}{2}\right),$$

$$Q_{max} = f(H_{отл}),$$

$$\Delta Q = f\left(\frac{H_{пр} + H_{отл}}{2}\right).$$

10. По результатам измерений вертушкой и поплавками с использованием данных наблюдений по ближайшему гидрометрическому створу строят зависимости расхода от уровня воды $Q = f(H_y)$, а также зависимости других гидрологических элементов: ω, v, $i = f(H_y)$.

Вследствие изменчивости уклона и живого сечения в различные гидрологические фазы точки расходов, нанесенные на график, имеют разброс и зависимость $Q = f(H_y)$ является лишь осреднением истинной зависимости $Q = f(H_y, i, n)$.

Тесная связь между уровнями и расходами воды получается при устойчивом русле реки, постоянном уклоне, когда разброс точек на графике обуславливается только ошибками измерений (рис 2.4, *а*).

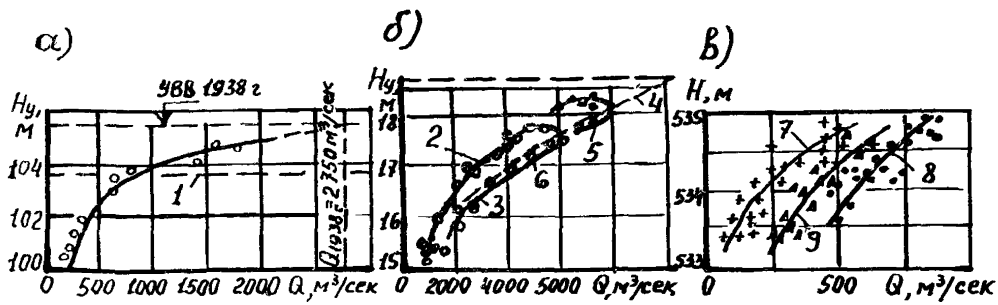


Рис 2 4 Зависимости $Q = f(H)$

а—при устойчивом русле и постоянном уклоне, *б*—с ветвями подъема и спада, *в*—временные зависимости $Q = f(H)$ при неустойчивом русле *1*—уровень выхода воды на пойму *2*—спад, *3*—подъем, *4*—экстраполяция петель *5*—наблюдения 1983 г *6*—наблюдения 1988 г, *7*—кривая 1985 г, *8*—кривая 1987 г, *9*—кривая 1990 г

Вследствие изменчивости уклона по фазам паводка расходы воды на подъеме больше расходов на спаде при том же уровне. Зависимость $Q=f(H_y)$ в этом случае экстраполируют по вершинам петель (см. рис. 2.4, *б*).

При построении зависимостей $Q=f(H_y)$ для рек с неустойчивым руслом разброс точек оказывается значительным и по ним можно провести только приближенные зависимости (см. рис. 2.4, *в*).

11. При расположении гидроствора на устойчивом участке русла строят графически зависимости $Q=f(H_y)$; $\omega=f(H_y)$; $v_{ср}=f(H_y)$ отдельно для русла, пойм, крупных проток и раздельно экстраполируют их для определения расчетных значений расхода и средней скорости.

При экстраполяции кривой $v=f(H_y)$ следует учитывать, что при выходе воды на пойму [14] скорости в русле уменьшаются, а затем постепенно увеличиваются. Кривые $\omega=f(H_y)$ проводят по вычисленным точкам. Кривые $v=f(H_y)$ экстраполируют графически или при помощи построения двух вспомогательных графиков $i=f(H_y)$, $n=f(H_y)$ и вычисления значений $v_{ср}=\frac{1}{n}H^{2/3}\sqrt{i}$.

Значение Q для экстраполированной части кривых $Q=f(H_y)$ вычисляют как $Q=\omega v_{ср}$. Значения Q по участкам гидроствора суммируют и строят кривую суммарных расходов воды $Q=f(H_y)$.

В сложных случаях (наличие обширных пойм и спрямляющих течений на излучинах русла, вызывающих поперечный водообмен между руслом и поймами) экстраполяцию указанных зависимостей выполняют согласно [52].

Точность определения расхода воды при измерении скоростей вертушкой может быть достигнута ±3—5%, а снятого с кривой $Q=f(H_y)$ ±10—20% от истинного значения в зависимости от амплитуды экстраполяции.

12. Для гидроствора в зоне переменного подпора расход является функцией уровня воды и уклона ее поверхности $Q=f(H_y)$.

Для получения более тесной связи расходов и уровней вместо зависимости $Q=f(H_y)$ используют зависимость модулей расхода от уровня $\frac{Q}{\sqrt{i}}=f(H_y)$, которую экстраполируют до требуемого уровня.

Одновременно строят график $i=f(H_y)$, с которого снимают значения i. Расчетные расходы получают умножением $\frac{Q}{\sqrt{i}}$ на $\sqrt{i}$. При подпоре максимальный расход не соответствует максимальному уровню воды. Для получения максимального расхода и соответствующего ему уровня при помощи зависимостей $\frac{Q}{\sqrt{i}}=f(H_y)$ и $i=f(H_y)$ строят график $Q=f(H_y)$, который имеет петлеобразную форму.

13. На реках с неустойчивым руслом паводки сопровождаются размывами дна и заносами его, вследствие чего нарушается связь уровней с расходами. В этом случае строят зависимость расходов от средних глубин $Q=f(H)$. Отметки среднего дна $H_{дна}$ вычисляют для каждого наблюдения по формуле:

$$H_{дна}=H_{у}-H,$$

после чего строят зависимость $H_{дна}=f(Q)$. Так как расчетные значения $H_{у}$ и Q неизвестны, то расчетное значение Q должно быть определено независимо по створу, расположенному на устойчивом участке реки. По известному Q на основании вышеприведенных зависимостей находят расчетные значения H, $H_{дна}$ и $H_{у}$.

Для каждого наблюдения вычисляют значения $\alpha_{н}=\frac{h_{max}}{H}$, где h_{max} —максимальная глубина в сечении. По вычисленным значениям $\alpha_{н}$ строят зависимость $\alpha_{н}=f(H)$, или $\alpha_{н}=f(Q)$. По указанным зависимостям находят расчетное значение h_{max}, а наинизшую отметку дна $H_{низ}$ определяют по формуле

$$H_{низ}=H_{у}-h_{max}.$$

2.9. Ледовые явления

1. Наблюдения за ледовыми явлениями в районе перехода выполняются ежедневно в течение всего срока существования на водотоке ледовых образований. В случае быстрого изменения ледовой обстановки, возможности неблагоприятного воздействия заторно-зажорных явлений на проектируемые инженерные сооружения наблюдения ведутся круглосуточно как в зоне перехода, так, при необходимости, за ее пределами.

2. В зоне мостового перехода выполняют ледомерную съемку, зимние маршрутные обследования реки и фиксируют: даты появления ледяного сала, внутриводного льда, снежуры, заберегов, шуги, ледохода, ледостава в период замерзания, наличие полыней, трещин, наледей в период ледостава; появления закраин, подвижек льда, ледохода и очищения реки от льда в период вскрытия; размеры и скорости движения льдин, а также характер покрытия льдом поверхности реки при ледоходе; толщина льда при ледоставе и ледоходе; характеристики заторно-зажорных явлений.

Описание ледовых образований и явлений в речных водотоках приведено в прил. 2.1.

Изменение ледовой обстановки за один характерный период (например, от первой подвижки до начала ледохода) желательно наносить на заранее заготовленный схематический план участка наблюдения. За весь срок наблюдений может быть получено до 20—25 схем, полностью характеризующих ледовые явления в районе перехода.

3. Толщины ледяных полей определяют визуально по их высоте над поверхностью воды, которая составляет 0,1 всей толщины льдины. Толщина льдин, остановившихся у берега, может быть измерена непосредственно.

Размеры льдин определяют визуально; скорость их движения— с использованием секундомера и предварительно размеченных створов. Измерение времени прохождения льдинами известного расстояния между створами многократно повторяют По вычисленным значениям находят среднюю скорость льдин.

4. Если заторно-зажорные явления регулярны и могут оказать значительное влияние на эксплуатацию мостового перехода, работа гидрологического поста организуется по специальной программе с учетом рекомендаций, изложенных в [43].

5. Результаты наблюдений за заторно-зажорными явлениями оформляются в виде таблиц, графиков и схем. Для облегчения анализа строятся совмещенные хронологические графики уровня воды, толщины льда, высоты снега на льду, температуры воздуха и слоя выпавших осадков.

6. Количественные характеристики и даты наступления отдельных ледовых явлений (средние, экстремальные, ранние, поздние) устанавливают на основании многолетних наблюдений по сведениям постов Госкомгидромета, публикуемых в «Гидрологических ежегодниках» и «Каталоге заторных и зажорных рек СССР».

7. На водотоках с наледями, кроме работ по изысканиям переходов в обычных условиях, производятся специальные мерзлотно-геологические, гидрологические и геофизические исследования, необходимые для прогноза наледного процесса и проектирования противоналедных мероприятий [10].

Исследования проводятся в три этапа: 1) на стадии технико-экономического обоснования; 2) на стадии проекта; 3) на стадии рабочей документации.

Работы по исследованию водотоков с наледями производятся в общем комплексе работ по изысканиям мостового перехода. Однако материалы полевых работ могут не дать всех необходимых данных для прогноза наледного процесса, так как последний развивается в зимнее время. Поэтому после технических изысканий необходимо производить дополнительные зимние трехразовые обследования водотоков и наблюдения за развитием наледного процесса.

Первые обследования производятся осенью (в октябре—ноябре) с наступлением холодов и появлением кромки льда, когда малые водотоки при отсутствии ледового и снежного покрова испытывают максимальное охлаждение.

Второе обследование проводится в декабре—январе, когда окончательно формируются и заканчивают свое развитие наледи временных поверхностных водотоков.

Третье обследование необходимо произвести в период максимального развития крупных наледей—в апреле

Чтобы полнее выявить особенности развития наледного процесса, трехразовые осенне-зимние обследования целесообразно выполнять ежегодно до составления рабочей документации или в течение трех лет. На больших и опасных наледях в периоды осенне-

зимних обследований необходимо производить ледомерные съемки, для чего устанавливаются ледомерные вехи.

8. На стадии ТЭО по литературным данным и фондовым материалам изучают геологию, геоморфологию, геокриологию, гидрологию, климат и другие особенности мостового перехода. По климатическим справочникам собирают сведения о температуре воздуха, жидких осадках, толщине снежного покрова, характеристике ветров, сезонном промерзании грунтов. Производят аэровизуальное обследование и аэрофотосъемки перехода с вертолета. Это целесообразно делать в апреле—начале мая после схода снежного покрова, когда наледи хорошо видны и могут быть определены визуально и по аэроснимкам.

На основе собранных сведений дают технико-экономическое обоснование выбора места мостового перехода и составляют программу полевых работ на период изысканий для составления проекта.

9. В период изысканий на водотоках с наледями производят:

а) определение местонахождения наледи, ее размеров, источника питания и генетического типа;

б) инженерно-геологическое, гидрологическое и геофизическое исследование водотока, топографическая и мерзлотно-геологическая съемки в масштабе 1 : 1000—1 : 5000;

в) тщательные обследования и описание морфологии русла и пойм водотока, террас и склонов долины, растительности, микрорельефа, заболоченности и следов образования больших наледей в прошлые годы;

г) определение глубины и очертания поверхности многолетней мерзлоты или другого водоупора под руслом и поймами по оси перехода и на стесненном участке (перекатах), мощности и состава аллювия, ширины фильтрационной зоны;

д) разбивка створов и составление профилей живых сечений, кроме оси перехода, на стесненном участке, определение осеннего уровня речных и грунтовых вод, продольного уклона, подробное описание стесненного участка;

е) наблюдения за образованием ледяного покрова, внутриводного и донного льда, возникновением и развитием наледи и наледных бугров; описание местонахождения, формы и размеров наледных бугров, расположения полыней и их связи с субаквальными источниками подземных вод, фотографирование и составление эскизов бугров и особенностей образования наледи;

ж) определение толщины снегового покрова на льду русла, поймах и склонах, глубины сезонного промерзания грунта, характеристики ветров и их направление;

з) определение причины образования наледи и ее возможного вредного воздействия на сооружение.

10. К периоду летних полевых работ наледь на реке может растаять. В этом случае место ее образования и размеры определяются по наледной поляне—участку земной поверхности, резко отличающемуся от окружающего ландшафта по морфологии

и строению. Это обычно безлесные или покрытые низкорослым редким кустарником относительно ровные участки, сложенные гравийно-галечниковым грунтом. Они расположены на участках русла и низких поймах, в местах резкого изменения продольного и поперечного профилей долины, у перекатов, порогов, на отмелях, где русло расширяется и расчленяется на многочисленные протоки.

Характерным признаком мест образования наледей являются налеты солей, которые образуются после таяния наледного льда на деревьях, кустарниках и камнях наледного ложа.

По периферии наледей встречаются полосы сухих деревьев, повреждения коры. Одним из признаков границы распространения наледи может служить разница в вегетации травяного и кустарникового покрова.

Сведения о местах образования наледей и особенностях их развития собирают также у местных охотников, рыбаков, оленеводов и старожилов.

11. Производят тщательное исследование подземных источников, питающих наледь. Определяют местонахождение и тип источника, приуроченность к определенным водоносным комплексам, литологический состав, степень выветрелости и трещиноватости пород, границы распространения мерзлых пород и расположение талика, вид подземных вод, дебит источника и его режим, температуру, физические свойства и химический состав воды.

Субаквальные источники выявляют зимой после прекращения поверхностного стока.

12. На водотоках с большими и опасными наледями производят ледомерные съемки в периоды после технических изысканий в апреле, когда наледи достигают максимального развития. Для этого осенью производят топографическую съемку ложа наледной поляны и устанавливают ледомерные вехи в виде сетки по линиям продольных и поперечных профилей. Все вехи нумеруют и через 1,0 м на них делают деления (засечки), по которым легко определяется мощность наледи.

Средняя мощность наледи на наледной поляне при равных расстояниях между вехами может быть определена приближенно по формуле

$$z_{\text{н.ср}} = \sum_{1}^{k} z_i / k,$$

где z_i—толщина льда у i-й ледомерной вехи; k—количество ледомерных вех по всей площади наледи

Объем наледи определяется по формуле

$$W_{\text{н}} = z_{\text{н.ср}} F_{\text{н}},$$

где $F_{\text{н}}$—площадь наледи, определяемая по чертежу плана наледи

13. Обследование наледей на стадии составления рабочей документации производят в случаях, когда при проектировании противоналедных сооружений и устройств требуется уточнить распо-

ложение этих сооружений и сделать дополнительные съемки, если при зимних трех разовых обследованиях эти данные не получены.

Б. Аэрогидрометрические работы (дистанционный метод)

2.10. Организация аэрогидрометрических работ

1. Аэрогидрометрические работы позволяют в короткий срок получить весь комплекс гидрологических характеристик рек, необходимых для проектирования мостовых переходов, и включают получение:

скоростей и глубин потока на вертикалях;

профили живых сечений русла;

расход воды в реке на момент проведения работ и распределение расхода между морфологически однородными участками (руслом, поймами);

ледовые явления (очаги и размеры заторов, размеры и движение льдин и т. д.);

плановые и ситуационные особенности речной долины и русла (форма и размеры меандров, положение прорв и намечаемых спрямлений русел).

Относительно высокая стоимость, сложная организация работ, а также недостаток в квалифицированных кадрах тормозит широкое использование аэрогидрометрических работ.

Наиболее эффективно применение аэрогидрометрических работ при изысканиях мостовых переходов через крупные малоизученные реки и использовании этого метода изысканий для всех переходов на трассе проектируемой дороги.

Аэрогидрометрические работы следует выполнять во время прохождения паводка, чтобы получить план течений, близкий к расчетным условиям. В этот период также из-за повышенной мутности потока, несущего наносы, не требуется дополнительного маркирования водной поверхности.

2. При организации аэрогидрометрии первоочередным вопросом, который определяет последующую технологию работ, является выбор летательного аппарата При этом обычно возникают два варианта.

Первый—использование летательного аппарата, специально оборудованного для аэрофотосъемочных работ и снабженного серийным комплектом аэрофотосъемочного оборудования. В состав экипажа такого летательного аппарата входят штурман-аэрофотосъемщик и бортоператор.

Специфика аэрогидрометрических работ требует определенной психологической переориентации экипажа аэрофотосъемочного летательного аппарата в части требований к метеоусловиям, высотам полета, технике захода на съемочные объекты. Успех в работе определяет детальная программа аэрогидрометрических работ, выдаваемая штурману-аэрофотосъемщику. Однако в заранее составленной рабочей программе на аэрогидрометрические работы не всегда возможно предусмотреть особенности полевой гидрологи-

ческой и метеорологической ситуации и поэтому на борту необходимо присутствие инженера-гидролога.

Второй—использование обычного грузового летательного аппарата и быстрое переоборудование этого летательного аппарата для целей аэрогидрометрии. В этом случае обязанности штурмана-аэрофотосъемщика выполняет непосредственно инженер-гидролог, а обслуживание аэрокамеры—бортоператор.

На инженера-гидролога возлагается вся ответственность за выбор направления полета, высоту съемки, периодичность выполнения залетов, т. е. за качество летной работы, которое определяет конечный результат аэрогидрометрии.

3. Выбор вариантов аэрогидрометрических работ делают на основе сравнения стоимости летного часа летательного аппарата и его полетных скоростных характеристик, а также возможности выполнения аэрофотосъемочных работ на высотах от 200 до 2500 м.

Скоростная характеристика летательного аппарата влияет на качественное обеспечение аэрофотосъемочного материала. Чем меньше путевая скорость летательного аппарата, тем выше измерительные качества полученных негативов. Последнее качество особенно важно при определении количественных гидрологических характеристик водотоков района изысканий.

4. Технологическая схема аэрогидрометрических изысканий мостовых переходов содержит следующие элементы: подготовительный, полевой и камеральный.

5. В подготовительный период осуществляют сбор, изучение и обработку инженерно-геодезических, климатических, гидрологических, инженерно-геологических и других материалов, характеризующих природные условия района изысканий; отбор по топографическим картам масштаба 1 : 100000 или крупнее конкурентоспособных вариантов створов больших переходов и трассы подходов к ним и установление зон варьирования; выбор фокусного расстояния аэрофотоаппарата ($f_к$) в зависимости от рациональной по метеорологическим условиям высоты фотографирования (H) и масштаба аэроснимков ($1 : M$) размером 18×18 см при ширине реки в паводок (B); составление и соответствующее согласование программы изыскательских работ и сметы на работу; согласование производства изыскательских работ; оформление договорных отношений с заказчиком; составление проекта залетов маршрутной аэрофотосъемки; заключение договоров на производство летно-съемочных работ; обслуживание транспортной авиацией и, при необходимости, водным транспортом; изучение гидрографов рек в зоне створов, на которых должны быть выполнены аэрогидрометрические изыскания; формирование гидрометрических отрядов; аренда баз; обтор инструментов и лагерного снаряжения; комиссионная проверка знаний ИТР правил техники безопасности на изысканиях; при необходимости, производство противоэнцефалитных прививок; проверка в органах Госкомгидромета ожидаемых дат наступления паводка; проверка состояния и отправка на поле-

вые работы инструментов, оборудования и снаряжения и выезд на полевые работы гидрометрических отрядов.

6. В полевой период производится регистрация гидрометрических работ в местном Совете и территориальных органах республиканского Минречфлота; инструктаж рабочих по правилам техники безопасности на изыскательских работах; аэровизуальное обследование вариантов створов переходов, подлежащих изучению, с целью уточнения положения створов; разбивка и нивелирование тарировочного базиса; тарирование приборов; установка аэрофотосъемочной аппаратуры на борт летательного аппарата; изготовление съемной створки вертолетного люка в случае производства работ на вертолете; производство гидрометрической маршрутной аэрофотосъемки мелкого и среднего масштабов участков рек, включающих обследуемые варианты. Съемка должна производиться в начале подвижки льда, на подъеме, пике, спаде паводка и в межень. При этом намечают три залета среднего масштаба на одну дату: два против течения и один по течению реки или наоборот. В те же периоды производят и нивелирование береговых частей живых сечений, установку и синхронизацию измерительных приборов, пробные рейсы транспортного средства с целью проверки исправного монтажа измерительных приборов; установку щитов на поперечниках (для створов длиной более 1000 м), параллельных створу; нивелирование промерных поперечников.

7. В камеральный период производят стереофотограмметрическую обработку материалов аэрогидрометрических работ и измерение глубин в районах проектируемых мостовых переходов.

2.11. Линейные аэрогидрометрические изыскания

1. До начала полетов необходимо детально изучить по картам М 1 : 100000 положение трассы и районов мостовых переходов. Делаются выкопировки проектируемой линии мостового перехода, особо отмечают все местные ориентиры в районе оси моста и направление течения водотока. Такая выкопировка будет необходима при последующей камеральной обработке аэрофотосъемочных материалов.

2. При подготовке технологической схемы очередности залетов следует учитывать метеорологические условия Для аэрогидрометрических измерений наиболее благоприятно производство аэрофотосъемки при наличии сплошной высокой облачности.

При значительном протяжении трассы в меридиальном направлении начало работ планируют в направлении с юга на север, следуя за фазами гидрологического режима.

3 Для получения площади малых бассейнов слаборельефной местности в областях высоких широт аэрофотосъемку в масштабе 1 : 10000—1 : 20000 следует выполнять в мае при сходе снежного покрова не менее чем с 50% снимаемой территории. В этом случае на аэроснимках наиболее полно отображается мелкая гидрографическая сеть, которая легко дешифрируется по возвышенным местам, освобожденным от снега. В тех же масштабах, но после прохождения паводка, выполняют аэрофотосъемку навалов льда

на излучинах рек и места наледей, которые сохраняются до середины—конца июня.

4. Для отождествления местоположения и правильности производства аэрогидрометрических измерений по вариантам переходов, намеченных по картам М 1 : 100000, выполняют мелкомасштабную аэрофотосъемку (обычно в М 1 : 10000—1 : 20000).

Мелкомасштабная аэросъемка (каркасная) служит промежуточным звеном при уточнении положения мостовых переходов при аэрогидрометрических измерениях, которые производят при масштабах 1 : 500—1 : 300.

По каркасным мелкомасштабным аэрофотоснимкам оценивают процессы переформирования русла, определяют места заторов льда и другие характерные русловые явления. Каркасные маршруты особенно ценно выполнить в период прохождения ледохода или через некоторый промежуток времени после прохождения льда. На крупномасштабных аэрофотоснимках определяют количественные показатели процессов деформаций в случаях, если таковые будут установлены при анализе материалов мелкомасштабной аэрофотосъемки.

Если русло сильно меандрирует, то прокладывают параллельные маршруты или последовательные маршруты располагают под некоторым углом с расчетом получить непрерывное изображение реки на аэроснимках в границах изучаемого района перехода.

5. При расчете общего времени для выполнения всего объема аэрогидрометрических работ Σt учитывают время долета до самого удаленного от аэродрома базирования района работ t_{max}, время на производство мелкомасштабных каркасных маршрутов $t_к$ и время аэрогидрометрических наблюдений. Последнее, как правило, не занимает более 0,5 ч на один мостовой переход. Тогда:

$$\Sigma t = n(2t_{max} + 0{,}5) + t_к,$$

где n—число вылетов.

Общий срок выполнения аэрогидрометрических работ задается гидрологическим циклом, который определяется для северных и средних широт в весенний период—половодьем; в летний период—паводком для южных районов, примыкающих к горным районам с ледниковым питанием; в летне-осенний—дождевым паводком в регионах с муссонным климатом.

6. Для освещения полного цикла гидрологического режима на мостовом переходе должны быть выполнены: одна-две съемки ледового режима; одна-две съемки подъема воды в русле; два-три наблюдения в период максимального наполнения поймы; одно наблюдение на спаде воды.

Таким образом, требуется от 5 до 8 полетов над районом перехода, чтобы полностью охватить все фазы паводка.

Время между датами аэрофотосъемок уточняют по конкретным наблюдениям водпостов на реках. В среднем для прослеживания всех фаз режима рек северной и средней широт требуется 40—50 суток.

7. При выборе самолетов предпочтение следует отдавать летательным аппаратам, имеющим возможность выполнять полет на сравнительно небольшой скорости (180—200 км/ч) и хорошие взлетно-посадочные данные (700—1000 м при посадочной скорости около 80 км/ч). Такими данными обладает одномоторный биплан АН-2, который со временем будет заменен однотипным АН-3.

Стоимость аэрогидрометрических работ в значительной мере определяется типом летательного аппарата. Наиболее экономичным представляется использование транспортного вертолета типа МИ-8 или легких бипланов типа АН-2 (АН-3).

Применение самолетов типа ИЛ-14 для целей аэрогидрометрии ограничено из-за значительной стоимости его эксплуатации и экономически оправдано при большом радиусе действия.

8. При выборе аэрофотоаппарата (АФА) следует иметь в виду, что короткофокусные (50 мм) позволяют производить работы в неблагоприятных климатических условиях (частая низкая облачность), но имеют более ограниченную полезную площадь снимка.

Наибольшим распространением пользуется аэросъемочная камера с фокусом 100 мм. Однако при аэроснимках переходов шириной 1,5—2,0 км и более для производства аэрогидрометрических работ требуется высокая облачность, которая наблюдается реже, чем низкая. Это ограничивает применение широкофокусной аэрофотоаппаратуры.

9. При аэрогидрометрических работах возможны два принципиально различных способа определения расходов воды в водотоке: с применением сосудов-индикаторов; с использованием стереоскопического эффекта.

Метод с использованием стереоскопического эффекта получаемых снимков желательно применять при подъеме уровня воды и на пике паводка, когда водный поток несет на поверхности естественные маркирующие предметы (пену, коряги, щепу и др.). Он в свою очередь подразделяется на два способа: первый включает определение расхода воды только дистанционным методом и используется на реках с шириной русла не менее 200 м; второй— с одновременным или раздельным выполнением гидрометрических работ (контактным методом) при аэрофотосъемке района перехода с вертолета. Последний способ применяют на всех реках без ограничения ширин русел.

10. Аэрометод с применением сосудов—индикаторов наиболее простой. С самолета на небольшой высоте (200—250 м) равномерно сбрасывают поперек водотока вдоль створа достаточное количество сосудов-устройств с маркирующей жидкостью, а затем набрав высоту—выполняют 2—3 полета с расчетом изображения обоих берегов на аэрофотоснимке по и против течения с фотографированием следов выхода индикатора на поверхность воды при минимальном интервале аэрофотосъемки (90% перекрытия кадров).

Достигнув дна водотока, устройство выпускает жидкость-индикатор. Величина сноса жидкости при выходе ее на поверхность

l зависит от удельного расхода воды q. Опытным путем получено $q=0{,}135l$

Аэрометод определения расхода воды с использованием глубинных поплавков-интеграторов не получил применения в практике гидрологических изысканий.

Его применение ограничивается также тем, что в качестве специальной жидкости-индикатора используют различные масла, отработанный керосин и другие красители, которые загрязняют реку.

11. Первый способ, основанный на использовании стереоскопического эффекта, требует применения статоскопа и радиовысотомера при выполнении аэрофотосъемки водной поверхности и использования фотограмметрических измерений поверхностных скоростей течения воды, получаемых по аэрофотоснимкам с последующим переходом к средним скоростям на каждой из выбранных вертикалей.

Фотографирование водной поверхности должно выполняться с самолета или вертолета при условии четкого отображения водной поверхности (с возможностью стереоскопического просматривания отдельных струй потока).

При этом способе часто применяют маркирование водной поверхности.

Поверхностные скорости находят в результате стереоскопических измерений аэроснимков.

12. Во втором способе, основанном на использовании стереоскопического эффекта снимков, аэрофотосъемочные материалы, получаемые в результате аэрофотосъемки района мостового перехода с вертолета для отображения ситуации по створу проектируемого моста, являются плановой основой для контактных гидрометрических измерений.

Аэрометод дополняют паводочными измерениями глубин, выполняемыми по промерным поперечникам, намеченным по контактным отпечаткам района мостового перехода. Наземные измерения должны выполняться по современной технологии с использованием электронной аппаратуры.

Метод не требует установки на борт вертолета радиовысотомера и статоскопа.

2 12 Камеральная обработка аэрофотоснимков

1. Качество аэрофотосъемочных работ обеспечивается при выполнении аэрогидрометрии специализированными подразделениями министерства гражданской авиации согласно требованиям «Инструкции по производству аэрофототопографических работ при изыскании железных дорог» (ГКИНП-02-172—83).

При выполнении аэрогидрометрических работ подразделением проектно-изыскательского института ответственность за качество аэрофотосъемочных материалов несет это подразделение.

2. Оценку качества результатов залетов и химико-фотографическую обработку пленок производят по негативам и накидному монтажу.

Накидной монтаж снабжают пояснительной подписью буквенного и цифрового индексов вариантов мостовых переходов, которые были установлены при составлении рабочей программы аэрогидрометрии.

3. В комплект аэрофотосъемочных материалов, передаваемых в камеральную обработку, должны входить: аэронегативы на рулонной пленке, контактные отпечатки (аэроснимки) 2 экз., репродукции накидного монтажа с паспортными данными (2 экз.), негативы репродукции накидного монтажа, паспорт АФА.

В отдельных случаях—пленки регистрации показаний статоскопа и радиовысотомера.

4. На основе аэрофотосъемочных материалов при камеральной обработке получают планы поверхностных скоростей течений и рельеф русла и пойм реки в районе мостового перехода, а также устанавливают данные, характеризующие типы руслового процесса; характер прохождения ледохода и места частых заторов льда.

5. Поверхностные скорости на участке реки в районе мостового перехода определяют в результате стереоскопических измерений.

Для получения плана поверхностных скоростей в изотахах следует использовать стереометры с широким стереоскопическим полем наблюдения в плоскости водной поверхности. К таким приборам относятся стереометр СТД-2 и выпускаемый Винницким заводом фотограмметрического оборудования стереомаркирующий стереоскоп СММ. В приборах с малым полем зрения (высокоточные стереофотограмметрические приборы) измерения относительных смещений кажущегося искривления стрежня водотока (как имеющего максимальные скорости течения) по отношению к урезам (нулевые скорости течения) выполнить нельзя.

Наблюдая стереопару с изображением водотока на приборе, имеющем широкое поле зрения, можно, в равной мере, получить тот кажущийся стереоэффект, на основе которого при стереоскопическом рассматривании пары снимков поверхность воды будет казаться выпуклой или вогнутой тем больше, чем больше скорость течения.

Используя это явление, смещение точек под воздействием течения измеряют стереофотограмметрическим способом с точностью $\pm 0{,}03$—$0{,}05$ мм в масштабе аэрофотосъемки.

В этом случае разности продольных параллаксов ΔP, измеренные вдоль направления течения, соответствуют величинам смещения точек поверхности воды в масштабе аэрофотоснимков.

6. При стереофотограмметрическом методе измерений значение поверхностной скорости течения v_i определяют по формуле:

$$v_i = \frac{\Delta P \cdot H}{\Delta t \cdot f_к}, \qquad (2.3)$$

где $\Delta P = (P_i - P_0)$—разность продольных параллаксов; P_i—отсчет, полученный при стереоскопическом наведении нити стереометра на поверхность воды, мм; P_0—отсчет, соответствующий урезу воды в наблюдаемом створе, мм; Δt—интервал времени между моментами съемки стереопары.

Для контроля результатов измерений и повышения их точности поверхностные скорости в одних и тех же точках определяют по двум-трем перекрывающимся аэрофотоснимкам.

Расхождения между полученными по разным стереопарам значениям поверхностных скоростей не должны превышать ±0,08—0,10 м/с.

Для рек, для которых известно значение коэффициента Шези C, коэффициент перехода k_2 от поверхностной к средней скорости определяют по формуле (2.2); при приближенных расчетах можно пользоваться табл. 2.4.

Для измерения значений поверхностных скоростей принимают стереопары с 60-процентным продольным перекрытием. Отметки урезов воды на всем участке в пределах стереопары считают равными. Для ориентирования необходимо на урезах наметить шесть точек (рис. 2.5). Взаимные углы наклона снимков не определяют. Линия центров (начальное направление) всегда располагается на водной поверхности.

7. Снимки в кассетах стереометра устанавливают так, чтобы их главные точки совпадали с центрами вращения кассет, а линия урезов была бы параллельная оси прибора.

Вращением снимков в своей плоскости добиваются появления стереоэффекта по всей площади стереопары.

Геодезическое ориентирование модели производят последовательными наблюдениями пар точек 1—2, 3—4, 5—6. Так как отметки этих точек считаются равными, при правильном геодезическом ориентировании модели отсчеты по винту продольных параллаксов должны быть равны между собой.

Ориентирование выполняют в несколько приемов и считают законченным, если отсчеты на всех шести урезных точках равны между собой с точностью ±0,03 мм.

8. На ориентированной модели определяют скорости течения в любой точке участка реки, который изображен на данной стереопаре, устанавливая на винте продольных параллаксов стереометра отсчет, равный

$$P_i = P_0 \pm \frac{\Delta t f_к}{H} v_i.$$

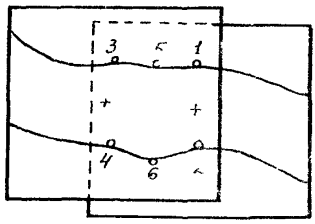


Рис 2 5 Расположение опорных точек для ориентирования стереопары

Перемещая снимки под нитью стереометра и последовательно отмечая точки, в которых пространственная нить касается водной поверхности водотока, получают местоположение изотахи, соответствующей v_i.

9. Для вычисления расхода воды сначала измеряют на аэрофотоснимках (в центральной части последнего) расходные отрезки (удельные расходы).

Удельный расход на вертикали определяют по выражению:

$$q_i = k_2 v_i l,$$

где l—расходный отрезок, определяемый по расстоянию перемещения поплавка-индикатора

Полный расход определяют как $Q = \frac{1}{2}[q_1 l_1 + (q_1 + q_2) l_2 + \ldots + (q_{i-1} + q_i) l_i + \ldots + q_n l_n]$,

где l_i—расстояние между скоростными вертикалями, причем Σl_i—полная длина створа, на котором определяют расход

10 При определении расходов по поплавкам-индикаторам глубины потока на промерных вертикалях могут быть получены с невысокой точностью по формуле

$$h_i = \frac{q_i}{k_2 v_i}.$$

11. Площади живых сечений, определяемые в автоматическом режиме, по времени могут не совпадать с датами аэрофотосъемки. Для расчета выполняют перерасчет живого сечения (ω) по формуле

$$\omega_{а/с} = \omega_{пр} \pm \Delta\omega,$$

где $\Delta\omega = \frac{(B_{пр} + B_{а/с})\Delta h}{2}$, Δh—разность уровней в период между датой гидрометрических работ и датой аэрофотосъемки, $B_{пр}$—длина поперечника во время гидрометрических работ, $B_{а/с}$—длина поперечника на дату аэросъемки, $\Delta\omega$—разность площадей живых сечений

Нахождение длины поперечников и определение местоположения промерных точек профиля на аэроснимках выполняют, определяя масштаб аэроснимка из соотношения $f_к/H = 1/M$, где M—знаменатель масштаба аэроснимка.

В полученные по аэроснимкам длины поперечников необходимо внести соответствующие поправки из-за положения уреза воды в различные даты. Для этого сумму домеров левого и правого берегов соответствующих поперечников вычитают из измеренных длин, если за период между аэросъемкой и гидрометрическими измерениями глубин, выполненными электронной аппаратурой, произошел спад уровня воды, и прибавляют, если отмечен подъем.

12. Для рисовки подводного рельефа в районе мостового перехода на аэрофотоснимке исправленные длины поперечников наносят на полоску миллиметровой бумаги в заданном масштабе. На ней же указывают положение левого уреза, концевой точки, опознанной на снимке, левого берегового ориентира, а также точек уреза и правого берегового ориентира, расположенных на створе поперечника.

На эту же миллиметровку переносят характерные отметки глубин подводного рельефа, которую ориентируют так, чтобы один из концевых ориентиров миллиметровки совмещался с соответствующей точкой аэрофотоснимка.

Край полосы с данными промера и скоростями течений и характерными точками поперечниками должен являться гипотенузой в прямоугольном треугольнике, две другие стороны которого образованы направлением промера на аэрофотоснимке и примерным направлением линии берегового уреза. Далее поворачивают миллиметровку таким образом, чтобы концевые ориентиры на аэрофотоснимке и на миллиметровке оставались совмещенными, и переносят все точки на аэроснимок. Выписывают против перенесенных точек отметки глубин и определяют площадь сечения (рис. 2.6).

Условные отметки уровня воды определяют относительно принятого начала высот, которое намечают на аэроснимке. Выбранная начальная точка должна легко опознаваться. Превышения относительно этой начальной точки устанавливают стереоскопическими измерениями стереопары.

13. Снимки ориентируют в стереометре таким образом, чтобы нить стереометра проходила в пределах 1—2 мм вблизи начальной точки, а отсчеты на оба уреза были с точностью 0,03 мм равны между собой. После этого измеряют разность продольных параллаксов (ΔP) между начальной точкой и урезом воды и вычисляют превышение по формуле

$$h = \frac{\Delta P H}{b + \Delta P},$$

где b—базис

Измерения выполняют не менее чем по двум стереопарам (разных маршрутов). Расхождения не должны превышать 1 : 3000 от высоты полета. За окончательное значение превышения принимают среднее арифметическое из измерений.

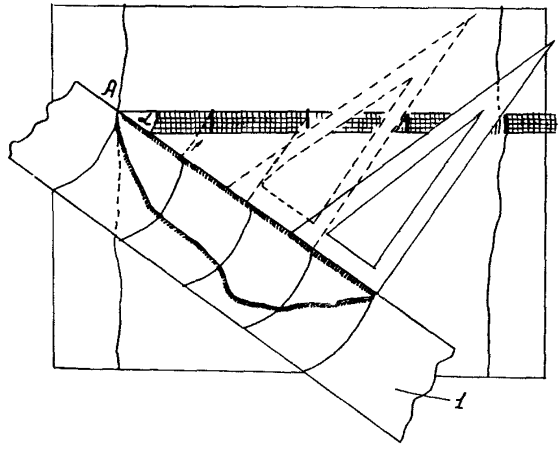


Рис 2 6 Перенос промежуточных промерочных точек с батиграммы (1) на профиль

Условные отметки уровней получают из выражения:

$$A_{ур} = A + h_{ср},$$

где А—отметка условного начала высот; $h_{ср}$—среднее из нескольких измерений превышение начала высот над наблюдаемым горизонтом воды.

14. Данные по вариантам створов сводят в таблицы. Пример оформления данных по расчету уровней, ширины русла и поверхностных скоростей на даты аэрогидрометрии приведены соответственно в табл. 2.5, 2.6 и 2.7.

Таблица 25

Варианты	№ а/снимков	Дата а/снимков	Базис $в$ (на снимке), мм	Высота съемки, м
Верхний створ реки	3436—40	3.VI	73,9	1063
	1508—11	4 VI	57,0	1081
	607—10	6.VI	52,5	966
	4163—60	7.VII	57,5	1127
	5308—06	19.VII	60,5	1057
	....	....	....	....

Продолжение табл. 2.5

Варианты	Разность параллаксов ΔP, мм	Превышения, м	Разность уровней, м	Отметки уровня, м
Верхний створ реки	0,95	13,25	0	14,253
	0,68	12,75	+0,50	13,753
	0,65	11,75	+1,00	14,753
	1,17	21,20	—9,45	5,503
	0,70	21,60	—0,40	4,903
	....	....	....	....

Таблица 26

Варианты	Дата и № а/снимка	Ширина русла на снимке, мм	Масштаб	Ширина русла в натуре B, м
Верхний створ	3.VI 3507	125,0	1 : 19300	2415
	4.VII 1512	125,0	1 : 20150	2515
	7.VI 631	132,0	1 : 18380	2420
	17.VII 4262	106,0	1 : 20450	2085
	19.VII 5265	98,8	1 : 20950	2070
	... ...	...	...	...

Таблица 27

Варианты	B, м	ω, м^2	$h_{ср}$, м	h_{max}, м	$v_{ср}$, м/с	v_{max}, м с	Q, м^3 с	Дата
Верхний створ	2085	31160	11,1	21,8	0,33	1,00	10310	17 VII
	2420	52550	27,7	34,5	1,43	1,80	75000	7 VI
	2515	55000	22,0	35,5	1 00	1,20	55000	4 VII
		..		.	..			

По материалам аэрогидрометрических работ для различных фаз гидрологического режима водотока в районе мостового перехода и гидрометрических работ, выполненных наводным способом, должны быть определены: расходы воды русла и поймы, скорость поверхностных течений и направление струй на русловой и пойменных частях, живые сечения русла и поймы по створам измерений, глубины воды и отметки уровней на даты наблюдений.

На каждый из вариантов мостового перехода должны быть составлены: график колебаний уровня в период наблюдений; график зависимости расходов от уровня; график зависимости площади живого сечения от уровня; ситуационный фотоплан или масштабная фотосхема с планом поверхностных скоростей в изотатах, траекториями движения льдин во время ледохода, направлениях струй при характерных условиях воды, линиями судовых ходов.

3.1. Назначение морфометрических работ

1. Цель морфометрических работ заключается в получении расчетных гидрологических характеристик водотока через измерения формы речной долины (поперечных сечений и продольного уклона), определении геоботанических и гидроморфологических особенностей ее с использованием данных натурных гидрометрических наблюдений. Сроки производства изысканий проектируемых линий обычно не совпадают со сроками половодий или паводков данного района, а в случае такого совпадения величины максимальных уровней и расходов воды оказываются, как правило, значительно ниже расчетных. Поэтому морфометрический метод гидрологических изысканий на мостовых переходах следует считать основным.

2. Наиболее типичны следующие случаи производства морфометрических работ:

а) Река на данном участке хорошо изучена в гидрологическом отношении—выше и ниже по течению действуют водомерные посты с многолетним периодом наблюдений и гидрометрические станции (створы), на которых производились измерения расходов воды в русле и на пойме при паводках вероятности превышения $p \leqslant 10\%$, причем выполненный анализ материалов показал приемлемость для створа перехода расчетных значений уровней ($УВВ_{p\%}$) и расходов ($Q_{p\%}$).

Задачей морфометрии будет перенос на створ перехода отметки $УВВ_{p\%}$ и распределение полученной величины $Q_{p\%}$ на этом створе между руслом и участками поймы (см. ниже п. 3.5).

б) На реке имеются водомерные посты, данные наблюдений на которых могут быть использованы для построения надежной связи уровней с их эмпирической вероятностью превышения $H=f(P_э\%)$, но измеренные расходы воды недостаточны для получения расчетной величины $Q_{p\%}$. Задачей морфометрии будет перенесение на створ перехода отметки расчетного $УВВ_{p\%}$ (см. п. 3.2) и определение величины $Q_{p\%}$, соответствующей этому уровню, методами, изложенными в п. 3.5.

в) Река в гидрологическом отношении не изучена или существующие пункты наблюдений не могут быть использованы из-за отдаленности от района перехода или вследствие короткого периода наблюдений. В данном случае морфометрические работы желательно провести в паводочный период, организовав натурные измерения скоростей течения на работающих при наблюденных уровнях участках русла и поймы.

Морфометрические работы, восстанавливая картину прохода расчетного паводка, должны служить контролем определения расчетных расходов воды по формулам СНиП 2.01.14—83 [71] особенно для малоизученных районов, при отсутствии надежных аналогов и при расчетах стока на малых и средних реках.

3. Наиболее сложной задачей морфометрии водотока является надежная оценка гидравлической работы пойм, поскольку до настоящего времени нет общепринятой системы характеристик сопротивлений движению паводковых вод по пойменному массиву.

Количество морфостворов, их расположение в пределах поймы зависят от мощности ее, а также от сложности рельефа, связанного с типом руслового процесса (см. гл. 9).

3.2. Определение уровенного режима

1. Независимо от отнесения данного перехода к одному из случаев выполнения морфометрических работ, перечисленных в п. 2 п. 3.1, в районе перехода устанавливают на местности отметки следующих характерных уровней: а) высоких вод (УВВ); б) высокого ледохода (УВЛ); в) подвижки льда (УПЛ); г) межени (УМВ).

Отметки указанных уровней на местности устанавливают путем опроса старожилов или по отметкам и местным признакам.

Основные характерные уровни воды, используемые при проектировании мостовых переходов, приведены в прил. 3.5.

2. Определение высоких уровней в створах переходов путем опроса местных жителей или по следам паводков часто является единственным источником получения сведений об УВВ при кратковременности полевых работ, большой удаленности от водомерных постов или при их отсутствии. Достоверность УВВ достигается многократным (не менее 6—7) определением их отметок не только в районе перехода, но и в других пунктах (особенно населенных) выше или ниже по реке с последующим переносом отметок УВВ на переход и их сравнением.

Перенос отметок УВВ на створ перехода производится в зависимости от наличия данных по одному из способов, указанных в п. 2.37 СНиП 2.01.14—83 [71].

3. При определении морфометрических характеристик методом опроса старожилов устанавливают происхождение наивысших УВВ (дождевые, ливневые, снеговые, от таяния ледников), частоту паводков в году, частоту затопления пойм (ежегодно или в течение какого-то периода).

Обязательно определяют период, в течение которого наивысший или другие характерные уровни не превышались, что может быть известно старожилу от старших родственников; при этом не следует пренебрегать самыми приближенными данными, которые при сопоставлении с другими сведениями могут дать представление об указанном периоде. Собирают сведения об условиях, способствовавших возникновению катастрофического уровня (глубина снега, характер снеготаяния, выпадение обильных дождей и т. п.).

Ориентиры, до которых доходила вода, описывают и делают их зарисовки и фотографии, производят нивелировку указанных старожилами и найденных меток УВВ.

Результаты опроса оформляют актом, заверенным начальником партии (прил. 3.1). Подпись старожила в акте не требуется.

Опросные данные об исторических наивысших УВВ анализируют на основе архивных и литературных сведений. При этом следует учитывать их репрезентативность в настоящее время в связи с хозяйственным использованием реки за истекший период времени с момента наблюденного исторического паводка (строительство ГЭС, изъятие стока на мелиорацию и т. п.).

4. К следам паводков на местности относятся:

наносник (мелкие сучья, пучки трав, обломки тростника, ил и т. п.) на пологих берегах и деревьях;

отложения взвешенных наносов или нефти на коре деревьев и в складках местности;

обдиры и другие повреждения деревьев (льдинами, от переувлажнения почвы, подмыва берегов);

линия смачивания оштукатуренных и деревянных стен зданий;

следы подмыва крутых берегов;

полоса смыва «пустынного загара» на скальных берегах или железобетонных сооружениях (ее нижняя граница относится к среднему уровню, а верхняя к уровню 10—20% обеспеченности);

граница развития моховой и лишайниковой растительности на стволах деревьев и на скалистых берегах;

граница распространения пойменной растительности в засушливых районах и изменения цвета и состава травы на склонах

Следы затопления на коре деревьев, смыв «пустынного загара» и линии изменения цвета растительности лучше видны на некотором расстоянии.

Следы УВВ на местности могут сохраняться в течение 10—15 лет (при отсутствии за это время более высокого паводка).

3.3. Продольный профиль реки

1. Продольный профиль реки в месте перехода снимают для определения уклона свободной поверхности потока. При этом определяют:

а) отметки уреза воды на момент производства работ;

б) глубины по фарватеру в наиболее характерных точках дна (гребень переката, плесовая лощина);

в) отметки бровок берегов и наиболее пониженных мест прирусловых валов.

Протяженность съемки зависит от конкретных местных условий:

при режиме реки, не нарушенном гидротехническими сооружениями, профиль снимают на протяжении ситуационной схемы перехода, но не менее суммарной длины одного плеса и одного переката—для больших рек, двух плесов и двух перекатов—для средних рек и трех-пяти плесов и перекатов—для малых рек;

если вблизи перехода на расстоянии до 5 км расположен водпост ГМС, продольный профиль доводят до него; при этом площади водосборов для створа перехода и створа водпоста не должны различаться более, чем на 25%;

если переход находится в зоне подпора другой рекой, профиль снимают вниз от перехода до устья, где определяют отметку под-

пирающей реки, вверх—до конца кривой подпора. При большой длине кривой подпора допускается ее верхнюю часть составлять по картографическому материалу;

при расположении перехода вблизи крупной плотины данные для построения продольного профиля получают в организациях, ведающих проектированием или эксплуатацией плотины.

2. Продольный профиль снимают нивелированием с допустимой невязкой $20\sqrt{L}$ (см. п. 2.4), расстояния между точками урезов воды определяют дальномером. При съемке продольного профиля используют имеющуюся картографическую основу (фотопланы и карты масштаба не мельче 1 : 25000).

При отсутствии картографической основы прокладывают теодолитный ход, к которому привязывают урезные точки.

При нивелировании урезов точки берут в характерных местах, определяющих переломы свободной поверхности: в начале и в конце плесов и перекатов, в устьях притоков и крупных логов, у гидротехнических сооружений, у мостов и т. д.

На период съемки продольного профиля открывают временные водомерные посты. При нивелировании урезов отмечают время, и затем их отметки приводят к одному моменту времени введением поправок по наблюдениям на водомерном посту.

На продольном профиле наносят линии свободной поверхности потока на момент съемки, отметки дна и берегов в наиболее характерных точках, а также возможно бо́льшее количество отметок УВВ за разные годы, определенные различными косвенными способами (см. п. 3.2).

Расстояние между урезными точками на момент съемки определяют по фарватеру русла (по продольному профилю); расстояние между определенными на местности точками УВВ находят по спрямленному направлению потока в паводок, используя ситуационную схему мостового перехода.

Построение линии свободной поверхности производят по участкам с однообразными уклонами воды и дна на момент съемки. Пример оформления продольного профиля приведен в прил. 3.2.

Для определения уклона водной поверхности при уровнях высокой воды используют следы прошедших паводков, т. к. меженный уклон может в 5—6 раз отличаться от паводочного.

3. На переходах через реки с обширными поймами, характерными для руслового процесса типов свободного или незавершенного меандрирования и пойменной многорукавности (см. гл. 9), дополнительно снимают продольные профили наиболее мощных, действующих в межень проток, к профилям которых привязывают установленные на местности отметки УВВ по обоим бортам пойменной долины реки. Сопоставление отметок УВВ, полученных по обоим берегам долины реки, позволяет определить наличие и величину поперечного уклона паводочного потока [3].

3.4. Выбор и съемка морфостворов

1. Морфостворы намечают предварительно по картографическому материалу (или по генеральному плану перехода) нормаль-

но к направлению течения в русле и на поймах при высокой воде. На участках, где направления руслового и пойменных потоков не совпадают, морфоствор может быть ломаным.

Как правило, морфоствор располагают в наиболее узких местах пойм с наименьшим числом стариц, проток; для блуждающих рек—в местах с наименьшей шириной зоны блуждания.

Морфоствор, предназначенный для распределения расчетного расхода между русловой и пойменной частями потока, располагают непосредственно выше трассы мостового перехода.

При выполнении морфометрических работ в случае, предусмотренном в п. 2а п. 3.1, можно ограничиться съемкой одного морфоствора по оси или в непосредственной близости от створа мостового перехода с верховой его стороны.

Для случая, предусмотренного в п. 2б п. 3.1, снимают два морфоствора—один, как сказано выше, в наиболее узком месте поймы и второй непосредственно выше трассы мостового перехода.

Для случая, предусмотренного в п. 2в п. 3.1, необходимо снять три морфоствора—один выше створа перехода, другой в непосредственной близости от перехода и третий ниже створа перехода; первый и третий морфостворы располагают в наиболее узком и наиболее широком месте поймы для уточнения расчетной величины продольного уклона потока при УВВ (см. п. 3.5).

2. Морфостворы разбивают теодолитом. В местах пересечения с руслом реки, протоками, старицами или озерами определяют отметки урезов воды и измеряют глубины. Границами морфоствора являются отметки земли, превышающие УВВ на 1—2 м для уровней высоких половодий и на 2—3 м—для ливневых паводков.

Морфостворы привязывают к продольному профилю рек.

При съемке морфостворов снимают ситуацию на расстоянии 50-и глубин потока в паводок вверх и 20 вниз от оси, но не менее чем по 100 м в каждую сторону, подробно описывая морфологические особенности створа. Морфологическими характеристиками створа являются:

наличие на пойме протоков, староречий и озер, спрямляющих течений, прорывов перешейков речных излучин, постоянно или временно действующих водотоков, а также прорыв старых прирусловых валов;

характер растительности по морфоствору, выше и ниже его (трава, кустарник, лес, их густота и высота);

наличие на пойме различных построек, насыпей и других сооружений;

характеристика грунтов в русле реки и на незадернованных участках пойм;

частота затопления пойм.

На основании указанных признаков устанавливают значения коэффициентов шероховатости n для участков, имеющих различное сопротивление течению согласно указаниям п. 3.5.

В процессе проведения морфометрических работ на больших реках рекомендуется измерять скорости течения вертушкой или

поплавками с измерением уклонов по урезным кольям. Это даст возможность уточнить коэффициенты шероховатости, назначенные по таблице.

3.5. Камеральная обработка

1. В результате обработки материалов морфометрических работ должны быть составлены:

а) ситуационная схема с вариантами трассы перехода и морфостворами;

б) продольный профиль реки по руслу с линиями свободной поверхности водотока при различных УВВ;

в) профили морфостворов;

г) зависимости скоростей течения и расходов воды от глубины потока для морфоствора, снятого непосредственно выше створа перехода. Пример оформления чертежей морфометрических работ приведен в прил. 3.2.

2. Для определения гидравлических характеристик водотока морфометрическим способом необходимо:

а) установить по продольному профилю реки и ситуационной схеме уклоны водной поверхности в русле и на пойме с учетом спрямляющих течений при УВВ; если с повышением уровня уклоны меняются, строят зависимость $i=f(H)$;

б) разделить профиль (в точках перелома рельефа) на участки с единообразными условиями по глубине, косине струй, характеру растительности;

в) установить уровень выхода воды на пойму;

г) выделить неработающие «мертвые» площади сечения морфоствора;

д) определить расчетные значения шероховатости для каждого участка морфоствора по измеренным расходам или по таблицам прил. 3.3.

3. Приведенные в прил. 3.3 таблицы М. Ф. Срибного, Н. М. Носова и В. Т. Чоу коэффициентов шероховатости дают лишь ориентировочные величины n, которые в процессе изысканий следует, по возможности, уточнять. Следует пользоваться той таблицей, характеристики шероховатости которой наиболее подходят к данному объекту расчета. При этом диапазон значений коэффициентов шероховатости, указанных в таблицах, может быть расширен.

В особо благоприятных условиях минимальные значения коэффициентов шероховатости достигают: для русел (прямолинейные плесы с большими глубинами и малыми уклонами) $n\approx0{,}020$ и для пойм (совершенно ровной с низкой травой при течении, параллельном руслу) $n=0{,}04$.

Наибольшие значения n могут достигать для русел $n=0{,}10$ (русла горных рек, сложенные крупнообломочным материалом) и для пойм $n=0{,}20$ (исключительно густая переплетенная растительность, завалы валежника).

4. При обширной пойме, по которой проходит большая часть паводочного стока, может быть использован более дифференцированный метод определения коэффициентов шероховатости участ-

ков пойм [84]. Метод позволяет получать обобщенный по площади участка поймы коэффициент шероховатости, определяемый рельефом $n_н$ и растительностью $n_Б$:

$$n=\sqrt{n_н^2+n_Б^2}. \tag{3.1}$$

Коэффициент шероховатости, определяемый рельефом рассматриваемого участка поймы, находят по формуле

$$n_н=0{,}025+0{,}25\frac{\sigma_н}{H_п}, \tag{3.2}$$

где $H_п$—средняя глубина потока на рассматриваемом участке, $\sigma_н=\sqrt{\frac{\sum(H_{пi}-H_п)}{n-1}}$—среднеквадратическое отклонение глубин потока $H_{пi}$ на этом участке Коэффициент шероховатости, создаваемый растительностью, определяют по графику (рис 3 1) в зависимости от обобщенного параметра растительности.

$$\varphi=\sum_{i=1}^{m}\varphi_i=\sum_{i=1}^{m}\frac{b_i^2 H_{Бi}\delta_i N_i}{l_j^2 H_п}, \tag{3 3}$$

где $H_{Бi}$—средняя высота затопления растительности водой, b_i—средний диаметр растительности; δ_i—параметр, учитывающий степень вертикальной сплошности многоствольной растительности и принимаемый для одноствольных деревьев с высотой кроны выше $H_{Бi}$. $\delta_i=1$, для кустов и тонких многоствольных деревьев $\delta_i=\Sigma d_i/l_i$; d_i—средние диаметры стволов и веток растительности на участке створа длиной l_i; суммирование величин d_i проводится для растений, расположенных от створа по направлению течения потока на протяжении, равном среднему расстоянию между кустами, —для травы δ_i принимают в пределах 0,1—1 в зависимости от ее густоты; l_j—длина участка поймы, N_i—число стволов на площади l_j^2, i—переменное суммирование, соответствующее типу растительности (деревья, кустарники, трава).

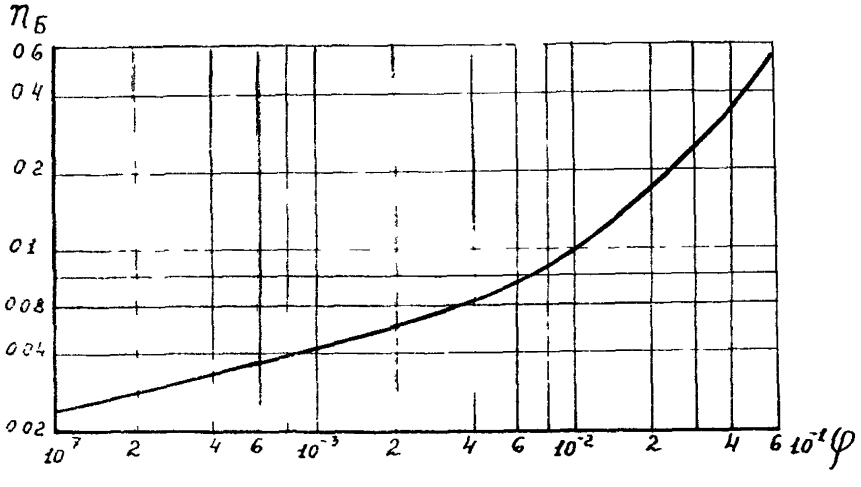


Рис. 3 1 Коэффициент шероховатости $n_Б$, определяемый растительностью

Исходные данные для расчета по формуле (3.3) получают на основании натурного обследования растительности поймы, используя материалы лесохозяйственных организаций и аэрофотосъемки, а также таксационные и геоботанические карты. Средний диаметр куста или многоствольного дерева измеряют на половине их высоты; для травы измеряют полную высоту и высоту в нагнутом состоянии (глазомерно) при $УВВ_{р\%}$. Для уточнения степени вертикальной сплошности δ_i рекомендуется делать фотоснимки характерной для участка многоствольной растительности.

5. Если вдоль потока глубиной H_i на длине верх $l_{bi} \geqslant 50\ H_i$ и вниз $l_{ni} \geqslant 20\ H_i$ от оси i-го участка морфоствора ситуация и характеристика растительности не меняются (однородны), то только они определяют коэффициент шероховатости n участка.

При несоблюдении указанного условия принимаемый коэффициент шероховатости рассчитывают по формуле:

$$n_{\text{уч}} = \sqrt{\frac{n^2(70H_i - \sum_{k=1}^{m} \Delta l_k)B + \sum_{k=1}^{m} n_k^2 \Delta l_k \Delta B_k}{70H_i B}}, \qquad (3.4)$$

где ΔB_k, Δl_k—ширина и длина участка, расположенного вдоль потока внутри диапазона $l_{bi} - l_{ni}$, с коэффициентом шероховатости n_k, отличном от преобладающего коэффициента шероховатости n на рассматриваемом участке шириной B.

Если внутри участка морфоствора шириной B, глубиной H и с коэффициентом шероховатости n расположен участок $\Delta B < B$, характеризуемый H_i и n_i, то при расчете скоростей и расходов воды участком ΔB можно пренебречь (считать, что $\Delta B = 0$) при условии:

$$\Delta B/B < 0{,}1 \left(\frac{n}{n_i}\right)^2 \left(H/H_i\right)^{2/3}. \qquad (3.5)$$

6. Для определения косины струй намечают на ситуационной схеме направления течений на пойме (с учетом пойменного рельефа и направления основных проток).

Неработающие площади исключают из расчета.

В замкнутых старицах и ложбинах глубину потока отсчитывают от средней бровки этих мезоформ.

7. Среднюю скорость потока на каждом однородном по глубине, уклону и шероховатости участке морфоствора определяют по формуле (в м/с)

$$v = \beta_* C \sqrt{Hi} \cos \alpha, \qquad (3.6)$$

где H—средняя глубина воды на участке; i—продольный уклон свободной поверхности при РУВВ; α—угол между направлением течения и перпендикуляром к оси морфоствора; C—коэффициент Шези, определяемый по прил 3 3 или формуле Маннинга $C = H^{1/6}/n$; β_*—параметр формы живого сечения (см. формулу 2 1).

При использовании формулы Маннинга

$$v = \beta_* \frac{H^{2/3}}{n} \sqrt{i} \cos \alpha.$$

Для горных и предгорных рек скорость потока можно определять по формуле

$$v = \frac{A}{n} H^x \sqrt{i} \cos \alpha. \qquad (3.7)$$

где при $H \geqslant 1{,}8$ м принимают $A = 1$ и $x = 2/3$, а при $H < 1{,}8$ м—в зависимости от глубины воды в русле:

H	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,2	1,4	1,8
AH^x	0,61	0,74	0,86	0,97	1,02	1,17	1,28	1,48

Если на пойме имеются перемежающиеся участки с резко отличной шероховатостью, то формулой (3.6) нельзя учесть перераспределение потока на морфоствор и следует переходить к более точным решениям (с использованием двумерного уравнения неравномерного движения).

8. Во всех случаях производства морфометрических работ, если на участке перехода имеется резкое изменение ширины паводочного потока, величину уклона i, определенного по продольному профилю реки, заменяют в формулах скорости потока v величиной уклона трения I, вычисляемого по формуле

$$I = i + \frac{\alpha Q^2}{2gl}\left(\frac{1}{\omega_н^2} - \frac{1}{\omega_в^2}\right), \qquad (3.8)$$

где $\alpha = 1{,}1$; Q—суммарный расход русла и пойм при УВВ; g—ускорение свободного падения, l—расстояние между верховым и низовым створами; $\omega_н$ и $\omega_в$—суммарные площади живых сечений русла и пойм низового и верхового створов соответственно

Положение верхового и низового створов выбирают с таким расчетом, чтобы ширина B паводочного потока на расчетном створе вблизи перехода примерно удовлетворяла бы условию $B \approx \frac{B_в + B_н}{2}$, где $B_в$ и $B_н$—ширина потока на верховом и низовом створах соответственно.

9. Полученные морфометрическим расчетом средние скорости v главного русла при наличии данных о гранулометрическом составе аллювия следует сопоставить со значениями скоростей динамического равновесия $v_{дин}$ согласно прил. 3.4. Если расхождение между величинами v и $v_{дин}$ превышает 25%, необходимо уточнить принятую для русла величину n и средний диаметр фракций аллювия, слагающего русло.

В пустынных районах, где в руслах водотоков с большими площадями водосборов нет постоянного стока, причем руслo сложено крупнозернистым аллювием, средний диаметр которого может быть определен с достаточной точностью, получение значения средней скорости в русле $v_{дин}$ по прил. 3.4 может быть более надежным, чем по формулам, приведенным в п. 7. Для таких водотоков единственным признаком прохода высокой воды является (см. п. 3.2) полоса смыва «пустынного загара» на бортах, обычно беспойменного русла.

Средняя скорость потока на уровне смыва «пустынного загара» может быть оценена по динамической скорости для принятой вероятности превышения указанного уровня (см. прил. 3.4).

10. Для морфоствора, снятого вблизи трассы перехода, строят зависимости гидравлических характеристик русла и поймы (v, h, Q, i, n) от уровня воды ($H_у$), пользуясь вышеприведенными формулами и имеющимися данными натурных наблюдений с учетом указаний настоящей главы.

При наличии вблизи перехода водпоста строятся зависимость связи уровней водпост—морфоствор, используя опросные данные об УВВ в районе перехода. Уровень высокой воды расчетной вероятности превышения $P\%$ определяют для расхода на пике паводка $Q_{p\%}$ той же вероятности превышения по морфометрической зависимости $Q=f(H_у)$, согласно рекомендации п. 4.27 СНиП 2.01.14—83 [71].

11. Величина $Q_{p\%}$, вычисленная в зависимости от объема исходной информации методами, указанными в СНиП 2.01.14—83, не должна отличаться от той же величины, определенной методом морфометрии более чем на 25%. При бо́льшем расхождении следует взаимно увязывать аналитические и морфометрические расчеты, изменяя в последнем распределение расчетного расхода между руслом и поймами по морфоствору, снятому вблизи трассы перехода.

12. Результаты морфометрических работ оформляют на чертежах, которые могут быть представлены на одном листе (см. прил. 3.2).

Полученные гидравлические данные характерных участков морфоствора показывают на профиле морфоствора, которые вычерчивают в масштабах:

для малых рек горизонтальный	1 : 1000÷2000
для малых рек вертикальный	1 : 100÷200
для средних и больших горизонтальный	1 : 2000÷5000
для средних и больших вертикальный	1 : 200

Кроме чертежей, перечисленных в п. 1 настоящего пункта, прилагаются (см. прил. 3.2) план водосбора с показанием пунктов стационарных наблюдений, площади водосбора, коэффициентов озерности (включая водохранилища и проточные озера) δ, залесенности δ_1 и заболоченности δ_2 в % от всей площади водосбора, а также графики зависимостей, указанных в п. 10.

Глава 4. ОБСЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ И ДОЛИННЫХ ХОДОВ

4.1. Обследование искусственных водотоков

1. В практике проектирования встречаются переходы через искусственные водотоки, к которым относятся каналы, спрямляющие русла, обвалованные участки рек.

Каналы по назначению принято подразделять на: гидротехнические (деривационные, судоходные, аварийные и др.), гидромелиоративные, водохозяйственные (оросительные, транзитные и др.), судоходные.

Поперечное сечение проектируемых каналов характеризуется (рис. 4.1): шириной B при расчетном уровне воды для заданного расхода воды; площадью живого сечения ω; смоченным периметром χ; гидравлическим радиусом $R=\omega/\chi$; шириной между бровками русловых откосов $B_{бр}$; коэффициентом заложения откосов m; шириной по дну b, глубиной h; коэффициентом шероховатости дна и откосов.

Спрямляющие участки русел устраивают трапецеидального поперечного сечения. При обваливании искусственно (дамбами) ограничивают размеры пойменных участков, примыкающих к руслу.

В искусственных водотоках проектные поперечные сечения и их характеристики могут изменяться в связи с различными грун-

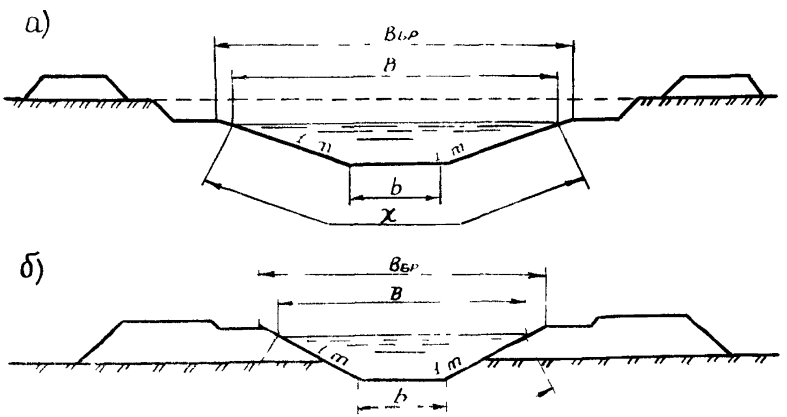


Рис. 4.1. Характерные схемы поперечного сечения каналов:
а—в выемке; *б*—в полувыемке

тами дна и откосов по длине этих водотоков и превышением скоростей течения неразмывающих значений.

С течением времени такие водотоки превращаются в видоизмененные речные русла с тем или иным типом руслового процесса (см. гл. 9), который вызывает их расширение и углубление. Изменение очертаний поперечного сечения и гидравлических характеристик потока может быть вызвано превышением заданного в проекте расчетного расхода воды.

2. Начальные параметры поперечного сечения, гидравлических и других характеристик каналов и прочих искусственных водотоков следует получать в подготовительный период изысканий в проектных и эксплуатирующих организациях.

В период полевого обследования необходимо установить наличие и состояние выше и ниже проектируемого мостового перехода построенных гидротехнических и мостовых сооружений и в том числе водосборных, водоперепускных и водораспределительных сооружений, а также режим их работы.

Подлежат тщательному изучению внутригодовой режим речного стока, максимальные сбросные расходы воды и в том числе аварийные. Эти данные нужно получить в эксплуатирующих организациях путем официальных запросов и детального изучения дополнительной документации на месте. Следует произвести дополнительно к этим данным опросы старожилов, местных жителей, очевидцев с оформлением соответствующих актов.

Необходимо полевым обследованием установить возможные изменения речного стока выше и ниже проектируемого моста за счет дополнительного притока поверхностного стока или его регулирования искусственными сооружениями различного назначения (водораспределители, аккумулирующие емкости, автомобильные и железные дороги и т. п.), возникших после строительства искусственных водотоков.

В полевой период нужно установить наличие, тип и состояние укреплений дна и откосов каналов и канализированных русел, а также характер руслового процесса и деформации поперечного сечения. Скорость течения и другие гидравлические характеристики потока в расчетном створе рекомендуется определять гидрометрическим путем с целью получения натурных значений коэффициентов шероховатости. При отсутствии косины в качестве расчетного принимается проектный створ мостового перехода, в противном случае—морфоствор, разбиваемый в непосредственной близости от трассы перехода.

Для установления характера руслового процесса необходимо выполнить промеры глубин и нивелирование 3—4 поперечных сечений ниже трассы проектируемого мостового перехода на расстоянии друг от друга от 25 до 50 м в зависимости от ширины искусственного вдотока (канала).

Продольный уклон водной поверхности нужно определять по данным непосредственных наблюдений в период полевого обследования не менее 2—3 раз на расстоянии от 200 до 500 м выше

и ниже расчетного створа. На криволинейных участках канала необходимо определять поперечный уклон водной поверхности.

На каждом мостовом переходе должны быть выполнены топографические съемки на расстоянии не менее 300 м выше и ниже расчетного створа.

3. Кроме топографических, инженерно-геологических и гидрологических данных должны быть собраны следующие сведения: перспективы дальнейшего использования искусственных водотоков; необходимость и размеры проездов по берегам, подлежащих перекрытию мостом; характер пропуска судов и в том числе имеющих специальные габариты; подмостовые габариты частей моста, перекрывающих водоток и проезды.

Если предполагается на судоходном водотоке (канале) устраивать разводной пролет моста, то необходимо собирать следующие дополнительные данные:

а) о судоходном фарватере и возможных его перемещениях, получаемые путем сопоставительного анализа лоцманских карт и материалов полевых наблюдений за траекториями прохождения судов в районе мостового перехода;

б) о минимально допустимых габаритах мостов с неразводными пролетами с учетом карчехода, ледохода, волнения, искривления водной поверхности, набега воды на опоры от динамического воздействия речного потока и т. п.;

в) о скоростях течения воды на участке русла, перекрываемом разводным пролетом в период навигации;

г) о выборе местоположения и размерах разводного пролета, высоте его подъема, сроках и длительности разводки, согласованные с соответствующими органами.

Гидрологические расчеты при наличии гидрометрических полевых измерений и при их отсутствии, а также расчеты отверстий мостов и размывов подмостовых русел нужно определять по рекомендациям соответствующих глав настоящего Пособия. Гидравлические расчеты каналов выполняют согласно [51].

Полученные в результате полевого обследования и расчетов отметки уровней высокой и меженной воды, а также отверстия мостов должны быть увязаны с отметками, полученными от организаций эксплуатирующей или проектирующей искусственный водоток (канал).

4.2. Обследование существующих мостовых переходов

1. Обследование существующих мостовых переходов проводят при их реконструкции, проектировании моста под второй путь или нового перехода, если вблизи его расположены существующие железнодорожные или автодорожные мосты.

Обследование водотоков, пересекаемых существующими мостовыми переходами, проводят согласно указаниям гл. 3.

2. Если существующий мост пропустил близкий к расчетному расход воды, то происшедшие изменения в режиме реки у перехода могут служить контролем расчетов и обоснований проектных решений. Если существующий мост пропустил паводки, меньшие

расчетного, то установленные изменения бытового режима реки (подпоры, размывы) должны быть использованы для построения зависимостей их от УВВ.

Сведения о проходе высоких паводков имеются в архивах службы пути железных дорог и организаций, эксплуатирующих автомобильные дороги; на многих крупных мостах имеется длительный ряд наблюдений за максимальными уровнями. Наблюдения эти бывают не точны и должны быть проанализированы. При этом устанавливают, менялись ли и когда прелетные строения, с которых производились промеры, местоположение водомерных реек на опорах, когда делались метки УВВ на устоях—при наивысшем урсвне или после него.

3. По промерам под мостами строят совмещенные профили живых сечений за ряд лет, отличающихся значительными размывами, а также различным положением русла по ширине мостового отверстия (рис. 4.2). При совмещении профилей необходимо проверить исходные данные в отношении стабильности промерных нулей, систем отметок и правильности перехода от старых мер к метрическим.

В результате обследования моста получают зависимости:

а) рабочей площади и максимальных глубин под мостом при пиках наблюденных половодий от расхода и уровня (рис. 4.2, *в*);

б) подпора перед мостом от расхода (для неразмывающегс дна) или рабочей площади под мостом (для размываемого дна)

в) коэффициента формы живого сечения $\alpha_ф = \frac{h_{max}}{H}$ под мостом от уровня или расхода; изменение этой величины и рабочей площади во времени представлены на рис. 4 2, *б*.

4. При обследовании мостового перехода собирают данные:

а) год постройки опор моста и подходных насыпей;

б) годы изменения отверстия моста и проводившихся укрепительных работ, характер и их размеры;

в) годы смены пролетных строений, отметки головки рельсов низа конструкции пролетных строений до и после смены;

г) отметки УВВ, УВЛ и УМВ под мостом, а также отметки УВВ с верховой и низовой сторон подходных насыпей на всем их протяжении;

д) годы и места переливов при УВВ через подходные насыпи, размеры повреждений и длительность перерывов движения;

е) геологическое строение по оси перехода по проектным данным и исполнительным чертежам;

ж) размывы подмостового русла, устанавливаемые по совмещенным профилям живых сечений;

з) изменения плана русла вследствие руслового процесса путем совмещения съемок разных лет и лоцманских карт (см. гл. 9);

и) продольные и поперечные профили подходных насыпей и регуляционных сооружений с указанием типа укреплений их откосов;

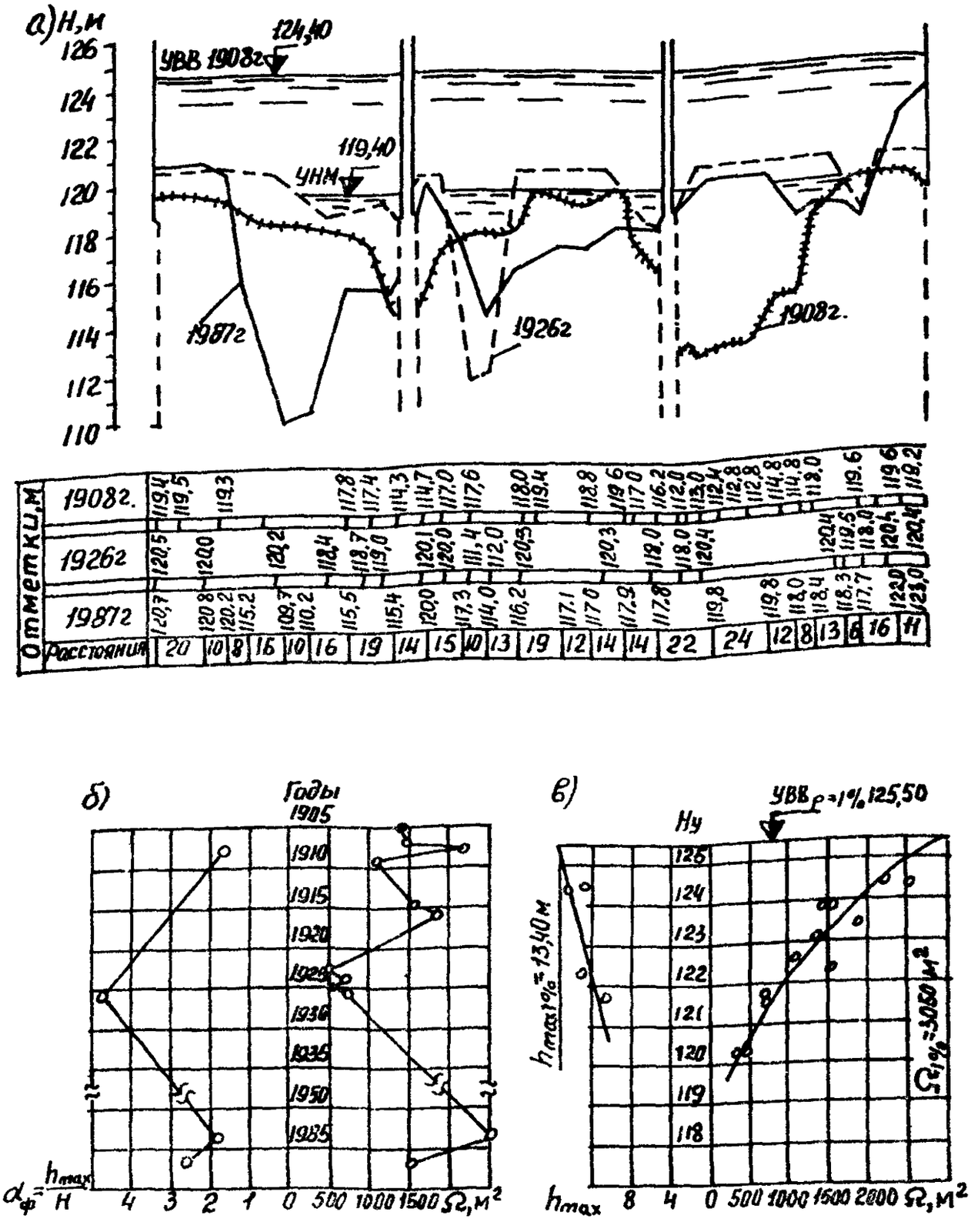


Рис 42 Развитие размывов под мостом во времени

а—совмещенные профили живых сечений подмостового русла *б*—графики изменения рабочей площади Ω под мостом и коэффициента формы $\alpha_ф = \frac{h_{max}}{H}$ по годам, *в*—зависимости рабочей площади Ω и максимальных глубин h_{max} от уровня воды $H_у$

к) годы, места и размеры повреждений укреплений откосов струенаправляющих дамб и подходных насыпей;

л) условия судоходства и сплава в районе перехода (аварии судов и плотов у моста, перемещения судоходного фарватера, достаточность подмостовых габаритов).

5) При наличии групповых отверстий указанные данные собирают по каждому пойменному мосту.

6. На основании материалов (см. п. 4) проводят анализ работы мостового перехода—устанавливают его водопропускную способность и при необходимости намечают меры по ее увеличению. Если предусматривается реконструкция перехода, то на основании указанного анализа намечают мероприятия по улучшению работы перехода. Если вблизи проектируется новый мостовой переход, то данные анализа используют для принятия проектных решений.

7. При обследовании малых мостов и труб, являющихся дополнительными отверстиями на поймах крупных мостовых переходов, собирают следующие данные об их работе:

а) количество пойменных мостов и труб, размеры их отверстий, наличие и тип шандоров;

б) профили живых сечений под мостами, поперечное сечение труб, тип укреплений русел и глубину размыва ниже мостов и труб;

в) отметка уровня подпертой воды с верховой стороны сооружения (на верховом откосе насыпи), на входе в сооружение (на откосе конуса и выходных оголовках труб), ниже сооружения (на низовом откосе насыпи).

Аналогичные данные собирают при расположении малых мостов и труб на долинных ходах с той лишь особенностью, что при сборе сведений об уровнях должно быть установлено, какими паводками они вызваны: с собственного бассейна малого водотока или реки, в пойме которой проходит трасса.

8. Гидравлические расчеты существующих малых искусственных сооружений на пойме и на трассе долинного хода, попадающего на пойму, выполняют согласно [51] и п. 11.2 Пособия.

4.3. Обследование некапитальных плотин

1. Согласно п. 1.25 СНиП 2.05.03—84 [75] при проектировании мостовых переходов через водотоки, где имеются некапитальные плотины, необходимо учитывать возможность прорыва их (см. п. 8.3).

Некапитальными считаются плотины, которые могут быть разрушены при пропуске расчетных (и менее) паводков для проектируемого мостового перехода. Возможность частичного или полного разрушения плотин устанавливают расчетом на основании материалов натурного обследования всех плотин, расположенных выше створа перехода как на пересекаемом трассой водотоке, так и на его притоках. Плотина, находящаяся ниже перехода, подлежит обследованию, если створ перехода находится в зоне ее влияния, что устанавливают по отметке уровня воды

верхнего бьефа при максимальном наполнении водохранилища с учетом кривой подпора при прохождении паводка.

2. В результате натурного обследования и сбора имеющейся проектной и эксплуатационной документации по плотине получают информацию, необходимую для решения вопроса о капитальности сооружения и характере последствий для проектируемого перехода от возможного прорыва В случае установления неразрушаемости плотины в заданных расчетных условиях обследование должно выявить регулирующую способность водохранилища при проходе расчетного и наибольшего расходов, которая должна быть учтена при определении отверстия моста.

3. Обследование и сбор данных начинают с установления года постройки и анализе проекта плотины. Если год постройки неизвестен, необходимо установить приблизительно период постройки (до революции, перед Отечественной войной, после войны и т д). Вероятность превышения расчетного расхода для водосборных сооружений определяют по проекту плотины. Если, например, плотина проектировалась на расход воды вероятностью превышения 1% и никаких нарушений в работе ее за период эксплуатации не наблюдалось, а физическое состояние всех ее элементов не вызывает опасений за их сохранность, то при проектировании автодорожных мостов плотина может считаться капитальной. Для железнодорожных мостовых переходов, проектируемых на наибольший расход воды вероятностью превышения 0,33%, эта плотина может оказаться некапитальной.

Величина принятого в проекте плотины расчетного расхода должна быть проверена по действующему СНиП 2.01 14—83 (71).

4. Если плотина проектировалась на расход воды больше расчетного или наибольшего $Q_{p\%}$ для мостового перехода, то следует произвести проверку на ее разрушение при переливе при $Q_{p\%}$.

Считается, что разрушение плотины наступает при уровне воды выше ее гребня более 0,1 м.

Это условие выражается неравенством:

$$\text{ОП}+H-\text{ОГ}>0{,}1 \text{ м},$$

где ОП—отметка порога водослива, H—статический напор, м, ОГ—отметка гребня плотины

Величину H для незатопленного водослива, в том числе практического профиля (51), что характерно для плотин, определяют как

$$H\approx\left(\frac{Q_{p\%}}{mb\sqrt{2g}}\right),$$

где $Q_{p\%}$—расчетный или максимальный расход для мостового перехода, $в$—ширина водосливного отверстия, m—коэффициент расхода; можно принимать $m\approx0{,}37$

Необходимо произвести нивелировку по гребню плотины и составить ее продольный профиль, а также снять поперечные профили ее тела в характерных местах для проверки соответствия построенного сооружения проектным данным.

По проекту устанавливают: кем и когда разработан проект, величину и вероятность превышения расчетного расхода для водосбросных сооружений, отметки уровней форсированного и нормального подпертых уровней и уровня мертвого объема водохранилища.

5. Если проектная документация на плотину отсутствует, то заключение о возможности ее прорыва базируется на данных натурного обследования и опроса лиц, имеющих или имевших отношение к ее эксплуатации. Опросы оформляются актами с указанием, кто, на каком основании дал сведения о плотине, причем подпись давшего нужную информацию в акте не обязательна.

В результате обследования должны быть собраны следующие данные:

период постройки плотины;

наличие, тип и конструкции водосбросных сооружений, их пропускная способность;

длина плотины по урезу воды в верхнем бьефе при предельном наполнении водохранилища;

ширина плотины по гребню, заложение верхового и низового откосов тела плотины;

материалы, из которых сооружена плотина, наличие и тип укреплений гребня и откосов;

тип и качество сопряжений плотины с основанием и берегами;

напор (максимальная разность отметок уровней воды в верхнем и нижнем бьефах);

запас высоты гребня плотины над нормальным подпертым уровнем;

наличие понижений на гребне (мест возможного сосредоточенного размыва), устанавливаемых по снятому профилю плотины;

состояние плотины (наличие и отсутствие фильтрации через тело плотины, оползней откосов, деформаций укреплений и т. п.);

объем водохранилища при предельном наполнении его;

наблюдались ли прорывы или переливы через гребень плотины (где, на каком протяжении, во время снегового или ливневого паводков), если наблюдались, то описать принятые меры по восстановлению плотины;

наличие ниже плотины транзитного русла водотока, по которому должен быть снят продольный профиль на участке плотины до створа перехода (см. п. 8.3).

На основании перечисленных выше данных составляется заключение о возможности разрушения плотины при расчетных для мостового перехода гидрологических условиях.

4.4. Обследование конусов выноса и селевых потоков

1. Конусы выноса горных водотоков предварительно обследуют с целью установить морфологический тип конуса, наметить возможные варианты его пересечения и схемы регулирования потока.

Конуса выноса в устьевой части горных водотоков подразделяются на четыре типа, характеризующихся признаками:

а) поток растекается при каждом паводке (см. рис 1 2, гл 1);

б) на поверхности конуса выражено одно или несколько русел, пропускающих средние паводки; при выдающихся паводках происходит переформирование русел (рис 4.3, *а*);

в) бо́льшая часть поверхности конуса покрыта растительностью, на ней расположены населенные пункты и культурные насаждения, другая часть, врезанная в поверхность конуса, является действующей и в ее пределах происходит блуждание водотока (рис 4 3, *б*);

г) недействующий конус; русло водотока врезано в его поверхность и имеет сечение, способное пропустить максимальные расходы (рис 4 3, *в*)

2 Характеристикой конуса выноса является его очертание в продольном сечении (вогнутое или выпуклое).

Вогнутое очертание не достигает реки, в которую впадает пересекаемый водоток, и заканчивается на одной из ее террас

Выпуклое очертание характерно для небольших конусов, заканчивающихся непосредственно у русла реки и подмываемых ее водами Наличие выпуклости части конуса характерно для зоны интенсивного отложения наносов

Обследование больших конусов выноса производят с использованием карт масштаба 1 · 25000 и 1 : 10000, фотопланов и съемок. Для рекогносцировки эффективно использование вертолетов или легких самолетов.

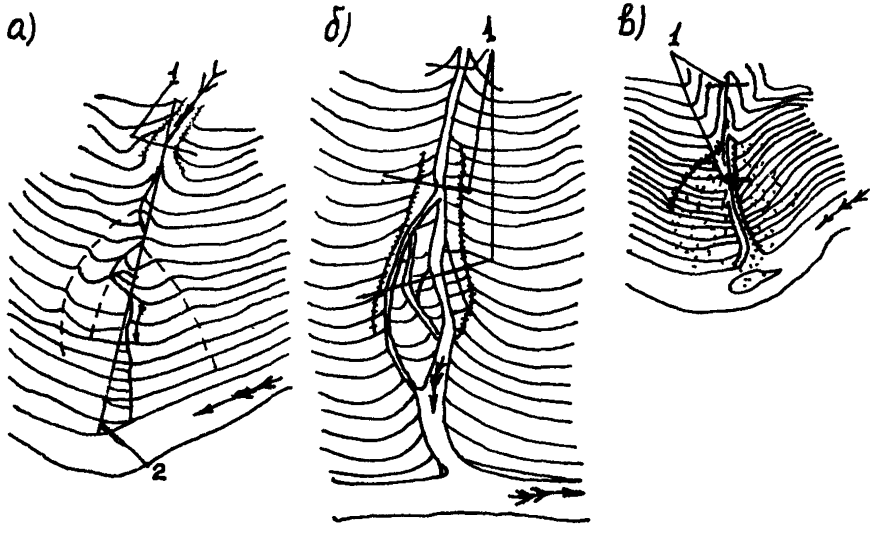


Рис. 4 3 Схемы расположения морфоствороз на конусах выноса

а—несколько русел на конусе выноса *б*—конус с врезанной зоной блуждания, *в*—неденствующий конус с врезанным руслом *1*—морфоствороз, *2*—трасса продольного профиля

3. При обследовании устанавливают тип конуса выноса, собирают сведения о гидрологическом режиме водотока, мощности, характере и частоте прохождения паводков. На конусах (см. п. 1, типы в, г) на основании опроса старожилов, а в необжитой местности—по следам устанавливают случаи выхода потока на недействующую часть конуса. Намечают варианты пересечения конуса и места расположения отверстий водопропускных сооружений с соответствующей схемой регулирования (см. п. 11.4).

4. При больших размерах конусов съемкой охватывают в продольном направлении участок от горловины ущелья до оси перехода и ниже его на расстояние, равное двум-трем отверстиям моста. Ширину съемки определяют, исходя из намечаемой схемы регулирования. Малые конусы площадью до 0,5 км^2 снимают полностью.

Для нижних вариантов пересечения конусов разрешается при наличии крупномасштабных карт съемку ограничивать участками, подлежащими регулированию, при увязке всех вариантов на схеме масштаба не мельче 1 : 10000.

При съемке уделяют внимание местам, где русловые бровки наиболее понижены, отмечают существующие и заброшенные оросительные канавы, фиксируют берегозащитные сооружения. На плане показывают места глыбовых навалов с указанием средних и максимальных размеров глыб или валунов, а также места определения гранулометрического состава отложений.

5. Русловой процесс на конусах выноса характеризуется наращиванием отметок поверхности действующей части конуса и углублением основного русла с выработкой вогнутого профиля. В результате отдельных высоких паводков возможна забивка выносами разработанных русел, выход потока на ранее бездействующую часть конуса с выработкой новых русел. Сведения об этих явлениях собирают путем визуального обследования и опроса старожилов.

При обследовании устанавливают характер изменения среднего и максимального размеров отложений по длине конуса. По растущим на конусе деревьям с занесенной частью ствола определяют шурфованием высоту отложений от начала корневой системы за период, равный возрасту дерева плюс 5—10 лет.

Интенсивность русловых деформаций на конусах выноса может быть определена по существующим гидротехническим сооружениям: положение линии грунта у этих сооружений сопоставляют с проектными чертежами и показаниями работников эксплуатационных организаций.

6. Продольный профиль конуса выноса снимают вверх от морфоствора, расположенного в горловине ущелья, на расстояние в две-три его ширины и вниз до уреза реки, в которую впадает пересекаемый водоток. Отметка урезов или пониженных точек сухих русел определяют тахеометрически. Если длина конуса более 5 км, профиль снимают в пределах детального плана, а на остальных участках профиль составляют по картам.

На небольших конусах (см. п. 1, типы а, б) продольный профиль составляют по прямому направлению от горловины ущелья до подошвы конуса; пониженные точки извилистого русла проектируют на эту прямую (см. рис. 4.3, *а*). Если поток сваливается в сторону от оси конуса, то составляют профили, проходящие через места расположения водопропускных отверстий.

На конусах (см. п. 1, типы в, г) продольный профиль строят по урезам с нанесением характерных отметок бровок русла.

7. На конусах выноса (см. п. 1, типы а, б, в) морфоствор снимают в горловине ущелья, определяют метки УВВ, следы селевых отложений, описывают ситуацию, определяют максимальный диаметр и гранулометрический состав отложений.

На конусах (типы в, г) дополнительно снимают один-два морфоствора в наиболее суженных местах активной зоны.

Камеральную обработку морфостворов, снятых в голове конуса выноса и на конусах (тип г), производят методами, изложенными в п. 3.5. Если расчетный расход не помещается в русле, построение зависимостей расхода от уровня выполняют для сечения, условно ограниченного вертикалями по бровкам русла.

На конусах выноса (типы а, б и в) бытовую глубину потока определяют приближенно (п. 11.4).

8. Сель—временный горный русловой поток, состоящий из смеси воды и рыхлообломочных пород, характеризующихся резким подъемом уровней и высоким содержанием твердого материала.

Причинами возникновения селей могут быть:

а) ливневые осадки и продолжительные обложные дожди;

б) интенсивное таяние ледников, снежников и сезонных снегов в высокогорной части бассейнов рек в результате резкого повышения температуры (особенно в сочетании с обложными дождями или ливнями);

в) прорыв открытых или скрытых в толще морен ледниковых озер;

г) прорыв заторов, образованных оползнями, обвалами, снежными лавинами, массивами льда при подвижках ледников, а также прорыв искусственных плотин и перемычек;

д) обрушение крупных массивов льда с ледовых карнизов в горные ущелья;

е) обрушение крупных водных смерчей, проникших в ущелья горных рек;

ж) извержения вулканов, сопровождающиеся ливневыми дождями.

Селевые потоки, особенно образовавшиеся по причинам, изложенным в пунктах «в», «г», «д», часто связываются с землетрясениями, а образовавшиеся по причинам «е» и «ж», относятся к редким, труднопрогнозируемым явлениям. Наиболее частой причиной селепроявления являются ливневые дожди.

Источниками твердой, рыхлообломочной составляющей селевых потоков являются эродированные участки горных бассей-

нов—селевые очаги: обнаженные склоны и скалистые массивы, сложенные легковыветривающимися породами, моренными отложениями, оползневые массивы (в том числе покрытые растительностью), осыпи и обвалы, русловая сеть, сложенная аллювием.

Наиболее активными источниками селеобразования являются накопившиеся у подножия крутых склонов в прируслового зоне и в русловой сети продуктов выветривания и шлейфов мелкофракционных осыпей, а также подрезаемые потоком языки оползней или грунтовые массы размываемых заторов.

9. Согласно условий типизации [61] различают три типа селей: грязевые, грязекаменные и наносоводные (табл. 4.1) и три режима движения селей: турбулентный, ламинарный и структурный, определяющие динамические свойства потока и его скоростные характеристики.

Таблица 41

Отношение объема твердого вещества к общему объему смеси	Классификация типов селевых потоков по размерам обломков горной породы, составляющим более 50% общего объема твердой компоненты	
	более 1 мм	менее 1 мм
Более 0,5	Грязекаменные	Грязевые
Менее 0,5	Наносоводные	

10. Обследования и изыскания в селевых районах должны осуществляться в соответствии с общими требованиями к инженерным изысканиям для строительства и дополнительными требованиями, регламентирующими инженерные изыскания на территории селевых бассейнов, согласно СН 518—79 [24]. При этом производят сбор и анализ имеющихся сведений о селевых бассейнах и прохождении селей, в том числе с использованием информативных (каталоги, справочные пособия, фондовые материалы и др.) материалов Госкомгидромета СССР, а также инженерно-геологических карт и Мингео СССР и др. организаций.

Недостающие сведения и материалы получают путем проведения обследований с использованием действующего руководства по изучению селей [61] и, при необходимости, с привлечением специализированных организаций. На картах масштаба 1 : 25000 и крупнее, при их наличии, с использованием материалов дешифрирования аэрофотоснимков отмечают селеактивные эродированные участки бассейна и их характерные особенности.

Визуальные поправки и уточнения вносятся при облете бассейна на вертолете.

При отсутствии крупномасштабных карт производят съемки фотопланов бассейна или необходимых его участков в масштабах 1 : 5000 или 1 : 10000. Окончательные уточнения вносят при полевом обследовании селевого бассейна.

11. Полевое обследование проводят по маршруту, намеченному на карте масштаба не мельче 1 : 25000 или по фотоплану, охватывающему участок по главному водотоку от створа перехода до зоны активных очагов селеобразования. Если источниками селеобразования являются боковые притоки, то производят их обследование. Перед выходом в поле составляют маршрутную схему с нанесением основных ориентиров. Если схема составляется по карте мельче 1 : 25000, то для высотной привязки используют барометр-анероид.

12. При полевом обследовании:

а) уточняют места расположения, площади селеобразующих очагов, их тип и активность; оценивают объем рыхлообломочного материала путем шурфования или, при затруднениях, визуально по очертанию коренных бортов, глубине русел, обнажениям, промоинам в толще отложений и другим признакам;

б) выявляют места образования и определяют тип селевых потоков по характеру рыхлообломочных материалов очагов, источникам водной составляющей и характеру селевых отложений;

в) отыскивают следы прошедших селей и паводков путем съемки поперечных и продольных профилей с учетом гл. 3; устанавливают параметры живых сечений и уклоны для последующего определения скоростей течения и максимальных расходов потока;

г) выявляют места образования заторов и оценивают их размеры (высота, объем) по следам, особенно в местах сужений и поворотов русла, а также в устьях боковых притоков; отмечают места оползневых склонов, могущие стать причиной завалов русла; если места заторов расположены вблизи намечаемого перехода, возможные параметры затора определяют путем съемки поперечных и продольных профилей русла с нанесением очертаний затора;

д) на всем протяжении маршрута изучают отложения селевой массы и берут пробы мелкофракционной составляющей (менее 1 мм) для последующего исследования в лаборатории с целью оценки содержания глинистых фракций и их коллоидной активности. В трех-пяти характерных створах определяют максимальный диаметр валунов, принесенных по руслу (а не скатившихся с боковых склонов). В этих створах определяют гранулометрический состав крупнообломочного аллювия и пористость отложений, согласно прил. 4.1.

13. В результате обследований и изысканий селевого водотока представляют:

а) схематический план бассейна с нанесением площадей селеобразующих очагов, зон эрозионного поражения, характерных почвогрунтов и растительного покрова бассейна, а также с обозначением трассы продольных профилей, местоположения заторных участков, участков со следами селей, снятых поперечных сечений, мест определения гранулометрического состава и взятия проб мелкой фракции;

б) продольный профиль водотока с нанесением створов, а также мест впадения основных боковых притоков;

в) характерные поперечные профили с нанесением замеренных отметок уровней по следам прошедших паводков и селей, а также данных о грунтах, слагающих борта и русло в пределах возможного затопления при УВВ;

г) план русла прилегающего к трассе перехода, охватывающий участок на всю ширину возможного блуждания потока при длине не менее чем в две ширины разлива вверх по течению и в одну ширину вниз по течению от трассы перехода, с нанесением трассы продольного профиля по ориентированному направлению динамической оси потока и не менее чем 3-х перпендикулярных к ней поперечных сечений, включая створ перехода;

д) продольные профили по наинизшим отметкам русла и межени по динамической оси потока с обозначенными створами поперечных сечений, снятых в пределах плана участка перехода;

е) поперечные профили в пределах полной ширины и высоты затопления с указанием отметок межени, определенных по следам, и описанием грунтов, слагающих борта и русло;

ж) кривые гранулометрического состава отложений, в том числе по данным шурфования, обязательного для участка перехода, с указанием характерных диаметров фракций и физико-механических свойств грунтов, включая определенные по данным лабораторных исследований сведения о содержании глинистых и коллоидных фракций и коллоидной активности;

з) пояснительную записку со всеми исходными материалами и их анализом, позволяющим установить тип селя, его мощность, повторяемость и максимальные расходы и объем выносов, а также дать рекомендации по укладке трассы и размещению селепропускных отверстий (см. пп. 1.1 и 7.10).

4.5 Определение гидрологических характеристик долинных ходов трассы

1. Для трассирования дороги по долине реки необходимо знать отметки расчетных уровней $УВВ_{p\%}$ на протяжении долинного хода.

$УВВ_{p\%}$ определяют сначала камерально, с тем чтобы наметить трассу по возможности вне разлива В этом случае продольный профиль реки составляют по картам масштабов 1 : 10000 или 1 : 25000; отметки $УВВ_{p\%}$ определяют по данным наблюдений на водпостах, а при отсутствии их—подбором расхода по характерным сечениям, снятым с карты. Значения Q определяют по генетическим формулам (см. гл. 7). Предварительное определение отметок $УВВ_{p\%}$ необходимо также для составления программы обследования реки на протяжении долинного хода.

2. Продольный профиль реки снимают в натуре и устанавливают отметки УВВ (см гл. 3). Там же, где паводочные воды при расчетном уровне подтопляют земляное полотно, выполняют обследование для расчета скорости течения вдоль насыпи, высоты волны, ледохода на пойме, руслового процесса и выпуска

воды из части поймы, отсекаемой насыпью проектируемой дороги.

Основной съемки для составления продольного профиля реки при долинном ходе служат трасса дороги или теодолитный ход по трассе, к которым привязывают нивелирование урезов, морфостворы и план русла.

Для переноса отметок $УВВ_{р\%}$ от русла реки на трассу составляют ситуационную схему долины реки, на которой показывают трассу дороги, русло с отметками $УВВ_{р\%}$, устья притоков, гидротехнические сооружения и мосты, населенные пункты, водомерные посты, морфостворы, границы разлива и растительности.

Для составления ситуационной схемы долины используют карты масштабов не мельче 1 : 50000; план русла и ситуационные границы проверяют инструментально.

В сложных случаях перекоса водной поверхности на полугорных блуждающих реках по отметкам УВВ, установленным на берегах долины, определяют величину перекоса и затем на ситуационной схеме проводят горизонтали водной поверхности при расчетном $УВВ_{р\%}$.

3. Скорости течения на пойме вдоль речного откоса земляного полотна, подтопляемого при $УВВ_{р\%}$, определяют по двум морфостворам: в начале и конце участка подтопления. Если на протяжении такого участка условия протекания меняются, то снимают дополнительные морфостворы. Скорости течения на каждом пикете между морфостворами принимают по интерполяции.

Кроме того, определяют высоту ветровой волны, подходящей к откосу насыпи (см. гл. 12), по исходным данным, выявляемым по ситуационной схеме.

По скорости течения, высоте ветровой волны и мощности ледохода определяют тип укрепления откоса земляного полотна.

4. На участках, где трасса дороги может приближаться к руслу, выполняют русловые съемки. По материалам съемок прогнозируют русловой процесс (см. гл. 9) и в необходимых случаях предусматривают укрепление подмываемого берега русла или его спрямление [15].

В узких долинах горных рек, где земляное полотно может стеснить живое сечение, рассчитывают соответствующее повышение уровня воды, для чего снимают морфостворы в начале, середине и конце стеснения. Когда требуется отвод русла, в которое попадает откос насыпи, выполняют русловую съемку на протяжении отвода.

5. Проходя по долине реки, дорога отсекает части пойменной акватории и пересекает устьевые участки притоков.

Для спуска паводочной воды с отсеченной части поймы, а также для пропуска паводков на пересекаемых притоках устраивают искусственные сооружения. Отверстия таких сооружений пропускают паводочную воду в отсеченную часть поймы при подъеме уровня и выпускают при спаде уровня; в беспаводочный

период на реке сооружения могут пропускать паводки ее притоков (см. гл. 11).

Для расчета отверстий в этих условиях требуется знать объем воды, заполняющей отсеченную насыпью часть поймы. Для этого снимают план акватории в горизонталях в масштабе не мельче 1 : 10000.

Если в пределах отсеченной части поймы необходимо устроить несколько искусственных сооружений для водотоков, то выявляют водоразделы между ними или намечают мероприятия по разделению их паводочных вод. На каждом притоке снимают морфоствор в местах, где возможно установить отметки УВВ. От морфоствора на притоке до створа перехода его на пойме реки снимают продольный профиль по руслу притока. Если предполагается углубление притока для осушения заболоченной поймы, то продольный профиль снимают до впадения притока в реку.

5.1. Общие положения

1. Инженерно-геологические изыскания в обоснование проектных решений строительства моста выполняют в соответствии с требованиями СНиП 2.02.01—83 [72]; СНиП II-18—76 [83]; СНиП 2.02.03—85 [73]; СНиП II-7—81 [82]; СНиП 1.02.07—87 [69]; с учетом требований СНиП 2.05.03—84, государственных стандартов, РСН 31—83 [44]; ВСН 156—88 [21]; ВСН 84—89 [19], а также других нормативных документов, регламентирующих инженерные изыскания и исследования грунтов для транспортного строительства.

Грунты должны именоваться согласно ГОСТ 25100—82.

2. Инженерно-геологические изыскания мостового перехода выполняют с целью получения материалов, необходимых и достаточных для разработки и принятия экономически целесообразных и технически обоснованных решений при его проектировании с учетом рационального использования и охраны природной среды и должны обеспечивать комплексное изучение природных условий участка проектируемого перехода. При этом на участке проектируемого строительства решаются задачи по:

изучению геологического строения массивов, распространению, сложению, составу, состоянию и свойству грунтов, их изменчивости в пространстве и во времени;

определению условий залегания, распространению, напору, составу и особенностей режима подземных вод;

установлению характера, площади развития, интенсивности проявления и особенностей протекания различных природных процессов, неблагоприятных для строительства и эксплуатации моста;

прогнозированию изменений инженерно-геологических элементов и других условий при строительстве и эксплуатации моста;

поиску, разведке и опробованию месторождений строительных материалов и грунтов.

3. Результаты инженерных изысканий должны содержать данные, необходимые для выбора типа оснований и фундаментов береговых устоев и опор, определения глубины их заложения и размеров с учетом прогноза возможных изменений морзлотных, инженерно-геологических и гидрогеологических условий участка в процессе строительства и эксплуатации моста.

4. В районах распространения вечномерзлых грунтов согласно СНиП II-18—76 дополнительно устанавливают геокриологические условия территории: распространение вечномерзлых грунтов, их состав, льдистость, криогенные текстуры, средняя годовая температура, глубина нулевых годовых колебаний температур, физические, механические и теплофизические свойства, морфология и генезис таликов, состав, свойства и толщина слоя сезонноот-

таивающих и сезоннопромерзающих грунтов, криогенные процессы и образования, исходные данные для оценки изменения геокриологических условий в процессе строительства и эксплуатации проектируемого моста.

В рабочих чертежах фундаментов опор и береговых устоев должны быть приведены инженерно-геологические разрезы и основные данные о мерзлотных характеристиках и температуре грунтов как в природном состоянии, так и в состоянии, предусмотренном проектом на период строительства и эксплуатации моста.

5. Состав и объемы инженерно-геологических изысканий зависят от сложности инженерно-геологических условий района изысканий, стадии проектирования, конструкции и размеров моста, от конструктивных особенностей подходов к нему, размещения регуляционных и защитных сооружений, а также временных сооружений в районе строительства мостового перехода.

В районах распространения вечномерзлых грунтов состав и объемы инженерно-геологических изысканий определяют еще и выбранным принципом использования этих грунтов в качестве основания: с сохранением природного мерзлого состояния грунтов (принцип I) или с допущением ох оттаивания (принцип II). При любом принципе использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований по результатам инженерно-геологических изысканий разрабатывают мероприятия по инженерной подготовке территории. Выполнение этих мероприятий должно обеспечивать сохранение расчетного температурного режима грунтов в основании моста, а также природных условий окружающей среды.

6. В зависимости от совокупности природных факторов района мостового перехода инженерно-геологические условия подразделяют на простые и сложные.

Простыми (благоприятными) в инженерно-геологическом отношении для строительства мостового перехода являются участки долин рек, где залегают:

горизонтальные (или близкие к горизонтальным), четко разделяемые слои грунта с выраженной мощностью, однородные по литологическому (петрографическому) составу, сложению (текстуре), состоянию и свойствам в пределах слоя (при общем количестве слоев не более 2-х);

неразмягчаемые скальные и полускальные породы, залегающие с поверхности или перекрытые маломощным чехлом рыхлых отложений и имеющие равномерную трещиноватость и выветрелость, а также угол падения пласта менее 6°;

рыхлые грунты, имеющие 1—2 водоносных горизонта с однородным химическим составом воды, характеризующейся отсутствием агрессивных свойств.

7. К сложным условиям проектирования и строительства относятся участки мостовых переходов, в геологическом разрезе основания которых залегают:

более четырех различных по литологии слоев грунта с резко изменяющейся мощностью;

слои грунта, одно- и разнородные по литологическому составу с резко и незакономерно меняющимися прочностными и деформативными свойствами по простиранию и толщине;

дислоцированные скальные грунты с большой и незакономерной изменчивостью прочностных свойств, имеющие сильно расчлененную кровлю, с углами простирания или падения слоев более 15°, а также перекрытые разнородными по составу и свойствам нескальными грунтами;

просадочные, вечномерзлые грунты, подземные льды, каменная соль, гипс, ангидрит, гипсоносные грунты, закарстованные известняки, мел, мергель, доломит и т. п.

К сложным условиям для проектирования мостов относятся также случаи:

с наличием в районе строительства мостовых переходов неблагоприятных склоновых, пойменных и русловых процессов (оползней, курумов, обвалов, суффозии, донной и боковой эрозии, заболачивания и др.), негативных мерзлотных инженерно-геологических процессов и явлений;

с наличием в долине реки разломов, связанных с тектоническими движениями;

с наличием напорных и сильно минерализованных (криопэгов) подземных вод.

Для определения химического состава, степени агрессивности и коррозийной активности воды по отношению к бетону и металлам (СНиП 2.03.11—85) из каждого вскрытого выработками водоносного горизонта и пересекаемого мостом водотока отбираются не менее трех проб воды. Из поверхностных водотоков пробы воды следует отбирать по возможности в летний меженный период, в зимний меженный период и во время паводков (по одной пробе у каждого из берегов и одну в середине русла).

8. Инженерно-геологические изыскания выполняют при наличии технического задания Заказчика, справки о финансировании работ, программы работ, а также сметы и графика выполнения изысканий со сроками представления отчетных материалов Заказчику.

Изыскания могут выполняться при наличии регистраций и принятии работ на учет в соответствии с действующими инструкциями Мингео СССР, а также «Положением о территориальной изыскательской организации», утвержденным Госстроем СССР.

В районах со сложными условиями инженерно-геологические изыскания должны выполняться специализированными организациями [72].

9. Программа инженерно-геологических работ в сложных инженерно-геологических условиях строительства или длине моста более 100 м должна согласовываться с ведущей изыскательской организацией, которой предоставлено право на производство изысканий и проектирование больших и сложных мостовых пере-

ходов. Изыскательские работы при длинах мостов менее 100 м могут выполняться при наличии разрешений, выдаваемых органами по делам строительства и архитектуры Исполнительных комитетов местных Советов народных депутатов.

При расположении мостовых переходов на территории городов изыскательские работы могут выполняться при наличии разрешений (регистраций) главных архитекторов городов.

10. Сроки и места производства работ устанавливаются Заказчиком и согласовываются со всеми заинтересованными организациями и в первую очередь с землепользователями.

Перед началом проведения инженерно-геологических изысканий Заказчиком или по его просьбе изыскательской организацией должны быть выполнены работы по:

согласованию проложения вариантов мостовых переходов с органами Госгортехнадзора;

оформлению временного отвода замельных участков (земель) для намечаемых изыскательских и строительных работ.

5.2. Изыскания для разработки технико-экономического обоснования (ТЭО) и технико-экономических расчетов (ТЭР) строительства

1. Целью инженерно-геологических работ, проводимых на этих стадиях, является:

оценка качества и уточнения собранных материалов, освещающих инженерно-геологические условия участка строительства для обоснования выбора оптимального варианта мостового перехода;

получение данных, необходимых для предварительной оценки возможного естественного развития физико-геологических (в том числе и мерзлотных) процессов, а также изменений инженерно-геологических условий среды под воздействием строительства и эксплуатации моста.

2. В состав работ, выполняемых для ТЭО (ТЭР) входят:

сбор, анализ, систематизация и использование фондовых материалов геолого-съемочных работ или региональных исследований, материалов инженерно-геологических изысканий прошлых лет и других данных о природных условиях района проектируемого строительства (в том числе сведений по разведке и качеству местных строительных материалов и карьеров грунта);

дешифрирование космо- и аэрофотоматериалов, в том числе снимков, выполненных в разных зонах спектра;

аэровизуальные наблюдения;

составление отчета (пояснительной записки).

При проведении работ в районах со сложными природными условиями строительства, а также при недостаточности или отсутствии фондовых материалов в состав работ, выполняемых на предпроектных стадиях, дополнительно входят:

визуальное обследование предполагаемых вариантов мостовых переходов;

проходка отдельных горных выработок (скважин, шурфов);

выполнение геофизических методов разведки;

опробование горных выработок;

лабораторные исследования образцов грунтов и проб воды.

В районах распространения вечномерзлых грунтов, кроме того:

устанавливают ориентировочные контуры площадей распространения подземных льдов, таликовых зон, негативных мерзлотных процессов и явлений;

выполняют работы по измерению температур грунтов в скважинах;

выявляют деформированные сооружения, условия и причины возникновения и развития их деформаций;

намечают участки для проведения стационарных наблюдений и исследований.

3. Согласно СНиП 1.02.07—87 [69] срок использования фактических материалов изысканий прошлых лет устанавливается с учетом изменений геологической среды.

В районах распространения вечномерзлых грунтов согласно СНиП II-18—76 [83] материалы инженерно-геологических изысканий требуют уточнений при сроке их давности более трех лет.

4. В простых инженерно-геологических условиях при хорошей изученности района предстоящих работ полевые работы на предпроектных стадиях, как правило не производят. Обоснование проектных решений выполняют на основе проработки фондовых материалов и литературных источников, собранных в подготовительный период.

На основе изучения собранных материалов производится обобщение и систематизация инженерно-геологической информации с привязкой ее к намеченным вариантам мостовых переходов.

По вариантам составляют колонки выработок, геологические разрезы, приводят данные о составе, сложении и свойствах грунтов.

В пояснительной записке, составляемой согласно требованиям СНиП 1.02.07—87 [69], дополнительно приводят характеристики возможных инженерно-геологических процессов (в том числе и мерзлотных) на существующих речных, пойменных и надпойменных участках, дают рекомендации по фундированию опор, разработке мероприятий для надежной работы постоянных и временных сооружений мостового перехода, защите этих сооружений от опасных для их эксплуатации геологических процессов.

5. На объектах со сложными природными условиями полевые инженерно-геологические работы выполняют на всех конкурентноспособных вариантах мостовых переходов.

Состав, объемы и методика проведения работ определяются организацией-исполнителем на основании технического задания Заказчика и излагаются с обоснованием в программе работ, составляемой согласно СНиП 1.02.07—87.

Перед составлением программы инженерно-геологических изысканий в район проектируемых работ производится выезд специалистов для визуального обследования намеченных участков (вариантов) мостовых переходов.

Программу инженерно-геологических изысканий составляют на основные виды изыскательских работ в минимальных объемах, т. к. после предпроектной стадии на всех сложных или крупных объектах выполняют комплексные изыскания в полном объеме для обоснования проекта и рабочей документации.

6. В ходе проведения полевых инженерно-геологических работ на всех основных элементах проектируемого мостового перехода, а также при разведке карьеров местных строительных материалов выполняют бурение разведочных инженерно-геологических скважин, проходку шурфов. В дополнение к буровым и горнопроходческим работам могут проводиться геофизические и полевые опытные работы.

7. Резведочные выработки (шурфы, скважины) и точки зондирования размещают по возможности в створе мостового перехода.

На каждом конкурентноспособном варианте назначают не менее одной выработки на каждом берегу и в русле. Скважины в русле могут быть не реже чем через 200—300 м.

8. Глубина разведочных скважин определяется из необходимости получения исходных данных для расчета фундаментов на глубину ниже зоны их опирания на величину 5—10 м, что обеспечивает кроме того возможность проверки устойчивости фундаментов по подстилающим грунтам.

При отсутствии данных о сжимаемой толще грунтов оснований фундаментов глубину скважин допускается устанавливать по табл. 37 СНиП 1.02.07—87. В районах распространения вечномерзлых грунтов глубина скважин устанавливается согласно п. 3.98 СНиП 1.02.07—87.

Зону выше опирания фундаментов при необходимости обследуют (статическим зондированием) с целью получения исходных данных для определения бокового трения и лобового сопротивления грунтов, расчета величины безопасной заделки фундаментов в грунты, а также расчетов местного и общего размывов аллювиальных грунтов.

Необходимость проходки скважин на глубину более 30—40 м должна быть обоснована сложностью инженерно-геологических условий проектирования и строительства моста.

9. Глубина разведочных скважин на подходах к мосту, регуляционных и защитных сооружениях для простых условий определяется необходимостью назначения мероприятий по обеспечению устойчивости возводимых сооружений, но не должна превышать полуторной их строительной высоты. Скважины назначают по оси сооружений не реже чем через 100—200 м.

10. При инженерно-геологическом обследовании нескольких вариантов мостового перехода дают рекомендации по каждому варианту: по типу фундирования, расчетным нагрузкам и свойствам грунтов, по местному и общему размывам. Одновременно дают оценки и рекомендации по подходам к мостам при наличии особых инженерно-геологических процессов или явлений.

По вариантам дают характеристики по свойствам, качеству и запасам местных строительных материалов и грунтов для земляных сооружений.

Задачи инженерно-геологических изысканий, методика работ и оценка условий для выбора рекомендуемого варианта даны в п. 5.3.

11. При изысканиях в районах распространения вечномерзлых грунтов должны быть проведены термометрические наблюдения в скважинах на глубину не менее глубины распространения годовых нулевых колебаний температуры.

Измерения температуры грунтов проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 25358—90.

12. На основе материалов выполненных инженерно-геологических изысканий составляют отчет с выводами и рекомендациями по обеспечению устойчивости всех сооружений мостового перехода, с данными по запасам и качеству грунтов для устройства земляного полотна и местных строительных материалов.

5.3. Изыскания для составления проекта

1. Инженерно-геологические изыскания для составления проекта мостового перехода в случае, если рекомендуемый вариант не был выбран при разработке предпроектной документации, выполняют в два этапа.

На первом этапе выполняют работы на конкурентноспособных вариантах для оценки каждого и выбора рекомендуемого варианта на основе их технико-экономического сравнения.

На втором этапе выполняют полный комплекс инженерно-геологических работ на выбранном варианте мостового перехода.

2. Условия, состав и объемы работ на первом этапе изложены в пп. 5.1 и 5.2.

3. Элементами сравнения при выборе лучшего в инженерно-геологическом отношении (оптимального по другим технико-экономическим показателям) варианта мостового перехода является:

залегание неразмягчаемых прочных пород (скальных, полускальных, крупнообломочных и др.) на более высоких по отношению к меженному уровню воды в реке отметках;

сравнительно более ровная поверхность и меньшие уклоны кровли прочных грунтов, подстилающих аллювий;

отсутствие или меньшая интенсивность и размеры проявлений, неблагоприятных для строительства и эксплуатации моста, подходов к нему и других сооружений перехода различных русловых, пойменных, береговых, склоновых, карстовых, мерзлотных и других физико-геологических процессов на участке изысканий;

относительная близость и удобства сообщения рассматриваемого варианта с месторождениями местных строительных материалов и карьерами грунта.

А. Работы для выбора варианта мостового перехода

4. Задачи инженерно-геологических изысканий на этом этапе состоят в изучении геологического строения, гидрогеологических

условий, физико-геологических явлений и процессов, развитых на участках вариантов мостовых переходов, и в поисках месторождений местных строительных материалов и грунтов для строительства.

В районах распространения вечномерзлых грунтов задача инженерно-геологических изысканий состоит в определении участка, в пределах которого мерзлотные условия строительства будут наиболее благоприятными, а его размеры позволят разместить проектируемые сооружения мостового перехода.

Изыскания выполняют на заданных вариантах мостовых переходов. В состав изысканий для выбора варианта перехода входят подготовительные, полевые, лабораторные и камеральные работы.

5 В подготовительный к полевым изысканиям период разрабатывают техническое задание на изыскания (утверждаемое руководством проектной организации), собирают и изучают материалы по району работ и участкам вариантов мостовых переходов, составляют программу инженерно-геологических изысканий, оформляют договор и разрешение на производство работ, комплектуют изыскательские подразделения и решают другие организационные вопросы.

В районах распространения вечномерзлых грунтов на основе дешифрирования материалов аэрофотосъемки выполняется ландшафтное районирование (масштаба 1 : 25000—1 : 10000) участков, предназначенных для выбора вариантов переходов, проводится типизация инженерно-геологических и мерзлотных условий для оценки территории этих участков.

В техническом задании на выполнение инженерно-геологических изысканий указывают положение дороги и сопряженных с ней мостовых переходов по различным вариантам, границы района, в пределах которого должен быть выбран переход, приводят соображения о возможной длине моста.

При выполнении работ в районах распространения вечномерзлых грунтов техническое задание на производство инженерно-геологических изысканий дополнительно должно содержать сведения о предполагаемом принципе использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований фундаментов опор и береговых устоев.

Программу изысканий составляют на основе технического задания главного инженера проекта после изучения упомянутых выше материалов по районам и участкам работ. В программе приводят общую характеристику района, намечают состав, объемы и сроки выполнения инженерно-геологических работ, излагают методику их выполнения.

Программу утверждает руководство проектно-изыскательской организации и согласовывает Заказчик. Если изыскания и проектирование выполняют разные организации, программу согласовывают с генеральным проектировщиком. В соответствии с намечаемыми программой, составом и объемами работ составляют смету на изыскательские работы.

6. В полевой период по каждому варианту мостового перехода проводят инженерно-геологическую съемку (а в районах распространения вечномерзлых грунтов—мерзлотную инженерно-геологическую съемку), геофизические исследования, буровые, разведочные и опытные работы, опробование грунтов и воды, лабораторные исследования и полевую обработку получаемых материалов [19]. В районах распространения вечномерзлых грунтов проводят измерения температур грунтов в скважинах.

7. Образцы грунтов, отбираемые из выработок, после описания геологом, контрольного просмотра начальником партии или главным геологом экспедиции, выполнения лабораторных работ и увязки геологических разрезов вариантов моста хранят до окончания изысканий, за исключением образцов, отбираемых из опорных скважин. Эти образцы сдают на хранение Заказчику.

8. Топографической основой для ведения инженерно-геологических съемок служат аэрофотоснимки, космические снимки, карты масштабов от 1 : 25000 до 1 : 10000 и топографические планы масштабов от 1 : 5000 до 1 : 500. Космические и аэрофотоснимки должны быть дешифрированы до полевых работ, а в самом начале изысканий—откорректированы на местности.

9. В сложных природных условиях для сравнения вариантов мостовых переходов, оконтуривания и выделения на аэроснимках или другой основе площадей с развитием современных физико-геологических процессов, а также с целью поисков месторождений строительных материалов и карьеров грунта могут применяться аэровизуальные обследования.

10. При пересечении селеносных долин инженерно-геологической съемкой масштаба 1 : 25000—1 : 10000 должны быть охвачены все варианты перехода. Если они удалены друг от друга на расстояние более 0,5 км, съемку ведут по каждому варианту отдельно.

11. Полоса инженерно-геологической съемки должна захватывать участки расположения регуляционных и защитных сооружений, площади срезки, но не менее чем на 400 м вверх и 300 м вниз по течению от оси перехода. Если же вблизи от моста происходят подмывы берегов, переформирования русла с образованием отмелей, кос, осередков или размывов дна при понижении местного базиса эрозии и карстовые явления заболачивания и т. п., ширину и длину полосы съемки увеличивают.

В площадь съемки включают подходы (насыпи и выемки) к проектируемому мосту, а если на террасах и склонах долины развиты обвалы, курумы, осыпи, оползни, то площадь съемки распространяют за бровку неустойчивых склонов на расстоянии 50—100 м.

При отсутствии на участке перехода неблагоприятных русловых, береговых и склоновых процессов масштаб съемки принимают 1 : 10000—1 : 5000, при их наличии—1 : 2000—1 : 1000.

12. В районах распространения вечномерзлых грунтов на основании результатов съемки по каждому варианту мостового

перехода каждому выделенному ландшафтному типу устанавливают соответствие мерзлотных инженерно-геологических условий, составляют схематическую карту мерзлотного инженерно-геологического районирования, выделяют участки, опасные или требующие особо сложной инженерной подготовки для строительства проектируемого моста, а также участки, наиболее благоприятные для его строительства.

К благоприятным для строительства следует относить участки, характеризующиеся:

отсутствием опасных для строительства моста мерзлотных физико-геологических процессов и явлений;

наличием обширных талых массивов;

маломощными вечномерзлыми грунтами, когда в качестве оснований можно использовать подстилающие талые грунты;

преимущественным распространением скальных или крупнообломочных грунтов;

отсутствием сильнольдистых грунтов;

однородностью мерзлотных инженерно-геологических условий.

13. В процессе съемки расчищают склоны, коренные берега, уступы террас и описывают геологическое строение их в пределах эрозионного вреза. Зондируют болота, участки со слабыми грунтами с целью определения их состава и мощности. Описывают, зарисовывают и фотографируют морфологические элементы долины и выраженные в рельефе следы различных физико-геологических процессов. При достаточной дифференциации физических особенностей пород проводят геофизические исследования. Закладывают отдельные выработки для интерпретации результатов геофизической разведки.

14. В задачи геофизической разведки входят:

расчленение отдельных геоморфологических элементов долины на участки с различными инженерно-геологическими условиями;

установление состава и мощности аллювия;

выявление скрытых следов физико-геологических процессов— зон тектонических разрывов, поверхностей скольжения оползней, карстовых и суффозионных полостей, древних и современных размывов на барегах, пойме и в русле реки, погребенных льдов и в первом приближении границ вечномерзлых грунтов.

Кроме того, геофизические исследования применяют для определения мощности вскрыши и полезных ископаемых, положения уровня грунтовых вод, влажности и плотности грунтов.

Для решения перечисленных задач применяют вертикальное электрическое зондирование, электропрофилирование, каротаж скважин, резистивиметрию, сейсмо- и гравиразведку, электродинамическое зондирование и радиоизотопные методы в различных модификациях с учетом поставленной цели и особенностей изучаемых массивов пород.

15. В районах распространения вечномерзлых грунтов по результатам электропрофилирования (ЭП) выделяют по площади:

участки распространения вечномерзлых и талых грунтов;

участки залегания подземных льдов и грунтов с повышенной льдистостью;

границы в плане между литологическими разностями.

По результатам применения вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) устанавливают:

границы литологических разрезов грунтов по площади и в разрезе;

границы по глубине между талыми и мерзлыми грунтами;

подземные льды и льдонасыщенные зоны.

Объемы геофизических исследований (в связи с тем, что они являются пионерными по отношению к основным работам—разведке и опробованию), неоднократно корректируются в процессе изысканий.

Результаты геофизических исследований используют для целенаправленного размещения точек разведки и обоснованного определения глубин бурения на выделенных инженерно-геологических участках мостового перехода и перспективных площадей для разведки месторождений стройматериалов и карьеров грунта.

16. Буровые работы на вариантах мостовых переходов следует выполнять в минимальных объемах, обеспечивающих суждение об инженерно-геологических условиях каждого варианта.

Объемы бурения определяют с учетом строения речной долины, сложности инженерно-геологических условий и требований СНиП 1.02.07—87 [69].

17. На территории возможного размещения сооружений мостового перехода каждый участок, выделенный по геоморфологическим, инженерно-геологическим или геофизическим признакам, разведуют не менее чем одной-двумя выработками, но не реже чем через 200 м на берегах и 100 м в русле реки по оси перехода.

В сложных инженерно-геологических условиях скважины задают на поперечниках к оси мостового перехода.

Размещение скважин в районах распространения вечномерзлых грунтов должно производиться с учетом необходимости получения сведений об условиях распространения вечномерзлых грунтов, их криогенном строении, льдистости и температуре, физико-механических и теплофизических характеристиках в пределах каждого выделенного ландшафта.

18. Для оценки глубинных русловых и пойменных процессов при большой разнородности грунтов необходима проходка дополнительных разведочных скважин, расположенных между основными на глубину возможных природных размывов.

19. Глубина основных разведочных скважин на первом этапе выбора рекомендуемого варианта должна назначаться с учетом рекомендации параграфа 5.2, п. 8 настоящего Пособия, а также табл. 37 СНиП 1.02.07—87.

20. Глубина изучения инженерно-геологического разреза в районах распространения вечномерзлых грунтов должна приниматься:

при первом принципе использования нескальных вечномерзлых грунтов в качестве оснований—не менее 15 м;

при втором принципе использования вечномерзлых грунтов исходя из необходимости превышения глубины предполагаемого теплового взаимодействия проектируемого моста с вечномерзлыми нескальными грунтами не менее чем на 5 м. Во всех случаях глубина выработки в нескальных грунтах должна быть не менее 10—15 м.

При близком залегании к поверхности кровли скальных грунтов скважины проходят в скале на глубину выветрелой толщи и заглубляют в нетронутую выветриванием породу не менее чем на 1,0 м.

21. Разведочными скважинами стремятся пройти всю толщу слабых просадочных, карстующихся, подверженным смещениям, тектоническим нарушениям или вечномерзлых, содержащих подземные льды пород.

При значительной их мощности скважины проходят на глубину более 30—40 м.

При наличии в разрезе нескольких конструктирующих несущих слоев оснований бурение следует вести с таким расчетом, чтобы можно было получить прочностные характеристики наиболее глубоко расположенного из них.

22. Способы бурения и диаметры разведочных скважин назначают в соответствии с требованиями СНиП 1.02.07—87.

Проходка инженерно-геологических скважин в мерзлых грунтах должна осуществляться колонковым способом без подогрева бурового наконечника, подлива в скважину и промывки любыми промывочными жидкостями. Разрешается бурение скважин с продувкой охлажденным воздухом, а также ударным способом, обеспечивающим выход керна.

Скважины проходят укороченными до 0,2—0,5 м рейсами при наименьшей скорости вращения бурового снаряда с применением ребристых коронок. Диаметр бурения инженерно-геологических скважин не менее 108 мм.

При обосновании в программе изысканий допускается ручное бурение скважин.

После окончания бурения вокруг каждой скважины (в радиусе, равном ее глубине) должны быть восстановлены естественные условия.

23. Для описания грунтов на месте проектируемого моста отбирают пробы: при ударно-канатном бурении—в ячеистые ящики из каждого слоя, но не реже чем через 0,5 м; колонковый скальный керн укладывают в ящики целиком.

Образцы грунтов для лабораторных исследований отбирают из каждого слоя, но не реже чем через 1—2 м по глубине, в глинистых грунтах при резком изменении консистенции—через 0,5 м, а в пределах возможной глубины размыва в любых породах—через 1 м. Образцы и керны хранят в течение всего времени изысканий.

24. Запрещается проходка скважин без документации и отбора образцов.

При документации скважин на вечномерзлых грунтах помимо обычного описания керна необходимо дополнительно устанавливать:

состояние грунтов (талые и мерзлые);

наличие ледяных включений и характер криогенной текстуры грунта;

суммарную мощность ледяных включений в каждом погонном метре скважины (послойно) или объемную льдистость (послойно);

для трещиноватых скальных грунтов—размеры и характер трещин и степень заполнения их льдом;

температурно-прочностное состояние мерзлых грунтов.

25. Из каждой скважины следует производить отбор образцов для определения: влажности, плотности грунта, гранулометрического состава, пластичности и удельного сцепления (для связных грунтов).

Кроме того, следует отбирать образцы для определения физико-механических и теплофизических характеристик грунтов Но их определяют только по образцам, отобранным по выбранным вариантам перехода. Образцы с забракованных вариантов перехода ликвидируются.

В мерзлых грунтах из каждой скважины дополнительно отбираются образцы на: суммарную весовую влажность и влажность минеральных прослоев грунта; суммарную и минеральную плотность грунта.

26. Для определений плотности, прочности и деформативности из глинистых грунтов несущих слоев оснований отбирают образцы ненарушенного сложения. Монолиты грунтов твердой, полутвердой и тугопластичной консистенции отбирают обуривающими грунтоносами, мягко- и текучепластичной консистенции—задавливаемыми грунтоносами. Высоту монолитов принимают не менее 20—25 см, диаметр—не менее 10 см.

Образцы для определения плотности мерзлых грунтов должны отбираться и транспортироваться без допущения их оттаивания. Количество образцов и частных определений характеристик грунтов для каждого выделенного инженерно-геологического элемента должно быть не менее 6 и обеспечивать требования СНиП 2.02.01—83 [72] и ГОСТ 20522—75 по достоверному определению нормативных и расчетных значений.

Крупнообломочные грунты характеризуются валовыми пробами.

27. Для грунтов всех пройденных слоев определяют номенклатурные классификационные характеристики:

для песков: гранулометрический состав, естественную влажность, плотность, фильтрационные свойства;

для связных грунтов: пределы пластичности, естественную влажность, плотность, удельные нормативные сцепления;

для крупнообломочных грунтов: гранулометрический и петрографический состав;

для полускальных и скальных грунтов: петрографический состав, плотность, плотность частиц, водопоглощение, пределы прочности при сжатии в сухом и водонасыщенном состоянии. Определяют прочностные и деформационные характеристики грунтов с помощью лабораторных и полевых испытаний грунтов (в состоянии их естественного залегания).

В условиях работы на вечномерзлых грунтах при отсутствии специальных контейнеров, обеспечивающих мерзлое состояние образцов при транспортировке их в лабораторию, плотность грунтов должна определяться непосредственно у скважин, сразу же после отбора мерзлых монолитов.

28. Объемы и виды полевых испытаний грунтов (зондирование, вращательный срез, прессиометрия и др.) назначают в зависимости от характера грунтов несущего слоя основания. Точки полевых испытаний грунтов располагают, как правило, рядом со скважинами или непосредственно в скважинах, когда это необходимо, чтобы дополнить данные бурения прочностными и деформативными свойствами грунтов, полученными при полевых испытаниях.

Глинистые грунты мягко- и текучепластичной консистенции целесообразно испытывать лопастными прессиометрами, прессиометрами—сдвигомерами и крыльчатками.

В районах распространения вечномерзлых грунтов методы полевых исследований назначают в зависимости от выбранного принципа использования грунтов в качестве основания и подбирают в соответствии с табл. 42 СНиП 1.02.07—87 [69].

Термокаротажные работы проводят для определения температурного режима грунтов и выполняют во всех скважинах в соответствии с требованиями ГОСТ 25358—90 согласно СНиП 1.02.07—87.

29. В тех случаях, когда несущими будут лессовые грунты, определяют их относительную просадочность и параметры прочности в водонасыщенном состоянии.

30. Воды русла и всех подземных водоносных горизонтов опробывают для определения степени агрессивности водной среды к бетону. Ведут режимные и температурные наблюдения за водами. Определяют количественный и качественный состав водных вытяжек из засоленных грунтов.

31. Устанавливают возможность и условия получения ископаемых строительных материалов, необходимых для строительства мостового перехода из местных действующих карьеров, согласовывают сроки и объемы их поступления. Если это почему-либо невозможно или получаемые объемы недостаточны, ведут поиски и разведку месторождений согласно указаний ВСН 182—74. На наиболее перспективных по качеству материала, запасам, доступности и условиям разработки месторождениях проводят предварительную (рекогносцировочную) разведку участков.

По данным рекогносцировочной разведки определяют целесообразность детальной разведки в совокупности с другими показателями рекомендуемого варианта мостового перехода

Кроме того, производят поиск и разведку притрассовых карьеров грунта для устройства насыпей на подходах к мосту, в том числе карьеров, разрабатываемых способом гидромеханизации

32 Параллельно с полевыми работами ведут камеральную обработку материалов изысканий Составляют инженерно-геологические или мерзлотные инженерно-геологические карты, продольные и поперечные геологические разрезы по вариантам мостового перехода В пояснительной записке проводят сравнение вариантов мостовых переходов и дают рекомендации по выбору типа основания моста и обеспечению устойчивости других сооружений мостового перехода Намечают и уточняют объемы дополнительных работ по выбранному варианту

33 Для районов распространения вечномерзлых грунтов производят оценку разведанных вариантов мостовых переходов и обосновывают выбор наилучшего из них, для чего каждый выделенный в пределах конкретного варианта инженерно-геологический тип оценивают по величинам суммарной влажности; количеству ледяных включений (объемной льдистости), среднегодовым температурам грунта, нормативным глубинам сезонного оттаивания

Кроме того, следует составлять прогноз многолетнего оттаивания грунтов при удалении снега и растительности (многолетнего промерзания на встреченных талых грунтах)

Наилучшими считаются участки, где суммарная влажность грунтов и количество ледяных включений являются наименьшими Так как проектируемые мосты характеризуются минимальным тепловыделением, то благоприятными являются также участки с минимальными (самыми низкими) среднегодовыми температурами грунта и наименьшими нормативными глубинами оттаивания

34 Отчет об изысканиях для выбора варианта мостового перехода составляется в соответствии с требованиями СНиП 1 02 07—87 и РСН 31—83 [44]

Б Работы на выбранном варианте мостового перехода

35 Работы на этой стадии включают получение инженерно-геологической и гидрологической информации, необходимой для проектирования всего комплекса сооружений мостового перехода с учетом требований вариантных проработок отдельных его элементов,

составление прогноза изменения окружающей среды при рассмотрении различных вариантов проектных решений по разработке конструкции моста, подходов к нему, регуляционных и других сооружений мостового перехода,

обеспечение планируемого строительства местными стройматериалами и карьерами грунта для устройства земляного полотна

36 В задачи работ входят

построение детальных инженерно-геологических разрезов по участку мостового перехода, включая подходы к мосту и различные постоянные временные сооружения,

определение состава, сложения, состояния и свойств грунтов оснований всех сооружений, выемок на подходах к мосту, карьеров грунта и строительных материалов, из которых будут возведены подходные насыпи, дамбы, регуляционные и укрепительные сооружения, детально изучают состав и свойства грунтовых и поверхностных вод,

изучение развитых на участке перехода различных физико-геологических процессов и явлений

Задачей инженерно-геологических изысканий на выбранном варианте моста в условиях распространения вечномерзлых грунтов является определение инженерно-геологических мерзлотных условий площадки, необходимых и достаточных для

размещения проектируемого мостового перехода в пределах выбранного створа,

разработки мероприятий по инженерной подготовке площадок строительства,

разработки технических решений оснований и фундаментов проектируемых опор и береговых устоев и обусловленных этим эксплуатационных мероприятий,

разработки мероприятий по охране и рекультивации геологической среды

37 Техническое задание на инженерно-геологические работы по выбранному варианту мостового перехода должно содержать топопланы с указанием местоположения моста и других сооружений мостового перехода, перечень требуемых для проектирования характеристик грунтов, рекомендации о проведении специальных, полевых и опытных исследований в связи с особенностями инженерно геологических условий участка, требования к качеству и запасам ископаемых строительных материалов и карьеров грунта

Для районов распространения вечномерзлых грунтов техническое задание дополнительно должно содержать

особые требования к грунтам оснований для каждого проектируемого сооружения,

особые соображения по принципу использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований и по предпочтительному типу фундаментов;

характеристику температурного режима инженерных коммуникаций и предпочтительные способы их прокладки,

физические и теплофизические характеристики материала фундаментов, инженерных коммуникаций,

материалы изысканий по выбору варианта мостового перехода, если изыскания проводились другой организацией

38 Изыскания на выбранном варианте заключаются в определении и типизации ее инженерно-геологических и мерзлотных условий и в оценке вероятной изменчивости этих условий при

строительстве и эксплуатации сооружений проектируемого мостового перехода.

В состав работ входят:

геофизические исследования;

разведочное бурение и горнопроходческие работы с отбором образцов грунтов и проб воды из выработок;

полевые испытания грунтов оснований сооружений для получения прочностных и деформационных характеристик;

гидрогеологические и температурные наблюдения в скважинах, а также режимные наблюдения за развитием и протеканием некоторых неблагоприятных геологических процессов;

лабораторные исследования образцов грунтов и проб воды;

камеральная обработка материалов изысканий с составлением инженерно-геологического отчета.

Состав и объемы работ по выбранному варианту могут быть уменьшены, если аналогичные работы были выполнены на предыдущих стадиях и этапах в необходимых объемах.

39. На участке выбранного варианта ставят дополнительные к ранее проведенным (на первом этапе изысканий) геофизические исследования с целью уточнения положения контактов пластов, степени трещиноватости пород, местонахождения, форм и размеров разных образований (полостей, линз льдов и др.) на берегах и в русле реки, а также границ и контуров участков, выделенных по особенностям их инженерно-геологических условий.

40. Геофизические работы производят с учетом указаний п. 14 настоящего параграфа. Электрическое профилирование выполняют на берегах по взаимно перпендикулярным поперечникам, расстояние между которыми в зависимости от степени однородности ландшафта должно составлять 50—100 м с шагом профилирования 5—10 м. При этом учитываются электропрофили, пройденные при выборе варианта перехода.

Точки ВЭЗ и ЧЭМЗ размещают по сетке 100×100 или 50×50 м в зависимости от степени однородности ландшафта. Дополнительно геофизическое зондирование производят у скважин, которые рассматриваются как опорные при интерпретации материалов зондирования. Число таких точек зондирования—2—3 на каждом ландшафтном типе. Глубина зондирования назначается, исходя из превышения максимальной глубины скважин не менее чем на 10—15 м.

41. В пределах проектируемого моста, на подходах к нему и в местах размещения проектируемых регуляционных, защитных и других сооружений каждый из выделенных при выборе вариантов перехода участков должен быть разведан выработками, количество которых для простых условий строительства должно соответствовать табл. 5.1.

Для сложных инженерно-геологических условий строительства количество скважин для каждого выделенного участка может быть увеличено на 1—2, а в отдельных случаях дополнительно могут быть заданы скважины на поперечниках к оси моста.

Таблица 51

Длина выделенного участка на морфологическом элементе в пределах сооружения или подходов, м	Число выработок в русле и на каждом берегу реки	
	в пределах проектируемого моста	на подходе, регуляционном или защитном сооружении
25	1	1
25—50	1—2	1
50—100	2—3	1—2
100—500	3—5	2—3
500	не реже чем через 100 м	не реже чем через 200 м

Размещение скважин следует производить с учетом результатов проведенных геофизических работ и, преимущественно, между точками геофизического зондирования.

В случае применения геофизических методов число выработок может быть сокращено на 20—30%.

В руслах бурят с понтонов, плотов, а в зимний период—со льда.

42. Глубину разведочных скважин в пределах моста определяют в соответствии с п. 8 параграфом 5.2. Глубину разведочных скважин в основании подходных насыпей, регуляционных и защитных сооружений при их высоте до 6 м и надежном основании назначают в 3—4 м, а при большой высоте—до 6 м. При наличии слабых грунтов в основании сооружений их проходят на всю мощность, но не более полуторной высоты проектируемой насыпи; участки проектируемых выемок разведуют на всю глубину последних плюс 3 м.

Если принципиальная схема моста на этапе изысканий уже определена (известно положение и конструкция опор и устоев), то под каждую опору следует бурить скважины, число и глубину которых необходимо определять по табл. 5.2.

Таблица 52

Инженерно геологические характеристики оснований проектируемых устоев и опор моста	Число скважин под каждую опору	Глубина разведки
1. Массивные, равномернотрещиноватые или слабо выветрелые неразмягчаемые скальные и полускальные не карстующиеся породы с горизонтальным или пологонаклонным залеганием пластов и кровли толщ	1—2*	Не менее чем на 2 м ниже предполагаемой отметки заложения подошвы фундаментов
2. Слои песчано-глинистых отложений с горизонтальным или пологонаклонным залеганием, гравийные, гравийно-галечниковые и моренные отложения	1—2*	Не менее чем на 5 м ниже предполагаемой отметки заложения подошвы фундаментов или острия свай

Инженерно геологические характеристики оснований проектируемых устоев и опор моста	Число скважин под каждую опору	Глубина разведки
3 Пески средней плотности от крупных до мелких, глинистые грунты от твердой до тугопластичной консистенции, твердомерзлые песчано глинистые грунты	1—2*	Не менее чем на 10 м ниже предполагаемой отметки острия свай
4 Массивные, выветрелые и размягчаемые скальные породы от малопрочных до весьма низкой прочности с горизонтальным или пологонаклонным залеганием		
а) без прослоев слабых грунтов	1—2*	Не менее чем на 5 м ниже отметки заложения подошвы фундаментов или острия свай
б) с прослоями слабых грунтов 20%	1—2*	То же, на 10 м
5 Слабые глинистые грунты текучей консистенции, текуче- и мягкопластичнои консистенции, сапропель, ил	1—2*	***
6 Падение пластов и уклоны поверхности кровли толщи прочных грунтов превышает 10°, имеются карманы выветрелых пород и глубокие размывы	3	Не менее чем на 5 м ниже предполагаемой отметки подошвы фундаментов или острия свай
7 В массиве грунтов имеются поверхности скольжения оползней, селей и осыпей	2– 3**	***
8 В массиве имеются тектонические разрывы, зоны дробления, истирания, смятия и скольжения	2—3**	Не менее чем на 5 м ниже зоны нарушения, но не более 50 м
9 В толще известняков, доломитов, мергелей и других пород имеются карстовые полости	2—3**	Не менее чем на 10 м ниже горизонта карстования
10 Имеются линзы и слои каменной соли, гипса, ангидрида, солегипсоносных пород	1—3*	***

* По длинной стороне опоры до 15 м следует бурить одну скважину, при большей длине—две и более так, чтобы расстояние между скважинами не превышало 20 м

** При невязке геологического разреза между пробуренными скважинами их количество следует увеличить

*** Глубины скважин следует устанавливать по специальным программам, исходя из особенностей инженерно-геологических условий и типа оснований, а в районах распространения вечномерзлых грунтов—согласно требованиям п 8 параграфа 5 2

43. Карьеры песчаных грунтов, намечаемые для гидромеханизированной разработки, разведывают в зависимости от изменений толщи полезного ископаемого по сетке от 50×50 до 100×100 м на глубину предполагаемой выработки или до подошвы толщи. Определяют гранулометрический состав, оптимальную влажность и максимальную плотность материала, а если проектируемая насыпь или дамба высотой более 12 м, то и прочностные характеристики грунта при плотности, предусматриваемой проектом.

44. При пересечении подходными, защитными и другими сооружениями проток, староречий, участков со слабыми грунтами, болот их зондируют проходкой отдельных скважин (торф, илы, сапропели на всю глубину, заглубляя выработки на 1—2 м в плотные, подстилающие породы минерального дна). На длине участка пересечения, меньшей 100 м, закладывают три поперечника из трех-пяти скважин: в начале, середине и конце болота или старицы. При бóльшей протяженности таких участков зондировочное бурение выполняют через каждые 50 м.

Участки развития карста, суффозии, оползней и эрозии на берегах и в русле реки, подземных льдов, обвальные, закурумленные, осыпные и оползневые склоны, растущие овраги обследуют по индивидуальным программам.

В районах распространения вечномерзлых грунтов во всех скважинах выполняют термокаротажные работы.

45. На участке проектируемого моста, на подходах к мосту и местах размещения проектируемых защитных и регуляционных сооружений отбирают пробы грунта из каждого вскрытого выработками слоя. Для всех грунтов определяют влажность через каждые 0,5 м по глубине разведываемой толщи. Для песков определяют послойно: гранулометрический состав, плотность, угол откоса; для связных грунтов—пределы пластичности, модуль деформации, угол внутреннего трения и сцепление; для грунтов, укладываемых в тело земляных сооружений—оптимальную влажность и максимальную плотность. Для расчета размывов определяют гранулометрический состав несвязных и сцепление связных грунтов. Если проектируемые насыпи и дамбы выше 12 м, то испытывают на сопротивление быстрому неконсолидированно-недренированному сдвигу грунты тела проектируемых насыпей и дамб при проектной плотности и влажности, а для участков подтопления при водонасыщении образцов. По данным испытаний устанавливают расчетные параметры природной прочности и сжимаемости слабых, текуче- и мягкопластичных связных грунтов оснований земляных сооружений (такие грунты можно испытывать на сопротивление быстрому сдвигу в лаборатории или крыльчаткой в массиве).

46. Полевые испытания водопроницаемости, прочности и сжимаемости грунтов несущей толщи назначают в тех случаях, когда трудно или невозможно отобрать образец песка, ила и других грунтов ненарушенного сложения или требуется определить характеристику породы в массиве.

Модуль деформации грунтов определяют статической пенетрацией грунтов, пробными нагружениями пород в шурфах и скважинах штампами или испытаниями прессиометрами. По данным этих испытаний получают показатели природной прочности и сжимаемости грунтов.

В лаборатории могут быть установлены также параметры задаваемой проектом или ожидаемой в эксплуатации прочности грунтов насыпей, дамб и их оснований при плотности и влажности, отличающихся от естественных.

В местах, где при вскрытии котлованов под устои проектируемого моста можно ожидать значительного водопритока, для установления размеров водоотлива и мощности напосов проводят опытные откачки.

47. В районах распространения вечномерзлых грунтов виды полевых испытаний грунтов устанавливают программой изысканий в зависимости от проектируемого принципа использования грунтов в качестве оснований.

При проектируемом строительстве на мерзлых грунтах по принципу I наиболее распространенным типом фундаментов является свайный.

В соответствии с действующими нормативными документами несущая способность основания вертикально нагруженной сваи может быть определена либо расчетом с использованием табулированных значений расчетных сопротивлений мерзлого грунта под нижним концом сваи и по ее боковой поверхности, либо по результатам испытаний свай вдавливающей нагрузкой.

При использовании грунтов по принципу II деформативные характеристики грунтов оснований назначают по результатам их определения нагреваемым штампом.

48. Режимные наблюдения за развитием карста, смещением оползней, прохождением селей, эрозионными и другими неблагоприятными явлениями проводят только при значительных размерах и интенсивности проявления этих процессов, когда они требуют в проектах дорогостоящих мероприятий.

В районах распространения вечной мерзлоты проводят стационарные наблюдения за температурой вечномерзлых грунтов, динамикой их сезонного оттаивания и промерзания, развития криогенных процессов и образований согласно требований п. 3.110 СНиП 1.02.07—87 [69].

49. При проектировании моста или других сооружений мостового перехода составляют продольный инженерно-геологический профиль и поперечные разрезы.

Обобщенные значения величин параметров прочности и сжимаемости несущих слоев оснований представляют в табличной форме.

Эти величины получают при обработке частных значений показателей свойств грунта каждого отдельно взятого инженерно-геологического элемента массива (пласта, линзы породы) на каждом проектируемом сооружении мостового перехода.

Составляют паспорта с подсчетом запасов и качественными характеристиками ископаемых строительных материалов и грунтов.

50. При мерзлотном инженерно-геологическом районировании следует составлять карту районирования в масштабе 1 : 5000—1 : 2000.

При составлении прогноза изменения мерзлотных инженерно-геологических условий следует выполнять для каждого типа участков:

определение глубин сезонного оттаивания или промерзания грунтов при удалении снега и растительности с их поверхности;

сравнительную оценку изменений температурного режима и свойств грунтов при строительстве и эксплуатации сооружений с сохранением вечномерзлого состояния грунтов оснований и без такого сохранения, а также оценку возможности развития мерзлотных физико-геологических процессов при этом;

определение изменения сейсмичности грунтов на различных участках площадки в зависимости от изменений инженерно-геологических и мерзлотных условий в связи со строительством и эксплуатацией сооружений (в сейсмических районах).

51. Прогноз изменения температурного режима грунтов оснований или составляющих температурного режима (глубин оттаивания грунтов под насыпью или отдельными сооружениями) следует определять путем теплотехнического расчета аналитически (например, по соответствующим формулам главы СНиП), моделированием или численными методами с использованием ЭВМ.

52. По результатам всех выполненных изысканий составляют заключение об инженерно-геологических условиях района и участков мостового перехода.

В его общей части характеризуют рельеф и геоморфологию, геологическое строение, гидрогеологические условия района, проводят инженерно-геологическое сравнение вариантных проработок отдельных элементов мостового перехода.

В специальной части описывают инженерно-геологические условия участка выбранного мостового перехода. Здесь содержатся разделы: геологическое строение, состав, сложение и свойства грунтов, подземные воды, физико-геологические явления, рекомендации по выбору типа основания опор и устоев моста и способам производства строительных работ, рекомендации по конструкции земляного полотна на подходах к мосту и других сооружений мостового перехода, рекомендации к расчету их устойчивости и технологии строительства, характеристики состава местных ископаемых строительных материалов, запасы и положение их месторождений.

Для районов распространения вечномерзлых грунтов текст заключения дополнительно должен содержать сведения, изложенные в п. 2.35 и п. 3.19 РСН 31—83 [44].

53. Текст заключения иллюстрируют фотографиями, зарисовками, картами и разрезами. К заключению прилагают:

карту фактического материала;

карту или план района с нанесенными вариантами мостового перехода в масштабе 1 : 5000—1 : 2000;

каталог выработок;

инженерно-геологические карты района и участков мостовых переходов разных масштабов;

продольные геолого-литологические разрезы по всем вариантам и выбранному варианту перехода, поперечные разрезы по ним;

колонки выработок и обнажений;

геоэлектрические разрезы, электро- и сейсмопрофили и другие результаты геофизических исследований;

схему расположения месторождений и действующих карьеров местных строительных материалов и грунтов для гидронамывных и сухих способов устройства подходных насыпей и дамб;

паспорта месторождений строительных материалов и грунтов;

таблицы и паспорта результатов испытаний грунтов в массиве;

таблицы и графики опытных откачек и режимных наблюдений;

результаты химических анализов агрессивных русловых и подземных вод;

таблицы обобщенных значений показателей свойств грунтов;

петрографические описания шлифов пород;

список использованных литературных источников, фондовых и отчетных материалов.

Для районов распространения вечномерзлых грунтов прилагаются дополнительно:

карта ландшафтного районирования в масштабе 1 : 5000—1 : 2000 с легендой;

карта мерзлотного инженерно-геологического районирования в масштабе 1 : 5000—1 : 2000;

таблица мерзлотного инженерно-геологического районирования;

таблица и графики результатов прогноза;

мерзлотные инженерно-геологические разрезы;

таблицы и графики термокаротажных работ.

5.4. Изыскания для рабочей документации (рабочего проекта)

1. После того, как на стадии проекта или ТЭО установлена схема моста и определено положение его опор, основная цель инженерно-геологических изысканий состоит в обосновании проектных решений по составлению рабочих чертежей фундаментов опор и способов их возведения.

При экспертизе технического проекта Заказчиком могут быть приняты отдельные решения по изменениям положения проходов, высоты проектной линии, принципиальной схемы и длины проектируемого моста, некоторым другим параметрам мостового перехода. В связи с этим проводят дополнительные инженерно-геологические изыскания.

Другой целью этих изысканий является инженерно-геологическое обоснование строительства и временной эксплуатации соору-

жений, проектируемых на строительной площадке у моста и на месторождениях ископаемых строительных материалов и карьеров грунта.

При изысканиях используется топооснова масштаба не мельче 1 : 2000.

При изменениях местоположения отдельных элементов мостового перехода проводят дополнительно изыскания на новых местах их расположения.

При изысканиях для рабочей документации (рабочего проекта) проводится детальная разведка, а в случае необходимости, доразведка месторождений строительных материалов и карьеров грунта.

Одновременно решают вопросы обследования состояния подъездных путей от карьеров грунта и месторождений к мостовому переходу.

В районах распространения вечномерзлых грунтов задачей инженерно-геологических изысканий на конкретных участках размещения проектируемых опор, устоев и других сооружений мостового перехода является детализация мерзлотных инженерно-геологических условий этих участков, достаточная для составления рабочей документации оснований и фундаментов и прочих необходимых мероприятий, выполняемых в соответствии с проектом строительства.

2. В техническом задании на инженерно-геологические работы должны содержаться плановые материалы с окончательными данными положения моста, его опор, регуляционных и защитных сооружений, подходов к мосту и временных обустройств для осуществления строительств, включая подъездные пути и дороги; приведены данные о конструкции и о величине нагрузок, передаваемых на грунты оснований; указаны необходимые для расчета оснований характеристики грунтов по всем инженерно-геологическим элементам, которые будут воспринимать нагрузки от устоев и опор моста, других постоянных и временных сооружений мостового перехода; рекомендованы специальные работы, необходимость которых может возникнуть в связи с особенностью инженерно-геологических условий мест расположения сооружений и способов производства строительных работ.

Для районов распространения вечномерзлых грунтов согласно п. 3.112 СНиП 1.02.07—87 техническое задание дополнительно должно содержать сведения о принятом принципе использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований.

3. В программе работ приводят краткие характеристики инженерно-геологических условий участков всех проектируемых сооружений и устанавливают объемы, сроки и методы проведения работ. Программу согласовывает главный инженер проекта и утверждает руководство проектно-изыскательской организации.

4. Основными видами инженерно-геологических работ при выполнении изысканий являются: разведочное бурение, проходка шурфов (шахт), испытания грунтов в массиве, опытные работы,

лабораторные исследования и камеральная обработка результатов.

В районах распространения вечномерзлых грунтов выполняют термокаротажные работы во всех пройденных скважинах.

5. Примерные объемы разведочных работ на площадке устройства основания одной опоры (устоя) моста для различных инженерно-геологических условий указаны в табл. 5.2. Если на площадку проектируемой опоры попали выработки, пройденные ранее, объемы планируемой разведки и отвечающего ей опробования вскрываемых грунтов и вод соответственно сокращают.

Одну скважину проходят по центру площади проектируемого контура фундамента опоры. Две скважины размещают за пределами контура опоры, на расстоянии от него до 1—2 м по продольной (вдоль течения) оси опоры и на равных расстояниях от оси моста. При проходке трех скважин, две из них размещают параллельно оси опоры, вдоль длинной стороны, а третью—по оси моста, но все за пределами контура опоры и на расстоянии 1—2 м от него. В плане скважины должны образовывать треугольник. При четырех скважинах располагают по две скважины на оси моста и оси опоры, но за пределами ее контуров и на расстоянии 1—2 м от них.

В тех случаях, когда разведка обнаружила в расстоянии до нескольких метров от опоры моста карстовые полости, подземные льды или слабые грунты, для определения точного положения и размеров этих образований закладывают дополнительные скважины в стороне от опор проектируемого моста.

6. Глубины скважин устанавливают в соответствии с проектом оснований и фундаментов.

На немерзлых грунтах глубины скважин назначают согласно требований пп. 3.40, 3.64, 3.67 СНиП 1.02.07—87.

В районах распространения вечномерзлых грунтов глубину скважин устанавливают согласно требований п 3.98 и п. 3.115 СНиП 1.02.07—87.

7. В соответствии с пп. 3.97 и 3.109 СНиП 1.02.07—87 во всех скважинах, пройденных на площадках, должны выполняться замеры температур.

8. При использовании в качестве основания грунтов в пластичномерзлом, оттаивающем или оттаявшем состоянии, кроме случаев проектирования висячих свай в пластичномерзлых грунтах, если это диктуется необходимостью, проходят шурфы, как правило, чередуя их со скважинами. В них проводят полевые опытные работы (испытания штампами, в том числе и горячими, пинетрация и др.), отбирают монолиты мерзлых грунтов для более детального изучения геологического разреза. В мерзлых крупнообломочных грунтах из шурфов производят отбор пород на влажность (льдистость) и плотность, что невозможно определить по опробованию из скважин.

9. Глубина шурфов при использовании пластичномерзлых грунтов в качестве оснований определяется мощностью сжимае

мой толщи, а при использовании оттаивающих грунтов—предельным положением подошвы чаши оттаивания, установленной проектом.

При проходке шурфов взамен скважин в твердомерзлых грунтах их глубину определяют глубиной заложения свай, а при прочих типах фундаментов она должна быть на 1,0 м больше глубины заложения фундаментов.

Шурфы после проходки и выполнения полевых опытных работ или отбора образцов следует ликвидировать с послойным уплотнением засыпки.

10. Из скважин отбирают образцы, монолиты пород и пробы воды для лабораторных исследований в том же составе и объемах, что для стадии проекта (см. пп. 23—26 параграфа 5 3), опробуя каждую выработку. Должен быть опробован каждый инженерно-геологический элемент вскрываемой толщи грунтов. Для всех грунтов ненарушенного сложения в состоянии естественной влажности определяют параметры природной прочности. Глинистые грунты несущей толщи испытывают на сжимаемость; для набухающих грунтов определяют влажность, величину и давление набухания; для просадочных—относительную просадочность. Устанавливают растворимость и размягчаемость в воде полускальных (скальных) соле-гипсоносных и карбонатных пород.

Порядок отбора проб грунтов для лабораторных испытаний, их количество для статистической обработки и виды лабораторных испытаний те же, что для стадии проекта (см. пп. 23—26 параграфа 5.3). В обработку включают результаты лабораторных и полевых (в массиве) испытаний грунтов несущей толщи, выполненных на всех стадиях и этапах изысканий: разработки предпроектной документации, проекта и рабочей документации.

Для некоторых грунтов причины набухания, склонность которых к быстрому выветриванию и выщелачиванию не выяснена (монтмориллонитовые и бентонитовые глины, аргиллиты, засоленные и другие породы), возникает необходимость минералопетрографического анализа, определения состава и степени засоления, состава поглощенных катионов, химического анализа и др.

Если проектом предусмотрено строительство на оттаивающем или предварительно оттаянном основании, из скважин и шурфов следует производить также отбор образцов для определения органических включений в количестве не менее шести образцов на каждый инженерно-геологический элемент.

11. Испытания грунтов в массиве и опытные работы производят в том же составе и объемах, что при изысканиях для проекта (см. пп. 28 параграфа 5 3) Режимные наблюдения проводят в соответствии с п. 3.110 СНиП 1.02 07—87.

Для проведения лопастных, штамповых и прессиометрических испытаний, опытных откачек, гидрогеологических и температурных режимных наблюдений, изменений оползневых подвижек на склонах и в русле реки оставляют специальные скважины. Все

остальные, а также и оставшиеся после полевых испытаний выработки ликвидируют, заполняя скважины по мере извлечения обсадных труб уплотняемыми связными грунтами (тампонируют).

В перспективе по окончании режимных наблюдений ликвидируют таким же путем и специальные скважины.

12. Опытные полевые работы на вечномерзлых грунтах выполняют для определения деформационных характеристик пластичномерзлых, оттаивающих и предварительно оттаянных грунтов, а также для определения несущей способности свай в пластичномерзлых грунтах.

При использовании грунтов в качестве оснований в пластичномерзлом состоянии выполняют:

а) для свай—испытания их несущей способности статической нагрузкой;

б) для других типов фундаментов—испытания грунтов штампами со статическими нагрузками.

При использовании грунтов в качестве оснований в оттаивающем или предварительно оттаянном состоянии коэффициенты оттаивания и уплотнения грунтов устанавливают испытаниями статической нагрузкой на «горячие» штампы.

Количество и места испытаний назначают по согласованию с Заказчиком и особо оговаривают в программе.

13. Испытания грунтов статической нагрузкой обычными и «горячими» штампами производят в шурфах на всю глубину сжимаемой толщи. При испытаниях пластичномерзлых грунтов определяют послойно их коэффициент сжимаемости, при испытаниях мерзлых грунтов «горячими» штампами раздельно определяют коэффициенты оттаивания и сжимаемости для каждого слоя.

Количество этих испытаний по каждому инженерно-геологическому элементу устанавливается программой работ, исходя из требований СНиП по проектированию зданий и сооружений.

14. На участках перетрассировок, изменения положения защитных и регуляционных сооружений инженерно-геологические работы выполняют в том же составе, что для проекта. Объемы работ должны быть достаточными для окончательного принятия наиболее экономичных и надежных проектных решений по каждому отдельному сооружению мостового перехода.

15. Строительные площадки у моста и карьеров, где будут размещаться здания и временные сооружения, при наличии плотных грунтов и положения максимального уровня грунтовых не ближе 2 м от поверхности земли разведуют по контурам сооружений скважинами глубиной 10—12 м. Грунты каждого вскрытого при этом слоя опробуют, определяя их номенклатурные строительные характеристики (плотность, влажность, пределы пластичности, гранулометрический состав и др).

16. По результатам инженерно-геологического изучения оснований опор моста составляют уточненные продольные геолого-литологические разрезы мостового перехода, поперечные разрезы

под каждой опорой (устоем) и дают описание выявленных инженерно-геологических условий.

17. Состав и содержание технического отчета (заключения) по инженерно-геологическим изысканиям на стадии рабочей документации должен соответствовать требованиям прил. 9 и п. 3.116 СНиП 1.02.07—87 [69].

В дополнение к требованиям СНиП 1.02.07—87 по данным изысканий местных строительных материалов и грунтов для устройства подходов и других земляных сооружений составляют в отчете отдельный раздел.

Глава 6 НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОЕКТОВ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

6 1 Цели, организация и методы исследований

1 Под научным сопровождением проектов мостовых переходов понимается проведение исследований и специальных расчетов с целью определения, уточнения или обоснования гидрологических параметров, размеров и компоновки сооружений, учета особенностей протекания потока и др факторов, влияющих на принятие проектных решений

2 К научному сопровождению необходимо прибегать при проектировании мостовых переходов через крупные реки (с шириной русла свыше 200—250 м), групповых отверстий, а также переходов, которые будут работать в сложных климатических, ситуационных, гидрологических и прочих условиях, трудно учитываемых существующими на момент проектирования методами расчета В указанных случаях проведение исследований является экономически оправданным, т к их результаты обычно позволяют снизить стоимость объекта на сумму, не менее чем в пять шесть раз превышающую затраты на исследования

Результаты исследований, даже в тех редких случаях, когда не приводят к экономическому эффекту, позволяют проектировщикам более обоснованно принимать (а на последующих стадиях защищать) те или иные технические решения

3 Научное сопровождение проводится обычно на стадии ТЭО или проекта специализированными организациями, располагающими лабораторной базой, измерительной аппаратурой, вычислительной техникой и кадрами соответствующей квалификации

Желательно, чтобы профиль организации, проводящей исследования, был близок к проблемам мостовых переходов Это приводит к более тесному и эффективному сотрудничеству при решении всего комплекса задач

4 Проведение исследований должно быть предусмотрено в смете на выполнение проектных работ На стадии составления сметы могут быть учтены три этапа исследований

сбор данных и подготовка к работе «объекта» для изучения гидравлико-гидрологических явлений, причем в качестве объекта может служить в зависимости от метода исследовании физическая или математическая модель,

производство расчетов или экспериментов,

анализ результатов исследований с составлением научно технического отчета и рекомендаций

Полная стоимость исследований обычно определяется на договорных началах

Время, необходимое для выполнения исследовании, связано с объемом и сложностью решаемых задач, а также с принятой методикой исследований обычно от четырех до 12 месяцев

5. Договор на выполнение исследований должен включать, наряду с финансовыми документами «Программу работ», которую согласовывают с Заказчиком (проектной организацией). Программа должна содержать: обоснование необходимости исследований; цели и методику проведения работ; круг конкретных вопросов, на которые предполагается дать ответ; сроки представления материалов Заказчику.

6. Основным методом исследований задач проектирования мостовых переходов является моделирование гидравлических явлений и перенос полученных сведений в натурные условия. Моделирование подразделяют на физическое и математическое.

Физическая модель представляет собой лабораторную установку (гидравлический лоток, русловую площадку, воздушно-напорную установку), на которой могут быть воспроизведены в уменьшенном масштабе исследуемые процессы, протекающие в натуре. Математической моделью называется замкнутое непротиворечивое математическое описание (с помощью формул дифференциальных и интегральных уравнений и т. п.) изучаемого явления.

С развитием вычислительной техники все большее внимание уделяется математическим моделям, реализующим заданные уравнения и соотношения путем последовательного выполнения математических операций.

7. Сравнительный анализ возможностей применения физического и математического моделирования показывает, что каждый из видов моделирования имеет свои достоинства и недостатки. Результаты, полученные на физических моделях, обычно справедливы в относительно небольшом диапазоне изменения физических условий. Основная трудность при проведении физического моделирования связана с удовлетворением критериев подобия и пересчете опытных данных в натуру.

Математическое моделирование выгодно отличается от физического полным отсутствием так называемого масштабного эффекта, а также возможностью варьировать значения определяющих параметров задачи в широких пределах. Однако следует помнить, что любая математическая модель является лишь той или иной степенью приближения к описанию реальных физических процессов и не может учесть влияния всех факторов. Практика показывает, что наиболее полные и достоверные результаты можно получить сочетанием физического и математического моделирования, когда один и тот же объект моделируется обоими способами целиком или фрагментарно.

8. Для исследования на моделях требуются обычно следующие исходные данные:

а) план моделируемого участка реки. В зависимости от ширины речной долины B требуемый масштаб плана (карты) участка реки должен быть не мельче:

B, км	<1	1—2	3—5	⩾10
1 : M	1 : 1000	1 : 2000	1 : 10000	1 : 25000

При использовании карт ($B \geqslant 3$ км) необходимо иметь промеры глубин в характерных створах русел и протоков на всем протяжении моделируемого участка;

б) связь расходов воды с уровнями в створе моста и данные об уклоне свободной поверхности в паводок с целью возможности переноса отметки уровня на нижнюю границу модели;

в) характеристика грунтов в русле и на пойме в толще возможного размыва;

г) полевые (особенно гидрометрические) материалы о распределении расходов воды между руслом, поймами и протоками; геоботаническая характеристика морфологически однородных участков речной долины для выявления коэффициентов шероховатости и пр.;

д) проектные решения.

6.2. Физическое моделирование

1. Физические модели устраивают в гидравлических лотках или открытых русловых площадках (гидравлические безнапорные модели) и на воздушно-напорных установках (аэродинамические модели), в которых вода моделируется воздухом.

Гидравлические модели могут быть жесткие и размываемые; аэродинамические—жесткие.

Жесткие модели позволяют определять направление токов и распределение скоростей потока, а жесткие гидравлические—картину водной поверхности, включая волновые воздействия. Размываемые модели дополнительно дают количественную оценку русловым деформациям с учетом времени воздействия расхода воды.

2. Физическое моделирование [93] основывается на теории подобия. При моделировании гидравлических явлений стремятся обеспечить механическое подобие, включающее: геометрическое, кинематическое (поля скоростей потока в пространстве и во времени) и динамическое подобие (подобия систем действующих сил различной физической природы—инерции, тяжести, давления, вязкости и т. д.).

Механическое подобие изучаемых гидравлических явлений у мостовых переходов для потоков натуры и модели обеспечивается при геометрическом подобии и равенстве (idem) чисел Фруда Fr, Рейнольдса Re и приведенного коэффициента гидравлического трения $\lambda_п$:

$$\mathrm{Fr} = v^2/gH = \mathrm{idem};\quad \mathrm{Re} = vH/\nu = \mathrm{idem};\quad \lambda_п = \lambda \frac{B}{H} = \mathrm{idem},$$

где V, H, B—характерные скорость, глубина и ширина потока; ν—кинематический коэффициент вязкости, характеризующий свойства жидкостей и газов; $\lambda = \frac{2g}{C^2}$ —коэффициент гидравлического трения; C—коэффициент Шези

При исследовании на размываемых моделях к вышеперечисленным критериям подобия должны быть добавлены критерий подобия транспорта наносов. Однако в связи с большой неоднозначностью выбора таких критерий трудно дать какие-либо кон-

кретные рекомендации, применимые в широком диапазоне условий.

Полное механическое подобие обеспечить практически невозможно, в связи с чем при условии геометрического подобия для гидравлических моделей, где определяющую роль играют силы инерции и тяжести, исходят в основном из критерия $Fr=idem$. Критерий Рейнольдса при этом не должен быть на модели меньше некоторого минимального значения ($Re \geqslant 10^4$), обеспечивая так называемую автомодельность по числу Рейнольдса.

Для напорных (аэродинамических) моделей, на которых поток находится в основном под воздействием сил инерции и внутреннего трения (при обтекании шероховатых поверхностей русла, пойм, струенаправляющих дамб и т. д.), определяющим является критерий Рейнольдса.

3. Если размеры экспериментальных установок не позволяют моделировать весь требуемый участок реки в масштабе, определенном по условию воспроизведения на модели минимальных глубин потока (например, на пойме), то прибегают к искажению масштабов модели (т. е. принимают горизонтальный масштабный множитель $M_в$ больше вертикального $M_н$.

При геометрическом искажении масштабов основным критерием подобия модели с натурой становится $\lambda_п = \lambda \frac{B}{H}$.

Из приведенного критерия устанавливают допустимое соотношение между плановым и вертикальным масштабом модели. Связь масштабных множителей некоторых параметров с плановым масштабом модели и принятыми критерия подобия показана в табл. 6.1.

Таблица 61

Условия моделирования	Критерии подобия	Масштабный множитель для пересчета в натуру		
		вертикального размера $M_н$	скорости потока M_v	времени M_t
Геометрическое подобие	Fr	M_B	$M_B^{1/2}$	$M_B^{1/2}$
Геометрическое подобие, включая грунт	$\frac{v}{v_0}$	M_B	$(M_B M_d)^{1/4}$	$M_B^{3/4}/M_d^{1/4}$
Геометрическое искажение при масштабе грунта, равном вертикальному масштабу	$\lambda B/H$ $(M_d=M_н)$	$M_B^{3/4}M_n^{3/2}$	$\frac{M_Q}{M_B^{7/4}M_n^{3/2}}$	$\frac{M_B^{11/4}M_n^{3/2}}{M_Q}$
Геометрическое искажение, включая грунт	$\lambda \frac{B}{H}$ v/v_0	$M_B^{3/4}M_n^{3/2}$	$M_B^{3/16}M_d^{1/4}M_n^{3/8}$	$\frac{M_B^{13/16}}{M_n^{3/8}M_d^{1/4}}$

Примечание M_B, M_Q, M_n, M_d—масштабные множители соответственно планового размера модели, расхода воды, шероховатости и грунта

Размывающая скорость принята по формуле Б. И Студеничникова.

Коэффициент Шези принят по формуле Маннинга—Павловского

При выборе линейных масштабов необходимо стремиться к минимальному геометрическому искажению $\varphi = M_B/M_н$. Рекомендуется допускать геометрическое искажение модели $\varphi \leqslant 4 \div 5$.

4. При геометрическом искажении модели для достижения подобия в движении наносов, обеспечении турбулентного режима и т. п. числа Фруда на модели приходится задавать бо́льшими, чем в натуре (т. е. нарушать условие $Fr = idem$). Это не влечет за собой искажения процессов, изучаемых на модели.

Возможность получения достоверных данных при неполном механическом подобии объясняется тем, что при увеличении на модели значений критерий подобия имеет место так называемая автомодельность явления на модели и в натуре, т. е. независящее от каких-либо геометрических или гидравлических параметров «автоматическое» воспроизведение на модели гидродинамической картины движения жидкости на моделируемом участке.

С явлением автомодельности связана возможность значительного увеличения (форсировка) расхода воды на модели, применяемая на жестких гидравлических мелкомасштабных моделях для получения турбулентного потока.

Форсировка расхода, при которой не соблюдается критерий Фруда, используется на размываемых моделях, когда масштабный множитель крупности (или размываемости) грунта нельзя принимать равным линейным масштабным множителям (например, когда русло сложено песчаным или связным материалом). В этом случае гидравлические характеристики потока на размываемой модели должны удовлетворять условию $v/v_0 = idem$, где v_0—критериальная скорость (например, размывающая) на соответствующих вертикалях натуры и модели.

5. Аэродинамическая модель позволяет воспроизводить моделируемый участок реки при меньшем геометрическом искажении φ, чем на гидравлической модели, поскольку минимальная глубина потока, лимитирующая вертикальный масштаб, на аэродинамической модели может задаваться значительно меньше (до 3—4 мм при 3—4 см на гидравлической модели).

Другим преимуществом аэродинамической модели является ее мобильность—возможность быстрой замены на ней элементов рельефа и ситуационных условий.

Указанные преимущества аэродинамической модели предопределили метод фрагментального моделирования, основанного на получении общей картины протекания потока (и соответственно выбора принципиальных проектных решений) на мелкомасштабной (аэродинамической) модели с дальнейшим детальным изучением фрагмента потока на размываемой гидравлической модели.

6.3. Математическое моделирование

1. Математическое моделирование представляет собой относительно новое направление научных исследований, бурно развивающееся в последние десятилетия в связи с прогрессом средств вычислительной техники.

Под математическим моделированием обычно понимается изучение явлений при помощи массовых многовариантных расчетов с применением быстродействующих ЭВМ на основе численного решения уравнений, являющихся математической моделью процесса.

2. При моделировании мостовых переходов используют математические модели непрямой аналогии, т. е. вычислительные алгоритмы, реализующие заданные уравнения и граничные условия путем последовательного выполнения математических операций. В качестве исходных принимают (в зависимости от целей исследования) одну из систем уравнений движения жидкости (Сен-Венана, Эйлера, Навье-Стокса, Рейнольдса), уравнение неразрывности, а также дополнительные формулы и уравнения, описывающие изучаемое явление (например, для русловых деформаций—формулы расхода наносов, уравнение баланса наносов и т. п.). Уравнения должны быть дополнены граничными (краевыми) и начальными (при исследовании нестационарных задач) условиями, которые «привязывают» универсальную математическую модель к конкретным условиям. Для решения начально-краевых задач широко используются методы конечных разностей или конечных элементов, основанные на аппроксимации исходных уравнений их дискретными аналогами на специальным образом построенных расчетных сетках.

Характерные примеры использования математического моделирования для решения задач проектирования мостовых переходов в сложных условиях приведены в прил. 6.1.

3. Принципы математического моделирования во многом сходны с принципами физического моделирования. На первом этапе необходимо построение численной модели, которая включает в себя систему уравнений и граничных условий, алгоритм и реализующую его программу для ЭВМ.

На втором этапе производят основные расчеты, при которых варьируют те или иные параметры задачи (расходы, уровни, отверстия моста, размеры и форма струенаправляющих дамб). Как и при физическом моделировании, может применяться фрагментарный подход, когда отдельные фрагменты течения исследуются более детально, например, на более густой расчетной сетке или с использованием другой математической модели. При выполнении третьего этапа, составляющего анализ результатов и выдачу рекомендаций, можно эффективно использовать широкий арсенал периферийных устройств ЭВМ для графического изображения полученных результатов. Исходные данные для проведения физического и математического моделирования одни и те же.

Вместе с тем между рассматриваемыми видами моделирования имеется ряд существенных отличий. Прежде всего, математическое моделирование производится всегда в реальном масштабе, т. е. исчезают трудности с удовлетворением критериев подобия и пересчетом результатов в натуру (отсутствует масштабный эффект). Возможный диапазон изменения параметров при матема-

тическом моделировании обычно больше, чем при физическом, причем в первом случае можно независимо проанализировать влияние того или другого параметра (например, шероховатости, уклона дна и т. п.), что при физическом моделировании иногда затруднено или невозможно. При наличии отлаженных программ произвести серийные расчеты с перебором многих вариантов быстрее и легче, чем выполнить большое число физических экспериментов.

4. Недостаток математического моделирования связан прежде всего с тем, что любая математическая модель является лишь определенной идеализацией физического процесса. При этом экспериментатор-вычислитель работает не с дифференциальными уравнениями, а с их дискретными (разностными) аналогами. Процесс дискретизации уравнений зачастую меняет не только количественное, но и некачественное поведение решений. Поэтому для оценки различных методик при заключении договоров на конкурентной основе должны быть использованы следующие критерии:

а) точность решения системы использованных уравнений, определяемая тестами, имеющими аналитическое решение (например, из одномерных тестов наиболее известным является так называемая задача о разрушении плотины);

б) совпадение вычислительных результатов с измеренными в натуре (хорошо использовать гидрометрические данные, причем не обязательно для экстремальной ситуации);

в) минимум эмпирических констант при одинаковой общности решений;

г) непрерывная зависимость решения от исходных данных (при малых изменениях входных параметров соответственно слабо должно меняться и решение);

д) простота реализации.

Каждая вновь разработанная численная модель должна всесторонее тестироваться, т. е. необходимо проводить сравнения с точными решениями, экспериментальными данными, проверять сходимость решения по сетке (при дроблении сетки) и по временному шагу и т. п. Без проведения тестирования нельзя приступать к расчетам реальных объектов.

При наличии натурных измерений должна производиться дополнительная тарировка численных моделей (например, корректировка шероховатостей поймы и русел) с тем, чтобы расчеты согласовывались с измерениями. После этого можно проводить собственно математическое моделирование, проигрывая различные проектные решения.

6.4. Основные принципы назначения запасов размеров сооружений мостового перехода с позиций теории надежности

1. Требования безопасного и бесперебойного движения транспортных средств, предъявляемые к мостовому переходу, удовлетворяются только в условиях надежной работы всех его сооружений при воздействиях водных потоков, волн и льда. При этом под

надежной работой понимается сохранение работоспособного состояния в течение заданного времени, а отказом (выходом из строя)—неспособность сооружения полностью или частично выполнять свои основные функции. Для мостового перехода отказом является такое состояние, когда происходит перерыв движения.

2. В настоящее время для оценки надежности сооружений и устройств во многих областях техники широко используется общая теория надежности, основные положения которой сводятся к следующему:

1) В реальных условиях на детерминированные процессы (вызванные действием известных по величине и направлению факторов) всегда накладываются случайные (вероятностные), которые должны учитываться при назначении размеров сооружений.

2) Равноответственные сооружения (элементы) одного объекта (называемого системой) должны проектироваться по принципу равнонадежности их работы.

3) Систему рассматривают как замкнутую цепь из последовательно и параллельно соединенных элементов, а отказ—разрыв в цепи.

По равноответственности сооружения мостового перехода подразделяются на основные и второстепенные. К основным относят мост, насыпь подходов и водоразделительные дамбы, утрата работоспособности (отказ) любого из которых приводит к отказу всей системы. По этой же причине их соединение в «замкнутой цепи» системы «мостовой переход» должно быть последовательное.

Второстепенные сооружения мостового перехода (струенаправляющие дамбы, поперечные регуляционные сооружения) устраивают с целью обеспечения эффективной (безотказной) работы основных сооружений. Их выход из строя еще не влечет за собой отказ всей системы (перерыв движения). Поэтому второстепенные сооружения соединяются с основными параллельно.

Поскольку числовой мерой случайности является вероятность, то количественно надежность характеризуется вероятностью безотказной работы сооружений или уровнем надежности. При этом запасы в размерах сооружений рассматриваются как доверительные интервалы, за пределы которых не будут выходить величины рассчитанных размеров сооружений с заданной вероятностью (равной уровню надежности).

3. Требования СНиП 2.05.03—84 по назначению запасов размеров сооружений, хотя и основываются на имеющихся данных об эксплуатации переходов, в количественном отношении не имеют обоснований и не все отвечают положениям теории надежности. Так, величины запасов (надежность) принимаются постоянными независимо от категории дороги (ответственности сооружения); запасы не связаны с учетом возможной ошибки в размерах сооружений. Иллюстрацией сказанного служит, например, технический запас при назначении бровки земляного полотна, ко-

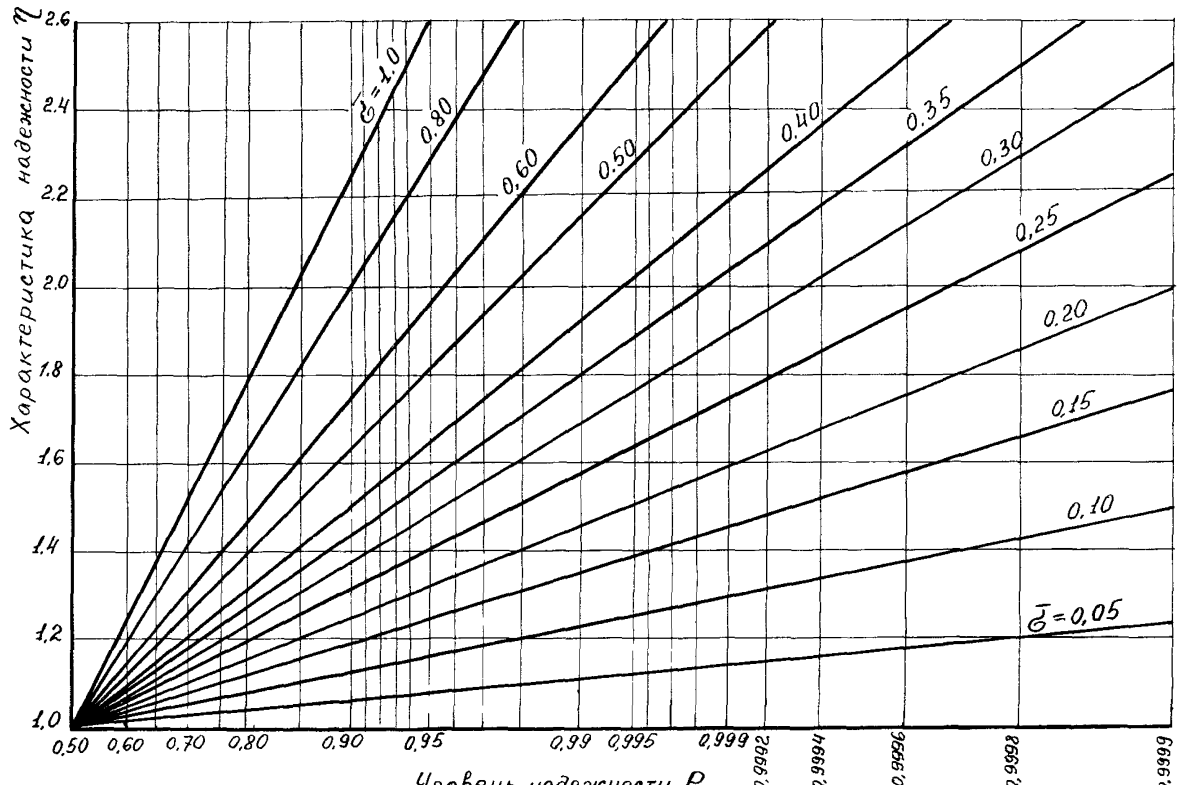


Рис. 6.1 График для определения характеристики надежности η

торый равен 0,5 м для всех категорий дорог и любых глубин потока на пойме (будь то 0,5 или 5 м). В результате применения укрупненных норм без дифференциации их в зависимости от фактических гидрологических воздействий размеры сооружений назначают с завышенными или недостаточными запасами.

4 В ЦНИИСе разработана методика назначения запасов размеров сооружений мостовых переходов на основе теории надежности [5], основные положения которой сводятся к следующему:

1) Предложена модель мостового перехода с позиции теории надежности, представляющая собой замкнутую цепь из последовательно и параллельно соединенных элементов, являющихся соответственно основными и второстепенными сооружениями мостового перехода. Модель позволяет определить уровень надежности любого элемента сооружения мостового перехода в зависимости от уровня надежности элемента более высокого ранга (например, высоту насыпи от уровня надежности насыпи в целом) и, в конечном счете, от уровня надежности P мостового перехода в целом

2) Оптимальный уровень надежности P мостового перехода в целом определяется из целевой функции, характеризующей минимум строительно-эксплуатационных затрат в зависимости от категории линии, размеров перехода и числа доминирующих гидрологических воздействий

3) Определение запасов Δx_i размера x_i сводится к нахождению характеристики надежности $\eta_i = \frac{x_i + \Delta x_i}{x_i}$ i-го элемента сооружения из уравнения, связывающего характеристику η_i и уровень P_i надежности i-го элемента в зависимости от точности детерминированного (т е с известными по величине и направлению факторами) расчета определяемого размера, характеризуемого безразмерным среднеквадратичным отклонением $\bar{\delta}$ рассматриваемой величины (рис 6 1) Значения $\bar{\delta}$ для большинства величин, определяемых гидравлическим расчетом (глубин размыва и потока подпоров и т. д), приведены в [15].

Глава 7. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ВОДОТОКОВ С НЕНАРУШЕННЫМ БЫТОВЫМ РЕЖИМОМ

7.1. Требования к исходным материалам и вероятности превышения расчетных гидрологических параметров

1. Гидрологические расчеты включают определение расходов и уровней воды требуемой вероятности превышения; расчетных параметров ледового режима и ветровых волн; гидрографы паводков и частоту затопления пойм; объем выносов селевых потоков.

По результатам гидрометрических и морфометрических работ получают связи расходов воды с уровнями и скоростями течения, а также распределение расходов воды между руслом и поймами.

2. Гидрологические расчеты следует выполнять на основе материалов гидрометеорологических наблюдений, содержащихся в публикуемых материалах, перечень которых приведен в п. 1.3. При этом обязательным является проверка достоверности результатов сбора и обработки этих наблюдений. На качество опубликованных результатов стационарных гидрометеорологических наблюдений в значительной мере могут повлиять отсутствие данных о водопропускной способности пойм, заторы русел, пропуски максимумов гидрологических величин, повреждения измерительных устройств, описки и пр. Поэтому необходимо выполнять анализ достоверности исходных данных с соответствующей корректировкой и выбраковкой.

Между годами опубликования исходных данных наблюдений и годом выполнения гидрологических расчетов может быть значительный перерыв времени. Для восполнения этого периода данными наблюдений необходимо получение недостающей информации непосредственно на водпостах или в соответствующих организациях. Поэтому необходимо максимальное использование материалов проектирования и эксплуатации ранее построенных мостовых переходов и других гидротехнических сооружений, находящихся вблизи от проектируемого моста, данных опроса старожилов о наиболее высоких паводках, а также их меток и следов на местности.

3. Основу гидрологических расчетов должны составлять результаты инженерно-гидрометеорологических изысканий, предусмотренных СНиП 1.02.07—87 и подробно рассматриваемых в главах 3—4.

При определении расчетных гидрологических характеристик должны соблюдаться требования СНиП 2.05.03—84, СНиП 2.01.14—83 и СНиП 2.06.04—82. Порядок расчетов расходов воды и волновых воздействий изложены в соответствующих Пособиях [52, 62]. Допускается при надлежащем обосновании использование других методов расчета, осуществляя параллельные расчеты с нормативными методами.

По полноте исходных данных методы гидрологических расчетов следует применительно к СНиП 2.01.14—83 классифицировать на следующие:

при наличии данных стационарных длительных гидрометрических наблюдений продолжительностью не менее 20 лет;

при недостаточности данных стационарных гидрометрических наблюдений продолжительностью менее 20 лет;

при полном отсутствии данных стационарных гидрометрических наблюдений или невозможности их получения.

Независимо от метода гидрологических расчетов обязательным является определение требуемых гидрологических характеристик: по опросам старожилов; по следам и меткам прошлых паводков; по результатам обследования близлежащих мостовых переходов и других гидротехнических сооружений; по линейно-региональным нормам.

На стадии выработки предпроектных соображений, а также генеральных схем развития транспортных сетей могут быть использованы приближенные методы гидрологических расчетов [51].

Результаты гидрологических расчетов по приближенным методам должны гарантировать определение строительной стоимости мостового перехода в пределах нормативных (или договорных) отклонений от окончательной стоимости.

4. В целях достижения наибольшей гидрологической обоснованности проектов мостовых переходов следует руководствоваться следующими рекомендациями:

ряды гидрометрических наблюдений независимо от их продолжительности должны быть по возможности удлинены или восстановлены за счет наиболее высоких (и в том числе исторических) годовых максимумов других лет, установленных по следам, меткам и опросам старожилов; по результатам переноса данных наблюдений с близлежащих водпостов, имеющих более длительные измерения [57];

ряд должен либо содержать выдающуюся величину, либо она должна быть найдена в результате гидрометеорологических изысканий путем опроса старожилов, а также поиска архивных и литературных источников. Под выдающимся расходом воды понимается первый расход в ранжированном ряду, если он превышает последующий для весенних половодий не менее чем на 10—15%, а для дождевых паводков—20—30% [57];

независимо от длины ряда гидрометрических наблюдений за максимальными расходами воды необходимо выполнять параллельные расчеты как по статистическим методам, так и с применением генетических и эмпирических формул;

выбор рек-аналогов по СНиП 2.01.14—83 для использования данных по ним при оценке репрезентативности рядов гидрометрических наблюдений и в расчетных формулах определения максимальных расходов воды сопряжен с необходимостью проведения для водосборов аналога и проектируемого моста тщательного анализа, гидрогеологических условий и других факторов, способ-

ных существенно искажать величину естественного речного стока (регулирование стока, сбросы, изъятие на орошение и другие нужды); основное внимание при учете всех нормативных условий выбора рек-аналогов должно быть сосредоточено на обоснованности доказательств однородности условий формирования стока;

учитывая, что конкретные количественные, временные и пространственные критерии рекомендуемых СНиП 2.01.14—83 условий выбора рек-аналогов не нормированы, а также краткосрочность проведения инженерно-гидрометеорологических изысканий мостовых переходов, максимальные мгновенные расходы воды дождевых паводков на реках СССР целесообразно определять по редукционной формуле (46) и формуле предельной интенсивности (48) СНиП 2.01.14—83 с параллельными расчетами по формуле (7.34), результирующей опыт и проведение линейных инженерно-гидрометеорологических изысканий, а также по линейно-региональным нормам стока (см. п. 7.6).

При невозможности выявления преимущественного влияния весеннего половодья или дождевого паводка на работу малых и средних мостов в районах с недостаточными данными стационарных гидрометрических наблюдений (или при полном их отсутствии) следует производить параллельные расчеты как максимального стока от весеннего половодья, так и дождевых паводков.

5. На расчетные величины максимальных расходов и уровней воды могут оказывать значительные влияния различные факторы естественного и искусственного регулирования максимального стока, которые могут претерпевать в многолетнем периоде существенные изменения за счет: уменьшения или увеличения степени залесенности, закарстованности, заболоченности и других характеристик подстилающей поверхности; возникновения особо редких и неблагоприятных гидрометеорологических условий формирования максимального стока (промерзание поверхности стекания, ледообразования, заторы и другие условия); развития новых или свертывание существующих видов различной хозяйственной деятельности на водосборе и в долинах рек.

При определении максимальных расходов воды различного происхождения количественную оценку влияния факторов естественного и искусственного регулирования максимального стока следует выполнять с учетом их возможных изменений в период расчетного срока службы сооружений мостового перехода.

Состав и продолжительность инженерно-гидрометеорологических изысканий мостового перехода при планировании и организации их проведения должны определяться в зависимости от степени изученности района и его водоопасности [12, 5] применительно к ведомственным нормативным и справочным документам.

6. Для гидрологических расчетов независимо от методов их выполнения и степени изученности района необходимы следующие исходные материалы:

выкопировка из топографических карт водосборного бассейна исследуемой реки с обозначением основной гидрографической

сети, горных хребтов, общих и частных водоразделов, населенных пунктов, водпостов и метеостанций;

таблица исходных данных по расположению, периоду и составу наблюдений на водпостах и метеостанциях;

план водосборного бассейна реки с нанесением: ситуации, водоразделов, водпостов и других пунктов гидрометеорологических наблюдений (включая морфостворы), характерных отметок водоразделов, озер, болот, бессточных емкостей, селеобразующих очагов, ледников, порогов, урезов основной реки и ее притоков, а также вариантов трассы мостового перехода. На нем должны быть приведены исходные данные по величине: площади бассейна, длины реки от истока до створа мостового перехода, средний уклон реки от истока, площади (км^2, %), занятые лесом, пашней, озерами, болотами, бессточными емкостями, селеобразующими очагами, марями, карстовыми образованиями;

для горных и селевых водотоков продольный профиль реки от истока с указанием расстояний, отметок переломов продольного профиля, средних уклонов по участкам и створов существующих и проектируемых переходов и водпостов. С продольным профилем совмещают график нарастания площади водосбора;

при необходимости выполнения расчетов по нескольким мостовым переходам, находящимся на проектируемой дороге, необходимо составление сводного плана водосборных бассейнов и общей ведомости исходных по ним данных.

7. Капитальные мостовые переходы рассчитывают на воздействие паводков, максимальные ординаты гидрографов которых (максимальные расходы) имеют ежегодную вероятность превышения, приведенную в табл. 7.1.

Следует иметь в виду, что рекомендации, приведенные в примечании к табл. 7.1 с тремя и четырьмя крестами, опытом транспортного строительства не апробированы, не применялись ранее и внесены в СНиП 2.05.03—84 без обоснований.

В расчетах следует принимать паводки того происхождения, при котором создаются наиболее неблагоприятные условия работы мостового перехода.

Если для заданного значения вероятности превышения величина максимальной ординаты гидрографа ливневого (т. е. более короткого) паводка больше чем для снегового, то необходимо проводить по снеговому паводку дополнительные расчеты, для которых длительность стояния уровня, размывы под мостами, фильтрация через насыпь и др. или объем стока могут оказаться определяющими, т. е. вызвать наиболее неблагоприятные условия.

Расчет железнодорожных мостовых переходов на два расхода (расчетный $Q_р$ и наибольший Q_{max}) позволяют дифференцировать запасы в размерах сооружений в зависимости от частоты повторяемости гидрологических условий. При этом наибольший расход как поверочный позволяет учесть гидрологические особенности района проложения дороги по его водоопасности. Территория

Таблица 71

Мосты и трубы на дорогах					
железных			автомобильных и городских		
Категория дороги	Вероятность превышения паводков %		Категория дорог	Сооружения	Вероятность превышения расчетных паводков, %
	расчетных	наибольших			
I и II общей сети	1	0,33	I	Большие и средние мосты	1***
III и IV общей сети	2	1*		Малые мосты и трубы	1****
IV и V подъездные пути	2**	—	II—III, III-п и городские улицы и дороги (п—промышленные)	Большие и средние мосты	1***
				Малые мосты и трубы	2****
Внутренние пути промышленных предприятий	2	—	IV, VI-п и V	Большие и средние мосты	2***
				Малые мосты и трубы	3****
			I с и II с (с—сельскохозяйственные)	Большие и средние мосты	2***
				Малые мосты и трубы	2****
			III с	То же	3****
			I-в, I-к и II к (в—внутрихозяйственные) (к—карьерные)	»	2****
			II-в—IV-в, III к—IV к	»	3****

* При расчетах бровок земляного полотна, незатопляемых регуляционных сооружений и оградительных дамб русел блуждающих рек для железных дорог III категории вероятность превышения максимального расхода при наибольшем паводке следует принимать 0,33%

** Если по технологическим причинам предприятий перерыв в движении не допускается, вероятность превышения следует принимать равной 1%

*** В районах с малоразвитой сетью автомобильных дорог для сооружений, имеющих особо важное народнохозяйственное значение, при технико-экономическом обосновании вероятность превышения допускается принимать 0,33 вместо 1% и 1 вместо 2%

**** В районах с развитой сетью автомобильных дорог для автодорожных малых мостов и труб при технико-экономическом обосновании вероятность превышения допускается принимать 2 вместо 1%, 3 вместо 2%, 5 вместо 3%, а для труб на дорогах II с и III-с категорий—10%

СССР может быть районирована на четыре зоны водоопасности [5], характеризуемые коэффициентом вариации C_v наибольших ежегодных расходов воды: I—малой, II—средней, III—наибольшей и IV—наибольшей (рис. 7.1).

К сожалению, принципы, заложенные в расчет на два расхода в СНиП 2.05.03—84, хотя и декларируются, но практически полностью не выдерживаются (например, размывы рассчитывают только на Q_p, бровку земляного полотна назначают только по Q_{max} и т. д.).

8. Если вблизи проектируемого мостового перехода имеются инженерные сооружения или объекты возможного подтопления, то необходимо проверить условия их функционирования при пропуске мостовым переходом расчетных расходов воды этих сооружений и мостового перехода.

В расчете следует принимать, что указанные расходы проходят в первый год постройки мостового перехода.

Если инженерные сооружения находятся выше мостового перехода, то поверочный расчет производят в предположении, что он оказывает влияние как неразрушенный.

При расположении инженерных сооружений ниже мостового перехода состояние мостового перехода (разрушен или неразрушен) в поверочном расчете принимают в зависимости от наиболее неблагоприятного его воздействия на инженерные сооружения.

В случае нарушения норм эксплуатации сооружений в зоне влияния мостового перехода следует принимать для его проектирования более редкую вероятность превышения, чем указанную в табл. 7.1.

9. Мостовые переходы, расположенные в нижних бьефах капитальных плотин, нужно рассчитывать на пропуск расхода воды, вероятностью превышения не более требуемой СНиП 2.06.01—86 [79] для основного расчетного случая в зависимости от класса сооружения:

класс сооружения	I	II	III	IV
вероятность превышения, % . . .	0,1	1,0	3,0	5,0

При этом расчетный расход воды для мостового перехода следует определять с учетом распластывания паводка (см. п. 8.3).

Увеличение (по сравнению с указанными в табл. 7.1) расчетных расходов можно ожидать при проектировании мостовых переходов ниже плотин I класса.

10. При проектировании мостовых переходов по капитальности, сроку службы или другим показателям, отличающимся от рассматриваемых в СНиП 2.05.03—84, вероятности расчетного паводка могут быть приняты отличные от требуемой нормами. В этом случае за искомую следует принимать вероятность, приводящую при отсутствии других требований к минимуму строительно-эксплуатационных затрат. Методика расчета оптимальной вероятности превышения паводка приведена в [91].

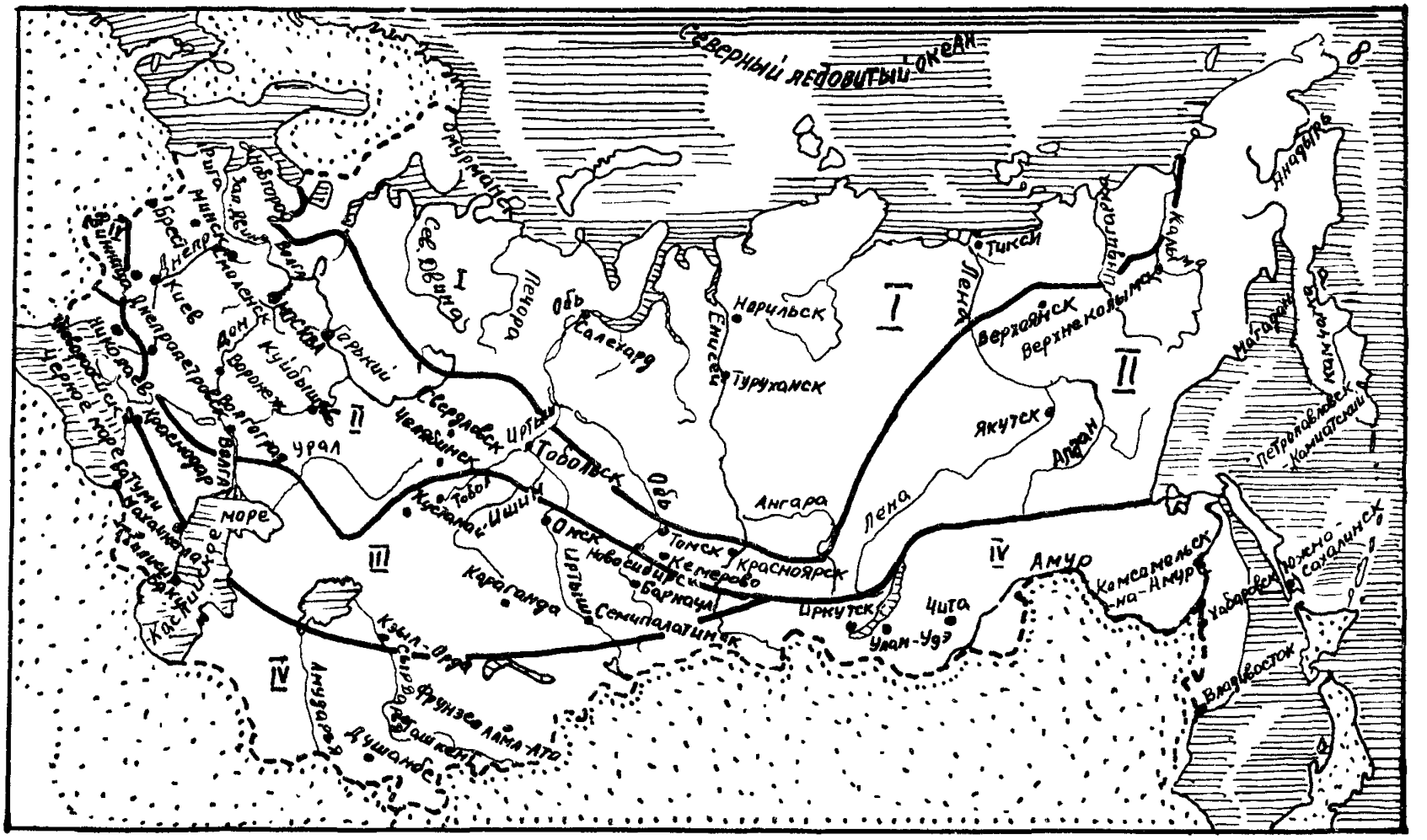


Рис. 7.1 Карта зон водоопасности

I—зона малой водоопасности; *II*—средней; *III*—большой; *IV*—наибольшей

11. При расчете ледовых воздействий на мостовые переходы согласно СНиП 2.05.03—84 вне зависимости от категории дорог толщину льда следует принимать 1% вероятности превышения.

Расчетные гидрологические характеристики (вероятности превышения уровней и обеспеченности шторма) для расчета параметров волн, принимаемые согласно СНиП 2.06.04—82* и ВСН 206—87, приведены в п. 12.3, п. 3.

12. При проектировании временных и вспомогательных сооружений расчетные уровни принимают согласно рекомендациям п. 7.9. По этим же уровням рассчитывают параметры волн.

Толщину льда, воздействующего на временные и вспомогательные сооружения при отсутствии достаточных обоснований, принимают 10% вероятности превышения.

7.2. Расчет расходов и уровней воды при наличии или недостаточности данных гидрометрических наблюдений

1. Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии или недостаточности данных гидрометрических наблюдений следует выполнять по методам СНиП 2.01.14—83 [71], которые сводятся к статической обработке рядов (выборок) ежегодных максимумов расходов или уровней воды

Выборка считается репрезентативной (т. е. представительной), если длина ряда составляет для весенних половодий не менее $n=20$ лет и для дождевых паводков не менее 50 лет [57]. Исследуемый ряд должен содержать только наивысшие в каждом году генетически однородные расходы или уровни воды (от снеготаяния, дождевые паводки, таяния ледников и другие типы паводков). К статистической обработке принимают ряд, в котором отсутствуют тенденции к закономерному изменению исследуемой характеристики во времени. Такие нарушения стационарного процесса могут быть связаны с хозяйственной деятельностью человека.

2. При определении максимальных расходов и уровней воды требуемой вероятности превышения необходимо учитывать следующее: если период наблюдений за уровнем воды продолжительнее периода наблюдений за расходом, необходимо путем экстраполяции зависимости расходов от уровней воды $Q=f(H)$ восстановить недостающие в ряду значения Q. По этой же зависимости могут быть получены величины Q (или H), которые отсутствовали в середине ряда или которые установлены по результатам инженерно-гидрометеорологических изысканий;

при невозможности разделения максимальных годовых расходов воды на максимумы дождевых и талых вод СНиП 2.01.14—83 допускает построение кривых распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды независимо от их происхождения. Эти рекомендации могут быть распространены и на максимальные уровни воды;

если максимальные уровни и расходы воды на реках формируются в разные сезоны года и соответствуют, например, не только весеннему половодью, но и дождевым паводкам, то необходимо выполнять статистическую обработку однородных рядов,

соответствующих этим сезонам года. В качестве расчетного принимают расход (уровень) воды (требуемой вероятности превышения), наиболее неблагоприятный для работы сооружений мостового перехода (см. п. 7.1);

наивысшие уровни воды, образовавшиеся в отдельные годы от подпора другой рекой, зажоров или заторов льда, карчехода, нагона воды ветром и т. п., не должны включаться в ряд ежегодных максимумов, но продолжительность ряда для оценки эмпирической вероятности превышения следует определять с учетом всех лет наблюдений. При систематическом характере образования этих явлений ряды соответствующих им уровней воды обрабатывают отдельно в виде самостоятельных рядов;

при расположении створа мостового перехода вблизи слияния рек требуется установить влияние их притока на уровенный режим основной реки или наоборот. При многопиковых графиках колебаний паводочных уровней обрабатывают отдельные ряды — для основной реки и притока, а в качестве расчетного принимают наибольшее значение расхода и уровня воды;

если половодье или паводок проходит по поверхности ледяного покрова реки, то глубины и уровни воды для расчета расхода воды следует определять от поверхности льда.

3. При отсутствии или недостаточности данных гидрометрических наблюдений за отдельные годы ряды расходов и уровней следует дополнять данными близлежащих водпостов, с которыми установлена связь уровней, а также данными полевых краткосрочных обследований (см. п. 7.1), выполненных при инженерно-гидрометеорологических изысканий.

4. Расчетные гидрологические характеристики согласно СНиП 2.01.14—83 рекомендуется определять путем применения аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения. В качестве основного рекомендовано применение трехпараметрического гамма-распределения при любом отношении коэффициентов асимметрии и вариации C_s/C_v. При надлежащем обосновании допускается применять биноминальную кривую распределения (при $C_s>2C_v$) или другие функции распределения вероятностей [18] и в том числе усеченные и составные кривые распределения вероятностей превышения.

Основу применимости различного типа кривых распределения составляют эмпирические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения исследуемых гидрологических характеристик и основные параметры этих кривых, определяемые по рядам гидрометрических наблюдений: коэффициент вариации C_v, отношение коэффициента асимметрии C_s к коэффициенту вариации C_s/C_v и $\bar{x}$—среднее арифметическое (среднее многолетнее) значение гидрологической характеристики:

$$\bar{x}=\sum_{i=1}^{n} x_i/n, \qquad (7.1)$$

где Σx_i —сумма величин, из которых составлен ряд из n членов

Нормируемые СНиП 2.01.14—83 аналитические и другие обосновываемые в результате гидрологических расчетов кривые распределения являются средством формализации для сглаживания, интерполяции и экстраполяции эмпирических кривых распределения до требуемых (см. п. 7.1) нормативных значений ежегодных вероятностей превышения.

5. Эмпирическая ежегодная вероятность превышения P_m исследуемых гидрологических характеристик определяется в соответствии со СНиП 2.01.14—83 по формуле

$$P_m = m/(n+1), \qquad (7.2)$$

где m—порядковый номер членов ряда исследуемой гидрологической характеристики, составленного в убывающем порядке годовых величин x_i; n—общее число членов этого ряда.

Эмпирические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения в практике инженерных расчетов принято выражать графическими построениями по величинам x_i и соответствующим им значениям P_m на клетчатках вероятностей.

Выбор типа клетчатки вероятностей осуществляется с учетом характера очертания эмпирической кривой и соответствующей ей аналитической функции распределения по вычисленным параметрам и в том числе отношению коэффициента асимметрии C_s к коэффициенту вариации C_v. Для этой цели используют набор различных клетчаток и в том числе клетчаток с фиксированным отношением C_s/C_v.

Параметры аналитических кривых распределения (C_v и C_s) в соответствии с рекомендациями СНиП 2.01.14—83 принято определять методом наибольшего правдоподобия или моментов.

В качестве расчетной аналитической кривой распределения должна быть принята та, которая наименее отклоняется от эмпирических точек на клетчатке вероятностей. Для выполнения этого требования необходимо на соответствующих клетчатках вероятностей первоочередно произвести построение нормативных аналитических кривых распределения при различных соотношениях C_s/C_v от 1 до 6 (см. прил. 7.1). Если ни одна из нормативных аналитических кривых распределения не позволит достигнуть наиболее полного соответствия эмпирическим точкам, то необходимо произвести выбор и соответствующее обоснование иных кривых распределения.

При подборе кривых распределения по эмпирическим точкам необходимо оценивать соответствие этих кривых большинству этих точек, а не отдельным экстремальным точкам. При невозможности получения такого соответствия на всем протяжении кривой целесообразно использование усеченных кривых распределения, что позволит получать требуемое соответствие только в диапазоне больших годовых максимумов гидрологических характеристик.

Недопустимым является проведение расчетной кривой распре-

деления только по трем верхним точкам, так как не используется вся остальная информация о многолетних колебаниях гидрологических характеристик. Точки усечения эмпирических рядов должны соответствовать границам изменений условий формирования годовых максимумов гидрологических характеристик, что наглядно выражается в переломах эмпирических кривых и различных наклонах верхней и нижней частей этих кривых. Для рядов расходов воды точка усечения располагается ориентировочно в середине эмпирических кривых, а для рядов уровней воды в диапазоне вероятностей от 30 до 60%. Окончательно она может быть установлена путем анализа конкретных эмпирических кривых распределения вероятностей превышения.

6. Расчетные коэффициенты вариации C_v и асимметрии C_s определяют методом моментов согласно рекомендациям СНиП 2.01.14—83 в зависимости от смещенных оценок соответственно коэффициентам вариации $\tilde{C}_v$ и асимметрии $\tilde{C}_s$, определяемым при коротких рядах (выборках), и коэффициенту автокорреляции между смежными членами ряда.

Смещенные оценки коэффициентов вариации и асимметрии определяют по формулам:

$$\tilde{C}_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(k_i-1)^2}{n-1}}; \tag{7.3}$$

$$\tilde{C}_s = n\sum_{i=1}^{n}(k_i-1)^3/[\tilde{C}_v^3(n-1)\ (n-2)], \tag{7.4}$$

где $k_i = x_i/\bar{x}$, n—число членов ряда.

Значения расчетных коэффициентов вариации и асимметрии для трехпараметрического гамма-распределения и отсутствии автокорреляции, что обычно имеет место при анализе максимальных ежегодных расходов, можно определять по графику (рис. 7.2).

7. Определение коэффициента вариации и коэффициента асимметрии по методу наибольшего правдоподобия сводится к расчету статистик λ_2 и λ_3:

$$\lambda_2 = \sum_{i=1}^{n} \lg k_i/(n-1); \tag{7.5}$$

$$\lambda_3 = \sum_{i=1}^{n} k_i \lg k_i/(n-1). \tag{7.6}$$

Пересечение этих статистик по номограмме (см. прил. 7.2) и определяют расчетные значения коэффициента вариации C_v и соотношения C_s/C_v.

8. При наличии одного выдающегося максимума, не входящего в непрерывный ряд гидрометрических наблюдений, среднее

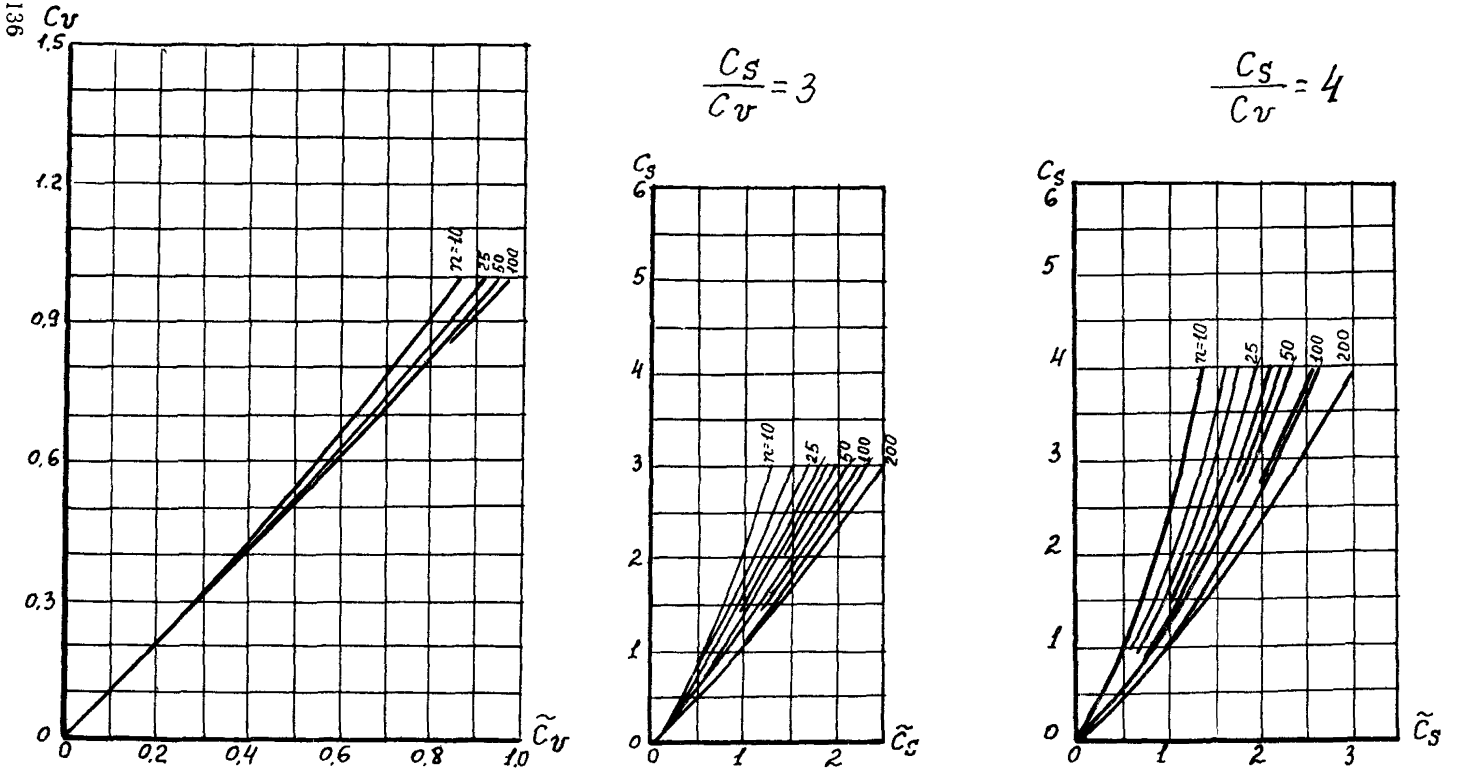


Рис 7 2 Зависимость расчетных коэффициентов вариации C_v и асимметрии C_s для трехпараметрического гамма-распределения от числа членов выборки n и смещенных оценок соответственно коэффициентов вариации $\tilde{C}_v$ и асимметрии $\tilde{C}_s$ при отсутствии автокорреляции

значение гидрологической характеристики и коэффициента вариации определяют по формулам:

$$\bar{x}=\frac{1}{N}\left(x_N+\frac{N-1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i\right); \tag{7.7}$$

$$C_v=\sqrt{\frac{1}{N}\left[\left(\frac{x_N}{\bar{x}}-1\right)^2+\frac{N-1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{x_i}{\bar{x}}-1\right)^2\right]}. \tag{7.8}$$

При наличии двух выдающихся максимумов, не входящих в непрерывный ряд гидрометрических наблюдений, параметры $\bar{x}$ и C_v рекомендуется определять по формулам:

$$\bar{x}=\frac{1}{N_1}x_{N1}+\frac{1}{N_2}\frac{N_1-1}{N_1}x_{N2}+\frac{(N_1-1)(N_2-1)}{N_1N_2}\sum_{i=1}^{n}x_i; \tag{7.9}$$

$$C_v=\sqrt{\frac{1}{N_1-1}\left(k_{N1}-1\right)^2+\frac{1}{N_2-1}\frac{N_1-2}{N_1-1}\left(k_{N2}-1\right)^2+ \atop +\frac{(N_1-2)(N_2-2)}{(N_1-1)(N_2-1)}\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(k^i-1\right)^2}. \tag{7.10}$$

При наличии одного выдающегося максимума, входящего в ряд гидрометрических наблюдений, параметры $\bar{x}$ и C_v могут быть определены по формулам:

$$\bar{x}=\frac{1}{N}\left(x_N+\frac{N-1}{n-1}\sum_{i=1}^{n-1}x_i\right); \tag{7.11}$$

$$C_v=\sqrt{\frac{1}{N}\left[\left(\frac{x_N}{\bar{x}}-1\right)^2+\frac{N-1}{n-2}\sum_{i=1}^{n-1}\left(\frac{x_i}{\bar{x}}-1\right)^2\right]}. \tag{7.12}$$

При наличии двух выдающихся максимумов, входящих в ряд гидрометрических наблюдений, параметры $\bar{x}$ и C_v рекомендуется определять по формулам:

$$\bar{x}=\frac{1}{N_1}x_{N1}+\frac{1}{N_2}\frac{N_1-1}{N_1}x_{N2}+\frac{(N_1-1)(N_2-1)}{N_1N_2}\frac{1}{n-2}\sum_{i=1}^{n-2}x_i; \tag{7.13}$$

$$C_v=\sqrt{\frac{1}{N_1-1}\left(k_{N1}-1\right)^2+\frac{1}{N_2-1}\frac{N_1-2}{N_1-1}\left(k_{N2}-1\right)^2+ \atop +\frac{(N_1-2)(N_2-2)}{(N_1-1)(N_2-1)}\frac{1}{n-3}\sum_{i=1}^{n-2}\left(k_i-1\right)^2}. \tag{7.14}$$

В формулах (7.9)—(7.16) $\bar{x}$—среднее арифметическое значение, вычисленное с учетом выдающихся максимумов; n—число лет в ряду непрерывных наблюдений; N —число лет, в течение кото-

рых выдающийся максимум не был превышен; k_N, k_i—модульные коэффициенты:

$$k_N = x_N/\overline{x}; \tag{7.15}$$

$$k_i = x_i/\overline{x}. \tag{7.16}$$

9. Расчетные величины гидрологических характеристик при использовании аналитических кривых трехпараметрического гамма-распределения определяют по формуле

$$x_p = \overline{x}k_p, \tag{7.17}$$

где k_p—ордината аналитической кривой распределения, соответствующая заданной вероятности превышения и определяемая по прил 7 3

Для определения расчетных величин при использовании биномиальной кривой используют формулу:

$$x_p = \overline{x}(\Phi_p C_v + 1), \tag{7.18}$$

где Φ_p—нормированные отклонения ординат кривой Пирсона III типа от середины, определяемые по прил. 7.4

Расчетные величины гидрологических характеристик при использовании графических зависимостей $x = f(P_m)$ определяют непосредственно по графикам. Последние необходимы при статистической обработке рядов максимальных уровней воды. Кривую $H = f(P_m)$ графически экстраполируют и по ней определяют расчетные уровни воды требуемой вероятности превышения. Ряды уровней составляют по годовым их величинам над нулем графика. В качестве аналитических кривых для расчета максимальных уровней воды могут быть целесообразны усеченные кривые нормального распределения [37].

10. Если максимальные уровни и расходы воды наблюдаются в разные сезоны года, то следует по отдельности производить выборку и обработку однородных рядов, соответствующих весеннему половодью и дождевым паводкам. Эмпирические и аналитические кривые распределения необходимо анализировать отдельно для каждого однородного ряда. В качестве расчетной должна быть принята обобщенная кривая распределения.

Построение обобщенной кривой распределения производят в следующем порядке:

в задаваемом диапазоне колебаний исследуемой гидрологической характеристики произвольно назначают величины этих характеристик через определенный интервал (например, через 50 м³/с для расхода воды);

по всем заданным величинам этих характеристик определяют вероятности их превышения по каждой аналитической кривой (P_1 и P_2);

ежегодную вероятность превышения $P_{\%}$ для построения обобщенной кривой распределения по всем заданным интервалам исследуемых гидрологических характеристик определяют при наличии двух однородных рядов по формуле

$$P_{\%} = (P_1 + P_2 - P_1 P_2)\ 100,\ \%; \tag{7.19}$$

обобщенную кривую распределения строят на клетчатке вероятностей по заданным величинам исследуемых гидрологических характеристик и соответствующим им значениям вероятностей превышения $P_{\%}$, вычисленных по формуле (7.19).

Если не представляется возможным разделить максимальные годовые расходы воды на максимумы дождевых и талых вод, допускается СНиП 2.01.11—83 построение кривой распределения максимальных расходов воды независимо от их происхождения по единому ряду.

11. Приведение короткого ряда расходов воды к более продолжительному осуществляют по графику корреляционной связи между соответствующими по годам расходами короткого и длинного рядов. При отсутствии тесной связи необходимо на этом же графике нанести точки равнообеспеченных расходов воды обоих рядов.

По полученным точкам строят сглаженную графическую кривую связи и по ней осуществляют перенос расчетных расходов воды на водпост с коротким рядом или приводят параметры кривой распределения к многолетнему периоду наблюдений согласно рекомендациям [52].

Отсутствие корреляционной связи может быть вызвано боковой приточностью между смежными створами. Учет боковой приточности рекомендуется осуществлять следующим способом: суммированием расходов воды притоков, впадающих на участке между смежными створами; по разности средних расходов воды в нижнем и верхнем створах; методом водного баланса; по модулю стока, вычисленному для той части площади водосбора, который находится между смежными створами.

12. Для оценки величин боковой приточности расходы воды в смежных створах следует приводить к одному и тому же календарному периоду.

Использование способа определения боковой приточности по разности расходов воды в смежных створах целесообразно в тех случаях, когда ее вычисляют с заданной средней квадратической ошибкой.

Случайная абсолютная средняя квадратическая ошибка расчета боковой приточности по разности расходов воды между смежными створами определяется по формуле [52].

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}, \tag{7.20}$$

где σ_1 и σ_2—абсолютные средства квадратические погрешности исходных гидрометрических данных наблюдений в смежных створах, определяемые для каждого створа по формуле:

$$\sigma_{1,2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{7.21}$$

Если суммарный расход воды притоков составляет не менее 50% расхода с площади водосбора главной реки между смежными створами, боковая приточность (в м³/с):

$$Q_б = 1000(F_н - F_в) \cdot \overline{q_n}, \qquad (7.22)$$

где $F_н$ и $F_в$—площади водосбора главной реки соответственно до нижнего и верхнего створов, км²; $\overline{q_n}$—средний многолетний модуль стока притоков, л/(с·км²).

При значительном различии модулей стока отдельных притоков боковую приточность определяют по средневзвешенному модулю стока:

$$q_б = (q_1F_1 + q_2F_2 + \ldots + q_nF_n)/F, \qquad (7.23)$$

где q_1, q_2, ... q_n—средние модули стока отдельных притоков; F_1, F_2, ... F_n—площади водосборов притоков; $F = \sum_{i=1}^{n} F_i$.

Если данные наблюдений на притоках отсутствуют или не достаточны, средневзвешенный модуль стока боковой приточности рекомендуется для территории СССР определять по карте среднего годового стока, а в зарубежных районах по линейно-региональным нормам стока.

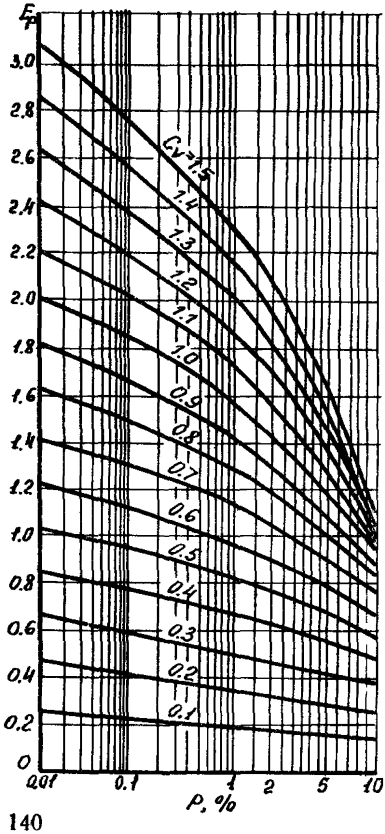


Рис. 7.3. График для определения величины E_p

13. Расчетный расход воды $Q_{p\%}$, вычисленный по данным многолетних гидрометрических наблюдений, принято считать надежным, если удовлетворяется следующее соотношение:

$$\Delta Q_{p\%} \leqslant 0{,}2Q_{p\%}, \qquad (7.24)$$

где стандартная ошибка:

$$\Delta Q_{p\%} = \frac{aE_p}{\sqrt{n}} Q_{p\%}, \qquad (7.25)$$

где n—число членов ряда с учетом приведения его к многолетнему периоду; E_p—коэффициент, характеризующий случайную среднюю квадратическую ошибку расчетного расхода воды, определяют по рис. 7.3; а—коэффициент учета степени гидрологической изученности рек, принимаемый равным 1,0 для изученных и 1,5 для неизученных районов.

При невыполнении условия (7.24) необходимо исследовать возможности по удлинению ряда многолетних гидрометрических

наблюдений дополнительными и надежными данными. Если такая возможность отсутствует, то необходимо к величинам расчетных максимальных расходов воды вероятностью превышения 0,33, 1 и 2% прибавлять гарантийную поправку, определяемую по формуле (7.25) при длительности рядов гидрометрических наблюдений менее 20 лет. При длительности рядов менее 30 лет гарантийную поправку следует прибавлять к величинам расчетных максимальных расходов воды вероятностью 0,33 и 1%.

14. При статистических расчетах гидрологических характеристик следует иметь в виду, что как эмпирические, так и аналитические кривые распределения могут объективно отражать колебания годовых максимумов того периода наблюдений, который использован при выполнении расчетов.

По мере увеличения периода наблюдений и накопления бо́льшей информации по годовым максимумам исследуемых гидрологических характеристик параметры принятых ранее эмпирических и аналитических кривых могут претерпевать в ряде случаев значительные изменения. Поэтому необходимо пересчитывать эти параметры и вносить соответствующие коррективы в расчеты прежних лет при выполнении рабочего проектирования [57].

При выполнении статистических расчетов гидрологических характеристик клетчатки вероятностей превышения являются одним из обязательных обосновывающих документов в проектных материалах.

7.3. Расчеты максимального стока весеннего половодья при отсутствии данных гидрометрических наблюдений

1. Определение максимальных расходов воды весеннего половодья на водосборах с площадью до 20000 км² на Европейской и до 50000 км² на Азиатской территориях СССР следует производить согласно рекомендациям СНиП 2.01.14—83 и Пособия к нему [52].

Максимальные расходы на реках с площадями водосборов, превышающими указанные пределы, рекомендуется определять по региональным зависимостям максимального стока от объема половодья, который может быть установлен по картам или по разности стока в створах, ограничивающих этот водосбор. При этом требуется, чтобы региональные зависимости были бы достаточно обоснованы данными по изученным рекам региона. При разработке региональных норм следует учитывать результаты полевых инженерно-гидрометеорологических изысканий в рассматриваемом створе

2. При невозможности применения методов, регламентируемых СНиП 2.01.14—83 как на территории СССР, так и в зарубежных районах проектирования, допускается определять расчетные максимальные расходы воды по редукционной формуле

$$Q_p = \frac{A_{p\%} F}{(F+1)^{0,25}} \delta_1 \delta_2 \delta_3 \delta_4 \delta_5, \qquad (7.26)$$

где $A_{p\%}$ —максимальный модуль элементарного стока требуемой расчетной вероятности превышения, определяемый по данным наблюдений или по опублико-

ванным официальным документам Госкомгидромета, м³/с с 1 км²; F—площадь водосбора, км²; δ_1, δ_2, δ_3, δ_4, δ_5—коэффициенты учета степени уменьшения максимального расхода воды различными факторами естественного и искусственного регулирования поверхностного стока на водосборах рек (озерность, заболоченность, залесенность, распаханность водосбора и других).

В структуру формулы (7.26) могут быть введены дополнительные параметры, учитывающие другие региональные факторы естественного и искусственного регулирования максимального поверхностного стока рек.

3. Совместное влияние озер и болот может быть учтено коэффициентом:

$$\delta_1 = 1 - k_0 \lg (f_{оз} + f_б + 1), \qquad (7.27)$$

где $f_{оз}$, $f_б$—доли площади водосбора, занятые озерами и болотами, %; k_0—коэффициент, равный 0,7—0,9; в зависимости от расположения озер в бассейне и принимают бóльшее значение при их низовом положении.

Формула (7.27) действительна при $f_{оз} > 3\%$ и $f_б > 10\%$, а также при $(f_{оз} + 0{,}2f_б) \leqslant 45\%$. При $f_{оз} > 15\%$ значение $f_б$ принимают равным нулю.

Влияние прудов, регулирующих меженный сток, при определении максимальных расходов воды вероятностью превышения менее 5% не учитывают, а при вероятности превышения более 5% допускается снижение расчетного расхода воды на 10%.

Учет уменьшения максимального расхода воды при регулирующем влиянии водохранилищ следует определять в зависимости от капитальности плотин специальными расчетами с использованием проектных и эксплуатационных материалов.

4. Влияние только болотной аккумуляции в формуле (7.26) учитывают с помощью коэффициента:

$$\delta_2 = 1 - k_б \lg (1 + 0{,}1 f_б), \qquad (7.28)$$

где $k_б$—коэффициент, изменяющийся от 0,6 для верховых болот до 0,7—0,8 для пойменных

При заболоченности водосбора менее 3% коэффициент δ_2 принимается равным единице.

5. Учет влияния залесенности в формуле (7.26) выполняют по формуле

$$\delta_3 = 1 - \gamma_л \lg (1 + f_л), \qquad (7.29)$$

$$\delta_3 = 1 - \gamma_л^1 f_л, \qquad (7.30)$$

где для лесостепной и степной зон $\gamma_л = 0{,}2$—$0{,}3$; для южной части лесной зоны $\gamma_л^1 = 0{,}6$; для северной части этой зоны $\gamma_л^1 = 0{,}7$, $f_л$—степень залесенности в долях от единицы

При залесенности менее 3% коэффициент $\delta_3 = 1$.

Совместное влияние озер, болот и лесов принято учитывать коэффициентом:

$$\delta_4 = 1 - 0{,}6 \lg (1 + f_{оз} + 0{,}1 f_б + 0{,}05 f_л). \qquad (7.31)$$

При заболоченности и залесенности менее 3% величины $f_б$ и $f_л$ принимают равным нулю. Замена в формуле (7.26) коэффициента δ_4 на произведение коэффициентов $\delta_1\delta_2$ не допускается.

6. При наличии в районе проектирования смежной изученной реки с близкими для расчетного водосбора физико-географическими характеристиками определение параметра $A_{p\%}$ в формуле (7.26) рекомендуется определять статистической обработкой данных гидрометрических наблюдений по этой реке.

Если по условиям факторов естественного регулирования максимального стока смежный водосбор-аналог отличен от расчетного водосбора, то параметр $A_{p\%}$ определяют по формуле

$$A_{p\%}=A_{pa}\frac{\overset{4}{\Pi}\delta_{ia}}{\overset{4}{\Pi}\delta_i}, \qquad (7.32)$$

где A_{pa}—модуль элементарного стока реки-аналога; $\overset{4}{\Pi}\delta_{ia}$—произведение коэффициентов, учитывающих регулирующие факторы водосбора-аналога, $\overset{4}{\Pi}\delta_i$—го же для расчетного водосбора.

7. При наличии максимальных расходов воды $Q_{p\%}$ по нескольким рекам, относящимся к одному гидрометеорологически однородному району, может быть построена в логарифмических координатах зависимость модулей максимального стока q от площади водосбора анализируемых рек, где $q=Q_{p\%}/F$.

Зависимость $q=f(F)$ при коэффициенте корреляции входящих в нее величин $r\geqslant 0{,}8$ используют как региональные нормы. Для подбора уравнения $q=f(F)$ принято принимать зависимость вида:

$$q=\frac{A_{p\%}}{(F+c)^n}, \qquad (7.33)$$

где значение параметров n и c устанавливают по анализу эмпирических точек и наклону кривой $q=f(F)$, построенной в логарифмических координатах Колебания параметра n в ряде районов СССР находятся в диапазоне от 0,1 до 0,35, а параметра c от 1 до 10

Выбор аналогов может производиться по материалам, опубликованным в издании «Ресурсы поверхностных вод» и в других документах Госкомгидромета, в которых приводятся величины максимальных расходов воды, слоев стока и параметров кривых распределения вероятностей превышения.

Подобие форм водосборных бассейн реки-аналога и исследуемой реки обеспечивается при соблюдении условий:

$$L_i/F_i^{0,56}\approx\text{const}, \quad I_iF_i^{0,5}\approx\text{const},$$

где L_i, I_i—длина и уклон рассматриваемых рек

8. Наряду с нормативными рекомендациями по расчету максимального стока [71], а также изложенными в разделе 7.3 настоящего Пособия, возможны при надлежащем их обосновании и другие региональные формулы, опубликованные в указаниях и инструкциях различных ведомств.

7.4. Расчеты максимального стока дождевых паводков при отсутствии данных гидрометрических наблюдений

1. Максимальные мгновенные расходы воды дождевых паводков определяют по СНиП 2.01.14—83 и Пособию к нему. При наличии натурных данных эпизодических и краткосрочных на-

блюдений, полученных в результате проведения инженерно-гидрометеорологических наблюдений, максимальные мгновенные расходы воды наиболее надежно определяют по региональным нормам стока (см. п. 7.6). Для районов СССР, не охваченных рекомендациями нормативных документов, а также зарубежных районов рекомендуется применять формулу

$$Q_p = 16{,}7 a_p \alpha_p F \varphi k_I k_\phi, \qquad (7.34)$$

где a_p —расчетная интенсивность осадков, соответствующая заданной вероятности превышения для расхода воды, мм/мин, α_p—расчетный коэффициент склонового стока, определяемый по прил 7 5, φ—коэффициент редукции максимального дождевого стока, определяемый в зависимости от площади F водосборного бассейна по табл 7 2, k_I—коэффициент учета влияния уклона главного русла I

I, %	0,01	0,1	1,0	10	10	200
k_I,	0,94	1,11	1,12	1,14	1,23	1,30

k_ϕ—коэффициент, учитывающий форму водосборного бассейна, принимают при $F \geqslant 50$ км^2 равным единице.

Таблица 72

F, км^2	φ	F, км^2	φ
30	0,272	500	0,147
50	0,244	1000	0,126
100	0,196	10000	0,088
300	0,167	100000	0,058

2. Расчетную интенсивность осадков, соответствующую заданной вероятности превышения для расхода воды (в мм/мин), определяют по формуле

$$a_p = a_{час} k_t k_F, \qquad (7.35)$$

где $a_{час}$—часовая интенсивность дождевых осадков, k_t—коэффициент редукции расчетной часовой интенсивности осадков по площади водосбора, k_F—коэффициент учета неравномерности распределения расчетных осадков по площади водосбора

Значение величин $a_{час}$, k_t и k_F определяют по прил. 7 5.

Для водосборов, площади которых находятся в нескольких ливневых районах, расчетную часовую интенсивность дождя определяют как средневзвешенную по площади.

3. В некоторых районах изысканий может возникнуть необходимость учета специфических факторов, регулирующих максимальный сток и присущих только одному району или отдельным водосборам. К этим факторам могут быть отнесены· меженный сток; бессточные емкости; пахотные земли на склонах; искусственное орошение; террасированное земледелие; заторность горных русел; влияние карстовых явлений; регулирование стока искусственными сооружениями; переливы паводковых вод из одного бассейна в другой; неустойчивое перераспределение стока между

водотоками на выходе из гор; озерность и заболоченность; забор воды на хозяйственные нужды; многократность повторения расчетных паводков в муссонных районах; регулирование стока на широких поймах; транзитные участки русел; наледные явления и заледенелость русла; регулирование стока мелиоративными сооружениями; подпорные явления, наличие в бассейне населенных пунктов или построенных дорог и другие.

Учет этих региональных особенностей максимального стока должен производиться в каждом конкретном случае путем введения в формулу (7.34) дополнительных коэффициентов, установленных по данным специальных исследований, а при их отсутствии—на основе материалов полевых гидрометеорологических обследований водосборов. В особо сложных случаях и при недостаточности материалов полевого обследования для обоснования методов учета влияния этих факторов необходимо проведение инженерно-гидрометеорологических изысканий и исследований по специальным программам.

Влияние региональных факторов следует учитывать, исходя из особенностей внутригодового режима дождевого стока в районе изысканий. Необходимо также давать вероятностную оценку возможного совпадения паводочного периода со временем действия регулирующих факторов.

Влияние региональных факторов может проявляться на водотоках различной величины по-разному. Поэтому для каждого объекта необходимо установить пределы применения коэффициентов, учитывающих региональные особенности водосборов не только во времени их действия, но и по площади водосбора.

Для установления региональных коэффициентов по данным полевого обследования или специальных исследований следует использовать метод составления уравнений баланса стока на период формирования максимальной ординаты гидрографа расчетного паводка.

Для учета некоторых особенностей регулирования максимального стока рекомендуется использовать методы, изложенные в [37, 49].

4. Наряду с расчетами по формуле (7.34) может быть в ряде районов применена объемная формула Д. Л. Соколовского с корректировкой ее параметров, выполненных Л. Л Лиштваном, а также ВСН 63—76 [25].

7.5. Расчетные гидрографы весеннего половодья и дождевых паводков

1. Расчет и построение гидрографов весеннего половодья и дождевых паводков при наличии, недостаточности и отсутствии данных гидрологических наблюдений следует выполнять согласно рекомендациям СНиП 2.01.14—83 и Пособия к нему. При этом очертания расчетных гидрографов принимают по моделям наблюденных высоких весенних половодий (дождевых паводков) с наиболее неблагоприятной их формой для работы мостовых сооружений.

Ежегодные значения основных элементов гидрографа рекомендуется определять для створа проектируемого мостового перехода путем анализа ближайшего гидрометрического створа с многолетними наблюдениями. При необходимости расчеты нужно выполнять для нескольких моделей гидрографов, что позволит произвести выбор наиболее невыгодной формы из них для работы мостового перехода по пропуску половодий или паводков через мостовые отверстия.

2. Для проектирования мостовых переходов и малых водопропускных дорожных сооружений схематизацию гидрографов весеннего половодья и дождевых паводков допускается осуществлять по геометрическим фигурам и типовым моделям. При простых одномодальных гидрографах малых и средних рек с весенним половодьем или дождевыми паводками для построения расчетных гидрографов рекомендуется использовать уравнения:

для ветви подъема:
$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{t_п}\right)^m; \tag{7.36}$$

для ветви спада:
$$Q_t = Q_p \left(\frac{t_{сп} - t}{t_{сп}}\right)^n, \tag{7.37}$$

где m и n—показатели кривых подъема и спада, принимаемые соответственно равными $m=n=2$ для весенних половодий и $m=2$, $n=3$ для дождевых паводков (при $m=n=1$ гидрограф принимает треугольную форму, используемую при расчете отверстий малых дорожных водопропускных сооружений); Q_t—текущая ордината расхода воды; Q_p—максимальная ордината гидрографа, соответствующая расчетному расходу воды заданной вероятности превышения; t—текущая абсцисса времени от нуля до пика подъема и от этого пика до нуля спада; $t_п$ и $t_{сп}$—продолжительность соответственно подъема и спада всды

Под нулем гидрографа при расчете мостовых переходов понимается момент выхода воды на пойму.

3. Продолжительность подъема весеннего половодья определяют по формуле
$$t_п = T_с + L/v, \tag{7.38}$$

где $T_с$—продолжительность схода основной массы снегового покрова, принимаемая по наблюдениям на ближайших метеостанциях к геометрическому центру водосборной площади или смежной реке, а при отсутствии таких данных—ориентировочно по табл. 7.3, сутки; L—длина реки до расчетного створа моста, км; v—средняя скорость течения воды в русле на пике весеннего половодья, км/сутки.

Отношение продолжительности спада $t_{сп}$ к продолжительности подъема весеннего половодья $t_п$ приято принимать по гидрографу смежной реки-аналога или назначать ориентировочно равными 2—2,5 для рек степной и лесной зон СССР и 3—4 для озерных и заболоченных рек с большими поймами.

Объем максимального весеннего стока требуемой вероятности превышения при схематизации гидрографа согласно формулам (7.36) и (7.37) при $m=n=2$ определяют в м³ по формуле
$$W_p = 28800 Q_p t_п (1+\gamma), \tag{7.39}$$

где $\gamma = t_{сп}/t_п$.

Таблица 73

Характер водосборов	T_c, сутки
Заболоченные водосборы лесной зоны	6
Водосборы в зонах	
лесной	5
лесостепной	4
степной Европейской части СССР	3
степной Казахстана	2
полупустынь	1

4 Продолжительность подъема дождевых паводков определяют в часах по формуле

$$t_п = 0{,}278 k_п L / v_п, \qquad (7\,40)$$

где $k_п$—коэффициент, принимаемый равным единице для паводков, формирующихся от коротких ливневых дождей, и равным 1,5 для паводков, формирующихся от обложных дождей продолжительностью более суток, $v_п$—средняя за время подъема скорость добегания пика дождевого паводка, равная 0,7 v_{max} где v_{max}—максимальная скорость течения в расчетном створе, м/сек

Продолжительность дождевых паводков может быть установлена по формуле

$$T_п = t_п + t_{сп} = t_п (1 + \gamma), \qquad (7\,41)$$

где $\gamma = t_{сп}/t_п$ принимают по типовому гидрографу смежной реки-аналога или ориентировочно назначают равным от 1,5—2 для малых рек с безлесными водосборами и малопроницаемыми почвогрунтами до 3—4 для малых рек с лесистыми водосборами или проницаемыми почвогрунтами (а также для средних рек с обычными поймами) и до 4—6 для больших рек со значительными поймами

Объем дождевого стока определяют по формуле в м^3 (время подъема в часах)

$$W_р = 300 Q_р t_п (4 + 3\gamma). \qquad (7.42)$$

При наличии данных одновременных наблюдений за дождевыми осадками, вызвавшими паводок, и за паводочными уровнями воды в створе мостового перехода продолжительность подъема может быть определена по формуле

$$t_п = k_п t_{сд}, \qquad (7.43)$$

где $t_{сд}$— время сдвига между пиком дождя и пиком паводка, час

Продолжительность подъема пика паводка может быть оценена при известном расходе воды (в м^3/с) по формуле

$$t_п \approx 1{,}7 L / (I^{1/3} Q^{1/4}), \qquad (7.44)$$

где I—средний уклон водотока от истока до расчетного створа мостового перехода, ‰

При отсутствии данных наблюдений для приближенных расчетов могут быть применены следующие ориентировочные соотношения продолжительности ветвей подъема и спада гидрографа:

F, км^2	300—500	500—5000	более 5000
$t_п$ $t_{сп}$	1 1(1,5)	1 · 1,5(2)	1 2(2 5)

При многовершинных и растянутых дождевых паводках целесообразна схематизация гидрографов по модели реальных паводков, а также с применением генетических методов моделирования [49].

7.6. Линейно-региональные нормы для расчетов максимального дождевого стока в неизученных районах СССР и зарубежных странах

1. Наиболее достоверные данные о максимальном стоке в неизученных районах могут быть получены путем проведения инженерно-гидрометеорологических изысканий в конкретных районах проектирования, обобщения их результатов и разработки на их основе линейно-региональных норм стока.

В составе этих изысканий предусматривают: краткосрочные гидрометрические наблюдения на выборочных створах больших мостовых переходов; массовые полевые морфометрические обследования всех остальных пересекаемых трассой дороги водотоков с определением расходов и уровней воды по следам, меткам паводков прошлых лет, а также по опросам старожилов и местных жителей; обследования для выявления и учета региональных особенностей формирования и регулирования максимального стока; обследования пересекаемых водотоков после прохода паводков в период изысканий; обследования построенных ранее водопропускных сооружений в данном районе.

В результате выполненных обследований должны быть собраны сведения, включающие гидрографические характеристики водосборов; основные параметры построенных ранее водопропускных сооружений и их расположение; местоположение стационарных пунктов гидрометрических наблюдений и данные по ним. Должны быть зафиксированы отметки и даты уровней паводков прежних лет, изучены метеорологические условия формирования максимального стока и выявлены региональные особенности формирования максимального стока и его регулирования. Состав и методология этих работ предусмотрены в методических рекомендациях [37].

При разработке и обосновании линейно-региональных норм максимального стока следует использовать не только результаты полевых краткосрочных обследований и многолетних гидрометрических наблюдений на водомерных постах, но и данные по осадкам в районе изысканий и прилегающих к нему регионов. Сведения об осадках в большинстве районов имеют более продолжительные периоды наблюдений и более доступны. Эти сведения позволяют наиболее полно отразить ливневые и синоптические условия района проложения дороги и обоснованно производить выбор аналогов и географическую интерполяцию и экстраполяцию различных гидрометеорологических параметров максимального стока из районов изученных в районы неизученные.

2. Необходимость выполнения тех или иных изыскательских работ для разработки и обоснования линейно-региональных норм

максимального стока следует определять в зависимости от степени гидрометеорологической изученности и сложности природных условий района проектирования, срока проведения, состава и организации изыскательских работ на данном объекте. Сроки начала проведения инженерно-гидрометеорологических изысканий максимального стока на наиболее сложных объектах должны предшествовать другим видам инженерных изысканий. В некоторых случаях может быть необходима постановка экспресс-метеорологических и экспресс-гидрологических наблюдений. Состав работ по экспресс-метеорологическим наблюдениям рассмотрен в методических документах.

3. При разработке и обосновании линейно-региональных норм подлежат выполнению: расчеты расходов по следам паводков и по многолетним наблюдениям; оценка вероятностей превышений наблюдавшихся расходов, уровней и дождевых осадков; построение зависимости максимальных модулей стока от площади водосбора; оценка достоверности исходных материалов и результатов расчетов; расчеты ливневых характеристик максимального стока и обоснование их распределения по территории района изысканий; анализ применимости существующих в заданном районе теоретико-эмпирических формул; обоснование параметров расчетных формул максимального стока; установление методов получения коэффициентов, учитывающих региональные особенности района изысканий и отдельных водотоков; сопоставление результатов расчета по региональной формуле натурными наблюдениями.

Расходы воды по следам, меткам и опросам старожилов вычисляют морфометрическим путем, а расходы воды по данным мнологетних гидрометрических измерений статистическими методами.

Наряду со сведениями о высоких паводках представляют интерес сведения о засушливых годах и самых низких паводках, а также частота их чередования, продолжительность выдающихся паводков и размеры причиненных убытков.

По максимальным расходам воды Q_m, определенным по данным краткосрочного полевого обследования или гидрометрических измерений, с учетом формуры (7.34) вычисляют натурные максимальные интенсивности водоотдачи

$$A_m = Q_m/(F\varphi k_l k_\phi). \qquad (7.45)$$

Значительный разброс значений параметров A_m связан с получением их по расходам воды различной вероятности превышения. Поэтому натурные максимальные интенсивности водоотдачи являются контролем при назначении максимальной интенсивности водоотдачи заданной вероятности превышения.

4. Оценку повторяемости наблюдавшихся паводков и установление расчетных вероятностей выполняют с учетом возможных пределов интенсивности водоотдачи в данном климатическом районе путем сопоставления их натурных и теоретических значе-

ний A_p различной вероятности превышения, вычисляемых по формуле

$$A_p = 16{,}7 a_p \alpha_p , \qquad (7.46)$$

где a_p и α_p имеют те же обозначения, что и в формуле (7 34).

Часовая интенсивность дождевых осадков $a_{час}$ и коэффициент учета неравномерности распределения расчетных осадков по площади водосбора подлежат региональному уточнению при наличии данных метеорологических наблюдений в районе проектирования.

5. В результате ознакомления и изучения собранных материалов производят тщательный анализ синоптической обстановки района с увязкой аналогичных сведений по метеорологическим условиям близлежащих районов. На основании этого анализа составляют карту-схему прохождения ливнеформирующих потоков с указанием направления их движения, времени года и дат формирования особо выдающихся ливней на рассматриваемой территории.

При составлении таких карт нужно использовать материалы аэрологического зондирования маршрутов авиации, а также мировые атласы погоды и другие источники.

При анализе синоптической обстановки должны быть установлены расчетные траектории движения воздушных масс в период выпадения выдающихся дождей, а также произведена оценка возможных смещений наиболее ливнеопасных потоков в пределах заданного района. На основании анализа синоптической обстановки, учета географического положения района изысканий и опорной сети гидрометеорологических наблюдений производят выбор исходных метеостанций, определяют состав и программу работ по обоснованию необходимых ливневых характеристик. Необходимо составить карту расположения пунктов метеорологических наблюдений и перечень метеостанций, привлекаемых к расчетам, с указанием географических координат, высот местности и периода наблюдений.

На исходных метеостанциях производят сбор данных по осадкам за различные интервалы времени (1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 60 мин, 3, 6, 12 ч. и 1, 2, 3 суток). Сбор этих данных выполняют в виде выборок ежегодных максимумов осадков за все годы наблюдений и по различным интервалам времени за период наблюдений. Необходимо использовать как материалы самописцев с непрерывной записью хода дождя, так и данных дождемеров. Особое внимание должно быть уделено сбору сведений о выдающихся ливнях.

6. Для установления зависимости максимальной интенсивности осадков от их продолжительности T необходимо использовать все имеющиеся записи дождей самописцами или дождемерами. Предварительно производят их систематизацию по пунктам наблюдений, приводят к единой размерности (в мм/мин) и проверяют достоверность этих материалов. По данным статисти-

ческой обработки для каждого интервала времени вычисляют интенсивности осадков a для требуемых вероятностей превышения. По вычисленным значениям a строят зависимость интенсивности осадков от продолжительности $a=f(T)$ по каждой метеостанции (рис. 7.4).

7. Для аналитической оценки расчетной интенсивности осадков по продолжительности используют формулу ГГИ.

$$a=\frac{s}{(T+c)^{\Pi_т}}, \qquad (7.47)$$

где a—расчетная максимальная интенсивность осадков, мм/мин, s—предельная интенсивность осадков при $T=1$ мин, мм/мин, T—расчетная продолжительность дождя, мин, $\Pi_т$—показатель степени редукции осадков по продолжительности, c—поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение интенсивности в зоне малых продолжительностей

Опыт применения зависимости (7.47) показывает, что значение показателя степени П, в интервале продолжительности более 1 ч изменяется сравнительно мало (в пределах 0,60—0,77) и остается постоянным для каждой метеостанции. В интервале от 1 до 60 мин показатель степени изменяется в пределах 0,25—0,60;

поправочный коэффициент c определяют индивидуально для каждой метеостанции по эмпирическим точкам, полученным в результате обработки рядов осадков для интервалов продолжительности менее 1 часа (см. рис. 7.4). В случае отсутствия данных для оценки зависимости (7.34) в интервале малых продолжительностей значение c принимают равным единице. Это допущение позволяет определять величины интенсивностей осадков с некоторым запасом, что может быть оправдано для неизученных районов. Учитывая, что в интервале времени от 1 ч до 3 суток зависимость $a=f(T)$ имеет прямолинейный характер, можно только по данным осадкомеров построить указанную зависимость в этом интервале, и путем графической экстраполяции определить величины интенсивностей дождя для времени 1 ч. Для этой цели производят статистические расчеты максимальных сумм осадков продолжительностью 1, 2 и 3 суток и стоят зависимости $a=f(T)$ (рис 7.5).

При недостаточности исходных данных по этим графикам могут быть вычислены (с некоторым запасом) интенсивности осадков для интервалов 20, 30 и 45 мин.

Одновременно с вычислением интенсивностей по зависимостям (см. рис. 7.4 и 7.5) устанавливают показатель редукции осадков П по продолжительности, который определяют как тангенс угла наклона кривой $a=f(T)$. Величина показателя редукции может изменяться не только по каждой метеостанции, но и в зависимости от различных значений вероятностей превышения расчетных осадков.

Для практических расчетов принимают одно значение показателя редукции осадков для каждой метеостанции, оценивая его величину в диапазоне возможных вероятностей превышения (0,3—3%).

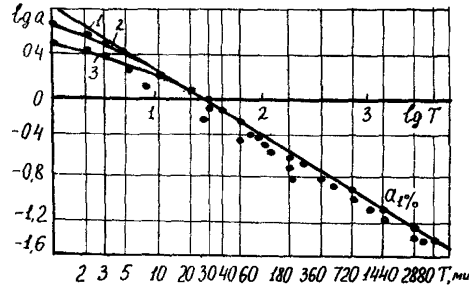


Рис. 7.4. Зависимость интенсивности выпадения дождевых осадков от их продолжительности:

1—при $c=0$; *2*—при $c=1$, *3*—по материалам наблюдений на метеостанциях района проектирования

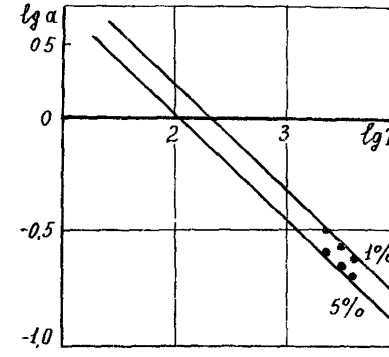


Рис. 7 5. Зависимость интенсивности дождевых осадков от продолжительности их выпадения в интервале от 1 часа до 3 суток

Поскольку вычисленные расчетные интенсивности и показатели редукции осадков имеют различные значения на исходных метеостанциях, производят их районирование для заданного района или направления проектируемой дороги.

Если невозможно составить карты по территории всего района, производят обоснование выбора расчетной метеостанции или группы метеостанций, которые могли бы надежно характеризовать ливневые условия для расчета максимального стока в районе проектирования или на отдельных участках дороги.

8. Для установления репрезентативных количественных ливневых характеристик в конкретном регионе необходимо выявить зависимости расчетных максимумов осадков от местных орографических (рельефа) и других условий. С этой целью строят графики зависимостей расчетных ливневых характеристик от высоты местности и географических координат.

Для районов с недостаточным числом исходных метеостанций необходимо рассматривать вопрос о возможности географической интерполяции расчетных максимумов осадков из районов изученных в районы неизученные.

9. В некоторых районах наблюдения за осадками ведутся (или производились) только осадкомерами, поэтому возникает необходимость определения осадков продолжительностью 1 ч по данным суточных максимумоз $H_{сут}$. Слой осадков часовой продолжительности определяют как $H_ч = k_ч \cdot H_{сут}$ при $k_ч = \frac{1}{24^{1-n}}$,

где $k_ч$—переходный коэффициент от суточной суммы осадков к часовой; n—показатель степени редукции осадков по продолжительности

В муссонных районах переходный коэффициент $k_ч$ может изменяться по территории в пределах 0,30—0,45 для дождей 1—2% повторяемости.

10. Для установления площади одновременного охвата расчетным дождем следует произвести анализ ежедневных записей выпадающих осадков за различные интервалы времени и за все годы наблюдений по всем пунктам наблюдений района изысканий с регистрацией дождей, одновременно наблюдаемых на нескольких метеостанциях. При регистрации выписывают дату дождя, количество выпавших осадков, интервал времени и наименование метеостанций с систематизацией полученных сведений.

Для наиболее сильных дождей, одновременно зафиксированных на нескольких метеостанциях, строят схематические карты изолиний выпавших осадков (изогиет). При недостаточности метеостанций или их редком расположении по территории района вместо карт нужно строить маршруты изолиний по направлению изыскиваемой дороги или по направлению нескольких метеостанций. В районах с недостаточной изученностью при проведении изолиний допускается ливневая интерполяция между метеостанциями.

11. Для перехода от осадков в центре дождя к осадкам на различных площадях водосборов устанавливают переходные коэффициенты для снижения расчетных величин осадков от увеличения площади одновременного орошения дождем. С этой целью для различных площадей F_i или длин маршрутов L_i, ограниченных изоляциями H_i, вычисляют средневзвешенные $H_{св}$ по площади или длине маршрутов суммы осадков $H_{свi}$ и строят зависимость (рис 7.6).

$$H_{свi}=f(F_i) \text{ или } H_{свi}=f(L_i).$$

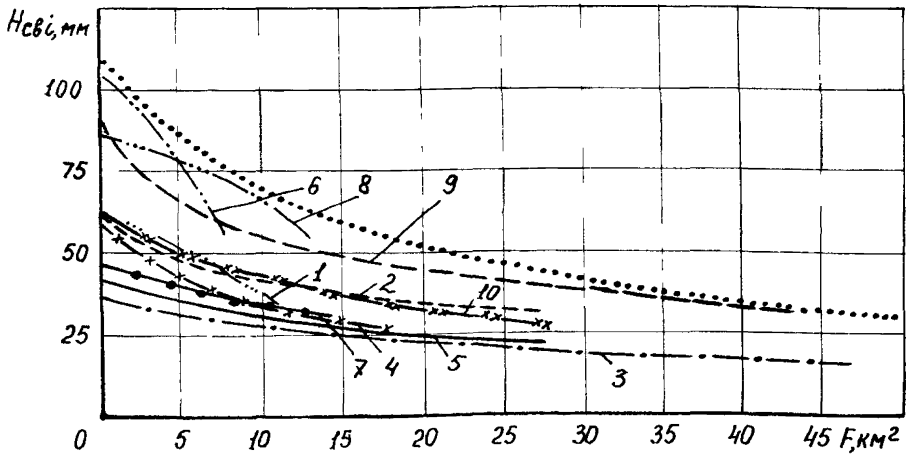


Рис 7 6 Кривые зависимости $H_{свi}=f(F_i, L_i)$ десяти (1—10) дождей, продолжительностью 24 часа

Расчетной принимают верхнюю огибающую, характеризующую максимальный из наблюдавшихся ливней. При достаточно многолетних данных выполняют вероятностную оценку этой огибающей. Расчетные средневзвешенные слои осадков $H_{св}$ определяют для различных площадей или длин маршрутов. При недостаточных данных наблюдений по плювиографам схематические карты или маршруты изолиний (изогиет) могут быть составлены по данным дождемеров.

Для перехода от расчетных осадков в центре ливня H_0 к осадкам на различных площадях применяют коэффициенты редукции осадков по площади (k_F) или по длине выбранного маршрута (k_L), определяемые по формуле

$$k_F = H_{св} : H_0.$$

Для определения слоя осадков в центре дождя принимают расчетный дождь. По вычисленным значениям коэффициента редукции строят зависимость $k_F = f(F)$ или $k_L = f(L)$ и составляют таблицы расчетных значений коэффициента редукции осадков по площади в заданном районе изысканий.

В районах, где для определения коэффициента редукции были использованы маршруты изолиний, устанавливают переход от длин намеченных маршрутов к величинам площади.

12. Одной из наиболее характерных закономерностей максимального стока является убывание (редукция) единичных максимальных расходов ($q = Q : F$) с увеличением водосборной площади.

Для учета фактической редукции модулей максимального стока необходимо по каждому из однородных районов проложения дороги построить расчетные зависимости $q = f(F+1)$ раздельно для каждого из зафиксированных паводков прошлых лет (рис. 7.7).

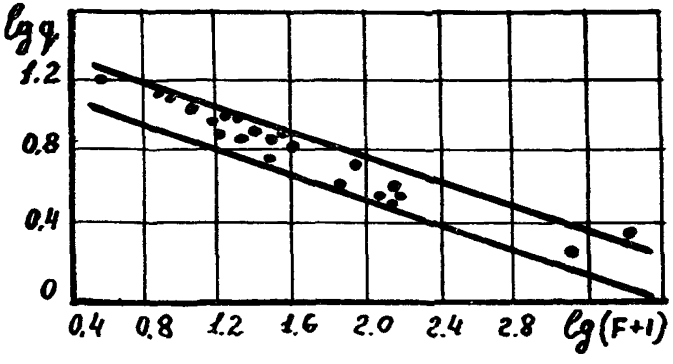


Рис 7 7 Зависимость максимальных модулей стока от площади водосбора по данным наблюдений за паводками

Характер индивидуальных морфологических особенностей водосборов, неодинаковая вероятность превышения максимумов, рассматриваемых в одной группе, а также некоторая индивидуальность метеорологических условий над каждым водосбором определяют амплитуду отклонений отдельных максимумов на водосборах одинаковой площади. Поэтому рекомендуется выделять огибающими наиболее плотное поле точек (см. рис. 7.7). Наклон этих огибающих должен отражать общую направленность всего поля точек по водосборам, используемым в построении рассматриваемых зависимостей. По всем однородным участкам дороги и для паводков различной вероятности превышения определяют фактический показатель степени редукции П как тангенс угла, образуемого наклонными огибающими с осью абсцисс $\lg F$.

Вполне очевидно, что верхняя огибающая будет отражать наибольшие значения максимумов для всего района, представленного наблюдениями. Теоретическая оценка фактических величин показателя степени редукции должна производиться с помощью показателей редукции n_1 в зависимости $a=f(T)$ и n_2 в зависимости $q=f(F)$ по формуле Д. Л. Соколовского

$$n_т = n_1 \cdot n_2.$$

Показатель степени редукции—переменная величина, зависящая по данным ряда исследователей как от физико-географического положения района, так и от размеров водосборных площадей. В табл. 7.4 приведены ориентировочные значения показателя степени $n_т$.

Таблица 74

Географические районы	$n_т$	Географические районы	$n_т$
Бассейн Верхнего и Среднего Амура	0,40	Южно-Уральская ж. д	0,57
о. Сахалин	0,40—0,45	Волгоградская область	0,56
Районы Дальнего Востока	0,36—0,42	Колыма	0,23
Южное Приморье	0,37	Московская обл (малые водосборы, менее 0,3 км²)	0,49—0,56
Горные и полугорные районы Приморья (Амурская обл и Европейская авт обл.)	0,40	Корея	0,25—0,30
		Северная Индия	0,25
Украинская ССР (Приазовская возвышенность, юго-восточные склоны Волыно-Подольской возвышенности, Верховья р. Десны)	0,50	Непал (Теран, Сивалик, Махабхарат)	0,33
		Бирма	0,35
		Северные районы Вьетнама	0,20—0,35
Восточные Карпаты	0,50	Сирия	0,30—0,38
Армянская ССР	0,46—0,70	Ирак	0,35
Центральные черноземные области (малые водотоки)	0,58	Афганистан	0,37—0,40

13. При разработке линейно-региональных норм максимального стока признано недопустимым применять методы косвенных аналогий с отдаленными физико-географическими районами, а также применение формул без обоснования их параметров данными наблюдений и без сопоставления результатов расчета с натурными расходами.

При отсутствии данных гидрометеорологических наблюдений непосредственно в районе изысканий обоснование предварительных региональных зависимостей максимальных расходов дождевых вод может быть произведено методом географической интерполяции, который предусматривает использование натурных данных по группе обследованных водосборов для установления основных параметров региональной формулы в заданном районе по интерполяции между этими водосборами. За пределами этих водосборов возможна экстраполяция расчетных параметров. Границы экстраполяции следует определять индивидуально и с обязательным обоснованием их положения.

Метод географической интерполяции правомерен в пределах одного физико-географического района, характеризующегося одинаковыми климатическими условиями и рельефом. На территории изучаемого района должны быть установлены опорные водосборы, на которых имеются натурные наблюдения за расходами воды (или осадками), и составлена карта-схема их расположения.

На опорных створах по вычисленным расходам с учетом формулы (7.45) определяют элементарные модули максимальных расходов. Районирование вычисленных величин A_m производят путем проведения по карте-схеме изоляций по интерполяции между центрами тяжести опорных бассейнов с известными значениями модуля. Интерполяцию следует производить перекрестным способом по направлениям прямых линий, связывающих каждую точку замкнутого опорного полигона со всеми другими точками.

Расходы, получаемые методом географической интерполяции, могут иметь весьма ориентировочные значения, точность определения которых составляет в ряде районов +40—60% от действительных. Это обстоятельство следует учитывать при оценке принимаемых проектных решений.

Таким же методом можно районировать и другие параметры расчетных формул, в том числе и метеорологические характеристики максимального стока, для которых в качестве опорных используют пункты метеорологических наблюдений.

14. Применение линейно-региональных норм, основанных на результатах инженерно-гидрометеорологических изысканий максимального стока, обеспечивают определенную направленность изыскательских работ и обоснованность расчетных максимумов стока. Границы применимости региональных норм определяются размерами района изысканий и величинами водосборов, пересекаемых дорогой.

Наряду с линейно-региональными нормами в практике транспортного строительства находят применение и такие региональ-

ные нормы, которые основаны на большей гидрометеорологической информации по отдельным регионам СССР. Наибольшее применение получили нормы Дальгипротранса (автор И. И. Шереметьев).

7.7. Перенос уровней и расходов с водпостов на створ перехода

1. Расчетные уровни со створов водомерных постов переносят на створ перехода с учетом заторных и подпорных явлений в соответствии с СНиП 2.01.14—83 [71]:

а) при наличии одновременных водомерных наблюдений на створах водомерного поста и перехода—по кривой связи уровней.

б) при отсутствии одновременных наблюдений или надежной связи уровней—по перенесенным со створа поста на створ перехода уровням воды заданной вероятности превышения;

в) при расположении водомерного поста не далее 3 км—по уклону водной поверхности в паводок.

При нескольких водомерных постах с различными периодами наблюдений строят кривые связи между этими водпостами и на посту, ближайшем к переходу, получают удлиненный ряд уровней. Расчетные уровни переносят на переход со створа этого водпоста.

Увязка уровней для переноса между водпостами надежна, если при построении кривых связи коэффициент корреляции $R \geqslant 0{,}8$. Удлиненный ряд уровней поста, с которого производят перенос, должен иметь не менее 20 членов и быть близким к переходу по морфологическим условиям и площади водосбора.

2. Для графика связи выбирают сходственные уровни (т. е. одинаковой фазы), наблюденные на водпосту и переходе: самые высокие, низкие и характерные уровни, соответствующие переломам графика $H=f(T)$. Кроме сходственных, используют и другие уровни, но с учетом времени добегания между водпостами и створами перехода.

Для надежной экстраполяции кривой связи уровней используют также амплитуды высоких исторических уровней над нулями многолетнего поста и временного поста на переходе (рис. 7.8, *а*).

Время добегания определяют по сходственным характерным уровням, наблюденным на водпосту и переходе. Время добегания увеличивается от пика паводка к межени вследствие уменьшения скоростей течения. Поэтому определяют время добегания для нескольких сходственных уровней и строят график $t_{\text{доб}}=f(H)$ (рис. 7.8, *б*).

Экстраполяция верхней части кривой связи за пределами наблюдений для створов с поймами возможна при условии наблюдений уровней на отметках выше средней отметки пойм.

Если надежной связи по сходственным и ежедневным уровням не получается, то строят график связи уровней равной обеспеченности (рис. 7.9).

3. Уклон водной поверхности может изменяться с изменением уровня. Поэтому при переносе уровней по уклону необходимо одно-

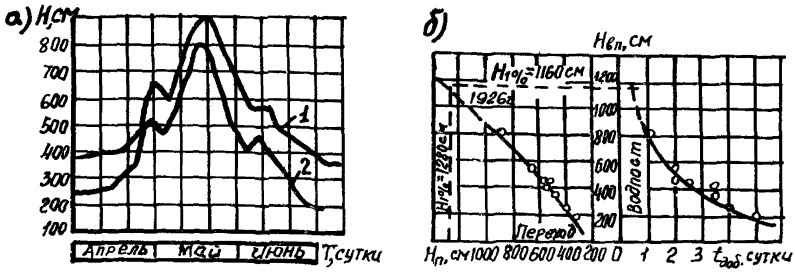


Рис 7 8 Пример построения кривой связи уровней воды между водпостом и переходом

1—переход, *2*—водпост *а*—водомерные графики, *б*—графики времени добегания

временной нивелировкой урезов воды на участке переноса уровней установить характер и размеры этого изменения; в результате должно быть принято расчетное значение уклона $i_{расч}$ или построена зависимость $i_{расч}=f(H)$.

При переносе на соседние створы расчетных наивысших уровней воды на горных участках рек следует учитывать искривления поверхности воды на поворотах русла.

Перенос расчетных наивысших уровней воды в пределах участков рек, находящихся в подпоре, производится по кривым подпора.

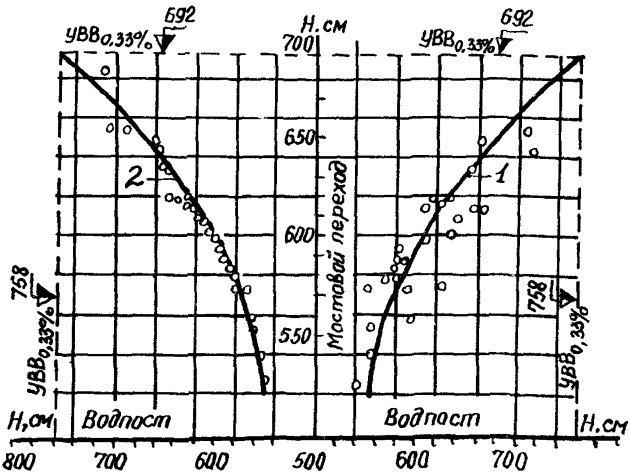


Рис 7 9 Пример построения кривых связи сходственных уровней (1) и уровней равной обеспеченности (2)

5. Перенос на другие створы расчетных наивысших уровней воды в период ледохода при отсутствии заторов льда на участке реки производят по графикам связи соответственных уровней воды или по кривым расходов воды $Q=f(H)$ и расходам $Q'_{p\%}$, определяемым по формуле

$$Q'_{p\%} = Q_{p\%}/k_{зим},$$

где $Q_{p\%}$ —расход расчетной вероятности превышения, $k_{зим}$—коэффициент, учитывающий изменение гидравлики потока во время ледохода, принимаемый по данным наблюдений в опорном пункте

6 Перенос расчетных наивысших заторных уровней воды в пределах участков до 3 км на малых и средних реках и до 10 км на больших производят по уклону водной поверхности при высоком уровне. На бо́льшие расстояния перенос расчетных заторных уровней воды осуществляется при наличии данных о продольном профиле водной поверхности.

7. Определение расчетных наивысших уровней воды озер следует производить по кривым распределения ежегодных вероятностей превышения уровней воды озер теми же приемами, что и для рек. При назначении расчетных уровней воды озер, полученных по кривым распределения ежегодных вероятностей превышения этих гидрологических характеристик, необходимо учитывать высоту ветрового нагона, определяемую по СНиП 2.06 04—82*.

Перенос наивысших уровней воды озер опорного водомерного поста к другим постам производят по графикам связи уровней воды с учетом волнения и ветрового нагона.

8 Расходы расчетной вероятности превышения со створа водпоста, где имеется многолетний ряд наблюдений, переносят на створ перехода с учетом изменения площади водосбора на участке водпост—переход. Это возможно, если расчетный слой суммарного стока дружности половодья и показатель степени его редукции для расходов талых вод или модуль максимального расхода и показатель степени его редукции остаются неизменными. В противном случае максимальные расходы определяют для створа мостового перехода методом аналогий

Допускается переносить максимальные расходы на створ перехода по региональным зависимостям $M=f(A)$, где $M=\frac{Q}{A}$ —модуль максимального расхода, полученный по натурным данным.

7 8. Расчет судоходного и меженного уровней в створе перехода

Расчетный судоходный уровень (РСУ) определяют в соответствии с обязательным прил. 3 ГОСТ 26775—85 [6].

1. Для нешлюзовых рек определение РСУ производят в следующем порядке:

а) Определяют класс внутреннего водного пути, зависящего от гарантированной глубины судового хода на перспективу (не менее 15 лет от срока ввода моста в эксплуатацию).

Гарантированная глубина судового хода на перспективу устанавливается министерством (ведомством), регулирующим судоход-

ство на соответствующем водном пути, или организацией, уполномоченной министерством, по генеральной схеме развития путей водного транспорта с учетом объема перевозок на перспективу, реальных условий судоходства, габаритов существующих мостов и др.

б) Определяют расчетную (среднемноголетнюю) продолжительность физической навигации T, в сутках, как среднеарифметическое этих периодов за все годы наблюдений (не менее 10 лет).

За период навигации в общем случае принимается продолжительность периода, когда река свободна от ледостава и других ледяных образований. В случае, когда лед на реке или водохранилище искусственно взламывается ледоколом, за начало навигации принимают дату прорезания канала, пригодного для прохода судов.

в) Определяют допустимую по классу водного пути продолжительность ($t_{сут}$) стояния уровней воды выше РСУ по формуле

$$t = \frac{kT}{100}, \qquad (7.48)$$

где k—коэффициент допускаемого снижения навигации, принимаемый по табл 7 5

г) По водомерным графикам паводков (половодий) $H=f(t)$ определяют для всех лет наблюдений уровни воды $H_т$, превышаемые более высокими в течение $t_{сут}$.

д) Полученный ряд уровней $H_т$ ранжируют в порядке убывания и для каждого уровня определяют их эмпирическую вероятность превышения P_m по формуле (7.2).

е) По наиденным эмпирическим точкам на клетчатке нормального распределения строят плавную кривую $H_т=f(P_m)$. В зависимости от расчетной вероятности превышения уровня P_d, определяемой из табл. 7.5, и устанавливают расчетный судоходный уровень РСУ.

Таблица 75

Класс внутреннего водного пути	Участки нешлюзовых и первой зоны шлюзовых рек		Участки второй зоны шлюзовых рек	
	Коэффициент допускаемого снижения навигации k	Расчетная вероятность превышения уровня P_d, %	Коэффициент допускаемого снижения навигации k	Расчетная вероятность превышения уровня P_d, %
I	5	2	5	2
II	6	3	6	3
III	6	4	6	4
IV	5	5	7	5
V	3	5	7	5
VI	2	4	6	6
VII	2	4	6	6

2 Для шлюзовых рек и водохранилищ расчет РСУ производят в следующем порядке:

а) Устанавливают класс реки в соответствии с указаниями ГОСТ 26775—85.

б) Если судоходство в паводок совершается через разборчатые плотины, то расчетный судоходный уровень определяют так же, как для нешлюзовых рек.

в) Если на реке в продолжении всей навигации имеется подпор, создаваемый плотиной, а паводок проходит через плотину при отметках ниже нормального подпорного уровня (НПУ), то определяют зону верхнего бьефа плотины, в которой расположен мост (рис. 7.10):

в первой зоне—когда отметки уровня пропуска паводка расчетной вероятности ниже отметок НПУ с учетом кривой подпора;

во второй зоне—когда отметки уровня пропуска паводка расчетной вероятности выше отметок НПУ с учетом кривой подпора.

г) При расположении моста в первой зоне за РСУ принимают подпорный уровень водохранилища с учетом кривой подпора; при этом отметка РСУ должна быть не менее, чем на 0,5 м выше отметки НПУ водохранилища.

При длительном стоянии форсированных уровней, превышающих НПУ более чем на 0,5 м, отметку РСУ следует устанавливать на основании комплексного технико-экономического обоснования.

д) Если мост расположен во второй зоне, РСУ определяют в последовательности:

по материалам наблюдений за уровнями воды и с учетом проектных данных водохозяйственных расчетов плотины определяют расчетную продолжительность физической навигации как среднеарифметическое этих продолжительностей за все годы наблюдений;

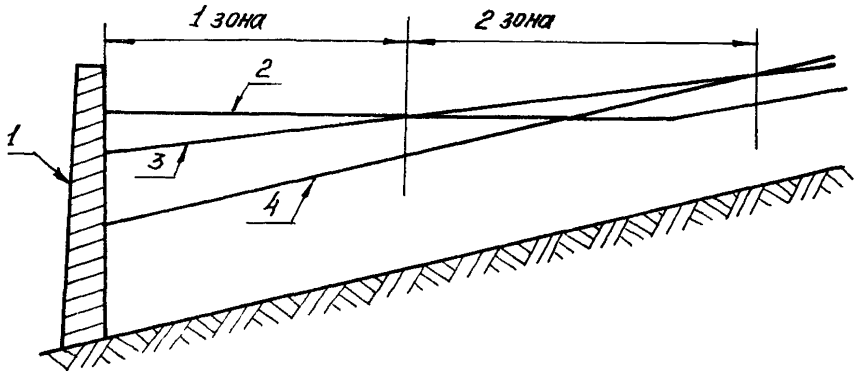


Рис 7 10 Схема расположения зон (к расчету РСУ):

1 плотина, *2*—нормальный подпорный уровень НПУ, *3*—уровень пропуска паводка обеспеченностью $P_{\%}$ через водосливные отверстия плотины, *4*—уровень паводка до строительства плотины

по формуле (7.48) вычисляют допустимую продолжительность t (суток) стояния уровней воды более высоких, чем РСУ. Величину k принимают по табл. 7.5;

по водомерным графикам $H=f(t)$ паводков за все годы наблюдений определяют уровни воды, превышаемые более высокими в течение t суток;

полученный ряд уровней $H_т$ ранжируют в порядке убывания и для каждого из них определяют эмпирическую вероятность по формуле (7.2);

по эмпирическим точкам на клетчатке строят плавную кривую $H_т=(P_m)$ и в зависимости от расчетной вероятности превышения $P_d\%$, принимаемой по табл. 7.5, определяют РСУ.

Если полученная отметка РСУ окажется ниже нормального подпорного уровня НПУ, то за отметку РСУ принимают отметку НПУ с учетом кривой подпора, увеличенную на 0,5 м.

Если же этот уровень имеет отметку выше НПУ с учетом кривой подпора, то за отметку РСУ принимают отметку этого уровня, увеличенную на 0,5 м.

е) При пропуске паводка через плотину при отметках НПУ за отметку РСУ принимают отметку уровня воды $P_d\%$-ной обеспеченности, принимаемой по табл. 7.5. При этом отметка РСУ должна быть не менее чем на 0,5 м выше НПУ водохранилища.

3. При расчете отметки РСУ для мостовых переходов в нижних бьефах плотин следует учитывать регулирующее влияние водохранилищ на уровни воды.

4. При отсутствии водомерных графиков для нешлюзовых рек рекомендуется следующий метод их получения:

принимают условный ряд с 30-ю расходами воды и вероятностями первых трех расходов воды в ранжированном ряду, равными p, $2p$, $4p$, где p—вероятность расчетного расхода. Ранжированные вероятности первых трех уровней воды будут равны 3,2%; 6,5%; 9,7%;

величины первых трех расходов Q_{pi} определяют с учетом параметров аналитических кривых распределения (см. формулу 7.17);

по величинам расходов Q_{pi} на пике паводков строят гидрографы (см. п. 7.5);

по построенным гидрографам и с помощью кривой $Q=f(H)$ строят водомерные графики $H=f(t)$;

полученные значения уровней воды и соответствующие им вероятности 3,2%; 6,5%; 9,7% наносят на клетчатку, с которой и снимается РСУ требуемой вероятности.

5. В качестве расчетных меженных уровней принимают наинизшую межень обеспеченностью на 99% ($H_{м\,99\%}$) и среднюю межень ($H_{м\,50\%}$).

Наинизший уровень указанной обеспеченности для створа перехода при наличии наблюдений рассчитывают путем обработки ряда наинизших в году уровней открытой воды; эмпирическую обеспеченность каждого члена ряда определяют по формуле (7.2).

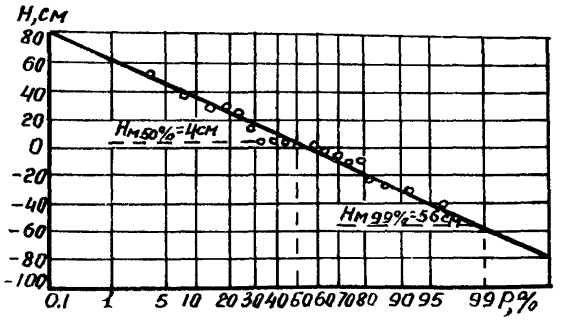


Рис. 7.11. Пример определения уровней средней $H_{м50\%}$ и наинизшей $H_{м99\%}$ межени, над «О» графика водпоста

На клетчатке вероятностей по значениям уровней $H_м$ и соответствующим им P строят зависимость $H_м=(P)$, с которой снимают значения $H_{м\,99\%}$ и $H_{м\,50\%}$.

Уровень средней межени можно принимать также как среднеарифметическое значение средних за меженные периоды уровней по ряду лет.

Если створы водомерного поста и перехода не совпадают, меженные уровни переносят с постов по кривой связи или уклону водной поверхности на створ перехода. Пример определения $H_{м\,99\%}$ приведен на рис. 7.11.

Если на данной реке нет наблюдений или непосредственный перенос имеющихся наблюдений невозможен, то величины $H_{м\,99\%}$ и $H_{м\,50\%}$ в створе перехода определяют по соответствующим меженным расходам. Эти расходы вычисляют по СНиП 2.01.14—83 [71].

7.9. Продолжительность стояния уровней. Расчет рабочего уровня

1. Продолжительность стояния уровней (среднее многолетнее число дней в году, когда наблюдается уровень не выше данного) определяют по материалам Гидрометеослужбы; при необходимости уровни переносят с водпоста на створ перехода.

Для оценки продолжительностью стояния уровней строят график $H_у=f(t)$, где $H_у$—отметка уровня; t—продолжительность стояния в сутках. Расчет ведут в табличной форме, выписывая для каждого года число дней, в которых уровень был не выше данной отметки. В таблице приводят сумму дней за весь период и средние многолетние значения чисел дней с уровнями, достигающими данной отметки или меньшими.

Результаты расчета представляют графиком (рис. 7.12). По такому графику определяют среднемноголетнюю продолжительность стояния любого уровня для установления сроков фундиро-

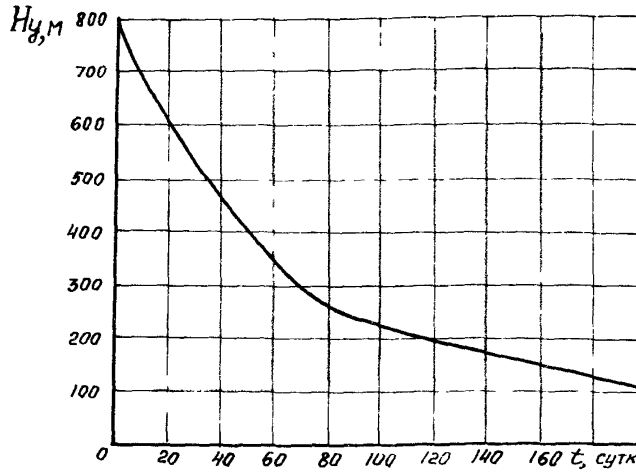


Рис. 7 12 График продолжительности стояния уровня $H_у = f(t)$

вания и возведения опор, перекрытия проток, выполнения укрепительных работ, эксплуатации временных сооружений и плавучих средств, устройства срезки подмостового русла и др.

Для предварительных расчетов можно строить график продолжительности стояния уровней по уравнению аппроксимирующей кривой

$$\left(\frac{t^2}{T_2} + \frac{H_у^2}{H^2}\right) - 2\left(\frac{t}{T} + \frac{H_у}{H}\right) + 1 = 0, \qquad (7.49)$$

где T—наибольшая продолжительность стояния, суток; H—наивысший уровень над нулем графика, м; t—продолжительность стояния любого уровня $H_у$ в интервале между предельными значениями, сут

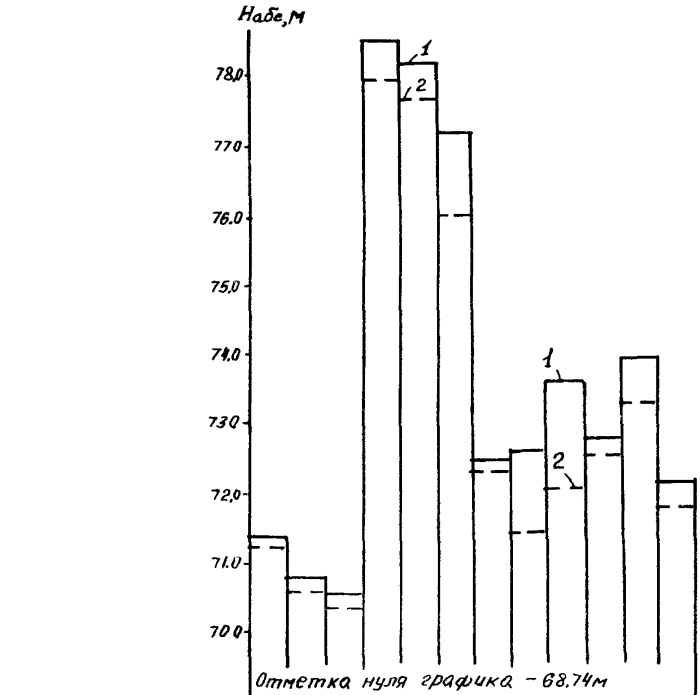
2. В проектах организации строительных работ принимают за расчетный уровень высокой воды с вероятностью превышения 10%, а при соответствующем технико-экономическом обосновании—вероятностью превышения до 50%. Метод определения вероятности превышения рабочего уровня, основанный на минимизации приведенной стоимости вспомогательного сооружения, изложен в [92].

Рабочий уровень принятой вероятности превышения определяют для каждого месяца в году с построением ступенчатого графика (рис. 7.13). Схема расчета следующая (в качестве примера рассматривается рабочий уровень вероятностью 10%):

выбирают наибольшие по годам за каждый месяц уровни воды;

для каждого месяца составляют статистический ряд уровней высокой воды, определяют эмпирическую вероятность превышения каждого члена ряда и, эстраполируя эмпирическую кривую распределения, определяют уровни с вероятностью превышения 10%;

по полученным для каждого месяца уровням строят график (см. рис. 7.13), позволяющий строительной организации установить рабочий уровень, а также период, в который возможно производство тех или иных работ при этом уровне.



Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Наблюденные отметки УВВ, м	71.20	70.74	70.48	78.28	77.95	77.02	72.36	72.53	73.46	72.66	73.97	72.08
Отметки $УВВ_{10\%}$, м	71.14	70.54	70.24	77.64	77.44	75.84	72.24	71.34	72.94	72.44	73.34	71.74

Рис 7 13 График для определения рабочего уровня
1—$УВВ_{1\%}$; *2*—УВВ вероятностью превышения 10%

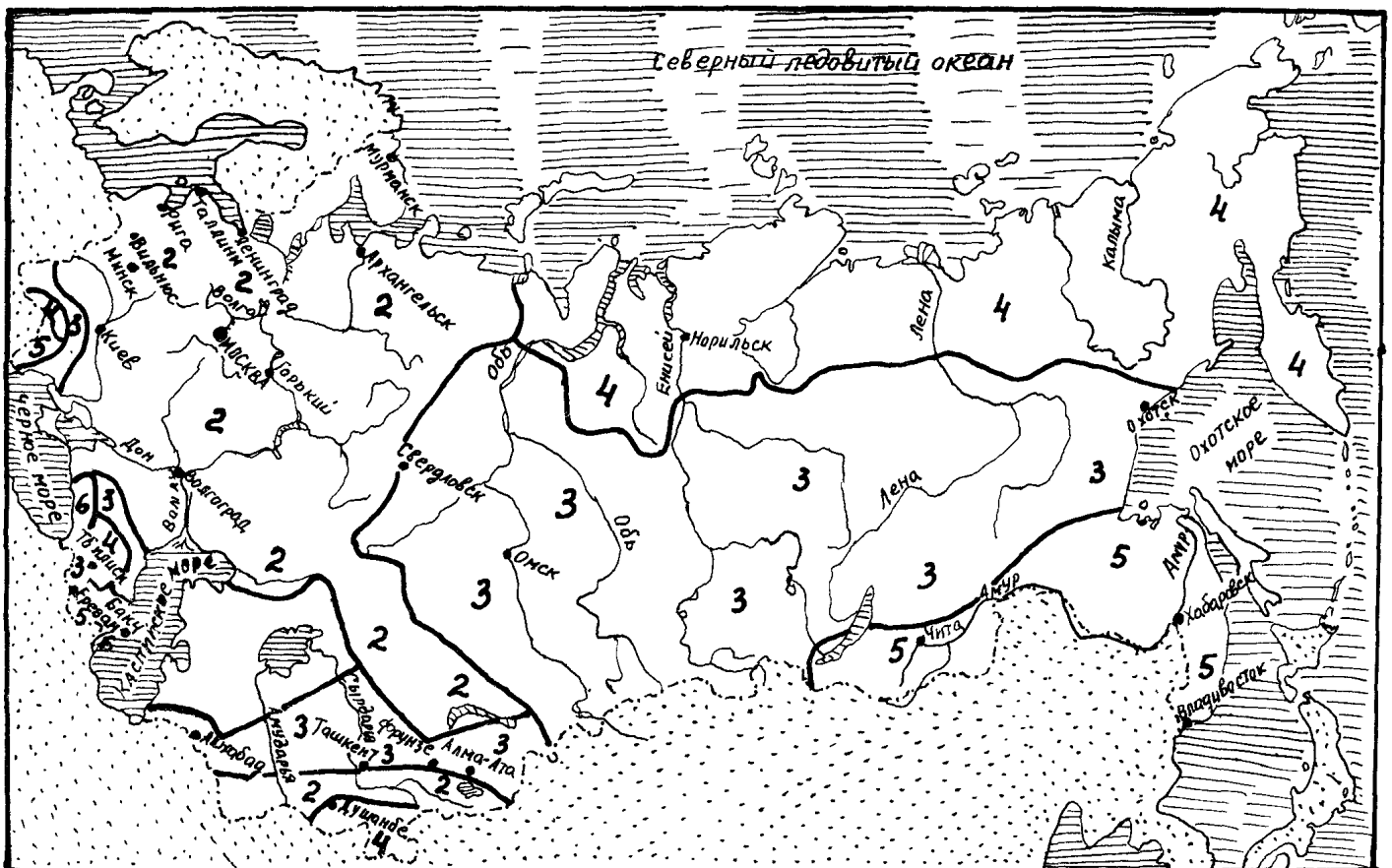


Рис. 7.14. Карта-схема гидрологического районирования типов внутригодового распределения стока СССР

3. Если данные о наибольших уровнях воды по переходу отсутствуют, то их переносят по кривой связи или уклону с расположенных вблизи водомерных постов. Если таких постов нет, то за рабочий уровень воды принимают уровень высокой воды с заданной вероятностью превышения (10—50%), определенный обработкой ряда наибольших в году уровней.

4. Для предварительных расчетов график месячных рабочих уровней можно построить по расходу воды заданной вероятности превышения для каждого месяца, определяемому по формуле:

$$Q_{м}=Q_{i}k_{п}, \qquad (7.50)$$

где Q_i—максимальный годовой расход воды заданной вероятности превышения (от 10% до 50%); $k_п$—переходный коэффициент от годового максимума с i% к месячному расходу i% берут из табл. 7.6 в зависимости от типа реки по внутригодовому стоку (рис. 7.14).

Таблица 76

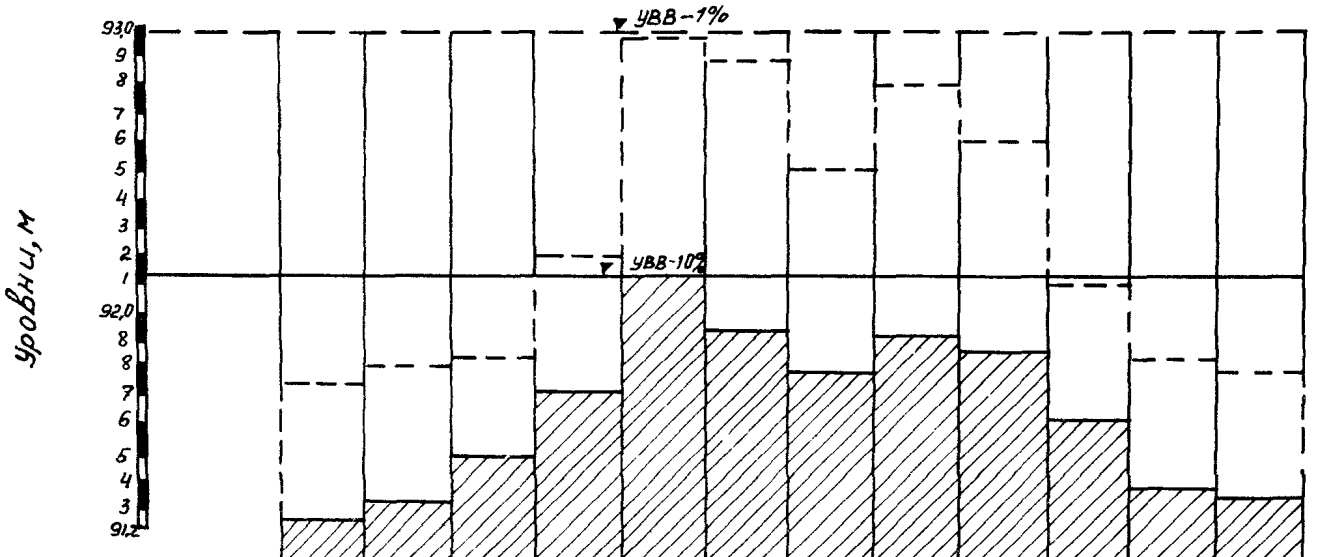
Месяцы года	Переходный коэффициент $k_п$ для рек с типами внутригодового распределения стока				
	I	II	III	IV	V
I	0,2	0,1	0,15	0,2	0,25
II	1,0	0,15	0,15	0,2	0,5
III	1,0	0,7	0,15	0,4	0,8
IV	1,0	1,0	0,40	0,6	1,0
V	1,0	0,5	1,0	0,8	1,0
VI	0,4	0,4	1,0	1,0	1,0
VII	0,3	0,15	1,0	1,0	0,8
VIII	0,3	0,1	1,0	1,0	0,8
IX	0,2	0,1	0,6	1,0	1,0
X	0,2	0,1	0,4	0,3	1,0
XI	0,2	0,1	0,2	0,3	1,0
XII	0,2	0,1	0,1	0,2	1,0

Рабочие уровни для каждого месяца, для построения соответствующего графика (рис. 7.15), снимают с морфометрической кривой $Q=f(H)$.

7.10. Максимальные расходы и объемы выносов селевых потоков

1. Максимальные расходы и объемы выносов селевых потоков дождевого происхождения определяют по ВСН 03—76 [22].

При наличии надежных данных о максимальном расходе селеформирующего водного паводка, получаемом на основе натурных материалов, по СНиП 2.01.14—83 [71] или по обоснованным ре-



месяцы		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Расчетные уровни по кривой $Q=f(h)$	1%	91.72	91 10	91,82	92,20	92 97	92.90	92 50	92.80	92.60	92.10	91.82	
	10%	91.22	91 30	91 45	91.70	92.13	91.92	91 77	91.90	91. 85	91.60	91.35	
Расчетные расходы	1%	87	93	96	149	290	275	189	244	209	136	96	90
	10%	39	45	54	85	140	110	90	104	98	73	52	45

Рис 7 15 График месячных расчетных уровней и расходов 1% и 10% вероятности превышения

гиональным формулам, максимальные расходы селевых потоков вероятностью превышения p определяют по формуле:

$$Q_c = Q_{1\%}\psi_Q\lambda_p, \qquad (7.51)$$

где $Q_{1\%}$—расход водного селеформирующего стока вероятностью превышения 1%, ψ_Q—коэффициент селенасыщенности, зависящий от коэффициента k_s относительного насыщения потока твердым материалом

$$\psi_Q = \frac{1}{1-k_s}; \qquad (7.52)$$

λ_p—коэффициент перехода от селевого расхода вероятностью превышения $p=1\%$ к другой вероятности превышения, определяемый по табл 77 для I и II гидрологических районов

I район включает Восточное Закавказье (без Ленкорани), Среднюю Азию, Южный Казахстан; II район· Черноморское побережье Кавказа, предгорные и горные районы Кавказа, Ленкорань, Карпаты, Закарпатье, Молдавию, Южный берег Крыма, Приморье ДВК, Юго-Западное побережье оз Байкал.

Таблица 77

Гидрологический район	Площадь водосбора, км²	Переходные коэффициенты λ_p для вероятностей превышения в %					
		0 33	1	2	3	5	10
I	1	1,65	1,0	0,70	0,58	0,43	0,27
	100	1,55	1,0	0,76	0,63	0,50	0,33
	1000	1,47	1,0	0,78	0,66	0,52	0,37
II	1	1,55	1,0	0,78	0,63	0,49	0,33
	100	1,45	1,0	0,80	0,69	0 67	0,42
	1000	1,34	1,0	0,81	0,74	0,62	0,49

При отсутствии натурных данных о концентрации твердых материалов в селевой массе и влажности селеформирующих грунтов, полученных в результате обследований непосредственно после прохождения выдающихся паводков, величину k_s в формуле (7.52) рассчитывают по модели предельного насыщения

$$k_{sp} = \lambda_{sp} k_{s1\%}\xi, \qquad (7.53)$$

где λ_{sp}—переходный коэффициент от значений $k_{s\,1\%}$ при вероятности превышения селевого расхода 1%, к другим вероятностям, определяют по табл 78,

$$k_{s1\%} = \frac{18\mu^{x_1} i^{x_2}}{1+18\mu^{x_1} i^{x_2}}; \qquad x_1 = \left(\frac{1}{16\mu+1}\right)^{0,5}; \quad x_2 = \left(\frac{1}{31i+1}\right)^{0,2}, \qquad (7.54)$$

Таблица 78

$k_{s1\%}$	Переходные коэффициенты λ_{sp} для вероятностей превышения в %					
	0,33	1	2	3	5	10
0,015	1,10	1,00	0,92	0,89	0,83	0,74
0,15	1,08	1,00	0,93	0,90	0,84	0,76
0,50	1,05	1,00	0,95	0,92	0,88	0,81
0,70	1,04	1,00	0,96	0,93	0,90	0,85
0,85	1,03	1,00	0,97	0,94	0,92	0,88
0,95	1,00	1,00	0,98	0,96	0,94	0,90

i—средний уклон главного тальвега в долях единицы; μ—коэффициент селеактивности бассейна, определяемый по формуле

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} F_i z_i}{F}; \qquad (7\,55)$$

F_i—площади отдельных участков бассейна, характеризующиеся удельными коэффициентами селеактивности z_i, определяемыми по табл 1 и 2 прил 7 6; F—полная площадь бассейна; ξ—коэффициент относительной устойчивости расчетного участка русла, определяемый по формуле

$$\xi = \left(\frac{1,5}{Л+1}\right)^{x_3}; \qquad (7.56)$$

Л—число Лохтина, $Л=\overline{d}/I_y$, d—средневзвешенный диаметр твердых материалов (мм); I_y—местный продольный уклон русла в расчетном створе в %;

$$x_3 = \frac{10}{(I_y+100)^{2/3}}.$$

Значения $k_{s1\%}$ и ξ, вычисленные по формулам (7.54) и (7.56), можно принимать непосредственно по таблицам 3 и 4 прил. 7 6.

2. При производстве расчетов на предварительной стадии проектирования до проведения полевых обследований селевых бассейнов допускается определять коэффициент селеактивности μ по формуле

$$\mu = k_\mu I^{x_4}, \qquad (7.57)$$

где I—средний уклон лога в %

Значения k_μ и x_4 принимают по табл. 7.9.

Категорию селеопасности принимают по картам селеопасных территорий, имеющимся в территориальных управлениях гидрометслужбы. Степень эрозионной пораженности оценивают по крупномасштабным топографическим картам и материалам дешифрирования аэрофотоснимков с использованием удельных коэффициентов селеактивности по табл. 2 прил. 7.6.

Таблица 7.9

Степень пораженности эрозией	Категория селеопасности	Значения параметров $k_{\mu}/x_{\downarrow}$ при высоте расположения очагов в м					
		более 3000	2800	2600	2400	2200	2000 и менее
Высокая (наличие крупных очагов 1-й категории)	I	0,080 / 0,30	0,075 / 0,31	0,070 / 0,32	0,065 / 0,33	0,060 / 0,34	0,055 / 0,35
Средняя (наличие крупных очагов 2-й категории)	II	0,055 / 0,35	0,050 / 0,36	0,045 / 0,37	0,040 / 0,38	0,035 / 0,39	0,030 / 0,40
Низкая (наличие значительного количества очагов 3-й категории)	III	0,040 / 0,40	0,040 / 0,40	0,035 / 0,35	0,035 / 0,35	0,020 / 0,30	0,020 / 0,30

3. Объем селевого паводка (твердый и жидкий компоненты) определяют по формуле:

$$W_{\text{с}}=W_{\text{в}}\psi_{W}\,, \tag{7.58}$$

где $W_{\text{в}}$—объем жидкого (водного) стока заданной вероятности превышения, вычисленный по СНиП 2.01.14—83 [71] или по обоснованным региональным формулам; ψ_{W}—коэффициент селенасыщенности, осредненный за расчетную волну селевого стока

$$\psi_{W}=\frac{1}{1-k_{s}^{1,25}} \tag{7.59}$$

Объем выноса твердых материалов за расчетную волну селевого паводка определяют по формуле

$$W_{\text{т}}=(W_{\text{с}}-W_{\text{в}})\,(1+\varepsilon_{\text{отл}})\,, \tag{7.60}$$

где $\varepsilon_{\text{отл}}$—средний коэффициент пористости отложений, который определяют по натурным данным или ориентировочно по табл. 7.10

Таблица 7.10

№ пп	Характеристика грунтов	Коэффициент пористости $\varepsilon_{\text{отл}}$ при вероятности превышения паводка в %				
		0,33	1	2	5	10
1	Крупно-фракционные грунты с содержанием глинистых фракций менее 5%	0,60	0,59	0,58	0,56	0,55
2	Глины и моренные суглинки	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46
3	Глины и делювиальные суглинки	1,02	0,96	0,92	0,85	0,80
4	Лессовидные отложения	1,18	1,10	1,05	0,97	0,92

4. Если створ мостового перехода находится в транзитной зоне отложений селевого водотока, то рекомендуется определение максимального селевого расхода производить также для других характерных створов, например, непосредственно у наиболее ак-

тивных селевых очагов или в зоне наибольшей концентрации дождевого стока При этом максимальные расходы жидкой компоненты будут меньше, чем в расчетном створе, а коэффициент селеактивности—больше В качестве расчетных следует принимать наибольшие значения селевого расхода и наименее благоприятные условия прохождения селевого потока в створе мостового перехода (см п 4 4)

5 Определение максимального расхода при прорыве селевого затора производят ориентировочно как для некапитальных земляных плотин (см п 8 3)

7 11 Расчеты ледового режима рек

1 Ледовый режим реки характеризуется интенсивностью нарастания толщины ледяного покрова, условиями вскрытия, образованием зажоров и заторов льда, а также определяет пропускную способность русла в зимний период

При проектировании мостовых переходов учитывают воздействие ледяного покрова на сооружения в период от начала ледостава до ледохода

2 Наибольшую за зиму толщину льда 1% вероятности превышения определяют по результатам наблюдений на ближайшем к переходу водпосту (см п 12 2) Если ближайшие к мостовому переходу водомерные посты расположены выше и ниже по течению реки, то при примерно равном периоде наблюдений используют данные вышележащих постов При отсутствии или недостаточности данных гидрологических наблюдений толщина льда 1% вероятности превышения может быть определена по формуле [5]

$$h_{л\,1\%} = \bar{h}_л + \Phi_{1\%}\sigma_л, \qquad (7\,61)$$

где $\bar{h}_л$—средняя многолетняя максимальная толщина льда, определяемая по формуле (в см)

$$\bar{h}_л = \frac{a\sqrt{\Sigma|t|}}{(0\,8h_c + 1)^{1/6}}, \qquad (7\,62)$$

$\Sigma|t|$—наибольшая за все годы наблюдений сумма отрицательных среднесуточных температур (в градусах Цельсия) за период от ледостава до начала снеготаяния по данным ближайшей метеостанции a—коэффициент, принимаемый для рек в Европейской части СССР до широты 65° равным a=1 7 для более суровых климатических условий a=2,4, h_c—средняя за зимний период высота (в м) снежного покрова, определяемая по показаниям метеостанции, $\Phi_{1\%}$—отклонение ординаты кривой вероятностей превышения Пирсона III типа от середины при заданном коэффициенте асимметрии C_s, принимаемое по таблице Фостера Рыбкина (см прил 7 4), $\sigma_л$—среднее квадратическое отклонение максимальной толщины льда, которое в первом приближении может быть принято равным 0 15 $\bar{h}_л$

При определении $\Phi_{1\%}$ рекомендуется принимать коэффициент асимметрии C_s=0 для районов южнее широты 65° в Европейской и 55° в Азиатской частях СССР и C_s=1—севернее указанных широт для C_s=0

Для сильно заболоченных рек толщину льда $h_{л\,1\%}$, полученную по формуле (7 61), можно уменьшать на 10—15 см из-за воздействия на формирование ледяного покрова повышенного при-

тока относительно теплых грунтовых вод за весь осенне-зимний период.

3. К началу вскрытия рек наблюдается уменьшение толщины и прочности льда, которое происходит главным образом в результате поверхностного и внутреннего таяния под влиянием тепла и солнечной радиации. Толщину льда в начале ледохода $h_{лх}$ согласно нормам следует принимать равной $0{,}8h_{л\,1\%}$. Для ориентировочной оценки можно пользоваться формулой В. В. Невского (в см)

$$h_{лх}=v_{лх}, \tag{7.63}$$

где $v_{лх}$—средняя скорость течения в начале ледохода, определяемая по кривым $Q=f(H)$ и $v=f(H)$, см/с

В регионах, где преобладает сток весеннего половодья, в качестве уровня начала весеннего ледохода можно принимать уровень низкой межени (УНМ).

Плотность льда во время ледохода принимают равной 0,9 т/м^3.

Данные о размерах льдин во время ледохода устанавливают опросом местных жителей или по результатам натурных наблюдений. Ориентировочно размер льдин можно принимать $L=1/10$ В, где В—ширина реки (длина и ширина льдин примерно одинаковы).

4. По условиям весеннего ледохода реки Советского Союза делят на три группы:

а) среднее и нижнее течение крупных рек Сибири и Европейского Севера. Толщина ледяного покрова при вскрытии обычно достигает 0,8—1,7 м, а иногда 1,8—2,8 м. Наивысшие уровни в году чаще всего совпадают с ледоходом;

б) верхнее течение средних и больших рек Сибири, некоторые реки Дальнего Востока, верхнее и среднее течение рек Европейской части СССР. Толщина льда при вскрытии обычно достигает 0,4—0,8 м, а иногда 1,0—1,5 м;

в) реки юга Европейской части СССР и Средней Азии характерны небольшой толщиной (до 0,4 м) и малой прочностью льда при вскрытии, небольшими подъемами уровней воды. К вскрытию лед теряет прочность и толщину на 30—50%.

Ледоход на реках, указанных в пп. «а» и «б», часто сопровождается заторами льда, а на реках п. «в» в период ледостава наблюдаются зажоры шуги. Плотность шуги, движущейся в поверхностном слое потока, составляет 0,3—0,7 т/м^3.

5. Заторы льда (многослойное скопление льдин в русле) формируются в местах, где задерживается вскрытие из-за повышенной толщины и прочности ледяного покрова [29, 39, 40].

Заторы образуются на всех реках с ледоходом, но особо присущи рекам Севера, Сибири и Якутии, многим рекам на трассе БАМ. Заторы, как правило, образуются при невысоких уровнях на перекатах, крутых поворотах русел, в местах их многорукавности, в устьях притоков.

Особо надо выделить заторы антропогенного происхождения. Они образуются при малых скоростях ледохода ($v \leqslant 1{,}0$ м/сек) перед мостами, пролеты в свету которых не обеспечивают свободного беззаторного пропуска льда. Перечисленные выше природные условия усугубляют опасность заторов перед мостами.

Невысокие бытовые уровни, при которых образуются заторы, предопределяют их частую повторяемость.

Заторы забивают живое сечение русел на 60—80%, вызывая резкое стеснение потока, увеличение бытовых скоростей и сосредоточенные размывы. Тело затора образует несплошную ледовую плотину с резким подъемом уровней и высокой концентрацией потенциальной энергии, которая приводит к разрушению затора с образованием больших скоростей прорывного потока.

Гидрометеослужба ведет замеры заторных уровней только на створах водпостов. Это затрудняет и осложняет прогнозирование и учет заторных явлений при проектировании железных и автомобильных дорог.

Характеристики заторов и их учет при проектировании приведен в табл. 7.11.

Таблица 7 11

№ пп	Характеристика затора	Учет при проектировании	Нормативные документы или другие источники для определения заторов
1	Уровень подпертой затором воды заданной вероятности превышения	Обоснование высотного положения мостов, регуляционных сооружений и бровок земляного полотна дорог	[29] —(только для створов водпостов ГМС при наличии опорных рядов свободных и заторных уровней, [34]
		Определение расчетных скоростей на пике затора и при его разрушении	[34] —при отсутствии прямых гидрометрических наблюдений
		Определение места приложения нагрузки заторной массы к инженерным сооружениям	[80, 62]
2	Мощность (высота пакета заторного льда)	Определение величины давления на инженерные сооружения и места его приложения	По данным натурных наблюдений, при их отсутствии возможно по аналогии с п 5 9 стр. 28 СНиП 2 06 04—82* принимать (в качестве верхнего предела) равной 0,8 средней глубины потока при расходе воды заторного периода
		Определение стеснения потока телом затора	
3	Удельное давление заторной массы льда	Определение величин силового воздействия на инженерные сооружения (опоры мостов и др)	Нормативные документы отсутствуют
			Формула лаборатории льдотермики ВНИИВОДГЕО $P_{зат}=0{,}5\,\psi\,Rtb$, тс

Продолжение

№ пп	Характеристика затора	Учет при проектировании	Нормативные документы или другие источники для определения заторов
			Условные обозначения см в приложении 10 СНиП 2 05 03—84 [75]
4	Ширина тела затора по фронту	Стеснение потока, расчет русловых деформаций	Нормативных документов нет

Проектирование мероприятий для обеспечения надежной эксплуатации транспортных сооружений в условиях заторообразования не имеет нормативной базы и методологии инженерных расчетов.

При неблагоприятном в части заторообразования прогнозе надежным представляется только достаточно глубокие обходы опасных мест при трассировании.

При выборе створа мостовых переходов, который чаще всего подчиняется положению трассы, не следует пересекать реки в местах, опасных по заторообразованию, а при назначении схем моста минимальные пролеты (русловые) назначать по условиям беззаторного пропуска льда.

В случаях, когда расчетные беззаторные уровни превышаются расчетными заторными, последние определяют высотное положение элементов моста и бровок земляных сооружений перехода.

При отсутствии гидрометрических наблюдений определение наивысших заторных уровней может быть произведено по формуле [11]

$$H_з = (22i^{0,3} - 1)H_л, \qquad (7.64)$$

где $H_л$, i—глубина и уклон (в долях единицы) потока в русле при ледоходе.

Глубину потока в русле при ледоходе определяют по морфометрической кривой $Q=f(H)$ для расхода воды, соответствующего максимальному уровню ледохода (см. ниже п. 7).

Заторные уровни можно также определять по [34].

Если давление заторных масс льда превышает таковое от обычной ледовой нагрузки, проверка опор мостов должна производиться по заторному воздействию согласно [80].

Ликвидация заторов в начале их образования средствами авиации требует создания постоянной службы слежения, высокой оперативности, имеет ограничения по условиям безопасности людей и объектов народного хозяйства. Предотвращение заторов эффективно на больших реках путем организации ледокольной службы.

6. Зажоры (скопление шуги в русле реки) образуются на шугоносных реках в период формирования ледяного покрова на участках с повышенными уклонами, а также в местах стеснения

русла островами, отмелями, валунами. Под влиянием зажоров водопропускная способность русел уменьшается, и на участке ниже зажора происходит временный спад уровней воды.

Выше зажора наблюдается подъем уровней. Критическое значение уклона, характеризующего место образования зажора льда, $i > 0{,}05‰$.

Для оценки прогноза подъема уровня $H_з$ воды (от уровня ледохода) на зажорных участках рек можно пользоваться формулой (7.64).

7. Для неизученных рек при отсутствии данных многолетних наблюдений уровни первой подвижки льда и высокого ледохода можно определять по приближенным формулам [34]:

$$Q_{рпл} = k_1 Q_{1\%}; \qquad (7.65)$$

$$Q_{рвл} = k_2 Q_{1\%}; \qquad (7.66)$$

где $Q_{рпл}$—расход, соответствующий минимальному уровню первой подвижки льда; $Q_{рвл}$—расход, соответствующий максимальному уровню весеннего ледохода; $Q_{1\%}$—максимальный расход весеннего половодья 1% обеспеченности; k_1 и k_2—коэффициенты, принимаемые по таблице 7.12.

Уровни снимают с морфометрической кривой $Q = f(H)$.

8. Ледовый режим рек в бытовом состоянии определяют по данным наблюдений на постах Гидрометеослужбы и других ведомств и организаций, а также путем опроса старожилов.

В результате сбора материалов устанавливают:

даты наибольшего раннего, позднего и высокого весеннего и осеннего ледохода;

Таблица 7.11

Ледовые явления	Значения k_1 и k_2			
	Вероятность превышения в %			
	0,33	1	2	10
Первая подвижка льда	0,29	0,24	0,22	0,16
Высокий ледоход	0,70	0,59	0,55	0,41

максимальный и минимальный уровни первой подвижки льда и максимальные уровни весеннего и осеннего ледохода;

толщину льда и ее изменения в течение ледостава;

размеры льдин и ледовых полей;

густоту и скорость движения льдин по ширине и длине исследуемого участка реки;

нагрузки от льда на опоры мостов;

места образования заторов и зажоров льда, причины их возникновения, уровни и отметки наибольших заторов и зажоров;

места выхода льда на пойму, навалов льда на берегах и образования постоянных полыней;

случаи разрушения берегов и сооружений ледоходом и при прорыве заторов.

Глава 8. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ВОДОТОКОВ С НАРУШЕННЫМ БЫТОВЫМ РЕЖИМОМ

8.1. Построение кривой свободной поверхности водотока в условиях подпора

1. Кривые свободной поверхности водотока в условиях подпора рассчитывают при:

а) расположении перехода на притоке более крупной реки или в зоне водохранилища;

б) значительной длине участка стеснения речной долины насыпью дороги;

в) прогнозировании затопления ценных земель, промышленных объектов, населенных пунктов и т. п.;

г) проектировании мостового перехода в зоне подпора существующего моста, расположенного ниже по течению.

2. В случаях прогнозирования затопления ценных земель, промышленных объектов, населенных пунктов и других случаях, где требуется повышенная точность выполнения расчетов, построение кривой свободной поверхности должно производиться с использованием уравнения неравномерного движения, в том числе в двумерной постановке (см. п. 6.3).

В других случаях, а также для выполнения предварительных расчетов можно использовать приближенные методы, основанные на замене естественного русла призматическим (т. е. с постоянным поперечным профилем по длине).

3. При использовании приближенных способов принципиальным является вопрос о выборе типа схематизированного русла. Естественные русла с широкими поймами, когда глубина на пойме много меньше ширины разлива, а ширина коренного русла занимает малую часть ширины разлива, заменяют широким прямоугольным руслом (рис. 8.1, *а*). Русла с небольшими поймами при больших глубинах на них и широким глубоким коренным руслом заменяют широким параболическим руслом (рис. 8.1, *б*).

4. Подпор над бытовым уровнем $УВВ_{,\%}$ в створе А на расстоянии l_a от источника подпора или створа с известным подпо-

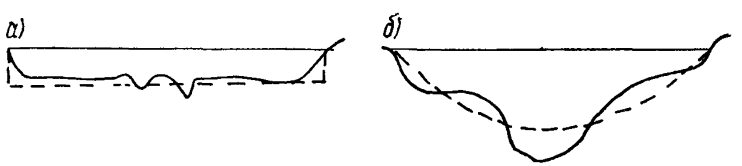


Рис 8.1. Схематизация естественного русла при построении кривой свободной поверхности приближенным методом:
а—широким прямоугольным руслом, *б*—широким параболическим руслом

ром (рис. 8.2) при использовании метода с заменой естественного русла широким прямоугольным определяют из уравнения

$$\frac{i \cdot l_a}{h_0} = f_1\left(\frac{z_1}{h_0}\right) - f_1\left(\frac{z_a}{h_0}\right), \qquad (8.1)$$

где z_1—подпор над бытовым уровнем $УВВ_{р\%}$ в створе источника подпора или в створе с известным подпором; z_a—искомый подпор над $УВВ_{р\%}$; l_a—расстояние между створами; i—средний уклон свободной поверхности при $УВВ_{р\%}$ на участке; h_0—нормальная (фиктивная) глубина приведенного русла, определяемая по формуле

$$h_0 = \sqrt[3]{\frac{Q_{р\%}^2}{B_0^2 C^2 i}}, \qquad (8.2)$$

$Q_{р\%}$—расчетный расход водотока при $УВВ_{р\%}$; B_0—средняя ширина разлива на участке; C—коэффициент Шези естественного русла на участке, $м^{0.5}/с$, определяемый для средней глубины потока на ширине разлива $H_0 = \frac{\omega_р + \Sigma \omega_{пl}}{B_0}$ и эквивалентной шероховатости речной долины:

$$n_0 = n \frac{\Sigma \omega_{пl} + \omega_р}{\Sigma \varphi_l \omega_{пl} + \omega_р}\left(\frac{\Sigma \omega_{пl} + \omega_р}{H_р B_0}\right)^{2/3}; \qquad (8.3)$$

$$\varphi_l = \frac{n_р}{n_{пl}}\left(\frac{H_{пl}}{H_р}\right)^{2/3};$$

$\omega_р$ и $\omega_{пl}$, $H_р$ и $H_{пl}$—соответственно площади живого сечения и глубина потока главного русла и характерных участков поймы при $УВВ_{р\%}$; $n_р$ и $n_{пl}$= соответственно коэффициенты шероховатости главного русла и характерных участков поймы.

Значения функции $f_1\left(\frac{z}{h_0}\right)$ приведены в прил. 8.1.

5. При использовании метода с заменой естественного русла широким параболическим величину подпора z_a определяют из уравнения:

$$\frac{i \cdot l_a}{h_0} = f_2\left(\frac{z_1 + h_0}{h_0}\right) - f_2\left(\frac{z_a + h_0}{h_0}\right), \qquad (8.4)$$

в котором входящие величины такие же, как в формуле (8.1), а значение фиктивной нормальной глубины определяют подбором из уравнения:

$$\frac{h_0^2}{\sqrt{z + h_0}} = \frac{1{,}838 Q_{р\%}}{C B_0 \sqrt{i}}, \qquad (8.5)$$

где z—среднее значение подпора на участке l_a.

Значения функций $f_2\left(\frac{z + h_0}{h_0}\right)$ приведены в прил. 8.1.

6. Порядок построения кривой свободной поверхности по уравнениям (8.1) и (8.4) идентичен и заключается в следующем:

а) построение ведется снизу вверх против течения от створа

источника подпора по участкам, длину l_a которых целесообразно назначать не больше чем значение одной из двух величин: $0{,}5\frac{z_1}{i}$ или $0{,}5\,B_0$;

б) для известных для двух створов i, l_a и z_1 определяют средние значения ширины разлива B_0, подпора $\bar{z}$, C и h_0;

в) в зависимости от используемого метода определяют величину $\frac{i\,l_a}{h_0}$ и значение функции $f_1\left(\frac{z_1}{h_0}\right)$ или $f_2\left(\frac{z_1+h_0}{h_0}\right)$ (по таблицам, приведенным в приложениях 8 1) для исходного створа; по уравнению (8.1) или (8 4) находят значения соответственно $f_1\left(\frac{z_a}{h_0}\right)$ или $f_2\left(\frac{z_a+h_0}{h_0}\right)$ в искомом створе, а затем с использованием таблиц приложений 8 1—искомое значение подпора z_a над бытовым уровнем;

г) принимая затем рассчитанный створ за начальный, выполняют расчет для следующего створа и т. д. для всего исследуемого участка водотока.

Если уклон в зоне подпора переменный, то при построении кривой подпора разбивку зоны подпора на расчетные участки l_a следует производить так, чтобы расчетные створы совпадали со створами изменения уклона.

7. Расстояние $L_п$, на которое подпор распространяется от его источника, может быть приближенно определено по формулам

а) при использовании фиктивного прямоугольного русла (см. п. 4)

$$L_п=\frac{\left[f_1\left(\frac{z_1}{h_0}\right)-0{,}0067\right]h_0}{i}, \qquad (8\,6)$$

где h_0—определяют по формуле (8 2), а $f_1\left(\frac{z_1}{h_0}\right)$—по прил 8 1,

б) при использовании фиктивного параболического русла (см. п 5)

$$L_п=\frac{\left[f_2\left(\frac{z_1+h_0}{h_0}\right)-0{,}074\right]h_0}{i}, \qquad (8\,7)$$

где h_0—определяется по формуле (8 5), в которой величину среднего подпора принимают равной $\bar{z}=0{,}5z_1$, а $f_2\left(\frac{z_1+h_0}{h_0}\right)$—по прил 8 1

8. Превышение отметки свободной поверхности в расчетном створе z'_a над отметкой свободной поверхности в исходном створе (см. рис. 8.2) находят из геометрических соображений по формуле:

$$z'_a=z_a+l_a i-z_1, \qquad (8.8)$$

где величина подпора z_a определена расчетом по (8 1) или (8 4)

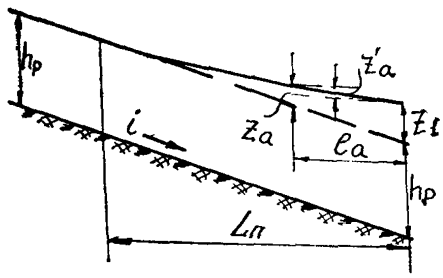


Рис 8 2. К построению кривой свободной поверхности приближенным методом

9. Для более точных расчетов (см. п. 2) применяют разные методы построения кривых свободной поверхности в естественных руслах, не требующие схематизации естественного русла (замене его призматическим).

Расчеты выполняют по участкам, на которые разбивают зону подпора, снизу вверх против течения. При нумерации створов сверху вниз конечная $(m+1)$-ая отметка свободной поверхности H_{m+1} является известной, а начальная m-ая отметка H_m—искомой. Отметки свободной поверхности должны быть взяты относительно общего базиса на всем участке зоны подпора. Кроме того, для построения кривых свободной поверхности точными методами должны быть данные, позволяющие построить живые сечения водотока во всех расчетных створах.

10. С использованием зависимости, полученной интегрированием основного дифференциального уравнения неравномерного движения, отметку свободной поверхности в m-ом створе при известной отметке в $(m+1)$-ом створе определяют:

а) при скоростях течения более 1,5 м/с, а также если площади живых сечений в начале ω_1 и в конце зоны подпора $\omega_п$ различаются больше, чем на 25%, непосредственно по уравнению неравномерного движения

$$H_m - H_{m+1} = Q_{р\%}^2 \left[\frac{\alpha}{2g} \left(\frac{1}{\omega_{m+1}^2} - \frac{1}{\omega_m^2} \right) + \frac{l}{\overline{k}^2} \right]; \qquad (8.9)$$

б) при скоростях течения менее 1÷1,5 м/с и в случаях, если площади живых сечений ω_1 и $\omega_п$ различаются не более, чем на 25%, по формуле (8.9) при $\omega_1 \approx \omega$

$$H_m - H_{m+1} = Q_{р\%}^2 \frac{l}{\overline{k}^2}. \qquad (8.10)$$

В формулах (8 9) и (8 10) l—расстояние между створами m и $m+1$; $\overline{k}$—среднее значение расходной характеристики на участке между створами; ω_{m+1} и ω_m—соответственно площади живых сечений потока в створе $(m+1)$ при отметке свободной поверхности H_{m+1} и в створе m при H_m; α—коэффициент Кориолиса; g—ускорение силы тяжести.

11. Величину $\overline{k}$ между створами m и $m+1$ определяют по формуле

$$\overline{k} = \frac{1}{2}(k_m + k_{m+1}), \qquad (8.11)$$

где k_m и k_{m+1}—соответственно расходные характеристики m и $m+1$, каждую из которых определяют по зависимости

$$k=\frac{1}{n_{\text{р}}}\omega_{\text{р}}^{5/3}b_{\text{р}}^{-2/3}+\sum\frac{1}{n_{\text{п}i}}\omega_{\text{п}i}^{5/3}b_{\text{п}i}^{-2/3} \tag{8.12}$$

$b_{\text{р}}$ и $b_{\text{п}i}$—ширина главного русла и характерных участков пойм

12. Коэффициент Кориолиса при небольшом шаге расчета l может быть определен для одного из створов по формуле

$$\alpha=\frac{\left(\frac{1}{n_{\text{р}}}\omega_{\text{р}}^{5/3}b_{\text{р}}^{-2/3}\right)^3/\omega_{\text{р}}^2+\Sigma\left[\left(\frac{1}{n_{\text{п}i}}\omega_{\text{п}i}^{5/3}b_{\text{п}i}^{-2/3}\right)^3/\omega_{\text{п}i}^2\right]}{\left[\frac{1}{n_{\text{р}}}\omega_{\text{р}}^{5/3}b_{\text{р}}^{-2/3}+\Sigma\frac{1}{n_{\text{п}i}}\omega_{\text{п}i}^{5/3}b_{\text{п}i}^{-2/3}\right]^3/(\omega_{\text{р}}+\Sigma\omega_{\text{п}i})^2} \tag{8.13}$$

в которой все величины те же, что в формуле (8.12).

13. Расчет для каждой пары створов по (8.9) или (8.10) выполняется в такой последовательности:

а) определяют значение той части уравнения, которая не зависит от искомой отметки H :

$$\text{из (8.9)}\quad A_{m+1}=H_{m+1}+\frac{\alpha Q_{\text{р}}^2}{2g\omega_{m+1}^2}, \tag{8.14}$$

$$\text{из (8.10)}\quad A_{m+1}=H_{m+1}; \tag{8.15}$$

б) задаваясь значением искомой отметки H_m в m-ом створе, определяют значение расходных характеристик в створах по (8.12), затем среднее значение по (8.11) и, наконец, значение той части уравнения, которая зависит от H_m

$$\text{из (8.9)}\quad \varphi(H_m)=H_m-Q_{\text{р}}^2\frac{l}{k}+\frac{\alpha Q_{\text{р}}^2}{2g\omega_m^2}, \tag{8.16}$$

$$\text{из (8.10)}\quad \varphi(H_m)=H_m-Q_{\text{р}}^2\frac{l}{k}. \tag{8.17}$$

Искомым значением отметки H_m будет то, при котором обеспечивается равенство

$$\varphi(H_m)=A_{m+1}. \tag{8.18}$$

Нахождение решения может быть выполнено подбором, графоаналитически или с применением ЭВМ. В качестве первого приближения принимают значение $H_m=H_{m+1}$

8.2. Расчеты при сгонно-нагонных и приливно-отливных явлениях

Сгонно-нагонные явления

1. В результате воздействия ветра в водохранилищах, лиманах, озерах, устьевых участках рек происходит перемещение водных масс в направлении движения ветров. Понижение уровня воды у подветренного берега вызывает сгон, а повышение у наветренного (противоположного)—нагон.

На больших акваториях нагонные явления как правило, затухают в 100—150 км от морского устья.

2. Расчетные величины нагонных уровней ($\text{РУВВ}+\Delta h_{\text{set}}$) рекомендуется определять по данным многолетних наблюдений для

наиболее волноопасного и других направлений ветра, путем обработки рядов наблюдений согласно указаниям гл. 7.

При отсутствии данных наблюдений Δh_{set} допускается определять по формуле [80]

$$\Delta h_{set} = k_W \frac{v_W^2 L \cos \alpha_W}{g(H + 0{,}5\,\Delta h_{set})}, \qquad (8.19)$$

где v_W—расчетная скорость ветра на высоте 10 м над расчетным (или наибольшим) уровнем воды РУВВ, принимаемая в соответствии с указаниями п. 12.3; L—протяженность охваченной ветром акватории по заданному направлению до расчетного створа подходов; H—глубина воды в расчетном створе; α_W —угол между продольной осью водоема и направлением ветра (в градусах); g—ускорение свободного падения; k_W—коэффициент, принимаемый в зависимости от скорости ветра:

v_W, м/с	20	30	40	50
$k_W \cdot 10^6$	2,1	3	3,9	4,8

При расчете сгонно-нагонных колебаний уровня воды особое внимание следует обращать на выбор наиболее неблагоприятного направления разгона волн L, оценку направления и продолжительность действия ветра и скорость ветра заданной вероятности превышения. Необходимо выяснить внутригодовые характеристики нагона и сгона воды для целей разработки проектов организации строительства.

3. При прекращении действия ветра происходит слив накопленной при нагоне воды аналогично волне попуска. При значительных нагонах и резком прекращении действия ветра волна попуска проходит с большими скоростями, деформируя русло. Расходы и уровни при этом в створе перехода могут оказаться больше чем бытовые расчетной вероятности превышения.

Расчет волны попуска при сливе нагонной воды производят методами, изложенными в [9].

4. Развитие сгона связано с понижением уровня на предустьевом взморье. Сгоны характерны только на мелководном взморье и водохранилищах, с которых ветер способен быстро согнать воду. При понижении уровня водохранилища или моря во время сгона на устьевом участке реки образуется кривая спада, скорости при одинаковом расходе возрастают и русло размывается.

Величина сгона зависит от сезона и собственного стока реки. Поэтому необходимо их оценивать для периода, наиболее опасного для перехода.

Приливно-отливные явления

5. Приливы и отливы изменяют уровни и расходы воды в реке, а также изменяют скорости течения и их направление. При приливах создается кратковременный подпор, течение замедляется и принимает обратное направление. При отливах возникает спад и течение воды ускоряется.

Приливное течение сменяется на отливное и наоборот не сразу по всему сечению потока, а от дна к поверхности и от берегов к стрежню.

В некоторые часы приливно-отливной фазы могут наблюдаться два противоположных течения.

Наблюдения и обработка расходов и уровней в условиях прилива и отлива приведены в гл. 2.

6. Расчетные расходы с учетом прилива $Q_{пр}$ и отлива $Q_{отл}$ воды при отсутствии непосредственных наблюдений определяют по формулам

$$Q_{пр}=Q_{р\%}-\frac{W_{пр}}{36000\,\Delta t_{пр}}, \tag{8.20}$$

$$Q_{отл}=Q_{р\%}+\frac{W_{пр}}{36000\,\Delta t_{отл}}, \tag{8.21}$$

где $Q_{р\%}$—собственный паводочный расход реки заданной вероятности превышения, м³/сек; $\Delta t_{пр}$—среднее время прилива в паводочный сезон за период не менее 15 дней, ч; $\Delta t_{отл}$—то же, отлива, ч; $W_{пр}$—объем накопившейся в прилив воды, м³, определяемый как

$$W_{пр}\approx 0{,}33 L_{пр} h_{пр} (B_м + B_L) + W_п; \tag{8.22}$$

$L_{пр}$—длина распространения прилива выше створа перехода; $h_{пр}$—высота прилива над средним уровнем 15-дневного периода в створе перехода; $B_м$—ширина разлива реки в период максимального прилива в створе перехода; B_L—ширина разлива в створе, расположенном на расстоянии $L_{пр}$ выше перехода; $W_п$—объем приливной воды в притоках, определяемый по формуле

$$W_п=0{,}33\sum_{i=1}^{n}(B_{уi}+b_i)l_i\Delta h_i'; \tag{8.23}$$

$b_{уi}$—ширина разлива притока в устье; b_i—ширина разлива в месте выклинивания воды прилива на притоке; l_i—длина распространения прилива по притоку; $\Delta h'$—высота приливной воды в устье притока.

В формулах (8.22) и (8.23) можно приближенно принимать

$$B_м=B_L;\ B_{уi}=b_i.$$

6. Отметку уровня высоких вод при приливе определяют по формуле

$$H_{пр}=H_{р\%}+k_п(h_{max}-h_{min}+\Delta h_{пр}), \tag{8.24}$$

где $H_{р\%}$—максимальный уровень воды заданной вероятности превышения, вычисленный путем статистической обработки многолетних рядов ежегодных максимумов уровней от суммарного воздействия паводковых вод и приливов; $k_п$—коэффициент, учитывающий возможность ежегодных несовпадений пика паводка с максимумом сизигийного периода, который принимают в зависимости от числа лет наблюдений n:

n	<5	5—10	10—30	30—50	> 50
$k_п$	0,40	0,3	0,2	0,1	0

h_{max}—h_{min}—разность максимального и минимального уровней воды сизигийного прилива; $\Delta h_{пр}$—увеличение приливной волны в зависимости от силы попутного ветра, принимаемое (0,7÷1,2) $h_{пр}$.

7. В мелководных районах моря между приливом и нагоном существует нелинейная связь. Наиболее часто максимумы нагона появляются в моменты полной воды, формируя максимальный

суммарный уровень. Поэтому для короткого эстуария время наступления максимума нагона совпадает с фазой полной воды.

8.3. Определение расчетных расходов на переходах, расположенных в зоне влияния плотин

1. Если на пересекаемой реке выше или ниже по течению от створа перехода имеется плотина, создающая водохранилище, то надлежит в организации, эксплуатирующей данный гидроузел, получить все сведения о конструкции плотины: напоре (максимальной разности отметок уровней воды в верхнем и нижнем бьефах); наличии водосбросных сооружений; вероятности превышения паводочного расхода, принятой при проектировании; объеме водохранилища при нормальном подпорном уровне верхнего бьефа; годе постройки и имевшихся случаях нарушений нормальных условий эксплуатации. Указанные сведения дополняют натурным обследованием, при котором устанавливают соответствие фактического состояния сооружения данным проекта и реальную опасность его разрушения при проходе паводка вероятностью превышения, принятой для проектируемого мостового перехода. Если проектная документация гидроузла отсутствует, то все необходимые сведения устанавливают по материалам обследования (см. п. 4.4).

2. Методика определения расчетных расходов на мостовых переходах, расположенных в зоне влияния плотин, зависит от капитальности последних, т. е. возможности их прорыва.

Если при проходе расчетного для мостового перехода расхода воды не обеспечивается сохранность всех элементов плотины, то такую плотину следует рассматривать как некапитальную (для проектируемого мостового перехода).

3. Если мостовой переход располагают ниже существующей капитальной плотины, то при определении расчетных расходов для мостового перехода возможность прорыва плотины исключают и учитывают лишь данные о трансформации паводка (сбросовые расходы), получаемые в организации, проектирующей водохранилище. Для небольших водохранилищ колхозных ГЭС, прудов с водосливными плотинами, а также озер, через которые проходит главное русло реки, трансформацию паводка рассчитывают по приближенной формуле

$$Q_{сб} = Q_р\left(1 - \frac{W_{ор}}{W_р}\right)k_г, \qquad (8.25)$$

где $Q_{сб}$—максимальный расход сброса из водоема; $Q_р$—максимальный расход воды, поступающей в водоем; $W_{ор}$—регулирующий объем водоема, равный площади акватории, умноженной на среднюю глубину возможного наполнения от межени до бровок берегов; $W_р$—объем расчетного паводка; $k_г$—коэффициент, учитывающий кривизну графиков притока, принимаемый равным 0,85.

Если мостовой переход располагается в нижнем бьефе капитальной плотины, осуществляемой многолетнее регулирование, то в соответствующей проектной организации следует получить сведения о возможной «срезке» расходов на пике паводков, являющихся расчетными для мостового перехода (см. п. 7.1).

4 Когда трасса проектируемого перехода проходит вблизи существующей некапитальной низконапорной плотины, в верхнем и нижнем бьефе ее, то сооружения перехода должны быть рассчитаны на пропуск расхода при прорыве плотины. Этот расход определяют по приближенной методике, изложенной ниже (см. п 5—14)

5 Нахождение створа перехода в зоне влияния некапитальной плотины в ее верхнем бьефе устанавливают по отметке уровня воды при максимальном наполнении водохранилища с учетом кривой подпора, образующейся при прохождении паводка

Для перехода в нижнем бьефе плотины зону влияния ее на бытовой гидрологический режим водотока определяют расчетом (см. п 14)

6 После установления возможности прорыва некапитальной плотины (см п 4 4) определяют расход при ее прорыве (в м^3/с) по формуле

$$Q_{\text{п}}=B_{\text{п}}H_{\text{п}}^{3/2}k_{\text{пр}}, \qquad (8\,26)$$

где $B_{\text{п}}$—длина плотины по ее гребню, м, $H_{\text{п}}$—напор (разность отметок верхнего и нижнего бьефов) в момент прорыва, м, $k_{\text{пр}}$—коэффициент, учитывающий отношение возможной ширины прорыва к длине плотины и условия истечения воды при прорыве

Значения коэффициента $k_{\text{пр}}$ [13] в зависимости от длины $B_{\text{п}}$, для вероятностей превышения $P=2\%\div0{,}5\%$ приведены в табл. 8.1.

Таблица 81

$B_{\text{п}}$, м	$k_{\text{пр}}$	$B_{\text{п}}$, м	$k_{\text{пр}}$	$B_{\text{п}}$, м	$k_{\text{пр}}$
20	0,48	140	0,38	280	0,32
40	0,45	160	0,37	320	0,30
60	0,43	180	0,36	360	0,29
80	0,41	200	0,35	400	0,28
100	0,40	220	0,34	460	0,26
120	0,39	260	0,33	$\geqslant$500	0,25

7 Створ перехода в верхнем бьефе водохранилища следует располагать в наибольшем удалении от створа плотины для уменьшения влияния волны прорыва на сооружение перехода

Расстояние от плотины до перехода должно быть не менее $2B_{\text{п}}\cdot k_{\text{пр}}$ [35] Расход $Q_{\text{пв}}$ при прорыве плотины в створе перехода определяют по формуле

$$Q_{\text{пв}}=\frac{W_1}{W_0-W_2}(Q_{\text{п}}-Q'_{\text{п}}), \qquad (8.27)$$

где W_1—объем части водохранилища выше перехода, W_0—объем водохранилища при наивысшем уровне верхнего бьефа, который для ориентировочных

расчетов принимают $W_0 \approx \frac{B_в H_н D_в}{4}$, $B_в$—ширина водохранилища в створе плотины, $H_н$—напор, $D_в$—длина водохранилища, W_2—объем части водохранилища ниже перехода при отметке уровня, равной наинизшей отметке дна в створе перехода, $Q'_п$—расход, вычисленный по формуле (8 26) для напора $H'_н$, равного разности наинизшей отметки дна в створе перехода и наинизшей отметки дна в створе плотины

Если W_2 и $Q'_п$ невелики (при малой разности наинизших отметок дна в створах перехода и плотины), то в формуле (8.27) ими можно пренебречь.

Если расход, определенный по формуле (8.27), окажется больше, чем расчетный расход паводка $Q_{р\%}$, то отверстие моста рассчитывают на пропуск $Q_{пв}$.

8. Волна прорыва поступает в нижний бьеф плотины, сопрягаясь с естественным руслом водотока прыжком, гашение энергии которого происходит на участке длиной, равной $\approx 10\ H_н$. Ввиду возможности образования на участке гашения энергии прыжка глубокой промоины, створ перехода в нижнем бьефе следует располагать от плотины на расстоянии более $20 \cdot H_н$.

При движении волны прорыва по естественному руслу (за участком гашения энергии) может происходить ее трансформация (распластывание), если русло является транзитным. Транзитным считается русло, если: а) на участке от плотины до створа перехода нет приращения площади водосбора; б) приращение ΔF менее 20% от водосборной площади F, замыкаемой створом плотины; в) паводочный сток на рассматриваемом участке русла не синхронен со стоком выше лежащей части водосбора; г) прорыв плотины произошел в меженный период.

9. При расчете трансформации прорывного расхода на транзитном участке русла (от плотины до створа перехода) могут встретиться [35] следующие случаи:

а) водохранилище практически не имеет бассейна, питается за счет грунтовых вод и осадков, выпадающих на площадь водохранилища, или паводочный сток зарегулирован на участке выше водохранилища; прорыв вызван конструктивными недостатками сооружения и некачественной эксплуатацией его;

б) водохранилище имеет собственный бассейн; прорыв плотины происходит при проходе паводка расчетной вероятности превышения для проектируемого перехода, при заполненном водохранилище до прохода паводка;

в) условия те же, что и в пункте «б» но прорывается поочередно ряд плотин, расположенных в каскаде прудов; первой прорывается верхняя плотина, последней—нижняя

10 В случае, предусмотренном в п. 9а, максимальный расход прорывной волны $Q_{пм}$ (с учетом ее трансформации в транзитном русле) для створа перехода равен [33, 35]

$$Q_{пм} = \frac{W_0 Q_п l_н^{0,14}}{W_0 l^{0,14} + \varphi Q_п l_н}, \qquad (8\ 28)$$

где i—продольный уклон русла, ‰, φ—коэффициент равный 1 2 и имеющий размерность, $м^{-1}$ с $l_н$—длина транзитного участка русла, без учета участка гашения энергии прыжка (см п 8)

Если на длине $l_н$ величина i переменна, то расчет по формуле (8 28) выполняют последовательно по участкам с однообразным уклоном

По формуле (8 28) можно производить приближенный расчет трансформации волны попуска через водосборные сооружения неразрушаемых капитальных плотин, для этого расход прорыва заменяется расходом попуска, а объем водохранилища—объемом попуска

Расход и объем возможного максимального попуска задается организацией, эксплуатирующей капитальную плотину

11 В случае, предусмотренном в п 9б, величину $Q_{пм}$ рассчитывают по формуле

$$Q_{пм} = \frac{(W_0 + W_{р\%}) Q_п i^{0\,14}}{(W_0 + W_{р\%}) i^{0\,14} + \varphi Q_п l_н}, \qquad (8\,29)$$

где $W_{р\%}$—объем паводка расчетной для перехода вероятности превышения, соответствующий площади водосбора в створе плотины

Остальные обозначения те же, что и в формуле (8 28)

11 В случае, предусмотренном в п 9б, величину $Q_{пм}$ рассчитывают [33, 35] по формуле

$$Q_{пм} = \frac{\left(\sum_1^n W_0 + W_{р\%}\right) Q_{пn} i^{0\,14}}{\left(\sum_1^n W_0 + W_{р\%}\right) i^{0\,14} + \varphi Q_{пn} l_н}, \qquad (8\,30)$$

где n—число плотин, $Q_{пn}$—прорывной расход n ой (последней) нижней плотины

Остальные обозначения те же, что и в формулах (8 28) и (8 29) Пример расчета расхода прорывной волны приведен в прил 8 2

12 В зависимости от величины водосбора выше плотины и условий ее прорыва могут наблюдаться два типа гидрографов волны прорыва и совмещенной с ней паводочной волны, изображенные на рис 8 3

Для случая, показанного на рис 8 3, *а*, когда $Q_{р\%} > Q_п$, величина $Q_п$ в формуле (8 29) заменяется величиной $Q_{р\%}$—максимальным расходом паводка расчетной для перехода вероятности превышения $p\%$

Для аналогичного случая при расчете по формуле (8 30) величина $Q_{пn}$ заменяется величиной $Q_{1\%}$.

Если условия, определяющие транзитность русла (см п 8)

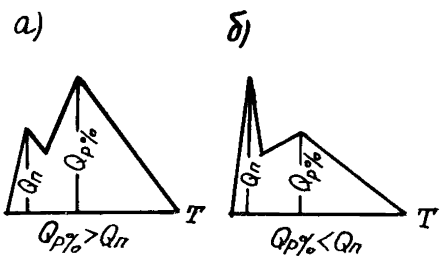


Рис 8 3 Типы гидрографов волны прорыва и совмещенной с ней паводочной волны
а—при $Q_{р\%} > Q_1$ *б*—при $Q_{р\%} < Q_п$

для данного объекта, не соблюдены, то распластывание волны прорыва—паводка не учитывают. Для гидрографа на рис. 8.3, *а* величины $Q_{p\%}$ и $W_{p\%}$ определяют для водосборной площади $F+\Delta F$ в створе перехода; для гидрографа на рис. 8.3, *б*, если для водосбора $F+\Delta F$ условие $Q_{p\%}<Q_{п}$ сохраняется, расчетный расход для створа перехода принимают равным $Q_{п}$, а объем стока определяют в створе перехода.

13. Расчеты трансформации волны прорыва—паводка на транзитном участке русла (см. п. 8) по изложенной приближенной методике допускается производить при наличии на участке $l_{н}$ выраженного русла и пойм, пропускающих не более 20% расчетного расхода; при уклонах водотока в пределах $0{,}1‰ \leqslant i \leqslant 10‰$; длина участка $l_{н}$ не должна превышать 15 км для равнинных водотоков ($0{,}1‰ \leqslant i \leqslant 1‰$) и 25 км для полугорных и горных водотоков ($1‰ < i \leqslant 10‰$).

14. Для наиболее часто встречающихся на практике случаев, когда $Q_{п}>Q_{p\%}$, при трассировании перехода представляет интерес определить расстояние $l'_{н}$, на котором устанавливается равенство $Q_{п}=Q_{p\%}$, указав тем самым пределы зоны влияния прорыва некапитальной плотины на мостовой переход в нижнем бьефе.

Величину $l'_{н}$ определяют по формуле [33]

$$l'_{н}=\frac{(Q_{п}-Q_{p\%})(W_{0}+W_{p\%})l^{1}}{\varphi Q_{п}Q_{p\%}} \qquad (8.31)$$

8.4. Ледовый режим зарегулированных рек

1. Сооружение плотинных гидроузлов приводит к изменению гидравлических и морфометрических характеристик на зарегулированных участках рек. Увеличение глубины и площади водной поверхности, падение уклона и скорости потока в зоне верхнего бьефа (ВБ) гидроузла, а также неравномерность сбрасываемых в нижний бьеф (НБ) расходов и поступление из водохранилища воды с положительной температурой обусловливает изменение ледового режима на зарегулированных участках рек по сравнению с бытовыми условиями [7; 30].

2. Необходимым условием начала ледообразования в водохранилище является переохлаждение воды (температура ниже 0°С). При штиле и отсутствии заметных течений переохлаждение наблюдается в тонком поверхностном слое с образованием первичных иглообразных кристаллов (сало), при смерзании которых образуется сплошная корка льда (ледяной покров). Замерзание акватории водохранилища распространяется от берега (забереги) на всю водную поверхность (ледостав). При сильном ветре и волнении процессы замерзания сопровождаются образованием больших скоплений шуги (комьев всплывшего на поверхность внутриводного льда). На водохранилищах, расположенных в районах с неустойчивыми погодными условиями (Северный Кавказ, Средняя Азия), обильный снегопад с ветром может вызывать в текущей воде появление снежуры.

Сроки появления льда на водохранилищах более поздние, чем на естественных водотоках. В зависимости от погодных условий и морфометрических характеристик водохранилища продолжительность периода замерзания колеблется в среднем от 5 до 25 суток [11, 7].

Ровная поверхность ледяного покрова наблюдается при малых скоростях ветра (до 2 м/с). Действие ветра и волнение способствуют образованию торосистых ледяных полей. Колебания толщины льда по акватории водохранилищ значительны и составляют в среднем 20%, однако это несколько меньше, чем на речных участках.

К моменту вскрытия водохранилищ толщина ледяного покрова уменьшается в среднем на 30%.

Интенсивность разрушения ледяного покрова зависит в основном от радиационного баланса, температуры воды, скорости и направления ветра. Средняя продолжительность периода вскрытия и очищения ото льда поверхности водохранилищ составляет 10—40 суток.

3. В ВБ гидроузла возможно образование осенне-зимних зажоров и весенних заторов льда. Примерная зона заторов (зажоров) льда находится преимущественно на участке выклинивания кривой подпора вследствие резкого уменьшения скоростей течения при переходе от речных условий к режиму водохранилища. В свою очередь эта зона разделяется на участки: а) переменного подпора в хвосте водохранилища, где ледовый режим наиболее сложен; б) постоянного подпора реки.

Наиболее мощные весенние заторы возникают в начальный период ледохода. Длину заторного участка определяют по продольному профилю реки, на который наносят нормальный подпорный уровень (НПУ) и уровень мертвого объема (УМО) водохранилища, а также уровни наиболее низкого и высокого начала ледохода на реке (рис. 8.4).

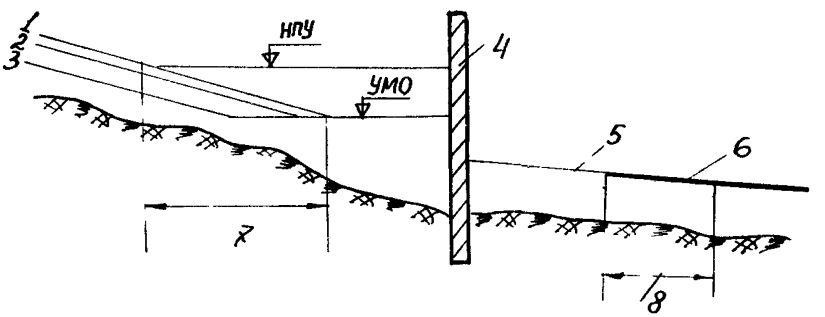


Рис 8 4 Зоны возможных заторов и зажоров льда:

1—уровень высокого ледохода; *2*—уровень низкого ледохода; *3*—уровень межени; *4*—створ плотины, *5*—шуга; *6*—ледяной покров, *7*—зона возможных заторов льда в верхнем бьефе, *8*—зона зажоров

Условия образования заторов в зоне выклинивания кривой подпора водохранилища отличаются от бытовых не только особенностями регулирования стока (суточное, недельное), но и наличием предпаводочной сработки уровня воды в целях предотвращения максимальных заторных подъемов уровня воды и возможного затопления прибрежных территорий.

4. Для расчета заторного уровня воды $H_{зт}$ определяют объем льда $W_л$, который может сплыть при ледоходе к намеченному створу

$$W_л = LBh_{лр}k_л, \qquad (8\ 32)$$

где L—длина реки выше створа, принимаемая равной (80—100) B, B—средняя ширина реки на начало ледохода; $h_{лр}$—средняя толщина льда в реке на конец ледостава; $k_л$—коэффициент густоты ледохода (определяется по результатам визуальных наблюдений за ледоходом; при отсутствии данных наблюдений за ледоходом $k_л \approx 0{,}7—0{,}8$)

При нескольких уровнях воды определяют емкости заторного участка выше створа, способные вместить объем сплывающего льда,

$$W_{зат} = \frac{B_{зат}H^2k_и}{2i_ф} - W_{лв}, \qquad (8.33)$$

где $B_{зат}$—средняя ширина заторного участка; H—средняя глубина живого сечения в рассматриваемом створе, $i_ф$—средний уклон реки на заторном участке; $k_и$—коэффициент использования емкости водохранилища (в зависимости от залесенности пойм, принимается равным 0,25 при сплошной залесенности и 0,75÷0,80—при малозароших поймах), $W_{лв}$—объем льда, покрывающего водохранилище, определяемый как

$$W_{лв} = L_в B_в h_{лв}, \qquad (8\ 34)$$

$L_в$—длина водохранилища от рассматриваемого створа при НПУ, $B_в$—средняя его ширина при НПУ; $h_{лв}$—средняя толщина льда на водохранилище

Уровень воды, при котором выполняется равенство $W_л \approx W_{зат}$, соответствует заторному уровню. Заторные массы льда, достигнув наибольшей мощности, после прорыва перемещаются вниз по течению; при этом уровень воды на заторном участке падает и подтопление от затора ослабевает Плотность льда в заторе составляет примерно 0,55÷0,60 т/м³.

5. Ледовый режим в НБ гидроузла определяется не только метеорологическими условиями в районе гидроузла, гидравликой и морфометрией русла, но и в значительной мере режимом работы ГЭС и различных водосборных сооружений. На участке, наиболее удаленном от плотины, где влияние попусков на гидроузле сказывается незначительно, условия формирования ледяного покрова, сроки и продолжительность ледовых явлений не отличаются от бытовых (см. гл. 7). На приплотинном участке НБ ледовый режим неустойчив и характеризуется чередованием ледостава с ледоходом и шугоходом (см. рис. 8.4). Сочетание повышенных по сравнению с естественными условиями расходов попусков и положительной температуры сбрасываемой из водохранилища воды обуславливает наличие в НБ свободной ото льда полыньи,

размеры которой колеблются в среднем от 1 до 100 км и могут быть определены по рекомендациям, изложенным в [11, 7, 30]. В пределах этого участка воздействие льда на мостовые сооружения, как правило, не учитывается.

При скорости течения в НБ ($v > 0{,}5 \div 0{,}8$ м/с), вызывающей повышенную турбулентность потока, вода переохлаждается, и в периоды резких похолоданий в полынье происходит интенсивное шугообразование. Сплывая вниз по течению, шуго-ледяная масса задерживается у кромки льда, где, скапливаясь, образует ледяной покров. Повышенные сбросные расходы в створе плотины и наличие в полынье шуги приводят к формированию зажоров в зоне кромки льда и к разрушению ледяного покрова ниже кромки с последующим образованием заторов [53].

Неустойчивое положение кромки ледяного поля в нижнем бьефе на концевом участке приплотинной полыньи может вызывать в период ледостава переменные во времени ледовые нагрузки на речные гидротехнические сооружения. Расположение створов мостовых переходов в этой зоне повышает вероятность заторо- и зажорообразования.

При отсутствии данных гидрометрических измерений для определения максимальных заторных уровней воды можно применять зависимость для бытовых условий (см. гл. 7) [11, 7].

6. Ледовый режим зарегулированных участков рек определяют по данным систематических наблюдений на постах Гидрометеорологической службы СССР и организаций, эксплуатирующих водохранилища и гидроузлы.

В состав наблюдений входят:

учащенные наблюдения за уровнями воды на водохранилище и в зоне нижнего бьефа (позволяют иметь данные об НПУ, УМО, отметки водной поверхности НБ);

авиаразведки и наземные обследования ледового состояния реки и водохранилища, ледомерные съемки (позволяют получить данные о сроках сработки водохранилища в зимний период и наполнения в период весеннего половодья; даты замерзания и вскрытия реки в зоне гидроузла; толщину ледяного покрова в период ледостава; наличие и мощность заторов и зажоров, место, время их образования и прорыва; данные о размерах приплотинной полыньи и т. д);

наблюдения за стоком льда (позволяют получить данные о размерах и скорости движения льдин, оценить коэффициент густоты ледохода или шугохода, получить информацию о пропуске льда через плотину в НБ и т. п).

9 1 Типизация и задачи прогнозирования руслового процесса

1 Русловым процессом называются изменения форм речного русла и пойм (плана, живых сечений), постоянно происходящие под воздействием несущего наносы водного потока Знание руслового процесса на данном участке реки позволяет оценить взаимодействие сооружений с происходящими преобразованиями русла и пойм и выявить наиболее неблагоприятные условия работы мостового перехода, которые могут появиться за срок его эксплуатации

2 Река на своем протяжении может менять характер руслового процесса в зависимости от объемов жидкой и твердой фаз стока, рельефа водосбора и развития приточной системы

Государственным гидрологическим институтом [31] установлены семь основных типов руслового процесса 1) ленточногрядовый, 2) побочневый, 3) ограниченное меандрирование, 4) свободное меандрирование, 5) незавершенное меандрирование, 6) пойменная многорукавность, 7) русловая многорукавность

Тип руслового процесса устанавливают по картам и планам согласно внешним признакам, которые приведены в следующих пунктах главы Русловые процессы на конусах выноса горных и селевых водотоков приведены в гл 4 Внешние признаки подразделяются на мелко- и крупномасштабные К первым относятся характерные планы русел, наличие ограничивающих факторов (например, узкая долина) Крупномасштабными (или детальными) признаками являются форма излучины, наличие спрямляющих протоков, наносные скопления и т д

Тип руслового процесса удобно выявлять, сопоставляя имеющийся топографический материал с эталонными или характерными участками (см рис 9 1—9 7)

3 Для выявления типа руслового процесса также используют критериальные зависимости, позволяющие от визуальных оценок перейти к измеряемым величинам параметров русла и долины реки По данным ГГИ [31] и ЦНИИСа [5] тип руслового процесса может быть определен по значению критериального параметра А, определяемого по соответствующим формулам

$$A = \frac{i}{i_р} - \frac{B}{B_р}, \qquad (9\,1)$$

$$A = \frac{v_р}{i^{0,4}\sqrt{gH_р}}, \qquad (9\,2)$$

где i—продольный уклон дна долины, принимаемый равным уклону водной поверхности при УВВ, $i_р$—то же, руслового потока по тальвегу, B—ширина речной долины, $B_р$—ширина русла между бровками пойменных берегов (в разветвленном русле ширина его равна сумме ширин протоков), $v_р$—средняя скорость по сечению в бровках русла, g—гравитационная постоянная, 9,81 м/с^2, $H_р$—средняя глубина русла в бровках

В табл. 9.1 даны значения критерия А для основных типов руслового процесса.

Таблица 9.1

Тип процесса	Значения критериального параметра А	
	по ГГИ	по ЦНИИС
Меандрирование:		
ограниченное	4,5—6	<4,6
свободное	25—48	4,6—6,4
незавершенное	10,5—18,5	6,4—9,5
Многорукавность:		
пойменная	5,5—10	9,5—10,5
русловая	1,5—2,5	>10,5
Побочневый	2—3	—

В сложных случаях рекомендуется использовать оба критерия в сопоставлении с материалами съемок за разные годы.

9.2. Ленточногрядовый тип русла

1. Ленточногрядовый тип руслового процесса наблюдается обычно на отдельных участках рек и не имеет широкого распространения. Деформации русла состоят в сползании по течению крупных гряд наносов (мезоформ), занимающих всю ширину русла (рис. 9.1). Берега русла устойчивые, задернованные, поймы небольшие без проток и стариц, русло песчаное, в плане слабо извилистое и его повороты совпадают с поворотами долины. Ленточные гряды наносов хорошо видны на аэрофотоснимках русла, снятого в период межени.

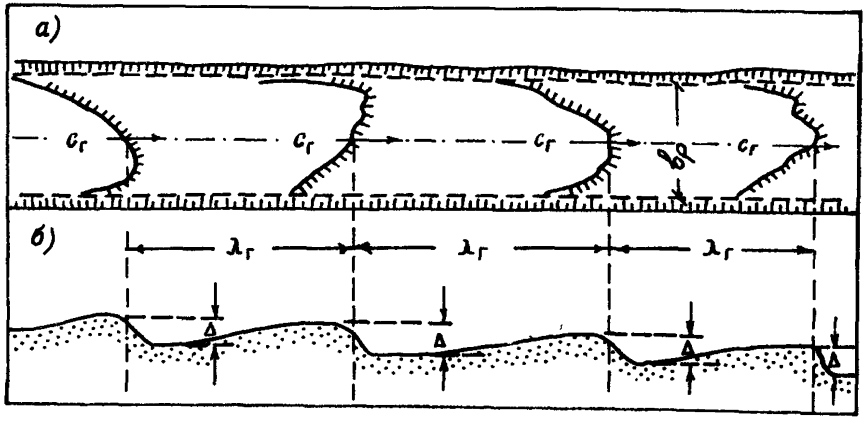


Рис. 9 1. Ленточногрядовый тип руслового процесса:
а—план; *б*—продольный профиль русла; $\lambda_г$—шаг гряд, Δ—их высота

2. Параметры ленточных гряд устанавливают продольными промерами русла эхолотом. Подлежат определению следующие величины: шаг гряды $\lambda_г$ и отношение $\lambda_г/b_р$ (см. рис. 9.1), равное порядка 6÷8; высота гряды, равная превышению гребня над наинизшей точкой подвалья гряды $\Delta_г$, средняя скорость перемещения гряд $C_г$, которая может достигать до 200—300 м/год.

Наибольшие скорости движения гряд и их высоты наблюдаются в паводок. В створе мостового перехода неоднократно пройдут гребни и подвалья гряд, что необходимо учесть в расчете общего размыва (см. п. 10.4).

Наибольшие значения $\Delta_г$ устанавливают серией продольных промеров глубин русла в паводок на протяжении не менее 4—5$\lambda_г$. Русловую съемку выполняют на протяжении 3-х шагов гряды.

9.3. Побочневый тип русла

1. При побочневом типе руслового процесса наносы движутся мощными грядами, занимающими все русло и сильно перекошенными в плане. Пониженные части гряд образуют перекаты, а возвышенные части примыкают к берегам русла, обсыхают в межень и образуют собственно побочни (рис. 9.2, *а*). Деформации русла заключаются в сползании гряд, которые оказываются сдвинутыми относительно друг друга примерно на половину шага гряды.

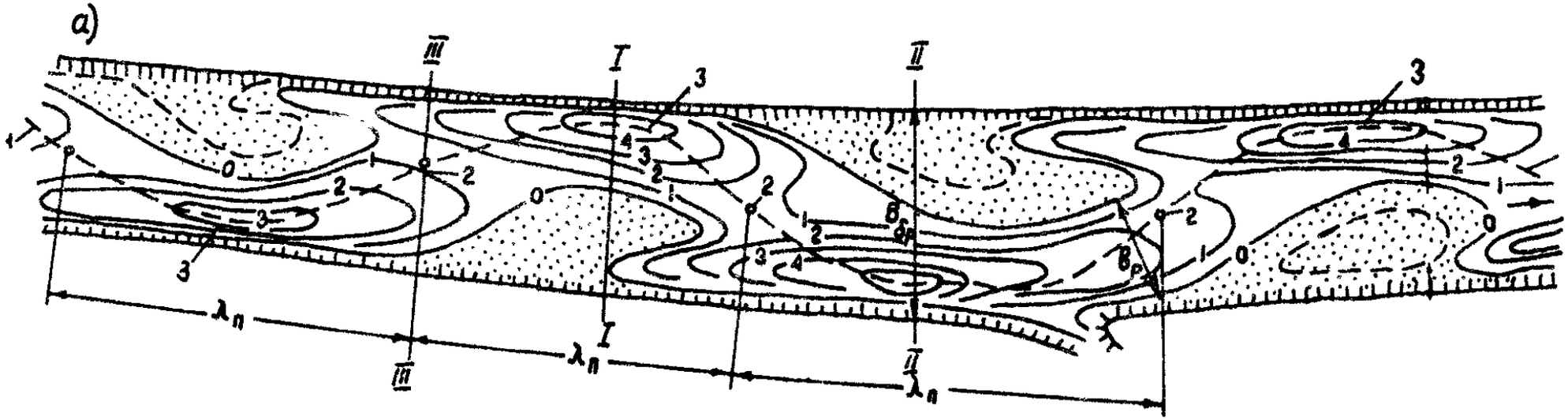
Паводочный поток параллелен берегам русла в пойменных бровках, а в межень поток делается извилистым, образуя у противоположных побочням берегов глубокие плесы. При размывах плесовых лощин происходит периодическое расширение, а затем, при подвижке побочня, сужение русла.

Поймы, как правило, незначительны или отсутствуют за исключением случаев, когда побочни движутся в меандрирующем русле ниже впадения притока, резко изменившего расход наносов в сторону его увеличения. Такое явление может происходить в течение некоторого времени после спрямления вышележащих излучин русла. Фракционный состав донных наносов, слагающих побочневые русла, колеблется от песков до крупной гальки.

2. В паводок гряды движутся со скоростью от десятков до сотен метров в год. Такие скорости перемещения гряд предопределяют неоднократное прохождение через створ перехода за срок его эксплуатации побочней у обоих берегов русла с образованием под мостом плесов и перекатов (см. рис. 9.2, *б*).

Подлежат определению следующие характеристики побочневого русла: $\lambda_п$—шаг побочня; $B_{бр}$—ширина русла в пойменных бровках (см. рис. 9.2, *а*); $\lambda_п/b_р$—относительный шаг побочня (4÷8); $B_{бр}/b_р$—отношение, равное на плесовых участках 2÷4, а на перекатах $B_{бр} \approx b_р$, где $b_р$—ширина меженного русла.

3. План русла в горизонталях снимают на протяжении не менее 4$\lambda_п$.



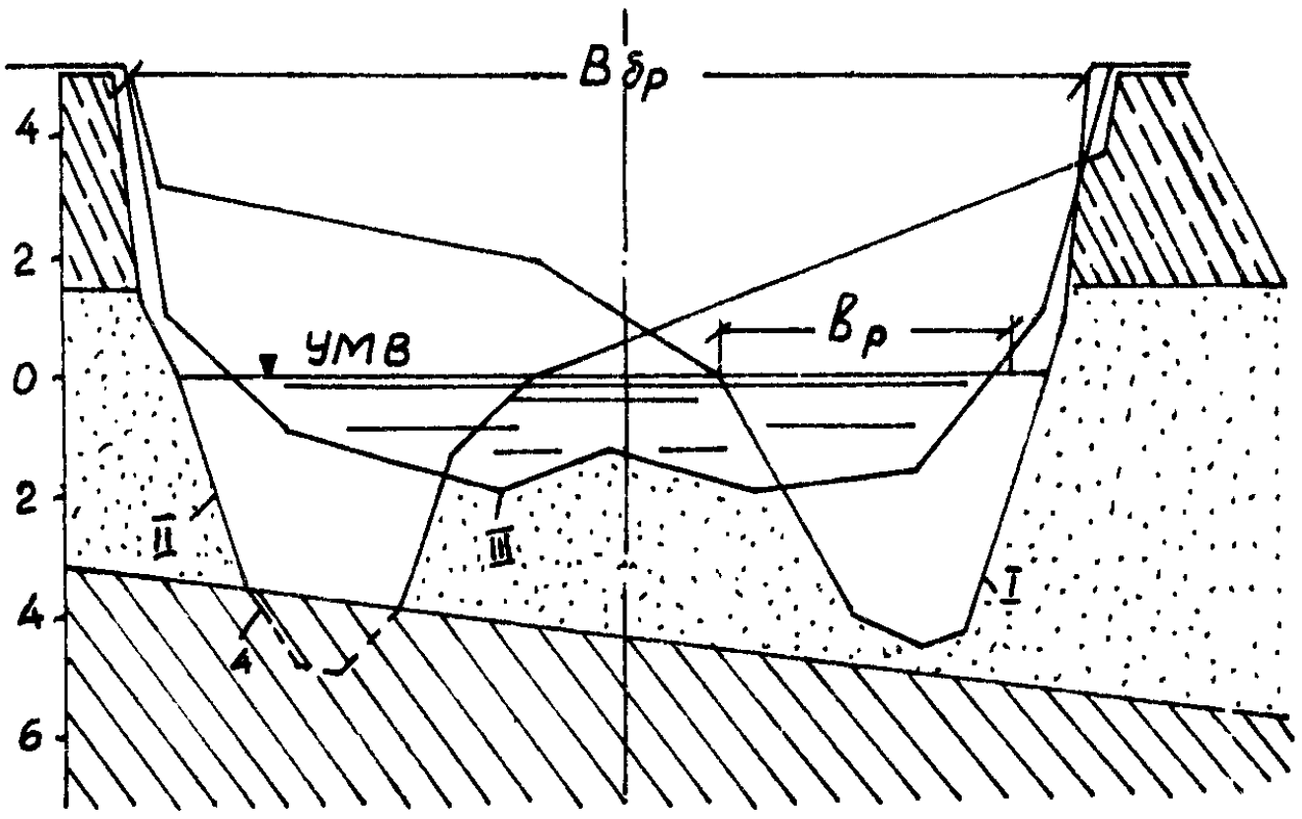


Рис. 9.2. Побочневой тип руслового процесса:

а—план русла с изолиниями глубин; *б*—совмещенные профили расчетных сечений I, II, III; *1*—средняя линия меженного русла; *2*—перекаты; *3*—плесовые лощины; *4*—базальный слой плотной глины

Для трех характерных живых сечений русла (см. рис. 9.2, *б*) определяют наинизшие отметки дна—в плесовых лощинах на спаде паводка, а на перекатах—в конце меженного периода. Расчеты общих и местных размывов подмостового русла производят для трех характерных живых сечений.

Для назначения минимального отверстия моста $L_{м\,min} \geqslant B_{бр\,max}$ определяют величину $B_{бр\,max}$ на однородном участке реки, в пределах которого водосборная площадь изменяется не более чем на 15%, по 15—20 створам в местах наибольшего расширения русла, используя крупномасштабные карты и аэрофотоснимки.

9.4. Ограниченное меандрирование русла

1. Тип ограниченного меандрирования характерен для рек, текущих в узких долинах. При небольших скоростях сползания побочней эти русловые формы закрепляются растительностью, которая задерживает взвешенные в паводочном потоке наносы, превращая побочни в пойменные массивы. Русло имеет вид пологих излучин, развитие которых ограничено бортами долины; в паводок пойменные массивы размываются в верховой и наращиваются с низовой стороны, а пологие меандры сползают вниз по течению с сохранением своих очертаний и размеров.

2. Пойменные массивы, как единая макроформа с руслом, смещаются вместе с излучинами (рис. 9.3). Наибольшие глубины расположены у размываемого берега пойменного массива. Каждая излучина ограничена двумя перекатами, наращиваемыми в паводок и размываемыми в межень. С течением времени русло и пойменный массив в данном створе могут находиться поочередно у обоих берегов долины. При ограниченном меандрировании подлежат определению следующие параметры: $\lambda_{ои}$—шаг излучины, равный расстоянию между двумя смежными перекатами; $B_{пм}$—ширина пояса меандрирования, примерно равная ширине долины между подошвами ее склонов; $b_р$—ширина меженного

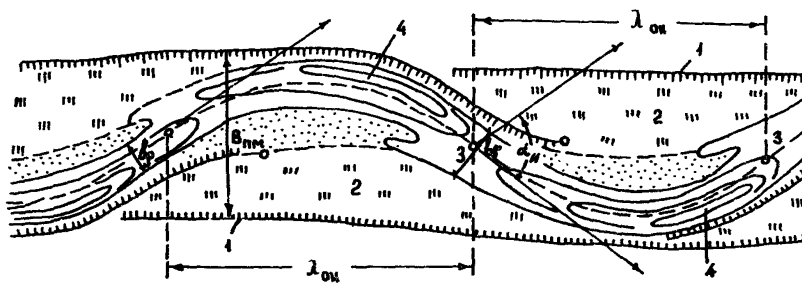


Рис. 9.3. Ограниченное меандрирование:
$\lambda_{ои}$—шаг излучины, $B_{пм}$—ширина пояса меандрирования, $b_р$—ширина русла; $\alpha_и$—угол разворота; *1*—борта долины; *2*—пойменные массивы; *3*—перекаты; *4*—плесовые лощины

русла; $r_и$—средний радиус кривизны излучин на участке перехода, м; $\alpha_и$—средний угол разворота излучин, обычно менее 60°—70° и редко превышающий 90°.

Русловую съемку производят на протяжении $2\lambda_{oи}$ на спаде паводка для определения наибольших глубин плесовых лощин, дополняя ее промерами глубин на перекатах в конце меженного периода.

3. Скорость сползания излучины определяют по смещению точек перегибов (перекатов) путем совмещения съемок за различные годы. Скорость $C_и$ относительно невелика и составляет метры и реже десятки м/год. Поэтому образование русла у противоположных берегов долины или переката в ее середине за срок эксплуатации перехода не всегда будет иметь место. Следовательно, необходимо знать величину $C_и$ для сравнения вариантов расположения моста—или с перекрытием всей зоны русловых деформаций, или с закреплением вогнутых берегов меандрирующего русла.

4. Если разновременных съемок участка перехода нет, то величину $C_и$ приближенно определяют по формуле Л. Л. Лиштвана:

$$C_и = \frac{q_т T_{расч}}{\rho_s H_л}, \text{ м/год} \qquad (9.3)$$

где $q_т$—средний за расчетное время удельный расход наносов в излучине русла, определяемый по формуле, кг/с · м

$$q_т = 12\left(\frac{v_л}{v_0 K_{v0}}\right)^3 (v_л - v_0 k_{v0})\left(\frac{H_л}{d}\right)^{1/3} d, \qquad (9.4)$$

$T_{расч}$—расчетное время в сек, в течение которого при среднем ($p \approx 50\%$) паводочном расходе средняя скорость в излучине $v_л$ превышала неразмывающую скорость v_0; ρ_s—плотность сухого грунта русла в естественном залегании, $\rho_s \approx 1700$ кг/м³; $H_л$—средняя за расчетное время глубина воды плесовой лощины у вогнутого берега, м; k_{v0}—коэффициент уменьшения размывающей скорости на откосе вогнутого берега с заложением $1 : m$:

$$k_{v0} = \left(\sqrt{1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2} - 10\,\frac{m_0}{m}\,\frac{H_л}{r}\right)^{1/2}; \qquad (9.5)$$

m_0—коэффициент естественного заложения грунта, слагающего берег ниже слоя пойменного наилка (см. табл. 10.11); $r = (r_и + \frac{B_р}{2})$—радиус кривизны потока у вогнутого берега; $B_р$—ширина русла в бровках.

Радиус кривизны по оси излучины определяют по формуле:

$$r_и = \frac{\lambda_и^2}{4a_и}, \qquad (9.6)$$

где $a_и$—расстояние от середины шага излучины до ее вершины.

Средняя скорость по сечению в середине излучины $v_л$ может быть определена по формуле [5]

$$v_л = v k_r, \qquad (9.7)$$

где k_r—коэффициент увеличения скорости потока у вогнутого берега по срав-

нению со средней скоростью потока по всему сечению русла v, определяемый по формуле

$$k_r = 0{,}9\,\frac{(1+\xi)^3}{1+\xi^2}, \qquad (9.8)$$

где $\xi = \frac{1}{2}\, b_р/r_и$—коэффициент относительной ширины русла

При расчете скорости сползания излучины $C_и$ для определения $T_{расч}$ гидрограф среднего паводка принимают по характерным гидрографам рек района. Подробный пример расчета $C_и$ приведен в [5].

5. Для ограниченно меандрирующих рек степень влияния перехода на русловой процесс определяется наличием или отсутствием стеснения пояса меандрирования насыпью перехода. На выбор проектного решения влияет скорость сползания макроформ—излучины и пойменного массива. Если за срок эксплуатации перехода излучина переместится на величину менее $\lambda_и/2$, то возможен вариант устройства моста через русло с закреплением вогнутых берегов пересекаемой и верховой излучин.

Это вызовет сжатие пологих излучин выше остановленных в своем движении излучин на переходе с последующим прорывом перешейков и движением побочней или осередков на спрямлениях русла. При смещении излучины за расчетный срок на величину больше $\lambda_и/2$ целесообразно рассмотреть вариант перекрытия мостом всего пояса меандрирования, если долина достаточно узка.

9.5. Свободное меандрирование русла

1. На равнинных реках, протекающих в широких долинах с обширными поймами, обычно происходит процесс свободного меандрирования их русел. Процесс заключается в неограниченном развитии излучин русла, причем излучина проходит определенный цикл развития—от слабо выгнутого, подобно синусоиде, участка до сложного петлеобразного очертания в плане с образованием узкого перешейка между вогнутыми берегами верховой и низовой излучин, который затем прорывается (рис. 9.4). После прорыва русловой поток переходит в образовавшееся спрямление, центральная излучина превращается в старицу; а верховая и низовая излучины вместе со спрямлением русла образуют одну пологую излучину, вновь повторяющую описанный цикл развития. При больших углах разворота плесовая лощина разделяется на две и более, и излучина становится асимметричной. В паводок плесы размываются, а перекаты наращиваются, в межень происходит обратный процесс.

2. На участке реки ряд излучин, находящихся обычно в разных стадиях развития, смещаются вниз по течению, образуя пояс меандрирования, ограниченный линиями, соединяющими вершины противоположно направленных излучин. Смещение пояса меандрирования может быть ограничено коренными бортами долины, устьями крупных притоков и другими местными причинами.

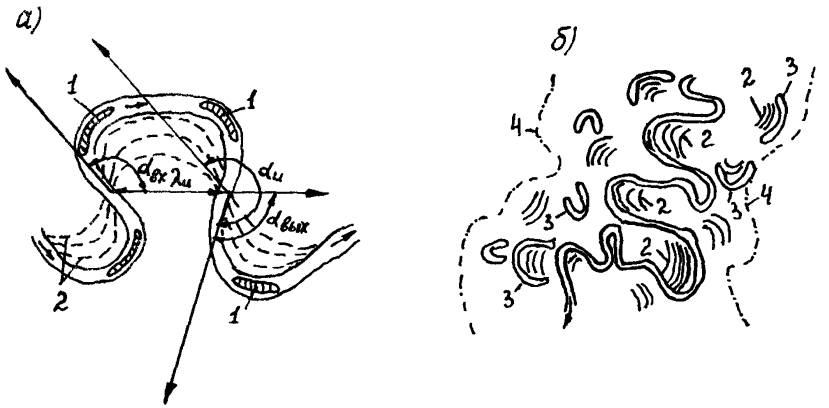


Рис 9 4 План свободно меандрирующего русла
а—характерные излучины *б*—участок долины, *1*—глубокие участки плесов *2*—старые прирусловые валы, *3*—старицы *4*—границы поймы

Периодические прорывы перешейков и отторжения петель русла создают сложный рельеф поймы, состоящий из серий грив, старых прирусловых валов и изолированных стариц

3 При свободном меандрировании определяют следующие параметры: $\lambda_и$—шаг излучины, S—длина излучины, измеряемая между верховой и низовой точками перегиба по средней линии русла; отношение $S/\lambda_и$—характеризует развитость излучины; $\alpha_и$—угол разворота излучины $\alpha_и = \alpha_{вх} + \alpha_{вых}$ (см рис 9 4); $r_и$—радиус кривизны, измеряемый в случае асимметрии излучины отдельно для каждого плеса (см п. 9 4, формулу 9 6); $b_р$—ширина русла в бровках на перекатах между излучинами; $b_и$—то же в излучине; B_{max}—наибольшая ширина пояса меандрирования (см рис. 9 8); $C_м$—скорость смещения береговой линии в точке наибольшей деформации плана излучины. Значения $C_м$—составляют метры и десятки метров в год

Русловую съемку производят в пределах трех излучин—пересекаемой трассой и смежных с ней верховой и низовой излучин

Прогнозирование скорости плановых деформаций при наличии разновременных съемок с интервалами не менее 5—7 лет выполняют по совмещенным планам русла

Совмещение планов разновременных съемок, после приведения их к одному масштабу, уточняется натурным обследованием участка, выделением характерных мест размыва и намыва берегов и с учетом возможных нарушений естественных деформаций вследствие приближения меандра к коренному борту долины или образования спрямлений на смежных излучинах

4. При отсутствии разновременных съемок смещение линии вогнутого берега $Y_б$ на данном поперечнике определяют по приближенной формуле Н. Е. Кондратьева:

$$Y_б \approx C_м k_{из} T_{пр} \frac{h_п - h_0}{h_m - h_0}, \qquad (9.9)$$

где $k_{из}$—коэффициент скорости развития излучины, зависящей от угла ее разворота $\alpha_и$ или степени развитости излучины $S/\lambda_и$ (табл. 9.2); $T_{пр}$—число лет срока прогнозирования; $h_п$—наибольшая глубина на данном створе; h_m—наибольшая глубина плеса данной излучины; h_0—средняя глубина двух перекатов, ограничивающих излучину.

Глубины отсчитывают от уровня средней межени ($УМВ_{50\%}$).

Входящая в формулу (9.9) наибольшая скорость плановых деформаций $C_м$ может быть определена по имеющимся данным деформаций других излучин на морфологически однородных участках реки как

$$C_м = \sum_{1}^{n_{из}} \frac{C_i}{k_i} / n_{из}, \text{ м/год} \qquad (9.10)$$

где $n_{из}$—число обследованных излучин русла; k_i—табличные значения коэффициента $k_{из}$ для соответствующей излучины (см. табл. 9.2).

Таблица 9.2

$\alpha_и^0$	40	55	70	85	100	125	170	195	215	240	260
$k_{из}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,00	0,95	0,9	0,8	0,7
$S/\lambda_и$	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,65	2,00	2,4	3,2	4,0

Следует иметь в виду, что приведенные в табл. 9.2 величины $k_{из}$, характеризующие скорость развития излучины в течение всего цикла деформаций, соответствуют огибающей кривой $k_{из} = f(\alpha_и)$ обширного поля точек, полученных исследованиями ГГИ для рек различных регионов. Поэтому использование данных табл. 9.2 предполагает запас в расчетах $Y_б$, что следует считать оправданным, учитывая невысокую точность [56] формулы (9.9).

Средняя по периметру вогнутого берега скорость смещения может по [56] быть принята $\overline{C}_м \approx 0{,}66\, C_м$.

5. Использование для определения величины $C_м$ метода аналогий допускается, если рассматриваемая река и выбранная река-аналог имеют идентичные тип руслового процесса и тип максимального стока, а также близкие значения величин площади водосбора, относительной его ширины, уклона, расходов воды в паводок $Q_{1\%}$ и $Q_{50\%}$ и среднюю крупность частиц аллювия.

Характеристики участков свободно меандрирующих русел с данными наблюдений их плановых деформаций приведены в табл. 9.3 [89].

Таблица 93

Река, участок, расстояние от устья	Макс скорость смещения бровки берега, $C_м$, м/год	Расход воды, м³/с		Уклон водной поверхности, ‰	Грунт русла
		максимальн. наблюденный	средний многолетний		
Ока 253—257 км от устья	7,5	15800	655	0,044	песок мелкий
Иртыш 406—529 км	10,8	12100	2150	0,032	то же
» 534—803 км	6,2	»	»	»	»
Зея от М Сазанки до Даниловки	7,0	10900	325	4,0	мелкий гравий
Десна 131—151 км	8,1	8090	326	—	песок
» 205—218 км	6,1	»	»	—	»
» 382—426 км	8,5	2300	158	0,2	»
» 483—518 км	1,6	»	»	»	»
Сож 19—29 км	8,8	6600	202	0,2	»
» 49—76 км	4,4	»	»	»	»
Дунай-Килийский рукав	7,5	—	4135	0,004	песок мелкий
Днепр 1146—1149 км	3,8	4970	369	0,13	песок
» 1150—1158 км	4,7	»	»	»	»
» 1271—1280 км	2,7	2820	189	0,14	»
» 1314—1321 км	1,8	»	»	»	»
» 1441—1448 км	1,3	2000	125	0,17	»
» 1647—1660 км	1,4	»	»	»	»
Рионн от устья до впадения р Цхенисхали	17,8	2910	47	0,4	песок мелкий
Кеть 500—515 км от устья	8,2	1520	244	0,08	песок
Полометь от с Зеленый Бор и выше 3,5 км	2,5	120	8	0,4	»

6. Развитие одноплесовой излучины сопровождается уменьшением радиуса ее кривизны и увеличением глубины плесовой лощины от максимальной глубины у вогнутого берега h_{max} до величины $h'_{max} = h_{max} \frac{\varepsilon'_н}{\varepsilon_н}$, где $\varepsilon'_н$ и $\varepsilon_н$—коэффициенты, зависящие от отношения ширины русла $B_{бр}$ к наименьшему радиусу кривизны $r_и$ соответственно для прогнозируемого и современного (см формулу 9 6) плана русла:

$B_{бр}/r_и$	0,10	0,17	0,20	0,25	0,35	0,50	0,60
$\varepsilon'_и$ или $\varepsilon_н$	1,32	1,48	1,84	2,20	2,64	3,00	3,20

Наименьший прогнозируемый радиус кривизны определяют как

$$r_{и} = \frac{\lambda_{и}^2}{4(a_{и}+Y_{б\,max})}, \qquad (9.11)$$

где $\lambda_{и}$ и $a_{и}$ —имеют прежние значения (см. рис. 9.4); $Y_{б\,max}$—смещение вогнутого берега в створе наибольшей глубины, определяемое по формуле (9.9).

Полученную расчетом величину h'_{max} рекомендуется проверять при наличии соответствующих данных по натурным зависимостям $h_{max}=f(r_{и})$ или $h_{max}=f\left(\frac{S}{\lambda_{и}}\right)$. Поскольку скорость развития излучины, характеризуемая коэффициентом $k_{из}$, в процессе деформаций плана непрерывно меняется, то для уточнения расчета срок прогнозирования необходимо разбивать на короткие отрезки времени. Объем вычислений при этом значительно увеличивается и весь расчет целесообразно выполнять на ЭВМ.

Полученные в результате прогноза величины $Y_{б\,max}$ и h'_{max}, могут образовываться за расчетный срок в излучинах, деформации которых направлены к сооружениям перехода, и должны учитываться при проектировании.

9.6. Незавершенное меандрирование русла и пойменная многорукавность

1. Незавершенное меандрирование русел характерно для рек с низкими, глубоко и часто затопляемыми в паводок поймами. Спрямляющие течения между излучинами размывают поверхность поймы, способствуя образованию спрямляющих протоков на ранних стадиях развития меандров, обычно при $\alpha_{и} \approx 140° \div 160°$. Тонкий слой наилка низких пойм легко размывается и первоначальная небольшая промоина превращается в спрямляющее русло

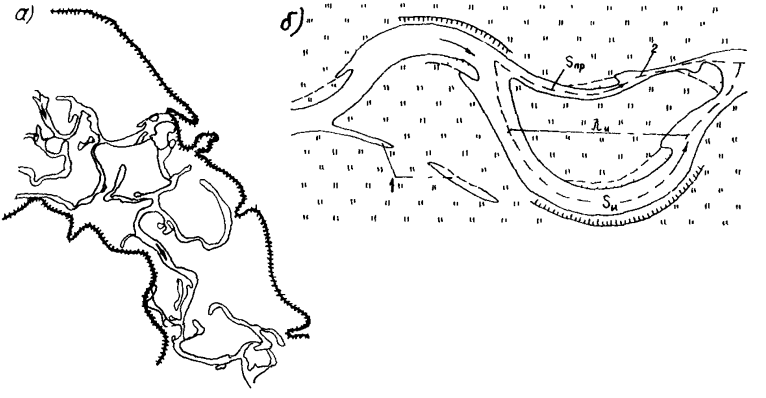


Рис. 9 5. План русла реки при незавершенном меандрировании:
а—участок долины; *б*—характерная излучина; *1*, *2*—развивающиеся спрямляющие протоки

(см. рис. 9 5), по которому вначале начинают двигаться ленточные гряды или побочни. После перемещения бо́льшей части руслового расхода в спрямляющую протоку последняя начинает меандрировать.

Русловую съемку в горизонталях выполняют для пересекаемой излучины и спрямляющей ее протоки, а также для вышележащей по течению излучины и спрямляющей ее протоки.

2. Кроме параметров излучины, определяемых при свободном меандрировании ($\lambda_и$, S, $\alpha_и$, $C_м$), для незавершенного меандрирования определяют: показатель незавершенности $S/S_{пр}$, где $S_{пр}$ — длина спрямляющей протоки; показатель затопляемости поймы $\frac{H_п}{H_р}$, где $H_п$—средняя глубина затопления поймы, $H_р$—средняя глубина русла при расчетном $УВВ_{р\%}$. Чем больше отношение $H_п/H_р$, тем на более ранних стадиях развития произойдет спрямление

3. При пересечении реки с незавершенным меандрированием русла необходимо, прежде всего, установить степень развитости образовавшейся спрямляющей протоки, для чего определяют расходы воды на уровне пойменных бровок излучины $Q_{из}$ и протоки $Q_{пр}$. Если $Q_{из}/Q_{пр}<1$, то мост располагают на протоке, а при $\frac{Q_{из}}{Q_{пр}}>1$ следует, учитывая темпы развития протоки, рассмотреть варианты устройства моста на излучине или на протоке с устройством соответствующих регуляционных сооружений, выключающих или излучину, или протоку. Темпы развития спрямляющих проток на данном участке реки можно установить сравнением планов меандров русла на разных стадиях развития спрямляющих проток по материалам аэросъемок за различные годы.

4. *Пойменная многорукавность возникает на обширных* длительно и глубоко затапливаемых низких поймах равнинных крупных рек, обычно на их приустьевых участках (см. рис. 9.6).

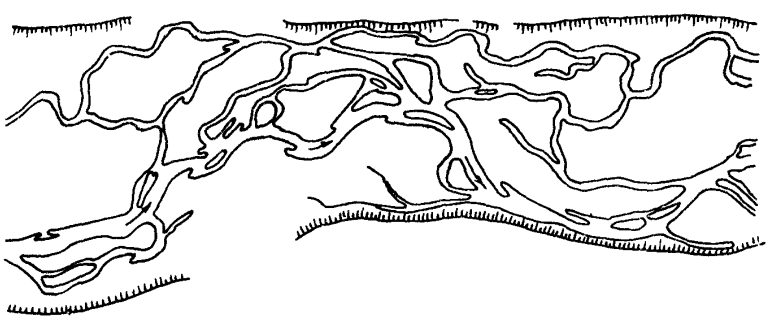


Рис 9 6 Пойменная многорукавность

Для этого типа руслового процесса характерно образование нескольких проток, часть таких проток имеет большую протяженность и соединяет не одну, а группы излучин Некоторые протоки не связаны с развитием незавершенного меандрирования, возникают от склонового стока речной долины и представляют собой длинные пойменные речки, течение в которых определяется рельефом поймы Отдельные крупные рукава следует рассматривать как самостоятельные русла, в которых, в зависимости от условий транспорта наносов, могут происходить русловые процессы того или иного из описанных типов Поэтому специальных измерителей, характеризующих пойменную многорукавность, не дается Размеры детальных русловых съемок устанавливают также в зависимости от типа руслового процесса в рукавах

5 При пойменной многорукавности происходит достаточно быстро меняющееся со временем переформирование жидкого и твердого стоков в протоках Неустойчивость сети протоков позволяет закрывать протоки без каких либо последствий для гидрографической сети в районе перехода, если это не связано с нарушением рыбохозяйственных и прочих экологических аспектов Эту особенность рек с пойменной многорукавностью следует иметь в виду при рассмотрении вариантов местоположения пойменных отверстий

9 7 Русловая многорукавность

1 Признаком русловой многорукавности является распластанное русло, в котором расположены группы побочней, островов и осередков (островов, не закрепленных растительностью) при отсутствии или незначительности пойм

Русловая многорукавность имеет разновидности блуждающего русла, осередкового и островного типов

2 Многорукавность типа блуждающего русла (рис 9 7) характеризуется большой подвижностью песчаных наносов, когда беспорядочные группы русловых мезоформ формируются и разрушаются в паводок со скоростями, достаточными для резкого изменения динамической оси потока и перемещения наибольших глубин даже в течение суток Надвинувшийся побочень или осе-

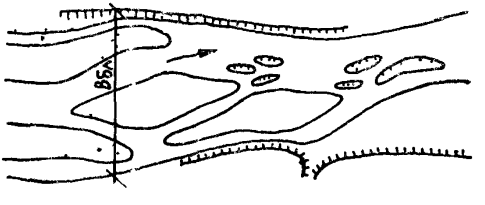


Рис 9 7 Русловая многорукавность с неза крепленными песчаными осередками

редок может перекрыть крупный рукав русла у одного берега и переместить его к противоположному берегу. При этом происходит резкое увеличение глубин у берега и его размыв, иногда принимающий вид обрушения масс грунта-дейгиша.

Скорости смещения отдельных мезоформ русла и его берегов при их размыве составляют сотни и тысячи метров в год.

Для блуждающего русла необходимо определить величины максимальной ширины зоны блуждания $B_{бл\,max}$ на участке мостового перехода и максимальной глубины h_{max}, которая может образоваться на любой вертикали створа перехода при перемещении русловых форм наносов.

Величину $B_{бл\,max}$ устанавливают по 15—20 створам на участке перехода с использованием крупномасштабного картографического материала или аэрофотоснимков. Величины h_{max} желательно определить по промерам за ряд лет на створе, ближайшем к намечаемому переходу, с построением зависимости $h_{max}=f(P_m\%$, по которой затем получить расчетную величину $h_{max\,p\%}$.

3. Створ перехода следует назначать в наиболее узкой части долины реки, где ежегодные колебания величины $B_{бл\,max}$ наименьшие. Отверстие моста $L_м$, как правило, принимают $L_м \approx B_{бл\,max}$, учитывая затруднительность устройства и эксплуатации регуляционных сооружений при стеснении зоны блуждания русла.

Зона блуждания русла сложена мелким аллювием, иногда на значительную глубину, поэтому весьма важно дать прогноз возможной глубины потока у любой опоры моста. Эта величина зависит от хаотичного перемещения русловых мезоформ и не связана с величиной паводочного расхода.

4. Ориентировочно возможная максимальная глубина потока под мостом через многорукавное блуждающее русло h_{max} может быть определена при известной средней глубине потока в сечении моста H

$$h_{max}=H\cdot k_B, \qquad (9.12)$$

где k_B—коэффициент, принимаемый для теснин или степени стеснения потока мостовым переходом не менее 1,5 $k_B \approx 2$; для равнин с большой шириной зоны блуждания и перекрытием мостом этой зоны $k_B=5$

Среднюю глубину потока под мостом определяют по формуле (10.24) динамического равновесия наносов в русле.

5. Многорукавность осередкового типа характерна для участков, где горная река выходит на равнину. Многорукавность создается подвижными осередками, обсыхающими в межень, сложенными гравийно-галечным русловым аллювием. Вследствие значительных скоростей течения, взвешенные наносы на осередках не откладываются в виде наилка. Русловая зона обычно врезана на глубину 1,5—3,0 м в узкую, редко затопляемую, пойменную террасу, покрытую наилком и растительностью. Галечниковые гряды русловой зоны начинают перемещаться при паводках $p \approx 50\%$, а размыв бортов пойменных террас происходит в паводки $p<5\%$. Скорости смещения гряд составляют десятки (реже

сотни) м/год, а скорости смещения пойменных бровок—десятки м/год. При расчете деформаций мезоформ русел горных рек, сложенных крупным аллювием, можно пользоваться рекомендациями, приведенными в [5]. Как правило, отверстием моста перекрывается вся русловая зона.

Если предполагается стеснение русловой зоны подходами к мосту, то съемка плана в горизонталях должна быть произведена на участке проектируемых регуляционных и укрепительных сооружений.

6. Многорукавность островного типа образуется при отложении на осередках части взвешенных наносов, что приводит к появлению на них растительности и постепенному превращению осередков в острова.

При больших подъемах уровня воды в паводок и больших объемах взвешенных наносов высота островов может достигать многих метров, причем основанием их служит русловой крупный аллювий, погребенный под толщей суглинков. Такие наносные скопления могут образовываться и по краям русловой зоны.

Прогнозирование деформаций в протоках между островами должно выполняться методами, соответствующими типам происходящих в них процессов (пп. 9.2—9.6).

7. На реках, текущих в районах вечной мерзлоты, распластанные русловые зоны при русловой многорукавности способствуют глубокому промерзанию мезоформ и промерзанию до дна проток между ними. Короткий период положительных температур в Заполярье приводит иногда к сохранению мерзлотного ядра осередка в течение всего года, что затрудняет перемещение осередка в паводок, который часто проходит поверх льда на реках, текущих с юга на север.

Наползающие на промерзший осередок микроформы наносов в виде мелких гряд приводят к образованию погребенного льда, предохраняющего мезоформы от размыва и замедляющего их деформации. Замедление движения промерзших мезоформ не исключает возможности образования заторов льда в той части русла, где может наблюдаться ледоход.

Глава 10. РАСЧЕТЫ ПРИ НАЗНАЧЕНИИ ОТВЕРСТИЙ МОСТОВ

10.1. Размещение и назначение отверстий мостов

1. Величина и местоположение отверстия моста должны обеспечивать минимум строительных и эксплуатационных затрат на мостовой переход с учетом хозяйственных интересов землепользователей и заинтересованных организаций и охраны природной среды. При этом необходимо учитывать: морфологические и ситуационные условия в районе перехода; распределение расчетных расходов воды в русле, протоках, на поймах; тип, интенсивность и направленность руслового процесса; геологическое строение долины в створе перехода; использование реки для хозяйственных нужд и пр.

2. На реках с выраженным руслом назначают, как правило, одно водопропускное отверстие. При концентрации расчетного расхода воды в двух и более местах живого сечения по створу перехода (наличие проток и рукавов) рассматривают вариант устройства группы водопропускных отверстий или пропуск всего расхода в одно отверстие (через главное русло).

3. При наличии вечномерзлых грунтов, селевого стока, лессовых грунтов и возможности образования наледи пропуск вод нескольких водотоков через одно сооружение нормами не допускается. В перечисленных сложных геологических и климатических условиях нарушение гидрографической сети может вызвать неблагоприятные последствия на работу мостового перехода.

Не рекомендуется отвод в русло протока шириной свыше 40—50 м. Следует избегать устройства отверстий в косорасположенной (к бортам долины рек) вверх по течению пойменной насыпи. На таких мостах возможны недопустимые размывы из-за большого перепада уровней с верховой и низовой сторон насыпи.

4. На малых водотоках на пойме, когда отвод их в русло затруднителен, а также для выпуска оставшейся после паводка воды из пониженных участков поймы желательно предусматривать мост с закрепленным руслом или трубу. Эти сооружения следует рассчитывать на скорости протекания, соответствующие перепаду уровней у насыпи в расчетный паводок. Необходимо иметь в виду, что варианты водопропускных сооружений с шандорными устройствами или водоразделительной дамбой обладают малой эксплуатационной надежностью.

5. Отверстие моста через меандрирующие русла желательно развивать в сторону выпуклого берега, чтобы фиксировать естественные плановые перемещения русла. При этом надо выбирать створ с более мощной поймой со стороны выпуклого берега.

6. Отверстие моста должно удовлетворять таким условиям:

а) «Не должно быть менее ширины устойчивого русла» (п. 1.28 СНиП 2.05.03—84), под которой следует понимать наибольшую ширину русла в районе перехода. Она определяется

аналогично наибольшей ширины побочневого русла $B_{\text{бр max}}$ (см. п. 9.3). При русловой многорукавности ширину устойчивого русла, которая меньше русловой зоны (см. п. 11.4), определяют по формуле (11.20).

Указанное требование норм предназначается для подавляющего большинства мостовых переходов, для которых априори стеснение русла в его бровках без специальных мероприятий вызывает технологические трудности по возведению устоя конуса.

Для некоторых регионов, например, с суровыми климатическими условиями, когда предполагаются специальные обоснованные расчетом мероприятия, позволяющие без дополнительных трудностей возводить береговые сооружения моста, и решается задача фундирования опор с учетом специфики мерзлотно-грунтовых условий, отверстие моста менее ширины устойчивого русла не является нарушением норм.

б) Коэффициент общего размыва $P=\dfrac{H_{\text{мпр}}}{H_{\text{мдр}}}$, где $H_{\text{мпр}}$, $H_{\text{мдр}}$— средняя глубина потока под мостом при расчетном уровне соответственно до и после размыва (с учетом срезки), согласно п. 1.31 СНиП 2.05.03—84 «как правило, следует принимать не более 2». (Требования принимать коэффициент P «не более 1,75» в готовящихся «Изменениях СНиП 2.05.03—84» изъяты).

в) средняя скорость потока $v_{\text{рс}}$ в русле под мостом через судоходную реку при расчетном судоходном горизонте (РСУ) не должна превышать той же скорости в естественных условиях $v_{\text{рб}}$ на $k\%$, где $k=20\%$ при $v_{\text{рб}}\leqslant 2$ м/с и $k=10\%$ при $v_{\text{рб}}\leqslant 2{,}4$ м/с (при 2 м/с$<v_{\text{рб}}<$2,4 м/с k определяют линейной интерполяцией).

Скорость потока $v_{\text{рс}}$ определяют для судоходного уровня при проходе расчетного паводка в первый год после постройки перехода, а если размывы под мостом рассчитывают без учета фактора времени, то в качестве $v_{\text{рс}}$ принимают скорость потока в русле для условий осуществления 75% полного размыва при снеговом и не менее 50% при ливневом паводках, максимальные расходы которых соответствуют расчетному судоходному уровню.

7. При соблюдении условий, указанных в п. 6, а также требований землепользователей отверстие моста желательно принимать при всех типах руслового процесса (кроме русловой многорукавности) не более ширины уширенного русла $B_{\text{р.уш}}$ (см. п. 14.1)

$$L_{\text{м}}\leqslant B_{\text{р}}(Q/Q_{\text{рб}})^{x}, \qquad (10.1)$$

где $B_{\text{р}}$—ширина бытового русла; Q, $Q_{\text{рб}}$—расходы воды, проходящие в речной долине и в русле; x—показатель степени, принимаемый равным 0,5 для несвязных и 0,6—для связных грунтов

Отверстие моста через реки с русловой многорукавностью блуждающего типа (см. п. 9.7) рекомендуется принимать примерно равным ширине зоны блуждания $L_{\text{м}}\approx B_{\text{зон}}$, так как значительное их стеснение приводит, как правило, к увеличению строительных и эксплуатационных затрат.

В гидравлических расчетах в качестве ширины русла $B_р$ принимают расстояние между ее бровками (участками сопряжения с поймами) независимо от наличия растительности на береговых откосах.

10.2. Габариты подмостовых пролетов

1. Схему моста выбирают на основе технико-экономических расчетов с учетом унификации мостовых конструкций, соблюдения требований судоходства и лесосплава, обеспечения беззаторного пропуска ледохода и карчехода.

Если длина пролетов мостов удовлетворяет неравенству $l > (5 \div 6) b/\cos\alpha$, где b—ширина опоры, α—угол отклонения створа перехода от нормали к направлению течения, то в этом случае опоры и отжим струй от их боковых граней не учитывают при определении ширины потока под мостом.

При косине потока $\alpha \geqslant 30°$ минимальную длину пролетов и отверстие моста в целом желательно определять на основании моделирования.

2. На судоходных и сплавных реках разбивку отверстия моста на пролеты и назначение подмостовых габаритов производят в соответствии с ГОСТ 26775—85 [6].

Судоходные пролеты мостов располагают с учетом возможности изменения судовых ходов при переформировании русла в ходе естественного руслового процесса, а также с учетом траекторий движечий судов и плотовых составов.

Если направление судовых ходов в течение навигационного периода меняется, то при размещении судоходных пролетов предпочтение отдают судовым ходам при наибольшей интенсивности судоходства.

3. Минимальную длину пролета для беззаторного пропуска ледохода следует назначать:

при вертикальном или слабо наклонном ($\beta > 70°$) режущем ребре опоры (формула К. Н. Коржавина)

$$l_{min} \geqslant b \cdot k_п \frac{R_z}{\varrho v_л^2} \cdot \frac{L_л}{B_л}; \qquad (10\,2)$$

при наклонном режущем ребре опоры (формула П. Г. Петрова)

$$l_{min} \geqslant 0{,}5 \frac{R_m h_л k_п}{\varrho v_л^2 \left(1 + 0{,}01 \frac{l_{min}}{h_л}\right)} \operatorname{tg}(\beta + 8°), \qquad (10.3)$$

где b—ширина опоры на расчетном уровне ледохода; $v_л$—скорость движения ледяного поля, определяемая в соответствии с рекомендациями гл 12, R_z—удельное расчетное давление льда на опору, принимаемое по табл 10 1, R_m—предел прочности льда на изгиб при наивысшем уровне ледохода, принимаемый согласно рекомендации СНиП 2 05 03—84 равным $R_m = 31{,}5 \cdot 10^4$ Па (31,5 тс/м^2); k —климатический коэффициент, принимаемый в зависимости от региона проложения линии (табл 10 2), $h_л$—толщина льда при ледоходе (см п 7 11), ϱ—плотность воды ($\varrho = 1000$ кг/м^3), $B_л$—ширина реки при расчетном уровне ледохода; $L_л$—средний поперечный размер льдин; при отсутствии натурных данных можно принимать $L_л \approx 0{,}1 \cdot$ Вл

Таблица 10 1

Форма режущей грани опоры в плане	Коэффициент формы опоры при карчеходе $k_ф$	Значение удельного расчетного давления льда на опору R_z, 10^4 Па, при скоростях движения льдин в м с		
		1 0	2 0	3 0
Прямоугольная	1,2	45	30	23
Полуциркульная	0,86	41	27	21
Треугольная при угле заострения				
120°	1,0	36	24	19
90°	»	33	22	17
75°	»	31	20	16
60°	»	29	19	15
45°	»	27	18	14

Таблица 10 2

Номер района	Границы районов	Климатический коэффициент $k_п$
I	Южнее линии Выборг—Смоленск—Камышин—Актюбинск—Балхаш	1,0
II	Южнее линии Архангельск—Киров—Уфа—Кустанай Караганда—Усть-Каменогорск	1,25
III	Южнее линии Воркута—Ханты-Мансийск—Красноярск—Улан Удэ—Николаевск-на-Амуре	1,75
IV	Севернее III района	2,0

Примечания 1 Для II—IV районов южной границей является северная граница предыдущего района

2 Для рек, вскрывающихся при отрицательной температуре, климатический коэффициент следует принимать не менее 2

При расчетах по формулам (10 2)—(10 3) должно быть обеспечено условие $l_{min} \leqslant B_л$.

4 При наледных явлениях и карчеходе пролетные строения должны назначать такие, при которых опоры не попадают в русло или расстояние в свету между опорами не менее 15 м.

При карчеходе минимальную длину пролета можно определять [16]

$$l_{min} \geqslant 0{,}8 k_ф l_д N^{1/3} \left(\frac{g l_д}{v^2} \right)^{0,1}, \qquad (10\,4)$$

где v—скорость начала движения карчей в русле (можно принимать при уровне вероятностью превышения 50—30%), $k_ф$—коэффициент формы опоры (см табл 10 1), $l_д$—средняя длина карчей, $N = \frac{W_з}{n_{пр} W_к}$—ожидаемое число карчей, приходящихся на один пролет, $W_з$, $W_к$—объемы залома и средний карча, $n_{пр}$—число пролетов

Для защиты от снегозаносимости отверстие моста должно быть не менее 12 м и при этом низ пролетных строений приподнят над уровнем межени (уровнем ледостава) более чем на 3,5 м.

В этом случае снег выдувается из-под мостового сечения и при прочих равных условиях происходит понижение температуры вечномерзлых грунтов.

5. Возвышение низа пролетных строений и подферменных площадок над уровнями воды и ледохода в несудоходных и несплавных пролетах устанавливают в зависимости от местных условий, но не менее величин, указанных в табл. 10.3.

Таблица 10.3

Элементы больших и средних мостов	Наименьшее возвышение элементов, м			
	над уровнем воды (с учетом подпора и волны) на пике паводков			над наивысшим уровнем ледохода
	расчетных		наибольших	
	на железных дорогах общей сети	на остальных железных дорогах и на всех автодорогах		
Низ пролетных строений:				
при отсутствии каких-либо неблагоприятных явлений	0,75	0,50	0,25	0,75
при наличии на реке заторов льда	1,0	0,75	0,75	1,0
при наличии карчехода	1,5	1,0	1,0	—
при наледных явлениях	1,25	1,0	0,75	1,25
при селевых потоках	—	1,0	1,0	—
Верх площадки для установки опорных частей:				
при отсутствии каких-либо неблагоприятных явлений	0,25	0,25	—	0,50
при наличии карчехода или наледных явлений	0,75	0,75	—	1,0
Низ пят арок и сводов:				
при отсутствии каких-либо неблагоприятных явлений	0,25	—	—	0,25
при наличии карчехода или наледных явлений	0,75	—	—	0,75
Низ продольных схваток и выступающих элементов конструкций в пролетах деревянных мостов:				
при отсутствии каких-либо неблагоприятных явлений	0,25	0,25	—	0,75
при наличии карчехода или наледных явлений	0,50	0,50	—	1,25

При пользовании табл. 10.3 следует иметь в виду:

под уровнем расчетных и наибольших паводков понимают соответствующий вероятности превышения уровень, вызванный подпором от нижележащей реки, нагоном воды ветром, образованием заторов или прохождением паводков по руслам, покрытым льдом, и др;

возвышение верха площадки для установки опорных частей определяют с учетом набега δ потока на опору моста, который в зависимости от скорости набегающего потока v на опору приближенно можно принимать по данным Б. Ф. Перевозникова:

v, м/с	0,5	1	2	3	4	5
δ, м	0,2	0,4	0,9	1,4	1,9	2,5

В несудоходных и несплавных зонах водохранилищ возвышение низа пролетных строений отсчитывают от наибольшего для водохранилища статического уровня (т. е. уровня свободной поверхности, который устанавливается на рассматриваемом участке водоема после окончания волнения) и принимают не менее 0,75 высоты расчетной ветровой волны с увеличением на 0,25 м.

10.3 Основные характеристики грунтов и наносов

1. При расчетах русловых деформаций грунты подразделяются на связные и несвязные и талые и оттаявшие.

К несвязным грунтам относятся крупнообломочные (валунный, галечниковый, гравийный) и песчаные грунты, не обладающие свойством пластичности (раскатывания).

К связным относятся:

глинистые, суглинистые и супесчаные грунты с числом пластичности более 0,01 (разница влажностей грунта в долях единицы на границе текучести и раскатывания);

глинистые и песчаные грунты при степени заторфованности (содержании растительных остатков) более 10%;

пылеватые пески, содержащие более 20% по массе пылеватых частиц (частиц мельче 0,1 мм).

В расчетах к оттаявшим относят только связные грунты, в которых после промерзания нарушаются структурные связи. Все несвязные грунты, при оттаивании практически не меняющие своих физико-механических свойств, относят к талым.

Далее, если не оговаривается, то речь идет о талых грунтах.

2. При расчетах размывов основной (интегральной) характеристикой несвязного грунта является средний диаметр частиц d, определяемый его механическим анализом по формуле:

$$d=\sum_{i=1}^{n} d_i k_i, \qquad (10.5)$$

где d_i—средний диаметр частиц i-ой фракции, определяемый как полусумма диаметров круглых штампованных сит, на которых отсеяна данная фракция (если используются плетеные сита с квадратными отверстиями, то определенный по полусумме размеров отверстий диаметр d_i должен быть увеличен на 27%), k_i—содержание (в долях единицы) по массе в грунте i-ой фракции; n—число фракций

Если несвязный грунт содержит частицы мельче 0,1 мм, то к расчету принимают средний диаметр частиц грунта крупнее 0,1 мм

$$d=\sum_{i=1}^{n-1} d_i k_i/(1-k_п), \qquad (10.6)$$

где $k_п$—содержание (в долях единицы) по массе в грунте частиц мельче 0,1 мм.

Анализ гранулометрических проб грунта проводят без растительных остатков.

3. В расчетах несвязный грунт считается однородным при соблюдении одного из (достаточных) условий:

а) $D_{max}/d=\varphi$, где $\varphi\leqslant 2$ при общем и $\varphi\leqslant 3$ при местных размывах;

б) средняя скорость потока больше не размывающей для частиц диаметром D_{max} и к расчетному створу беспрепятственно поступают донные наносы.

В качестве D_{max} принимают средний диаметр крупных по размеру частиц, которые составляют 2% массы грунта, или самую крупную (по размеру) фракцию, если она составляет 2 и более процента массы грунта.

Когда самая крупная по размеру частиц фракция составляет менее 2% массы грунта, средний диаметр крупных частиц определяют как

$$Д_{max}=\frac{1}{0,02}\sum^{k=0,02}(k_i d)=\frac{1}{0,02}(k_1 d_1+k_2 d_2+\ldots+$$
$$+(0,02-k_1 k_2)-\ldots-k_п)d_п),$$

где k_1—содержание по массе в грунте самой крупной фракции со средним диаметром частиц d_1; k_2, $k_п$—содержание по массе следующих по крупности (после d_1) фракций со средним диаметром частиц d_2 и $d_п$.

При несоблюдении указанных условий следует учитывать неоднородность несвязного грунта, которая приводит в большинстве случаев к уменьшению глубин размывов.

4. При расчете размывов основной характеристикой связного грунта является расчетное удельное сцепление $C_р$ определяемое по формуле

$$C_р=C_н/\gamma_g, \qquad (10.7)$$

где $C_н$—нормативное удельное сцепление, определяемое на основании стандартных методов испытаний согласно ГОСТ 20522—75 в состоянии капиллярного водонасыщения при полной влагоемкости; γ_g—коэффициент надежности по грунту, учитывающий вероятность отклонения величины сил сцепления от нормативного значения и определяемый по ГОСТу с учетом доверительной вероятности 0,90 [82], при отсутствии данных испытаний образцов грунта можно приближенно принимать максимальное значение $\gamma_g=2$

При отсутствии данных инженерно-геологических исследований допускается определять нормативное удельное сцепление глинистых грунтов по табл. 10.4 [82], где $I_l=\frac{W-W_р}{W_l-W_р}$, W_l, $W_р$, W—

влажность грунта (в долях единицы) соответственно на границах текучести и раскатывания и природная. При значениях коэффициента пористости e, выходящих за рамки таблицы, пользоваться ею не рекомендуется. При отсутствии данных инженерно-геологических исследований $C_н$ заторфованных грунтов допускается определять по табл. 10.5 в зависимости от вида торфа и содержания растительных остатков в грунте.

Таблица 10.4

Наименование грунтов и пределы нормативных значений их показателя текучести I_l		Нормативное удельное сцепление $C_н$, 10^5 Па (10^5 Па = 1 кгс/см²), при коэффициенте пористости, e						
		0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супеси	$0 \leqslant I_l \leqslant 0{,}25$	0,21	0,17	0,15	0,13	—	—	—
	$0{,}25 < I_l \leqslant 0{,}75$	0,19	0,15	0,13	0,11	0,09	—	—
Суглинки	$0 < I_l \leqslant 0{,}25$	0,47	0,37	0,31	0,25	0,22	0,19	—
	$0{,}25 < I_l \leqslant 0{,}5$	0,39	0,34	0,28	0,23	0,18	0,15	—
	$0{,}5 < I_l \leqslant 0{,}75$	—	—	0,25	0,20	0,16	0,14	0,12
Глины	$0 < I_l \leqslant 0{,}25$	—	0,81	0,68	0,54	0,47	0,41	0,36
	$0{,}25 < I_l \leqslant 0{,}5$	—	—	0,57	0,50	0,43	0,37	0,32
	$0{,}5 < I_l \leqslant 0{,}75$	—	—	0,45	0,41	0,36	0,33	0,29

Таблица 10.5

Характеристика заторфованного грунта		Нормативное удельное сцепление $C_н$, 10^5 Па
Содержание растительных остатков в грунте, %	Вид торфа	
Более 60	Древесный	0,01
	Хвощевой	0,05
40—60 (сильнозаторфованный)	Осоковогипновый	0,05
	Сфагновый	0,08
25—40 (среднезаторфованный)	Осоковогипновый	0,15
	Сфагновый	0,20

5. Если в полевых условиях получено нормативное сцепление оттаявшего грунта $C_{н(от)}$, то для перехода к соответствующему значению талого грунта можно пользоваться формулой

$$C_н = k_p C_{н(от)}, \qquad (10.8)$$

где коэффициент перехода k_p определяют в зависимости от показателя текучести образца I_l в оттаявшем состоянии:

I_l	0—0,25	0,25—0,75	свыше 0,75
k_p	1,1	1,5	1,1

Коэффициент надежности по грунту γ_g, полученный для оттаявшего монолита, следует принимать в качестве искомого при определении расчетного сцепления талого грунта.

6. Гидравлическую крупность частиц несвязного грунта w_i (т. е. скорость их осаждения в стоячей воде) определяют в зависимости от диаметра частиц d по графику (рис. 10.1).

Гидравлическую крупность грунта w, состоящего из разных фракций, определяют как средневзвешенную по аналогии с определением среднего диаметра частиц грунта (см. формулу 10.5).

7. Гидравлическую крупность отрывающихся отдельностей связного грунта принимают по табл. 10.6 в зависимости от их толщины δ, определяемой по расчетному сцеплению $C_р$.

Таблица 10 6

$C_р$, 10^5 Па	δ, мм	w, м/с	$C_р$, 10^5 Па	δ, мм	w, м/с
0,001	0,36	0,067	0,10	0,91	0,12
0,005	0,38	0,07	0,25	1,85	0,15
0,01	0,41	0,077	0,50	3,35	0,20
0,025	0,50	0,086	0,75	4,85	0,25
0,05	0,65	0,10	1,0	6,35	0,31
0,075	0,80	0,11			

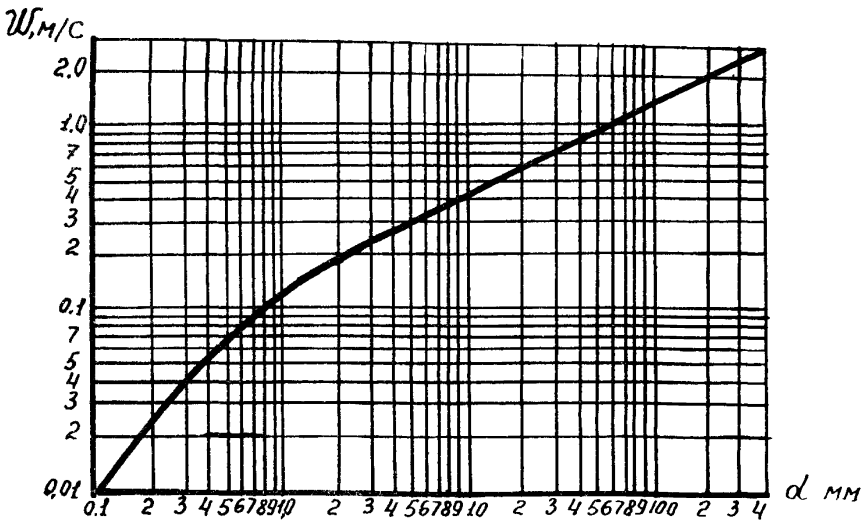


Рис 10 1 График для определения гидравлической крупности несвязных грунтов

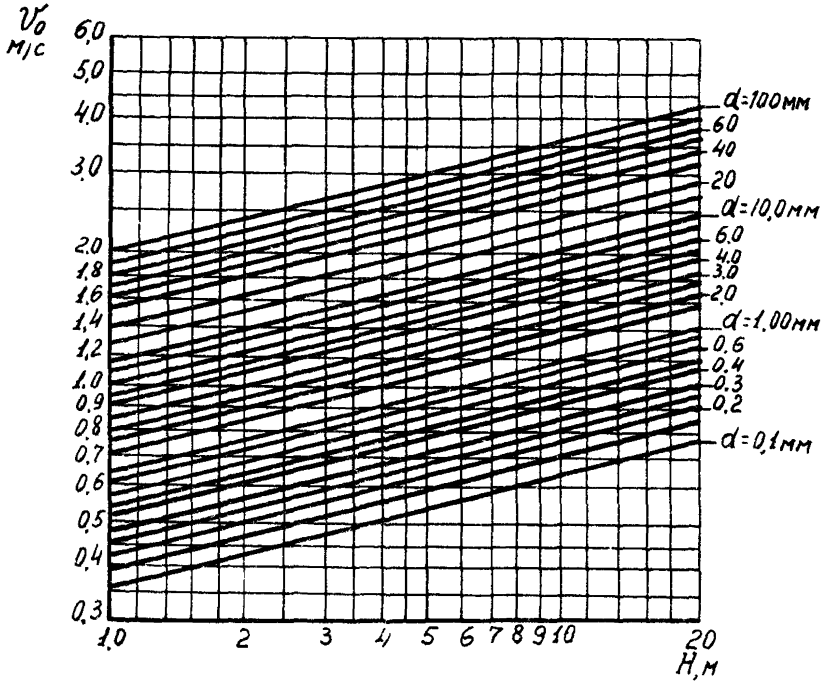


Рис. 10.2. График для определения неразмывающей скорости для несвязных грунтов

Для пылеватых песков с содержанием пылеватых частиц $k_п \geqslant 20\%$ гидравлическую крупность определяют по эквивалентному расчетному сцеплению (в паскалях):

$$C_{рэ} = 600\left(0{,}38 \cdot 10^5 k_п^{1/4}\left(\frac{v_0 \varepsilon}{C}\right)^2 - 1\right), \qquad (10.9)$$

где v_0—неразмывающая скорость частиц песчаной части грунта, определяемая по формуле (10.10); C—коэффициент Шези; ε—коэффициент, учитывающий увеличение размываемости связного материала при влечении по нему несвязного (при грядовом движении по руслу песчаного материала $\varepsilon = 1{,}16$).

В расчетах $k_п$ принимают в долях единицы.

Если по формуле (10.9) получается отрицательная величина, то рекомендуется принимать $C_{рэ} = 0{,}001 \cdot 10^5$ Па.

8. Размываемость (устойчивость) грунтов дна характеризуется неразмывающей скоростью v_0 течения, при которой еще не происходит движение несвязных частиц или отрыв отдельностей связного материала. При средней скорости потока $v > v_0$ начинается размыв грунта на данной вертикали.

Неразмывающие скорости определяют в зависимости от связности, состава и температурного режима грунтов (талые и оттаявшие).

9. Неразмывающую скорость для однородного по крупности несвязного грунта рекомендуется определять по формуле Б. И. Студеничникова (рис. 10.2):

$$v_0 = 1{,}15\sqrt{g}(Hd)^{1/4}, \qquad (10.10)$$

где g—ускорение свободного падения (g=9,8 м/с²); H—глубина потока

Неразмывающую скорость для пылеватых песков (при $k_п \geqslant$ 0,03) определяют по формуле:

$$v_{0п} = 1{,}5 v_0 k_п^{1/8}, \qquad (10.11)$$

где v_0—определяют по формуле (10 10) для частиц песчаной части (частиц крупнее 0,1 мм)

10 Неразмывающую скорость для связных и заторфованных грунтов определяют по графикам (рис. 10.3 и 10.4) или по формулам (в м/с): Ц. Е. Мирцхулавы [65]

$$v_0 = \frac{0{,}29}{\varepsilon}(3{,}34 + \lg H)\sqrt{0{,}15 + 10^{-4} C_р}; \qquad (10.12)$$

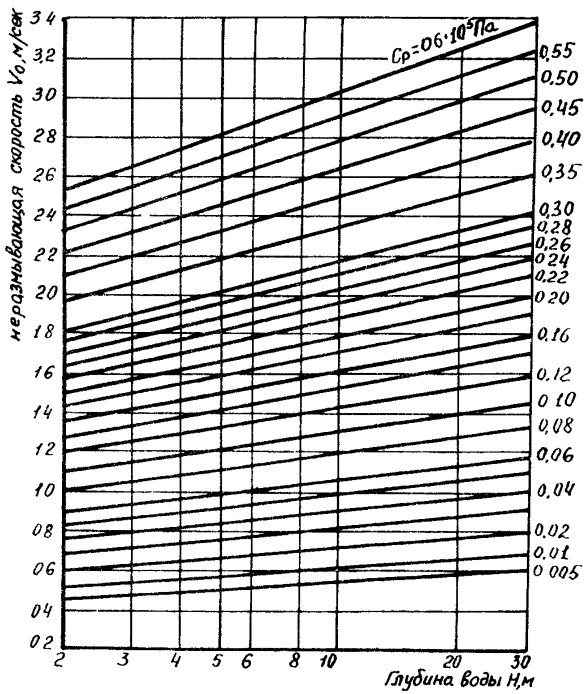


Рис 10 3 График для определения неразмывающей скорости связных грунтов по формуле Ц Е Мирцхулавы

$$v_0 = 0{,}032 \frac{C}{\varepsilon} \sqrt{0{,}054 + 10^{-4} C_p}, \qquad (10.13)$$

где ε—коэффициент, принимаемый равным единице, когда в русле нет песчаных наносов и ε = 1,16, когда по руслу движутся песчаные донные наносы; C—коэффициент Шези, определяемый в зависимости от глубины потока H и коэффициента шероховатости; C_p—расчетное сцепление в паскалях.

Когда коэффициент шероховатости $n \neq 0{,}03$, значения неразмывающей скорости, полученные по графику (рис. 10.4), следует умножить на величину $0{,}03/n$; при движении по руслу песчаных наносов—умножать на $1/\varepsilon = 0{,}865$.

11. Неразмывающую скорость для засоленных (при содержании легкорастворимых солей до 3%) несвязных и связных грунтов определяют по формуле

$$v_{0c} = k_c v_0, \qquad (10.14)$$

где k_c—коэффициент уменьшения неразмывающей скорости для грунтов при наличии в них солей, принимаемый в зависимости от значения расчетного удельного сцепления C_p:

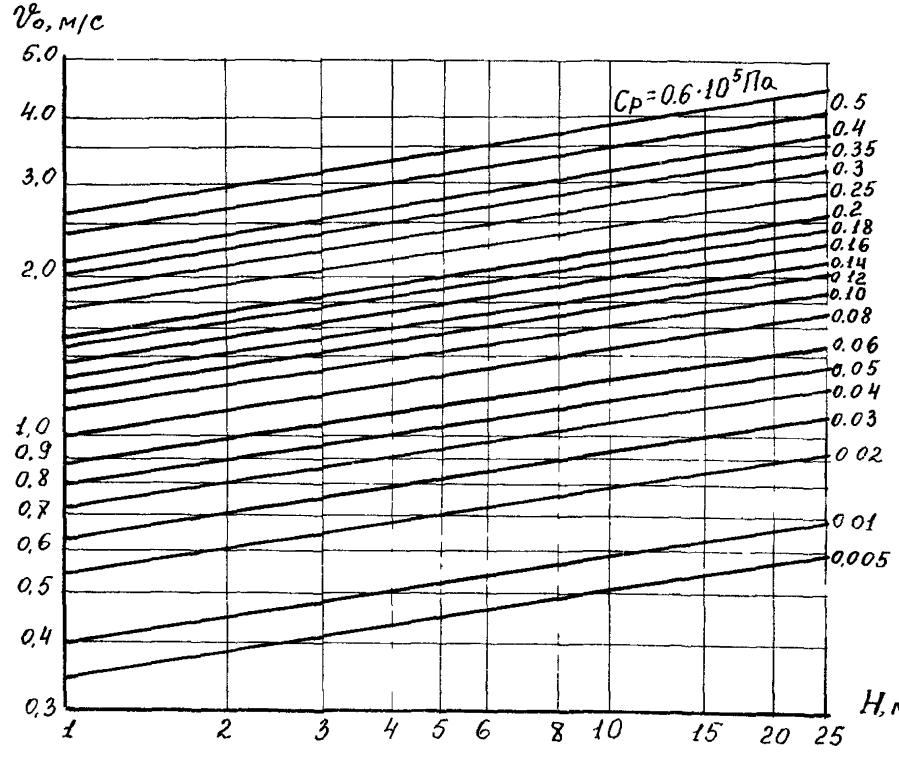


Рис. 10.4. График для определения неразмывающей скорости связных грунтов при ε = 1,0 и коэффициенте шероховатости $n = 0{,}03$ по формуле ЦНИИС

$C_р$, 10^5 Па	$\leqslant$0,0005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,075	$>$0,10
$k_с$	0,92	0,90	0,80	0,75	0,72	0,67	0,63	0,59

Для несвязных грунтов (для которых $C_р$=0) $k_с$=0,92.

При более высоком засолении неразмывающая скорость v^{03} должна устанавливаться на основании специальных исследований.

12 Неразмывающую скорость для оттаявших связных грунтов определяют по формуле

$$v_{0t}=k_t v_0, \qquad (10.15)$$

где k_t—коэффициент уменьшения неразмывающей скорости потока для оттаявших грунтов по сравнению с талыми, определяемый по табл 10 7 в зависимости от вида криогенной текстуры грунта в мерзлом состоянии, которую различают следующих видов для связных грунтов:

Таблица 10 7

Вид криогенной текстуры	Атакситовая	Слоисто сетчатая	Массивная	
Льдистость за счет ледяных включений	более 0,5	0,4—0,03	0,03 и менее	
Вид грунта	связный	связный	связный	пылеватый песок с содержанием пылеватых частиц от 20% до 70%
k_t	0—0,3	0,3—0,5	0,5—0,9	0,75—1

массивная—лед содержится в основном только в порах грунта, видимых прослоек льда нет;

слоистая—лед содержится в грунте в виде прослоек различных размеров, ориентированных примерно в одном направлении;

сетчатая—лед содержится в грунте в виде пересекающихся между собой прослоек различной ориентации;

атакситовая—лед преобладает в породе

В табл 10 7 меньшее значение коэффициента k_t соответствует бóльшей льдистости за счет ледяных включений (т. е. отношения объема включений к объему мерзлого грунта) или бóльшему содержанию пылеватых частиц в песке.

Указанную льдистость следует отличать от суммарной льдистости (отношение объема льда к объему мерзлого грунта)

13 Неразмывающую скорость для оттаявших связных засоленных грунтов определяют по формуле

$$v_{0tc}=k_t k_с v_0 \qquad (10\ 16)$$

Для талых незасоленных грунтов $k_t=k_с=1$

10.4. Расчет общего размыва подмостовых сечений

1. Расчет общего размыва под мостами производят для прогнозируемых сечений бытового русла (см. гл. 9) с целью определения в расчетных условиях средней глубины потока под мостом $H_{м\,пр}$ (для сопоставления коэффициента общего размыва с допустимым $P_{доп}$) и гидравлических характеристик потока (скорости v и глубины H) на вертикалях подмостового сечения.

2. Требования производить расчет общего размыва «на основе решения уравнения баланса наносов на участках русел рек у мостовых переходов» (п. 1.29 СНиП 2.05.03—84) наиболее полно выполняются при численном решении двумерных (плановых) уравнений гидравлики и баланса наносов на ЭВМ с использованием комплекса программ. Такие расчеты, наряду со значительными затратами времени на подготовку исходных данных, могут проводиться в настоящее время высококвалифицированными специалистами (обычно—разработчиками). Поэтому к ним прибегают в рамках научного сопровождения проектов (см. п. 6.3) для комплекса гидравлического расчета больших мостов в сложных ситуационных морфологических и прочих условиях, при необходимости получения данных о размывах вне створа перехода (например, в связи с наличием трубопроводов) и т. п.

3. В случае, когда проектирование мостового перехода осуществляется без научного сопровождения, а также для предварительных расчетов расчет общего размыва под мостом рекомендуется производить по нижеприведенным методам, основанным на равенстве искомых скоростей потока динамическим (по Л. Л. Лиштвану) или размывающим для грунтов и использовании уравнения баланса наносов в одномерной постановке. Использование методов расчета зависит от характеристики грунтов, режима наносов, степени стеснения потока и положения вертикали в подмостовом сечении и определяется критериями стабилизации размывов в подмостовом сечении (табл. 10.8).

Предлагаемые методы расчета удовлетворяют требованиям норм о возможности определять общий размыв «по скорости, соответствующей балансу наносов»* (п. 1.29 СНиП 2.05.03—84).

4. Глубину h_l и скорость v потока на любой вертикали в подмостовом сечении после общего размыва определяют в такой последовательности [5]:

а) разбивают подмостовое сечение на морфологические однородные участки—русло, левая и правая пойменные части отверстия;

б) рассчитывают расход воды, проходящей в русле под мостом

$$Q_р = Q_{рб} R_Q, \qquad (10.17)$$

* Поскольку на всех стадиях процесса размыва осуществляется баланс наносов в подмостовом сечении, указанная в нормах запись по контексту предполагает «скорость» на момент окончания размыва.

Таблица 10.8

№ пп	Критерий стабилизации размыва	Режим наносов	Характеристика грунта	Местоположение вертикали под мостом	Дополнительные условия
1	Динамическое равновесие наносов $v = v_{дин}$	Незарегулированные русла (свободное поступление к створу перехода наносов крупностью d)	Однородный несвязный крупностью d	На ширине уширенного русла	Коэффициент стеснения потока $Q/Q_{мб} \leqslant 2$
			Обнажился несвязный грунт со средним диаметром частиц $d_н$	То же	$\frac{d_н}{d} \leqslant \frac{0{,}82}{d_н^{0,3}} \left(\frac{q_i}{\sqrt{g}} \right)^{0,2}$
			Обнажился связный грунт с расчетным сцеплением $C_р$, Па	»	$\frac{\sqrt{0{,}054 + 10^{-4}_{ср}}}{d^{0,2}} \leqslant 3 q_i^{0,1}$
2	Равенство фактической скорости потока неразмывающей $v = v_0$	То же	Однородный несвязный или связный	За пределами уширенного русла	
			Обнажился однородный несвязный или связный грунт	На ширине уширенного русла	Размыв в обнажаемых грунтах меньше, чем при динамическом равновесии наносов (не удовлетворяются соответствующие критерии в 1)
		Зарегулированные русла (дефицит или отсутствие поступления наносов к створу перехода)	Однородный несвязный или связный	По всему сечению	
		Пойменные мосты через русла, не несущие донных наносов	То же	То же	
3	Естественная отмостка	Не лимитируется	Неоднородный несвязный грунт подстилает или обнажился в процессе общего размыва	Все или часть подмостового сечения	

Продолжение табл 10 8

№ пп	Критерий стабилизации размыва	Режим наносов	Характеристика грунта	Местоположение вертикали под мостом	Дополнительные условия
4	Прекращение процесса размыва из-за кратковременности воздействия потока	Незарегулированные русла	Связный	По всему сечению	Время воздействия потока недостаточно для стабилизации размыва по критериям I и II
		То же, при $Q/Q_{мб}>2$	Однородный несвязный или связный	То же	
		Зарегулированные русла (дефицит или отсутствие поступления наносов к створу перехода)	Однородный несвязный и связный	»	

где R_Q—коэффициент увеличения расхода воды в естественном русле $Q_{рб}$, определяемый по формуле И С Ротенбурга

$$R_Q=\sqrt{1+\frac{2g\Delta h_в}{\mu_в}}; \quad (10\,18)$$

$$\mu=v_{рб}^2+av_б\sqrt{L_{разл}g\iota},$$

$v_{рб}$, $v_б$—средние скорости потока при отсутствии стеснения соответственно в русле и по всему живому сечению долины, значения остальных параметров, входящих в формулы (10 18) и μ, даны при определении предмостового подпора $\Delta h_в$ (см п 10 6)

Для расчета коэффициента R_Q можно пользоваться также формулой [32].

$$R_Q=1+\frac{\omega_{рб}}{\omega_{мб}}\left(\frac{Q}{Q_{рб}}-1\right), \quad (10.19)$$

где $\omega_{рб}$, $\omega_{мб}$—площади живого сечения до размыва соответственно русла и под мостом (с учетом срезки)

в) рассчитывают расход водного потока, проходящий в каждом из пойменных подмостовых сечений

$$Q_{пi}=\frac{\omega_{пi}H_{пi}^{2/3}}{\sum_{i}^{n}\omega_{пi}H_{пi}^{2/3}}(Q-Q_р), \quad (10.20)$$

где $\omega_{пi}$, $H_{пi}$—пойменные площади подмостовых сечений до размыва с учетом срезки и средние глубины потока на этих участках

г) Для каждого морфологически однородного участка под мостом находят средние удельные расходы q (для русла шириной в бытовых условиях $B_р$ $q=Q_р/B_р$, для i-ой пойменной части отверстия, длиной $l_{пi}$ $q=Q_{пi}/l_{пi}$), а затем удельный расход на требуемой вертикали с глубиной потока до размыва $h_{др}$

$$q_i=q\left(\frac{h_{др}}{H_{др}}\right)^y, \quad (10.21)$$

где $H_{др}$—средняя глубина потока до размыва на рассматриваемом морфологическом участке, y—показатель степени, принимаемый равным $y=1{,}3$ для незарегулированных русел, сложенных однородными несвязными грунтами, и $y=1{,}25$ для несвязных грунтов при дефиците (или отсутствии поступления) наносов к подмостовому сече-

нию, а также образования естественной отмостки (в неоднородных несвязных материалах); $y=1{,}17$ при связных грунтах.

д) Находят глубину потока h_i после размыва на вертикали для рассматриваемой части отверстия (русловая, участок срезки грунта и т. д.), ее определяют по формуле

$$h_i = h_{\text{др}i}\left(\frac{H_{\text{пр}}}{H_{\text{др}}}\right), \tag{10.22}$$

где $h_{\text{др}i}$—глубина потока на i-ой вертикали до размыва; $H_{\text{пр}}$—средняя для рассматриваемой части отверстия глубина потока после размыва.

Глубина потока h_i может быть найдена непосредственно по нижеследующим пунктам, как определяют $H_{\text{пр}}$, в зависимости от характеристики грунтов, режима наносов, положения вертикали в подмостовом сечении и соответствующем удельным расходом q_i на i-ой вертикали.

е) Скорость потока на этой же вертикали после размыва определяют по формуле

$$v_i = q_i / h_i. \tag{10.23}$$

5. При динамическом равновесии наносов в руслах (см. табл. 10.8), сложенных однородными несвязными грунтами, среднюю глубину потока после размыва в русловой части отверстия определяют по формуле [5]:

$$H_{\text{пр}} = 0{,}93\left[\frac{q}{\beta d^{0,2}\sqrt{g}}\right]^{0,77}, \tag{10.24}$$

где β—безразмерный коэффициент Лиштвана, зависящий от вероятности превышения паводка p.

p, %	0,33	1	2	3	5	10
β	1,07	1	0,97	0,94	0,91	0,86

По формуле (10.24) при $\beta=1$ составлен график (рис. 10.5) для определения глубины потока.

Глубина потока в рассматриваемых условиях может быть определена также по формуле

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{др}}\left(\frac{Q_{\text{р}}}{Q_{\text{рб}}} \cdot \frac{B_{\text{р}}}{L_{\text{м}}}\right)^{0,77} \tag{10.25}$$

6. На мостовых переходах, сложенных однородными несвязными грунтами, когда стабилизация размыва наступает при равенстве фактической скорости течения размывающей (см. табл. 10.8), среднюю глубину потока после размыва на морфологически однородном участке определяют по формуле

$$H_{\text{пр}} = \frac{0{,}9}{d^{0,2}}\left(\frac{q}{\sqrt{g}}\right)^{0,8} \tag{10.26}$$

7. На русловых и пойменных частях отверстия, сложенных связными грунтами (включая засоленные и оттаявшие), среднюю

глубину потока после размыва на морфологически однородном участке, установившейся при равенстве фактической скорости потока размывающей (см. табл. 10.7), определяют по формуле (в м)

$$H_{\text{пр}} = \left[\frac{qn\varepsilon}{0{,}033 \cdot k_t k_c \sqrt{0{,}054 + 10^{-4} C_{\text{р}}}}\right], \qquad (10.27)$$

где n—коэффициент шероховатости на рассматриваемом участке подмостового сечения с учетом расчистки, срезки, спрямления и т п (см прил 3 3); ε, $C_{\text{р}}$—коэффициент, учитывающий наличие донных наносов в русле, и расчетное сцепление грунта в Па (см формулы 10.12—10 13); k_t, k_c—коэффициенты, учитывающие температурный режим грунта (см табл 10 7) и его засоленность (см формулу 10 14)

8. На русловых и пойменных частях отверстия, сложенных неоднородными несвязными грунтами, среднюю глубину потока после размыва на рассматриваемой части отверстия определяют по формуле

$$H_{\text{пр}} = \frac{0{,}9}{D^{0{,}2}} \left(\frac{q}{\sqrt{g}}\right)^{0{,}8} + 0{,}7 \frac{D}{k} (1 - k). \qquad (10.28)$$

Диаметр отмащивающих частиц D и их содержание по массе k в перерабатываемом материале определяют с учетом гранулометрического состава грунта подбором из уравнения

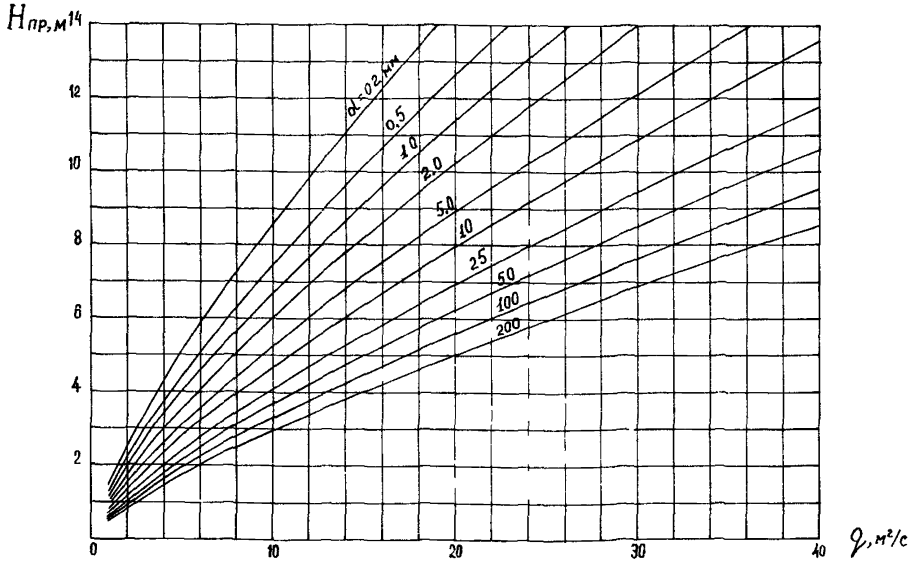


Рис 10 5 График для определения средней глубины потока под мостом после размыва при динамическом равновесии наносов в паводок 1% вероятности превышения

$$R_{\text{р}} = \left(\frac{1}{D^{1,2}} + 0{,}5R_{\text{р}}\right)k, \qquad (10.29)$$

где

$$R_{\text{р}} = 7{,}8\left(\frac{\sqrt{g}}{q}\right)^{0,8}. \qquad (10.30)$$

Полученная глубина размыва не должна быть больше той, при которой наступает стабилизация размыва в подмостовом сечении из-за: а) динамического разновесия донных наносов или б) невозможности по гидравлическим условиям выноса из подмостового сечения мелких частиц грунта.

Глубину потока в указанных случаях определяют соответственно по формулам (10.24) и (10.26), в которых вместо среднего диаметра частиц грунта d принимают средний диаметр частиц донных наносов или мелких частиц грунта, равный

$$d_{\text{м}} = \frac{d - kD}{1 - k}. \qquad (10.31)$$

9. При слоистом строении дна подмостового сечения расчет общего размыва производят в зависимости от гидравлических условий и характеристик нижележащего грунта.

Для незарегулированных русел (в которых беспрепятственно перемещаются донные наносы крупностью d) при обнажении в процессе общего размыва однородных несвязных или связных грунтов расчет размыва в них производят согласно пп. 6 или 7 (соответственно для несвязных или связных материалов) и проверяют возможность динамического равновесия поступающих из зоны подпора наносов. К расчету принимают меньшую из полученных глубин потока после размыва (условия стабилизации размыва из-за динамического равновесия наносов приведены в табл. 10.8).

Если при расчете одного из нижних слоев глубина размыва окажется меньше суммы вышележащих слоев, то это значит, что размыв прекратится на поверхности рассматриваемого слоя.

Когда вышележащий слой подстилает более размываемый грунт, рассчитанную глубину размыва в верхнем слое грунта следует считать устойчивой, если до нижней границы этого слоя остается запас

$$\Delta \geqslant 0{,}15(H_{\text{пр}} - H_{\text{др}}).$$

В противном случае расчет размывов производят по параметрам нижнего более размываемого грунта.

10. Среднюю глубину потока под мостом после размыва $H_{\text{мпр}}$ определяют по тем же формулам, что и при расчете глубины потока h на вертикалях русловой части подмостового сечения, при среднем удельном расходе под мостом $q = Q/L_{\text{м}}$

11. Для подмостовых сечений, в которых проход паводков, меньших по величине чем расчетные, вызывает необратимые изменения под мостом, определение общего размыва следует выполнять с учетом фактора времени воздействия потока.

В качестве «прохода расчетного паводка после серии натурных наблюденных паводков одного из многоводных периодов» (п 1 29 СНиП 2 05 03—84) следует пропускать подряд следующую серию паводков с вероятностью пиковых расходов в зависимости от коэффициента вариации расходов воды C_v

при $C_v \leqslant 0{,}5$ $4p$, $8p$, $2p$, $4p$, p,

при $C_v > 0{,}5$ $4p$, $2p$, p,

где p—вероятность расчетного паводка

В первом приближении указанная серия паводков может быть заменена одновременным проходом двух расчетных паводков

Необратимые изменения в подмостовом сечении, когда требуется учитывать время воздействия потока при расчете общего размыва, могут быть подразделены на два случая

а) Практическое отсутствие поступления донных наносов к подмостовому сечению

русла и поймы сложены связными грунтами без влечения по руслу песчаных наносов,

пойменные мосты и пойменные части отверстия за пределами уширенного русла,

мосты в нижних бьефах плотин и работающие в подобных условиях

б) Значительный дефицит поступления донных наносов к подмостовому сечению

стеснение потока при расчетном паводке более чем в два раза

Мосты через зарегулированные русла (например, в условиях подпора) могут быть отнесены к одному из перечисленных случаев в зависимости от фактического режима наносов в районе мостового перехода

Необратимые изменения под мостом возможны также при вскрытии связного материала или более крупного, чем верхний слой, несвязного грунта, а также при образовании естественной отмостки Изменения под мостом будут необратимы, если глубину размыва будут определять вскрываемые грунты (а не динамическое равновесие поступающих из зоны подпора наносов) Указанный случай следует относить к «а» При этом расчет размыва в неоднородных грунтах следует проводить без учета фактора времени

12 В случае, предусмотренном в п 11а, среднюю глубину потока на участке подмостового сечения определяют по формулам

для несвязных грунтов (при $v_{др} > 1{,}4\, v_0$ и коэффициенте размыва $P > 1{,}3$)

$$H_{пр} = \sum_{i=1}^{n} H_{дрi} \left(1 + \varphi\, \alpha_м \frac{T_i L_м}{A}\right)^{6/25} \qquad (10\ 32)$$

или при замене серии паводков одновременным проходом n_i расчетных паводков (рекомендуется принимать $n_i = 2$)

$$H_{\text{пр}}=H_{\text{др}}\left(1+\varphi\,\alpha_{\text{м}}\frac{n_t T L_{\text{м}}}{A}\right)^{6/25}; \qquad (10.33)$$

для связных грунтов

$$H_{\text{пр}}=\sum_{i=1}^{n}H_{\text{др}}\left(1+6{,}6\,\frac{v_{\text{др}i}^3}{gH_{\text{др}i}^2}\,T_i\sqrt{1-v_0/v_{\text{др}i}}\right)^{1/5} \qquad (10.34)$$

или соответственно

$$H_{\text{пр}}=H_{\text{др}}\left(1+6{,}6\,\frac{v_{\text{др}}^3}{gH_{\text{др}}^2}\,n_t T\sqrt{1-v_0/v_{\text{др}}}\right)^{1/5}, \qquad (10.35)$$

где $H_{\text{др}i}$, $v_{\text{др}i}$—глубина и скорость потока до размыва на рассматриваемом участке подмостового сечения при проходе i-го расхода; $H_{\text{др}}$, $v_{\text{др}}$—то же при проходе расчетного расхода; в качестве $H_{\text{др}i}$ и $v_{\text{др}i}$ следует принимать гидравлические характеристики потока, полученные после прохода (i—1) расхода; $\alpha_{\text{м}}$—параметр твердого расхода (наносов), определяемый по формуле

$$\alpha_{\text{м}}=\left(\frac{d}{H_{\text{др}i}}\right)^{2/3}\left(\frac{v_{\text{пр}i}}{v_0}\right)^3 \quad (v_{\text{др}i}-1{,}4\,v_0), \qquad (10.36)$$

в которой при необходимости принимают $H_{\text{др}i}=H_{\text{др}}$ и $v_{\text{др}i}=v_{\text{др}}$; v_0—неразмывающая скорость для грунта с учетом его температурного режима и засоленности при глубине потока $H_{\text{др}}$ (или $H_{\text{др}i}$); T_i—число суток затопления пойм при проходе i-го паводка; T—то же расчетного паводка; φ, A—параметры, значения которых принимают по табл. 10.9 в зависимости от рассматриваемого участка подмостового сечения.

Таблица 10.9

Часть отверстия	$\varphi\cdot 10^3$	A
Все отверстие	10	$L_{\text{р}}(2L_{\text{м}}+B_{\text{р}})$
Русловая	10	$L_{\text{р}}(2B_{\text{уш}}+B_{\text{р}})$
Пойменная	3,3	$l_{\text{п}i}\cdot l_{\text{д}i}$

В табл. 10.9: $l_{\text{п}i}$—ширина i-ой пойменной части отверстия; $l_{\text{д}i}$—расстояние между осью моста и верхней границей срезки или расчистки; $L_{\text{р}}$—длина распространения размыва, определяемая по формуле

$$L_{\text{р}}=0{,}67X_0, \qquad (10.37)$$

где X_0—расстояние от створа моста до вертикали, где устанавливается предмостовой подпор (см. п. 10.6).

В первом приближении можно принимать $L_{\text{р}}\approx 2L_{\text{м}}$.

Глубины потока после общего размыва, рассчитанные по формулам (10.32)—(10.35), не должны быть больше предельных глубин, определенных по соответствующим формулам (10.26) и (10.27).

13. В случае, предусмотренном в п. 11б, среднюю глубину потока после размыва в русловой части отверстия в однородных несвязных грунтах определяют подбором из уравнения

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{др}}\left[\frac{1+10^4\alpha_{\text{м}}B_{\text{уш}}Tn_l/A}{H_{\text{пр}}/H_{\text{др}}+4{,}7\cdot 10^3\alpha_{\text{б}}Tn_l/L_{\text{р}}}\right]^{1/3} \qquad (10.38)$$

где $\alpha_{\text{б}} = \left(\frac{d}{H_{\text{др}}}\right)^{2/3}\left(\frac{v_{\text{рб}}}{v_0}\right)^3 (v_{\text{рб}}-v_0)$—параметр твердого расхода в бытовом русле; $v_{\text{рб}}$—средняя скорость потока в бытовом русле

При расчете по формуле (10.38) глубина потока не должна быть больше подсчитанной по формуле (10.26).

В формулах (10.32)—(10.36) и (10.38) учета фактора времени при прогнозировании размывов расход донных наносов определяется по формуле И. И. Леви (в кг/с)

$$G = 0{,}07\left(\frac{v}{v_0}\right)^2\left(\frac{v}{v_0}-1\right)\left(\frac{d}{H}\right)^{2/3}\varrho\, Q,$$

где $\varrho \approx 1700$ кг/м³—плотность грунта

14. При обнажении в процессе общего размыва более крупного несвязного или связного грунта учет фактора времени производят согласно пп. 12 и 13. При этом необходимо методом приближения определить время T_0, необходимое для смыва верхнего слоя, а затем, принимая в качестве $H_{\text{др}}$ и $v_{\text{др}}$ гидравлические характеристики потока на границе обнажения нижележащего слоя, рассчитывать глубину потока $H_{\text{пр}}$ для времени $T-T_0$.

В первом приближении с запасом допустимо принимать $T_0=0$.

15. Глубину размыва в русле на расстоянии X выше или ниже мостового перехода ориентировочно можно определять в зависимости от средней глубины размыва в русле b подмостовом сечении $\Delta H_{\text{р}}$ по формуле:

$$\Delta H_{\text{х}} = \Delta H_{\text{р}} X/L_l,$$

где $L_l = L_{\text{р}}$ при определении размыва выше моста и $L_l = L_{\text{рн}}$—ниже моста. Длину распространения размыва вниз по течению можно принимать равной $L_{\text{рн}} = 0{,}5X_0$

16. Расчетную линию общего размыва под мостом строят как огибающую возможных наибольших размывов с учетом прогнозируемого переформирования русла и его уширения, вызванного стеснением потока подходами. При этом на пойменной части отверстия в пределах уширенного русла $B_{\text{уш}}$ глубина потока h' может быть больше рассчитанной по приведенным выше формулам, поскольку рассматриваемая вертикаль в процессе размыва окажется в русле или на откосе (рис. 10.6).

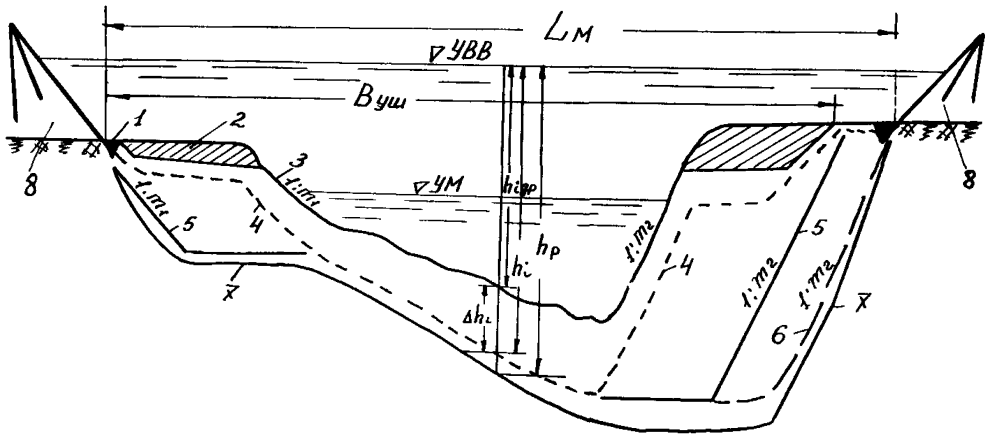


Рис 10 6 Расчетная линия общего размыва в подмостовом сечении:

1—рисберма с камнем у подошвы конуса, *2*—срезка грунта на ширине уширенного русла $B_{уш}$, *3*—дно под мостом до размыва, *4*—линия общего размыва, *5*—то же с учетом уширения русла, *6*—то же с учетом перемещения русла в сторону вогнутого берега (в процессе естественного руслового процесса); *7*—расчетная линия общего размыва (глубины общего размыва увеличены на 15%), *8*—конуса

При построении линии общего размыва заложение откосов прогнозируемого русла принимают равным бытовому $m_б$, а в мерзлых грунтах—$1{,}75m_б$.

Согласно требованиям СНиП 2.05.03—84 (см. п. 1.29) к расчету следует принимать глубины потока h_i после размыва с учетом увеличения глубин общего размыва Δh_i на 15%

$$h_{расч} = h_{дрi} + 1{,}15\,\Delta h_i, \qquad (10.39)$$

где $h_{дрi}$ —глубина потока в бытовых условиях (с учетом естественного переформирования русла и срезки) на рассматриваемой вертикали Если при увеличении общего размыва на 15% вскрывается неразмываемый грунт, то к расчету следует принимать размыв на границе этого грунта.

10.5. Расчет местного размыва у опор мостов

1. Гидравлические характеристики потока (глубина H и скорость v на вертикали перед опорой) для расчета местных размывов у опор мостов принимают на момент осуществления общего размыва согласно п. 10.4. Если с глубиной потока H, определенной с учетом увеличения глубины общего размыва на 15% (см. п. 10.4), меняется режим наносов, то расчет местного размыва производят для режима, при котором проведен расчет общего размыва.

Глубину местного размыва отсчитывают от поверхности дна на расчетной линии общего размыва при глубине потока H.

2. Различают два случая расчета местного размыва:

а) когда в воронку размыва беспрепятственно поступают донные наносы, влекомые потоком;

б) когда поток не влечет донных наносов или какая-либо причина исключает их поступление в воронку размыва

К последнему случаю относятся водотоки или их участки, на которых скорость при расчетном паводке менее неразмывающей для грунтов русла, а также пойменные потоки на задернованных и заросших поймах.

Различают следующие грунтовые условия:

русло на глубину, превышающую глубину суммарного размыва, сложено однородным несвязным грунтом;

русло сложено неоднородным несвязным грунтом;

русло сложено связным грунтом;

русло сложено слоями разных грунтов.

Основные характеристики грунтов, их разделение по связности, неоднородности и температурному режиму принимают согласно рекомендациям п. 10.3.

3. Глубину местного размыва в однородном несвязном грунте у опоры определяют по формулам:

при поступлении наносов в воронку размыва* ($v > v_0$)

$$h = 0{,}77 H^{0{,}4} \left(\frac{v}{(gwH)^{1/3}} \right)^{1{,}2} F(b); \qquad (10\,40)$$

без поступления наносов в воронку размыва

$$h = 0{,}77 H^{0{,}4} \left(\frac{v_0}{(gwH)^{1/3}} \right)^{1/2} \left(\frac{v - v_н}{v_0 - v_н} \right)^{3/4} F(b), \qquad (10\,41)$$

где v_0, w—неразмывающая скорость и гидравлическая крупность грунта, в котором происходит размыв (см п 10 3), $v_н$—начальная скорость (см п 7), $F(b) = \sum_{j=1}^{n} b_j^{0,6} M_j K_j f_j$—параметр, учитывающий геометрию опоры; b_j—ширина поперечного сечения j-го из n имеющихся выше отметки дна элементов опоры с постоянной шириной; M_j, K_j—коэффициенты формы и косины j-го элемента опоры, определяемые соответственно по пп 9 и 10; f_j—весовой коэффициент, приходящий на j-ый элемент опоры (см. п 8)

4. Глубину местного размыва в неоднородном по крупности несвязном грунте определяют по формулам:

при $\varepsilon v > v_{нD}$ $h = h_{0D} \left(\frac{\varepsilon v - v_{нD}}{v_0 - v_{нD}} \right)^{3/4} + 1{,}7 \frac{D}{k}$; (10.42)

при $\varepsilon v \leqslant v_{нD}$ $h = 1{,}7 \frac{D}{k}$, (10 43)

где ε—коэффициент абразивности (см п 11), $v_{нD}$, v_{0D}—начальная и неразмывающая средние скорости потока для среднего диаметра частиц слоя отмостки D, которых содержится в грунте (по массе) K долей, h_{0D}—глубина местного размыва в однородном несвязном грунте со средним диаметром частиц D при скорости потока $v = v_{0D}$

Средний диаметр частиц слоя отмостки D и их содержание в грунте (по массе) K определяют:

---

* Формула предложена В В Беликовым и В Ш Цыпиным по результатам выполненного на ЭВМ статистического анализа свыше 250 достоверных натурных и экспериментальных данных

а) При $\varepsilon_{max}\, v > v_{нdmax}$ подбором из уравнения:

$$K/D = R_р, \qquad (10\,44)$$

где

$$R_р = \frac{18}{h_{0D}}\left(\frac{v_{0D}-v_{нD}}{\varepsilon v - v_{нD}}\right)^2\left(1-\frac{v_{нD}}{v_{0D}}\right), \qquad (10\,45)$$

ε_{max}, $v_{нdmax}$—коэффициенты абразивности (см. п 11) и начальная скорость (см. п. 7) для самых крупных частиц (или включений) в грунте со средним диаметром d_{max} (см. п. 3 в п. 10.3).

б) При $\varepsilon_{max} v \leqslant v_{нdmax}$—по формуле

$$D = \sum_{D\min}^{d\max} d_i k_i / k, \qquad (10\,46)$$

где D_{min}—минимальная крупность частиц, входящих в слой отмостки и определяемых по формуле

$$D_{min} = 0{,}7H\left(\frac{\varepsilon_{max} v}{\mu\sqrt{gH}}\right)^{8/3}\left(\frac{b}{H}\right)^{1/3}, \qquad (10\,47)$$

μ—коэффициент, зависящий от относительной глубины потока H/b и определяемый по формуле (10 51); b—расчетная ширина опоры (см п 7)

При наличии в грунте частиц крупнее полученного значения D_{min} менее 15% размер этих частиц принимают за искомый, а более или равное 15%—размер частиц, полученных по формуле (10 47) с коэффициентом 0,5.

Если частиц полученной крупности D_{min} грунт не содержит, то искомыми частицами D_{min} будут ближайшие к рассчитанным более крупные частицы, содержащиеся в грунте

5. Глубину местного размыва в связном грунте определяют по формуле

$$h = 0{,}77H^{0,4}\left(\frac{v_0}{(gwH)^{1/3}}\right)^{1/2}\left(\frac{\varepsilon v - v_н}{v_0 - v_н}\right)^{3/4} F(b), \qquad (10\,48)$$

где w—гидравлическая крупность отрывающихся отдельностей (см табл 10 6)

6. Расчет местных размывов при слоистом залегании грунтов зависит от взаимного расположения и характеристик грунтов, вскрываемых в процессе местного размыва, гидравлических характеристик потока и режима донных наносов. Глубину размыва при слоистом залегании грунтов определяют согласно табл. 10.10, в которой приняты следующие обозначения:

h_1—глубина местного размыва, определяемая для грунта со средним диаметром частиц d_1 верхнего слоя, h_2—то же, но для грунта d_2 нижележащего слоя, $h_н$—то же для донных наносов, h_δ—уменьшение глубины местного размыва в нижележащем слое из-за заноса воронки более крупным грунтом верхнего слоя, определяемое по формуле

$$h_\delta = \sqrt{\frac{2\Delta}{m_2}(m_2 h_2 - m_1 h_1)}; \qquad (10\,49)$$

Δ —толщина верхнего слоя (или слоев); m_1, m_2—коэффициенты естественного заложения откоса соответственно выше- и нижележащих грунтов (табл 10 11)

Таблица 10 10

Характеристика грунта верхнего слоя	Режим донных наносов	Дополнительные условия	Глубина размыва
Однородный грунт	Нет движения наносов	$h_2-h_\delta \geqslant h_1$	h_2-h_δ
		$\Delta < h_2-h_\delta < h_1$	
		$h_2 \leqslant h_1$	h_2
		$\Delta > h_2-h_\delta < h_1$	
		$h_2 > h_1$	h_1
		$h_1 > h^2 < \Delta$	Δ
	Есть движение наносов	$d_1 \geqslant d_2$	h_1
		$d_1 < d_2$	
		$h_2 \leqslant \Delta$	Δ
		$d_1 < d_2$	
		$h_2 > \Delta$, $h_2 \leqslant h_1$	h_2
		$d_1 < d_2$	
		$h_2 > \Delta$, $h_2 > h_1$	h_1
Неоднородный грунт	Нет движения наносов	См как в однородных грунтах при том же режиме насосов	
	Движение мелких фракций $d_м$	$h_2-h_\delta \geqslant h_н$	$h_н$
		$\Delta < h_2-h_\delta < h_н$	h_2-h_δ
		$\Delta > h_2-h^\delta < h_н$	Δ

Таблица 10 11

Название грунта и его крупность, мм	Коэффициент естественного заложения откоса, m_0
Несвязный:	
песок:	
мелкий и средний 0,1—0,5	1,75—1,65
крупный 0,5—1,0	1,65—1,60
гравий:	
мелкий 1—2	1,60—1,55
средний 2—5	1,55—1,45
крупный 5—10	1,45—1,40
галька 10—100	1,40—1,25
валуны 100	1,25
Связный	1,0

7. Минимальная скорость набегающего потока, при которой частицы грунта у опоры приходят в движение и появляются первые признаки размыва, называется начальной скоростью $v_н$, которую определяют по формуле

$$v_н = v_0 \left(\frac{d}{b}\right)^{1/8} \mu; \tag{10.50}$$

$$\mu = \frac{0{,}95 + 0{,}5H/b}{0{,}4 + H/b} \tag{10.51}$$

где b—расчетная ширина опоры, которую при n элементов опоры с постоянной шириной b_j выше отметки общего размыва (рис. 10.7) определяют по формуле

$$b = \left(\sum_{j=1}^{n} b_j^{0,6} f_j\right)^{5/3} \tag{10.52}$$

При определении расчетной ширины опоры на сваях по формуле (10.52) в качестве расчетной ширины свайного основания принимают ширину одной сваи.

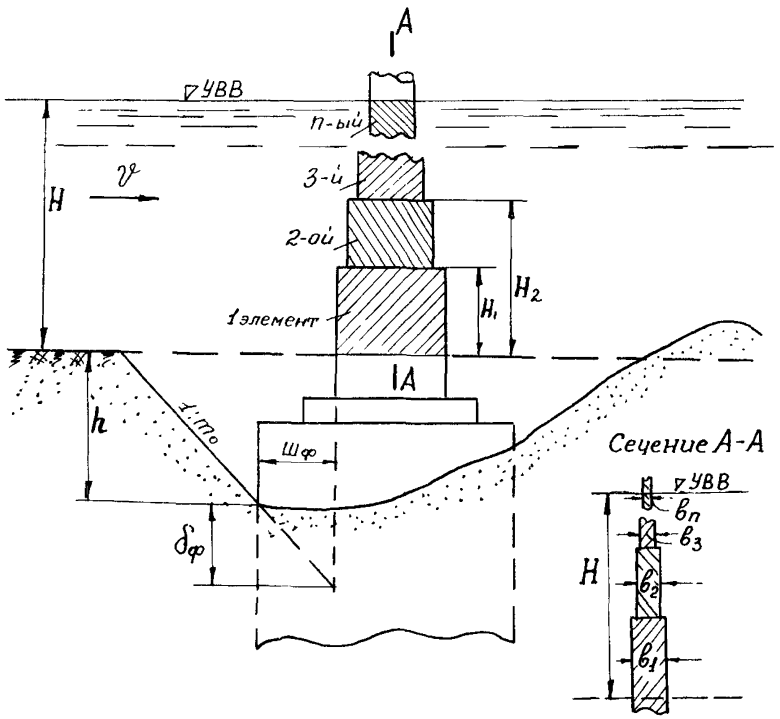


Рис. 10.7. Разделение опоры на элементы с постоянной шириной

Для связных грунтов в качестве среднего диаметра частиц d в формуле (10.50) принимают тройную толщину отрывающихся отдельностей ($d=3\delta$ —см. табл. 10.6).

8 Весовой коэффициент j-го элемента опоры (см. рис. 10 7) определяют по формуле

$$f_j=A_j\left(\frac{H_j}{H}\right)^{\varphi_j}-A_{j-1}\left(\frac{H_{j-1}}{H}\right)^{\varphi_{j-1}} \qquad (10.53)$$

где A, φ —коэффициент и показатель степени, принимаемые в зависимости от относительной высоты до верха j-го $\frac{H_j}{H}$ и $(j-1)$-го элемента при $H_j/H\geqslant 0{,}3$ (или $\frac{H_{j-1}}{H}\geqslant 0{,}3$) A=1, φ =1/3, при $H_j/H<0{,}3$ (или $\frac{H_{j-1}}{H}<0{,}3$) A=2,23, φ =1.

Счет элементов начинают от дна (см. рис. 10.7). Для последнего (находящегося у поверхности потока) n-го элемента $H_n=H$. Весовые коэффициенты первого и последнего элемента опоры соответственно равны:

$$f_1=A_1\left(\frac{H_1}{H}\right)^{\varphi_1},\quad f_n=1-A_{n-1}\left(\frac{H_{n-1}}{H}\right)^{\varphi_{n-1}}.$$

9. Коэффициент формы опоры M или ее элемента M_j определяют по табл. 10.12.

Таблица 10 12

Форма опоры	Цилиндрическая	С овальной или полуцирк передней гранью	Прямоугольная	С верховой стороны в виде двугранного угла Θ		
				120°	90°	60°
M	1,0	0,85	1,24	1,22	1,0	0,73
$2{,}53\,M^{1/3}$	—	2,40	2,72	2,70	2,53	2,27

Для прямоугольной опоры с закругленными углами коэффициент формы следует определять в зависимости от отношения радиуса закругления r и ширины опоры b:

$2\,r/b$	0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1
M	1,24	1,20	1,18	1,15	1,11	1,01	0,94	0,85

Коэффициент формы M свайного основания с $n>1$ сваями в расчетном ряду определяют по формуле

$$M=M_{2c}M_{nc}, \qquad (10\,54)$$

где M_{2c}—коэффициент увеличения размыва у двух свай по сравнению с размывом у отдельной сваи

$$M_{2c}=0{,}56\left(\frac{Hv}{S\sqrt{gd}}\right)^{1/4}; \qquad (10.55)$$

M_{nc}—коэффициент увеличения размыва у n свай по сравнению с размывом у двух свай

$$M_{nc}=\frac{Ш_2}{Ш_n}(n-1),$$

S—расстояние в свету между сваями в ряду; $Ш_n$, $Ш_2$—полная ширина ряда из n свай и двух свай.

Для связных грунтов в формуле (10.55) принимают $d=3\delta$ (см. табл. 10.6).

Значения коэффициентов M_{2c} и M_{nc} следует принимать

при $M_{2c}\leqslant 1$	$M_{2c}=M_{nc}=1$
при $M_{2c}\geqslant 1{,}75$	$M_{2c}=1{,}75$
при $M_{2c}M_{nc}\geqslant 1{,}1n^{2/3}$	$M_{2c}M_{nc}=1{,}1n^{2/3}$

Коэффициент формы М у свайных оснований следует определять у расчетного ряда (рис. 10.8), в качестве которого принимают один из первых двух рядов свайного фундамента с наибольшей глубиной размыва и расположенных при $\alpha\leqslant 20°$ перпендикулярно продольной оси опоры, а при $\alpha>20°$—вдоль ее, где α—угол между продольной осью опоры и направлением набегающего на нее потока.

10. Если продольная ось опоры образует с направлением набегающего на нее потока угол $\alpha\geqslant 5°$, глубины размыва следует определять с учетом коэффициента косины К. Коэффициенты косины для всей опоры К и элемента опоры K_j следует определять по графику (рис. 10.9) или по формулам:

при $b_\alpha/b\leqslant 2{,}53M^{1/3}$ (зона I)

$$K=1+\frac{0{,}55}{M^{5/2}}\left(\frac{b_\alpha}{b}-1\right)^2; \qquad (10.56)$$

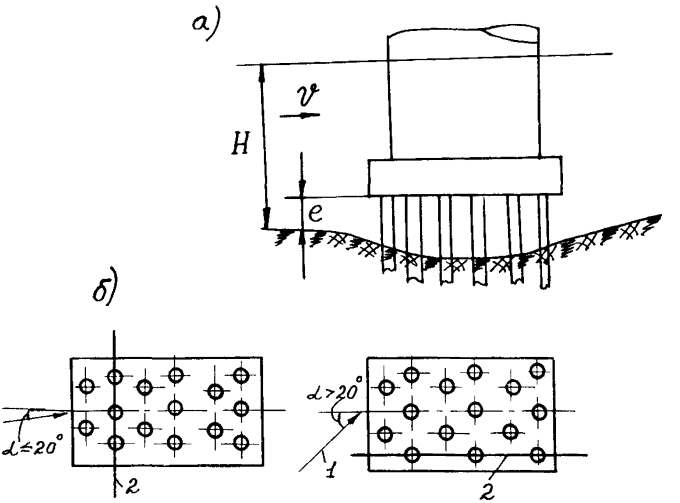


Рис. 10.8. К определению расчетного ряда свайного основания:
а—сечение опоры вдоль потока, *б*—план свай, *1*—направление течения, *2*—расчетный ряд

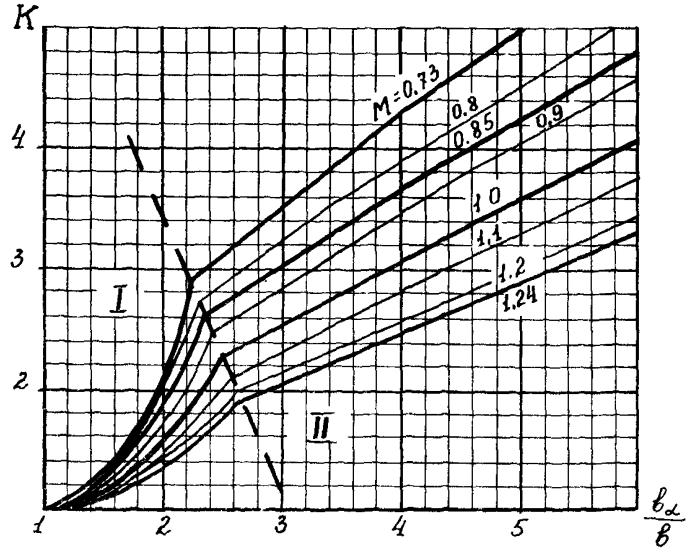


Рис 10 9 График для определения коэффициента косины К

при $\frac{b_\alpha}{b} > 2{,}53M^{1/3}$, (зона II)

$$K = \frac{1{,}24}{M}(b_\alpha/b)^{2/3} \qquad (10.57)$$

где b_α—приведенная ширина опоры или ее элемента, равная ширине их проекции на плоскость, нормальную направлению потока (рис 10 10)

Численное значение $2{,}53\ M^{1/3}$ приведено в табл 10 12.

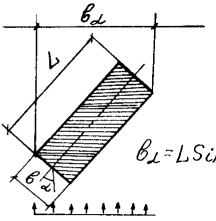
11. Коэффициент абразивности ε характеризует уменьшение устойчивости в потоке крупных частиц или связного материала, находящихся среди мелких и подвижных фракций.

Значения коэффициента ε при образовании отмостки принимают:

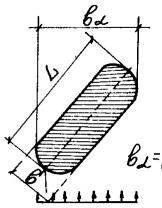
$D/d_м$	2	3	4	6	8	10	15	20	30	>30
ε	1,19	1,20	1,19	1,16	1,14	1,12	1,09	1,08	1,06	1,0

Средний диаметр частиц мелких фракций может быть принят равным среднему диаметру частиц донных наносов, поступающих в воронку местного размыва, а при отсутствии донных наносов— по формуле (10.31).

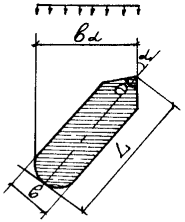
При размыве связных грунтов значения коэффициента ε принимают равным единице, когда нет поступления наносов в воронку размыва, и ε =1,16 при их поступлении.



$$b_\alpha = L\sin\alpha + b\cos\alpha$$



$$b_\alpha = (L-b)\sin\alpha + b$$

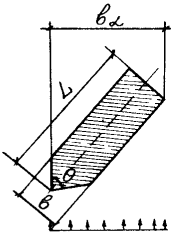


при $\alpha < \frac{\Theta}{2}$

$$b_\alpha = L\sin\alpha + \frac{b}{2}\left(1 + \frac{\sin\left(\frac{\Theta}{2}-\alpha\right)}{\sin\frac{\Theta}{2}} - \sin\alpha\right)$$

при $\alpha \geqslant \frac{\Theta}{2}$

$$b_\alpha = L\sin\alpha + \frac{b}{2}\left(1 - \sin\alpha\right)$$

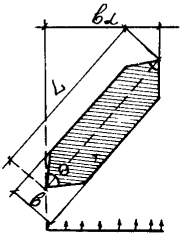


при $\alpha < \frac{\Theta}{2}$

$$b_\alpha = \left(L - \frac{b}{tg\frac{\Theta}{2}}\right)\sin\alpha + b\cos\alpha$$

при $\alpha \geqslant \frac{\Theta}{2}$

$$b_\alpha = \left(L - \frac{b}{2tg\frac{\Theta}{2}}\right)\sin\alpha + \frac{b}{2}\,\frac{\sin\left(\alpha+\frac{\Theta}{2}\right)}{\sin\frac{\Theta}{2}}$$



при $\alpha < \frac{\Theta}{2}$

$$b_\alpha = \left(L - \frac{b}{tg\frac{\Theta}{2}}\right)\sin\alpha + b\cos\alpha$$

при $\alpha \geqslant \frac{\Theta}{2}$

$$b_\alpha = L\sin\alpha$$

Рис. 10.10. Формулы приведенных ширин опор b_α характерных форм

12. Приведенные выше формулы для расчета глубины местного размыва не охватывают расчет размыва у опоры на свайном основании при положении низа плиты ростверка над дном русла после общего размыва $e<0{,}3H$ (см рис 10 8). Для таких опор глубину местного размыва определяют по формуле

$$h=h_e+(h_м-h_e)\left(\frac{0{,}3H-e}{h_м+0{,}3H}\right)^{3/4}, \qquad (10\ 58)$$

где h_e—глубина размыва, определяемая по вышеприведенным формулам при положении низа плиты ростверка относительно дна после общего размыва $e=0{,}3H$, $h_м$—то же, при плите ростверка, низ которой заглублен ниже отметки возможных местных размывов (а ее верх—на проектной заданной отметке)

13 Если в процессе местного размыва обнажается часть массивного фундамента (см рис. 10.7), размеры которого в плане больше соответствующих размеров тела опоры, то такой фундамент уменьшает наибольшую глубину местного размыва на величину $\delta_ф$, равную

$$\delta_ф=Ш_ф m_0, \qquad (10\ 59)$$

где $Ш_ф$—суммарная ширина ступеней фундамента от ближайшей передней грани опоры (или фундамента), располагающейся выше отметки общего размыва, m_0—коэффициент заложения естественного откоса грунта, в котором происходит размыв (см табл 10 11)

10 6 Расчет подпоров и перепадов уровней воды у сооружений мостового перехода

1. Стеснение потока подходными насыпями приводит к повышению уровня воды в паводок в верхнем бьефе перехода

В продольном профиле поверхности воды по динамической оси потока* перед мостовым переходом можно выделить два участка (рис 10 11). кривая подпора (от начала влияния мостового перехода), в пределах которой уровни повышаются, и кривая спада.

В районе границы двух участков разность подпертой и бытовой глубин достигает наибольшей величины, называемой предмостовым подпором $\Delta h_в$

В верхнем бьефе уклон потока вдоль насыпи переменный; величина его возрастает от борта долины к главному руслу. Подпод воды у насыпи $\Delta h_н$ увеличивается в противоположном направлении—от главного русла к борту У борта подпор наибольший Δh_{max}, называемый максимальным подпором.

В нижнем бьефе уклон свободной поверхности вдоль насыпи более пологий, чем перед насыпью, и направлен от главного русла По этой причине перепад уровней z между отметками свободной поверхности в нижнем и верхнем бьефах насыпи увеличивается от главного русла к борту долины, где принимает наибольшее значение z_{max}—наибольший перепад уровней

---

* Динамическая ось потока—линия, соединяющая вдоль потока наибольшие средние на вертикалях скорости потока, совпадающая, как правило, со стержнем—линией, соединяющей поверхностные скорости

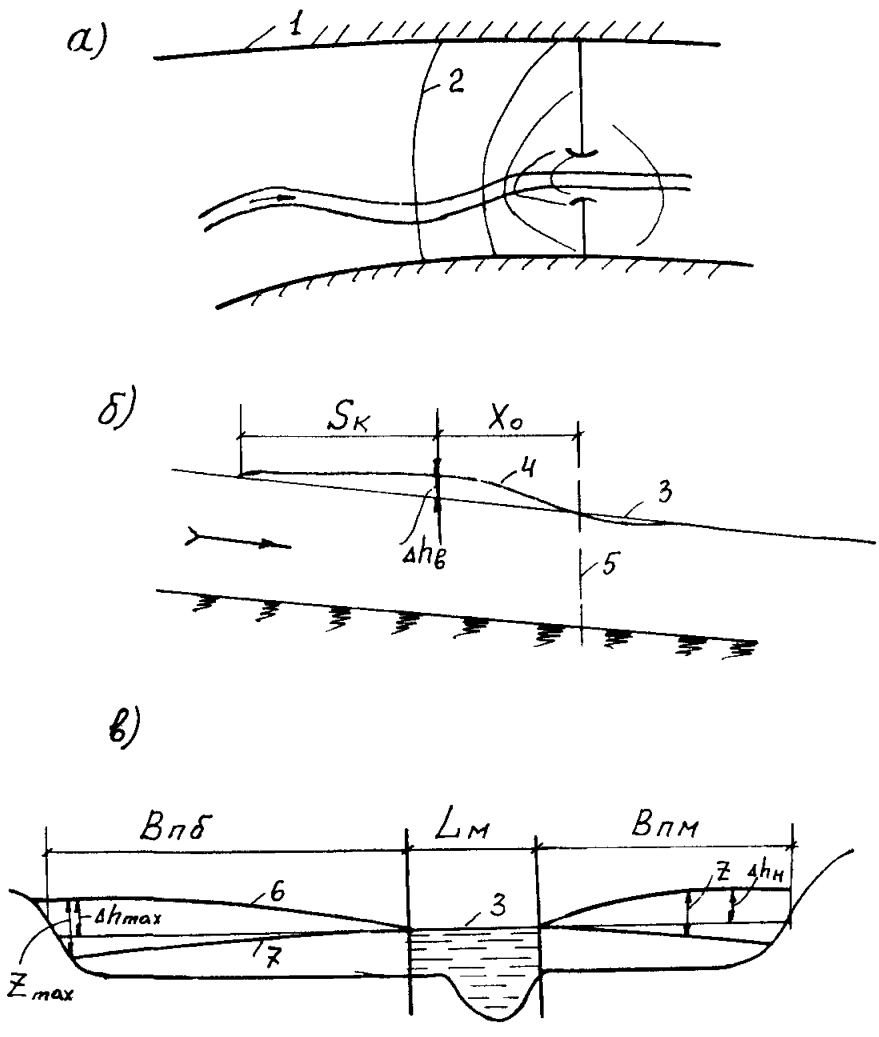


Рис 10 11 Рельеф водной поверхности в районе мостового перехода

а—схематизированный план водной поверхности, *б*—продольный профиль водной поверхности, *в*—профили водной поверхности с верховой (*6*) и низовой (*7*) сторон подходной насыпи *1*—граница разлива, *2*—горизонтали водной поверхности, *3*—водная поверхность нестесненного потока, *4*—то же стесненного потока, *5*—створ перехода, *6*—водная поверхность с верховой стороны перехода, *7*—то же с низовой стороны

2. При проектировании мостовых переходов определяют следующие параметры изменения рельефа водной поверхности стесненного потока (см. рис. 10.11):

подпор у подходной насыпи с верховой ее стороны $\Delta h_н$ (для назначения бровки земляного полотна);

перепад уровней воды z между верхним и нижним бьефами насыпи (для расчета групповых отверстий и проверки отсутствия фильтрационных деформаций в теле насыпи);

предмостовой подпор $\Delta h_в$ и его положение (расстояние X_0 от створа моста (для расчета струенаправляющих дамб).

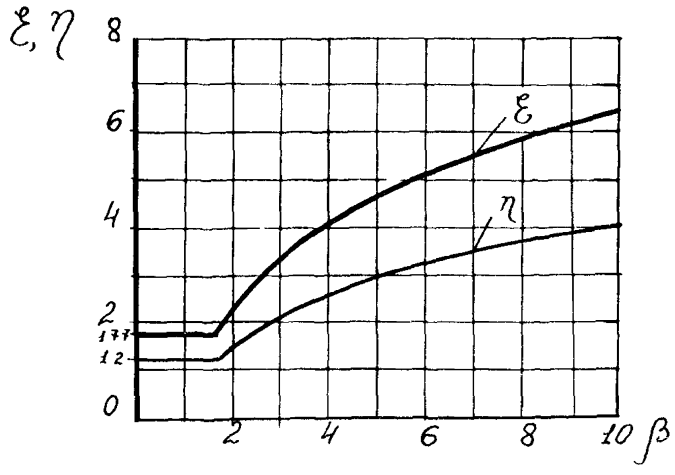


Рис. 10.12 График для определения коэффициентов сопротивления мостов ε и η

3. Максимальный подпор у насыпи определяют [42] по формуле

$$\Delta h_{max} = \eta \frac{v_м^2}{2g}, \qquad (10.60)$$

где η —коэффициент сопротивления моста, определяемый по графику (рис. 10.12) или по формуле

$$\eta = 3{,}85 \lg \beta + 0{,}25; \qquad (10.61)$$

при $\beta < 1{,}75$ принимают $\eta = 1{,}2$; β —параметр, определяемый по формуле

$$\beta = \frac{\lambda_р}{H_р} \gamma_р L_{разл}; \qquad (10.62)$$

$\lambda_р$—коэффициент трения, равный

$$\lambda_р = \frac{2g}{C^2} = 2g \frac{n_р^2}{H_р^{1/3}}; \qquad (10.63)$$

$H_р$, $n_р$—глубина русла в расчетный паводок и коэффициент его шероховатости; $\gamma_р$—коэффициент извилистости русла, равный отношению фактической его длины на участке $^1/_3 L_{разл}$ ниже и $^2/_3 L_{разл}$ выше створа перехода к проекции этой длины русла на перпендикуляр к створу моста (т. е. $L_{разл}$); для практических расчетов можно принимать значение коэффициента $\gamma_р$:

1,0—1,1—русло близко к прямолинейному;

1,1—1,2—русло средней извилистости (не относящееся к свободному и незавершенному меандрированию);

1,2—1,5—русла сильноизвилистые;

$L_{разл}$—расчетная ширина разлива, определяемая по формуле

$$L_{разл} = B_{пб}\left(1 + \frac{L_м}{B_{пб} + B_{пм}}\right); \qquad (10.64)$$

$B_{пб}$, $B_{пм}$—ширина широкой и узкой пойм, перекрытых насыпью; $v_м$—средняя скорость под мостом, принимаемая на пике расчетного паводка, проходящего в первый год эксплуатации моста, или при расчете размывов без учета фактора времени (с запасом) на момент осуществления $\alpha_р = 50\%$ от полного размыва при продолжительных (снеговых) и $\alpha_р = 25\%$ при непродолжительных (ливневых) паводках

$$v_м = \frac{Q}{\omega_{бм} \cdot (1 + (P-1)\alpha_р)}; \qquad (10\,65)$$

$\omega_{мб}$—площадь подмостового сечения до размыва с учетом срезки; P—коэффициент общего размыва

В расчетах $\alpha_р$ принимают в долях единицы.

4. Максимальный перепад уровней у насыпи определяют [42] по формуле

$$Z_{max} = \zeta \frac{v_м^2}{2g}, \qquad (10\,66)$$

где ζ—коэффициент сопротивления моста, равный при $\beta \geqslant 1{,}75$;

$$\zeta = 6{,}25 \lg \beta + 0{,}25. \qquad (10.67)$$

При $\beta < 1{,}75$ принимают $\zeta = 1{,}77$.

Для определения коэффициента ζ по формуле (10.67) можно пользоваться графиком (рис. 10.12).

5. Предмостовой подпор определяют по формуле

$$\Delta h_в = \Delta h_{max} - iX_0, \qquad (10\,68)$$

где i—уклон нестесненного водного потока в паводок, X_0—расстояние от створа моста до вертикали, где устанавливается предмостовой подпор (см. рис. 10 11), определяемое по формуле И С Ротенбурга

$$X_0 = av_б \sqrt{\frac{L_{разл}}{gi}}; \qquad (10.69)$$

a—коэффициент, принимаемый по формуле

$$a = 1{,}15 \left(\frac{Q}{Q_{мб}}\right)^{2/3} - 0{,}8 \left(\frac{Q}{Q_{мб}}\right) \frac{v_б}{\sqrt{gL_{разл}i}}; \qquad (10.70)$$

$v_б$—средняя скорость потока по всему живому сечению нестесненного потока.

В случаях, когда по формуле (10.70) получают коэффициент a, выходящий из диапазона $0{,}4 \leqslant a \leqslant 2{,}5$, то к расчету принимают значение a, равное крайнему значению указанного диапазона.

Длину кривой подпора $S_к$ от вертикали X_0 и отметки свободной поверхности на участке этой кривой находят в соответствии с п 8 1.

Пример определения максимального и предмостового подпора приведен в прил. 14.1.

6. Подпор $\Delta h_н$ и перепад уровней z у насыпи на расстоянии l от устоя моста на большой пойме определяют по верхней кривой графика (рис. 10.13) в зависимости от $l/B_{пб}$ и максимальных значений Δh_{max} или z_{max}.

На малой пойме значения $\Delta h_н$ и z определяют по графику (см. рис. 10 13) по соответствующей кривой, характеризующей

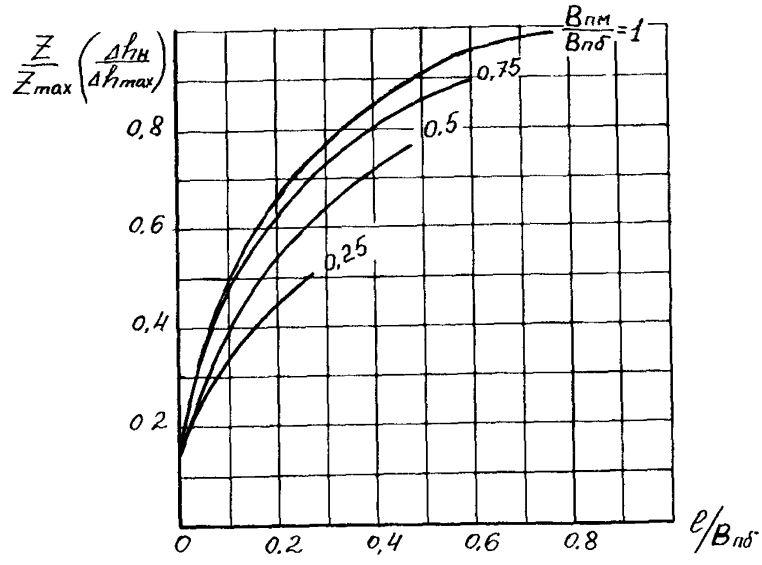
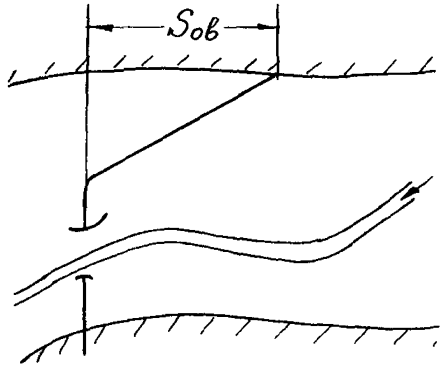


Рис 10 13 График для определения относительных подпо ра $\Delta h_н/\Delta h_{max}$ и перепада уровней z/z_{max} у насыпи

относительную ширину $B_{пм}/B_{пб}$ малой поймы. По указанной кривой определяют значения $\Delta h_н$ и z у борта долины со стороны малой поймы.

Понижение отметок свободной поверхности (от бытовых) в нижнем бьефе у насыпи равно $(z-\Delta h_н)$.

В случае косого пересечения потока подходной насыпью, направленной вверх по течению от оси моста, значения подпоров и перепадов у насыпи определяют по вышеприведенным формулам, в которых в качестве исходных данных следует принимать (при назначении $B_{пб}$ и $B_{пи}$) расстояние вдоль насыпи (а не проекцию насыпи на створ, перпендикулярный направлению течения в реке)



В этом случае предмостовой подпор определяют по формуле

$$\Delta h_в = \Delta h_{max} - i(X_0 = S_{ов}), \quad (10.71)$$

где $S_{ов}$—расстояние вверх по течению от створа моста до выхода насыпи за пределы разлива реки (рис 10 14)

При $S_{ов} \geqslant X_0$ в расчетах принимают $X_0 = S_{ов}$.

Рис 10 14 План косого пересечения пойменного потока подходной насыпью

8. Два параллельных перехода, расположенных на расстоянии S друг от друга вдоль по течению, увеличивают гидравлическое сопротивление потоку. Максимальный подпор Δh_{max} при этом перед верховым переходом становится больше, чем у одиночного перехода, на величину, которая приближенно может быть определена по формуле И. С. Ротенбурга

$$\delta = i\varphi\left[\left(\frac{Q}{Q_{бм}}\right)^2 - 1\right], \qquad (10.72)$$

где φ —коэффициент, определяемый по формуле

$$\varphi = 70H_{мб}(\mu - S/H_{мб})/(\mu - 70); \qquad (10.73)$$

$H_{мб}$—средняя глубина воды в естественном состоянии в русле; μ —параметр, зависящий от отношения $Q/Q_{бм}$ (для низового перехода):

$Q/Q_{бм}$	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
μ	250	400	700	1000	1300	1900

Формула (10.72) справедлива при $\mu > S/H_{мб}$.

При $\mu \leqslant S/H_{мб}$ следует принимать $\delta = 0$.

10.7. Косвенные способы оценки гидроморфологических данных для приближенного назначения отверстий мостов

1. На стадии составления программы изыскательских работ, а также оценки предварительной ориентировочной стоимости мостовых переходов могут быть полезны морфометрические и гидрологические закономерности речных потоков.

2. Расход весеннего половодья $Q_{1\%}$ вероятности превышения приближенно по данным В. В. Невского определяют по табл 10 13 в зависимости от ширины русла $B_р$.

Таблица 10 13

$B_р$, м	50	60	70	80	90	100	120
$Q_{1\%}$, м³/с	700	950	1200	1400	1700	1900	2400
$B_р$, м	140	160	180	200	220	240	260
$Q_{1\%}$, м³/с	2800	3300	3700	4200	4600	5100	5500

3. Если ширина русла реки в бровках $B_р$ ясно выражена на используемой карте, то средняя глубина потока в бровках русла $H_р$ связана с гидроморфологическими параметрами русла зависимостями:

по критерию Железнякова-Гришанина [8]

$$H_р = \frac{м\sqrt{Q}}{(gB_р)^{1/4}} \qquad (10.74)$$

или из уравнения Шези:

$$H_{\text{р}} = \frac{\overline{Q} n_{\text{р}}}{B_{\text{р}} \sqrt{i}}, \qquad (10\,75)$$

где м—параметр устойчивости русла, принимаемый равным 1,3—1,2 при свободном меандрировании, незавершенном—1,1—1,9, побочневом—1,0—0,8 и осередковом русле 0,5—0,4, $\overline{Q}$—расход воды в бровках русла; g—ускорение свободного падения; $n_{\text{р}}$—коэффициент шероховатости русла, принимаемый по прил 3 3.

Расход воды в бровках русла можно принимать вероятностью превышения 40% и определять при известном расходе 1% вероятностью превышения по формуле

$$\overline{Q} = Q_{40\%} = Q_{1\%} \frac{k_{40}}{k_1}, \qquad (10\,76)$$

где k_1, k_{40}—ординаты интегральных кривых распределения вероятностей (см. прил 7 3) соответственно $p=1\%$ и $p=40\%$

При определении указанных ординат коэффициент вариации C_v максимумов расходов воды принимают согласно СНиП 2 01.14—83 (по соответствующим картам районирования территории СССР), а коэффициент асимметрии C_s в зависимости от C_v:

C_v	$\leqslant 0{,}6$	0,8	$\geqslant 1{,}0$
C_s/C_v	2	3	4,0

4. Если ширина русла реки в данном масштабе карты четко не выражена, то приближенно:

$$B_{\text{р}} = 0{,}82 \frac{\sqrt{\overline{Q}}}{\text{м}^2 d^{0{,}3}}, \qquad (10.77)$$

где d—крупность несвязного грунта

5. Приведенные зависимости $H_{\text{р}} = f(\overline{Q})$ и $B_{\text{р}} = f(\overline{Q})$ необходимо увязать с таблицей динамических скоростей с учетом вероятности расхода примерно 40% (см. прил. 3 4) или с табл. 10.14, если известна только общая характеристика грунта.

Таблица 10 14

№ пп	Характеристика грунтов, слагающих речные русла		Значения средних скоростей течения в бровках русла $v_{\text{р}}$, м/с при средней глубине русла, $H_{\text{р}}$, м						
	Наименование	Принятая крупность, мм	2	3	4	5	6	7	8
1	Мелкий песок	0,25	0,60	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
2	Средний песок и мелкий песок с гравием	0,5	0,70	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	1,05
3	Крупный песок и средний песок с гравием	2	0,90	1,0	1,10	1,20	1,25	1,30	1,35

Продолжение

№ пп	Характеристика грунтов, слагающих речные русла		Значения средних скоростей течения в бровках русла $v_р$, м/с при средней глубине русла, $H_р$, м						
	Наименование	Принятая крупность, мм	2	3	4	5	6	7	8
4	Гравий с крупным песком	6	1,10	1,25	1,40	1,5	1,55	1,60	1,70
5	Мелкая галька с гравием и песком	15	1,35	1,50	1,65	1,75	1,90	2,0	2,05
6	Средняя галька с гравием и песком	25	1,70	1,70	1,85	1,95	2,10	2,2	2,25
7	Крупная галька с гравием	50	1,70	1,95	2,10	2,25	2,40	2,50	2,60
8	Булыжник с гравием и галькой	100	2,0	2,20	2,40	2,60	2,75	2,90	3,0
9	Крупный булыжник с галькой	200	2,25	2,55	2,80	3,0	3,15	3,30	3,45

6. При известных расходах в русле и речной долине отверстие моста может быть определено по формуле

$$L_м \geqslant B_р \frac{Q}{Q_{рб} P_{доп}^{y}} \qquad (10.78)$$

где $P_{доп}$—допустимый нормами коэффициент общего размыва, y—показатель степени, принимаемый как для формулы (10 21).

Глава 11. РАСЧЕТ ОТВЕРСТИЙ МОСТОВ В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ

11.1. Мосты, расположенные ниже плотин

1. В классификации Государственного гидрологического института [31] антропогенной деятельности в бассейнах рек плотины отнесены к I категории речных инженерных сооружений, наиболее активно воздействующих на бытовой режим реки. Плотины аккумулируют и перераспределяют жидкую и твердую фазы стока. Как следствие этого—изменяют естественный русловой процесс.

Степень и особенности воздействия плотин на мостовые переходы. расположенные в нижнем бьефе этих сооружений, связаны с капитальностью плотин. По этому признаку различают плотины капитальные и некапитальные (см. п. 4.3).

2. К некапитальным относятся плотины, которые могут быть прорваны (получить отказ) при расчетных для мостового перехода гидрологических условиях. К ним обычно относятся плотины на прудах и в бассейнах малых водотоков, построенные землепользователями для сельскохозяйственных целей. Такие плотины аккумулируют только часть расхода воды, проходящего в высокие паводки. Чем ниже гребень плотины от расчетного (для проектируемого мостового перехода) уровня воды, тем меньше степень влияния плотины на мостовой переход, расположенный ниже ее.

Если некапитальные плотины не перекрывают русло, через которое проектируют мост, в расчетах достаточно учесть только увеличение в расчетный паводок расход воды в связи с прорывом плотины.

Если плотина расположена в русле, то к расчету принимают наиболее неблагоприятные условия: или прорыв плотины, или перелив через нее без поступления наносов к подмостовому сечению.

3. Для мостов, расположенных ниже капитальных плотин, расчетный расход воды следует назначать с учетом расчетного случая работы гидротехнических сооружений (см. п. 9 в п. 7.1).

На больших водохранилищах, осуществляемых многолетнее регулирование, возможно уменьшение расчетных расходов за счет «срезки» максимального расхода при проходе паводков, что должно быть учтено при проектировании мостовых переходов.

Кроме возможного снижения расчетного расхода, на мостах, расположенных ниже плотин, как правило, не требуется регулирование пойменного потока (струенаправляющих дамб).

4. Основной особенностью и сложностью проектирования мостовых переходов, расположенных ниже капитальных плотин, является определение русловых деформаций (и связанное с ним фундирование опор).

Непосредственной причиной понижения дна в нижнем бьефе плотин является задержка руслоформирующих наносов и поступ-

ление осветленного потока к мостовому переходу. Процесс понижения дна сопровождается понижением уровня воды, в связи с чем эти процессы не затухают. Стабилизация размыва возможна при:

1) достижении естественного базиса эрозии;
2) обнажении неразмываемых грунтов;
3) образовании естественной отмостки.

5. В случае, когда русло сложено легкоразмываемыми грунтами (песками), в нижнем бьефе плотины возможно понижение дна до естественного базиса эрозии.

Под базисом эрозии понимается нижний предел врезания русла реки, определяемый наинизшими отметками воды на лимитирующих участках (устье рек, мелководные перекаты и пр.).

В указанном случае общий размыв под мостом отсчитывается от отметки стабилизированного дна русла.

6. Под неразмываемой породой, обнажаемой в процессе общего понижения русла в нижнем бьефе плотин, понимается грунт, неразмывающая скорость которого (при глубине $H_{рб}$) $v_{он} > \frac{Q}{H_{рб} B_р}$, где $B_р$—ширина русла. В этом случае общий размыв под мостом отсчитывается от верха обнажаемой породы при удельном расходе под мостом $q = Q/L_м$; глубина потока под мостом равна $H = H_{рб} + \Delta h$. Общий размыв Δh определяют для условий отсутствия поступления наносов.

7. Если в подмостовом сечении на глубине Δ обнажается неоднородный несвязный грунт, удовлетворяющий условию $\frac{d_{max}}{d} > 2$, где d, d_{max}—средний диаметр и диаметр самой крупной фракции материала, то для образования отмостки под мостом отверстие моста должно быть

$$L_м > 0{,}87 \frac{Q}{\sqrt{g} H_{рб}^{1{,}25} d_{max}^{0{,}25}}, \qquad (11.1)$$

где $H_{рб}$—глубина потока в русле в бытовых условиях.

При образовании отмостки глубину размыва в подмостовом сечении определяют по формуле

$$\Delta h = \Delta + 0{,}7D \frac{1-k}{k},$$

где D—средний диаметр частиц отмостки и их содержание по массе в грунте k находят подбором из уравнения (10 29)

Местный размыв у опор определяют в этом случае для нижележащего под слоем отмостки грунта при отсутствии поступления наносов в воронку размыва и при глубине потока $H_{рб} + \Delta h$.

8. В перечисленных случаях расчет размывов производят в предположении полного отсутствия поступления наносов к створу моста. Такое допущение, особенно в случае стабилизации размыва при достижении базиса эрозии, может привести к значи-

тельным завышениям размыва, поскольку на некотором расстоянии от створа плотины наносы с размываемых участков компенсируют дефицит наносов в русле. Поэтому более точно русловые деформации в нижнем бьефе плотин до последнего времени рассчитывали по методу К. И. Россинского и И. А. Кузьмина, разбивая нижний бьеф на однородные по ширине и геологическому строению участки длиной Δl_i. Деформации дна на i-ом участке за интервал времени паводка Δt_i определяют из уравнения баланса наносов в конечных разностях

$$\Delta h_i = \frac{G_i - G_{i-1}}{\rho_r B_i \Delta l_i},$$

где G_{i-1}, G_i—расход наносов, поступающих на расчетный участок и выносимых с него; B_i—средняя ширина участка, ρ_r—плотность сухого грунта

Расчет деформаций начинают с ближайшего к плотине участка вниз по течению до участка, где деформаций не будет. Этот метод позволяет учесть фактор времени, но трудоемкий. При использовании ЭВМ задача может реализоваться в одномерной постановке совместного решения уравнений неравномерного медленно изменяющегося движения жидкости и баланса наносов или более полно—по комплексу программ, включающих двумерную (плановую) гидравлику (см. п. 6.3).

9. Для приближенной оценки длины участка l, где понижение дна прекращается, и понижения дна на расстоянии X от створа плотины можно пользоваться формулой

$$l = h/(i - i_0), \tag{11.2}$$

где h—глубина местного размыва за плотиной, определяемая по формуле Б И Студеничникова, которая приведена к виду

$$h = 1{,}25\left(\frac{q}{\sqrt{g}d^{0{,}25}}\right) - H_{рб}, \tag{11.3}$$

$q = Q/B_р$—удельный расход воды, i, i_0—уклоны свободной поверхности соответственно бытовой и соответствующий неразмывающей скорости $i_0 = \frac{v_0^2}{C^2 H_{рб}}$; C—коэффициент Шези

Тогда на расстоянии $x \leqslant l$ от створа плотины понижение дна будет равно

$$h_x = h(1 - x/l). \tag{11.4}$$

Если полученная по формуле (11.2) длина участка l будет превышать расстояние, например, до устья реки, то понижение дна на участке, отстоящем на $l_{бэ}$ от створа базиса эрозии, определяют по формуле

$$h_{бэ} = \frac{l_{бэ}}{i - i_0}. \tag{11.5}$$

Пример Определить общее понижение русла в створе моста, расположенного ниже в 50 км на транзитном участке от капитальной плотины и в 150 км

выше устья реки В районе перехода русло реки шириной $B_р = 120$ м; в расчетный паводок при $H_{рб} = 8$ м и $i = 0{,}0002$ оно пропускает $Q = 1750$ м³/с; коэффициент шероховатости русла $n_р = 0{,}03$ Геологическое строение. однородные крупнозернистые пески со средним диаметром частиц $d = 2$ мм

Определяем глубину местного размыва у плотины (при $q = \frac{1750}{120} = 14{,}6$ м²/с).

$$h = 1{,}25\left(\frac{14{,}6}{\sqrt{9{,}8}\cdot 0{,}002^{0{,}25}}\right)^{0{,}8} - 8 = 14{,}8 - 8 = 6{,}8 \text{ м}$$

При коэффициенте Шези (по Маннингу) $C = \frac{H_{рб}^{1/6}}{n_р} = \frac{8^{1/6}}{0{,}03} = 47{,}2$ и неразмывающей скорости (по Б И Студеничникову) $v_0 = 1{,}28$ м/с уклон свободной поверхности

$$i_0 = \frac{1{,}28^2}{47{,}2^2 \cdot 8} = 0{,}00009.$$

По формуле (11 2) длина участка от створа плотины, где прекращается понижение дна, равно $l = \frac{6{,}8}{0{,}0002 - 0{,}00009} = 62$ км, что меньше расстояния от створа плотины до устья реки (50+150=200 км). Понижение русла в створе моста $h_x = 6{,}8\left(1 - \frac{50}{62}\right) = 1{,}32$ м.

11.2. Расчет групповых отверстий

1. Групповыми отверстиями называются два и более водопропускных сооружения, расположенных в одной речной долине* или нескольких долинах, сообщающихся (происходит перелив) в расчетные паводки.

В зависимости от распределения расчетного расхода воды между водопропускными сооружениями расчет групповых отверстий подразделяют на три возможных случая:

а) в речной долине, кроме моста через главное русло, требуются малые пойменные отверстия, пропускающие до 1% расхода воды в расчетный паводок;

б) то же, при пойменном отверстии через вторичный проток (который в период всех циклов руслового процесса в реке не возьмет на себя роль главного русла), пропускающий до 30% расхода воды в расчетный паводок;

в) мосты через главные русла в сообщающихся в расчетный паводок долинах или мосты через протоки (главным образом, при пойменной многорукавности), пропускающие более 30% расчетного расхода.

Расчет групповых отверстий является в общем случае многовариантной задачей, в результате которой обосновывают один из рассматриваемых вариантов компоновки отверстий, принятых из условий обеспечения требований норм, минимизации строи-

* К групповым отверстиям не относятся водопропускные сооружения в одной речной долине через водотоки, бассейны которых отделены друг от друга водоразделительной дамбой, а также сооружения шандорного типа, закрывающиеся в период пропуска паводочных расходов воды.

тельных и эксплуатационных затрат, ситуационных особенностей и т п

В первых двух случаях («а» и «б») расчет сводится к определению величины отверстия (или отверстий) на пойме при заданном отверстии через главное русло В случае «в», как правило, рассматривают варианты размеров мостов всех групповых отверстий

2 В случае, предусмотренном пп 1а и 1б проектные решения должны быть направлены на обеспечение минимальной водопропускной способности пойменных сооружений В связи с этим струенаправляющие дамбы для указанных сооружений не устраивают

При выборе типов пойменных сооружений предпочтение следует отдавать водопропускным трубам и мостам с закрепленным руслом, приспособленным к пропуску больших по величине скоростей потока При этом СНиПом 2 05 03—84 разрешается полунапорный и напорный режим работы водопропускных труб, в том числе и гофрированных, на всех дорогах, кроме железных общей сети, на которых эти режимы возможны только при пропуске наибольшего расхода

Требования по устройству гофрированных труб регламентируются ведомственной Инструкцией ВСН 176—78 [23]

Размеры отверстии мостов с неразмываемым руслом должны быть, а с размываемым руслом стремиться назначать минимально возможными из условия расположения подошвы конусов вне русла пересекаемого водотока При этом, назначение коэффициента общего размыва под малыми и средними пойменными мостами более допустимого $P_{доп}$ не противоречит п 1 31 СНИП 2 05 03—84

При размещении водопропускных отверстий следует иметь в виду, что в более благоприятных гидравлических условиях находятся пойменные сооружения, расположенные ближе к главному руслу

3 Водопропускное сооружение в пойменном подходе можно не устраивать (при соответствующем согласовании с заинтересованными организациями), если возможен перепуск в другое пониженное место При этом не должны ухудшаться экологические условия по заболачиванию поймы Вторичные протоки, берущие начало и впадающие в главное русло, при их перекрытии насыпью обычно не заболачивают поймы К благоприятным условиям спрямления вторичного протока относятся

возможность использования грунта из спрямленного участка протока для возведения насыпи,

расположение водопропускного сооружения на спрямленном протоке ближе к главному руслу,

снижение строительной стоимости за счет использования технологии возведения моста «насухо»

4 Расчет водопропускной способности пойменных мостов [42] (т е расхода воды, проходящего через пойменное сооружение) сводится к нахождению наибольшего перепада z_{0i} между верхним

и нижним бьефами подходной насыпи на участке поймы от главного русла до рассматриваемого сооружения (рис. 11.1).

Водопропускную способность моста через главное русло определяют максимальным перепадом z_{max} у борта речной долины со стороны широкой поймы $B_{пб}$.

Перепад уровней z_{0i} определяют как часть максимального перепада z_{max} в зависимости от расстояния до главного русла и фиктивной ширины широкой поймы $B_ф$ (см. п. 7).

Расход воды, проходящей через пойменное сооружение, определяют по формуле

$$Q_{пр} = v_{пр}\omega_{пр}, \qquad (11.6)$$

где $v_{пр}, \omega_{пр}$—средняя скорость и площадь живого сечения потока под мостом.

Скорость потока определяют по формуле

$$v_{пр} = \sqrt{2gz_0/\zeta}; \qquad (11.7)$$

ζ—коэффициент сопротивления водопропускного сооружения, определяемый по формуле (10.67) или графику (рис 10 12).

При определении площади живого сечения $\omega_{пр}$ можно (с некоторым приближением) принимать уровень воды в сооружении, равным бытовому ($УВВ_{р\%}$).

5. В случае, предусмотренном п. 1а, допускается определять перепад z_0 согласно рекомендациям п. 6 в п. 10.6 в зависимости

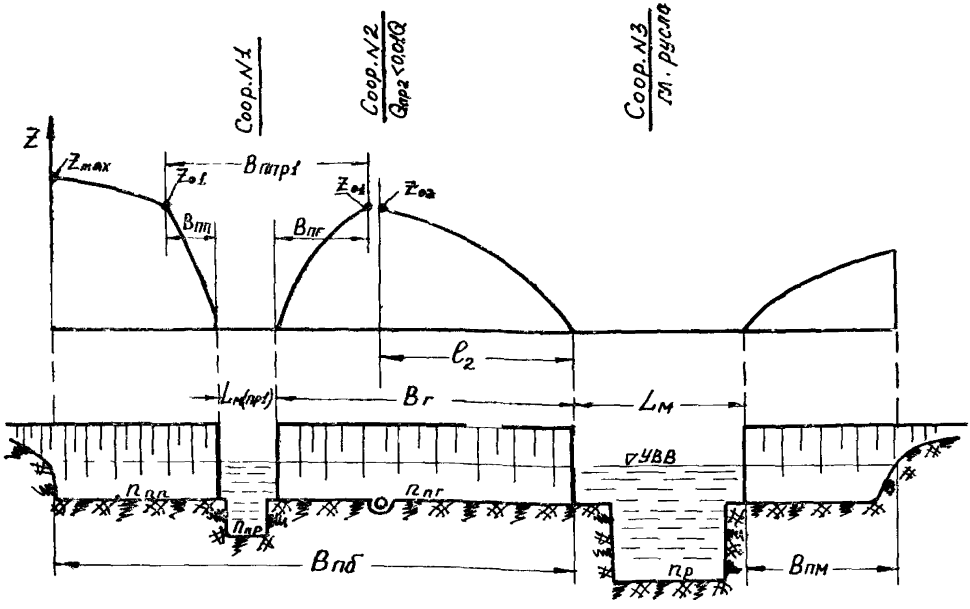


Рис. 11 1. Схема изменений перепадов уровней вдоль насыпи подхода при расчете пойменного отверстия

от расстояния l от ближайшего устоя моста на главном русле до оси пойменного сооружения (см. сооружение № 2 на рис. 11 1), а коэффициент сопротивления моста принимать равным $\zeta=1{,}77$ (т. е $\beta=0$—см формулу 10 67)

6 В случае предусмотренном п. 1б, когда пойменное сооружение пропускает $Q_{пр}/Q>0{,}01$, перепад уровня у насыпи z_0, по которому определяют скорость в отверстии $v_{пр}$, находится на вертикали, расположенной от ближайшего устоя моста через главное русло на расстоянии (см рис. 11.1)

$$l = B_г - B_{пг},$$

где $B_г$—расстояние между мостами (от ближайших устоев), $B_{пг}$—длина участка со стороны моста через главное русло, примыкающая к пойменному мосту (и характеризующаяся сливом потока вдоль насыпи в сторону пойменного отверстия), определяемая по формуле

$$B_{пг} = B_г\left(\frac{Q_{пр}}{Q_м}\right)^y; \qquad (11\,8)$$

$Q_м$—водопропускная способность моста (расход воды, проходящей под мостом) через главное русло,

y—показатель степени, равный

$$y = 2n_р/n_{пг}; \qquad (11\,9)$$

$n_р$, $n_{пг}$—коэффициенты шероховатости главного русла и поймы на участке $B_г$ (см рис 11 1)

На участках поймы с неоднородной шероховатостью приведенный коэффициент шероховатости определяют по рекомендациям п. 3.5; его можно вычислять также по более приближенной формуле

$$n = \sqrt{\Sigma\left(n_i^2 B_i\right)/\Sigma B_i}, \qquad (11\,10)$$

где B_i—участки с коэффициентом шероховатости n_i.

При определении расстояния l_i от водопропускного сооружения до главного русла, по которому определяют перепад уровня у насыпи z_{0i}, из фактического расстояния вдоль насыпи следует вычитать примыкающие участки сооружений перед главным руслом $\sum_{i=1}^{n-1} B_{ппрi}$ (см. п. 7), если такие имеются между рассматриваемым пойменным сооружением и главным руслом.

7 За фиктивную ширину широкой поймы $B_ф$ при расчете пойменных отверстий принимают расстояние вдоль насыпи между конусом моста через главное русло и бровкой речной долины $B_{пб}$ со стороны широкой поймы за вычетом участков $\Sigma B_{ппрi}$, примыкающих к водопропускным сооружениям на этой пойме,

$$B_ф = B_{пб} - \sum_{i=1}^{n} B_{ппрi}, \qquad (11\,11)$$

Ширина участка $B_{ппрi}$ каждого сооружения слагается из отверстия на пойме $L_{м(прi)}$ и участков пойм $B_{пгi}$ и $B_{ппi}$, примыка-

ющих к водопропускным сооружениям (см. рис. 11.1). Ширину $_{\text{пг}}$ определяют по формуле (11.7); ширину $B_{\text{пп}}$—по формуле

$$B_{\text{пп}} = B_{\text{пг}}\sqrt{n_{\text{пр}}/n_{\text{пп}}}, \qquad (11.12)$$

где $n_{\text{пр}}$, $n_{\text{пп}}$—коэффициенты шероховатости пойменного водотока и поймы с противоположной стороны от главного русла

С учетом формул (11.8) и (11.12)

$$B_{\text{ппр}} = L_{\text{м(пр)}} + \left(1 + \sqrt{\frac{n_{\text{пр}}}{n_{\text{пп}}}}\right) B_{\text{г}} \left(\frac{Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{м}}}\right)^{y}. \qquad (11.13)$$

8. В случае, предусмотренном п. 1б, водопропускную способность пойменного моста с закрепленным руслом подбирают в такой последовательности:

а) Назначают расход $Q_{\text{пр}} > Q_{\text{прб}}$, где $Q_{\text{прб}}$—расход воды на ширине пойменного моста в бытовых условиях, и определяют под мостом через главное русло расход $Q_{\text{м}} = Q - Q_{\text{пр}}$ и среднюю скорость $V_{\text{м}}$. При определении $V_{\text{м}}$ в формуле (10.65) вместо коэффициента общего размыва P можно принимать $(Q_{\text{м}}/Q_{\text{гр}})^{0,77}$, где $Q_{\text{гр}}$—расход воды, проходящей в главном русле в бытовых условиях.

б) Определяют фиктивную ширину поймы $B_{\text{ф}}$ по формуле (11.11) с учетом (11.13), а также расстояние L_i от рассматриваемого водопропускного сооружения до моста через главное русло согласно п. 6.

в) Вычисляют максимальный подпор $z_{\max}$ по формуле (10.66). При этом коэффициент сопротивления моста через главное русло ζ определяют по формуле (10.67) или по графику (рис. 10.12) с учетом того, что при определении параметра β по формуле (10.62) ширину долины, примыкающей к мосту через главное русло, принимают как

$$\Sigma B_{\text{п}i} = B_{\text{пб}} + B_{\text{пм}} - \Sigma B_{\text{ппр}i}. \qquad (11.14)$$

г) По графику (см. рис. 10.13) получают $z_{0i}/z_{\max} = f\left(\frac{l_i}{B_{\text{ф}}}\right)$, а затем перепад уровня у насыпи для i-го сооружения z_{0i}

д) Определяют среднюю скорость $V_{\text{пр}}$ под пойменным мостом по формуле (11.7), а затем расход $Q_{\text{пр}}$ по формуле (11.6). Сопоставляют полученный расход с назначенным. При несовпадении (с точностью до 5%) расчет повторяют.

В следующих итерациях при $Q_{\text{пр}}/Q_{\text{м}} < 5\%$ параметры потока $v_{\text{м}}$ и $z_{\max}$ можно принимать из предыдущих расчетов.

9. В случае, предусмотренном п. 1б, водопропускную способность пойменного моста с размываемым руслом подбирают в последовательности, указанной в п. 8, но расчет начинают с назначения средней глубины потока под пойменным мостом после размыва $H_{\text{пр п/р}}$. Эта глубина соответствует скорости $v_{\text{пр}}$, при ко-

торой стабилизируется размыв*, т. е. $v_{пр} = v_0$, где v_0—неразмывающая скорость для подстилающего водоток грунта и глубине $H_{пр\ п/р}$. Неразмывающие скорости определяют согласно п. 10.3.

Для подобранного расхода воды $Q_{пр}$ уточнение глубины потока под пойменным мостом после размыва с учетом времени прохождения паводка производится по соответствующим формулам п. 10.4.

При расчете по указанным формулам в качестве ширины разлива $L_{разл}$, примыкающей к пойменному мосту, можно принимать $B_{ппр}$. Полученные по формулам п. 10.4 глубины потока после размыва с учетом фактора времени не должны превышать $H_{пр\ п/р}$. После получения расчетной глубины потока под пойменным мостом расход $Q_{пр}$ не корректируют.

10. В случае, предусмотренном п. 1в, следует подбирать пропускную способность двух близких по величине отверстий. Расчет производят в последовательности, указанной в п. 8. Особенность состоит в том, что скорости потока под двумя мостами определяют детально по формуле (10.65) с учетом русловых деформаций и фактора времени.

В зависимости от расположения мостов относительно друг друга и величины зоны примыкания поймы к одному из сооружений максимальный перепад уровней может оказаться на малой пойме, между мостами и т. д.

Если имеется естественный водораздел между водотоками переливаемый в расчетный паводок, то следует стремиться назначить такие отверстия, при которых граница зон, примыкающих к мостам, проходила бы по этому водоразделу.

11. При расчете групповых отверстий, включающих более двух водопропускных сооружений, которые пропускают в паводок более 1% расчетного расхода, задача подбора отверстий усложняется. Поэтому расчет желательно выполнять с использованием ЭВМ по приведенному алгоритму. Более точное и детальное решение задачи возможно в процессе научных проработок проектных решений (см. гл. 6).

12. При расчете групповых отверстий следует обратить внимание на возможность несовпадения прохода в один год расчетных вероятностей паводков на двух водотоках с сообщающимися между собой бассейнами. Такие случаи могут иметь место особенно в регионах, в которых преобладают ливневые паводки. Поэтому подробный анализ исходной гидрометеорологической информации может позволить снизить суммарные (для двух водотоков) расчетные гидрологические воздействия.

11.3. Отверстия при переменном подпоре

1. Мостовые переходы, расположенные в зоне переменного подпора паводка другой реки или от ветрового нагона, рассчиты-

---

* Рассматривается наиболее характерный случай работы пойменного отверстия при дефиците наносов.

вают на пропуск собственных паводочных расходов воды и проверяют на пропуск расходов, проходящих в отверстии моста вследствие подпора со стороны его источника.

К случаю расчета отверстий при переменном подпоре относится заполнение на стадии подъема паводка, а затем опорожнение замкнутой зоны аккумуляции (пазухи) через рассчитываемое отверстие.

Размеры отверстия моста и высоту земполотна на подходах принимают для наиболее напряженных условий работы перехода при наибольших скоростях течения и наибольшем уровне воды.

В условиях подпора на мостовых переходах возможны два принципиальных случая:

а) меженный расход пренебрежимо мал, а зона аккумуляции заполняется только через рассчитываемое отверстие при подъеме уровня воды в реке, которая подпирает мост с его нижнего бьефа;

б) зона аккумуляции заполняется за счет прохода паводка по пересекаемому водотоку, расхода воды, проходящего в отверстие моста от паводка другой реки (или ветрового нагона), перелива через борта пазухи и др.

2. Для расчета отверстий при переменном подпоре необходимы следующие исходные данные:

план акватории подпора в горизонталях (рис. 11.2, *а*);

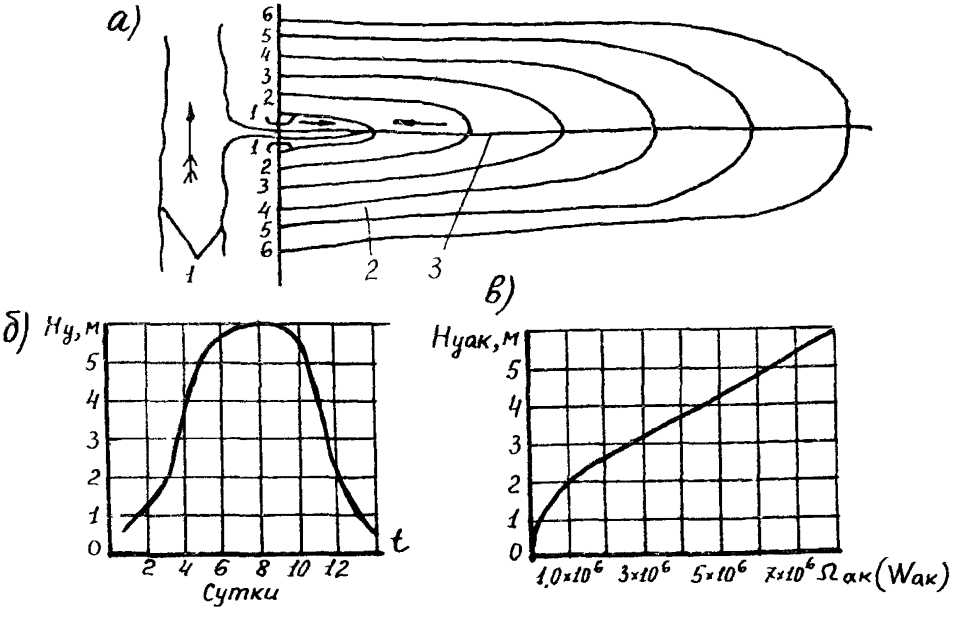


Рис. 11.2. Исходные материалы для расчета отверстий при переменном подборе: *а*—план затапливаемой акватории в горизонталях; *б*—график колебания уровня воды на источнике подпора; *в*—график изменения площади водного зеркала $\Omega_{ак}$ или объемов воды $W_{ак}$ в зоне аккумуляции в зависимости от уровня воды $H_{уак}$ перед мостом: *1*—подпирающая река; *2*—зона аккумуляции; *3*—водоток, пересекаемый трассой

график колебания уровня воды на источнике подпора $H_у = f(t)$ для фаз подъема и спада (рис. 11.2, *б*); то же для пересекаемого водотока;

график изменения площади водного зеркала $\Omega_{ак}$ (или непосредственно объемов воды $W_{ак}$) в зоне аккумуляции перед мостом в зависимости от уровня воды $\Omega_{ак} = f(H_у)$ (рис. 11.2, *в*);

гидрограф паводка $Q = f(t)$ на пересекаемом водотоке с увязкой календарного времени прохождения паводков на реках;

связь расходов воды боковой приточности с уровнем в зоне аккумуляции.

3. Расчет отверстия моста сводится к определению для назначенного варианта отверстия перепада уровней z воды между верхним и нижним бьефами моста, по которому находят скорость потока в отверстии и затем деформации подмостового сечения.

С увеличением отверстия снижение перепада z происходит за счет более интенсивного заполнения (в случае 1а) или опорожнения (в случае 1б) зоны аккумуляции. Соответственно наиболее напряженными условиями работы перехода будут:

для случая 1а—фаза подъема паводка от подпирающей реки при заполнении зоны аккумуляции;

для случая 1б—опорожнение зоны аккумуляции на фазе спада паводка.

Задаваясь несколькими вариантами отверстий, можно подобрать такое, при котором обеспечивается минимум строительных затрат на возведение мостового перехода в целом (с учетом стоимости пролетных строений, фундирования опор, укрепления конусов моста, подходных насыпей).

4. В случае, предусмотренном в п. 1а, проверку гидравлической работы варианта моста проводят в такой последовательности:

а) задают по графику (см. рис. 11.2, *а*) колебания уровней на источнике подпора небольшой подъем уровня (начинать надо с $H_{у1} = 10—20$ см, при котором происходит поступление воды под мост, и соответствующее ему время Δt_1;

б) для перепада $z = H_{у1}$ по формуле (11.6) определяют скорость потока под мостом v;

в) для полученной скорости v и глубины потока под мостом до размыва $H = H_{бм} + \Delta H_{у1}/2$ определяют глубину потока после размыва $H_{пр}$ за время Δt (в сутках) под мостом отверстием $L_м$ по формулам (где $H_{бм}$—средняя глубина потока под мостом до поступления в него воды со стороны источника подпора):

при несвязных грунтах средней крупностью частиц d

$$H_{пр} = \left[1 + 1{,}28 \cdot 10^3 \left(\frac{d}{H}\right)^{2/3} \left(\frac{v}{v_0}\right)^3 (v — v_0) \frac{\Delta t}{L_м}\right]^{12/17}; \quad (11.15)$$

при связных грунтах

$$H_{пр} = \left(1 + 4{,}3 \frac{v^3 \Delta t}{gH^2} \sqrt{1 — v/v_0}\right)^{1/2}; \quad (11.16)$$

г) определяют объем воды, поступивший через мост в зону аккумуляции за время Δt

$$W_{\text{ак}} = L_{\text{м}} v \Delta t \frac{H + H_{\text{пр}}}{2}; \qquad (11.17)$$

д) по графику $H_{\text{уак}} = f(W_{\text{ак}})$ (см рис. 11.2, *в*) снимают уровень воды $H_{\text{уак1}}$ в зоне аккумуляции после ее заполнения в течение Δt;

е) задают по графику (см. рис. 11.2, *а*) следующие подъемы уровней ΔH_{yi} и соответствующие им диапазоны времени Δt_i, для которых согласно пп. б—д определяют уровни $H_{\text{уак}i}$ в зоне аккумуляции, перепады z_i, а затем скорости v_i и глубины $H_{\text{пр}i}$ потока под мостом для каждого отрезка времени Δt_i, пока перепад уровней не будет равен (близок) нулю.

На втором ($i=2$) и последующих этапах расчета пользуются приведенными выше формулами. При этом принимают:

глубину потока под мостом до размыва

$$H_i = H_{\text{пр}(i-1)} + \frac{\Delta H_{yi}}{2}; \qquad (11.18)$$

перепад уровней

$$z_i = \sum^{i} \Delta H_{yi} - H_{\text{уак}\,(i-1)}$$

Расчет размывов подмостовых сечений производят для мостов с размываемым руслом по приведенным формулам, сопоставляя результаты расчета с формулами (10.26) или (10.27)—см. конец п. 12 в п. 10.4.

5. В случае, предусмотренном п. 1б, проверку гидравлической работы варианта моста проводят в той же последовательности, что и в п. 4, но для условий начала опорожнения зоны аккумуляции. При этом для определения уровня воды $H_{\text{уак}i}$ в зоне аккумуляции из общего объема воды в этой зоне вычитают объем опорожнения $W_{\text{ак}i}$ за время Δt_i (см. рис. 11.2, *в*).

6. По проведенным расчетам гидравлической работы вариантов моста выявляют интенсивность заполнения или опорожнения зоны аккумуляции, возможные русловые деформации подмостовых сечений и скорости потока под мостом. При этим и другим данным (имеющим специфику для конкретных условий) принимают решение о размерах отверстия и мероприятиях для обеспечения надежной работы мостового перехода.

Для случаев, когда определяющими являются русловые деформации, при назначении серии пропускаемых паводков следует пользоваться рекомендациями п. 11 в п. 10.4 с учетом отсутствия (дефицита) данных наносов, поступающих к подмостовому сечению.

7. Если собственный паводок на подпираемой реке проходит под мостом по мощному ледяному покрову подпертой воды от реки или водохранилища, отверстие моста (и бровку земляного полотна) проверяют на пропуск расчетного расхода, принимая поверхность льда за неразмываемое русло.

8 При переходах в устьевых участках рек, являющихся нижними бьефами водохранилищ, необходимо выяснить, как изменились уровни воды в нижнем бьефе по сравнению с бытовыми в различные фазы гидрологического режима

Если расчетный уровень реки, на который проектируется мостовой переход, сопрягается с пониженным против бытового уровнем нижнего бьефа водохранилища (что наблюдается при прохождении паводков на притоке во время накопления воды в водохранилище), то в устьевом и прилегающем к нему участках свободная поверхность паводочного потока будет иметь вид кривой спада Скорость течения на этом участке реки станет больше бытовой, и размыв будет происходить активнее, чем в бытовых условиях

11 4 Расчеты отверстий и регуляционных сооружений мостовых переходов на горных реках, конусах выноса и селевых потоках

1 При пересечении реки в горном ущелье проектируемый мост по возможности должен перекрывать русло одним пролетом, а опоры располагаться за пределами уровня высоких вод, желательно на коренных породах В этом случае гидрологические расчеты ограничивают определением бытового уровня расчетной вероятности превышения

Если фундаменты опор моста, защитных и подпорных стенок располагаются не на коренных породах, то при заложении их учитывают возможность бытового размыва русла

Если перекрытие потока одним пролетом невозможно и необходимо некоторое стеснение потока, то желательно устройство массивных направляющих стенок или дамб, плавно подводящих поток к отверстию

В этом случае уровень под мостом определяют построением кривой свободной поверхности на участке стеснения [51]

Общий размыв под мостом и местный размыв определяют согласно указаниям гл 10

При косом пересечении водотока и значительном поперечном уклоне поверхности воды отметки уровней у устоев моста будут сильно различаться, что необходимо учитывать при проектировании подходов и регуляционных сооружений

2 На блуждающих реках без определенно выраженного главного русла для ориентировочных соображений при сопоставлении вариантов переходов отверстие моста принимают равным

$$L_м = (1{,}5 \div 2{,}5)\ B_{уст}, \qquad (11\ 19)$$

где $B_{уст}$ —ширина устойчивого русла, определяемая по формуле С Т Алтунина

$$B_{уст} = A\sqrt{Q_{рус}}/i^{0,2}; \qquad (11\ 20)$$

$Q_{рус}$ —руслоформирующий расход вероятностью превышения 5%, i—продольный уклон, коэффициент А принимают по табл 11 1

В формуле (11 19) нижний предел принимают для больших рек с малыми уклонами, верхний—для бурных горных рек

При проектировании переходов через блуждающие реки расчеты размывов под мостами рекомендуется производить в соответствии с п 9 7 и гл 10

Таблица 11.1

Характеристика участка реки	Грунт, подстилающий русло	Коэффициент A
Горный	Булыжник и крупная галька	0,7—0,9
Предгорный	Галька, гравий, песок	0,9—1,0
Равнинный	Мелкий гравий, крупный песок	1,0—1,1
	Мелкий песок, супесь	1,3—1,7

Определение рационального отверстия моста производят на основании сопоставления вариантов с различными отверстиями мостов и соответствующими им схемами регуляционных сооружений.

3. При пересечении рек с блуждающим руслом и небольшой зоной блуждания регуляционные сооружения устраивают обычно в виде массивных струенаправляющих дамб, перекрывающих зону блуждания до коренных берегов (рис. 11.3). Части дамб, примыкающие к мосту, устраивают криволинейными, а верховые участки, примыкающие к берегам, прямолинейными.

Отметки уровней воды под мостом и на протяжении дамб определяют по нескольким сечениям построением кривой свободной поверхности по уравнению неравномерного движения.

В простейших случаях расчетный уровень можно определять по формулам равномерного режима.

4. При большой ширине зоны блуждания, когда устройство регуляционных сооружений (см. рис. 11.3) вызывает крупные затраты, возможно устройство коротких дамб грушевидной формы с усилением подходной насыпи (рис. 11.4).

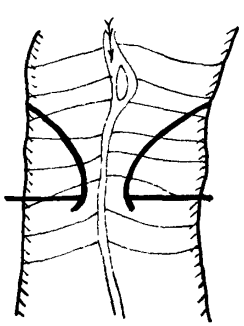


Рис. 11 3. Струенаправляющие дамбы, перекрывающие зону блуждания

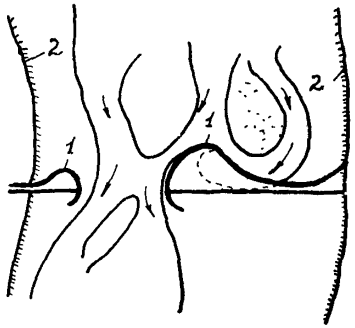


Рис. 11 4. Короткие струенаправляющие дамбы:
1—грушевидные дамбы, *2*—границы зоны блуждания

Следует учитывать, что при коротких дамбах образуются большие местные размывы, поэтому предусматривают мощное укрепление подошв земляного полотна и дамб Решение принимают на основании сравнения вариантов длинных и коротких дамб.

Регулирование также возможно с помощью серии массивных или сквозных шпор [90], направляющих русловые потоки в подмостовое русло (рис 11.5) Размеры и компоновку назначают по детальному плану так, чтобы исключить возможность прорыва основного потока к насыпи. Если часть расхода будет притекать к насыпи и накапливаться до отметки, равной отметке голов струенаправляющих дамб, это необходимо учитывать при назначении высоты насыпи и дамб, а также предусматривать отвод воды из пазухи.

Регулирование потока шпорами с усилением подходов возможно по схеме, показанной на рис 11.6 Подходная насыпь со стороны низкого берега пересекает зону блуждания косо, являясь несовершенной струенаправляющей дамбой: для защиты насыпи от размыва продольными течениями устраивают траверсы и укрепление верхового откоса земляного полотна.

5. При пересечениях конусов выноса в ряде случаев затруднительно установить отметки бытовых расчетных уровней в районе проектируемых сооружений В этих случаях и при отсутствии на местности меток прошедших паводков бытовые расчетные уровни устанавливают следующим приближенным способом.

На ширине $B_{уст}$ в пределах намечаемого отверстия моста, условно ограниченной вертикальными линиями (рис. 11.7), строят кривую $Q=f(H)$ и считают, что в этих пределах протекает расход $Q^1=\zeta Q_{р\%}$, где ξ—коэффициент растекания потока на конусе выноса, принимаемый равным от 0,8 до 1,0 в зависимости от рассто-

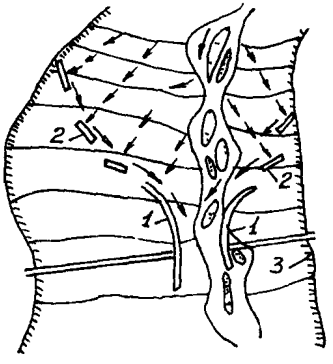


Рис 11 5 Регулирование потока дамбами и шпорами
1—дамбы, *2*—шпоры *3*—границы зоны блуждания

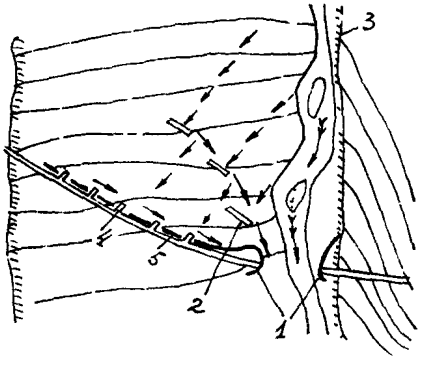


Рис 11 6 Регулирование потока шпорами с усилением подходов
1—дамбы замкнутого контура *2*—шпоры *3*—границы зоны блуждания, *4*—траверсы *5*— силение подхода

яния перехода до вершины конуса ($\xi=1$ принимают для створа в вершине конуса, а также при регулировании потока по схеме рис 11.8).

По кривой $Q=f(H)$ находят фиктивную среднюю глубину $H_ф$, соответствующую расходу $Q'=\xi Q_{p\%}$. Для вертикали с этой глубиной определяют по формулам п. 10.4 глубину потока после размыва русла $H_{пр}$ для намечаемого отверстия моста

Считая, что уровень воды под мостом после размыва понизится, глубину воды $H_р$ при расчетном уровне $УВВ_{p\%}$ над средней линией бытового дна ориентировочно определяют по формуле (см. рис. 11 7)

$$H_р \approx 1{,}5H_ф - 0{,}5H_{пр}. \qquad (11.21)$$

Эта глубина возможна в любой точке в пределах конуса выноса и является расчетной для назначения высоты регуляционных дамб и насыпи в пределах конуса выноса.

6. При расположении моста на конусе выноса, имеющем продольный профиль, подобный изображенному на рис. 11.9, следует считаться с возможностью изменения профиля за счет бытового размыва. Для приближенной оценки этого явления на продольном профиле графически подбирают параболическую кривую или проводят прямую в виде хорды, стягивающей выпуклость конуса. Величину Δh учитывают при назначении запаса в заложении фундаментов относительно глубины максимального размыва. При этом учитывают характер изменения крупности отложений по продольному профилю конуса. Если в створах ниже оси перехода присутствуют более крупные фракции, то разработка параболического профиля маловероятна.

На конусе выноса рекомендуется устраивать одно водопропускное отверстие. Наилучшим решением является устройство укрепленных дамб (валов) от оси перехода до горловины ущелья с перехватом всего объема паводочного стока (см. рис. 11.8).

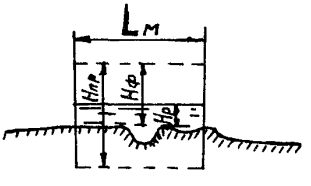


Рис 11 7 Схема к определению бытовой глубины на конусах выноса ($L_м=B_{уст}$)

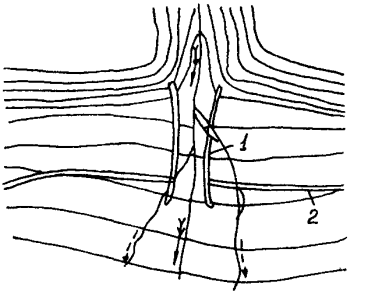


Рис 11 8 Схема струенаправляющих дамб на переходе через конус выноса

1—дамбы, *2*—трасса перехода

Уровни воды под мостом и в обвалованном русле определяют построением кривой свободной поверхности. Причем в случае относительно равномерного уклона построение возможно по формулам равномерного движения.

7. При значительном удалении перехода от горловины ущелья стоимость дамб может превысить стоимость моста; в этом случае компоновку перехода можно осуществить по рис. 11.10.

Мостовой переход трассируют по кривой с углом поворота бóльшим, чем угол образующей конуса. Таким образом, перехват всего стока осуществляется подходными насыпями, которые должны быть надежно укреплены с устройством траверсов. Основной поток регулируют шпорами.

При значительном отдалении перехода от вершины конуса возможно комбинированное решение: поток регулируется по рис. 11.10, но в вершине конуса устраивают оградительные дамбы, уменьшающие зону растекания потока (см. рис. 11.8).

8. При больших размерах конуса иногда необходимо устройство двух и более отверстий. Тогда для каждого отверстия осуществляют регулирование по комбинированному типу, изложенному выше. При двух отверстиях каждое из них рассчитывают на 75% расчетного расхода, если не возводятся специальные сооружения в верховой части конуса, разграничивающие расход между сооружениями. При трех и более отверстиях каждое из них рассчитывают не менее чем на 50% расчетного расхода.

Если дорога пересекает конус, образованный выносами нескольких водотоков, возможно размещение нескольких водопропускных сооружений. Трассу намечают по нижней границе конуса, где количество отложений незначительно. Расчетный расход опре-

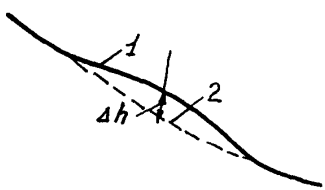


Рис. 11 9 Схема продольного профиля селевого лога на конусе выноса.

1—продольный профиль конуса, *2*—возможное очертание профиля после бытового размыва

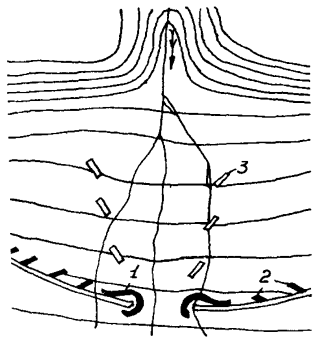


Рис 11 10 Схема регулирования потока на конусе выноса·

1—дамбы, *2*—траверсы, *3*—шпоры

деляют для каждого водотока и суммарный для всех водотоков. Бо́льшие отверстия намечают на наиболее выраженных руслах, в промежутках—малые сооружения (мосты, лотки); для разграничения расхода между сооружениями устраивают водоразделительные дамбы.

9. При переходах через селевые водотоки возможны перечисленные выше случаи пересечения и компоновки сооружений, но при этом:

а) должна быть обеспечена незаносимость сооружений;

б) подмостовой габарит, высота дамб и земляного полотна назначают с учетом возможного повышения уровней воды вследствие отложений за время эксплуатации сооружений.

На протяжении регулируемого участка не должно быть переломов продольного профиля и уменьшения уклона. Средние скорости течения v(м/с) в подходном и выходном руслах, а также и под мостом при высоких и низких паводках должны удовлетворять условию

$$v > 3{,}83 d^{1/3} H^{1/6},$$

где d—средний диаметр донных наносов, принимаемый для низких паводков по наиболее мелкой фракции, а для высоких—по наиболее крупной фракции в смеси аллювиального грунта, м; H—средняя глубина воды при высоком или низком паводках, м.

10. Ширину селевого потока (м) при расчетном селевом расходе Q_c (м/с) (см. гл. 7) определяют [22] по формуле

$$B_c = \frac{7{,}1 Q_c^{0,4}}{i^{0,23} \psi_Q^{0,062}}, \qquad (11.22)$$

где i—продольный уклон на участке створа, ‰; ψ_Q—коэффициент селенасыщенности (см. гл. 7).

Среднюю скорость потока (м/с) и среднюю его глубину (м) определяют в зависимости от характера движения селевого потока:

а) для условий равномерного движения

$$v_{ср} = \frac{0{,}56 Q_c^{0,2} i^{0,3}}{\psi_Q^{0,185}}; \qquad (11.23)$$

$$H_{ср} = \frac{0{,}215 Q_c^{0,4}}{i^{0,067}} \psi_Q^{0,247}; \qquad (11.24)$$

б) для условий переходного режима

$$v_{ср} = 2{,}14 \left(\frac{Q_c}{\alpha B_c}\right)^{0,33}; \qquad (11.25)$$

$$H_{ср} = 0{,}466 \left(\frac{Q_c}{B_c}\right)^{0,67} \alpha^{0,33}, \qquad (11.26)$$

где α—корректив скорости, определяемый в зависимости от коэффициента Шези С (который принимают при $n = 0{,}2$):

Коэффициент Шези C . . .	5	7	10	15	20
Корректив скорости α . . .	1,90	1,74	1,63	1,51	1,43

в) для ламинарного режима

$$v_{ср} = 0{,}10\left(\frac{Q_c}{B_c}\right)^{0{,}67} i^{0{,}33}, \qquad (11.27)$$

$$H_{ср} = 10\left(\frac{Q_c}{B_c i}\right)^{0{,}33}. \qquad (11.28)$$

Для каждого из возможных режимов проверяют условие

$$Q_c \approx B_c H_{ср} v_{ср} .$$

Ориентировочно принимают, что режимы а) и б) возможны при коэффициенте селенасыщенности $\psi_Q < 4$, а при $\psi_Q > 4$—режимы б) и в).

11. В узких ущельях, ширина которых по дну меньше расчетной ширины селевого потока B_c, глубину потока определяют последовательным набором необходимой площади

$$\omega_н = H_{ср} B_c \left(\frac{R}{H_{ср}}\right)^{0{,}9}, \qquad (11\ 29)$$

где R—гидравлический радиус, соответствующий задаваемому уровню

В этом случае средняя скорость потока должна удовлетворять условию:

$$v_{ср} = 3{,}14\sqrt{H_{ср}/\alpha} \geqslant \left(\frac{Q_c}{\omega_н}\right). \qquad (11.30)$$

Створ мостового перехода через селевые водотоки не должен располагаться вблизи от крутых поворотов русла. Если выбранный створ перехода является более стесненным по сравнению с примыкающими участками русла, то в отдельных случаях подобрать необходимую площадь по формуле (11.29) оказывается невозможным. Это свидетельствует о потенциальной возможности образования в данном створе селевого затора. В этом случае следует перенести створ перехода или произвести необходимую срезку бортов ущелья.

Максимальную глубину селевого потока принимают равной

$$h_{max} \approx 1{,}5 H_{ср} . \qquad (11.31)$$

Эту величину отсчитывают от наинизшей точки расчетного створа, но полученная таким образом отметка не может быть меньше среднего уровня потока.

Максимальная поверхностная скорость равна

$$v_{max} \approx 1{,}8 v_{ср} . \qquad (11.32)$$

К полученному уровню или средней глубине потока прибавляют высоту волны

$$h_в = 0{,}05 \alpha v_{ср}^2 \leqslant \frac{H_{ср}}{2} . \qquad (11.33)$$

12. При назначении запаса в возвышении низа конструкции над максимальным уровнем по оси перехода должны учитывать:

а) уклон лога на половине ширины пролетного строения;

б) размеры наиболее крупных валунов, вынесенных на данном водотоке в нижележащие створы.

В качестве расчетных, как правило, принимают большие значения H и v, определенные при двух режимах: а) и б) или б) и в)

Среднюю и максимальную глубину потока после размыва определяют по формуле

$$h_{\text{р}} = \frac{0{,}76}{}\left(\frac{q}{\sqrt{g}}\right)^{0{,}8}, \qquad (11.34)$$

где q—соответственно средний или максимальный удельные расходы $q_{\text{с}} = H_{\text{ср}}v_{\text{ср}}$ или $q_{\max} = 1{,}85H_{\text{ср}}v_{\text{ср}}$, определенные при одном наиболее неблагоприятном режиме.

При коэффициенте селенасыщенности $\psi_Q > 4$ глубинного размыва, как правило, не происходит за исключением случаев, показанных на рис. 11.9.

Отверстия мостов через селевые водотоки должны перекрывать поверхность потока при расчетном уровне без стеснения. Мосты, как правило, должны быть однопролетными. Если выполнение этого условия невозможно или явно неэкономично, величина пролета в свету должна быть не меньше $(1{,}1 \div 1{,}2)\ B_{\text{с}}$.

13. Если ось перехода расположена в устье селевого водотока вблизи от резкого перелома продольного профиля лога, то неизбежны отложения наносов непосредственно в отверстии моста и периодическая расчистка при эксплуатации.

Отверстие моста в этом случае рассчитывают с учетом высоты отложений одного расчетного паводка.

Объем выносов определяют в соответствии с указаниями гл. 7. Высоту отложений определяют построением кривых $W_{\text{с}} = f(H)$ при схематизации формы тела отложений по рис. 11.11. Ширину отложений поверху можно принимать равной $B_{\text{с}}$ по формуле (11.22). Уклон боковых поверхностей определяют по натурным замерам, а при отсутствии замеров принимают 1 : 3.

Если мостовой переход через реку, протекающую в узком ущелье, располагается вблизи от устья значительного селевого притока, то возможно полное перекрытие реки боковыми выносами. Возможность такого явления устанавливают по сведениям о происшедших завалах. Также оценивают вероятность прохождения максимального селевого паводка на притоке в период, когда в основной реке проходят незначительные расходы. Прибли-

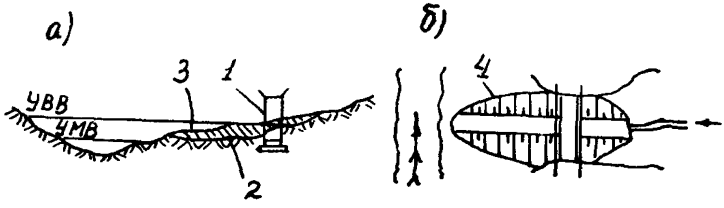


Рис. 11.11. Определение объема выноса

а—продольный профиль лога в устье, *б*—план, *1*—мост, *2*—дно до выноса, *3*—то же, после выноса, *4*—тело выноса

женные расчеты высоты завала выполняют по способу, изложенному ниже

14. Высоту отложений селевых потоков в подмостовом отверстии за 50 лет определяют [22] приближенно:

$$h_{\text{тм}} = h_{\text{т}} \frac{B}{L_{\text{м}}} \left(1 - \frac{B_{\text{уст}}}{L_{\text{м}}} \frac{\text{А}_{50}}{\text{Б}_{50}}\right), \qquad (11.35)$$

где $L_{\text{м}}$—отверстие моста в свету, $B_{\text{уст}}$—ширина устойчивого русла (см формулу 11 20), Б_{50}—коэффициент, зависящий от коэффициента вариации максимальных расходов (определяется по табл 11 2), А_{50}—отношение суммы модульных коэффициентов твердого стока всех паводков за 50 лет к объему твердого стока паводка вероятностью превышения $p=2\%$, определяют по табл 11 2, B—ширина зоны блуждания

Среднюю высоту отложений за 50 лет определяют по формуле

$$h_{\text{т}} = \text{А}_{50} \frac{W_{\text{к}} k_{\text{пр}}}{Bl}, \qquad (11\,36)$$

где l—длина участка отложений, $W_{\text{к}}$—объем отложений на участке l, определенный по формуле (11 37), $k_{\text{пр}}$—приведенный коэффициент, определяемый в табличной формуле по рис 11 12

Таблица 11 2

C_v	C_s	А_{50}	Б_{50}
0,4	1,6	6,40	5,32
0,8	3,2	5,11	4,06
1,2	4,8	4,26	3,32

Объем отложений на всем протяжении продольного профиля селевого водотока от конца транзитной зоны до расчетного створа определяют по формуле

$$W_{\text{к}} = W_{\text{т}} - W_{\text{р}}, \qquad (11\,37)$$

где $W_{\text{т}}$—объем твердого стока за один расчетный паводок, определяемый согласно указаниям гл 7, $W_{\text{р}}$—часть объема твердого стока расчетного паводка, которая выносится за пределы створа, определяют по формуле

$$W_{\text{р}} = 50 \frac{W_0}{\text{А}_{50}} \frac{\Sigma F_{\text{р}} z_{\text{р}}}{\Sigma F_{\text{н}} z_{\text{н}}}, \qquad (11.38)$$

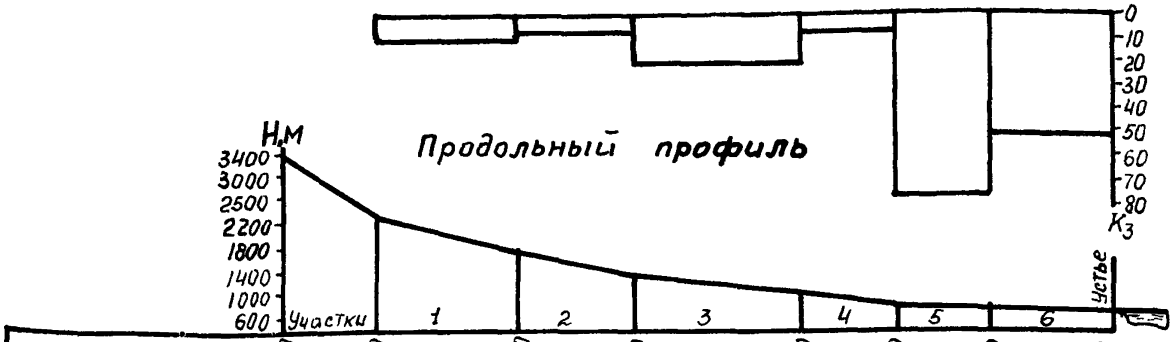
W_0—среднегодовой сток наносов в нижележащем створе, где имеются наблюдения, $F_{\text{р}}$, $F_{\text{н}}$—площади селеобразующих очагов в расчетном и нижележащем створах, $z_{\text{р}}$, $z_{\text{н}}$—соответственно удельные коэффициенты селеактивности, принимаемые по соответствующим таблицам в главе 7

При отсутствии данных о стоке наносов и суммарной площади селеобразующих очагов принимают

$$W_{\text{р}} = k W_{\text{т}} \qquad (11.39)$$

Коэффициент k равен 0,75 для конусов выноса, имеющих в своей нижней части выпуклую форму, если подошва конуса непосредственно подмывается поводковыми водами долинной реки;

Эпюра интенсивности отложений



Отметки, м	3450	2350	1650	1250	1000	800	750	710	
Расстояния ℓ, км		6	5	7	4	4	5		$\Sigma l/n = 31/6 = 5{,}15$
Уклон i	0 275	0.117	0 080	0 0357	0.050	0.0125	0.008		
Условная транспортирующая способность $i^{3/4}$	0 3797	0.2006	0 1504	0.08373	0.1057	0.03702	0.02675		
$K_1 = 1/i^{3/4}$	2.63	4,99	6.65	11,95	9 46	27 90	37,40		
$K_2 = i^{3/4}_{n+1} / i^{3/4}_{n}$		1.9	1,33	1.8	0.79	285	1.38		
Интенсивность отложений $K_3 = K_1 + K_2$	—	9,5	8,9	21.5	1.5	77.1	51.6		
$K_4 = \ell \cdot \Sigma\ell/n = \ell n/\Sigma\ell$	—	1 16	0.97	1.36	0 77	0.77	0.97		
$K_5 = K_3 \times K_4$	—	11.1	8.6	29.4	5 8	59.4	50.2		$\Sigma K_5 = 164.5$
Приведенный коэффициент $K_4 = K_5 / \Sigma K_5$	—	0.067	0.052	0.177	0 035	0 364	0,305		
Объем отложений на участке $W_k \cdot K_{пр}$									

Рис 11 12 Пример определения высоты отложений наносов

k=0,5 для конусов выноса вогнутой формы; k=0,3, если конус выноса заканчивается на террасе долинной реки и в пределах террасы отсутствует явно выраженное русло.

11.5. Особенности проектирования мостов на водотоках с наледями

1. На водотоках с наледями мосты должны быть запроектированы так, чтобы наледи не оказывали на них вредных воздействий и не создавали затруднений при эксплуатации в течение всего срока службы. Это достигается применением рациональных типов и размеров сооружений, максимальным сохранением на переходе природных условий, строительством противоналедных сооружений и проведением необходимых мероприятий при эксплуатации.

2. Мосты на водотоках с наледями должны проектировать, как правило, по принципу свободного пропуска наледей через створ мостового перехода. При свободном пропуске наледеобразующая вода свободно стекает через отверстие моста в низовую сторону, постепенно наращивая мощность наледного льда под мостом.

3. Отверстие мостов на водотоках с наледями назначают по расчету на пропуск паводковых вод по поверхности наледного льда, но во всех случаях должно быть не менее пятикратной высоты наледи. При расчете отверстия не учитывают размыв и срезку грунта.

При составлении схемы моста следует учитывать рекомендации п. 4 в п. 10.2.

4. Возвышение низа пролетных строений, кроме требований п. 1.23 СНиП 2.05.03—84, должно обеспечивать свободный пропуск наледообразующей воды и весеннего паводка по поверхности наледи. Это требование обеспечивается условием

$$H_{\text{г}} \geqslant z_{\text{нр}} + H_{\text{в}} + \Delta h_{\text{с}}, \qquad (11.40)$$

где $H_{\text{г}}$—высота подмостового габарита от уровня ледостава до низа пролетных строений; $z_{\text{нр}}$—наибольшая расчетная мощность наледи, которую определяют по данным изысканий и специальной методике [10, 63]; $H_{\text{в}}$—высота, необходимая для пропуска по наледи расчетного расхода весенних вод; $\Delta h_{\text{с}}$—возвышение низа пролетных строений над уровнем воды при максимальном весеннем расходе, принимают по п. 1 23 СНиП 2.05 03—84.

5. Применяемые при проектировании типы мостовых опор не должны вносить больших нарушений в естественный водно-тепловой режим водотоков и не вызывать активизации наледного процесса.

Рациональными типами опор мостов на водотоках с наледями являются свайные и столбчатые диаметром до 1 м.

Сваи и столбы могут быть вертикальными и наклонными. Последние целесообразно применять при опасности морозного пучения.

При проектировании на водотоках с наледями массивных опор рекомендуется фундаменты делать на высоком ростверке, чтобы уменьшить стеснение подруслового фильтрационного потока.

6. Пойменные насыпи подходов к мосту рекомендуется отсыпать из дренирующих грунтов. Бровка земляного полотна подходов должна возвышаться над уровнем наледи наибольшей мощности не менее 0,5 м.

Если насыпи подходов на наледном участке возводят из недренирующих грунтов, необходимо предусматривать устройство с верховой стороны бермы и укрепление ее откоса.

7. На непромерзающих до дна реках, если ледоход начинается одновременно с паводком, нормативную ледовую нагрузку при расчете опор необходимо принимать с учетом образования наледей. При этом к расчетной толщине речного льда добавляют среднюю по наледной поляне мощность наледи, умноженную на коэффициент 0,8.

8. В некоторых случаях проектирование мостов на водотоках с наледями может производиться по принципам безналедного пропуска водотока или задержания наледи выше моста.

При безналедном пропуске устраивают утепленные лотки. Это целесообразно делать, когда наледь питается источником подземных вод, находящемся выше перехода на небольшом расстоянии.

При задержании наледи выше моста устраивают мерзлотные пояса, загородительные валы и заборы. Такое решение может быть целесообразным при небольшом объеме наледи и пологом логе, позволяющем осуществлять накопление льда.

Однако указанные методы требуют ежегодных трудовых и денежных затрат на содержание и ремонт противоналедных устройств.

11.6. Гидравлические расчеты при наличии карчехода

1. На реках с карчеходом для количественной оценки этого явления необходимо произвести обмер длины стволов $l_д$, радиуса корневой системы $R_к$, а также определить число карчей на единице длины реки а (в штук/м), отложившихся на поймах и отмелях выше створа перехода. К расчету принимают средние характеристики.

2. При наличии карчехода возвышение низа пролетных строений назначают согласно требованиям СНиП 2.05.03—84, а пролеты—не менее средней длины ствола $l_д$.

3. Для защиты мостовых переходов от воздействия карчехода возможно в ряде случаев применять карчезадерживающие сооружения выше створа моста. При этом на карчезадерживающем сооружении будет формироваться залом, длину которого определяют по формуле [17].

$$l_з = W_з/[n_з B_р (H_р + z_{под} + 0{,}5)], \qquad (11.41)$$

где $W_з$—прогнозируемый объем карчехода, равный

$$W_з = 3600 v_к a t_{расч} W_к; \qquad (11.42)$$

$v_к$—средняя скорость карчи за время карчехода $t_{расч}$ при расчетном паводке, определяемая в зависимости от размера карчи и удельного расхода воды [17], а в первом приближении можно принимать равной средней скорости потока в русле за указанное время; $W_к$—объем расчетной карчи, определяемый обме-

ром, время продолжительности карчехода $t_{расч}$ (в час) определяют по гидрографу расчетного паводка в пределах расходов, соответствующих началу и концу карчехода, $n_з$—коэффициент плотности залома ($n_з \approx 0{,}15$—$0{,}2$), $B_р$, $H_р$—ширина и глубина русла в расчетный паводок, $z_{под}$—подпор воды перед заломом

Прогнозируемые размеры залома позволяют оценить нагрузку на карчезадерживающее сооружение и число лет эксплуатации этих сооружений без очистки от древесины [17]

11 7 Отверстия мостов, располагаемых вблизи существующих

1 Расстояние между мостами l, на котором не сказывается их гидравлическое взаимодействие, определяют неравенством

$$l > H_{бм}\mu, \qquad (11\,43)$$

где $H_{бм}$—средняя глубина воды в бытовых условиях на части живого сечения, перекрываемой мостом, μ—коэффициент, определяемый по п 10 6 (см формулу 10 73)

2 Необходимо провести обследование существующего моста в соответствии с требованиями гл 4, обратив особое внимание на плановые деформации (уширение) и перемещения русла в районе перехода, развитие размывов подмостового русла, работу регуляционных и укрепительных сооружений Проверяют достаточность отверстия существующего моста (см гл 4)

3 При расстоянии между проектируемым и существующим мостами до 30 м их можно рассматривать совместно работающими на пропуск паводка. Исходя из этого

а) отверстие проектируемого моста нужно назначать, как правило, равным существующему и предусматривать устроиство общих для обоих мостов струенаправляющих дамб,

б) разбивку проектируемого моста на пролеты желательно принимать такой же, как и на существующем мосту;

в) при одинаковой разбивке на пролеты существующего и проектируемого мостов (т е. когда оси опор совпадают), близком расположении опор и косом набегании потока при определении глубины местного размыва и величины отверстия моста в свету в расчет, если отсутствуют результаты моделирования, с запасом необходимо включать суммарную длину опор,

г) при разных пролетах существующего и проектируемого мостов и при отсутствии специальных исследований расчет общего размыва нижерасположенного моста определяют с учетом стеснения его опорами обоих мостов

Если выполненная проверка показала недостаточность отверстия существующего моста, то необходимо рассмотреть вариант его реконструкции с увеличением отверстия

4. Если гидравлическая работа существующего и проектируемого мостов будут взаимосвязаны, то необходимо

а) при назначении величины отверстия проектируемого моста учитывать результаты проверки достаточности отверстия существующего моста,

б) размещение отверстия, назначение размеров и очертания регуляционных сооружений проектируемого моста производить с

учетом ситуационных особенностей района перехода (плановая конфигурация русла, рельеф и растительность на пойме, размещение существующего моста, его регуляционных сооружений и т. д.), а также планового расположения основных направлений течения с учетом влияния существующего моста;

в) оценивать изменения, которые вносит проектируемый мостовой переход в существующий план течения, и влияние этих изменений на работу существующего моста;

г) учитывать при расчете общего размыва подмостового русла проектируемого моста и поверочном расчете общего размыва под существующим мостом перераспределение расхода по ширине разлива по сравнению с бытовыми условиями за счет сжатия потока (при расположении рассчитываемого моста выше по течению) и его растекания (то же, но ниже по течению);

д) перед верховым мостом учитывать увеличение подпора, которое определяют согласно рекомендациям п. 10.6.

Глава 12. ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕЧЕНИЙ, ВОЛН И ЛЬДА НА СООРУЖЕНИЯ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

12 1 Параметры воздействия водного потока

1 Водные потоки вызывают размывы у оснований сооружении мостовых переходов и воздействуют на их укрепления продольными течениями

2 Наиболее опасны местные размывы Расчеты глубин местных размывов изложены в гл 10 и 14 Защита сооружений от местного размыва должна вестись в направлении не полной его ликвидации, что в подавляющих случаях нерентабельно и трудновыполнимо, а экономически обоснованного сокращения размыва, исключающего подмыв сооружения

3 Определяющим фактором при оценке необходимости защиты откосов от продольного течения (и мощности укреплении) является скорость потока v у сооружения Обычно рассматривают следующие участки дороги и элементы мостового перехода, где требуются укрепления откосов

а) в отверстии моста—у конусов устоев и струенаправляющих дамб,

б) на прижимных участках (особенно у вогнутого берега)—при воздействии руслового потока,

в) долинные хода и косое пересечение потока подходной насыпью, направленной вверх по течению—при воздействии пойменного потока

Скорость, глубину и направление продольных течений на требуемых вертикалях и участках определяют для расчетных (неблагоприятных) гидроморфологических условий

4 Гидравлические характеристики потока в отверстии моста и, в частности, на вертикали у подошвы струенаправляющих дамб определяют согласно рекомендациям п 10 4 с учетом п 14 2

5 Скорости и глубины потока на прижимных участках русел определяют согласно рекомендациям гл 9 (см пункты, посвященные меандрирующим руслам)

При закреплении вогнутого берега излучин следует учитывать размывы у подошвы укрепленного откоса, возникающие в связи с предотвращением естественного хода руслового процесса Глубина потока у закрепленного вогнутого берега может быть определена по формуле [5]

$$h_{\max}=0{,}67H_{\text{р}}\exp\left[\frac{1{,}26n}{n^{1/4}(1+m)^{1/4}}\,\frac{v_{\text{р}}}{v_0}\,\frac{r^2-r_{\text{и}}^2}{r_{\text{и}}^2}\right], \qquad (12\,1)$$

где $H_{\text{р}}$, $v_{\text{р}}$—соответственно средние глубина и скорость потока в рассматриваемом створе русла, v_0—неразмывающая скорость для подстилающего грунта русла на вертикали с глубиной $H_{\text{р}}$ (см п 10 3), n—коэффициент шероховатости укрепления, определяемый в зависимости от материала укрепления, (для плитных укреплений $n=0{,}011+0{,}015$, для каменной наброски $n=0{,}030$—

$\div 0{,}045$); $r_и$—минимальный радиус кривизны излучины (по оси русла), определяемый по формулам гл 9; $r=(r_и+B_р/2)$—то же, у вогнутого берега, м—коэффициент, принимаемый для вертикальных стенок и стенок с коэффициентом заложения откоса $m<1$, а также укреплении откосного типа без фундамента (например, каменная наброска), равный единице, для откосного типа укрепления (при $m \geqslant 1$) с вертикальной гранью фундамента м=1,2

6. При взаимодействии пойменного или руслового потока с подтопляемыми участками дорог (долинные хода) глубину потока у подошвы насыпи, стесняющей долину реки, можно определить из уравнения неравномерного установившегося движения воды в конечных разностях (см. п. 8 1). По полученному уровню воды и известному живому сечению в рассматриваемых створах возможно распределить расход по сечению (например, по уравнению Шези) и получить скорость потока у насыпи. Более подробно определение гидравлических характеристик потока у насыпи, стесняющей водоток, см. [15].

7. Среднюю скорость потока у подошвы насыпи с верховой ее стороны на i-ой вертикали можно определить из уравнения Шези (в м/с)

$$v_i=\frac{h_i^{2/3}}{n}\sqrt{i_{нi}},$$

где $h_i=h_{бi}+\Delta h_{нi}$—глубина потока (в м) на i-ой вертикали, которая складывается из глубины в естественном состоянии $h_{бi}$ и подпора $\Delta h_{нi}$, возникающего от стеснения потока насыпью, $i_{нi}$—локальный продольный уклон свободной поверхности потока вдоль насыпи, определяемый в зависимости от расстояния l_i iой вертикали до ближайшего устоя моста, местоположения вертикали (на широкой пойме шириной B или более узкой αB при $\alpha<1$) и максимального подпора Δh_{max} (табл 12 1). Максимальный подпор Δh_{max} и подпор у насыпи $\Delta h_{нi}$ на i-ой вертикали определяют согласно рекомендациям п. 10 6

8. При косом пересечении пойменного потока подходной насыпью, направленной вверх по течению от моста, среднюю скорость потока вдоль насыпи определяют также по формуле (12.2). При этом l_i и B принимают вдоль насыпи (а не по ее проекции на ширину речной долины).

9 У продольных пойменных сооружений (насыпей и дамб обваловывания) размыв у подошвы образуется при превышении средней скорости потока над неразмывающей. Глубину потока (а, следовательно, и глубину размыва) при известных скорости и глубине потока до размыва у подошвы сооружения определяют по формулам п. 10.4, как для условий при дефиците донных наносов.

При взаимодействии руслового потока с подтопляемыми участками дорог, которые стесняют сечение реки, глубины размыва у подошвы насыпи также определяют по формулам п. 10 4, но для условий беспрепятственного поступления наносов к участку расположения насыпи в русле.

12 2. Параметры ледового воздействия

1. Элементы мостового перехода должны быть устойчивы против воздействия льда Ледовые нагрузки определяют в соответствии с требованиями СНиП 2 06 04—82* [80] и СНиП 2 05.03—84 [75]

Таблица 12.1

Относительная ширина поймы α	Диапазон относительного расстояния l/B от ближайшего устоя моста	Формулы для определения уклона $i_н$ свободной поверхности вдоль насыпи (со стороны верхнего бьефа)
1	0—0,05	$7{,}2\Delta h_{max}/B$
	0,05—0,6	$0{,}48(l/B)^{0,4}\Delta h_{max}/l$
	>0,6	$0{,}0625\Delta h_{max}/B$
0,75	0—0,05	$6{,}9\Delta h_{max}/B$
	0,05—0,7	$0{,}46(l/B)^{0,4}\Delta h_{max}/l$
	>0,7	$0{,}1\Delta h_{max}/B$
0,5	0—0,05	$6{,}3\Delta h_{max}/B$
	>0,05	$0{,}42(l/B)^{0,4}\dfrac{\Delta h_{max}}{l}$
0,25	0—0,05	$5{,}6\Delta h_{max}/B$
	>0,05	$0{,}28(l/B)^{0,35}\Delta h_{max}/B$
<0,25	0—0,05	$9{,}75\alpha^{0,3}\Delta h_{max}/B$
	>0,05	$0{,}36\alpha^{0,3}(l/B)^{0,3}\Delta h_{max}/B$

Примечание Δh_{max}—максимальный подпор у насыпи со стороны широкой поймы шириной B, l—расстояние от вертикали, где определяют уклон $i_н$, до ближайшего устоя; α—отношение ширин узкой и широкой пойм.

в процессе проектирования конструкций моста, насыпей подходов, регуляционных дамб и других элементов мостового перехода. Задачей гидрометеорологических работ является определение исходных данных по ледовой обстановке для расчета указанных конструкций на ледовые воздействия.

Исходные данные по ледовой обстановке необходимо устанавливать по ряду натурных наблюдений длительностью не менее 5 лет [75]. Используют материалы Ресурсов поверхностных вод, Государственного водного кадастра (ранее—Гидрологические ежегодники), монографии, проектные и изыскательские материалы организаций, проводивших работы на исследуемом объекте ранее. При отсутствии в районе расположения сооружения наблюдений длительностью свыше 5 лет привлекают данные аналогов и косвенные методы оценки факторов ледовой обстановки. В неизученных районах исходные данные по ледовой обстановке устанавливают на основе специальных ледовых изысканий (см. п. 14).

2. Для оценки ледового воздействия на элементы мостовых переходов необходимо установить следующие характерные уровни и даты:

расчетный уровень высокого ледохода 1% обеспеченности (1% РУВЛ);

уровень высшего наблюденного ледохода (УВНЛ);

расчетный уровень высокого ледохода 10%-й обеспеченности (РУВЛ$_{10\ \%}$),

уровень низшего наблюденного ледохода (УННЛ),

уровень низкого ледохода 90%-й обеспеченности,

уровни первои подвижки льда (УППЛ) наивысший и наинизший наблюденныи 1%-й и 10%-й обеспеченности (последние два—при ежегодных подвижках и длительности ряда непрерывных наблюдений не менее 15 лет),

наинизший наблюденныи уровень зимней межени, уровень зимней межени обеспеченностью 90%,

ранняя, поздняя и средняя даты ледохода,

ранняя, поздняя и средняя даты ледостава,

даты ранней, поздней и средней первой подвижки льда

3 Элементы мостовых переходов должны воспринимать нагрузки и воздействия от движущихся ледяных полей, от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении, от зажорных и заторных масс льда, от примерзшего ледяного покрова при изменении уровня воды

Характер нагрузки определяется временем (датой) наиболее неблагоприятного воздействия льда на сооружение Так, для нагрузки от двужущегося ледяного поля принимают состояние льда, приуроченное к дате начала ледохода

Силовые воздействия льда на сооружения мостовых переходов определяются прочностью льда, характеризуемой нормативным сопротивлением сжатию R_c, изгибу R_f и смятию $R_в$

Формулы и методы СНиП 2 06 04—82* определения нагрузок применимы при толщине льда не более 1,5 м

4 При отсутствии опытных данных нормативные сопротивления льда сжатию R_c и изгибу $R_f \approx 0{,}75R_c$ определяют по СНиП 2 06 04—82* в зависимости от среднесуточной температуры воздуха t_a °С за несколько суток до воздействия льда на сооружения (при толщине льда 0,5 м и менее—за трое суток, в остальных случаях—за 6 суток)

С целью определения требуемой температуры t_a для каждого года наблюдений на опорном водомерном посту гидрометслужбы (ближайшем к створу проектируемого мостового перехода) устанавливают дату определяемого состояния льда (например, начала ледохода), а по Справочнику по климату СССР—среднесуточную температуру воздуха t_a за необходимое число дней до этой даты За расчетную величину принимают среднеарифметическое из t_a за все годы Для предварительных расчетов за величину t_a допускается принимать средние из среднесуточных температур воздуха за необходимое число дней до начала ледохода из трех характерных лет—с ранним, поздним и средним по времени наступлением ледохода

5 Для определения нормативного сопротивления сжатию необходимо определить расчетную толщину льда h_d Для речного льда величина h_d принимается равной 0,8 максимальной за зим

ний период толщине льда обеспеченностью 1% ($h_{л1\%}$). Величину $h_{л1\%}$ получают путем статистической обработки ряда максимальных наблюденных толщин льда по годам на опорной метеорологической станции. Наблюденные величины ранжируют в порядке убывания, для каждого члена определяют эмпирическую вероятность превышения P_m по формуле (7.2).

На клетчатку нормального распределения наносят полученные точки, через них проводят эмпирическую кривую распределения и экстраполируют ее до значения P_m=1%. При выполнении статистической обработки следует руководствоваться указаниями СНиП 2.01.14—83 [71]. Величину $h_{л10\%}$ определяют аналогично $h_{л1\%}$.

При отсутствии натурных данных толщину льда во время весеннего ледохода и в зимний период определяют согласно п. 7.11.

6. Для определения нагрузки от ледяных полей на элементы мостового перехода необходимо определить скорость движения ледяного поля v.

При наличии данных натурных наблюдений за скоростями движения льдин величину v следует определять непосредственно по этим данным. При отсутствии таких наблюдений допускается принимать величину v равной:

для рек—скорости течения воды при уровне движения ледяных полей (см. п. 7.11);

для водохранилищ—3% от значения скорости ветра 1%-ной обеспеченности в период движения льда, но не более 1 м/с.

7. Для определения нагрузки от движущихся ледяных полей необходимо установить расчетные размеры ледяного поля. Площадь ледяного поля А в соответствии со СНиП 2.06.04—82* определяют по натурным наблюдениям в данном или смежном пунктах. Для назначения размеров ледяных полей необходимо использовать данные единичных замеров, проводимых организациями гидрометеорологической службы и другими организациями (систематические наблюдения за размерами ледяных полей в системе водпостов Госкомгидромета пока не ведутся).

Кроме этого, следует организовать на объекте собственные наблюдения, осуществить опрос старожилов. При отсутствии возможности более обоснованного решения вопроса расчетную площадь ледяного поля для незарегулированных рек принимают равной $A=3B_р$, где $B_р$—ширина русла.

8. Для определения нагрузки от остановившегося ледяного поля необходимо определить максимальную скорость течения воды подо льдом 1%-ной обеспеченности в период ледохода v_{max} и максимальную скорость ветра обеспеченностью 1% в период ледохода $v_{W\,max}$. Величину v_{max} принимают равной средней для русла поверхностной скорости течения воды при расчетном уровне высокого ледохода (РУВЛ). При отсутствии данных наблюдений величина $v_{max}=1{,}25\ v_{ср}$, где $v_{ср}$—средняя скорость течения воды в русле при РУВЛ.

9. Значение $v_{w\max}$ получают следующим путем. Устанавливают длительность периода ледохода, т. е. периода от самой ранней даты начала ледохода до самой поздней даты конца ледохода за весь период наблюдений на опорном водомерном посту. За этот период времени по данным опорной метеостанции определяют максимальные ежегодные скорости ветра для совокупности опасных направлений. Для рек это направления, проекции которых на ось потока совпадают с направлением течения, для низовьев водохранилищ—все направления за исключением параллельных оси моста. Полученные значения максимальных ежегодных скоростей ветра подвергают статистической обработке с построением эмпирических кривых распределения и назначением $v_{w,\max 1\%}$. Переход от опорной метеостанции к водной поверхности у мостового перехода, а также выбор метода расчета ведут в соответствии с [46].

10. При наличии опасности появления в створе мостового перехода в период ледостава поддерживаемой майны или длительно незамерзающей полыньи необходимо учитывать нагрузки на элементы мостового перехода от температурного расширения ледяного поля.

Для определения этих нагрузок необходимы следующие гидрометеорологические данные (в дополнение к определенным ранее):

протяженность ледяного покрова L_m, м;

максимальная скорость повышения температуры воздуха $v_{t,a}$ за время t, град/ч;

начальная температура воздуха $t_в$, °С, от которой начинается ее повышение;

наименьшая толщина снежного покрова $h_{s\min}$, м;

средняя скорость ветра v_{wm}, м/с.

При расположении майны (полыньи) в створе перехода величину L_m принимают равной длине майны (полыньи) вдоль потока; расчет нагрузки от температурного расширения льда ведут для опор, отстоящих от края майны (полыньи) на расстояние, менее L_m; величина L_m в этом случае не должна превышать расстояния от края майны до устоя моста при расчетном уровне ледостава.

При расположении майны (полыньи) выше или ниже створа мостового перехода величину L_m принимают равной ширине майны (полыньи) в направлении, перпендикулярном оси потока.

Расчет нагрузки от температурного расширения льда ведут для опор, расположенных выше или ниже майны (полыньи) в пределах ее ширины и на расстоянии, меньшем L_m от края майны (полыньи).

Значение $v_{t,a}$ определяют следующим образом. По данным опорной метеостанции устанавливают наибольшую за весь период наблюдений разность температуры воздуха Δt°С за два смежных срока, время между которыми t фиксируют (при 4-х срочных наблюдениях t=6 ч, при 8-ми срочных—t=3 ч и т. д.). Фиксируют

дату этого наблюдения, а также температуру $t_в$, °С, от которой началось указанное максимальное повышение температуры воздуха. Определяют $v_{t,a}=\Delta t/t$.

Значения $h_{s\min}$ устанавливают по данным натурных наблюдений; при отсутствии их необходимо принимать $h_{s\min}=0$

Среднюю скорость ветра в день наблюдения максимального повышения температуры воздуха v_{Wm} определяют как среднее арифметическое всех срочных наблюдений за скоростью ветра с переходом от опорной метеостанции к ледовой поверхности у мостового перехода [46].

11. При возможности образования на реке в районе мостового перехода зажоров, т. е закупорки живого сечения шугой, следует установить необходимые характеристики: максимальный зажорный уровень, расчетную толщину зажора h_j, длину участка зажора L_j, максимальную скорость течения воды $v_{\max j}$ и уклон водной поверхности в створе мостового перехода при зажоре i_j.

Величину h_j следует принимать по данным натурных наблюдений. Допускается принимать h_j по ледотермическому режиму прилегающих участков реки, но не более 80% средней глубины потока в зажорный период. Величину L_j принимают равной полуторной ширине реки в створе сооружения. Величину $v_{\max j}$ и i_j следует принимать по данным натурных наблюдений.

12 В районах с суровой зимой, в особенности для рек, текущих с юга на север, необходимо учитывать возможность образования заторов льда.

Если выявлены случаи образования заторов в районе проектируемого мостового перехода до его строительства или установлена возможность образования заторов независимо от наличия перехода, то проводят углубленное изучение этих явлений. Для приближенных расчетов плотность льда в заторах можно принимать равной 600 кг/м^3, толщину льда в заторе—равной 12 высотам его надводной части.

13. Для определения нагрузок от примерзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровней воды требуется определить следующие величины:

скорость понижения или повышения уровня воды v_d, м/с;

время, в течение которого происходит деформация ледяного покрова при понижении или повышении уровня воды t_d, ч;

время, в течение которого уровень воды изменится на величину, равную толщине льда, t_{cal}, ч

температура льда t_l, °С

Значения v_d, t_d и t_{cal} устанавливают по данным натурных наблюдений за уровнями воды в зимний период на опорном посту гидрометеослужбы. Устанавливают наибольшее за все годы повышение или понижение уровня воды за два смежных срока наблюдений; время между сроками будет равно величине t_d, а разница уровней Δh_d, деленная на t_d, даст величину v_d. Если Δh_d превышает среднюю для этого дня толщину льда $h_л$, то величину t_{cal}

определяют по зависимости $t_{cal}=t_d\frac{h_л}{\Delta h_d}$. Если $h_л$ превышает Δh_d, то время t_{cal} определяют, добавляя к t_d время изменения уровней до $h_л$ за сроки, смежные с вышеустановленными, при этом из двух возможных вариантов принимают меньшую величину.

Величину t_i назначают: при подъеме уровней воды $t_i=0$; при спаде—*по формуле*

$$t_i=t_c\eta_0,$$

где t_c—среднеарифметическая из средних суточных отрицательных температур воздуха за период t_{cal}; η_0—параметр, определяемый как

$$\eta_0=h_{л1\%}/h_п;$$

$h_п$—приведенная толщина ледяного покрова, равная

$$h_п=h_{л1\%}+1{,}43h_c+\frac{2}{\alpha_в},\ м,$$

h_c—наименьшая толщина снега за период t_{cal}, определяемая по данным натурных наблюдений на опорном водомерном посту гидрометеослужбы, а при отсутствии таковых принимаемая равной нулю; $\alpha_в$—коэффициент теплоотдачи от воздуха и поверхности снежного покрова, кал/ч. м^2, принимаемый равным $20\sqrt{v_{Wm}}+0{,}3$ при наличии снега и $5\sqrt{v_{Wm}}+0{,}3$ при отсутствии снега (v_{Wm} — средняя скорость ветра за период t_{cal}, м/с).

14. Для уточнения ледовых условий в створе проектируемого мостового перехода проектно-изыскательская организация должна проводить ледовые наблюдения. Состав и объем работ определяют, исходя из ледового режима реки, сроков разработки проектной документации, стадии проектирования. Методику и объемы работ устанавливают применительно к [43]. Во всех случаях целесообразно проведение опроса местных жителей для выявления толщины льда, размеров ледяных полей, мест образования полыней, навалов льда, случаев разрушения сооружений льдом, мест промерзания реки до дна, образования наледей, заторов и зажоров, а также временной, качественной и количественной характеристики ледовых явлений.

12.3. Расчет ветровых и судовых волн и их наката на откосы сооружений

1. Наличие у сооружения акватории достаточной глубины и возникновения шторма (ветра) длительностью не менее 6 часов составляют основные факторы образования ветровой волны. По ее воздействию рассчитывают отметку бровки откоса, исходя из высоты наката волны на откос и типа защитной конструкции.

Параметры ветровой волны определяют по СНиП 2.06.04—82* [80] и ВСН 206—87 [46]. Волна и ее воздействие имеет характеристики (рис. 12.1):

$h_в$—высота волны—превышение гребня над подошвой;

λ—длина волны—расстояние между смежными вершинами волны;

$\frac{\lambda}{h_в}$—пологость волны; обратная величина называется крутизной волны;

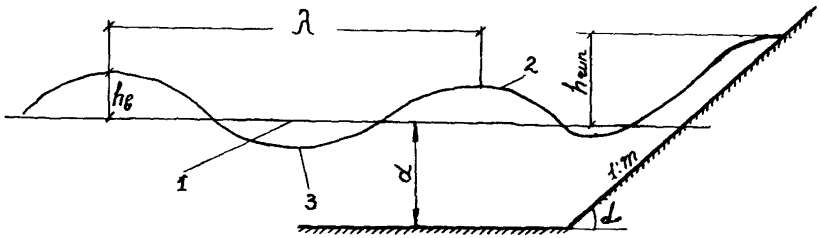


Рис 12.1. Профиль ветровой волны и ее наката на откос:
1—статический уровень; *2, 3*—вершина и подошва волны

T—период волны (время перемещения волны на свою длину λ);

h_{run}—высота наката волны на откос;

L—разгон волны—протяженность водной поверхности вдоль вектора скорости ветра (как правило по румбу);

d—глубина на акватории по линии разгона волны (можно принимать глубину на конце участков линии разгона).

Для практических расчетов воздействия волн на сооружения мостовых переходов акваторию достаточно подразделять по глубине на глубоководную и мелководную зоны:

глубоководная с глубиной $d>0{,}5\lambda_d$, где дно водоема практически не влияет на характер волнения (здесь λ_d—средняя длина волны для глубоководной зоны);

мелководная с глубиной $0{,}5\lambda_d \geqslant d$.

Наиболее частыми при проектировании мостовых переходов являются случаи расчета ветровых волн на мелководной зоне.

2. Для расчета параметров волны по каждому из рассматриваемых румбов необходимо иметь следующие исходные данные: длину разгона волны (расстояние по румбу от уреза берега до откоса L; глубины в водоеме по рассматриваемому румбу d; скорость ветра над водной поверхностью на высоте 10 м, вектор которой совпадает с рассматриваемым румбом vw.

Длины разгонов и глубины по румбам зависят от конфигурации урезной линии водоема и расчетного уровня воды в нем. Исходные данные определяют по карте с горизонталями масштаба не мельче 1 : 25000 или натурной съемкой.

Расчетные параметры волн, воздействующих на откосы насыпи, определяют для нескольких характерных точек трассы мостового перехода отдельно для верховой и низовой по течению реки сторон по открытым румбам (румбам, проходящим по акватории водоема). Точки располагают в местах изменений азимута трассы, изменений длин разгонов волны перед откосом из-за конфигурации берега, разницы в глубинах на одноименных румбах, проведенных через разные точки трассы, а также при наличии на затапливаемой части поймы перед отдельными участками трассы

растительности, снижающей волновое воздействие. В результате по характерным точкам можно построить общую эпюру волнового воздействия на откосы всей трассы мостового перехода. На акватории с однообразной глубиной и береговой линией, отстоящей от откоса примерно на одинаковом расстоянии (например, трасса проходит вдоль берега реки), допустимо рассчитывать параметры волн для одной точки трассы, принимая средние значения глубин потока и длин разгона.

3. Параметры волн и высоту наката на откосы сооружений мостового перехода определяют с учетом подпора и нагона на уровнях УВВ, соответствующих расходам воды:

наибольшим для железных дорог и расчетным для автомобильных дорог при назначении бровки и верха укрепления (исходя из высоты наката волны на откос);

расчетным при расчете мощности укрепления.

Вероятности расчетных и наибольших паводков, нормируемые СНиП 2.05.03—84, приведены в табл. 7.1 Пособия.

При определении отметки бровки сооружения и верха крепления принимают шторм обеспеченностью 50% (т. е. раз в два года). В этой системе шторма высоту волны принимают обеспеченностью 1%, а в системе наката—1% обеспеченности высоты наката.

При длительно стоящих уровнях (НПУ в водохранилищах) бровку и верх укрепления сооружения следует также определять при шторме 4% обеспеченности (один раз в 25 лет) и 1% обеспеченности волн и наката в соответствующих системах. К расчету принимают наиболее неблагоприятные условия.

При расчете мощности крепления принимают шторм обеспеченностью 4% и в системе волн шторма волну обеспеченностью 5%. При дифференцировании типа и мощности укрепления по высоте откоса верхнюю границу основного крепления (нижнюю границу облегченного) назначают на высоте наката обеспеченностью 50%, т. е. на высоте 0,68 $h_{run1\%}$.

4. Для расчета параметров волны необходима скорость ветра на высоте 10 м над водной поверхностью. Ее получают из срочных наблюдений в течение непрерывных 25 лет за ветром на метеостанциях, расположенных от объекта проектирования не далее 200 км. В каждом году для расчета используют данные только тех месяцев, которые приходятся на период пиков паводков. По статистическим данным строят графики режимных функций для всех румбов, с которых затем снимают значения скоростей ветра v_{zl} нормативных обеспеченностей (см. прил. 12.1).

На каждом открытом румбе расчетную скорость ветра на высоте 10 м над водной поверхностью определяют по формуле

$$v_w = k_z k_{fl} \cdot k_l \cdot v_{zl}, \qquad (12.2)$$

где v_{zl}—скорость, измеренная на метеостанции по флюгеру на высоте z; k_z—коэффициент приведения к высоте 10 м, принимаемый равным: при $z=5$ м—1,1; при $z=10$ м—1, при $z=20$ м и более—0,9, $k_{fl}=0{,}675+4{,}5$ (но не более 1), k_l—коэффициент приведения скорости ветра к условиям водной поверхности определяют по рис 12.2 для разгонов длиной менее 20 км в зависимости от значения скорости $k_z v_{zl}$ и типа местности, в которой расположена метеостанция

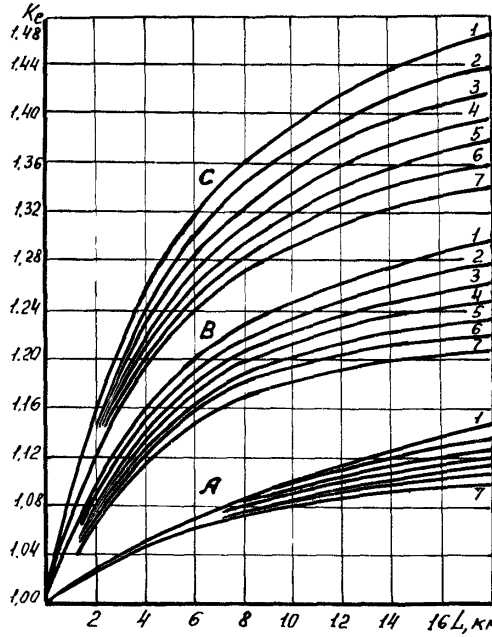


Рис. 12.2. Определение коэффициента k_l при скорости ветра v_w, м/с:
1—10; *2*—15; *3*—20; *4*—25; *5*—30; *6*—35; *7*—40; *А, Б, С*—тип местности

Тип местности принимают:

А—открытые местности (степи, лесостепи, пустыни, открытые побережья морей, озер, водохранилищ);

В—территории малых и средних городов, больших и крупных городов, застроенных зданиями высотой до 20 м;

С—территории больших, крупных и крупнейших городов, застроенных зданиями высотой свыше 20 м.

В прил. 12.1 дан пример определения расчетной скорости ветра.

5. Элементы ветровой волны для глубоководной и мелководной зон водоема на каждом открытом румбе определяют по графику (рис. 12.3) в зависимости от волнообразующих факторов v_w, d и L. По их безразмерным характеристикам $\frac{gL}{v_w^2}$ и $\frac{gd}{v_w^2}$ с графика снимают безразмерные характеристики средних значений элементов

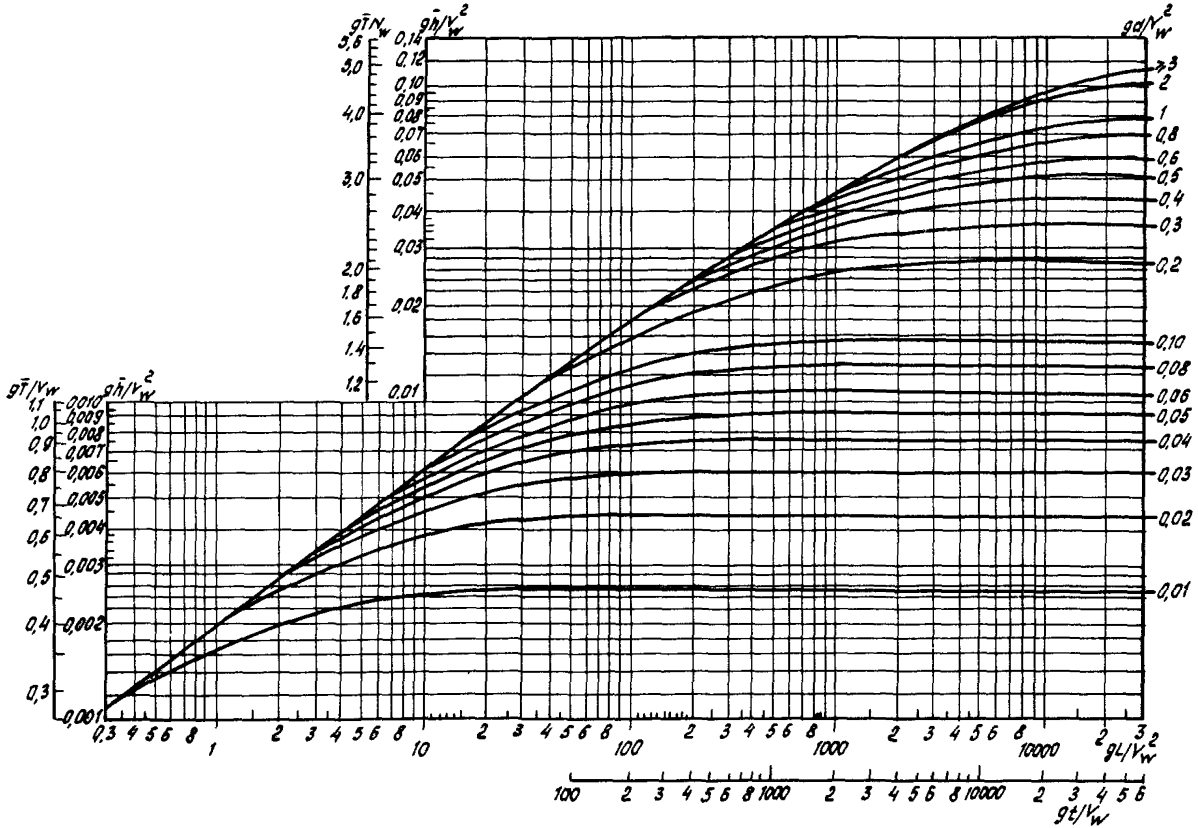


Рис. 12.3. Графики для определения элементов ветровых волн в глубоководной и мелководной зонах

волны $\frac{g\bar{h}}{v_w^2}$ и $\frac{g\bar{T}}{v_w}$, а затем рассчитывают средние высоту волны $\bar{h}$ и ее период $\bar{T}$. Среднюю длину волны $\bar{\lambda}$ определяют по формуле $\bar{\lambda}=\frac{g\bar{T}^2}{2\pi}$.

Волна расчетной обеспеченности 1% и 5% в системе волн шторма имеет значение $h_{1\%}=2{,}07\bar{h}$ и $h_{5\%}=1{,}76\bar{h}$.

Целесообразно при сложном рельефе дна на акватории вместо средней глубины учитывать изменение глубин по румбу, ведя расчет изменения высоты волны последовательно по участкам.

Румб с наибольшей волной в секторе $\pm 22{,}5°$ от нормали к оси насыпи в рассматриваемой точке трассы мостового перехода является волноопасным и, как для случая фронтального подхода, на эту волну ведется расчет наката (на $h_{1\%}$) и мощности укрепления (на $h_{5\%}$). При косом подходе главного (с большой волной) луча должна учитываться рефракция волны.

В случае сложного очертания береговой линии следует расчетные параметры волны определять с учетом влияния разгонов смежных через $\pm 22{,}5°$ трех лучей. Мощность укрепления можно рассчитывать по волне $h_{5\%}$, откорректированной в связи с ее трансформацией, рефракцией и обобщенными потерями по прил. 1 в [80].

В приложении 12.2 дана таблица параметров волн обеспеченности 1% в системе волн шторма и высоты наката.

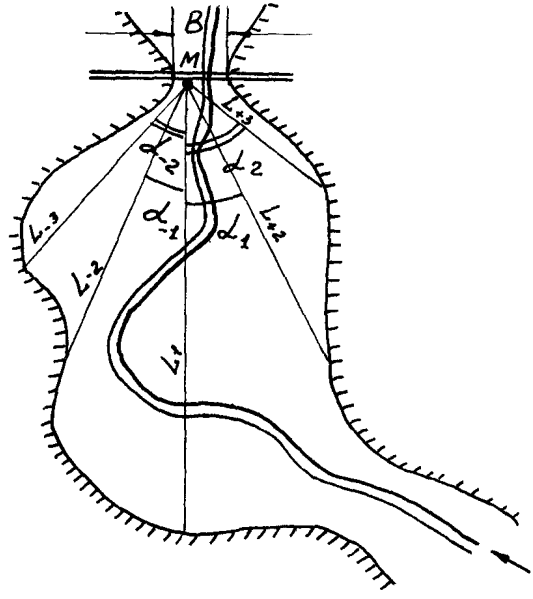


Рис. 12.4. Схема к расчету волн в узкости затопляемой поймы

6. Для узкого и длинного водоема (рис. 12.4) при определении высоты волны разгон назначают по направлению наибольшего ветра (с отклонением не более $\pm 22{,}5°$) из условий наибольшей протяженности. По этому направлению значение эквивалентного разгона определяют по формуле

$$L_{\text{р}} = 0{,}27\,[L_1 + 0{,}85\,(L_2 + L_{-2}) + 0{,}5\,(L_3 + L_{-3})],$$

где L_1—разгон по выбранному направлению; $L_{\pm n}$ —разгон по лучам $n = \pm 2;\ \pm 3$, составляющим угол с выбранным направлением $\alpha_1 = \alpha_{-1} = 22{,}5°$ и $\alpha_2 = \alpha_{-2} = 45°$.

Если отношение узкости B к эквивалентному разгону $B/L_{\text{р}} \leqslant 0{,}25$, то определенную по $L_{\text{р}}$ высоту волны $h_{\text{в}}$ корректируют коэффициентом $k_{\text{у}}$, снимаемым с графика (рис. 12.5),

$$h_{\text{у}} = k_{\text{у}} \cdot h_{\text{в}},$$

а если $0{,}25 < B/L_{\text{р}} \leqslant 0{,}7$, то расчетный разгон определяют как $L_{\text{расч}} = k_L \cdot L_{\text{р}}$,

принимая коэффициент k_L равным:

$B/L_{\text{р}}$ ...	0,3	0,4	0,5	0,6	$\geqslant 0{,}7$
k_L ...	0,63	0,71	0,8	0,85	1

7. Учет изменения глубины потока по длине разгона при расчете параметров волн производят на участках с большими перепадами отметок дна акватории и наличии мелководных зон. В этом случае профиль по длине разгона разбивают на участки так, чтобы в пределах каждого участка уклон дна был примерно постоянным.

Для расчета волны на каждом последующем i-ом участке необходимо определять условный разгон, при котором сформировалась бы волна $\bar{h}_{i-1}$, полученная на предыдущем участке, если бы глубина потока d_{i-1} на нем была равна глубине потока d_i на последующем. Безразмерный условный разгон $g\,\Delta L/v_W^2$ определяют по графику (см. рис. 12.3) с учетом $\bar{h}_{i-1}$ и d_i (см. прил. 12.2).

Затем по графику (см. рис. 12.3) определяют среднюю глубину волны $\bar{h}_i$ по d_i и $\Delta L + L_i$.

Если по графику условный безразмерный разгон получить нельзя, то искомую среднюю высоту волны следует принимать по формуле

$$\bar{h}_i = 0{,}24 d_i. \qquad (12.3)$$

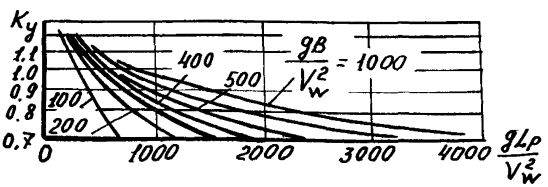


Рис 12 5 График значений коэффициента $k_{\text{у}}$

8. На затопляемой пойме кустарник и лес снижают высоту $h_{вл}$ подходящих к откосу волн $h_в$. Эффект гашения возникает, когда высота растительности будет не менее $d+0{,}7h_в$, и оценивается процентом гашения П % (рис. 12.6)

$$h_{вл}=h_в\,(100—П):100.$$

Волногасящий эффект определяется густотой зарослей p% (табл. 12.2) и зависит от ширины участка заселенности b по направлению расчетного румба, диаметра (измеряется ниже первых веток) и числа стволов на 1 м². При наличии в зарослях прогалин густоту зарослей снижают пропорционально площади.

Таблица 12 2

Диаметр стволов, см	Густота зарослей p, %, при количестве стволов на 1 м²			
	1	5	10	15
1,0	0,008	0,01	0,079	0,119
1,5	0,018	0,088	0,177	0,265
2,0	0,031	0,157	0,314	0,472
3,0	0,071	0,353	0,707	1,15
4,0	0,126	0,628	1,26	—
5,0	0,196	0,982	—	—

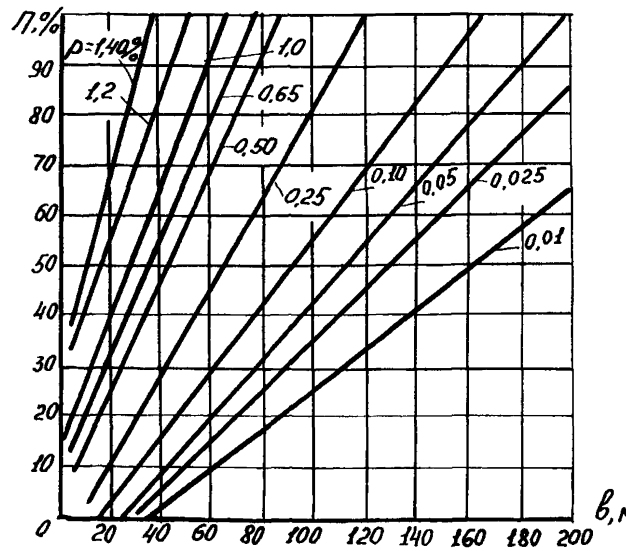


Рис. 12 6 Определение коэффициента гашения высоты волны П в зависимости от ширины полосы кустарника b и процента густоты зарослей p

9. Высоту наката $h_{run1\%}$ (обеспеченность по накату 1%) на откос заложением m фронтально подходящей волны $h_в$ определяют по формуле

$$h_{run1\%} = k_r \cdot k_{sp} \cdot k_{run} h_{1\%}, \qquad (12.4)$$

где k_r—коэффициент шероховатости и проницаемости откоса, принимаемый по табл. 12.3; k_{sp}—коэффициент, принимаемый по табл. 12.4; k_{run}—коэффициент, принимаемый по табл. 12.5 в зависимости от пологости волны $\lambda/h_{1\%}$.

Таблица 12.3

Конструкция укрепления откоса	Относительная шероховатость $r/h_{1\%}$	Коэффициент k_r
Бетонные плиты	—	0,9
Каменная наброска	⩽0,002	0,9
	0,005—0,01	0,81
	0,02	0,72
	0,5	0,56
	0,1	0,45
	⩾0,2	0,35

Примечание. Размер r принимают равным среднему диаметру частиц в материале наброски.

Таблица 12.4

Скорость ветра v_W, м/с	Коэффициент k_{sp} при заложении откоса m		
	1—2	3—5	>5
⩾20	1,4	1,5	1,6
10	1,1	1,1	1,2
<5	1,0	0,8	0,6

Таблица 12.5

$\lambda/h_{1\%}$	k_{run} при заложении откоса m				
	2	3	5	10	20
7	1,6	1,0	0,65	0,33	0,17
10	1,8	1,2	0,77	0,38	0,20
15	2,4	1,5	0,88	0,46	0,23

При подходе фронта волны к откосу под углом α град высоту наката уменьшают умножением на коэффициент k_α:

$\alpha°$	0	10	20	30	40	50	60
k_α	1	0,98	0,96	0,92	0,87	0,82	0,76

10. На судоходных реках и каналах воздействие судовой волны на откосы рассчитывают, исходя из скорости движения судна и его водоизмещения по СНиП 2.06.04—82* [80]. Высоту судовой волны на расчетном уровне РСУ определяют по формуле

$$h_{sh}=2\frac{v_{adm}^2}{g}\sqrt{\frac{\delta d_s}{l_{\text{п}}}},$$

где d_s и $l_{\text{п}}$—осадка и длина судна; δ—коэффициент полноты водоизмещения судна (может быть принят равным 0,8—0,9); v_{adm}—скорость судна

Высота наката h_{rch} на откос судовых волн

$$h_{rsh}=\beta_{sl}\frac{0{,}5h_{sh}+0{,}5\cdot\frac{v_{adm}^2}{g}m}{1-0{,}05m},$$

где β_{sl}—коэффициент для откосов, облицованных плитами, равен 1,4, каменным мощением—1,0 и наброской—0,8.

Для судов на подводных крыльях производят специальный расчет.

12.4. Выбор типов укрепления

1. Сооружения мостовых переходов должны быть защищены от возможных продольных течений, волновых и ледовых воздействий. В зависимости от этих воздействий назначают тип укрепления, обеспечивающий эффективную и бесперебойную работу укрепляемых сооружений или стабилизацию деформаций берегов.

Принятое решение должно быть обосновано технико-экономическим сравнением возможных по условию прочности вариантов укрепления. Возможные варианты обычно сравнивают по стоимости и расходу материалов на единицу размера укрепления. Важнейшими показателями при обосновании вариантов укрепления, кроме того, являются трудовые затраты, степень механизации и сезонность работ, применение местных материалов и индустриальность изготовления покрытия, однотипность укреплений.

2. Условия работы укреплений зависят от их расположения относительно уровней воды. С этой точки зрения берега и откосы по высоте условно делят на зоны: подводную, переменного уровня и надводную.

Подводная располагается ниже меженного уровня на реках и наинизшего уровня (мертвого объема) на водохранилищах.

Зона с переменным уровнем расположена выше подводной и ограничена запасом выше отметки наката волны при расчетном (*или наибольшем для железных дорог*) уровне с учетом подпора вследствие сжатия потока мостовым переходом. Выше расположена незатопляемая надводная зона.

Высоту наката волны определяют согласно п. 12.3. При ледовых воздействиях верх зоны с переменным уровнем будет определяться высотой навала на откос. Для приближенной оценки возможных навалов льда на откосы берегов и сооружений можно пользоваться формулой [5].

$$\Delta H = 2{,}62\sqrt{\frac{F_s m}{g\varphi L_н \rho_л (1+fm)}}, \qquad (12.5)$$

где F_s—горизонтальная составляющая силы (в ньютонах) от воздействия остановившегося ледяного поля, наваливающегося на сооружение откосного типа (насыпь подходов) на участке $L_н$ при действии течения воды и ветра, определяемая по СНиП 2.06.04-82;* $\rho_л$—плотность льда (можно принимать 900 кг/м³); f—коэффициент трения льда о поверхность сооружения, принимаемый равным для бетона 0,11—0,15 и камня 0,3—0,4; φ—коэффициент, значения которого зависят от коэффициента заложения откоса m:

m	1,5	2,0	2,5	3,0	5,0
φ	0,27	0,60	0,85	1,04	1,24

Область применения распространенных типов укрепления для каждой зоны откоса с краткой их характеристикой приведена в прил. 12.4, конструкция укрепления—в альбомах конструкций крепления откосов [1,2].

3. Тип и мощность укрепления назначают и рассчитывают по определяющему воздействию, т. е. воздействию, требующему более мощное укрепление.

Расчет укреплений включает определение характеристики материала верхнего слоя, непосредственно воспринимающего силовое воздействие (например, крупность камня), общей толщины верхнего слоя, состав и толщины подготовки, размер упорной призмы.

Расчет наиболее простого из индустриальных типов укрепления—каменной наброски—детально изложен в [54].

Для прикидочной оценки типа и мощности укрепления полезны зависимости, представленные в табл. 12.6.

4. Толщину каменной наброски следует назначать не менее трех слоев.

Для обеспечения отсутствия суффозии (выноса из пор наброски частиц грунта в теле укрепляемого сооружения) должно соблюдаться условие $d_н/d \leqslant 6—8$, где $d_н$, d—крупность камня и грунта в теле сооружения.

Если условие не соблюдается, то требуется устройство обратного фильтра. На практике его заменяют подстилающим слоем из щебня, гравия или более мелкого камня крупностью $d_п$, чтобы $d_н/d_п \leqslant 6—8$.

При соблюдении условия $d_н/d_п \leqslant 6—8$ и $d_п/d \leqslant 6—8$ толщину подготовки следует принимать минимальной без расчета.

При $d_п/d > 8$ толщину слоя подготовки $\delta_п$ (или наброски $\delta_н$) следует определять из неравенства [55]

$$0{,}8 d_н n_н \geqslant \frac{1{,}1}{\sqrt{n_н + n_п}} \frac{m}{\sqrt{1+m^2}} \frac{v\sqrt{d_н}}{\sqrt{g}} \left(\frac{v}{v_{0(от)}} - 1\right)^{3/4} - \delta_п \sqrt{\frac{d_н}{d_п}}, \qquad (12.6)$$

где $n_н$, $n_п$—число слоев наброски и подстилающего слоя (толщина одного слоя $0{,}8d_н$ или $0{,}8d_п$); $v_{0(от)}$—неразмывающая скорость для частиц в теле сооружения, подстилающих укрепление на откосе,

$$v_{0(от)} = 2\sqrt{gd}\left(\frac{m^2 - m_{ог}^2}{m^2}\right)^{1/4}; \qquad (12.7)$$

$m_{ог}$—коэффициент естественного заложения грунта под водой, принимаемый по табл. 10.11.

Таблица 126

Вид воздействия	Требуемая крупность однородного камня $d_к$ м	Требуемая по условиям устойчивости толщина железо бетонных плит $\delta_{пл}$, м	Примечания
	должны назначаться не меньше полученных по зависимостям		
Продольные течения (при скорости v и глубине H потока)	$0{,}58\dfrac{v^4}{g^2H}\left(\dfrac{m}{\sqrt{m^2-m_0^2}}\right)$	$0{,}22k_{пл}\dfrac{v^2}{g}\dfrac{\rho}{\rho_{пл}-\rho}$	1 Условные обозначения: m_0—коэффициент естественного откоса камня в воде ($m_0=1{,}1$—$1{,}25$, где меньшие значения соответствуют угловатым камням); $\rho_{пл}$, ρ_s, ρ—плотность плиты и камня (можно принимать $\rho_{пл}=2400$—2500 кг/м³; $\rho_s=2650$ кг/м³) и воды, $k_{пл}=1$ при открытых и $k_{пл}=1{,}43$ при закрытых швах стыковки плит, $в$—размер льдин в направлении, перпендикулярном берегу при отсутствии данных $в\approx 0{,}1B_р$, $B_р$—ширина русла), B—длина ребра плиты или карты в направлении образующей откоса 2 Формула крупности камня при продольных течениях справедлива только для укрепления откосов пойменных насыпей, для насыпей (и берегов) на прижимах рек см [15], для регуляционных сооружений—гл 14
Ледовые (при толщине льда $h_л$)	$0{,}26\sqrt{bh_л}$	при $m\geqslant 1{,}5$ $(0{,}4-0{,}5)\dfrac{h_л}{\sqrt{m}}$	
Волновые (при высоте h и средней длине λ волны)	$0{,}328\dfrac{h^{2{,}3}\bar{\lambda}^{1/3}}{\left(\frac{\rho_s}{\rho}-1\right)(1+m^3)^{1/6}}\approx 0{,}43\dfrac{h}{(1+m^3)^{1/6}}$	$0{,}075\left(\dfrac{\bar{\lambda}}{B}\right)^{1/3}\dfrac{\rho h}{\rho_{пл}-\rho}\dfrac{\sqrt{m^2+1}}{m}$	

5. Вынос частиц тела сооружения из швов между плитами будет отсутствовать при

$$\Delta_{ш}/d<2—2,5$$

или

$$\delta_{пл}\geqslant 2\frac{m}{\sqrt{1+m^2}}\frac{v\sqrt{\Delta_{ш}}}{\sqrt{g}}\left(\frac{v}{v_{0(от)}}-1\right)^{3/4} \qquad (12.8)$$

где $\Delta_{ш}$—ширина швов.

Если указанные условия не соблюдаются, то минимальную толщину подготовки определяют подбором по неравенству

$$0,8d_{п}n_{п}\geqslant\frac{1,1}{\sqrt{1+n_{п}}}\frac{v\sqrt{d_{п}}}{\sqrt{g}}\left(\frac{v}{v_{0(от)}}-1\right)^{3/4}-0,5\delta_{пл}\sqrt{\frac{d_{п}}{\Delta_{ш}}} \qquad (12.9)$$

6. Для обеспечения отсутствия суффозии вместо подстилающих слоев могут применяться фильтрационные полотна из нетканых синтетических материалов (геотекстиля). По своим физико-механическим свойствам рекомендуется применять отечественные нетканные материалы типа дорнит (ТУ 21-29-81—81) Ростокинской и Антропшинской фабрик, СВТЕКС II (ТУ 1867-888—880 П 1) Ростокинской фабрики и ИГП (ТУ 6-06-28—282) Могилевского ПО «Химволокно» [94, 87].

Геотекстильные материалы могут соединяться методом сварки. Они аналогично зарубежным длительное время сохраняют водопроницаемость при размере влекомых фильтрационным потоком частиц грунта не менее 0,05 мм.

7. При устройстве рисбермы для обеспечения устойчивости укрепления на откосе и защиты сооружения от подмыва объем камня на 1 м подошвы откоса вычисляют по формуле

$$\overline{W}=Ahd_{н}\sqrt{1+m_{ог}^2}, \qquad (12.10)$$

где h—глубина размыва у подошвы сооружения при отсутствии камня, $d_{н}$—крупность камня в рисберме, которая должна быть не меньше крупности $d_{к}$, рассчитываемой для откосов при воздействии продольных течений, $m_{ог}$—коэффициент естественного заложения грунта у основания сооружения под водой, принимаемый согласно данным табл 10 11; А—коэффициент, учитывающий увеличение объема камня в рисберме для упора вышележащей конструкции и принимаемый в зависимости от коэффициента заложения откосов сооружений m·

m	>2,0	2	1,5
А	1,2	1,5	2,0

13.1. Конструкция незатопляемых пойменных насыпей

1. План, продольный профиль и поперечные профили пойменных насыпей проектируют по действующим нормам проектирования железных и автомобильных дорог на основе материалов полевого обследования топографических, геологических и гидрометеорологических условий проложения трассы мостового перехода.

Для принятия проектных решений по конструкции насыпей в полевых условиях должны быть выяснены места заторов и возможных навалов льда на насыпь. В местах пересечения стариц, проток, озер и т. п. необходимо определить наибольшее возможное внутригодовое колебание уровней воды и их перепад с верховой и низовой стороны насыпи с оценкой длительности подтопления насыпи.

Проектирование поперечных сечений пойменных насыпей сводится к определению минимальной отметки бровки земляного полотна, назначения укрепления откосов и подошвы и в редких случаях—проверка отсутствия опасной фильтрации через земляное полотно.

2. Минимальную отметку бровки земляного полотна пойменных насыпей и берм, а также бровки водоразделительных дамб (при отсутствии возможных навалов льда) определяют по формуле [15]:

$$H_{\min} = \text{РУВВ} + \Delta h_{\max} + \Delta h_{\text{наб}} + \Delta h_{\text{зат}} + \Delta h_{set} + h_{run} + \Delta, \quad (13.1)$$

где РУВВ—расчетный для автодорожных и наибольший для железнодорожных мостовых переходов уровень высокой воды заданной вероятности превышения; $\Delta h_{\max}$—максимальный подпор воды перед мостом, который увеличивается по мере удаления от главного русла; при пересечении широких речных долин и косорасположенных подходов, когда значителен перепад уровней в верхнем бьефе насыпи, вместо $\Delta h_{\max}$ можно принимать $\Delta h_{\text{н}}$—подпор воды, переменный вдоль насыпи (см. п. 10 6); $\Delta h_{\text{наб}} = \frac{v^2}{g}\sin\alpha^2$—величина набега воды на откос насыпи, учитываемая на поймах горных и полугорных рек со значительными скоростями течения; v—средняя бытовая скорость у подошвы подтопляемой насыпи, расположенной вдоль русла; α—угол между направлением течения и трассой дороги; $\Delta h_{\text{зат}}$ превышение заторного (зажорного) уровня над расчетным (наибольшим для железных дорог) «свободным» уровнем; Δh_{set}, h_{run}—ветровой нагон и высота наката на откос (см. гл. 12); Δ—технический запас (см. п. 5 и 6).

При определении минимальной бровки земляного полотна слагаемые приведенной формулы суммируют не формально, а выделяя из них взаимосвязанные или одновременно происходящие явления. Так, при заторных явлениях волновые не учитывают, а максимальный подпор определяют при расходах воды, соответствующих уровню ледохода; при пересечении водохранилищ определяющими могут оказаться волновые воздействия при низких уровнях (НПУ) и т. п.

3. При уровне высокого ледохода (УВЛ) выше бровок русла

и кустарниковой растительности, когда возможен навал льда на пойменные откосы насыпи, минимальная отметка бровки земляного полотна должна быть не ниже отметки верха навала льда. Возможную высоту навала льда устанавливают по аналогии с навалом его на отдельно стоящие деревья, причалы, строения и т. п. Если установить высоту навала льда при изысканиях невозможно, а расчетом затруднительно (см. гл 12), то минимальную отметку бровки земляного полотна устанавливают по формуле

$$H_{\min} = \text{УВЛ} + \Delta H_0 + \Delta, \qquad (13.2)$$

где ΔH_0—высота навала льда на откос, отсчитываемая от УВЛ и принимаемая в первом приближении равной $\Delta H_0 = 3h_л$ ($h_л$—толщина льда)

К расчету принимают наибольшую $H_{\min}$, определенную по формулам (13.1) и (13.2).

4. На участках с нарушенным бытовым режимом реки (в условиях подпора от другой реки или гидротехнического сооружения, сгонно-нагонных явлениях и пр.) минимальную отметку бровки насыпей следует определять с учетом рекомендаций гл. 8.

5. Технический запас Δ при отсутствии ледовых воздействий должен приниматься не менее 0,5 м для насыпей и водоразделительных дамб и не менее 0,25 м для берм у насыпей.

Технический запас при отсутствии ледовых и волновых воздействий желательно принимать не менее стандартной ошибки $\Delta H_{p\%}$ в уровне заданной вероятности превышения.

В этом случае порядок расчета технического запаса следующий

по формулам гл. 7 определяют стандартную ошибку в расходе $Q_{p\%}$;

определяют расход $Q'_{p\%} = Q_{p\%} + \Delta Q_{p\%}$ (с учетом ошибки $\Delta Q_{p\%}$);

по зависимости $Q = f(H)$ определяют уровни воды $\text{УВВ}'_{p\%}$ и $\text{УВВ}_{p\%}$, соответствующие расходам $Q'_{p\%}$ и $Q_{p\%}$;

определяют разность $\text{УВВ}'_{p\%} - \text{УВВ}_{p\%} = \Delta H_p$ и сравнивают ее с требуемым минимальным техническим запасом: к расчету принимают бо́льшую из этих величин.

Для рек с неустойчивым руслом, где связь расходов и уровней выражается несколькими зависимостями $Q = f(H)$, расчет выполняют по зависимости, дающей бо́льшее значение $\Delta H_{p\%}$.

6. В СНиП 2 05.03—84 технический запас для назначения бровки откосных сооружений не дифференцируется по виду гидрологических воздействий. Но с учетом недостаточно высокой точности прогнозирования ледовых воздействий рекомендуется при заторах, зажорах, наледях и навалах льда на откосы принимать $\Delta = 1{,}5h_л$.

7. Конструкции подтопляемых насыпей и тип укрепления откосов могут различаться по длине пойменной насыпи в связи с учетом речных воздействий при постоянном или периодическом подтоплении земляного полотна.

К таким воздействиям относятся: изменение высоты ветровой

волны с набегом по длине поймы, изменение скорости вдоль насыпи при косых пересечениях, также при пересечении проток, стариц и рукавов, волнение искусственно ограниченной акватории на пойме, внутригодовое колебание подтопления, длительность подтопления при разных уровнях воды, ледовые образования

Для подтопляемых насыпей коэффициент заложения откосов должен приниматься не менее двух Для обеспечения устойчивости откосов и улучшения условий их ремонта в процессе эксплуатации на пойменных насыпях устраивают бермы шириной не менее 4 м Отметку берм назначают с учетом гидрологических условий водотока Заливаемая берма гасит высоту наката на откос насыпи.

8 При соответствующем технико-экономическом обосновании подтопляемые насыпи, особенно в зоне постоянного подтопления, можно устраивать с пологими откосами, устойчивыми к волновому воздействию Их крутизну, в первом приближении, принимают по табл 13 1 Пологие откосы должны быть защищены от воздействия атмосферных осадков и ветра

Таблица 13 1

Вид грунта воспринимающии волновые воздействия	Коэффициент заложения откосов m при высоте волны, м					
	0 1	0 2	0 3	0 4	0 5	0 6
Песок мелкий	5	7 5	10	15	20	25
Супесь легкая	4	7	10	15	20	20
Суглинок, глина	3	5	7,5	10	15	15

9 Тип укрепления пойменных откосов зависит от скорости течения вдоль насыпи, толщины и размеров льдин и высоты ветровой волны, а также зоны (по высоте) подтопляемых откосов и назначается согласно рекомендациям гл 12

Укрепление откосов может быть или однотипным, или комбинированным как по всей длине насыпи, так и на отдельных ее участках По высоте откоса до H_{min} укрепление обычно назначают однотипным, а выше в надводной зоне принимают более облегченное укрепление для защиты откоса от атмосферных осадков

На участках со скоростями течения вдоль насыпи больше неразмывающих для верхнего слоя грунтов на пойме (без учета одерновки), а также участках, к которым может подойти русло в результате естественного руслового процесса, необходимо защищать от подмыва подошву откосов насыпи Обычно устраивают каменную рисберму (см гл 12)

10 При больших перепадах уровнеи ΔH между верхним и нижним бьефами подходной насыпи и длительном подтоплении возможно вымывание грунта из тела насыпи (опасная фильтрация) Детальный расчет фильтрации потока через тело насыпи необходимо проводить на границе участков широкой поймы при коэффициенте стеснения потока более 1,5 и косом пересечении пойменного подхода, а также в особых случаях, когда нарушаются

естественные условия опорожнения пойменных массивов (см. п. 15.2).

Достаточное условие безопасной фильтрации (фильтрация отсутствует) удовлетворяется при неравенстве

$$\Delta H < \frac{I_{кр} B_н}{1 + m I_{кр}},$$

где $B_н$—ширина насыпи на отметке, совпадающей с уровнем воды в нижнем бьефе, $I_{кр}$—уклон начала вымывания грунта в теле насыпи, принимаемый по табл 13 2

При несоблюдении неравенства фильтрация будет опасной, при условии

$$\Delta t > \frac{(B_н - m\Delta H)^2}{k_ф \cdot \Delta H},$$

где Δt—время, при котором напор ΔH будет больше допустимого $\Delta H_0 = I_{кр} B_н / (1 + m I_{кр})$ по условиям фильтрации, $k_ф$—коэффициент фильтрации, определяемый по табл 13 2

Таблица 13 2

Грунт сооружения	$I_{кр}$	$k_ф$, м/сут	Грунт сооружения	$I_{кр}$	$k_ф$, м/сут
Галька, гравий	0,2	100 и более	Супесь	0,133	0,3—1
Песок			Суглинок	0,20	0,1—0,3
крупный	0,143	80—100	Глина	0,222	0,004—0 02
средний	0,117	8—80			
мелкий	0,10	2—8			

13.2. Затопляемые пойменные насыпи автомобильных дорог

1. Мостовые переходы с затопляемыми подходами проектируются на автомобильных дорогах местного значения в случаях, когда допустим перерыв движения, на подъездах к затопляемым объектам или населенным пунктам, на временных дорогах. Наиболее целесообразно проектировать затопляемые подходы при пересечении большого водотока с очень широкими (шириной несколько километров) поймами, затопляемыми ежегодно и на значительную глубину (отметка верха затопляемых подходов должна быть выше уровня ледохода).

Главным достоинством устройства затопляемых пойменных насыпей является относительно дешевая строительная стоимость, недостаток—перерыв в движении.

Затопляемые переходы через водотоки минимально нарушают экологическое равновесие, способствуют сохранению природных ландшафтов, биоценозов, лесов, сельскохозяйственных угодий, зон отдыха и поэтому удовлетворяют требованиям к охране окружающей среды.

Нормами допускается затопление дорог общего пользования (СНиП 2.05.02—85 [76]), так и внутрихозяйственных дорог сельскохозяйственных предприятий (СНиП 2.05.11—83 [78]), а также

некоторых специальных дорог, например, дорог нефтепромыслов (РД 39-3-30—77) [26]. Можно допустить затопление дорог низких технических категорий и дорог местного значения, на которых так или иначе возможен перерыв движения, вызываемый распутицей, прекращением действия ледовой переправы, наплавного моста, либо затоплением низководного моста.

2. Для экономического обоснования строительства затопляемых мостовых переходов назначают варианты незатопляемого и затопляемого переходов, причем последний может иметь подварианты по высоте насыпи и соответствующему отверстию моста.

Сопоставляют варианты между собой по суммарным за срок сравнения приведенным затратам. Вариант, имеющий минимальные приведенные затраты, считается самым выгодным. Срок сравнения вариантов рекомендуется принимать равным 20 годам. Суммируются единовременные первоначальные строительные затраты с распределенными во времени затратами на транспортные перевозки, на эксплуатацию дороги и искусственного сооружения.

3. Затопляемые подходы наиболее рационально сочетать со следующими видами искусственных сооружений: затопляемый (низководный) мост, рассчитываемый на пропуск только меженного расхода воды, а на период паводка может разбираться; наплавной мост (при наличии судоходства на реке—с разводным пролетом); паромная переправа, а в зимнее время—ледовая переправа.

Менее рациональны: предназначаемый для пропуска лишь части общего расхода воды высоководный мост (при затопляемых подходах сохраняется перерыв движения и не обеспечивается устойчивость высокой насыпи у моста) и фильтрующая насыпь (она заиливается, а при переливе воды через нее разрушается).

Вид искусственного сооружения выбирают, исходя из местных условий. Затопляемые небольшие железобетонные и даже деревянные мосты хорошо выдерживают затопление и при большой (до 2—5 м) глубине, но требуются специальные мероприятия (обтекаемая конструкция пролетного строения, прикрепление пролетов к насадкам, съемные перила) и хорошо выполненное сопряжение с берегом. Наплавной мост или паромную переправу проектируют при относительно глубоком русле или слабых грунтах, подверженных размыву, а также при наличии судоходства или сплава по реке. Эти сооружения очень дешевы и просты, к их недостаткам относятся: перерывы в движении и сравнительно большие ежегодные эксплуатационные затраты.

4. К проектированию в плане переходов через водотоки с затопляемыми подходами особых требований не предъявляется. Предпочтительно расположение дороги нормально к потоку, в редких случаях—вдоль него.

При проектировании продольного профиля перехода необходимо стремиться как можно меньше изменять бытовые условия прохождения паводка. Это обеспечивает устойчивость подходов. Наибольшее допустимое (с точки зрения неразмываемости доро-

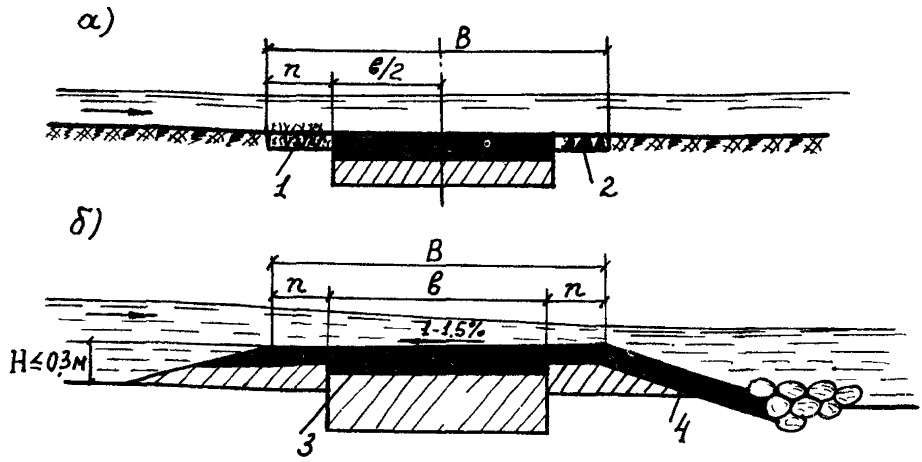


Рис. 13.1. Поперечный разрез дороги на затопляемом участке:
а—в нулевых отметках, без кюветов; *б*—в невысокой (до 0,3 м) насыпи; *1*—засев травой; *2*—укрепление обочины щебнем, гравием; *3*—асфальтобетонное покрытие на основании из грунта, обработанного вяжущим; *4*—укрепление с применением органических вяжущих на грунте, обработанным вяжущим

ги) возвышение верха проезжей части над поверхностью поймы составляет 0,3 м. При бóльшей высоте насыпи следует предусматривать противофильтрационные меры и мощные укрепления, что дорого. Наиболее рационально пойменные дороги устраивать в нулевых отметках (рис. 13.1, *а*)—в этом случае дорога совершенно не стесняет потока и размывов не происходит.

При назначении отметки верха затопляемого сооружения следует избегать ее совпадения с уровнями ледохода и карчехода—в противном случае необходимо предусматривать льдоперевальное устройство.

Стремление поднять отметку верха затопляемых подходов в целях сокращения периода их затопления не всегда оправдано. Увеличение высоты затопляемой насыпи вызовет необходимость в более сложных и прочных укреплениях, так что кажущаяся экономия на сокращении продолжительности перерыва движения не будет компенсироваться дополнительными затратами на укрепление и ремонт. Если подходы затопляются ежегодно, то отпадает фактор неожиданности затопления, и хозяйства и служба движения могут подготовиться к пропуску паводка.

5. В поперечном профиле верх земляного полотна затопляемой дороги можно устраивать односкатным с уклоном 1—1,5% навстречу направлению течения воды (рис. 13.1, *б*)—это снижает скорости перелива. Заложение и конфигурацию низового откоса проектируют как для гидротехнических водосливов. Грунт земляного полотна должен быть по возможности нефильтрующим, наилучшей является смесь пылеватого грунта с песком в отношении 1 : 1.

Заложение низового откоса принимают 1 : 2. Большое уположение откоса не рекомендуется, так как при малом снижении скоростей перелива потребуется значительное увеличение площади укреплений.

6. Дорожную одежду на затопляемом участке, проходящем в нулевых отметках, следует укладывать в корыто (см. рис. 13.1, *а*).

В целях обеспечения неразмываемости покрытие должно содержать органическое вяжущее—наилучшим материалом покрытия является асфальтобетон. Наиболее рационально основание устраивать из грунта, обработанного вяжущим. Такая дорожная одежда является наиболее надежной и экономичной, особенно при отсутствии местных дорожно-строительных материалов. При наличии камня низовой откос может быть выполнен из каменной наброски (рис. 13.2, *а*).

7. Укреплений на затопляемых дорогах можно не устраивать в следующих случаях: если дорога проходит в нулевых отметках или если из экономических соображений идут на частичный размыв дороги, предусматривая последующий ремонт—взамен устройства сложных дорогостоящих укреплений по всему фронту перелива.

На участках невысоких (до 0,5 м) затопляемых насыпей необходимо укреплять низовые обочину и откос, причем укрепления должны служить продолжением дорожной одежды. Предпочтительны водонепроницаемые и гибкие укрепления (асфальтобетон—рис. 13.1, *б*), грунт, обработанный органическим вяжущим. Хорошо сопротивляются размыву укрепления с применением плетней, хвороста, камня (хворостяные плетни—рис. 13.2, *б* или ряжи, заполненные камнем,—рис. 13.2, *в*, каменная отсыпка—рис. 13.2, *а*, габионы, фашины, карабуры—рис. 13.2, *г*).

Затопляемые насыпи высотой более 0,4—0,5 м во избежание размывов требуют более мощных укреплений.

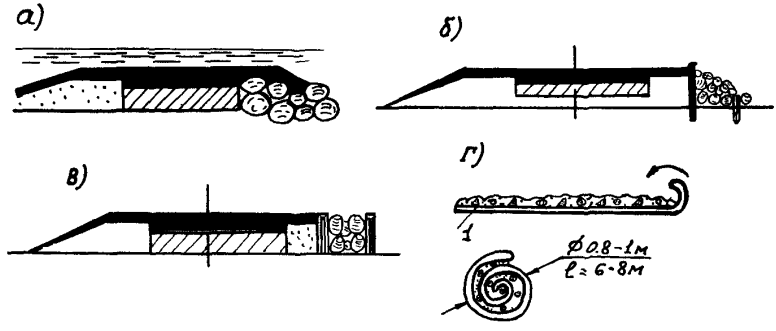


Рис. 13.2. Укрепление низового откоса при высоте насыпи до 0,5 м:
а—низовой откос из каменной наброски; *б*—плетни с заполнением камнем и грунтом; *в*—ряжи, заполненные камнем, *г*—карабуры; *1*—камень, грунт, дерн, хворост, солома

Помимо укрепления земляного полотна, для защиты дороги от размывов, воздействия слабого ледохода, от снегозаносов на затопляемом участке должны предусматриваться дополнительные меры (табл. 13.3 и рис. 13.3).

Таблица 13 3

№ пп	Конструктивные мероприятия по защите земляных дорог	Назначение
1	Продольный вал с верховой стороны из отходов карьерного грунта, временный вал, тающий впоследствии с укладкой соломы, хвороста между двумя валиками снега с заливкой водой (см рис 13.3, *а*)	Задерживает начало затопления и льдины, карчи, зимой защищает от снегозаносов
2	Продольный вал с низовой стороны из мешков, кулей с грунтом; засыпка грунта, дерна, камня за деревянной стенкой или между двумя рядами стенок или плетней (см. рис. 13 3, *б* и *в*)	Снижает скорость течения при переливе и тем уменьшает вероятность размывов в нижнем бьефе
3	Посадки влаголюбивых пород трав (камыш, чекан), кустарника, деревьев (см. рис. 13.3, *г*)	С помощью корневой системы укрепляют поверхность откоса, гасят волну, снижают скорости течения, задерживают плывущие предметы, защищают от снегозаносов
4	Ледозащитная стенка на верховом откосе и склиз над низовым откосом (см. рис. 13 3, *д*).	При несильном ледоходе задерживает льдины, которые затем тают в верхнем бьефе
5	Столбики вдоль укрепленного лотка-брода (см рис 13 3, *е*)	Служат для указания направления движения и глубины затопления

8. В задачу гидравлического расчета при проектировании затопляемой насыпи входит нахождение глубин и скоростей потока в характерных точках поперечного сечения насыпи при известном удельном расходе перелива и известных уровнях воды в верхнем и нижнем бьефах. В зависимости от положения уровня воды в нижнем бьефе по отношению к высоте насыпи различают три режима течения потока: свободное течение, подтопление и затопление потока.

9. При свободном течении воды наибольшая скорость потока наблюдается у подошвы низового откоса. По оси дороги, имеющей двускатный поперечный профиль проезжей части, глубина и скорость потока равны критическим значениям:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\alpha q^2/g} \qquad \text{и} \qquad v_{кр} = \sqrt[3]{qg/\alpha},$$

где q—удельный расход перелива; α—коэффициент кинетической энергии ($\alpha = 1{,}1$).

Глубина воды на низовой бровке составляет $0{,}73h_{кр}$, а скорость течения соответственно равна $1{,}37\,v_{кр}$.

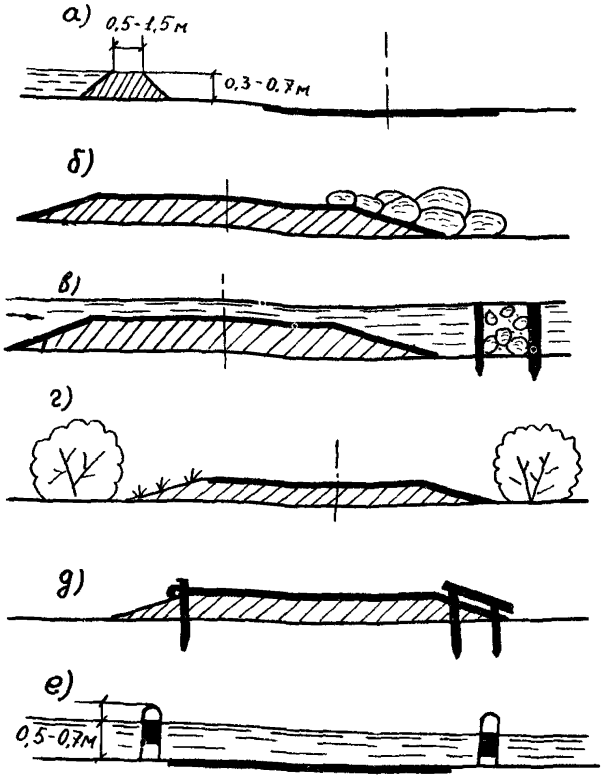


Рис. 13.3. Вспомогательные меры по обеспечению устойчивости затопленной дороги:
а—е—вспомогательные конструкции (см. табл. 13 3)

10. Если поток подтоплен, то степень подтопления откоса $H_{нас}/H_{отк}$ может быть найдена по графику рис. 13.4.

Затопленным считается поток, в котором уровень воды в нижнем бьефе превышает отметку оси насыпи на величину $z = 1{,}44\,h_{кр}$ (см. рис. 13.4, *б*).

Затопление потока означает, что уровень воды в нижнем бьефе влияет на условия течения воды по верху насыпи. Наибольшая скорость течения в затопляемом потоке наблюдается на оси дороги.

11. Надежность работы перехода с затопляемыми подходами во многом зависит от соблюдения правил эксплуатации. Эксплуатационные мероприятия направляются на: подготовку к пропуску паводка, организацию запасов грузов на период перерыва движения и составление схемы осуществления перевозок; пропуск паводка, организацию паромной переправы в створе затопленной дороги; после прохода паводка—ликвидацию последствий затопле-

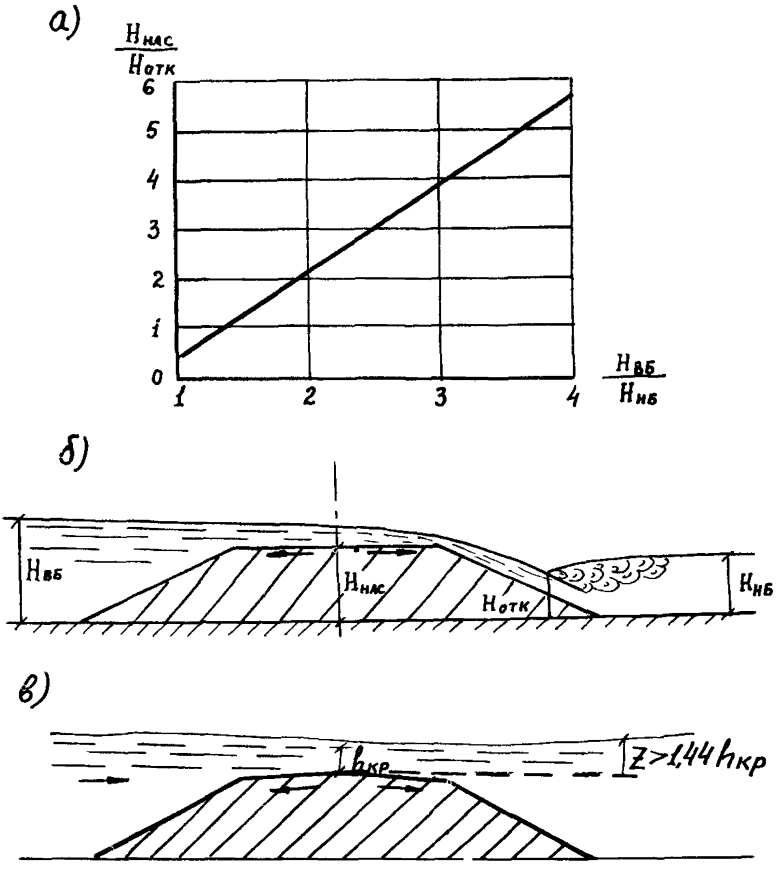


Рис. 13 4 Подтопление низового откоса в зависимости от соотношения глубин в верхнем и нижнем бьефах:
а—график связи; *б*—незатопленный поток, *в*—затопленный поток

ния, наведение наплавного моста, ограничение движения тяжелых автомобилей на период просушки дороги.

До начала паводка необходимо: устранить дефекты земляного полотна, дорожной одежды, укреплений, заготовить мешки с грунтом, камень, карабуры, фашины, установить указатели и объявления об условиях движения, разобрать наплавные и разбираемые мосты, загрузить камнем деревянные мосты (во избежание их сноса течением).

Во время паводка налаживается перевозка пассажиров и грузов по воде, организуются дежурства для обеспечения движения вброд и наблюдения за уровнями воды и скоростями течения. При необходимости ликвидируют разрушения с помощью фашин, ка-

рабуров, мешков с грунтом, засыпают камень или песчано-гравийную смесь в текущую воду.

13.3. Учет гидрологических условий при проектировании вторых путей и реконструкции железных дорог

1. Гидрологические условия при проектировании пойменных насыпей железнодорожных мостовых переходов на вторых путях, а также при реконструкции железных дорог определяют согласно указаниям гл. 12.

На основании гидрологических и ситуационных условий выбирают положение мостового перехода на втором пути относительно существующего (сторонность).

2. Обследование мостовых переходов первого пути проводят согласно указаниям гл. 4. При этом учитывают:

а) геологическое строение и конфигурацию русла на участке перехода, состояние подмостового русла, характер и размеры деформаций его за период эксплуатации перехода и прогноз деформаций с учетом типа руслового процесса, глубину заделки фундаментов речных опор после русловых деформаций и соответствие требованиям норм;

б) протяженность и состояние существующих пойменных насыпей, сведения о характере и размере их повреждений, вызванных перемещением русла, пойменными потоками и волнобоем за период эксплуатации перехода;

в) соответствие плана, профиля и поперечных сечений подходов нормам и уточненным гидрографическим характеристикам перехода;

г) очертание, размеры и состояние регуляционных сооружений и укреплений, их соответствие гидрологическим характеристикам перехода и нормам;

д) минимальное междупутье между существующими и проектируемыми мостами по условиям производства работ и другие требования к расстоянию между мостами первого и второго пути.

3. При рассмотрении требований при выборе сторонности перехода второго пути (табл. 13.4) следует рассматривать весь комплекс условий с учетом указаний гл. 10 и 11. Решение принимают на основе сравнения вариантов; в сложных случаях прибегают к моделированию.

При выявлении дефектов, затрудняющих эксплуатацию, или при повышении технической категории транспортного объекта, частью которого является переход, может возникнуть необходимость реконструкции существующих подходных насыпей, что является крайней мерой, требующей всестороннего обоснования.

Обычно реконструкция сводится к повышению отметки земляного полотна с присыпкой или досыпкой берм; в исключительных случаях проектируют частичное или полное изменение трассы подходов.

При реконструкции стремятся к максимальному использованию существующего земляного полотна и укреплений.

Таблица 13.4

Характеристика существующего мостового перехода	Желательное положение второго пути относительно первого
Интенсивные русловые деформации, большой общий размыв в нижнем бьефе	С верховой стороны
Незатухающий размыв русла. Недостаточная по условиям устойчивости опор заделка фундаментов	С верховой стороны
Значительная протяженность пойменных подходных насыпей, имеющих капитальную, надежно работающую защиту верхового откоса	С низовой стороны
Недостаточное возвышение бровки подходной насыпи над УВВ по условиям подпора и высоте волны в условиях волнобоя преимущественно с верховой стороны	С верховой стороны
Сложные условия, при которых происходит свал пойменного потока в отверстие, сложная система регуляции (струенаправляющие дамбы, траверсы, водоразделительные дамбы)	С низовой стороны
Опасное приближение активной излучины к подошве насыпи с верховой или низовой стороны	С противоположной стороны
Косое пересечение поймы при положении трассы перехода вниз по течению	С верховой стороны с ликвидацией или уменьшением косины пересечения
Косое пересечение поймы при положении трассы вверх по течению и мощном пойменном потоке вдоль насыпи	С низовой стороны или с верховой при уменьшении косины

4. Мероприятия по реконструкции подходных пойменных насыпей назначают с учетом работы регуляционных сооружений и отверстия мостового перехода в соответствии с рекомендациями гл. 10 и 14, а также с учетом табл. 13.4.

Глава 14. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕГУЛЯЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ И РЕКОНСТРУКЦИЯ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

14.1. Срезка грунта в подмостовых сечениях

1. Срезку грунта на пойменных частях отверстия устраивают для создания условий равномерного размыва подмостового сечения, что позволяет уменьшить наибольшие глубины размыва под мостом и снизить предмостовой подпор воды в верхнем бьефе мостового перехода.

Следует учитывать, что требования СНиП 2.05.03—84 относятся к расчетной срезке, т. е. срезке грунта в пойменной части отверстия, которая не будет заноситься в период эксплуатации перехода и на ней не образуется дерновый покров. Поэтому расчетная срезка является частью расчетного живого сечения под мостом до размыва.

2. Расчетную срезку грунта пойменной части отверстия моста допускается предусматривать только для равнинных рек. Размеры и конфигурацию срезки следует определять расчетом, исходя из условия ее незаносимости в зависимости от степени стеснения потока мостовым переходом при расчетном уровне высокой воды.

3. Срезку под мостом устраивают за счет удаления связных грунтов пойменного наилка на 0,25—0,5 м выше уровня средней межени. Устройство расчетной срезки за счет русловых элементов (осередков, побочней, отмелей) не допускается (но они могут быть использованы для разработки грунта в качестве карьеров с обязательной оценкой влияния последних на речные сооружения и мостовой переход, на условия судоходства, экологическую обстановку и т. п.)

Срезку можно устраивать односторонней и двусторонней.

На меандрирующих реках расчетную срезку устраивают как на выпуклых, так и вогнутых берегах.

4. Срезка грунта пойменной части отверстия не будет заноситься, если ее устраивают на ширине уширенного русла $B_{уш}$, которая может быть определена по ряду приближенных способов.

Согласно [32]

$$B_{уш} = B_р\left[1 + \frac{\omega_{рб}}{\omega_{мб}}\left(\frac{Q}{Q_{рб}} - 1\right)\right]^{0,43}, \qquad (14.1)$$

где $B_р$—ширина русла в естественных условиях; $\omega_{рб}$, $\omega_{мб}$—площади живого сечения до размыва соответственно русла и под мостом (без срезки); $Q_{рб}$—расчетный расход воды, проходящей в русле в бытовых условиях.

Для того, чтобы срезка всех пойменных частей отверстия не заносилась, отверстие моста $L_м$ должно быть не больше $B_{уш}$. Это условие соблюдается [5] при

$$L_м \approx B_{уш} = B_р\sqrt{Q_л/Q_{рб}}. \qquad (14.2)$$

5. В плане срезку грунта в пойменной части отверстия назначают эллиптического очертания с плавным сопряжением ее с неуширенным руслом в верхнем и нижнем бьефах для обеспечения пропуска воды и наносов под мостом.

Общую длину срезки принимают равной 4—6 ее ширины (рис. 14.1). Следует избегать устройства срезки с наибольшей шириной в створе голов регуляционных сооружений.

Крутизну откосов срезки при сопряжении с естественной поверхностью принимают 1 : 5—1 : 10 с верховой и 1 : 10—1 : 20 с низовой стороны; у струенаправляющих дамб (в направлении вдоль потока) устраивают более крутые откосы. Более крутые откосы (до 1 : 3) допустимы в легко размываемых грунтах.

6. Продольный уклон срезки принимают равным уклону главного русла под мостом. При малых уклонах водотока (до 0,0001—0,0002) срезку допускается проектировать горизонтально. Поперечный уклон в сторону русла придают срезке лишь при значительной разности отметок между бровкой русла и уровнем межени.

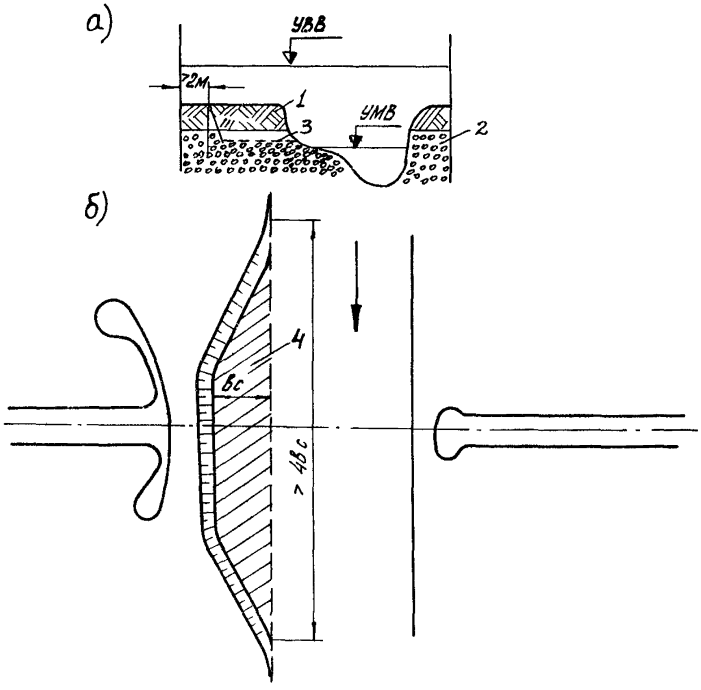


Рис. 14.1. Срезка грунта в подмостовом русле:
а—поперечное сечение русла; *б*—план; *1*—пойменный наилок; *2*—аллювий; *3*, *4*—срезка грунта в профиле и плане

7. За пределами расчетной срезки необходимо устраивать расчистку подмостового сечения от растительности.

Если уровень средней межени мало отличается от отметки поймы под мостом, то срезку заменяют расчисткой, которую продолжают вверх и вниз от оси моста на то же расстояние, что и срезку.

14.2. Расчет струенаправляющих дамб

1. На мостовых переходах регулирование пойменного потока осуществляется сплошными незатопляемыми криволинейными в плане струенаправляющими дамбами, которые состоят из верховой и низовой частей (или верховой и низовой дамб), плавно сопрягающихся в створе перехода.

Струенаправляющие дамбы следует предусматривать согласно СНиП 2.05.03—84 при пойменном расходе не менее 15% расчетного или при средней скорости потока под мостом до размыва свыше 1 м/с, за исключением случаев, когда необходимость в них вызывается ситуационными особенностями перехода (прижимные течения в сторону слабоработающей поймы, перекрытие проток и т. п.).

Струенаправляющие верховые дамбы устраивают для уменьшения неравномерности деформаций подмостового русла, создания условий для судоходства и сплава, а также уменьшения возможного сосредоточенного размыва у вогнутого берега. Указанные цели достигаются плавным подведением пойменных вод к мостовому отверстию, устранением недопустимой косины.

Низовые дамбы сооружают с целью плавного вывода пойменного потока из отверстия.

2. Плановые размеры дамб рассчитывают на наибольшие значения гидравлических характеристик стесненного потока при расчетном расходе и возможном наиневыгоднейшем положении русла и наносных скоплений под мостом, которые определяют с учетом руслового процесса в районе перехода (см. гл. 9).

Расчетные значения требуемых гидравлических характеристик стесненного потока—предмостового подпора, скоростей и глубин потока в русле—определяют в процессе расчета общего размыва на пике расчетного паводка, проходящего в первый год эксплуатации моста.

Если расчет общего размыва производят без учета фактора времени, то гидравлические характеристики потока определяют для условий осуществления $\alpha_p = 50\%$ полного размыва при продолжительных паводках и не менее $\alpha_p = 25\%$—при непродолжительных. В качестве непродолжительных можно принимать дождевые паводки, а продолжительных—снеговые.

3. Плавное обтекание верховых струенаправляющих дамб достигается при эллиптическом их очертании. Координатную ось ориентируют так, чтобы большая полуось эллипса была расположена вдоль речного потока при расчетном расходе.

Форма и размеры эллиптической струенаправляющей дамбы определяются большой и малой полуосями эллипса, которые при-

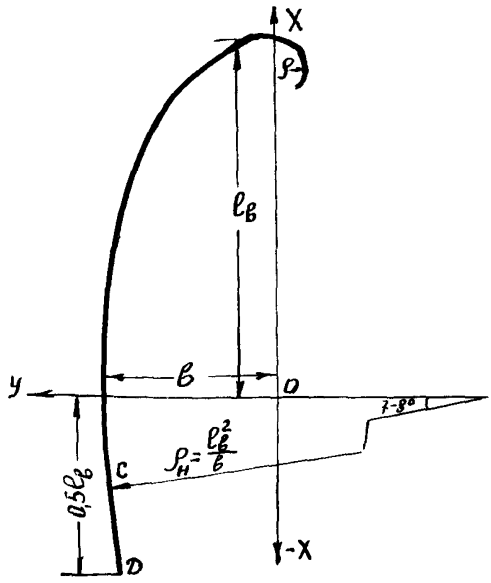


Рис. 14.2 Форма и размеры в осях верховой и низовой струенаправляющих дамб

нято называть соответственно длиной вылета $l_в$ (или вылетом) и шириной разворота $в$ (или разворотом) дамб (рис. 14.2).

4. Длину вылета и ширину разворота верховой струенаправляющей дамбы, принимаемые по внешней бровке (со стороны русла) верха дамбы, вычисляют по формулам [55]*.

$$l_в = \lambda^2 \rho_{min}; \qquad (14.3)$$

$$в = \lambda \rho_{min}; \qquad (14.4)$$

где $\lambda = l_в/в$—отношение полуосей, определяемое согласно п. 10; ρ_{min}—радиус кривизны токов в голове дамбы, определяемый в зависимости от гидрологических условий (см. п. 12).

Если в результате расчета получится $l_в \geqslant L_м$, где $L_м$—отверстие моста, то принимают $l_в = L_м$ и $в = L_м/\lambda$.

Если по расчету получено, что длина вылета близка половине ширины насыпи на отметке УВВ, то вместо струенаправляющей дамбы устраивают только конус (т. е. $l_в = в$).

Для прикидочных расчетов ширину разворота дамбы можно определять по предложению А. М. Латышенкова:

$$в = A\delta B_р, \qquad (14.5)$$

где коэффициент А принимают в зависимости от коэффициента стеснения потока насыпью на i-ой (левой и правой) поймах $\delta_i = Q_{пi}/Q$ ($Q_{пi}$—расход воды, проходивший в бытовом состоянии на части i-ой поймы, пересыпанной насыпью):

δ_i	<0,3	0,3—0,4	>0,4
А	1,11	1,08	1,06

5. При определении координат внешней бровки (со стороны русла) верховых струенаправляющих дамб задают значение координаты x и находят координату y по формуле

$$y = в\sqrt{1 - x^2/l_в^2}. \qquad (14.6)$$

Для быстрого определения безразмерной координаты $y/в$ рекомендуется пользоваться графиком (рис. 14.3).

* Программа для ЭВМ серии ЕС расчета размеров струенаправляющих дамб по излагаемому методу имеется в фонде программ ЦНИИСа.

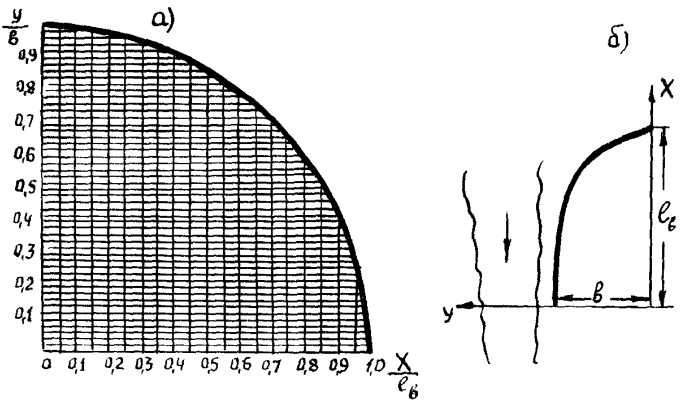


Рис. 14.3. Определение координат верховых струенаправляющих дамб:
а—график $\frac{y}{в}=f\left(\frac{x}{l_в}\right)$; *б*—ориентирование осей дамбы

К головной части верховой дамбы прибавляют криволинейную приставку с радиусом $\rho=0{,}2в$ и углом разворота $\Theta=90—120°$ (см. рис. 14.2).

6. Низовые струенаправляющие дамбы проектируют в зависимости от размеров верховых дамб. Проекцию низовой дамбы на ось x принимают $l_н=0{,}5l_в$.

Низовую дамбу очерчивают по круговой кривой радиусом $\rho_н=l_з^2/в$ при угле разворота 7—8°, а затем по прямой, касательной к круговой кривой (см. рис. 14.2). Безразмерные координаты точки C сопряжения касательной к кривой могут быть приняты равными $x/l_в=—(0{,}12+0{,}14)\lambda$ и $y/в=1—0{,}01\lambda^2$, а точки D конца низовой дамбы— $\frac{x}{l_в}=—0{,}5$ и $y/в=1—0{,}065\lambda+0{,}007\lambda^2$.

7. В зависимости от ситуационных условий на мостовом переходе (наличия проток, расположения головы дамбы на относительно высоких отметках и т. п.) размеры дамбы можно корректировать только в сторону увеличения размеров по сравнению с расчетными.

При необходимости увеличения размеров дамб в сторону от створа перехода, т. е. вылета $l_в$, требуется устраивать прямую вставку, сопрягающую расчетную длину вылета с низовой дамбой (рис 14.4).

Увеличение размеров дамбы только за счет удлинения вылета $l_в$ без прямой вставки не рекомендуется, так как это нарушит плавность обтекания дамбы. Увеличение размеров дамбы в сторону от русла должно достигаться увеличением ее разворота $в$, при

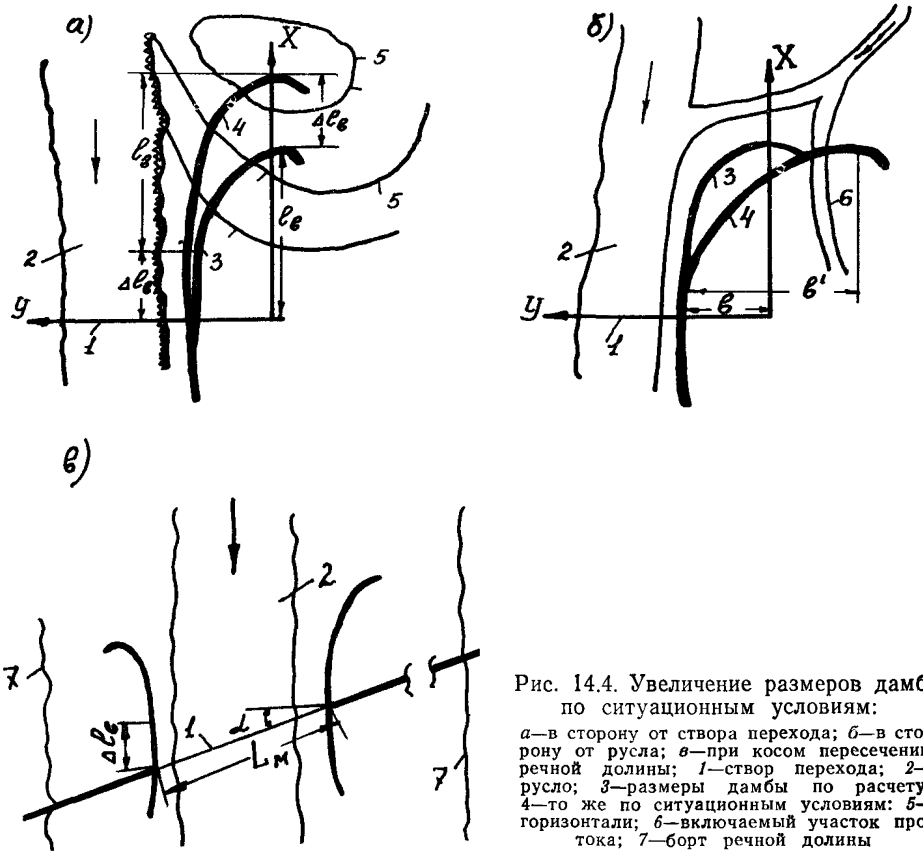


Рис. 14.4. Увеличение размеров дамб по ситуационным условиям:
а—в сторону от створа перехода; *б*—в сторону от русла; *в*—при косом пересечении речной долины; *1*—створ перехода; *2*—русло; *3*—размеры дамбы по расчету; 4—то же по ситуационным условиям: *5*—горизонтали; *6*—включаемый участок протока; *7*—борт речной долины

этом отношение полуосей дамбы $\lambda = \frac{l_в}{b}$ уменьшают по сравнению с расчетным значением (см. рис. 14.4).

8. В сложных случаях пересечения водотоков (при интенсивных русловых процессах, групповых отверстиях на переходе и т. д.) размеры и место положения дамб рекомендуется уточнять по результатам физического моделирования.

Обычно моделирование этих сооружений экономически оправдано при длине вылета одной из дамб свыше 200 м.

9. Струенаправляющие дамбы возводят из грунтов близлежащих карьеров с откосами обычно не круче 1:2. Ширина этих земляных сооружений поверху определяется с учетом организации строительных работ, но должна быть не менее 3 м. Независимо от продольного уклона водотока верх дамб на всем протяжении проектируют горизонтальной площадкой.

Отметку верха дамбы определяют по формулам (13.1) и (13.2). При этом в формуле (13.1) принимают технический запас равным $\Delta = 0{,}25$ м. Для верховых дамб максимальный подпор воды Δh_{max}

принимают при ширине соответствующей поймы $B_п \leqslant 1{,}5в$, а при $B_п > 1{,}5в$—подмостовой подпор $\Delta h_в$ Для низовых дамб $\Delta h_{max} = 0$.

При расчете верха дамб следует учитывать, что высота наката волны $h_{гип}$ на откосы дамбы со стороны русла может значительно отличаться от наката на откосы пойменного подхода из-за параметров волн, определяемых для разных длин разгона и особенно расчетных глубин воды

10 Отношение полуосей дамбы $\lambda = l_в/в$ определяют по формуле

$$\lambda = \sqrt{2 \ln v_{дм}/v_г + 1} \qquad (14\,7)$$

или по графику (рис 14 5)

Для прикидочных расчетов можно принимать в зависимости от коэффициента стеснения потока δ_i (по Латышенкову):

δ	0,15	0,16—0,25	0,26—0 35	>0,35
λ	1,5	1,67	1,83	2,0

В формуле (14 7) $v_г$—скорость потока в голове дамбы (см п. 11), $v_{дм}$—расчетная скорость потока у подошвы струенаправляющей дамбы в створе моста, которую определяют по

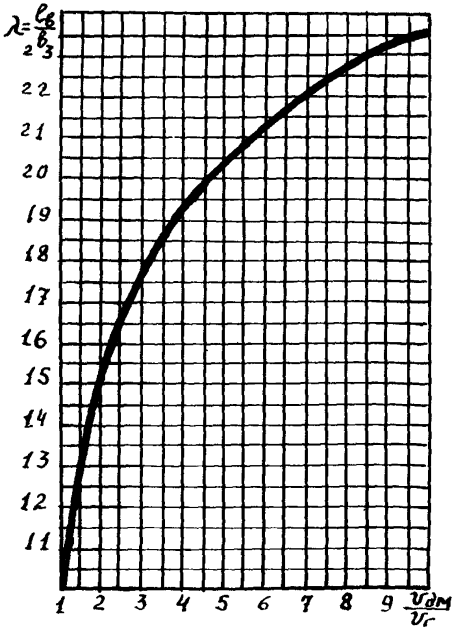


Рис 14 5 График для определения полуосей дамбы $\lambda = f\left(\frac{v_{дм}}{v_г}\right)$

рекомендациям гл 10 для вертикали с соответствующей расчетной глубиной потока $h_{дм}$. Последнюю принимают в зависимости от морфологических особенностей подмостового сечения и возможных плановых и глубинных деформаций

а) В случае, когда отверстие моста не превышает ширину уширенного русла ($L_м \approx B_{уш}$), глубину потока у подошвы струенаправляющей дамбы в створе моста $h_{дм}$ принимают наибольшей в русле при побочневом типе руслового процесса и русловой многорукавности. При меандрирующих руслах всех модификаций, включая пойменную многорукавность (см. гл. 9), в качестве $h_{дм}$ принимают наибольшую глубину в русле только для дамбы со стороны вогнутого берега, а со стороны выпуклого—среднюю глубину потока в русле (с учетом общего размыва).

б) При наличии пойменной части отверстия, когда $L_м > B_{уш}$, глубину потока у подошвы струенаправляющих дамб в створе моста принимают наибольшей в русле только при криволинейных руслах для дамб со стороны вогнутого берега (если по прогнозу плановых деформаций в период эксплуатации перехода русло подойдет к одному из устоев); во всех остальных случаях в качестве $h_{дм}$ принимают глубину потока на пойменной части моста с учетом глубинных деформаций.

В рассматриваемых случаях к расчету принимают глубину потока, равную

$$h_{дм} = h_{дмб} + \alpha_р (H_i - h_{дмб}), \qquad (14\,8)$$

где $h_{дмб}$, H_i—глубины потока на вертикали у подошвы струенаправляющей дамбы в створе моста соответственно в бытовых условиях (с учетом естественного руслового процесса) и полученная согласно гл 10 после общего размыва, параметр $\alpha_р$ (см п 2) принимают в долях единицы

11 Скорость потока в голове дамбы $v_г$ определяют в зависимости от числа пойм, на которых устраивают струенаправляющие дамбы:

а) При односторонней пойме

$$v_г = C_г \sqrt{H_г \delta (i \cdot i_м)}^{1/4}, \qquad (14\,9)$$

где $C_г$—коэффициент Шези, определяемый по коэффициенту шероховатости n русла (см прил 3 3) при глубине потока $H_г$ у подошвы головы дамбы, которую в первом приближении принимают равной

$$H_г = h_б + \Delta h_в; \qquad (14.10)$$

$h_б$—глубина потока на той же вертикали в бытовых условиях, $\Delta h_в$—предмостовой подпор, i—продольный уклон водной поверхности в паводок, $i_м$—средний уклон свободной поверхности потока (см п 13) перед мостом

б) При пересечении водотока с двумя поймами скорость потока в голове дамбы со стороны мощной (пропускающей бо́льший расход воды) $v_{г(м)}$ и слабои $v_{г(с)}$ пойм соответственно равна.

$$v_{г(м)} = C_{г(м)} \sqrt{H_{г(м)} \delta_м (i \cdot i_{м(м)})}^{1/4}; \qquad (14\,11)$$

$$v_{г(с)} = v_{г(м)} (\delta_с / \delta_м)^{1/3} (i_{м(м)} / i_{м(с)})^{\beta/2}, \qquad (14.12)$$

где $C_{г(м)}$—коэффициент Шези, определяемый с учетом фиктивной глубины потока $H_{г(м)}$ у подошвы головы дамбы на мощной пойме

$$H_{г(м)} = H_г\varphi_м + h_б\,(1 - \varphi_м); \qquad (14.13)$$

$\varphi_м$—коэффициент, характеризующий, какая часть предмостового подпора вызвана стеснением мощной поймы; для i-ой поймы

$$\varphi_i = \frac{(Q/Q_{бм})^2(\delta_i + Q_{бм}/Q)^2 - 1}{(Q/Q_{бм})^2 - 1}; \qquad (14.14)$$

$i_{м(i)}$—фиктивные средние уклоны свободной поверхности потока перед мостом со стороны i-ой поймы (см. п. 13); β—показатель степени, определяемый по формуле

$$\beta = \frac{1{,}55v_{г(м)}}{\sqrt{gH_{г(м)}}}. \qquad (14.15)$$

При $\frac{1{,}55v_{г(м)}}{\sqrt{gH_{г(м)}}} \leqslant 0{,}2$ следует принимать $\beta = 0{,}2$.

12. Радиус кривизны токов в голове дамбы со стороны мощной и слабой поймы определяют соответственно по формуле

$$\rho_{min(м)} = \frac{v^2_{г(м)}}{g}\,\frac{i^{\beta}_{м(м)}}{i}\,(1 - \Sigma\delta_i)^{2\beta}; \qquad (14.16)$$

$$\rho_{min(с)} = \left(\frac{\delta_с}{\delta_м}\right)^{2/3}\rho_{min(м)}, \qquad (14.17)$$

где $\Sigma\delta_i = \delta_м + \delta_с$—коэффициент стеснения потока подходами со стороны мощной и слабой поймы.

В формуле (14.16) при $i_{м(м)} \geqslant 0{,}0001$ и $i \leqslant 0{,}0001$ к расчету принимают $i = 0{,}0001$; при $i_{м(м} < 0{,}0001$—$i = i_{м(м)}$.

13. Средний уклон свободной поверхности потока перед мостом определяют по формулам:

при нормальном пересечении водотока с одной поймой

$$i_м = i + \Delta h_в/X_0; \qquad (14.18)$$

то же с двумя поймами

$$i_{м(i)} = i + \varphi_i\Delta h_в/X_0; \qquad (14.19)$$

при косом пересечении поймы, когда проекция подхода на направление течения $S_{ов} \geqslant X_0$,

$$i_м = i + \Delta h_в/S_{ов}; \qquad (14.20)$$

то же, при наличии второй поймы (нормально пересекаемой подходом)

$$i_{м(i)} = i + \varphi_i\Delta h_в/S_{ов}. \qquad (14.21)$$

Расстояние X_0 от моста до вертикали, где устанавливается предмостовой подпор, и величину предмостового подпора $\Delta h_в$, определяют по формулам гл. 10.

14. При косом пересечении русла оси дамб ориентируют относительно направления потока в реке в бытовых условиях. Если отклонение створа моста от вертикали к направлению потока в быту составляет $\alpha > 10°$, то при расположении устоя со стороны мощной поймы вверх по течению на струенаправляющей дамбе со стороны слабой поймы рекомендуется устраивать прямую

вставку длиной $\Delta l_в \geqslant L_м \sin\alpha$ (рис. 14.4, *в*). Если устой со стороны мощной поймы расположен вверх по течению при $\alpha > 30°$, размер дамб следует корректировать по результатам моделирования.

15. Глубину местного размыва в однородных несвязных и связных грунтах у обтекаемых потоком дамб, расположенных на пойме, определяют по формуле:

$$h = \left(2\frac{v_г}{v_0} - 1\right) H_г K_m, \qquad (14.22)$$

где K_m—коэффициент, зависящий от коэффициента заложения откоса дамб m со стороны русла, определяемый по табл. 14.1.

Таблица 14.1

m	K_m	m	K_m
0	1	2	0,77
1,0	0,94	2,5	0,70
1,5	0,80	3,0	0,67

16. Откосы струенаправляющих дамб должны быть защищены от возможных течений вдоль сооружения, а также волновых и ледовых воздействий. Наиболее распространенными видами укреплений откосов дамб являются каменная наброска и плитные укрепления. Область их применения ограничивается гидрологическими условиями, указанными в гл. 12. Там же приведены расчеты определяющих воздействий и укреплений. При этом требуемую крупность однородного камня для защиты откосов дамб от продольных течений определяют по формуле

$$d_к = \frac{v_{дм}^2}{4g} \frac{m}{\sqrt{m^2 - m_0^2}}, \qquad (14.23)$$

где m_0—коэффициент заложения естественного откоса камня под водой; для практических расчетов принимают $m_0 = 1{,}1$—$1{,}25$, где бо́льшие значения соответствуют округлым, а меньшие—угловатым камням.

Расчет плитных укреплений производят по рекомендациям гл. 12 с учетом скорости потока $v_{дм}$.

Для обеспечения устойчивости укрепления на откосе и защиты подошвы дамбы рекомендуется устраивать рисберму. Крупность камня в рисбермах назначается, как для откосов при воздействии продольных течений.

Пример расчета плановых размеров дамб и их укреплений приведен в приложении 14.1.

14.3. Расчет поперечных регуляционных сооружений

1. Поперечные регуляционные сооружения устраивают для отжима потока от насыпи при больших скоростях течения или вогнутого берега при интенсивном русловом процессе (рис. 14.6).

Незатопляемые поперечные сооружения, устраиваемые на пойменных участках, принято называть траверсами.

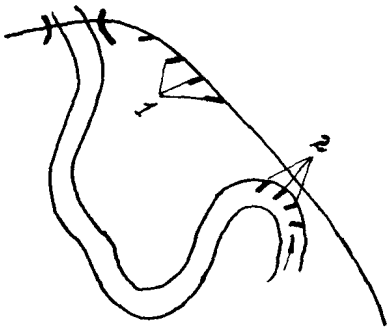


Рис. 14 6. Схема расположения траверсов (*1*) и шпор (*2*) для защиты насыпи подходов

Русловые сооружения (шпоры и полузапруды) устраивают обычно не выше бровки берега русла; при этом полузапруды частично или полностью затапливаются потоком, проходящим в бровках русла. Поперечные регуляционные сооружения рекомендуется примыкать к земляному полотну (или к берегу) под углом 90°.

Траверсы отжимают от подходной насыпи продольные течения на пойме, но не оказывают влияния на работу струенаправляющих дамб. Их не устраивают, если волновые или ледовые воздействия являются определяющими при назначении укреплений для подходов (т. е. требуются более мощные укрепления для защиты от волновых или ледовых воздействий, чем от продольных течений вдоль подходов).

Устройство шпор и полузапруд на судоходных и сплавных реках должно быть согласовано с организациями речного флота и лесосплава. На реках с интенсивным ледоходом, где возможно образование заторов льда, применять русловые сооружения не рекомендуется.

Защитный фронт, образуемый незатопленными поперечными сооружениями, распространяется вверх от головы сооружения на длину его проекции на нормаль к направлению течения $в$ и вниз — на длину z (рис. 14.7).

На прямых и криволинейных участках при угле разворота излучины (см. гл. 9) или угле поворота трассы $\alpha_п \leqslant 60°$ z определяют по формуле (согласно данным А. Н. Милитеева):

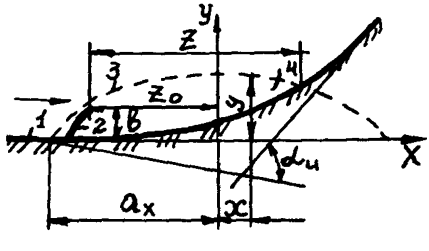


Рис. 14.7. Размеры водоворотных зон у поперечных сооружений:
1—вогнутый берег; *2*—поперечное сооружение, *3*—граничная струя транзитного потока, *4*—водоворотная зона

$$z = 1{,}5\, в\left(1 - 3 \lg \lambda \frac{в}{H}\right), \quad (14.24)$$

где $\lambda = \frac{2g}{C^2}$—коэффициент гидравлического трения, C—коэффициент Шези

Расчет по формуле (14.24) производят при $-1{,}2 \leqslant \lg \lambda \frac{в}{H} \leqslant 0{,}1$; при $\lg \lambda \frac{в}{H} < -1{,}2$ $z = 7\ в$ и при $\lg \lambda \frac{в}{H} > 0{,}1$ $z = в$.

Для облегчения расчетов составлен график (рис. 14.8).

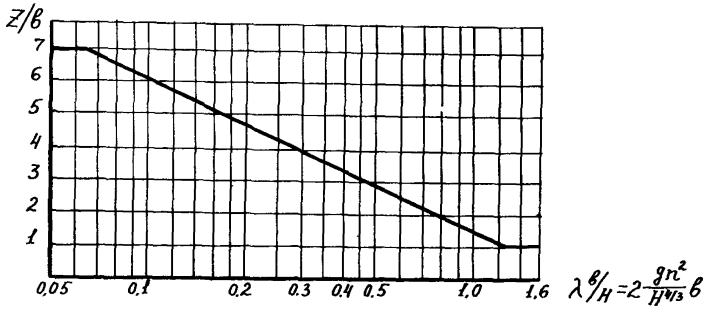


Рис 14 8. График для определения длины защитного фронта z, создаваемого поперечным сооружением расчетной длиной $в$ на прямолинейных и слабокриволинейных участках

На криволинейных участках при $\alpha_и > 60°$ фактическая длина водоворотных зон меньше рассчитанной по формуле (14.24), поскольку ее размеры ограничиваются с низовой стороны берегом или насыпью (см. рис. 14.7).

В первом приближении коэффициент уменьшения длины водоворотной зоны на криволинейном участке равен

$$k_z = 0{,}27 \operatorname{ctg} \frac{\alpha_и}{4} \qquad (14.25)$$

Для того, чтобы между соседними поперечными сооружениями был защищенный участок насыпи (берега), расстояние между ними должно быть не менее длины защитного фронта z верхнего сооружения. При компоновке поперечных сооружений ниже стоящее сооружение должно выступать из водоворотной зоны, образованной верхним сооружением (см. рис. 14.7). Траектория граничной струи транзитного потока, фиксирующая водоворотную зону, описывается эллипсом с малой a_y - $1{,}4в$ и большой $a_x = \frac{z+в}{2}$ полуосями. Ось абсцисс X располагают на прямой, касательной к берегу в точке пересечения с продольной осью сооружения (см. рис. 14.7). Ось Y расположена в створе наибольшего удаления граничной струи транзитного потока от берега (или оси X при криволинейном русле) на расстоянии от расчетного створа, равном

$$z_0 = \frac{z-в}{2}. \qquad (14.26)$$

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

$$y = \frac{a_y}{a_x} \sqrt{a_x^2 - x^2}. \qquad (14.27)$$

Расстояние между полузапрудами принимают не более двойной их длины.

3. У сплошных незатопляемых поперечных сооружений глубину местного размыва в однородных несвязных и связных грунтах определяют по формуле

$$h=\left[1{,}7\left(\frac{v_r}{k_v v_0}\right)^{2/3}-1\right]HK_m, \qquad (14.28)$$

где v_r—скорость потока в голове поперечного сооружения (см. п. 4); k_v—коэффициент, характеризующий поступление наносов в воронку размыва и принимаемый равным: $k_v=1$ при расположении поперечных сооружений на пойме, размывах в связных грунтах или $v\leqslant v_0$; $k_v=0{,}96\left(\frac{H}{d}\right)^{0{,}05}$ при $v\geqslant 1{,}35v_0$ при $v_0<v<1{,}35v_0$—в диапазоне значений k_v; v_0—неразмывающая скорость (см. гл 10), определяемая с учетом глубины потока H в голове поперечного сооружения.

Наибольшую глубину местного размыва у сплошных затопляемых поперечных сооружений высотой H_1 определяют по формуле (14.28) с учетом весового коэффициента f_1, который принимают согласно гл. 10.

4. Скорость потока в голове поперечного сооружения v_r определяют в зависимости от угла α, образуемого осью сооружения с направлением течения:

при $\alpha\geqslant 45^\circ$ $$v_r=(\varepsilon/H)^{1/4}v; \qquad (14.29)$$

при $\alpha<45^\circ$ $$v_r=v+[(\varepsilon/H)^{1/4}-1]\left(\frac{\alpha}{45}\right)^{1/3}v. \qquad (14.30)$$

5. При назначении поперечных сооружений необходимо иметь в виду, что укрепления их голов на воздействие продольных течений должны быть более мощные, чем укрепления защищаемых откосов насыпи или берега (без поперечных сооружений).

При укреплении поперечных сооружений каменной наброской крупность камня определяют (для самых неблагоприятных условий) по формулам [54]:

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

$$d_к=\varphi_v\left[(\varepsilon/H)^{1/2}+9{,}25\frac{v^2}{gH}\left(\frac{H}{Ш}\right)^{1/2}\frac{m^2}{\sqrt{m^2-m_0^2}}\right], \qquad (14.31)$$

где $\varphi_v=0{,}1\frac{v^2}{g}\frac{m}{\sqrt{m^2-m_0^2}}$, Ш—ширина поперечного сооружения;

при $\alpha<45^\circ$

$$d_к=0{,}58\frac{v^4}{g^2H}\varphi_\alpha^4\frac{m^2}{m^2-m_0^2}, \qquad (14.32)$$

где $\varphi_\alpha=1+(\varepsilon/H)^{1/4}\left(\frac{\alpha}{45}\right)^{1/3}-\left(\frac{\alpha}{45}\right)^{1/3}$.

Толщину плитных укреплений рассчитывают по рекомендациям гл. 12 на скорость v_r в голове сооружения.

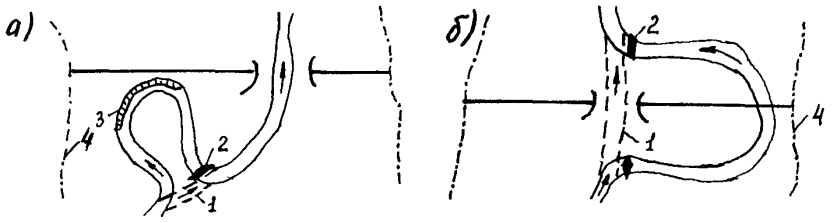


Рис. 14.9. Схема спрямлений излучин русла:

а—спрямляемая излучина, угрожающая пойменной насыпи на несудоходной реке; *б*—расположение моста на спрямленном русле судоходной реки; *1*—спрямление; *2*—запруда; *3*—вариант укрепления берега, *4*—граница разлива при УВВ

14.4. Спрямление русел и водоотводы на поймах

1. Спрямление русла производят только на равнинных меандрирующих реках с целью выключения излучины, угрожающей сооружениям мостового перехода, или создания нормального направления русла к оси перехода (рис. 14.9).

Спрямление русла также производят для устранения систематических заторов льда в пересеченной мостовым переходом излучине.

Целесообразность спрямления русла должна быть доказана сравнением вариантов спрямления и выполнения других мероприятий, улучшающих работу перехода (рис. 14.9, *а*). Спрямление русел судоходных и сплавных рек должно быть согласовано с соответствующими организациями, а несудоходных и несплавных—с местными организациями, интересы которых затрагивает проектируемое спрямление (с местными советами, колхозами, совхозами, лесхозами и др).

Для заиления выключенной в результате спрямления излучины русла на уровне бровок русла устраивают массивную запруду в нижнем по течению участке петли; на судоходных и сплавных реках такую же запруду устраивают в начале спрямления, обеспечивая нормальные условия судовождения (рис. 14.9, *б*).

2. Расчет спрямления русла производят для расхода воды $Q_{рб}$, проходящего в бровках русла.

Основные геометрические размеры канала должны удовлетворять следующим условиям:

ширина в бровках $B_{спр}$ находится в пределах $B_{рб} \leqslant B_{спр} \leqslant B_{уш}$, где $B_{рб}$, $B_{уш}$—ширина соответственно бытового и уширенного русла;

отметки дна не ниже средних в спрямляемом русле;

уклон дна равен $i_{спр} = i_{из} \frac{L_{из}}{l_{спр}} (n_{из}/n_{спр})^2$,

где $i_{из}$—уклон потока в спрямляемой излучине; $L_{из}$, $l_{спр}$—длина излучины и спрямленного участка; $n_{из}$, $n_{спр}$—коэффициенты шероховатости русла в излучине и на спрямлении (в канале).

Искусственное и естественное русла сопрягают по круговым кривым радиуса не менее 3,5 $B_{спр}$ на неэксплуатируемых и не менее 5 $B_{спр}$ на сплавных и судоходных реках.

3. Подходы к мостам, расположенным на поймах меандрирующих рек, обычно перекрывают староречья, протоки и ложбины между старыми прирусловыми валами. В образовавшихся замкнутых пространствах выше и ниже мостового перехода могут накапливаться талые и грунтовые воды, заболачивая пойменные земли.

В этих случаях в проекте мостового перехода должны быть предусмотрены водоотводы, а при необходимости—отверстия в пойменных насыпях.

4. Сооружения для отвода воды из замкнутых пойменных водоемов рассчитывают на расход, пропуск которого обеспечивает нормальную хозяйственную деятельность на пойме реки выше и ниже по течению от мостового перехода.

Необходимые размеры неукрепленных водоотводных канав на поймах подбирают такие, при которых скорость потока v в них меньше неразмывающей v_0 (см. гл. 10).

Площадь ω живого сечения, в м^2, и продольный уклон i канавы в несвязных грунтах могут быть определены по формулам:

$$\omega \geqslant \frac{Q}{3{,}6(dR)^{0{,}25}}; \qquad (14.33)$$

$$i = \frac{13d^{0{,}5}n^2}{R^{0{,}83}}, \qquad (14.34)$$

где Q—расход воды в бровках, м^3/сек; d—средний диаметр частиц несвязного грунта; R—гидравлический радиус живого сечения, м; n—коэффициент шероховатости, принимаемый равным 0,02—0,025

14.5. Причины нарушения и методы усиления водопропускной способности мостовых переходов

1. Под водопропускной способностью обычно понимается расход воды, пропускаемый мостовым переходом при запасах в размерах сооружений, регламентированных нормами. Если при проходе не выше расчетного паводка требуются ремонтные работы, выходящие за пределы текущего содержания сооружений, то принято считать, что водопропускная способность мостовых переходов нарушена.

К нарушениям водопропускной способности, приводящим к отказу (разрушению) сооружений, относятся: подмыв основания или фундамента; размыв укрепления; перелив или подтопление.

Подмывы основания или фундамента сооружения, как правило, нельзя визуально фиксировать, что связано иногда с выделением этого вида нарушения в особо опасное.

С точки же зрения возможности отказов все перечисленные нарушения водопропускной способности являются равноопасными.

Причинами нарушения водопропускной способности мостовых переходов являются: недостаточное обоснование проектных реше-

ний, слабая проработка проектов организации работ и отсутствие в них природоохранных мероприятий; отсутствие конкретных норм и правил, регламентирующих работы в руслах и поймах рек.

Указанные причины могут быть подразделены на два вида: ошибки, заложенные при проектировании и строительстве; антропогенные (связанные с деятельностью человека) воздействия

Детализация причин нарушения водопропускной способности переходов и связанные с ними возможные последствия приведены в табл 14 2. В таблицу включены объективные причины, вызванные, например, несовершенством расчетов и непреднамеренно неправильно принятыми решениями. Грубые промахи, халатность, нарушение норм и прочие действия не рассматриваются

Таблица 14 2

№	Ошибки, допущенные при проектировании и строительстве	Причины возникновения	Воздействие потока и виды нарушения водопропускной способности
1	Неправильно определен расчетный расход	Короткий (нерепрезентативный) ряд наблюдений за расходами или уровнями	Повышенные деформации у опор мостов и струенаправляющих дамб, подтопление пролетных строений и подходов
2	Неправильно определен расчетный уровень	Недоучет ледовых явлений	Подтопление пролетных строений
3	Недостаточное заложение фундаментов опор	1 Неправильно определены гидрологические условия (см п 1) 2 Сосредоточенные размывы, вызванные неправильной регуляцией пойменного потока (малы плановые размеры струенаправляющих дамб), недостаточное отверстие моста (при коэффициенте стеснения потока более двух может меняться направленность руслового процесса), естественный русловой процесс (неблагоприятное положение наносных скоплений в подмостовом сечении) 3 Завышение отверстия моста при меандрирующих руслах (большая косина потока, обтекающего опору при низких уровнях)	Недопустимые русловые деформации у опор
4	Недостаточное укрепление подошвы струенаправляющих дамб, конусов и подходных насыпей	Недоучет интенсивности русловых процессов в свободных и зарегулированных руслах	Подмыв оснований сооружений

Продолжение табл 14 2

№	Ошибки, допущенные при проектировании и строительстве	Причины возникновения	Воздействие потока и виды нарушения водопропускной способности
5	Нарушения в технологии возведения переходов	1) Не расчищена пойменная часть отверстия	Сосредоточенные размывы в русле
		2) Островками или дамбами для возведения промежуточных опор перекрыта значительная часть русла	
		3) Устройство карьера в русле выше или ниже мостового перехода с объемом разрабатываемого грунта, не восстанавливаемого рекой за 1—2 года	Понижение отметок дна русла под мостом
		4) Не разобрано шпунтовое ограждение после возведения промежуточных опор	Подмыв шпунта при глубине воронки больше расчетной для опоры
4	Недоучет антропогенных воздействий	1) Вырубка лесов в водосборном бассейне	Увеличение пикового расхода в паводки (при том же объеме стока)
		2) Устройство гидротехнических сооружений выше по течению и устроиство карьеров в руслах рек	Понижение отметок русла под мостом из-за нарушения режима наносов
		3) Разрушение некапитальных плотин	Увеличение расхода воды в отверстии
		4) Склоновая эрозия	Перелив через насыпь или сосредоточенные размывы из-за отложения наносных скоплений под мостами (особенно малыми)

2. Время обнаружения ошибок зависит в основном от коэффициента вариации расходов воды C_v на водотоке. В северных районах, где коэффициенты вариации небольшие, в первые же годы эксплуатации перехода условия прохождения паводка будут близки к расчетным и выяснятся недостатки сооружений. На водотоках с высоким C_v мостовой переход может благополучно пропускать паводки в течение ряда лет и неожиданно нарушиться его работа при проходе высокого паводка.

От коэффициента вариации максимальных расходов зависит также ошибка при определении расчетного расхода или уровня. При коротких рядах и большом коэффициенте вариации прохождение высокого паводка существенно изменяет расчетные гидрологические параметры [57].

3. Большинство причин подмыва сооружений связано с сосредоточенным размывом—неблагоприятным сочетанием возможных размывов (общим, местным и естественным переформированием русла) у сооружений мостового перехода Особенно опасны (из-за

невозможности их прогнозирования) сосредоточенные размывы при нарушении тенденций изменения хода руслового процесса, которые могут быть вызваны неправильной регуляцией пойменного или руслового потоков на стадии возведения мостового перехода.

4. Наряду с изменением направленности хода руслового процесса, связанного в конечном счете со стеснением потока в районе мостового перехода, не менее неблагоприятные условия могут быть созданы при завышении отверстия моста.

Такое проектирование наиболее неэкономично, поскольку увеличивается стоимость и пролетных строений, и опор. Кроме возможной большой косины потока, обтекающего опору при низких уровнях (что ведет к увеличению глубины заложения фундамента), из-за свободного меандрирования русла в отверстии моста требуется одинаковое фундирование всех промежуточных опор.

5. На естественный ход руслового процесса может существенно повлиять устройство карьеров в русле выше или ниже мостового перехода. Наиболее опасен забор грунта в русле выше мостового перехода, поскольку в этом случае русловые деформации под мостом будут развиваться в условиях дефицита поступления наносов. Забор грунта в русле выше мостового перехода не будет влиять на его работу при соблюдении всех условий, указанных в табл. 14.3.

При заборе грунта в русле ниже перехода уполаживаемый верховой откос карьера (в результате так называемого попятного размыва) не должен доходить до створа моста. Необходимое расстояние до карьера для соблюдения указанного условия приведено в табл 14.3.

Таблица 14.3

Параметры карьеров	Требования к карьерам, расположенным в русле относительно створа перехода	
	выше	ниже
Объем	Восстанавливается рекой за 1—2 года	Не понижает базиса эрозии (уровень воды в реке)
Глубина забора грунта в русле, $h_к$	$<(3\div5)i\ (l_к-L_р)$; $<(2\div4)il_к+\Delta h$, i—продольный уклон водной поверхности нестесненного потока; $L_р$—длина тела размыва, Δh—глубина общего размыва в русле	
Расстояние до створа перехода, $l_к$	$>L_р+\sqrt{\frac{L_р\Delta h}{(3\div5)i}}$	$>\frac{h_к-\Delta h}{(2\div4)i}$

6. Проектным решениям по реконструкции мостовых переходов предшествует их обследование. Порядок проведения изыскательских работ, сбор дополнительных материалов для проекта и согласования приведены в гл. 4.

После выяснения причин и объемов разрушений на основе технико-экономического обоснования принимают решения об усилении перехода или новом строительстве. Если на нарушение водопропускной способности переходов не «накладываются» усиления провозной способности (например, устройство вторых путей) или реконструкций сооружений (например, увеличение грузоподъемности), то новое строительство (смещение створа перехода) экономически оправдано, как правило, только при потере устойчивости промежуточных опор. Смещение створа моста вниз по течению в этом случае желательно при той же схеме моста. В противном случае створ должен располагаться выше существующего не менее чем на 2—2,5 высоты реконструируемых опор. При этом следует учесть необходимость переустройства струенаправляющих дамб (см. пп. 14.6).

7. При недостаточном заложении фундаментов опор моста, вызванном изменившимися ситуационными условиями (например, устройство плотины выше мостового перехода), усиление опор или всего подмостового русла может быть экономически оправдано даже при отверстиях до 300—400 м.

Для того, чтобы не создавать условий для образований сосредоточенных размывов в русле, укрепление только опор следует устраивать ниже отметки общего размыва (и понижения русла в связи с изменившимися ситуационными условиями). При невозможности или технической сложности обеспечения указанного условия к укреплению только опор желательно переходить при пролетах в свету $l_{пр} > (10 \div 12)h$, где h—глубина местного размыва.

Обычно используют для защиты опор от подмыва плитное (тюфячное) укрепление или каменную наброску. Плитное укрепление технологически более сложное и трудоемкое и применяется при работе «насухо» или при малых глубинах потока в межень. При использовании плитного укрепления необходимо решать вопросы с закреплением его к опоре и ликвидации больших зазоров между укреплением и опорой. Сложность связана также с неровной поверхностью дна у опоры (включая сформировавшуюся воронку местного размыва). Неравномерность деформаций дна у основания опоры при недостаточной гибкости плитного укрепления обуславливает ненадежность его применения.

Гибкость конструкции укрепления обеспечивает каменная наброска. При этом типе укрепления камень не должен уноситься, а толщина каменной наброски (не менее трех слоев) исключать возможность практической просадки за счет «отсоса» из-под нее частиц грунта русла.

8. Укрепление опоры может быть произведено по двум принципиально различным схемам. По первой схеме укрепление устраивают на всю ширину воронки, которая образовалась бы при отсутствии укрепления. Размеры схематизированной воронки в плане для назначения размеров укрепления при нормальном набегании потока на опору показаны на рис. 14.10. При косом набегании потока бровку схематизированной воронки рекомендуется

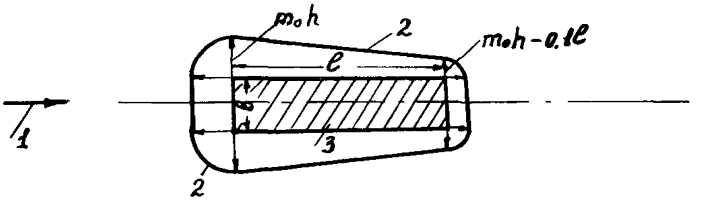


Рис. 14.10. Размеры схематизированной воронки в плане:
1—направление течения, *2*—бровка воронки; *3*—опора

назначать на одинаковом расстоянии от сторон опоры (на отметке общего размыва) по всему ее периметру, равном hm_0, где m_0—коэффициент естественного откоса грунта, определяемый согласно табл. 10.11.

По первой схеме укрепление работает как недеформируемый нижний слой русла, стабилизирующий местный размыв у опоры.

При расположении верха наброски ниже на Δ отметки дна после общего размыва камень крупностью $d_н$ будет устойчив у основания опоры при

$$d_н > 0{,}7\ H\left(\frac{v}{\mu\sqrt{gH}}\right)^{8/3}\left(\frac{b}{H}\right)^{1/3}\left(\frac{H}{H+\Delta}\right)^{\varphi}, \qquad (14.35)$$

где H, v—глубина и скорость потока; μ—параметр, определяемый по формуле (10 51); b—расчетная ширина опоры, приведенная к цилиндрической и равная (см. п 10.5)

$$b = \left(\sum_{i=1}^{n} b_i^{0,6} f_i \mathrm{M}_i \mathrm{K}_i\right)^{1,67}; \qquad (14.36)$$

φ—коэффициент, зависящий от отношения H/b:

$\frac{H}{b}$ ...	⩽ 1	2	3	4	5	6	8	10
φ ..	2	2,2	2,5	2,85	3,35	3,65	4,5	5,7

9. Более экономичной и технологически простой является вторая схема укрепления опоры. При этой схеме можно использовать только камень (или подобный несвязный материал), который укладывают по периметру фундамента опоры, создавая в сечении до размыва камня треугольную или трапецеидальную рисберму толщиной δ (рис. 14.11). Она применима в том случае, если допускается размыв и требуется только несколько снизить его по сравнению с прогнозируемым без укрепления.

По этой схеме также необходимо подобрать по неравенству (14.35) размер камня, при котором обеспечивается его устойчивость у основания опоры. При размыве камень рисбермы, подобно слою отмостки, образует бронирующий покров дна (см. рис. 14.11, *б*).

Глубину местного размыва у опор, укрепленных камнем, определяют по формуле

$$h_н = 0{,}5\ d_н h^2 / \overline{W}_к, \qquad (14.37)$$

где $\overline{W}_к$—удельныи объем каменной наброски на 1 м проекции передней грани опоры на плоскость, перпендикулярную направлению течений, удельный объем камня вдоль боковых граней опоры можно принимать уменьшающимся линейно от $\overline{W}_к$ до нуля (рис 14 12)

Формула (14.37) применима при условии, что удельный объем камня находится в диапазоне $\overline{W}_{к\min} \leqslant \overline{W}_к \leqslant \overline{W}_{к\max}$, где $\overline{W}_{к\min} = 0{,}5 d_н h$; $\overline{W}_{к\max} = 0{,}3 \frac{d_н}{\delta} h^2$, δ —толщина укладки камня (см. рис. 14.11).

10. Укрепление всего подмостового сечения может производиться (как и в первой схеме укрепления только опор) железобетонными (бетонными) плитами и каменной наброской. Крупность камня в наброске в укрепленном подмостовом сечении (не у опор) рассчитывают из условия устойчивости камня по размывающей скорости

$$d_н \geqslant 0{,}58 q^4 / (g^2 H^5), \qquad (14.38)$$

где q—удельный расчетный расход воды под мостом на участке укрепления

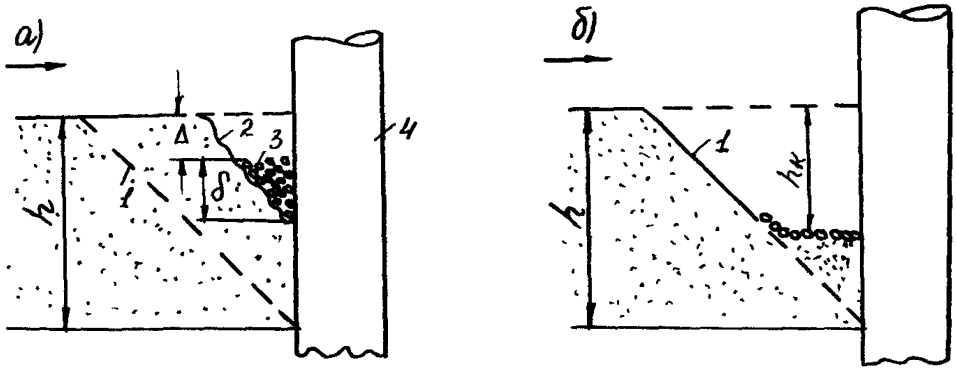


Рис 14 11. Укрепление опоры каменной наброской

а—расположение каменной наброски в сформировавшейся воронке размыва *б*—то же при стабилизации размыва, *1*—откос воронки при расчетных условиях без укрепления, *2*—то же при расходе воды ниже расчетного (в период эксплуатации перехода), *3*—рисберма, *4*—опора

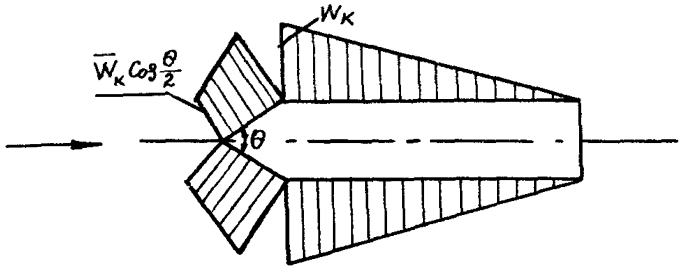


Рис 14 12 Эпюры удельных расходов камня для укрепления опоры

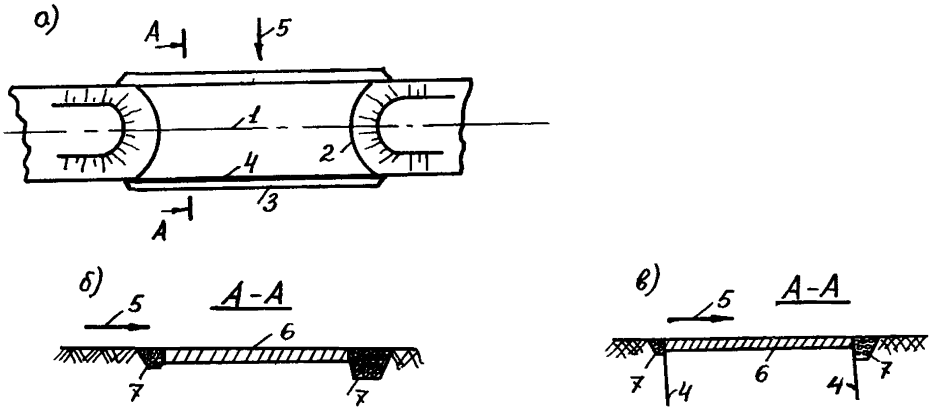


Рис. 14.13 Укрепление подмостового сечения

а—план укрепления, *б*—сечение А—А без устройства шпунтового ограждения, *в*—то же при устройстве шпунтового ограждения, *1*—ось мостового перехода, *2*—подошвы конусов моста, *3*—границы укрепления, *4*—шпунтовый ряд, *5*—направление течения, *6*—укрепление подмостового русла, *7*—рисбермы

Для защиты самого укрепления от подмыва с верховой и низовой его стороны устраивают обычно рисбермы (рис. 14.13), крупность камня в которых должна назначаться не менее полученной по формуле (14.38).

Удельный объем камня в рисберме назначают из условия достаточности распределения его по защищаемому от размыва откосу:

$$\overline{W}_к \geqslant 1{,}2 d_ц h \sqrt{1+m_0^2}, \qquad (14.39)$$

где h—глубина местного размыва соответственно в нижнем или верхнем бьефах укрепления, определяемая по формуле

$$h = 0{,}9 \frac{k_F}{k_\rho} \left(\frac{q}{\sqrt{g} d^{0{,}25}} \right)^{0{,}8} - H; \qquad (14.40)$$

k_F—коэффициент, учитывающий увеличение турбулизации потока в воронке размыва по сравнению с равномерным режимом и принимаемый равным 1,15—1,25; k_ρ—коэффициент, учитывающий поступление наносов в воронку размыва и принимаемый в зависимости от превышения средней скорости потока v над неразмывающей v_0 для грунтов русла·

v/v_0...	$\leqslant 1{,}0$	1,2	1,6	2,0	2,4
k_ρ ...	1,0	1,16	1,47	1,75	2,03

При расчете местных размывов в нижнем бьефе рекомендуется учитывать только частичное поступление наносов в воронку размыва и принимать указанное значение k_ρ в степени 0,5. На пойменных участках и в других случаях, когда отсутствует поступление наносов в воронку размыва, $k_\rho = 1$.

При больших глубинах размыва или дефиците камня укрепление подмостовых сечений «фиксируют» шпунтовым ограждением или, с целью уменьшения длины шпунта, используют шпунтовое

ограждение совместно с рисбермой из камня (см. рис. 14.13, *в*). Наличие каменной рисбермы уменьшает глубину местного размыва h у шпунтового ограждения до глубины

$$h_{н}=h\left(\frac{d}{d_{н}}\right)^{1/3}+0{,}13\frac{d_{н}}{\overline{W}_{к}}h^{2}, \qquad (14.41)$$

где d—средний диаметр частиц грунта в подмостовом сечении

11. При наличии каменной рисбермы и шпунтового ограждения в концевых частях укрепленного подмостового сечения оптимальную по стоимости глубину забивки шпунта назначают из условия, чтобы глубина размыва у рисбермы была

$$h_{к}=h\left(\frac{d}{d_{н}}\right)^{1/3}+0{,}36h\sqrt{d_{н}\frac{c_{к}}{c_{щ}}}, \qquad (14.42)$$

где $c_{к}$, $c_{щ}$—стоимость соответственно 1 м³ камня и 1 м² шпунтового ограждения.

Для оптимальной глубины $h_{к}$ требуется удельный объем камня

$$\overline{W}_{к}=0{,}13d_{н}h^{2}/\left[h_{к}-h\left(\frac{d}{d_{н}}\right)^{1/3}\right]. \qquad (14.43)$$

В районах, где камень является дефицитным материалом, при сопоставлении по стоимости укрепленных подмостовых русел критерием рациональности применения каменной рисбермы (особенно в верхнем бьефе) служит неравенство

$$\overline{W}_{к}\leqslant 1{,}2\frac{c_{щ}}{c_{к}}(h-h_{к}). \qquad (14.44)$$

К усилению мостовых переходов, кроме указанного укрепления опор и всего подмостового сечения, относится подъем пролетных строений и увеличение высоты насыпи подходов, увеличение отверстия моста, укрепление откосов сооружений и переустройства регуляционных сооружений для регулирования пойменного и руслового потоков (см. п. 14.6).

14.6. Реконструкция существующих регуляционных сооружений

1. При реконструкции существующих мостовых переходов возникает необходимость переустройства системы регуляционных сооружений.

В связи с этим нужно решить вопросы о целесообразности реконструкции существующих сооружений, степени их использования и об объеме работ по реконструкции на основе анализа материалов о работе мостового перехода за прошлые годы и данных гидрологических изысканий, освещающих характер и тенденции переформирования русла реки.

При анализе работы мостового перехода за период эксплуатации устанавливают интенсивность переформирования русла и учитывают проводившиеся мероприятия по пропуску паводков.

Если эти меры не дали положительного результата, то переустройство регуляционных сооружений необходимо, когда:

а) создалась реальная угроза прорыва насыпи подхода и обхода моста рекой; этот случай характерен для блуждающих рек

при образовании «ковша» размыва в непосредственной близости от моста;

б) река подмывает насыпь на подходах к мосту; этот случай характерен для равнинных меандрирующих рек;

в) образовался сосредоточенный размыв в одной части моста, тогда как другая часть работает слабо, причем опорам моста в размытой части угрожает подмыв; этот случай характерен также для равнинных меандрирующих рек, когда водопропускное отверстие размещено, а опоры моста заложены без учета развития меандра и мощности пойм; такой же случай возможен при неправильной форме и недостаточных размерах струенаправляющих дамб;

г) фарватер сместился с судоходных пролетов моста или судоходная трасса расположилась с недопустимой косиной относительно опор моста; этот случай характерен для равнинных рек с побочневым руслом;

д) наибольшая глубина сместилась к мелкозаложенным опорам моста; этот случай возможен на реках с любым типом руслового процесса и характерен для старых мостов, опоры которых закладывались без учета этого процесса и местного размыва;

е) водоразделительные дамбы, ограждающие участки земляного полотна, недостаточны по высоте.

2. Если реконструкция мостовых переходов производится в связи с подтоплением при устройстве водохранилищ, необходимо обеспечить достаточность регуляционных сооружений по высоте и укрепление их откосов в условиях волнения на водохранилище.

3. Если мероприятия по пропуску паводков через мосты за период эксплуатации регуляционных сооружений были эффективными и не допускали аварийного положения перехода и отдельных его элементов, то необходимость реконструкции обосновывают сравнением вариантов переустройства и ежегодных затрат на пропуск паводков с учетом отдаленности капиталовложений и очередности работ.

Переустройство существующих продолжительное время сооружений следует назначать лишь при ощутимом эффекте его, обоснованном детальными расчетами и прогнозами руслового процесса на ближайшее время.

Не следует, например, назначать переустройство струенаправляющих дамб, просуществовавших много лет, только потому, что бровки таких дамб имеют недостаточный запас по техническим условиям, или потому, что их форма не соответствует плавному очертанию, рассчитанному по современным методам, тогда как состояние подмостового русла и подходов не требует такого переустройства.

Переустройство регуляционных сооружений проектируют в соответствии с указаниями настоящей главы, по возможности используя имеющиеся сооружения.

Глава 15. МОСТОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

15.1. Природоохранные мероприятия при изысканиях и в проектах мостовых переходов

1. К основным задачам охраны окружающей среды, связанным с возведением мостовых переходов, относятся предохранение рек и водоемов от загрязнения, сохранение сельскохозяйственных угодий, защита от эрозии и заболачивания почв.

При выполнении инженерных изысканий и в проектах мостовых переходов необходимо принимать меры для минимального ущерба природной среды в районе перехода.

2. При изысканиях мостового перехода собирают сведения о естественном состоянии всех природных и хозяйственных факторов в районе перехода; в том числе уточняют:

физические и биологические характеристики воды в реке;

рыбохозяйственные характеристики реки с перечнем видов и промышленной ценности рыбы, мест их роста, нагула, миграции, зимования и отлова;

объекты сельского хозяйства, пахотные и луговые угодья, животноводческие фермы и лагеря летнего содержания скота;

положение судоходной трассы, сведения о ее устойчивости;

наличие вблизи перехода специальных инженерных сооружений, водозаборов, переходов трубного транспорта, воздушных и кабельных переходов ЛЭП и связи;

места отдыха населения, наличие и дислокация лечебных и оздоровительных учреждений на реке;

наличие вблизи перехода исторических, этнографических и архитектурных памятников.

3. В процессе выполнения изыскательских работ рубка леса под просеки, нарушение дернового (особенно торфо-мохового) покрова, устройство временных сооружений должно быть ограничено.

После завершения изыскательских работ необходимо засыпать инженерно-геологические выработки, разобрать временные сооружения и т. п.

4. В проектных решениях рекомендуется створ мостового перехода назначать с учетом наименьшего вмешательства в природную среду и ущерба народнохозяйственным объектам, землепользователям в ближайших населенных пунктах.

При проектировании мостовых переходов через реки должны учитываться особенности их гидрологического режима и опережающие темпы экономического освоения региона, особенно в Сибири. Главные из них:

преобладающие направления течения наиболее крупных рек с юга на север;

многомодальные гидрографы паводков;

прогрессирующее обострение гидрографов паводков, как результат интенсивной вырубки лесов;

суровый ледовый режим с шугоходом, зажорами и мощными заторами льда;

зарегулированный режим крупных рек и их притоков высоконапорными плотинами ГЭС, особенно в Восточной Сибири,

преобладающее значение речного транспорта и режима судоходства для экономики региона (Обь, Енисей, Лена с притоками);

большой объем лесосплава, в частности молевого,

замедление сроков выроста и воспроизводства рыбы,

важное значение сельхозугодий на поймах рек как одной из основ кормовой базы сельского хозяйства,

сравнительная бедность базы нерудных материалов (особенно в Западной Сибири) при концентрации их в руслах крупных рек;

растущие потребности в технологической воде для нужд металлургической, целлюлозно-бумажной и нефтегазодобывающей промышленности,

пересечение рек мощными нефтегазопроводами государственного значения, устойчивость которых при прочих равных условиях обеспечивается протяженными охранными зонами вдоль реки ненарушенным природным режимом,

нежелательность перекрытия и заглушения активных рукавов и протоков, вызывающих цепь отрицательных необратимых изменений природной среды.

5. Мостовые переходы могут ухудшать условия обитания и воспроизводства рыбы, наносят определенный ущерб сельхозугодьям на поймах, могут осложнить условия судоходства, затруднить эксплуатацию переходов через реки нефте- и газопроводов, водозаборов, нормальную деятельность зон отдыха и оздоровления.

Примерный перечень элементов природной среды и объектов народного хозяйства, подлежащих защите и охране при проектировании мостовых переходов и рекомендуемых для этого мероприятий приведен в табл 15.1.

Таблица 15 1

№ пп	Объект защиты и охраны	Мероприятия по защите и охране
1	Активные протоки и рукава, используемые для транзитного или местного судоходства	Групповые отверстия с мостами на протоках и рукавах и подмостовым габаритом по требованиям судоходства
2	Мелкие притоки и ручьи с самостоятельным питанием, используемые для нужд сельского хозяйства или водоснабжения	Малые сооружения шандорного типа, закрываемые на время паводка или с ограничителями расхода (козырьки и т д), спрямление для отвода воды в главное русло
3	Протоки и рукава, служащие местами обитания и миграции рыбы	Групповые отверстия с мостами на протоках и рукавах при сохранении гидравлических характеристик, близких к бытовым

Продолжение табл. 15.1

№ пп	Объект защиты и охраны	Мероприятия по защите и охране
4	Сельхозугодья (сенокосные луга и т. п.) на поймах, для которых строительство перехода ухудшает условия землепользования	Развитие отверстия в пределах технической и экономической целесообразности для снижения величины предмостового подпора и зоны его распространения; устройство групповых отверстий при наличии активных протоков и рукавов; срезка прирусловых валов и пр.
5	Особо ценные земли на редко затопляемых слабо работающих поймах	Полное или близкое к полному раскрытие отверстия между коренными берегами путем замены насыпей эстакадами или виадуками в зависимости от высотного положения проезда
6	По условиям обитания рыб скорость воды в подмостовом русле после стеснения потока мостовым переходом не должна более чем в два раза превышать бытовую	Условия выполняются автоматически для принятых в объектах проектирования коэффициентов общего размыва, которые, как правило, меньше двух [75]
7	Допускаемый порог мутности потока в зоне общего размыва и зоне отложения наносов как условие обитания и воспроизводства рыбы	Зависит от скорости стесненного потока, обеспечивается необходимым развитием отверстия по расчету
8	То же, при концентрированной и рассредоточенной по фронту добыче нерудных материалов и при устройстве регуляции (срезки, спрямления русел, запруды)	Закладка локальных карьеров в зоне мостового перехода не допускается. Рассредоточенный забор материала из реки допускается для расчистки судовой трассы и регуляционных сооружений с ограничениями по технологии и времени работ [68]
9	Пляжные зоны в верхнем и нижнем бьефе мостового перехода, имеющие ограничения по скорости течения и глубине воды для безопасности людей	Сохранение бытового поля скоростей путем развития, в разумных пределах, отверстия. При невозможности этого—вынос пляжных зон и других оздоровительных объектов из зоны сжатия потока
10	Крупные пойменные массивы, периодически затопляемые побочни и отмели, служащие местами нереста рыбы [68]	Исключение из проектных решений мероприятий по срезке на поймах и сооружений, затрудняющих свободный режим обмена воды на них, сохранение крупных побочней и отмелей как нерестилищ
11	Подмостовое русло на время строительства	Применение конструкций и технологии с минимальным по обьему и срокам стеснения русла временными сооружениями, вызывающими увеличение скоростей и мутности потока Недопущение загрязнения реки нефтепродуктами, химикатами, фекалиями, отходами горячей воды

Продолжение табл 18

№ пп	Объект защиты и охраны	Мероприятия по защите и охране
12	Действующие магистральные нефте- и газопроводы, пересекающие реку с заделкой в грунт, которая гарантирует устойчивость труб против всплытия	Увеличение отверстия моста из расчета минимального общего размыва дна над трубопроводами При невозможности этого—вынос трассы мостового перехода на расстояние, превышающее длину зоны влияния общего размыва
13	Места регулярного образования особо крупных ледовых заторов, создающих угрозу подтопления и подмыва при разрушении объектов народного хозяйства и городов	Мосты с пролетами для беззаторного пропуска льда в экстремальных условиях
14	Переходы на магистральных внутренних водных путях I—III класса с интенсивным судоходством	Развитие отверстия до размеров, обеспечивающих скорости стесненного потока в русле при РСУ не более 20% в сравнении с бытовой

6. Существенное влияние на гидрологический режим рек оказывает интенсивная вырубка лесов, крупномасштабные ирригационные работы на поймах, ежегодное распахивание новых земельных массивов и бесконтрольный забор материала из русла рек, коренным образом ломающий сложившийся русловой процесс.

7. При проектировании сопоставляются переходы с минимальным ущербом окружающей водной среде (за счет увеличения отверстия, сохранения действующих протоков и рукавов), но высокой строительной стоимостью, с переходами, имеющими меньшую строительную стоимость за счет значительного изменения бытовых характеристик реки и существенного ущерба окружающей среде объектами народного хозяйства

Для нахождения оптимального решения учитывают совокупность всех факторов. При этом технико-экономическое сравнение включают в денежном выражении ущерб, причиняемый окружающей среде

8. Для оценки ущерба рыбному хозяйству следует пользоваться ведомственными методическими документами [68]. Ущерб компенсируется в форме капитальных затрат на строительство объектов искусственного рыборазведения, рыбоводов, нерестилищ или в виде денежнои компенсации

Ущерб сельхозугодьям на поймах оценивают специальными расчетами по справкам райисполкомов, компенсируют отводом и распашкой новых земельных участков.

Попавшие в зону подтопления или размыва инженерные сооружения и объекты здравоохранения и спортсооружения, переходы трубопроводов, ЛЭП, водозаборы, пляжные зоны, пионерлагеря, водные станции и т. д., подлежат защите, реконструкции или выносу за счет сметы мостового перехода.

9. При осуществлении авторского надзора необходимо обеспечивать контроль за выполнением строителями работ по очистке русла и пойм от временных и вспомогательных сооружений, используемых при возведении мостового перехода, благоустройству стройплощадки и грунтовых карьеров, планировке и рекультивации земель.

15.2. Экологические аспекты при пересечении пойменных массивов

1. При проектировании мостовых переходов необходимо прогнозировать взаимодействие пойменного потока с подходными насыпями с целью разработки мероприятий по обеспечению незаболачивания пойменных массивов—обособленных друг от друга руслом или протоками участков пойм.

2. На участках пересечения пойменных массивов в полевых условиях следует выяснить режимы их затопления и опорожнения в бытовых условиях.

Желательно в период изысканий получить подробный план пойменного массива с имеющимися на нем рукотворными объектами и с высотой и плановой привязкой прирусловых валов* и прорв.

3. В паводок в пойменном массиве наблюдается законченный гидравлический цикл: затопление массива из русла реки, транзитный поток по пойменному массиву и опорожнение его в русло реки на спаде.

Характер затопления и опорожнения пойменных массивов связан с их рельефом и ситуационными особенностями, которые в значительной мере определяются русловым процессом [4].

Обычно затопление происходит с двух сторон—через прорвы (рис. 15.1) в системах узких дугообразных гряд, именуемых гривами, и в береговых валах (при свободном меандрировании) или через пониженные места массивов (незавершенное меандрирование).

При указанных модификациях меандрирования русел возможно затопление пойменного массива с верховой, а при ограниченном меандрировании—с низовой стороны.

В этом случае переливной участок пойменного берега (рис. 15.2) наращивается за счет слоя «наилка», а сливной, через который стекает вода почти чистая от наносов, постепенно понижается.

При устройстве подходной насыпи без водопропускных сооружений пойменный массив со стороны переливного участка будет заболачиваться.

Практически не подвержены одностороннему подтоплению пойменные массивы при пойменной многорукавности; их затопление происходит с верховой и с низовой сторон через постоянные и временные протоки, через которые происходит и опорожнение.

---

* Береговые или прирусловые валы—это вытянутые вдоль берега образования на реках, являющиеся результатом волновой деятельности

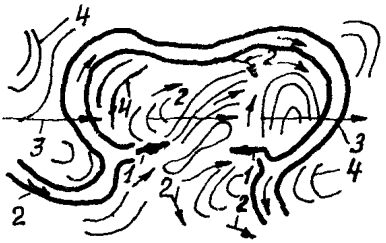


Рис 15 1. Двустороннее затопление пойменного массива при свободном меандрировании

1—направление течений при затоплении пойм, *2*—то же в руслах и транзитные разобщенные *3*—то же транзитные спрямляющие, *4*—старые прирусловые валы

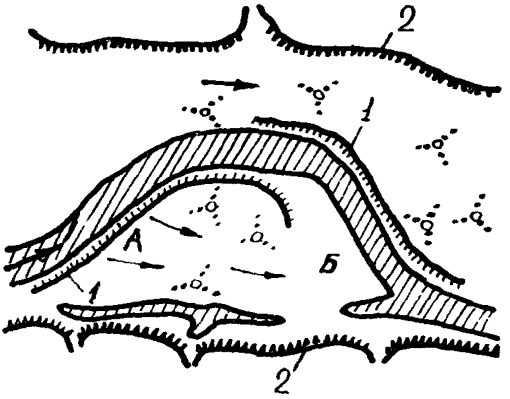


Рис 15 2 Одностороннее затопление пойменного массива:

1—пойменные берега, *2*—коренные берега, А—переливной участок пойменного берега, Б—то же сливной

4. Водопропускные сооружения в комплексе мостовых переходов на пойменных массивах устраивают через протоки (при пойменной многорукавности) с целью обеспечения судоходства и рыбохозяйственной деятельности, а также стока воды после паводка, когда в бытовых условиях происходило одностороннее затопление. В последнем случае неблагоприятные условия работы водопропускного сооружения могут возникнуть при уровнях воды ниже расчетных на подъеме паводка.

5. Пойменные массивы с односторонним подтоплением затапливаются на пике паводка также и из русла реки через прирусловые валы. Поэтому на спаде уровня малые водопропускные сооружения могут не справляться с выпуском воды из пазухи, заболачивая участок.

Частичная срезка прирусловых валов в ряде случаев позволит обеспечить сток воды с таких пойменных массивов без устройства дополнительных сооружений в подходной насыпи.

15.3. Требования, предъявляемые к проектированию карьеров

1. Карьер представляет собой выемку в русле или на пойме реки, создаваемую землеройной техникой специально с целью добычи речного аллювия как строительного материала.

2. Устройство карьеров в русле (или пойме) приводит в общем случае к изменениям режима на значительном расстоянии от места добычи как на самой реке, так и на ее притоках. При этом происходит: снижение уровней воды, увеличение уклонов водной поверхности, рост скоростей течения, увеличение расхода влекомых наносов, снижение отметок дна, изменение планового положения русла, снижение положения депрессионных кривых в толще склоновых и пойменных террас, активизация оползневых явлений.

3. Результатом изменений режима реки, как правило, является разрушение или снижение устойчивости сооружений в речной долине, обсыхание корневой системы растений на пойме и склонах долин и, как следствие, снижение продуктивности сельскохозяйственных угодий, разрушение рыбных нерестилищ и зимовальных ям, понижение дебитов скважин и колодцев, нарушение однородности и репрезентативности гидрологической информации и т. д

4. По характеру воздействия на речной поток русловые карьеры подразделяются на малые и большие (рис. 15.3). В малых карьерах всю площадь продольного сечения выемки занимает водоворот, и снижение уровня вблизи верхового откоса практически не происходит; объем карьера не превышает объема годового естественного стока влекомых наносов.

По месту расположения в речной долине карьеры подразделяются на русловые и пойменные.

В больших карьерах водоворотные области возникают только за верховыми откосами и перед низовым откосом выемки, а по дну карьера между водоворотами наблюдается транзитное течение. Объем больших карьеров превышает объем годового стока влекомых наносов.

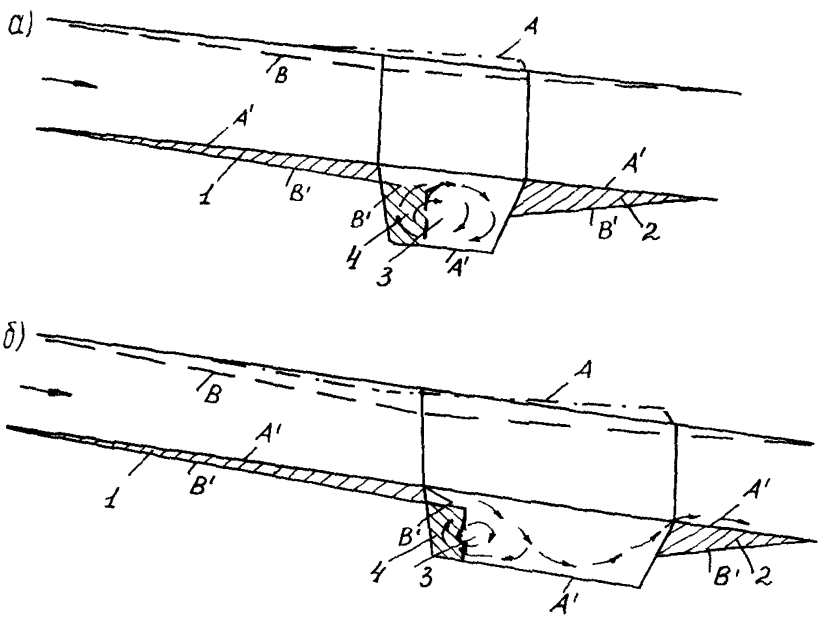


Рис 15 3 Общие схемы деформаций дна русла и изменения уровня воды в зоне влияния (*а*) малого и (*б*) большого карьеров:

А, А'—положение водной поверхности и дна до устройства карьера; В, В'—то же при наличии карьера, *1*—зона понижения отметок дна (врезания) русла; *2*—зона размыва русла, *3*—водоворотная зона, *4*—зона размыва карьера

Малые русловые карьеры, не изменяющие существенным образом плановую кинематическую структуру речного потока и режим деформаций русла, не приводит к изменениям определяющих факторов руслового потока и к нарушению естественного экологического баланса в бассейне реки.

Следует избегать устройства больших карьеров, поскольку они являются, как правило, причиной существенного нарушения определяющих факторов руслового процесса.

5. При выборе на реках мест размещения карьеров и назначении защитных мероприятий должны быть максимально сохранены морфологические черты участка и условия протекания естественных гидрологических процессов.

Проектирование карьеров должно вестись на основании специальных гидрологических изысканий.

При наличии сложной морфологической ситуации и сложной системы защитных сооружений или особо крупных карьеров для обоснования проектов необходимо предусматривать проведение исследований на гидравлических и математических моделях участка реки.

В проектах особо крупных карьеров при сложной морфологической ситуации на участке реки необходимо предусматривать проведение натурных наблюдений и обследований в течение всего периода их эксплуатации и не менее 10 лет после окончания этого периода.

6. Проектирование карьера сводится к:

выбору места размещения и его размеров;

расчету верхней и нижней по течению зон влияния карьера;

совместному расчету кривой свободной поверхности потока и деформаций русла;

расчету заносимости карьера.

7. В части технологии разработки выемки решают следующие вопросы:

оценка количества карьеров на участке с расчетом расстояний между ними, оценка объемов выемки аллювия;

выбор времени отработки карьера применительно к гидрологическому циклу реки;

установление технологической схемы производства работ по выборке аллювия—определение места начала и конца производства работ, типа механизмов, их количества и др.

Обязательным требованием к проектированию карьера должна быть разработка мероприятий по максимально возможному предотвращению снижения уровней и деформаций русла на характерных участках влияния карьера [67].

При проектировании карьера и назначении защитных мероприятий следует учитывать, что за все время его существования (от начала разработки до полного занесения) снижение уровня не должно превышать возможных величин естественных снижений уровня (например, при спрямлении излучин) или 0,1 м. Тем самым сохраняется естественный режим протекания потока в русле.

8. В нижних бьефах гидроузлов карьеры размещать нецелесообразно. В исключительных случаях их можно размещать ниже зоны недельного регулирования стока с учетом деформаций русла. Наиболее предпочтительным в этом случае являются пойменные карьеры.

При наличии водохранилищ карьеры рекомендуется размещать в средней и нижней частях зоны выклинивания подпора.

9. Малые русловые карьеры, объем которых меньше естественного годового стока влекомых наносов и разработка которых не требует проведения защитных природоохранных мероприятий, следует размещать таким образом, чтобы они не вызывали заметного нарушения режима потока и русловых деформаций.

Размещение карьеров не рекомендуется на участках главной реки в местах впадения притоков.

10. Размещение карьеров на реках с меандрирующими руслами следует производить в низовой части пляжа у выпуклого берега излучины (рис. 15.4). Пляж в этом месте разрабатывают не на всю ширину; необходимо, чтобы карьер был отделен от плеса неразработанной частью пляжа—узкой косой.

На завершающей стадии развития излучины карьер следует размещать в старом отмирающем главном русле, которое необходимо отделить от нового основного русла искусственными дамбами.

Разработку месторождений на пляжах выпуклых берегов излучин можно вести путем устройства на них поперечных прорезей (см. рис. 15.4, *б*). Их глубина может быть равной глубине плесовой ложбины. Ширина прорези по дну рекомендуется равной

$$в_{п} = 5h_{пл,max},$$

где $h_{пл,max}$—глубина в плесе при прохождении расхода в бровках берегов. Расстояние между бровками склонов соседних прорезей на верховой части пляжа принимают равным 10 $h_{пл,max}$, на низовой части пляжа—5 $h_{пл,max}$

Не следует размещать карьеры на перекатах вблизи мест перегиба средней линии русла.

11. При ленточногрядовом типе руслового процесса рекомендуется размещать карьеры у берегов русла в шахматном порядке. При этом карьер не должен занимать больше половины ширины меженного русла реки (см. рис. 15.4, *в*).

Длину карьера по дну следует принимать равной

$$в_{к} \approx 10h_{ср,меж},$$

где $h_{ср,меж}$—средняя глубина меженного потока.

Глубина в карьере не должна быть более $(4 \div 5)\ h_{ср,меж}$, а расстояние между карьерами не менее $(4 \div 5)\ в_{к}$.

12. Карьеры в руслах рек побочневого типа следует размещать так, чтобы они охватывали половину длины плеса и половину примыкающего к плесу склона побочня. По длине участка карьеры располагают у противоположных берегов в шахматном порядке (см. рис. 15.4, *г*).

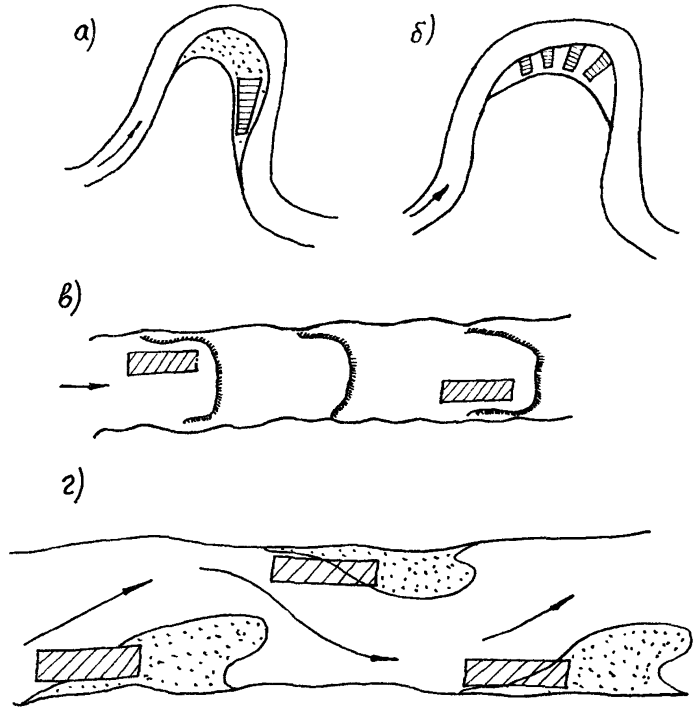


Рис. 15.4. Схема размещения карьеров:
а, б—свободное и незавершенное меандрирование; *в*—ленточногрядовый *г*—побочневый тип руслового процесса

Размеры карьеров следует принимать согласно п. 11, при этом ширина карьера не должна превышать одну треть ширины меженного русла реки.

13. При русловой многорукавности карьеры следует располагать во второстепенных протоках, не определяющих гидравлические условия на участке, и на отдельных осередках. Размещать карьеры надо таким образом, чтобы были сохранены местные базисы эрозии (должны быть затоплены гребни гряд). Глубину карьера следует выбирать в соответствии с п. 11. Ширина карьера не должна превосходить половину ширины осередка.

14. На участках рек с пойменной многорукавностью карьеры следует размещать во второстепенных протоках. Разработка этих протоков выполняется таким образом, чтобы не нарушалось существующее перераспределение стока воды и наносов и чтобы эти протоки не превращались в основное русло реки.

При размещении карьеров в основных пойменных протоках необходимо прежде выделить типы руслового процесса, которые на них развиваются, и затем, согласно п. 10—13, определить там место размещения карьера.

15. Размещение больших русловых карьеров производят в соответствии с рекомендациями, изложенными в п. 10—13, и должно сопровождаться проведением мероприятий по предотвращению негативного воздействия на гидрологический и русловой режим реки.

С целью уменьшения снижения уровней воды размеры карьеров и места их расположения выбирают так, чтобы не изменялись местные базисы эрозии (гребни перекатов, выходы трудноразмываемых пород), определяющие положение кривой свободной поверхности потока.

Наиболее благоприятными местами размещения карьеров являются углубленные участки русла реки, ограниченные сверху и снизу по течению выходами трудноразмываемых пород или перекатами.

16. При расположении карьера на мелководном участке русла (пляж, побочень и т. д.) вызванное выемкой падение уровня воды может быть компенсировано восстановлением указанных русловых образований за счет поступления наносов с вышерасположенного участка реки. При этом должен быть составлен график разработки карьера и (с помощью балансовых методов расчета) поступления в него наносов.

17. Для уменьшения падения отметок уровня воды и дна русла под влиянием карьера рекомендуется устраивать искусственные местные базисы эрозии (донные пороги, затопленные шпунтовые стенки и др.) или возводить береговые стесняющие поток сооружения (шпоры, полузапруды, каменную отсыпку на откосах берегов и др.). Эти защитные мероприятия должны проводиться одновременно с разработкой карьеров или опережать их разработку.

18. При размещении больших карьеров в многорукавном русле возможен прорыв перемычек и переход главного русла на разрабатываемый участок реки. Подобный процесс может привести к существенному падению уровня воды и усилению деформаций русла.

Во избежание указанных переформирований рекомендуется отделять такие большие карьеры от основного русла реки и пойменного потока дамбами (запрудами).

При проектировании таких дамб (запруд) необходимо:

рассчитать пропускную способность русла на участке строительства запруды и подобрать ее отметку таким образом, чтобы расход через разрабатываемый рукав в период прохождения расходов в бровках берегов не изменился (запруда должна лишь компенсировать увеличение пропускной способности рукава при его разработке. Распределение же расходов по рукавам реки в период руслоформирования должно быть сохранено);

с целью исключения обхода запруды следует предусмотреть ее врезку в пойменные берега;

определить максимальные скорости потока на участке запруды с целью выбора способа ее крепления.

19. При размещении карьеров на поймах необходимо выявить:

к какой группе (современные или унаследованные) относится пойма;

с каким типом руслового процесса связана современная пойма,

схемы течений и порядок затопления и опорожнения пойм меандрирующих рек и островных пойм.

Должен быть в наибольшей степени сохранен рельеф поймы, гидрологический режим, а также ход плановых и глубинных деформаций.

Карьеры на пойме рекомендуется размещать в аккумулирующих емкостях.

На поймах основных разновидностей меандрирования (ограниченного, свободного и незавершенного) карьеры следует размещать в низовой части пойменного массива.

Благоприятным местом размещения карьеров на реках являются пойменные участки в дельтах рек.

20. Во всех случаях размещения карьеров в пределах пойм и пойменных островов они должны быть изолированы от руслового потока (может быть оставлен лишь узкий проход для добычной техники и транспортного флота). Изоляция карьеров от руслового потока может быть достигнута путем строительства ограждающих дамб (которые не должны стеснять пойменный поток и вызывать изменение характера деформаций русла) или путем сохранения целиков—незатронутых разработкой участков береговой полосы.

Дамбы и целики должны быть закреплены против воздействия льда и размыва потоком при переливе через них воды при высоких уровнях. Они не должны подвергаться размыву в результате естественного хода деформаций русла, что обеспечит полную изоляцию карьера от руслового потока за все время существования карьера.

21. Обязательными разделами в каждом разделе проекта должны быть:

оценка загрязнения водоема взвешенными частицами грунта при добыче нерудных строительных материалов;

мероприятия по предотвращению загрязнения водотоков хозяйственными и бытовыми стоками и сухим мусором;

рыбоохранный раздел.

Оценка загрязнения взвешенными частицами сейчас производится по методике [86], положения которой вызывают серьезные возражения.

Приложение 2 1

Термины ледовых образований и явлений на реках

Битый лед—представляет собой льдины неправильной формы и различной крупности, образующиеся при разломе заберегов, ледяных полей Характерные размеры льдин в плане, м

крупнобитый лед	20—100
мелкобитый	2—20
куски льда	0,5—2,0

Под воздействием тепла и притока воды происходят процессы разрушения ледяного покрова и вскрытие рек, сопровождающиеся перемещением льда вниз по течению—**ледоходом** Различают осенний ледоход, наблюдающийся перед осенним ледоставом, и весенний ледоход, наблюдающийся в период вскрытия В некоторых случаях ледоход наблюдается и зимой при вскрытии рек в период временных оттепелей или на незамерзающих участках реки при образовании **шуги**

Ледяная перемычка—короткий участок ледяного покрова на реке, образовавшийся в местах смыкания заберегов или вследствие остановки и смерзания плывущих льдин и шуги

Ледяные поля—отделившиеся участки ледяного покрова размером от 0,1 до 0 5 км и окруженные со всех сторон водой

Навалы льда—нагромождения льдин у берегов рек или гидротехнических сооружений, образующиеся под влиянием ветра и течения

Наледь—ледяное образование, возникающее в результате замерзания воды, выходящей через трещины на поверхность ледяного покрова вследствие уменьшения живого сечения реки при закупоривании его внутриводным льдом или при промерзании реки

Подвижка льда—небольшие перемещения ледяного покрова на отдельных участках рек

Полынья—оставшийся не покрытым льдом участок водной поверхности после установления ледяного покрова Различают полыньи гидромеханического происхождения, образующиеся в местах с быстрым течением (например, нижние бьефы ГЭС), и теплового происхождения, образующиеся вследствие притока теплых грунтовых вод, промышленных стоков, подъема на поверхность придонных теплых слоев воды и т д При искусственном удалении льда—**майна**

Снежура—снег, плавающий в воде в виде ледяных пластинок, зерен и их скоплений Снежура образуется в результате обильных снегопадов и представляет собой рыхлую, вязкую массу, внешне похожую на намокшую в воде вату

Шуга—находящийся в глубине потока или всплывший на поверхность внутриводный лед Шуга своим происхождением обязана переохлажденной воде Всплывая она смешивается с ледяным **салом** (скопления на поверхности воды смерзающихся ледяных игл в виде пятен или тонкого слоя льда) и снежурой, образуя шуговой ковер

Шугоход—ледоход, в котором ледяные образования состоят преимущественно из шуги

АКТ

„_____" _____ 199 г

Мы (я), нижеподписавшиеся _____

опросили тов _____

_____ года рождения, проживающегс _____

_____ о режиме реки _____

_____ в створе (районе) _____

1. Общая характеристика весеннего половодья

Высокие уровни воды весеннего половодья наблюдаются ежегодно (раз в _____ года и реже)

Половодье, как правило, начинается в _____ месяце и длится _____ дней (недель)

Подъем уровня воды происходит за _____ дней, спад длится _____ дней

Уровень воды на пике держится _____ дней

Характеристика весенних половодий (границы затопления, скорости, происхождение, сопровождающие явления и условия погоды (оттепели, заморозки, ветры, дожди, ливни и т д) _____

2. Ледоход

Весеннее половодье сопровождается (не сопровождается) ледоходом Примерная толщина льда _____ м Размер льдин равен _____ м Ледоход проходит на фазе подъема уровня, ниже пика на _____ м (на пике)

Ледоход проходит в пределах главного русла (а также по пойме) _____

Характеристика ледохода (интенсивность, длительность, льдины остаются (не остаются) на пойме, лед армирован (не армирован), озерный (не озерный), тает на месте (не тает на месте), уровня подвижек льда _____

О заторах льда _____

3. Паводки

Кроме весенних половодий, на реке наблюдаются летние (осенние) паводки, уровни которых выше (ниже, равны) уровням весенних половодий

Паводки происходят вследствие сильных ливней (затяжных дождей) Подъем уровня воды в реке начинается спустя ——— часов (дней) после начала ливня (затяжного дождя) Спад уровня завершается спустя ——— часов (дней) после прекращения либня (затяжного дождя) На пике уровень держится ——— часов (дней)

Паводки наблюдаются в ——— месяцы

Характеристика состояния потока скорости, движения валунов и камней по дну

———

4. Наблюдавшиеся высшие уровни воды

Самый высокий уровень наблюдался в ——— году, в ——— месяце ——— числа Подъем воды начался ——— часов и продолжался ——— На пике уровень держался до ——— часов, затем наступил спад, который длился ——— часов Паводок (половодье) произошел в результате ливня (затяжного дождя, таяния снега)

Характеристика условий погоды и сопровождающих явлений

———

———

Вода доходила до ———

———

Описание точек, которые наносятся на схему ———

———

———

Кроме указанного уровня, высские уровни наблюдались в ——— ——— годах ———

———

———

В текущем ——— году максимальный уровень воды наблюдался ——— ——— месяце ——— числа и дошел до ———

———

———

———

Тов _____ указаны точки УВВ

_____ года с отметкой _____

_____ года с отметкой _____

_____ года с отметкой _____

_____ года с отметкой _____

_____ года с отметкой _____

_____ года с отметкой _____

5. Меженные уровни

Уровень летней межени выше (ниже) на _____ м, настоящего уровня _____, а зимой выше (ниже) на _____ м _____

_____

6. Прохождение шуги

Осенью (в начале зимы) наблюдается (не наблюдается) шугоход, который сопровождается подъемом уровня воды в реке _____

_____

7. Ледостав

Ледостав наступает в _____ месяце и длится до _____ месяца. Уровень ледостава выше (ниже, равен) летней (зимней) межени.

8. Прочие явления (о промерзании, просыхании, размывах, перемещении русла и русловых форм, прорывах плотин, условия сплава и судоходства, пр)

_____

_____

О карчеходе. Размеры отдельно плывущих деревьев, частей сорванных мостов и строений, копен и т д _____

_____

_____

Опрос *произвел* _____

Акт принял: *начальник партии* _____

Схема точек УВВ прилагается

Нивелировку точек УВВ *произвел* _____

в журнале _____ № _____

_____

дата подпись

Приложение 3 2

ПРИМЕР

оформления чертежей морфометрических работ (см вклейку)

Приложение 3 3

КОЭФФИЦИЕНТЫ

шероховатости n **естественных русел, каналов и пойм**

Таблица 1

Характеристика водотока	Значение коэффициента шероховатости естественных русел и пойм по М Ф Срибному
Естественные русла в весьма благоприятных условиях (чистое, прямое, незасоренное, земляное со свободным течением)	0,025
Промежуточное значение между предыдущей и следующей категориями, часто применяемое в практике, галечные и гравиинные русла при словесной характеристике их, совпадающей с предыдущей категорией	0,0285
Русла постоянных водотоков равнинного типа (преимущественно больших и средних рек) в благоприятных условиях состояния ложа и течения воды	0,030
Периодические потоки (большие и малые при очень хорошем состоянии поверхности и формы ложа)	0,033
Сравнительно чистые русла постоянных равнинных водотоков в обычных условиях, извилистые, с некоторыми неправильностями в направлении струй или же прямые, но с неправильностями в рельефе дна (отмели, промоины, местами камни)	0,040
Правильные хорошо разработанные галечные русла горных рек (в нижнем течении) Земляные русла периодических водотоков (сухих логов) в благоприятных условиях	0 040
Русла больших и средних рек значительно засоренные, извилистые и частично заросшие, каменистые с неспокойным течением	0,050
Периодические (ливневые и весенние) водотоки, несущие во время паводка значительное количество наносов, с крупногалечным или покрытым растительностью ложем	0,050
Поймы больших и средних рек, покрытые нормальным количеством растительности (травы, кустарники)	0,050
Русла периодических водотоков сильно засоренные и извилистые Сравнительно заросшие, неровные, плохо разработанные поймы рек (промоины, кустарники, деревья, с наличием заводей)	0,067
Порожистые участки равнинных рек Галечно-валунные русла горного типа с неправильной поверхностью водного зеркала	0,067
Реки и поймы значительно заросшие (со слабым течением), с большими глубокими промоинами	0,080

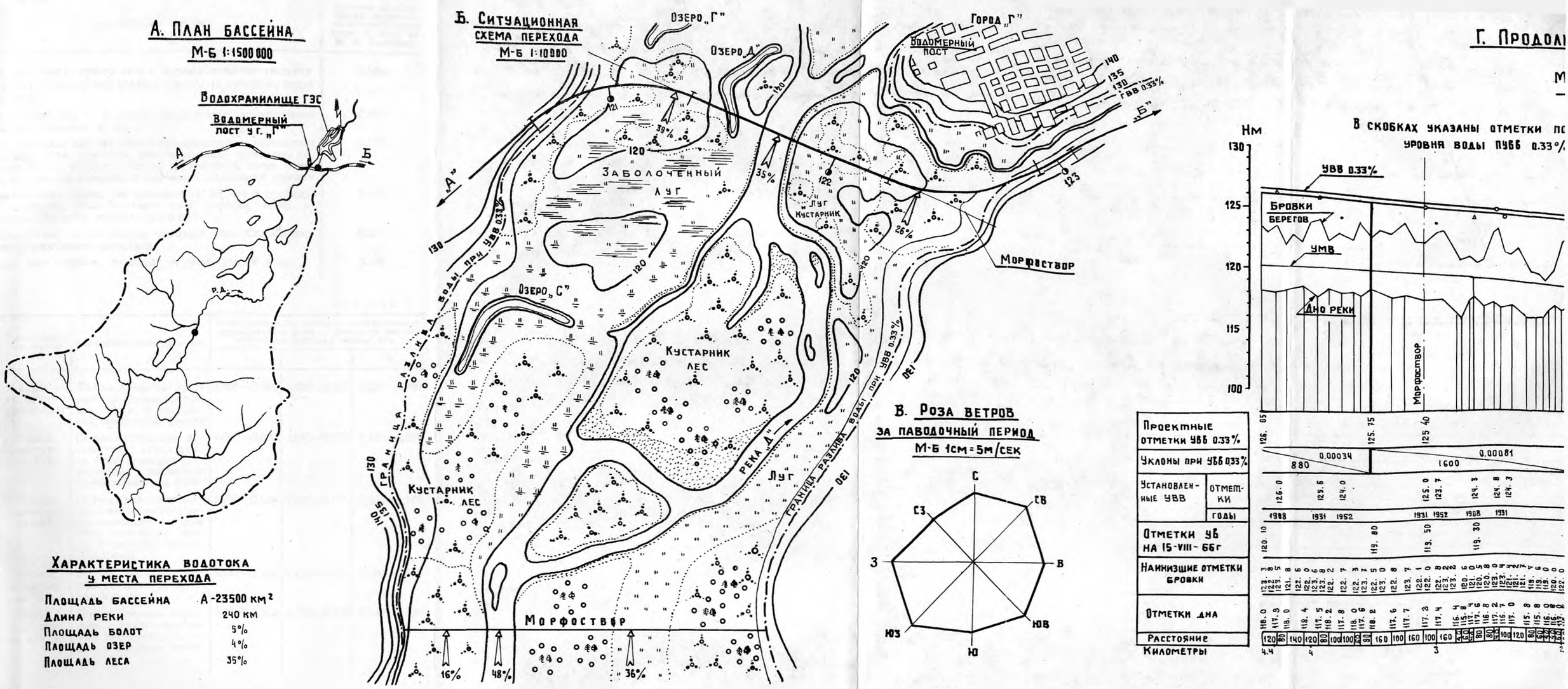
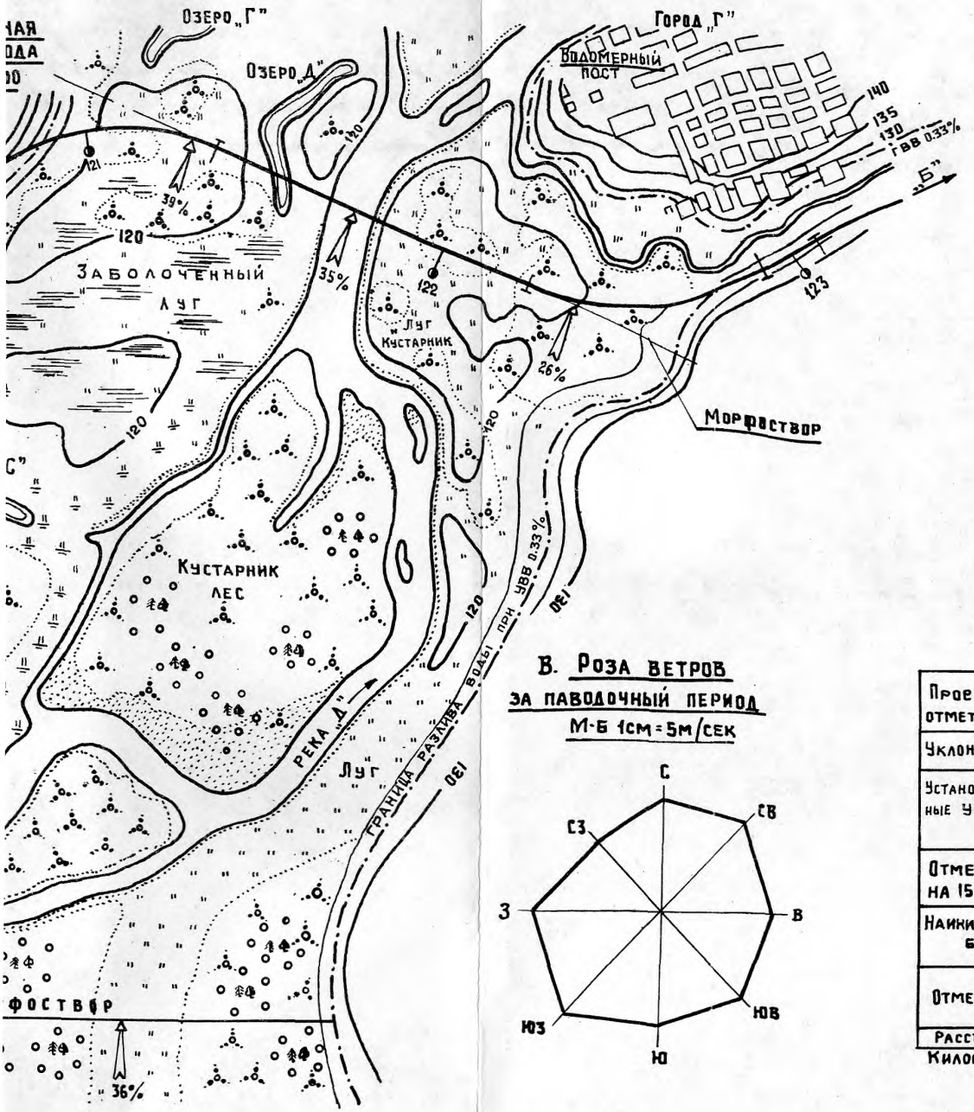


Рис. Пример оформления чертежей морфометрических работ: *А*—план бассейна; *Б*—ситуационная схема перехода; *В*—Роза ветров; *Г*—продольный профиль реки; *Д*—зависимости расхода и средней скорости течения воды для морфоствора выше оси перехода на 3100 м

Зак. 5606, стр. 344—345.



В. Роза ветров за паводочный период

М-б 1см = 5м/сек

Г. Продольный профиль реки

Приложение 3.2

М-бы ГОРИЗ 1:20000 ВЕРТ 1:200

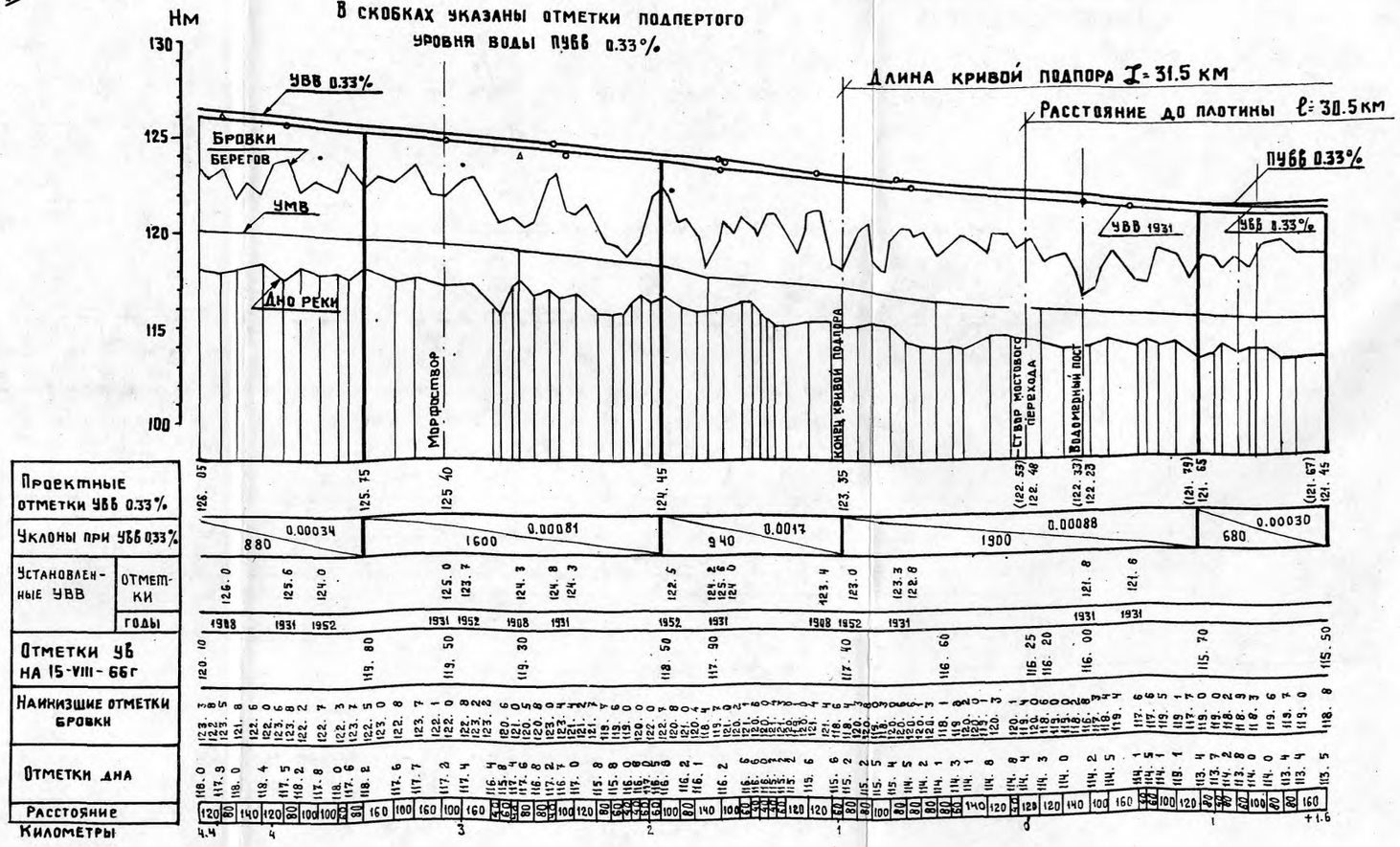
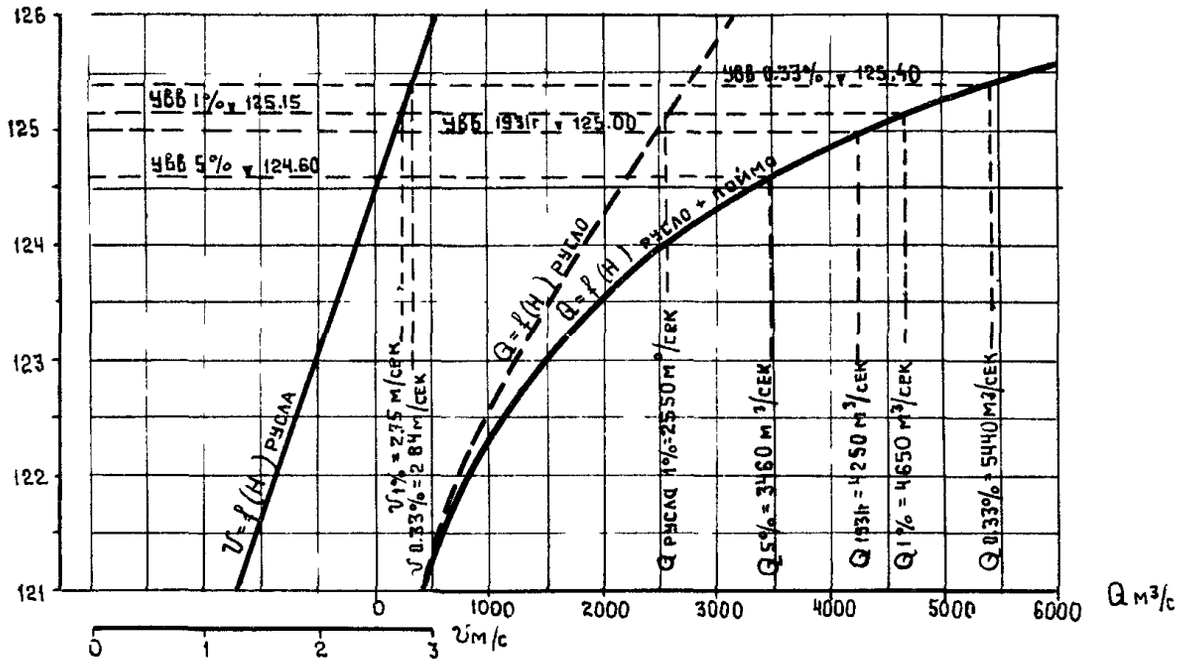
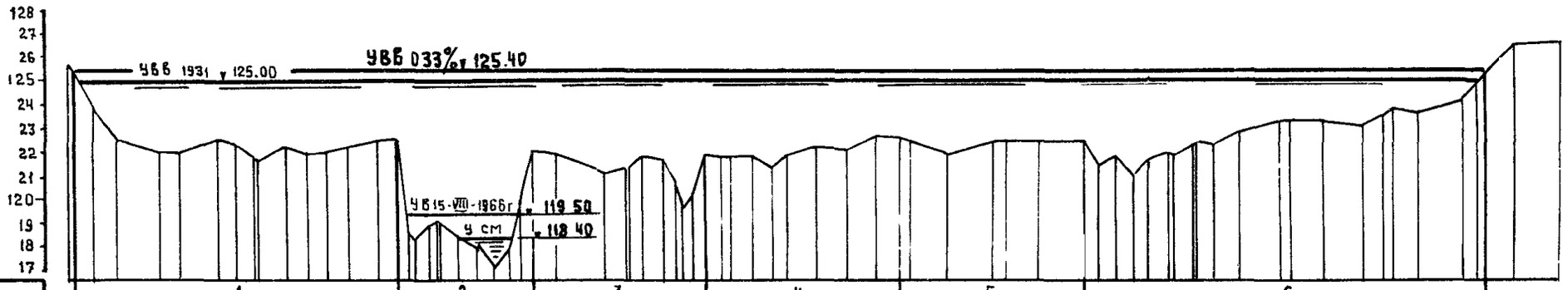


Рис. Пример оформления чертежей морфометрических работ: *А*—план бассейна; *Б*—ситуационная схема перехода; *В*—Роза ветров; *Г*—продольный профиль реки; *Д*—зависимости расхода и средней скорости течения воды для морфоствора выше оси перехода на 3100 м

Д. Зависимости расхода и сред скорости течения воды для морфоствора выше оси перехода на 3100 м.





NN участков		1	2	3	4	5	6
Ширина участка	Bm	350	145	185	205	225	425
Средняя глубина	Hср	2.86	6.40	4.00	3.34	3.12	2.36
Площадь сечения	ω м²	1000	930	740	680	610	1000
Уклон	i	0.00081	0.00081	0.00081	0.00081	0.00081	0.00081
Коэф. шероховат	n	0.034	0.034	0.08	0.14	0.053	0.15
Косина потока	cos α	Косины нет	Косины нет		Косины нет		
Средняя скорость	$V_{0.33\%}$ м/с	0.80	2.84	0.89	0.45	1.14	0.33
Расход	$Q_{0.33\%}$ м³/с	800	2640	660	310	700	330
% % от суммарн	$Q_{0.33\%}$	15	48	12	6	13	6
Ситуация		Кустарник	Галька с гравием	Редкий лес	Редкий лес	Луг	Редкий лес
		Кустарник			Густой кустарник		Густой кустарник
Отметки земли		125.80 123.80 122.50 122.00 122.00 122.50 122.40 121.76 121.60 122.20 122.00 122.00 122.27 122.60 122.60 122.60 122.30 122.40 122.00 122.00 122.00 122.00 121.33 121.40 121.80 121.70 121.60 121.60 121.80 121.40 121.90 122.30 122.20 122.70 122.70 122.56 122.00 122.50 122.50 122.50 122.60 121.40 121.80 121.00 121.80 122.00 121.80 122.28 122.40 122.00 123.40 123.40 123.40 123.10 123.57 123.80 123.70 124.30 124.96 126.50 126.70							
Расстояния		25 25 45 20 40 20 20 30 20 20 25 30 20 15 15 20 15 15 25 50 25 15 15 20 15 15 25 20 30 35 30 25 10 40 45 15 35 50 15 15 20 15 15 25 45 10 35 45 20 10 25 50 15 35 50					
Пикеты		+95 7 6.5 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 +85					

Продолжение табл. 1

Характеристика водотока	Значение коэффициента шероховатости естественных русел и пойм по М. Ф. Срибному
Валунные русла горного типа с бурным пенистым течением, с изрытой поверхностью водного зеркала (с летящими вверх брызгами)	0,080
Поймы такие же, но с сильно неправильным кососструйным течением, заводями и пр.	0,100
Русла горно-водопадного типа с крупновалунным извилистым строением ложа, перепады ярко выражены, пенистость настолько сильна, что вода, потеряв прозрачность, имеет белый цвет, шум потока доминирует над всеми остальными звуками	0,100
Характеристика горных рек примерно та же, что и предыдущей категории. Реки болотного типа (заросли, кочки, во многих местах почти стоячая вода и пр.)	0,133
Глухие поймы, сплошь лесные, таежного типа. Склоны бассейнов в естественном состоянии	0,200
Потоки, типа селевых, состоящих из грязи, камней и пр.	0,200

Таблица 2

№ пп	Характеристика потока	Морфологические признаки	Ориентировочные значения коэффициентов шероховатости пойм с учетом их затопления при глубинах потока в м		
			1	3	5
1	Незарастающие ровные поймы	Поймы, покрытые луговой растительностью, без проток и стариц, совершенно ровные	0,035—0,060	0,030—0,045	0,030—0,040
2	Поймы, заросшие до 25%	Поймы с небольшим количеством стариц, частично заросшие кустарником, полностью затопляемым при УВВ	0,060—0,090	0,045—0,070	0,040—0,060
3	Поймы, заросшие до 50%	Поймы, заросшие кустарником и лесом с незатопляемыми при УВВ вершинами; поймы с большим числом стариц	0,090—0,140	0,070—0,110	0,060 –0,100
4	Поймы, заросшие до 75%	Поймы, сильно заросшие густым кустарником и лесом	0,140—0,200	0,110—0,170	0,100—0,140
5	Поймы, заросшие до 100 %	Поймы, сплошь заросшие труднопроходимым кустарником и лесом с завалами таежного типа	0,200—0,330	0,170—0,200	0,140—0,200

Таблица 3

Уклон водотока	Расход воды, $м^3/с$	Характеристика грунтов ложа и реки	Значение коэффициента шероховатости русел по Н. М. Носову
0,0005—0,001	<1000	Ил, песок	0,022
	>1000	Мелкий гравий	0,028
0,001—0,01	<200	Гравий	0,029
		Галька	0,035
		Галька и валуны. Река в глубоком каньоне или ущелье зажата между скалами	0,043
0,001—0,01	>200	Гравий и галька	0,031
		Галька с валунами	0,041
		Галька и валуны. Река в глубоком каньоне или ущелье зажата между скалами	0,053
0,01—0,02	<100	Гравий и галька	0,038
		Галька и валуны	0,048
0,01—0,02	>100	Гравий и галька	0,048
		Галька и валуны	0,058
0,02—0,04	<50	Галька	0,058
		Валуны	0,067
0,02—0,04	>50	Галька	0,067
		Валуны	0,078
0,04—0,08	—	Валуны и галька	0,092
		Обломки скал, валуны	0,112

Таблица 4

Характеристики растительности на поймах	Значения коэффициентов шероховатости по В. Т. Чоу
Пастбища без кустарника:	
низкая трава	0,025—0,035
высокая трава	0,030—0,050
Возделываемые площади:	
без посевов	0,020—0,04
созревшие рядовые посевы	0,025—0,045
созревшие сплошные посевы	0,030—0,05
Кустарники:	
отдельные кусты в высокой траве	0,035—0,07
редкие кусты и деревья, без листвы	0,035—0,06
то же, с листвой	0,040—0,08
кустарник средней и большой густоты, без листвы	0,045—0,110
то же, с листвой	0,070—0,160

Продолжение

Характеристики растительности на поймах	Значения коэффициентов шероховатости по В Т Чоу
Деревья:	
густой ивняк	0,110—0,200
очищенная территория с древесными пнями без поросли	0,030—0,050
то же с развивающейся порослью	0,050—0,080
тяжелые застрявшие стволы поваленных деревьев, небольшой подлесок, УВВ ниже ветвей	0,080—0,120
то же, но УВВ затопляет ветви	0,100—0,160

Таблица 5

Тип канала	Коэффициенты шероховатости земляных каналов, разработанных экскаваторами и землечерпалками
Земляные однородные и прямолинейные:	
чистые, недавно завершенные	0,016
чистые, после выветривания	0,022
чистые, в однородном гравии	0,025
с короткой травой, редкими водорослями	0,027
Земляные, криволинейные с медленным течением.	
без растительности	0,025
с травой и небольшим количеством водорослей	0,030
с густыми водорослями или водной растительностью в глубоких руслах	0,035
с земляным дном и откосами, укрепленными рваным камнем	0,030
с каменным дном и заросшими берегами	0,035
с каменным дном, укрепленным булыжником и чистыми откосами	0,040
Земляные каналы, разработанные экскаватором или землечерпалкой:	
без растительности	0,028
с незначительным кустарником по берегам	0,050
Каналы в скальной породе:	
гладкие и однородные	0,035
неровные и неоднородные	0,040
Каналы без технического обслуживания, заросшие водорослями и кустарником:	
густые водоросли высотой, равной глубине потока	0,03
чистое дно, кустарник на откосах	0,05
то же при высоком уровне воды	0,07
густой кустарник, высокий уровень воды	0,10

Таблица 6

Глубина потока, м	Коэффициент Шези по Г. В. Железнякову C, $м^{0,5}/с$, при коэффициентах шероховатости n								
	0,015	0,020	0,025	0,030	0,040	0,050	0,080	0,10	0,20
1,0	66,7	50,0	40,0	33,3	25,0	20,0	12,5	10,0	5,00
1,2	68,2	51,4	41,3	34,5	26,1	21,0	13,3	10,8	5,56
1,4	69,4	52,6	42,4	35,6	27,1	21,9	14,1	11,4	6,07
1,6	70,5	53,6	43,4	36,5	27,9	22,7	14,8	12,1	6,55
1,8	71,5	54,5	44,3	37,4	28,7	23,4	15,4	12,6	7,00
2,0	72,4	55,4	45,1	38,1	29,4	24,1	16,0	13,2	7,43
2,5	74,3	57,1	46,8	39,8	31,0	25,6	17,2	14,4	8,41
3,0	75,8	58,6	48,2	41,1	32,2	26,8	18,3	15,4	9,28
3,5	77,1	59,9	49,4	42,3	33,3	27,8	19,3	16,3	10,1
4,0	78,3	61,0	50,5	43,3	34,3	28,8	20,2	17,1	10,8
4,5	79,3	61,9	51,4	44,2	35,2	29,6	20,9	17,9	11,5
5,0	80,2	62,8	52,2	45,1	36,0	30,4	21,6	18,6	12,1
5,5	81,0	63,6	53,0	45,8	36,7	31,1	22,3	19,2	12,7
6,0	81,8	64,4	53,7	46,5	37,4	31,7	22,9	19,8	13,2
6,5	82,5	65,0	54,4	47,2	38,0	32,3	23,5	20,4	13,8
7,0	83,1	65,6	55,0	47,8	38,6	32,9	24,0	21,0	14,2
7,5	83,7	66,2	55,6	48,3	39,1	33,4	24,5	21,4	14,7
8,0	84,3	66,8	56,1	48,8	39,6	33,9	25,0	21,9	15,2
8,5	84,8	67,3	56,6	49,4	40,1	34,4	25,4	22,3	15,6
9,0	85,4	67,8	57,1	49,8	40,6	34,8	25,9	22,7	16,0
9,5	85,8	68,3	57,6	50,3	41,0	35,3	26,3	23,1	16,4
10,0	86,3	68,7	58,0	50,7	41,4	35,7	26,7	23,5	16,8
11,0	87,1	69,5	58,8	51,5	42,2	36,4	27,4	24,3	17,5
12,0	87,9	70,3	59,5	52,2	42,9	37,2	28,1	24,9	18,1
13,0	88,6	71,0	60,2	52,9	43,6	37,8	28,7	25,5	18,7
14,0	89,3	71,6	60,9	53,5	44,2	38,4	29,3	26,1	19,3
15,0	89,9	72,2	61,5	54,1	44,8	39,0	29,9	26,7	19,8
16,0	90,5	72,8	62,0	54,6	45,3	39,5	30,4	27,2	20,4
17,0	91,0	73,3	62,5	55,2	45,8	40,0	30,9	27,7	20,8
18,0	91,6	73,8	63,0	55,7	46,3	40,5	31,4	28,2	21,3
19,0	92,0	74,3	63,5	56,1	46,8	40,9	31,8	28,6	21,8
20,0	92,5	74,8	64,0	56,6	47,2	41,4	32,2	29,0	22,2

ТАБЛИЦА

динамических скоростей потока $v_{динp\%}$ в руслах рек на пике паводка $p\%$ вероятности превышения

Средний диаметр частиц грунта, мм	Глубина потока, м											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15
	$v_{дин1\%}$, м/с											
0,15	0,58	0,73	0,82	0,90	0,95	1,05	1,06	1,11	1,15	1,18	1,24	1,33
0,25	0,65	0,81	0,91	0,99	1,05	1,16	1,17	1,22	1,27	1,31	1,38	1,48
0,50	0,75	0,93	1,05	1,14	1,22	1,29	1,35	1,40	1,46	1,50	1,58	1,78
1,0	0,86	1,06	1,20	1,31	1,40	1,48	1,55	1,61	1,67	1,73	1,82	2,06
2,0	0,99	1,22	1,38	1,51	1,61	1,70	1,78	1,85	1,92	1,98	2,09	2,36
3,0	1,08	1,33	1,50	1,63	1,74	1,84	1,93	2,01	2,08	2,15	2,27	2,56
6,0	1,24	1,52	1,72	1,88	2,00	2,12	2,22	2,31	2,39	2,47	2,61	2,95
10,0	1,37	1,69	1,91	2,08	2,22	2,35	2,46	2,56	2,65	2,74	2,89	3,27
15,0	1,49	1,83	2,07	2,25	2,41	2,55	2,67	2,78	2,87	2,97	3,13	3,54
25,0	1,65	2,03	2,29	2,50	2,67	2,82	2,95	3,07	3,18	3,29	3,47	3,92
50,0	1,89	2,33	2,63	2,87	3,07	3,24	3,39	3,53	3,66	3,78	3,99	4,27
100,0	2,17	2,68	3,02	3,30	3,52	3,72	3,90	4,06	4,20	4,34	4,58	4,90
200,0	2,50	3,07	3,47	3,78	4,05	4,27	4,48	4,66	4,83	4,98	5,25	5,63
300,0	2,71	3,33	3,76	4,10	4,39	4,64	4,86	5,05	5,23	5,40	5,70	6,10

Примечание. Для получения динамической скорости потока $v_{динp\%}$ на пике паводка требуемой вероятности превышения $p\%$ табличные данные скоростей $v_{дин1\%}$ умножают на коэффициент β, равный

$p\%$ . .	0,33	1,0	2,0	4	10	20	30	50
β	1,07	1,0	0,97	0,92	0,86	0,81	0,77	0,72

Приложение 3 5

ХАРАКТЕРНЫЕ УРОВНИ

воды, *используемые при проектировании* мостовых переходов

№ пп	Наименование	Условные обозначения	Назначение
1	Расчетный уровень воды (в естественных условиях)	$РУВВ_{р\%}$ или $УВВ_{р\%}$ p—вероятность расчетного расхода	а) определение гидравлических характеристик потока в отверстии и в районе перехода; б) возвышение над $УВВ_{р\%}$ конструкций моста; в) назначение бровок земляного полотна и регуляционных сооружений автодорожных мостовых переходов
2	Наибольший уровень воды (в естественных условиях)	То же при p—вероятность наибольшего расхода	Используется только при проектировании железнодорожных мостовых переходов: как поверочный при п 1 б и как основной при п 1 в
3	Расчетный и наибольший уровень воды при ледовых явлениях (заторах, зажорах, наледях)	$УВВ_{р\%}$	См пп 1 и 2
4	Подпертый расчетный и наибольший уровень воды	$ПУВВ_{р\%}$	См. пп. 1 и 2 при расположении мостового перехода в зоне подпора от другой реки, гидротехнического сооружения, ветрового нагона и пр
5	Расчетный судоходный уровень воды	РСУ	Уровень, от которого отсчитывается надводная высота подмостового габарита (высотное положение пролетных строений)
6	Наинизший судоходный уровень воды	НСУ	Низкий (меженный) уровень воды, гарантирующий (с учетом возможного дноуглубления) требуемую глубину судового хода в судоходных пролетах моста
7	Уровень низкой межени	УНМ	Высотное положение обреза фундамента опор; водохозяйственные расчеты (за расчетную принимают наинизшую межень обеспеченностью 99%)
8	Уровень средней межени	УСМ	Водохозяйственные расчеты
9	Уровень нижней подвижки льда	УНПЛ	Расчет опор на воздействие льда
10	Уровень высокого ледохода	УВЛ	Расчет опор на воздействие льда, границы облицовки
11	Рабочий уровень	РУ	Расчеты при составлении проектов организации строительства мостов

Определение состава крупнообломочного аллювия

Гранулометрический состав крупнообломочного аллювия определяют весовым способом Объем пробы должен быть не менее 1 м³ Гранулометрический состав определяют не менее чем на трех вертикалях в створе проектируемого моста

При невозможности применить весовой способ гранулометрический состав аллювия определяют объемным методом А А Александрова, пользуясь которым необходимо при наличии в составе аллювия фракций <100 мм более 20% учитывать пористость этих фракций При отсутствии лабораторных данных величину пористости принимают равной 30—40%

Производят обмер всех крупных валунов $d>100$ мм подряд без сортировки При этом фиксируют три размера каждого валуна, средний диаметр и объем валуна определяют по рис 1

В дальнейшем при камеральной обработке производят выборку по фракциям Точный объем выработки не оговаривается Полевые записи и результаты обработки помещают в прилагаемых формах и на рис 2

Форма 1

Наименование и номер выработки
Местоположение выработки км пк+
Отметка поверхности земли
Размеры выработки площадь м²,
глубина $h=$ м, объем= м³

№ пп	Размеры камней см			$a\times b\times c$	D см	Объем камней $W_{кр}$, м³	№ групп
	a	b	c				

Форма 2

№ групп	Средний диаметр, мм	Количество, шт.	Общий объем $W_{кр}$, м³	%
	Сумма			100

Форма 3

Наименование и номер выработки
Номер лабораторной пробы
Глубина взятия пробы
Пористость грунта $n=$
Содержание крупных фракций (>100 мм)

$$P_{кр}=\frac{\Sigma W_{кр}}{(1-n)W_{выр}}100=\text{———}100=\text{———}\ \%$$

	Гранулометрический состав			Пересчет гранулометрического состава				Гидравлическая крупность	
	от до	d, мм	p, %	κ	p, %	Σp	dp	w, см/сек	wp
По данным полевых измерений	500			Поправочный коэффициент $\kappa_1 = p_{кр} : 100 =$					
		450						220	
	400								
		350						195	
	300								
		250						170	
	200								
		175						142	
	150								
		135						127	
	120								
		110						115	
	100								
По данным лаборатории	70	85		Поправочный коэффициент $K_2 = (100 - P_{кр}) : 100 =$				100	
		60						84	
	50								
		42,5						71	
	35								
		30						60	
	25								
		17,5						47	
	15								
		10						36	
	5								
		4						225	
	3								
		2,5						17	
	2								
		1,5						13	
	1								
		0,75						8	
	0,5								
		0,375						4	
	0,25								
		0,20						22	
	0,15								
		0,10						0,7	
	0,05								
		0,0275						0,048	
	0,005								
		0,0025						~0	

Форма 4

Результаты расчета

Наименование и № выработок	Характерные диаметры, мм					Гидравлическая крупность w, см/сек
	d_{max}	d_{10}	d_{30}	d_{50}	$\overline{d}$	

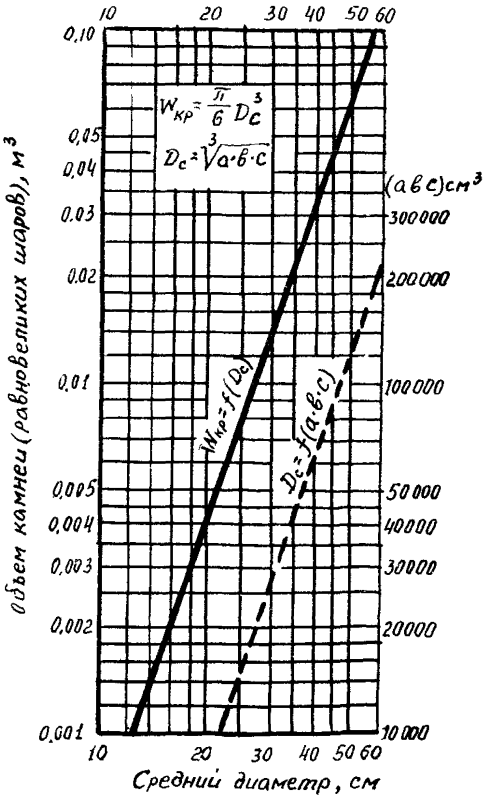


Рис. 1. График для определения среднего диаметра и объема камней

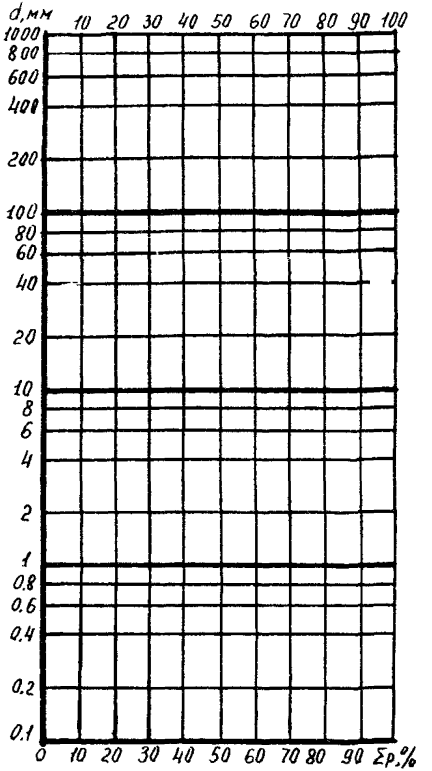


Рис. 2. Клетчатка для построения гранулометрической кривой

ПРИМЕРЫ

математического моделирования гидравлической работы эксплуатируемых и проектируемых мостовых переходов

Пример 1

Существующая автомобильная дорога пересекает мостом водоток А, являющийся протоком в речной долине р Б, и паромной переправой русло р Б В непосредственной близости от паромной переправы расположены подземные (под руслом) переходы газо- и нефтепроводов I—II класса Этим вызвано смещение створа проектируемого моста через р Б ниже паромной переправы Такое решение, связанное также с приближением трассы дороги к воздушной линии, привело к пересечению водотока С с устройством еще одного моста

В задачу математического моделирования входили обоснования и корректировка принятых проектных решений

размеры отверстий через русла Б и С,

гидравлическая работа моста через р С и необходимость в водоразделительной дамбе между руслами Б и С,

влияние мостов через р Б и С на русловые деформации в русле р Б в местах газо , нефтепроводов,

изменение гидравлической работы моста через р А в связи с мостами через р Б и С,

русловые деформации в русле р А в местах газо-, нефтепроводов,

необходимость в водоразделительной дамбе у моста через р А

Для моделирования протекания потока в речной долине р Б использованы двумерные уравнения Сен Венана, решаемые на ЭВМ методами численного интегрирования, и уравнения движения наносов

Исходными данными для расчета явились отметки дна и коэффициенты шероховатости внутри элементов сетки, на которую разбивают всю исследуемую область (речную долину) В алгоритме использовалась так называемая регулярная прямоугольная сетка, которая делит всю область течения на продольники и поперечники (рис 1, см вклейку) Такая сетка удобна для ввода исходных данных и анализа полученных результатов и используется в ЦНИИСе при относительно (русел) нешироких речных долинах в областях с достаточно простой конфигурацией границ

В программе границы непротекания (насыпь, водоразделительные дамбы и т п) являются границами элементов (т е линиями) Поэтому криволинейные сооружения, длина которых превышает их ширину, аппроксимируются ломаными линиями (см рис 1)

В качестве граничных условий в программе задают удельные расходы на одной (верхней) границе и уровни на другой (нижней) границе области При этом для расчетов установившегося движения конечный результат не зависит от способа задания начальных условий (например, на входе можно задавать распределение удельных расходов по Шези или произвольно), поскольку течение формируется под влиянием граничных условий и через некоторое время стабилизируется

Комплекс предусматривает возможность продолжения расчетов с контрольной точки, включает блоки контроля исходных данных и программу вывода результатов на печать, графопостроитель (рис 2, см вклейку) и графдисплей Для персональных компьютеров (ПЭМВ) реализовано цветное графическое представление расчета на экране монитора

Результаты математического моделирования позволили

предложить сокращение моста через р Б до отверстия, которое не будет оказывать неблагоприятного влияния на работу трубопроводов,

отказаться от предлагаемых первоначально в проекте специальных водоразделительных дамб для регулирования пойменного и руслового потоков на мостах через русла А и С, дамба может оказать даже негативное влияние на работу проектируемого моста через р С

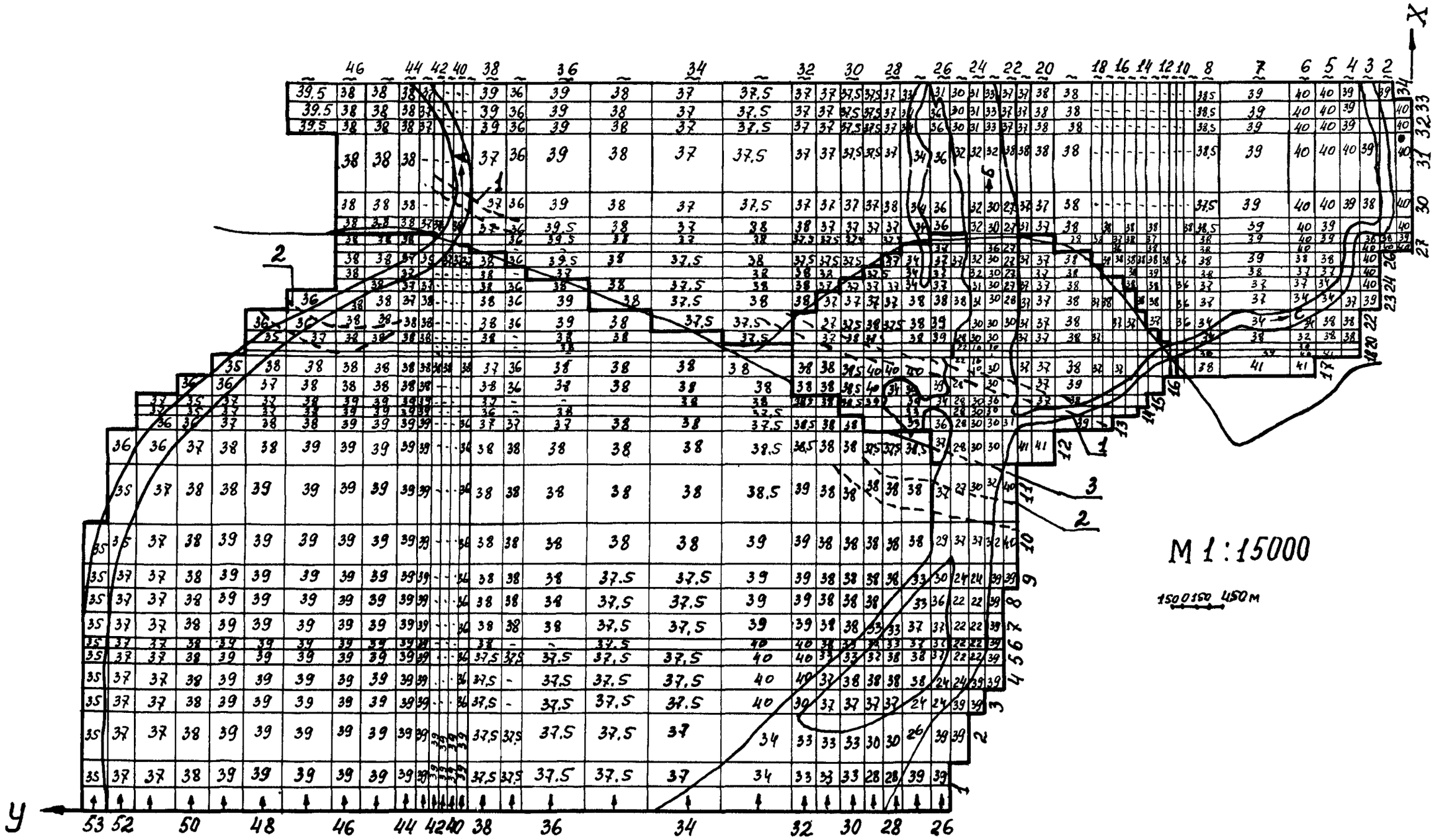


Рис. 1. Расчетная сетка конечных элементов: Цифрами в ячейках показаны отметки земли (в м); по контуру сетки—номера ячеек по осям *X* и *Y*; стрелками показан участок, где задан расход воды; волнистыми линиями—уровень; *1*—газопровод; *2*—нефтепровод; *3*—паромная переправа

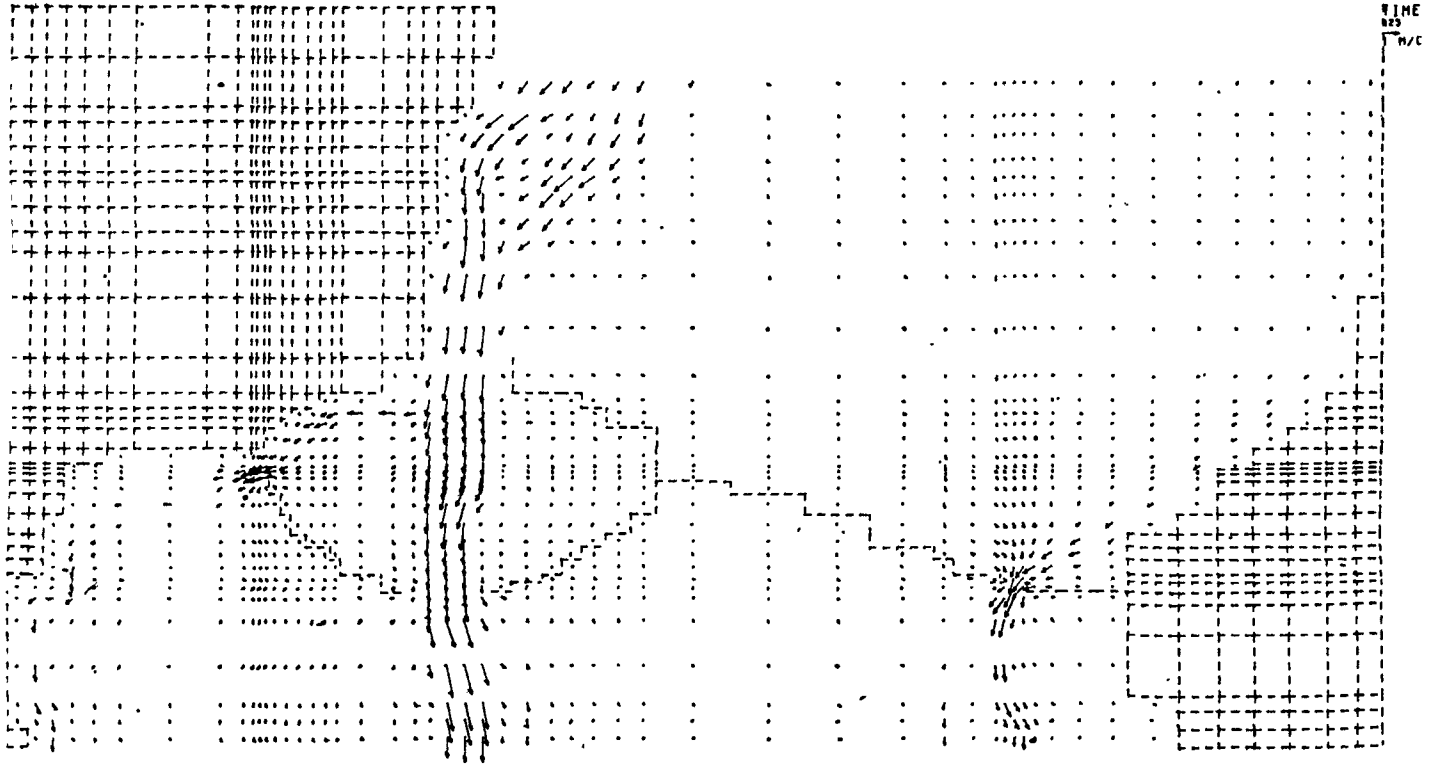


Рис. 2. План скоростей течений, полученный на графопостроителе

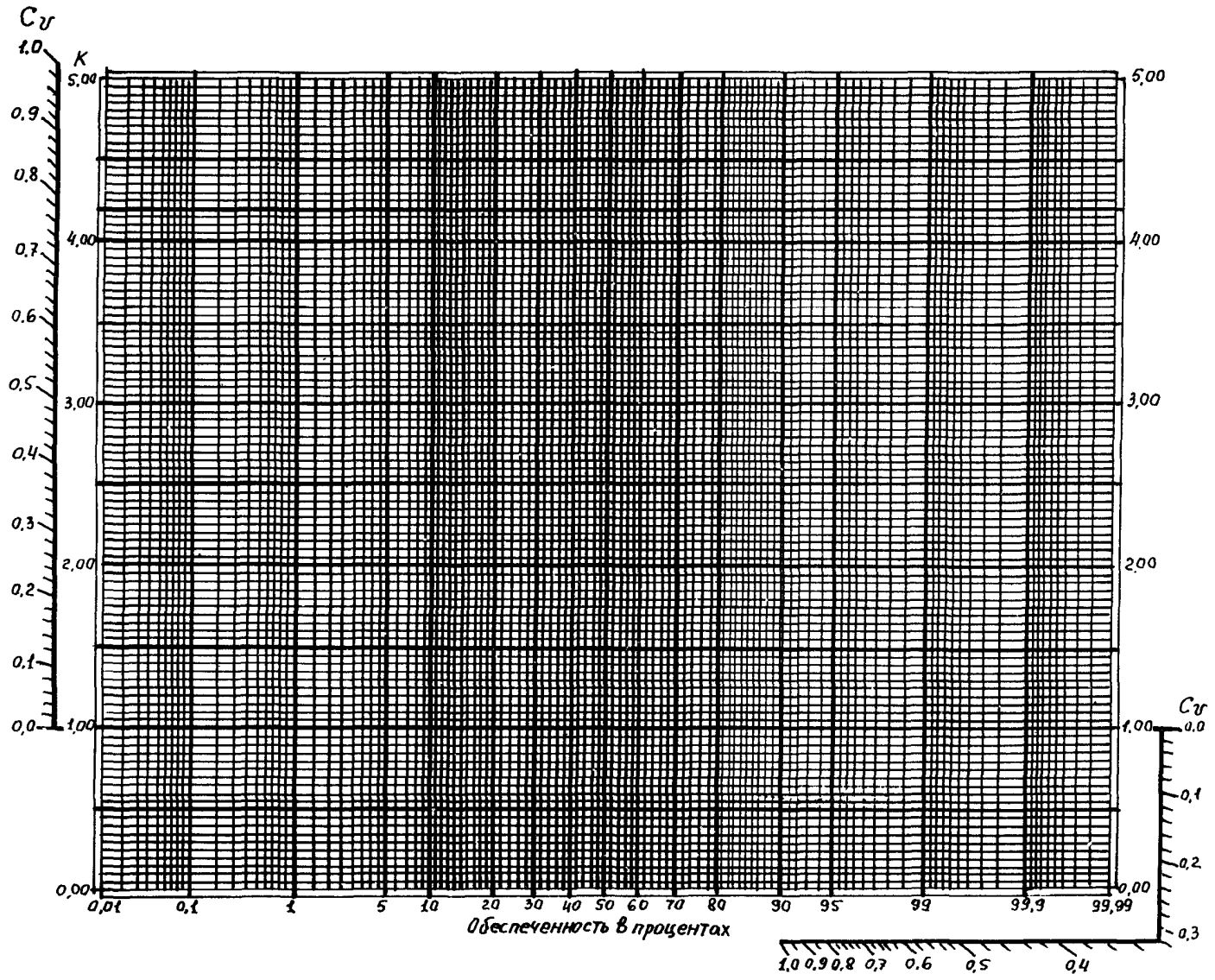


Рис. 1. Клетчатка вероятности, спрямляющая кривые обеспеченности при $C_s=0$

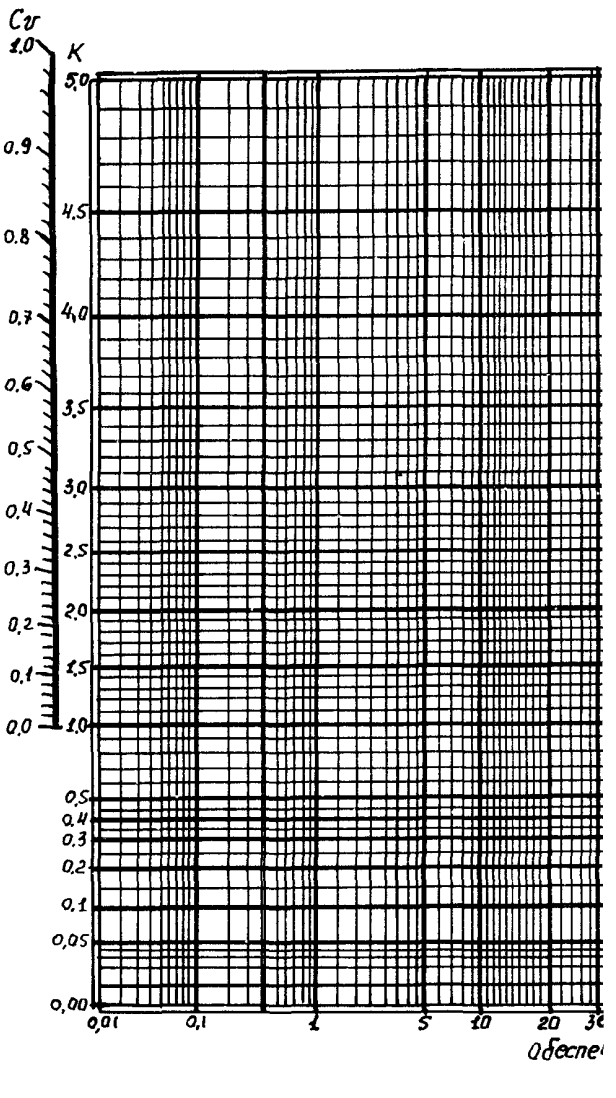


Рис 2 Клетчатка вероятности

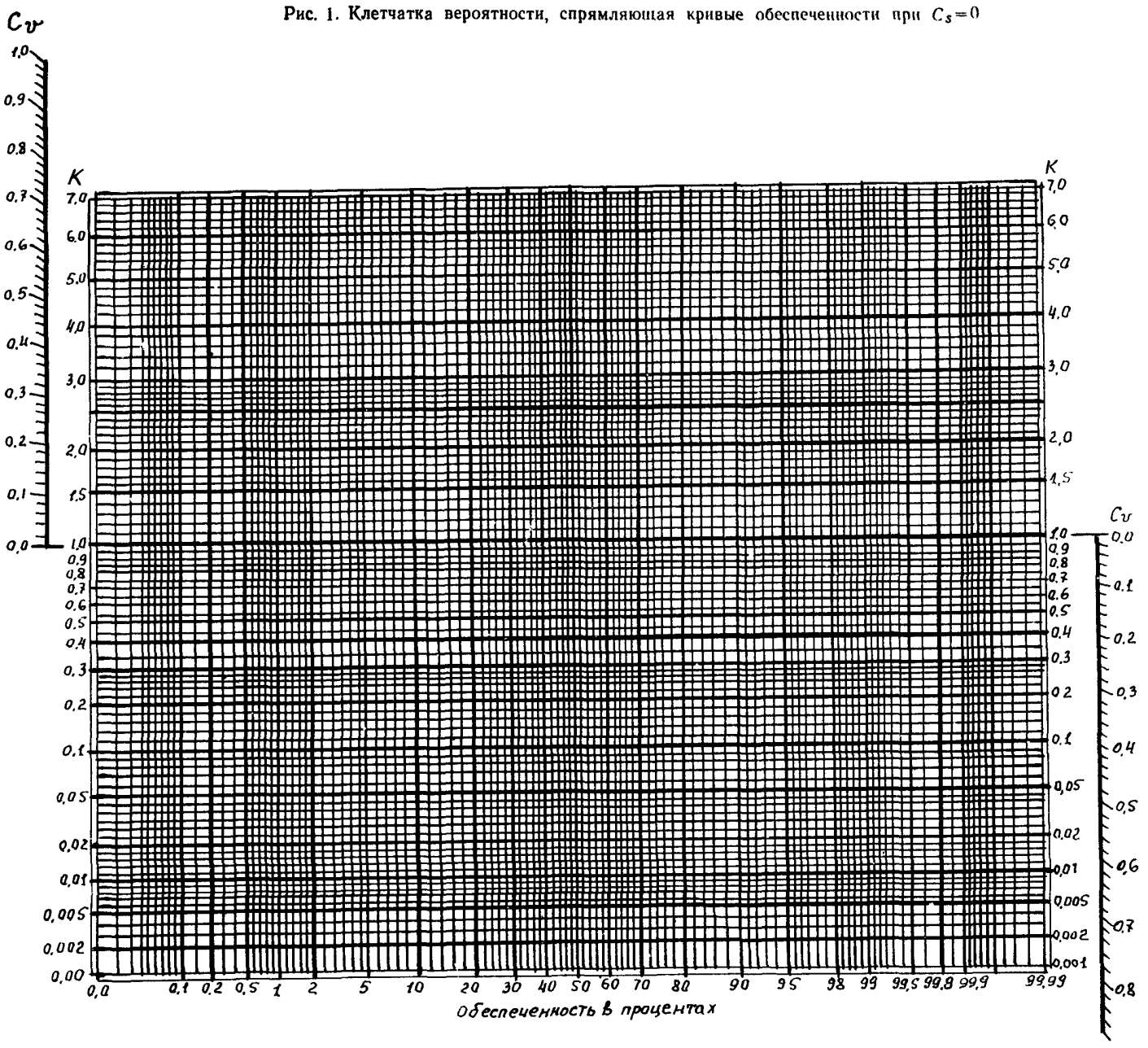


Рис. 4. Клетчатка вероятности, спрямляющая кривые обеспеченности при $C_s=2C_v$

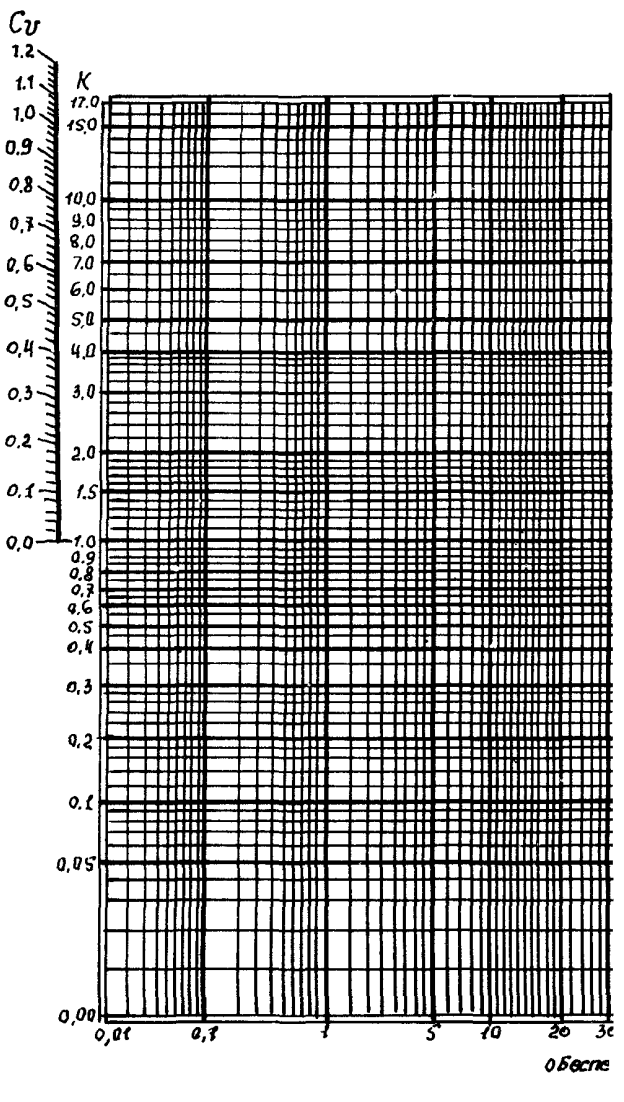
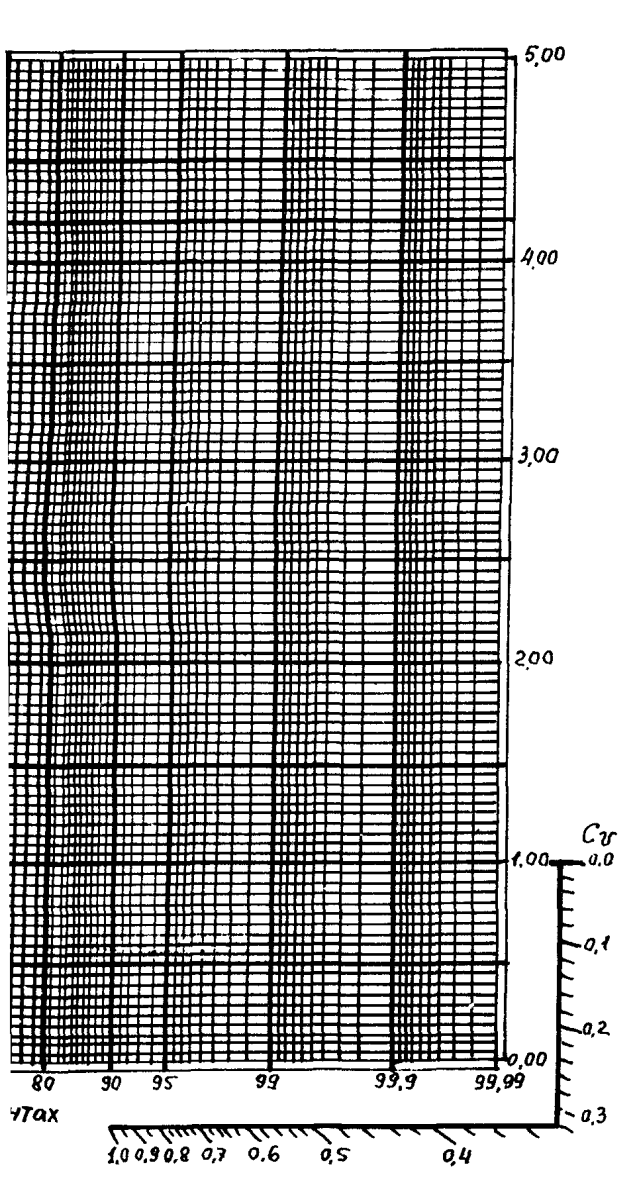


Рис 5 Клетчатка вероятности, с

Зак 5606, стр 354—355

Спрямляющие клетчатки
трехпараметрического гамма-распределения при соотношениях C_s/C_v от 1 до 6



ая кривые обеспеченности при $C_s=0$

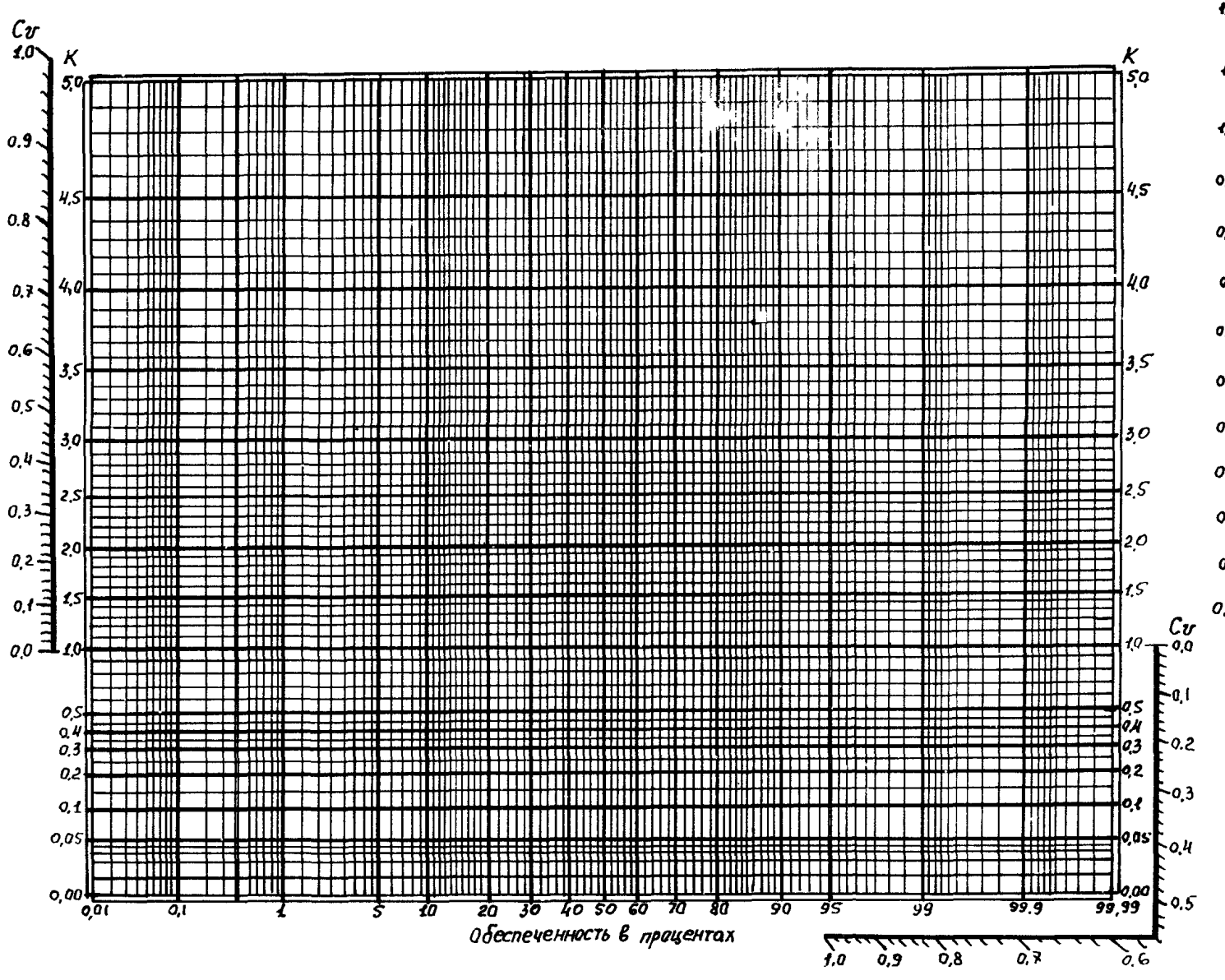
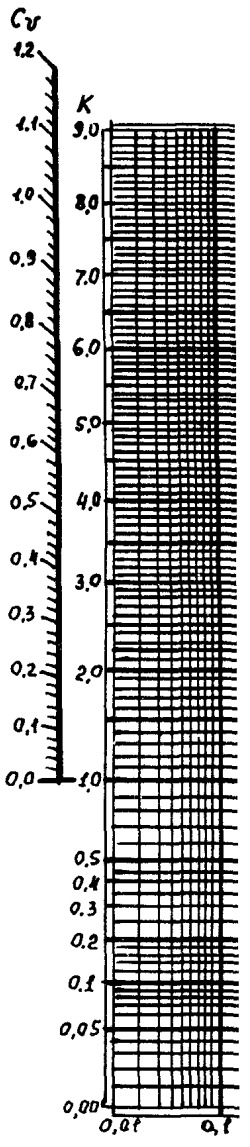
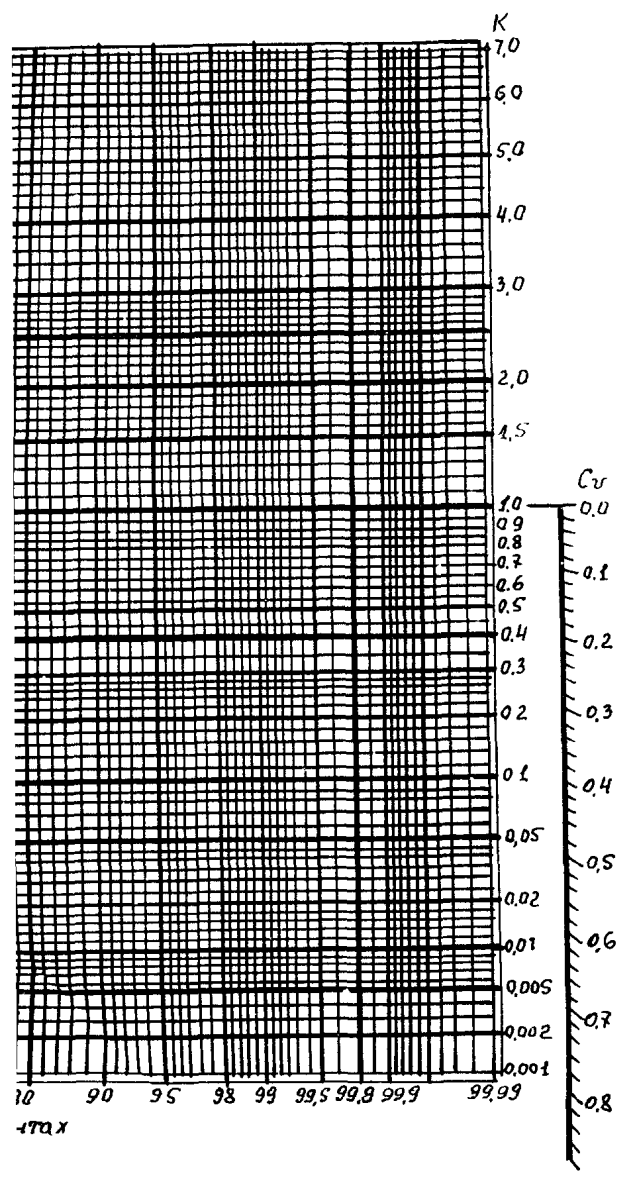
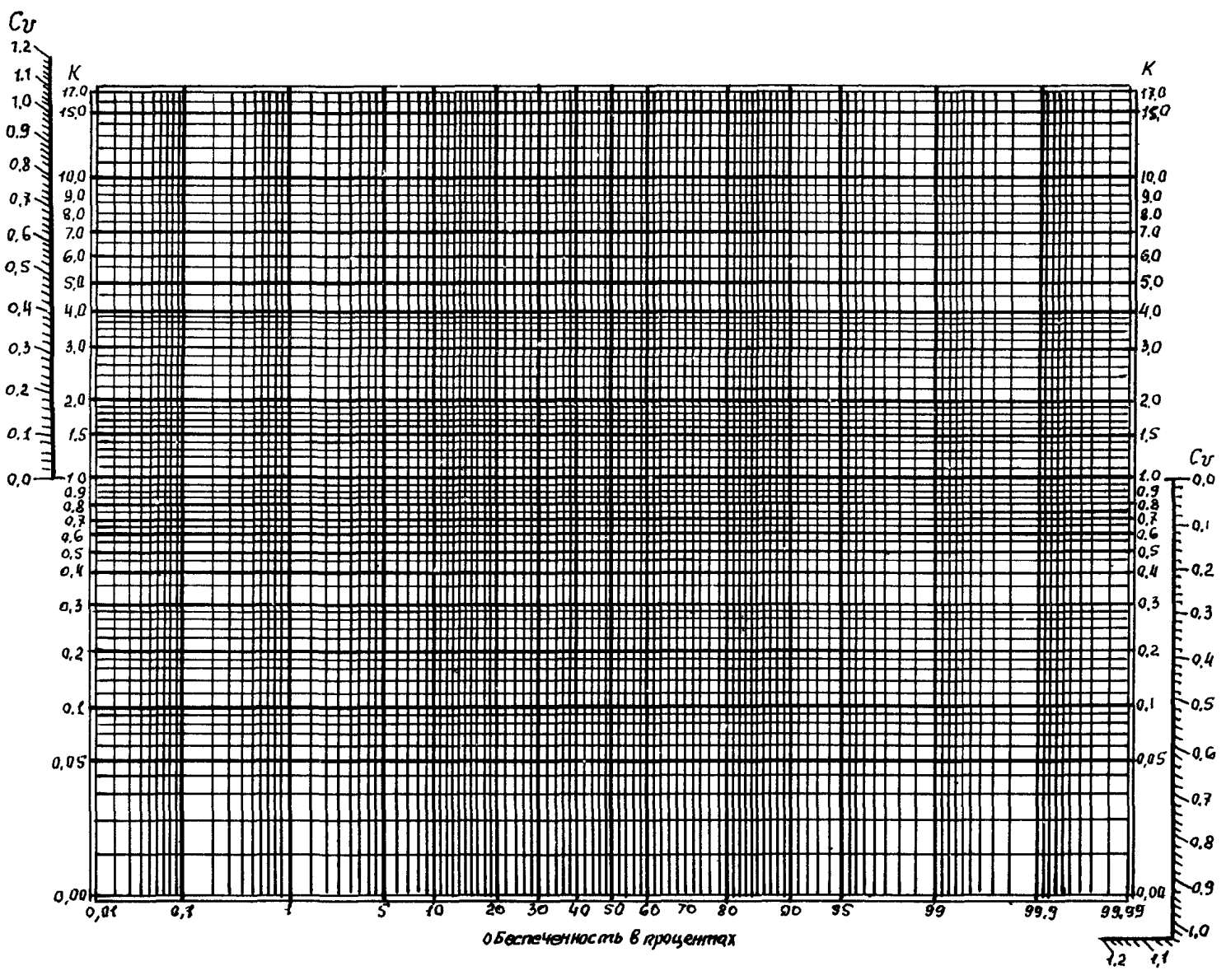


Рис 2 Клетчатка вероятности, спрямляющая кривые обеспеченности при $C_s=C_v$





ривые обеспеченности при $C_s=2C_v$



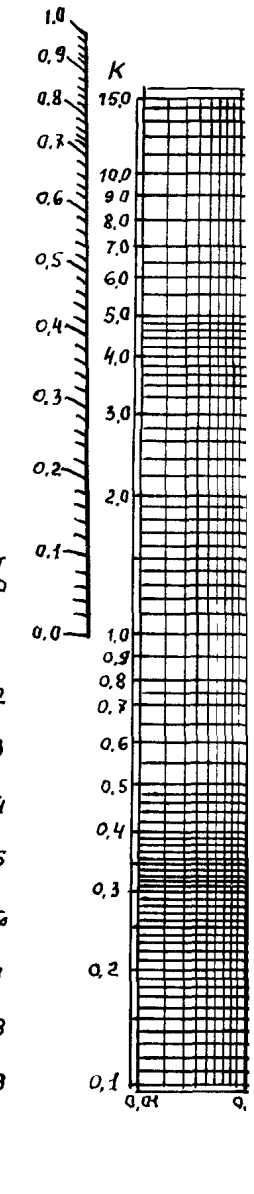
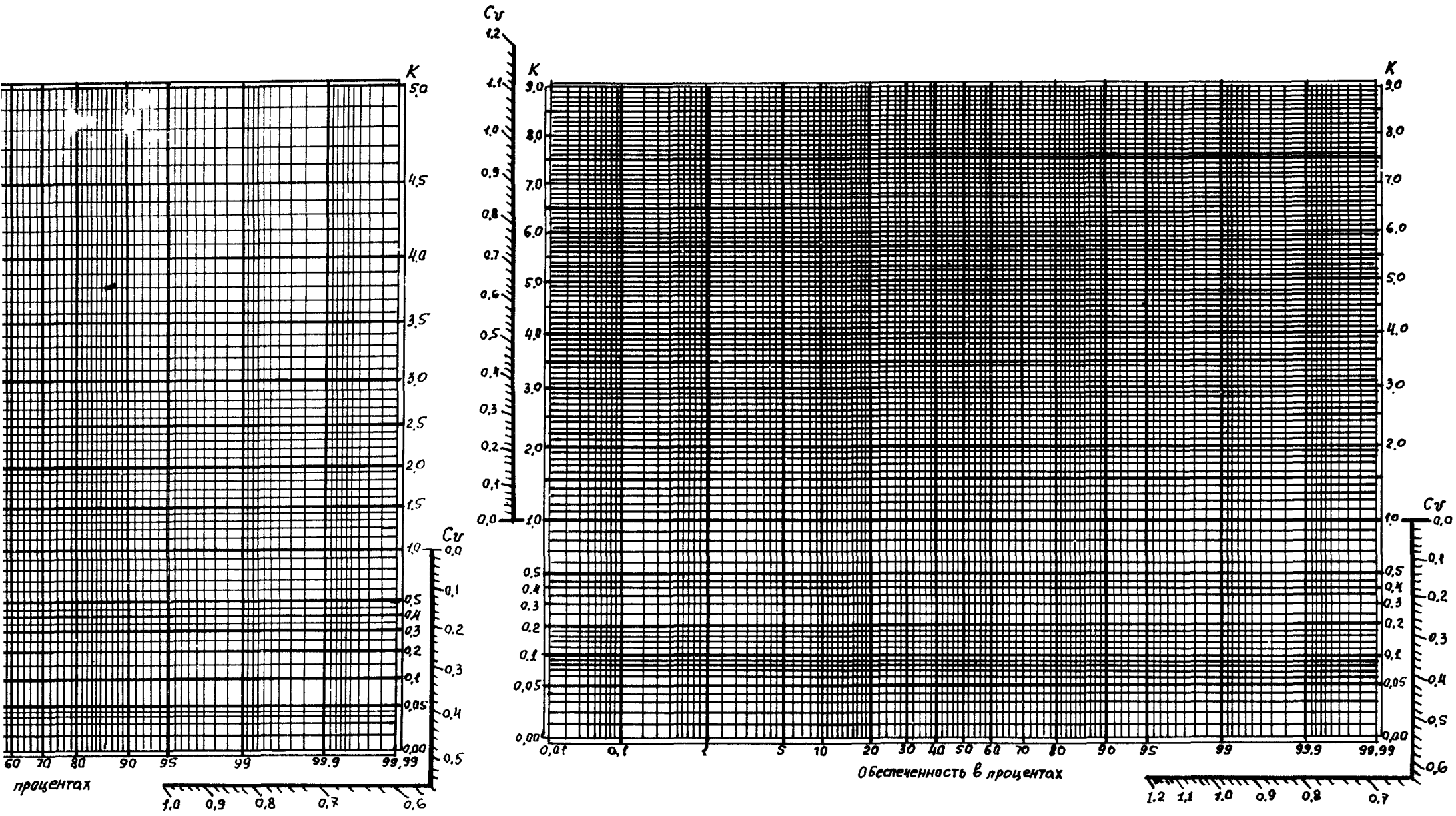


Рис 5 Клетчатка вероятности, спрямляющая кривые обеспеченности при $C_s=3.0C_v$



ощая кривые обеспеченности при $C_s = C_v$

Рис 3 Клетчатка вероятности, спрямляющая кривые обеспеченности при $C_s = 1{,}5C_v$

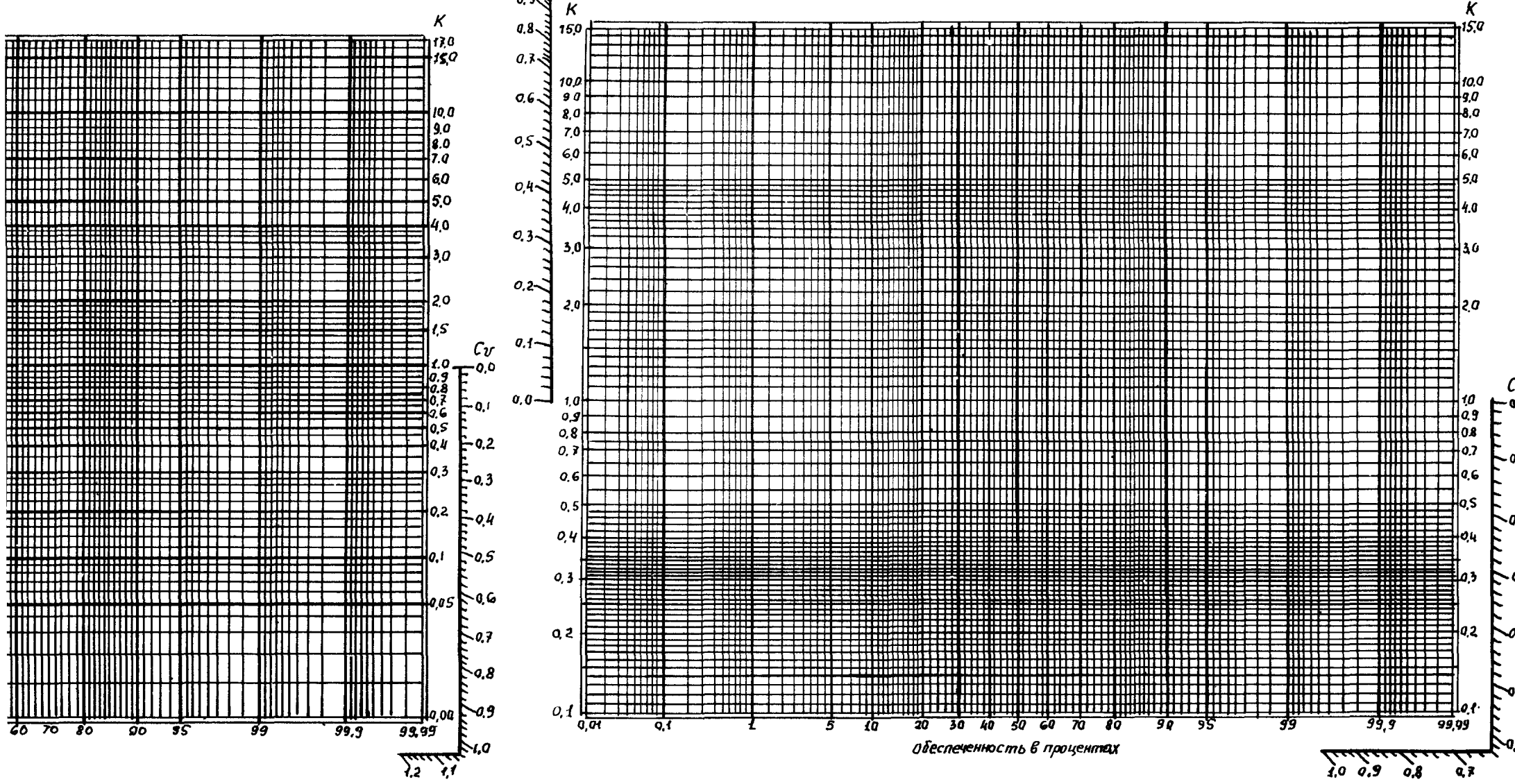
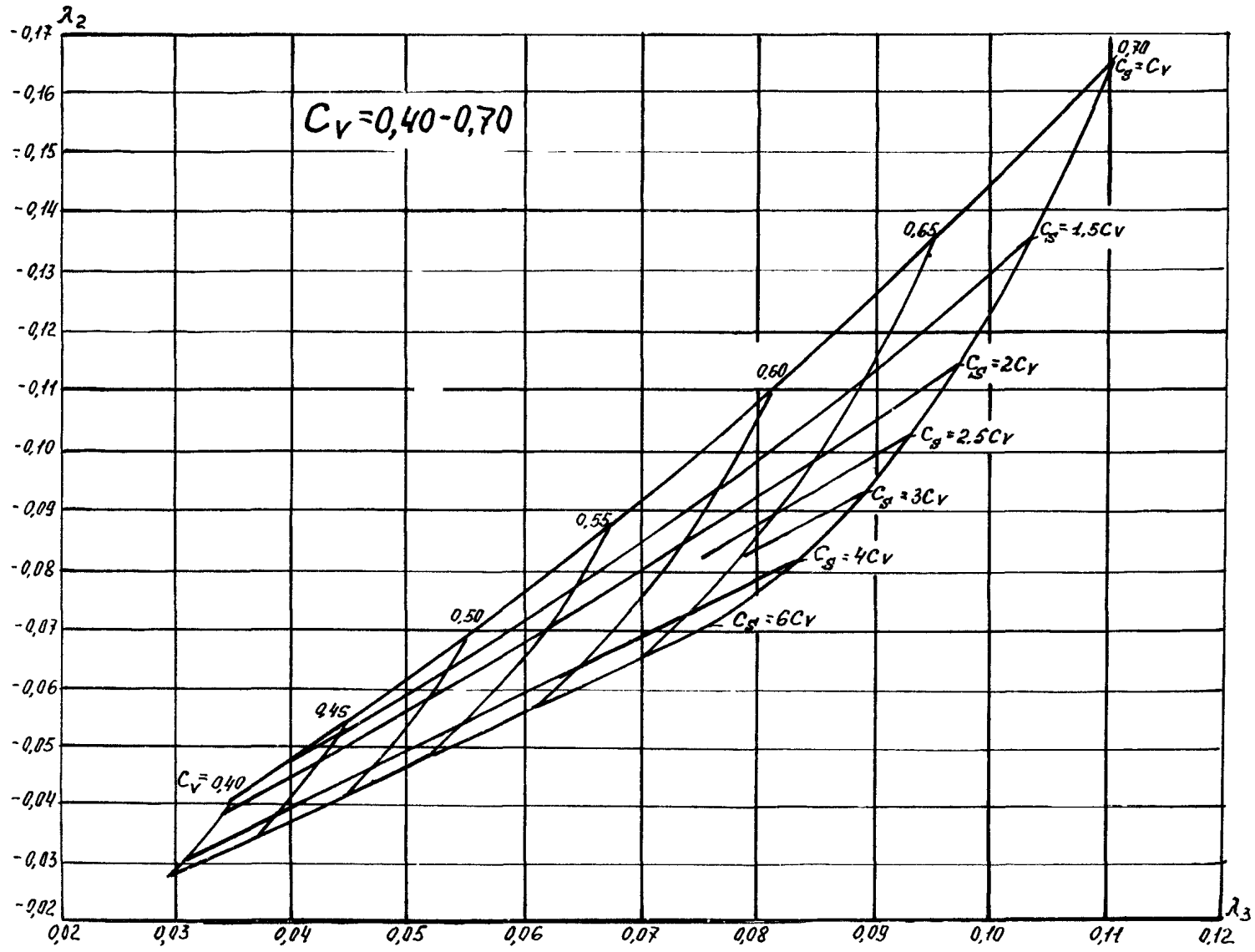
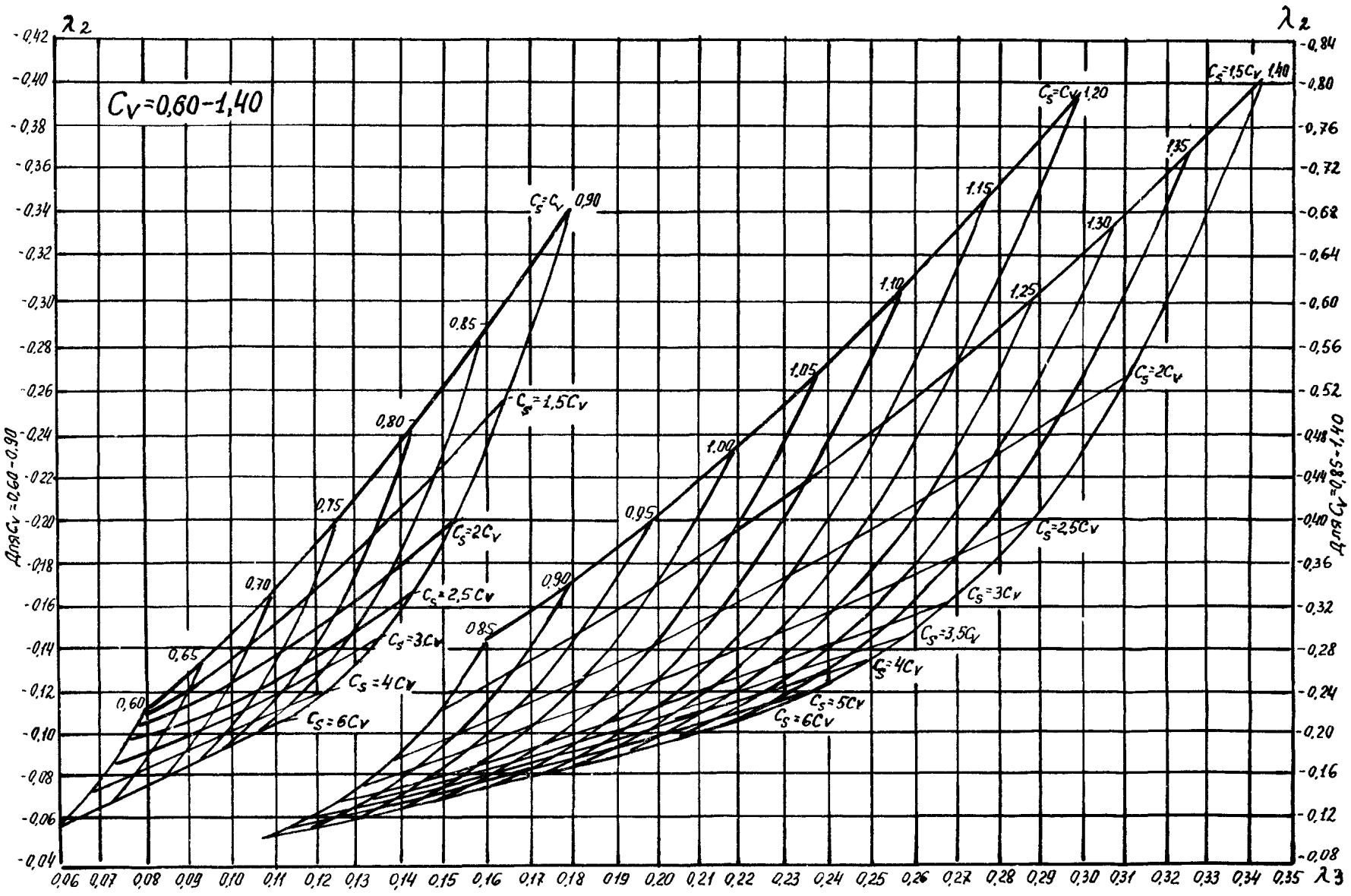


Рис 6 Клетчатка вероятности, спрямляющая кривые обеспеченности при $C_s = 4{,}0C_v$

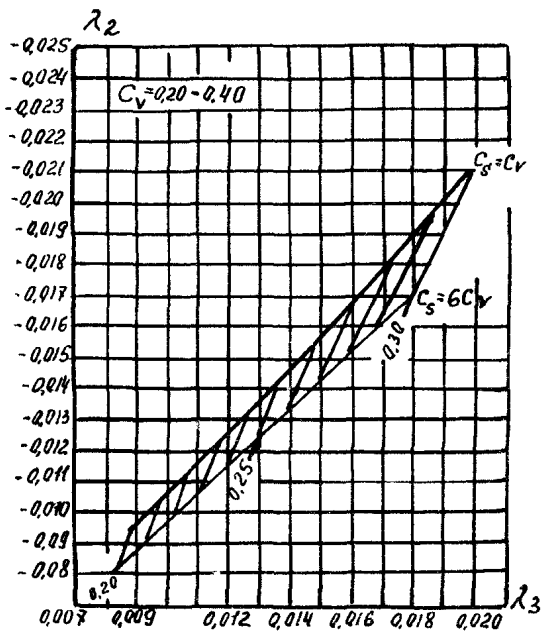
в)


λ2
λ3
Cv=0,40-0,70
Cv=0,40
0,45
0,50
0,55
0,60
0,65
0,70
Cs=Cv
Cs=1,5Cv
Cs=2Cv
Cs=2,5Cv
Cs=3Cv
Cs=4Cv
Cs=6Cv

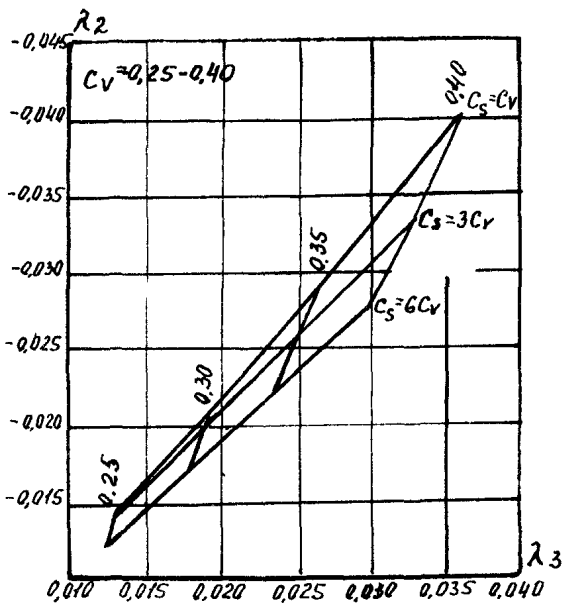
г)


λ2
λ3
Cv=0,60-1,40
для Cv=0,60-0,90
для Cv=0,95-1,40
0,60
0,65
0,70
0,75
0,80
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
1,20
1,25
1,30
1,35
1,40
Cs=Cv
Cs=1,5Cv
Cs=2Cv
Cs=2,5Cv
Cs=3Cv
Cs=3,5Cv
Cs=4Cv
Cs=5Cv
Cs=6Cv

а)



б)



Номограммы для вычисления параметров трехпараметрического гамма-распределения C_v и C_s методом наибольшего правдоподобия *а*—C_v=0,2—0,4; *б*—C_v=0,25—0,40; *в*—C_v=0,40—0,70; *г*—C_v=0,60—1,40

Пример 2

В междуречье трех рек A, B, C в районе Крайнего Севера проектировалась автомобильная дорога M—N соответственно с тремя основными мостовыми переходами и несколькими дополнительными малыми мостами. Особенностями объекта являлись: а) большое отличие в размерах поймы и русел (общие размеры расчетной области 60×60 км, ширина русел 100÷300 м); б) возможность перетекания части расхода воды из бассейна реки A в бассейн рек B, C; в) наличие дополнительного притока воды непосредственно с расчетной площади; г) необходимость учета ветрового нагона и влияния нагонных и приливных явлений в заливе, куда впадают реки, на предмостовые подпоры и расходы воды, проходящие через отверстия.

Целью исследований являлся выбор схемы мостовых переходов с учетом перераспределения расходов между отверстиями, величин подпора и размыва.

Для решения были разработаны специальная двухслойная математическая модель течения и комплекс программ «Паводок», позволяющие рассчитывать взаимодействие руслового (ниже бровок русел) и пойменного (выше бровок) потоков, перетекание воды из русла на пойму и обратно и т. п. Численное моделирование проводилось на сетках из треугольных элементов типа представленной на рис. 3. Сетка построена с учетом геометрии границ затопления, русловой сети и проектируемой автомобильной дороги. Сетка строится автоматически с использованием специального комплекса программ «*TRIANA*». Наряду с расчетами мостовых переходов было проведено и моделирование течений в бытовых условиях, а также экспериментально и теоретически исследованы скорости размыва в вечномерзлых грунтах с учетом оттаивания. В результате были даны рекомендации по оптимальному проектированию трех мостовых переходов.

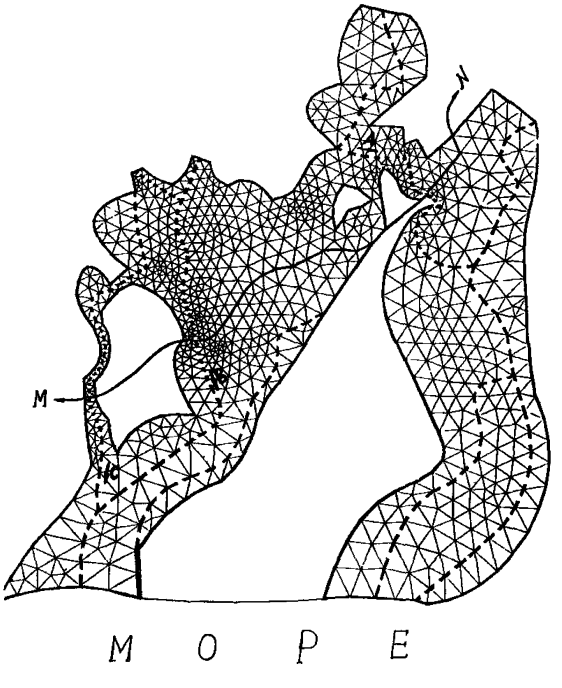


Рис 3. Расчетная сетка конечных элементов треугольного типа

ОРДИНАТЫ

интегральных кривых распределения вероятностей по С. Н. Крицкому и М. Ф. Менкелю

$$\frac{C_s}{C_v} = 1{,}0$$

p, %	C_v									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,10	1,32	1,67	2,03	2,39	2,77	3,14	2,48	3,82	4,13	4,44
0,33	1,28	1,58	1,88	2,21	2,53	2,86	3,18	3,48	3,80	4,12
0,5	1,27	1,55	1,84	2,15	2,45	2,76	3,06	3,37	3,68	4,00
1	1,24	1,49	1,75	2,03	2,31	2,59	2,87	3,15	3,45	3,78
2	1,21	1,43	1,64	1,90	2,14	2,38	2,63	2,89	3,18	3,49
5	1,17	1,34	1,52	1,70	1,90	2,10	2,31	2,52	2,76	3,04
10	1,13	1,26	1,39	1,53	1,68	1,83	1,99	2,16	2,35	2,57
20	1,08	1,17	1,25	1,34	1,42	1,51	1,59	1,69	1,78	1,88
25	1,06	1,13	1,19	1,26	1,33	1,41	1,47	1,52	1,58	1,62
30	1,05	1,10	1,15	1,20	1,24	1,29	1,34	1,38	1,40	1,39
40	1,02	1,04	1,06	1,08	1,09	1,10	1,10	1,10	1,05	0,99
50	1,00	0,99	0,99	0,97	0,96	0,93	0,89	0,83	0,76	0,67
60	0,97	0,94	0,90	0,87	0,83	0,79	0,71	0,61	0,51	0,40
70	0,95	0,89	0,83	0,77	0,70	0,62	0,51	0,41	0,30	0,21
75	0,93	0,86	0,78	0,71	0,62	0,53	0,42	0,31	0,21	0,14
80	0,91	0,83	0,74	0,65	0,55	0,45	0,35	0,24	0,15	0,09
90	0,88	0,75	0,63	0,50	0,38	0,26	0,17	0,09	0,04	0,02
95	0,84	0,68	0,53	0,38	0,26	0,15	0,08	0,04	0,01	0,00
97	0,82	0,64	0,48	0,33	0,21	0,11	0,05	0,02	0,00	0,00
99	0,78	0,57	0,38	0,23	0,12	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00
99,5	0,76	0,53	0,34	0,18	0,09	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
99,7	0,74	0,50	0,31	0,15	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
99,9	0,70	0,45	0,25	0,11	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

$$\frac{C_s}{C_v} = 1{,}5$$

p, %	C_v											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0 9	1,0	1,1	1,2
0,10	1,33	1,70	2,11	2,54	3,02	3,53	4,05	4,60	5,21	5,82	6,50	7,18
0,33	1,28	1,60	1,94	2,31	2,70	3,12	3,55	4,02	4,52	5,04	5,56	6,10
0,5	1,27	1,57	1,90	2,24	2,60	3,00	3,42	3,85	4,32	4,79	5,30	5,87
1	1,24	1,51	1,79	2,09	2,41	2,76	3,11	3,49	3,90	4,31	4,73	5,21
2	1,21	1,44	1,68	1,94	2,21	2,49	2,79	3,10	3,42	3,76	4,14	4,48
5	1,17	1,34	1,53	1,72	1,92	2,13	2,35	2,56	2,80	3,05	3,28	3,54
10	1,13	1,26	1,40	1,54	1,69	1,82	1,96	2,11	2,27	2,42	2,56	2,70
20	1,10	1,17	1,25	1,32	1,41	1,48	1,55	1,61	1,67	1,72	1,75	1,77

p, %	C_v											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
25	1,07	1,13	1,19	1,25	1,30	1,35	1,40	1,43	1,46	1,49	1,48	1,47
30	1,05	1,10	1,14	1,18	1,20	1,24	1,26	1,28	1,30	1,29	1,26	1,25
40	1,03	1,02	1,07	1,06	1,06	1,06	1,05	1,03	1,00	0,95	0,90	0,84
50	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,86	0,81	0,76	0,70	0,62	0,54
60	0,97	0,94	0,90	0,86	0,81	0,76	0,70	0,63	0,56	0,48	0,40	0,34
70	0,95	0,89	0,83	0,76	0,69	0,62	0,55	0,46	0,38	0,30	0,23	0,17
75	0,93	0,86	0,78	0,71	0,63	0,55	0,46	0,38	0,30	0,22	0,16	0,11
80	0,91	0,83	0,74	0,65	0,57	0,47	0,39	0,31	0,23	0,16	0,11	0,07
90	0,87	0,75	0,63	0,52	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,03	0,01
95	0,84	0,69	0,55	0,42	0,31	0,21	0,14	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00
97	0,82	0,65	0,50	0,36	0,25	0,15	0,09	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
99	0,78	0,58	0,41	0,27	0,16	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
99,5	0,76	0,55	0,36	0,22	0,12	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
99,7	0,74	0,52	0,33	0,20	0,11	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
99,9	0,72	0,47	0,28	0,15	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

$$\frac{C_s}{C_v} = 2$$

p, %	C_v											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,10	1,34	1,73	2,19	2,70	3,27	3,89	4,57	5,30	6,08	6,91	7,76	8,65
0,33	1,29	1,62	2,00	2,42	2,87	3,36	3,88	4,47	5,06	5,68	6,32	6,90
0,5	1,28	1,59	1,94	2,33	2,74	3,20	3,68	4,19	4,73	5,30	5,88	6,50
1	1,25	1,52	1,83	2,16	2,51	2,89	3,29	3,71	4,15	4,61	5,06	5,30
2	1,22	1,45	1,72	1,99	2,27	2,58	2,89	3,24	3,53	3,85	4,22	4,47
5	1,17	1,35	1,54	1,74	1,94	2,15	2,36	2,57	2,78	3,00	3,21	3,45
10	1,13	1,26	1,40	1,53	1,67	1,81	1,94	2,06	2,19	2,30	2,41	2,50
20	1,08	1,16	1,24	1,31	1,38	1,44	1,49	1,54	1,58	1,61	1,62	1,62
25	1,07	1,13	1,18	1,23	1,28	1,31	1,34	1,37	1,38	1,39	1,37	1,34
30	1,05	1,09	1,13	1,17	1,19	1,21	1,22	1,22	1,22	1,20	1,18	1,13
40	1,02	1,04	1,05	1,05	1,04	1,03	1,01	0,99	0,96	0,92	0,87	0,81
50	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92	0,88	0,84	0,80	0,75	0,69	0,64	0,58
60	0,97	0,94	0,90	0,85	0,80	0,75	0,69	0,63	0,57	0,51	0,45	0,40
70	0,95	0,89	0,82	0,76	0,69	0,62	0,55	0,49	0,42	0,36	0,31	0,26
75	0,93	0,86	0,78	0,71	0,63	0,56	0,49	0,42	0,35	0,29	0,24	0,19
80	0,92	0,83	0,75	0,66	0,57	0,49	0,42	0,35	0,28	0,22	0,17	0,13
90	0,87	0,75	0,64	0,53	0,44	0,35	0,27	0,21	0,15	0,11	0,07	0,05
95	0,84	0,70	0,56	0,45	0,34	0,25	0,18	0,13	0,08	0,05	0,03	0,02
97	0,82	0,66	0,52	0,39	0,29	0,20	0,14	0,09	0,05	0,33	0,02	0,01
99	0,78	0,59	0,44	0,31	0,21	0,13	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
99,5	0,76	0,56	0,40	0,27	0,17	0,10	0,05	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00
99,7	0,75	0,54	0,37	0,24	0,15	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
99,9	0,72	0,49	0,32	0,19	0,11	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

$$\frac{C_s}{C_v} = 3$$

p, %	C_v											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,10	1,35	1,80	2,36	3,00	3,75	4,58	5,43	6,31	7,33	8,43	9,49	10,68
0,33	1,30	1,67	2,08	2,60	3,18	3,74	4,16	4,96	5,68	6,44	7,16	8,05
0,5	1,29	1,63	2,02	2,48	3,00	3,50	4,06	4,64	5,21	5,85	6,50	7,10
1	1,25	1,55	1,88	2,25	2,66	3,07	3,49	3,92	4,40	4,88	5,37	5,79
2	1,22	1,47	1,75	2,03	2,33	2,55	2,96	3,30	3,64	4,00	4,30	4,65
5	1,17	1,36	1,54	1,75	1,94	2,14	2,35	2,51	2,70	2,89	3,05	3,23
10	1,14	1,26	1,39	1,52	1,63	1,76	1,87	1,97	2,09	2,15	2,24	2,31
20	1,09	1,16	1,23	1,29	1,33	1,38	1,42	1,45	1,47	1,49	1,49	1,50
25	1,07	1,12	1,17	1,21	1,23	1,26	1,27	1,29	1,28	1,28	1,27	1,27
30	1,05	1,09	1,12	1,14	1,15	1,15	1,16	1,15	1,14	1,13	1,11	1,08
40	1,02	1,03	1,03	1,03	1,01	1,00	0,97	0,95	0,91	0,88	0,85	0,81
50	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,86	0,82	0,78	0,74	0,70	0,66	0,61
60	0,97	0,93	0,89	0,84	0,79	0,74	0,69	0,65	0,60	0,55	0,50	0,46
70	0,94	0,88	0,82	0,76	0,70	0,64	0,58	0,53	0,47	0,42	0,37	0,33
75	0,93	0,86	0,79	0,72	0,65	0,58	0,52	0,47	0,41	0,36	0,31	0,27
80	0,91	0,83	0,75	0,67	0,60	0,53	0,47	0,41	0,36	0,31	0,26	0,22
90	0,87	0,76	0,66	0,57	0,48	0,41	0,34	0,29	0,24	0,19	0,16	0,12
95	0,84	0,71	0,59	0,49	0,41	0,33	0,26	0,21	0,17	0,13	0,10	0,07
97	0,83	0,68	0,55	0,45	0,36	0,28	0,22	0,17	0,13	0,10	0,07	0,05
99	0,79	0,62	0,48	0,37	0,29	0,21	0,16	0,12	0,08	0,06	0,04	0,03
99,5	0,77	0,59	0,45	0,34	0,25	0,18	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02
99,7	0,76	0,57	0,43	0,31	0,23	0,16	0,12	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01
99,9	0,73	0,53	0,38	0,27	0,19	0,13	0,09	0,06	0,03	0,02	0,01	0,01

$$\frac{C_s}{C_v} = 4$$

p %	C_v												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0 5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5
0,10	1,38	1,87	2,53	3,29	4,20	5,07	6,05	7,08	8,12	9,25	10,42	11,65	15,20
0,33	1,32	1,71	2,20	2,74	3,34	4,00	4,60	5,28	5,96	6,67	7,40	8,20	10,50
0,5	1,30	1,67	2,10	2,60	3,13	3,69	4,25	4,81	5,43	6,02	6,65	7,31	9,17
1	1,25	1,58	1,94	2,34	2,77	3,17	3,59	4 01	4,43	4,90	5,35	5,82	7,09
2	1,21	1,48	1,77	2,07	2,38	2,72	3,00	3,28	3,55	3,90	4,25	4,58	5,50
5	1,17	1,36	1,55	1,75	1,93	2,11	2,28	2,45	2,60	2,77	2,92	3,07	3,50
10	1,11	1,26	1,38	1,51	1,61	1,72	1,82	1,90	2,00	2,05	2,12	2,18	2,35
20	1 08	1,15	1,21	1,26	1,31	1,34	1,37	1,40	1,41	1,42	1,43	1,43	1,43
25	1,06	1,11	1,15	1,19	1,21	1,23	1,23	1,24	1,25	1,24	1,24	1,22	1,20
30	1,05	1,08	1,10	1,12	1,13	1,13	1,12	1,12	1,10	1,09	1,07	1,06	0,98
40	1,02	1,03	1,02	1,01	0,99	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85	0,81	0,72

p, %	C_v												
	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5
50	0,99	0,98	0,95	0,92	0,89	0,85	0,82	0,78	0,75	0,71	0,67	0,63	0,51
60	0,97	0,93	0,89	0,84	0,79	0,75	0,70	0,66	0,62	0,57	0,53	0,49	0,36
70	0,94	0,88	0,82	0,76	0,71	0,65	0,60	0,55	0,50	0,46	0,42	0,38	0,26
75	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,37	0,32	0,20
80	0,91	0,83	0,75	0,68	0,61	0,55	0,50	0,45	0,40	0,36	0,31	0,27	0,16
90	0,88	0,77	0,67	0,59	0,51	0,44	0,38	0,33	0,29	0,25	0,21	0,18	0,09
95	0,85	0,72	0,61	0,52	0,44	0,37	0,32	0,26	0,22	0,18	0,15	0,12	0,04
97	0,83	0,69	0,58	0,48	0,40	0,33	0,27	0,23	0,18	0,15	0,12	0,10	0,03
99	0,80	0,64	0,52	0,42	0,34	0,27	0,22	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,02
99,5	0,78	0,61	0,49	0,39	0,30	0,24	0,19	0,15	0,11	0,08	0,06	0,05	0,02
99,7	0,77	0,60	0,47	0,37	0,29	0,22	0,17	0,13	0,10	0,07	0,05	0,04	0,01
99,9	0,75	0,56	0,43	0,33	0,25	0,19	0,14	0,10	0,08	0,05	0,04	0,03	0,00

$$\frac{C_s}{C_v} = 5$$

p, %	C_v											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,10	1,40	1,95	2,66	3,51	4,44	5,40	6,43	7,54	8,64	9,83	10,96	12,14
0,33	1,33	1,76	2,27	2,88	3,44	4,20	4,76	5,50	6,20	6,90	7,70	8,20
0,5	1,31	1,70	2,16	2,69	3,21	3,77	4,34	4,93	5,52	6,17	6,85	7,35
1	1,27	1,61	1,98	2,38	2,79	3,21	3,65	4,06	4,50	4,94	5,33	5,75
2	1,23	1,50	1,78	2,10	2,40	2,72	3,00	3,35	3,65	3,92	4,20	4,50
5	1,17	1,36	1,55	1,74	1,90	2,08	2,22	2,41	2,54	2,71	2,85	2,98
10	1,13	1,26	1,37	1,49	1,60	1,70	1,79	1,86	1,94	2,00	2,05	2,11
20	1,08	1,15	1,21	1,25	1,30	1,32	1,34	1,36	1,36	1,39	1,40	1,41
25	1,06	1,11	1,15	1,17	1,20	1,20	1,20	1,22	1,22	1,22	1,20	1,20
30	1,05	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	1,10	1,10	1,09	1,08	1,06	1,04
40	1,02	1,02	1,01	1,00	0,98	0,97	0,94	0,92	0,90	0,87	0,84	0,81
50	0,99	0,97	0,94	0,92	0,88	0,85	0,82	0,78	0,75	0,71	0,68	0,65
60	0,97	0,93	0,88	0,84	0,79	0,75	0,71	0,67	0,63	0,58	0,55	0,51
70	0,94	0,88	0,82	0,77	0,71	0,66	0,61	0,56	0,52	0,48	0,44	0,41
75	0,93	0,86	0,79	0,73	0,67	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39	0,36
80	0,91	0,83	0,75	0,69	0,63	0,57	0,52	0,47	0,42	0,37	0,34	0,31
90	0,88	0,77	0,68	0,61	0,53	0,47	0,41	0,36	0,32	0,27	0,24	0,21
95	0,84	0,73	0,63	0,55	0,47	0,40	0,34	0,29	0,25	0,21	0,18	0,15
97	0,82	0,70	0,60	0,51	0,43	0,36	0,31	0,26	0,22	0,18	0,15	0,12
99	0,78	0,66	0,55	0,45	0,37	0,31	0,25	0,20	0,16	0,13	0,10	0,08
99,5	0,76	0,63	0,52	0,42	0,34	0,28	0,23	0,18	0,14	0,11	0,09	0,07
99,7	0,75	0,62	0,51	0,41	0,32	0,26	0,21	0,16	0,12	0,10	0,08	0,06
99,9	0,73	0,59	0,47	0,37	0,29	0,23	0,18	0,14	0,10	0,08	0,06	0,04

$\frac{C_s}{C_v} = 6$

p, %	C_v												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5
0,10	1,41	2,02	2,80	3,68	4,58	5,54	6,57	7,63	8,79	10,00	11,18	12,39	15,55
0,33	1,34	1,80	2,34	2,92	3,55	4,20	4,84	5,48	6,16	6,88	7,60	8,30	10,20
0,5	1,32	1,74	2,22	2,73	3,26	3,82	4,38	4,93	5,51	6,11	6,71	7,31	9,08
1	1,29	1,63	2,01	2,40	2,81	3,22	3,63	4,03	4,44	4,86	5,27	5,69	6,95
2	1,24	1,51	1,80	2,10	2,38	2,68	2,98	3,29	3,57	3,84	4,14	4,40	5,25
5	1,18	1,37	1,55	1,73	1,89	2,05	2,20	2,36	2,51	2,66	2,80	2,90	3,25
10	1,14	1,26	1,37	1,47	1,56	1,66	1,73	1,82	1,90	1,96	2,03	2,08	2,22
20	1,08	1,14	1,19	1,23	1,27	1,30	1,32	1,34	1,36	1,37	1,37	1,38	1,40
25	1,07	1,10	1,13	1,16	1,18	1,19	1,20	1,21	1,20	1,20	1,20	1,19	1,17
30	1,04	1,07	1,08	1,10	1,10	1,10	1,10	1,09	1,08	1,07	1,05	1,04	1,00
40	1,02	1,02	1,01	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89	0,87	0,85	0,82	0,74

ОТКЛО

ординат кривой вероятностей превышения Пирсона III типа

C_s	Вероятность									
	0,1	0,33	1	2	5	10	20	25	30	40
0,00	3,09	2,75	2,33	2,04	1,64	1,28	0,84	0,67	0,52	0,25
0,05	3,16	2,76	2,36	2,07	1,65	1,28	0,84	0,66	0,52	0,24
0,10	3,23	2,82	2,40	2,10	1,67	1,29	0,84	0,66	0,51	0,24
0,15	3,31	2,88	2,44	2,11	1,68	1,30	0,84	0,66	0,50	0,23
0,20	3,38	2,93	2,47	2,15	1,70	1,30	0,83	0,65	0,50	0,22
0,25	3,45	2,99	2,50	2,18	1,71	1,30	0,82	0,64	0,49	0,21
0,30	3,52	3,04	2,54	2,20	1,72	1,31	0,82	0,64	0,48	0,20
0,35	3,59	3,10	2,58	2,22	1,73	1,32	0,82	0,64	0,48	0,20
0,40	3,66	3,15	2,61	2,25	1,75	1,32	0,82	0,63	0,47	0,19
0,45	3,74	3,20	2,64	2,26	1,76	1,32	0,82	0,62	0,46	0,18
0,50	3,81	3,27	2,68	2,30	1,77	1,32	0,81	0,62	0,46	0,17
0,55	3,88	3,31	2,72	2,32	1,78	1,32	0,80	0,62	0,45	0,16
0,60	3,96	3,36	2,75	2,34	1,80	1,33	0,80	0,61	0,44	0,16
0,65	4,03	3,40	2,78	2,35	1,81	1,33	0,80	0,60	0,44	0,15
0,70	4,10	3,48	2,82	2,37	1,82	1,33	0,78	0,59	0,43	0,14
0,75	4,17	3,52	2,86	2,41	1,83	1,34	0,78	0,58	0,42	0,13
0,80	4,24	3,60	2,89	2,43	1,84	1,34	0,78	0,58	0,41	0,12
0,85	4,31	3,64	2,92	2,45	1,85	1,34	0,78	0,58	0,40	0,12
0,90	4,38	3,70	2,96	2,48	1,86	1,34	0,77	0,57	0,40	0,11
0,95	4,46	3,75	2,99	2,50	1,87	1,34	0,76	0,56	0,39	0,10

p, %	C_v												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5
50	0,99	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82	0,79	0,75	0,72	0,68	0,66	0,57
60	0,96	0,92	0,88	0,84	0,80	0,76	0,72	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53	0,43
70	0,94	0,88	0,83	0,77	0,72	0,67	0,63	0,58	0,54	0,49	0,45	0,42	0,32
75	0,93	0,86	0,80	0,74	0,68	0,63	0,58	0,53	0,49	0,44	0,40	0,37	0,27
80	0,91	0,84	0,77	0,70	0,64	0,58	0,53	0,48	0,44	0,39	0,35	0,32	0,24
90	0,88	0,78	0,70	0,62	0,55	0,49	0,43	0,38	0,33	0,29	0,26	0,22	0,14
95	0,85	0,74	0,65	0,56	0,49	0,43	0,37	0,32	0,27	0,23	0,20	0,17	0,10
97	0,83	0,72	0,62	0,53	0,46	0,39	0,33	0,28	0,24	0,20	0,17	0,14	0,07
99	0,80	0,67	0,57	0,48	0,40	0,33	0,28	0,23	0,19	0,15	0,12	0,10	0,04
99,5	0,78	0,65	0,55	0,45	0,37	0,31	0,25	0,20	0,17	0,13	0,10	0,08	0,03
99,7	0,76	0,64	0,53	0,43	0,36	0,29	0,24	0,19	0,15	0,12	0,09	0,07	0,02
99,9	0,75	0,61	0,50	0,40	0,33	0,26	0,21	0,16	0,12	0,09	0,08	0,06	0,01

НЕНИЕ *Приложение 7.4*

от середины при $\bar{x}=1$ и $C_v=1$ (по Фостеру-Рыбкину)

превышения, %

50	60	70	75	80	90	95	97	99	99,9
—0,00	—0,25	—0,52	—0,67	—0,84	—1,28	—1,64	—1,88	—2,33	—3,09
—0,01	—0,26	—0,52	—0,68	—0,84	—1,28	—1,62	—1,86	—2,29	—3,02
—0,02	—0,27	—0,53	—0,68	—0,85	—1,27	—1,61	—1,84	—2,25	—2,95
—0,02	—0,28	—0,54	—0,68	—0,85	—1,26	—1,60	—1,82	—2,22	—2,88
—0,03	—0,28	—0,55	—0,69	—0,85	—1,26	—1,58	—1,79	—2,18	—2,81
—0,04	—0,29	—0,56	—0,70	—0,85	—1,25	—1,56	—1,77	—2,14	—2,74
—0,05	—0,30	—0,56	—0,70	—0,85	—1,24	—1,55	—1,75	—2,10	—2,61
—0,06	—0,30	—0,56	—0,70	—0,85	—1,24	—1,53	—1,72	—2,06	—2,60
—0,07	—0,31	—0,57	—0,71	—0,85	—1,23	—1,52	—1,70	—2,03	—2,54
—0,08	—0,32	—0,58	—0,71	—0,85	—1,22	—1,51	—1,68	—2,00	—2,47
—0,08	—0,33	—0,58	—0,71	—0,85	—1,22	—1,49	—1,66	—1,96	—2,40
—0,09	—0,34	—0,58	—0,72	—0,85	—1,21	—1,47	—1,64	—1,92	—2,32
—0,10	—0,34	—0,59	—0,72	—0,85	—1,20	—1,45	—1,61	—1,88	—2,27
—0,11	—0,35	—0,60	—0,72	—0,85	—1,19	—1,44	—1,59	—1,84	—2,20
—0,12	—0,36	—0,60	—0,72	—0,85	—1,18	—1,42	—1,57	—1,81	—2,14
—0,12	—0,36	—0,60	—0,72	—0,86	—1,18	—1,40	—1,54	—1,78	—2,08
—0,13	—0,37	—0,60	—0,73	—0,86	—1,17	—1,38	—1,52	—1,74	—2,02
—0,14	—0,38	—0,60	—0,73	—0,86	—1,16	—1,36	—1,49	—1,70	—1,96
—0,15	—0,38	—0,61	—0,73	—0,85	—1,15	—1,35	—1,47	—1,66	—1,90
—0,16	—0,38	—0,62	—0,73	—0,85	—1,14	—1,34	—1,44	—1,62	—1,84

G_s	Вероятность									
	0,1	0 33	1	2	5	10	20	25	30	40
1,00	4,55	3,81	3,02	2,53	1,88	1,34	0,76	0,55	0,38	0,09
1,05	4,60	3,86	3,06	2,54	1,88	1,34	0,75	0,54	0,37	0,08
1,10	4,67	3,88	3,09	2,56	1,89	1,34	0,74	0,54	0,36	0,07
1,15	4,74	3,95	3,12	2,59	1,90	1,34	0,74	0,53	0,36	0,06
1,20	4,81	4,04	3,15	2,61	1,91	1,34	0,73	0,52	0,35	0,05
1,25	4,88	4,05	3,18	2,62	1,92	1,34	0,72	0,52	0,35	0,04
1,30	4,95	4,08	3,21	2,64	1,92	1,34	0,72	0,51	0,33	0,04
1,35	5,02	4,10	3,24	2,66	1,93	1,34	0,72	0,50	0,32	0,03
1,40	5,09	4,12	3,27	2,67	1,94	1,34	0,71	0,49	0,31	0,02
1,45	5,16	4,20	3,30	2,69	1,94	1,34	0,70	0,48	0,30	0,01
1,50	5,23	4,28	3,33	2,71	1,95	1,33	0,70	0,47	0,30	0,00
1,55	5,30	4,30	3,36	2,72	1,96	1,33	0,69	0,46	0,29	—0,01
1,60	5,37	4,33	3,39	2,73	1,96	1,33	0,68	0,46	0,28	—0,02
1,65	5,44	4,41	3,42	2,76	1,96	1,32	0,67	0,45	0,27	—0,02
1,70	5,50	4,45	3,44	2,78	1,97	1,32	0,66	0,44	0,26	—0,03
1,75	5,57	4,48	3,47	2,80	1,98	1,32	0,65	0,43	0,25	—0,04
1,80	5,64	4,53	3,50	2,82	1,98	1,32	0,64	0,42	0,24	—0,05
1,85	5,70	4,58	3,52	2,84	1,98	1,32	0,64	0,41	0,23	—0,06
1,90	5,77	4,62	3,55	2,85	1,99	1,31	0,63	0,40	0 22	—0,07
1,95	5,84	4,65	3,58	2,87	2,00	1,30	0,62	0,40	0,21	—0,08
2,00	5,91	4,70	3,60	2,89	2,00	1,30	0,61	0,39	0,20	—0,08
2,05	5,99	4,75	3,63	2,92	2,00	1,30	0,60	0,39	0,20	—0,09
2,10	6,06	4,80	3,65	2,93	2,00	1,29	0,60	0,38	0,19	—0,10
2,15	6,13	4,84	3,68	2,94	2,01	1,28	0,59	0,38	0,18	—0,10
2,20	6,20	4,91	3,70	2,96	2,01	1,28	0,58	0,37	0,17	—0,11
2,25	6,27	4,95	3,72	2,98	2,01	1,27	0,57	0,36	0,16	—0,12
2,30	6,34	4,98	3,75	2,99	2,01	1,27	0,56	0,35	0,15	—0,12
2,35	6,40	5,02	3,77	3,00	2,01	1,26	0,55	0,34	0,14	—0,13
2,40	6,47	5,08	3,79	3,02	2,01	1,25	0,54	0,33	0,13	—0,14
2,45	6,54	5,15	3,81	3,03	2,01	1,25	0,54	0,32	0,13	—0,14
2,50	6,60	5,19	3,83	3,04	2,01	1,24	0,53	0,32	0,12	—0,15
2,55	6,67	5,21	3,85	3,05	2,01	1,23	0,52	0,31	0,11	—0,16
2,60	6,73	5,28	3,87	3,07	2,01	1,23	0,51	0,30	0,10	—0,17
2,65	6,80	5,31	3,89	3,08	2,01	1,22	0,50	0,29	0,09	—0,18
2,70	6,86	5,32	3,91	3,10	2,01	1,21	0,49	0,28	0,08	—0,18
2,75	6,92	5,37	3,93	3,11	2,02	1,21	0,48	0,27	0,07	—0,19
2,80	6,99	5,39	3,95	3,12	2,02	1,20	0,47	0,27	0,06	—0,20
2,85	7,05	5,40	3,97	3,13	2,02	1,20	0,46	0,28	0,05	—0,21
2,90	7,12	5,48	3,99	3,14	2,02	1,19	0,45	0,26	0,04	—0,21

превышения, %

50	60	70	75	80	90	95	97	99	99,9
—0,16	—0,39	—0,62	—0,73	—0,85	—1,13	—1,32	—1,42	—1,59	—1,79
—0,17	—0,40	—0,62	—0,74	—0,85	—1,12	—1,30	—1,40	—1,56	—1,74
—0,18	—0,41	—0,62	—0,74	—0,85	—1,10	—1,28	—1,38	—1,52	—1,68
—0,18	—0,42	—0,62	—0,74	—0,84	—1,09	—1,26	—1,36	—1,48	—1,63
—0,19	—0,42	—0,63	—0,74	—0,84	—1,08	—1,24	—1,33	—1,45	—1,58
—0,20	—0,42	—0,63	—0,74	—0,84	—1,07	—1,22	—1,30	—1,42	—1,53
—0,21	—0,43	—0,63	—0,74	—0,84	—1,06	—1,20	—1,28	—1,38	—1,48
—0,22	—0,44	—0,64	—0,74	—0,84	—1,05	—1,18	—1,26	—1,35	—1,44
—0,22	—0,44	—0,64	—0,73	—0,83	—1,04	—1,17	—1,23	—1,32	—1,39
—0,23	—0,44	—0,64	—0,73	—0,82	—1,03	—1,15	—1,21	—1,29	—1,35
—0,24	—0,45	—0,64	—0,73	—0,82	—1,02	—1,13	—1,19	—1,26	—1,31
—0,24	—0,46	—0,64	—0,73	—0,82	—1,00	—1,12	—1,16	—1,23	—1,28
—0,25	—0,46	—0,64	—0,73	—0,81	—0,99	—1,10	—1,14	—1,20	—1,24
—0,26	—0,46	—0,64	—0,72	—0,81	—0,98	—1,08	—1,12	—1,17	—1,20
—0,27	—0,47	—0,64	—0,72	—0,81	—0,97	—1,06	—1,10	—1,14	—1,17
—0,28	—0,48	—0,64	—0,72	—0,80	—0,96	—1,04	—1,08	—1,12	—1,14
—0,28	—0,48	—0,64	—0,72	—0,80	—0,94	—1,02	—1,06	—1,09	—1,11
—0,28	—0,48	—0,64	—0,72	—0,80	—0,93	—1,00	—1,04	—1,06	—1,08
—0,29	—0,48	—0,64	—0,72	—0,79	—0,92	—0,98	—1,01	—1,04	—1,05
—0,30	—0,48	—0,64	—0,72	—0,78	—0,91	—0,96	—0,99	—1,02	—1,02
—0,31	—0,49	—0,64	—0,71	—0,78	—0,90	—0,95	—0,97	—0,99	—1,00
—0,32	—0,49	—0,64	—0,71	—0,77	—0,89	—0,94	—0,95	—0,96	—0,98
—0,32	—0,49	—0,64	—0,70	—0,76	—0,88	—0,93	—0,93	—0,94	—0,95
—0,32	—0,49	—0,63	—0,70	—0,76	—0,86	—0,92	—0,92	—0,92	—0,93
—0,33	—0,49	—0,63	—0,69	—0,75	—0,85	—0,90	—0,90	—0,90	—0,91
—0,34	—0,49	—0,63	—0,68	—0,74	—0,83	—0,88	—0,88	—0,89	—0,89
—0,34	—0,49	—0,62	—0,68	—0,73	—0,82	—0,86	—0,86	—0,87	—0,87
—0,34	—0,50	—0,62	—0,67	—0,72	—0,81	—0,84	—0,84	—0,85	—0,85
—0,35	—0,50	—0,62	—0,66	—0,71	—0,79	—0,82	—0,82	—0,83	—0,83
—0,36	—0,50	—0,62	—0,66	—0,70	—0,78	—0,80	—0,80	—0,82	—0,82
—0,36	—0,50	—0,61	—0,65	—0,70	—0,77	—0,79	—0,79	—0,80	—0,80
—0,36	—0,50	—0,61	—0,65	—0,69	—0,75	—0,78	—0,78	—0,78	—0,78
—0,37	—0,50	—0,60	—0,64	—0,68	—0,74	—0,76	—0,76	—0,77	—0,77
—0,37	—0,50	—0,60	—0,64	—0,67	—0,73	—0,75	—0,75	—0,75	—0,75
—0,38	—0,50	—0,60	—0,63	—0,67	—0,72	—0,73	—0,73	—0,74	—0,74
—0,38	—0,50	—0,59	—0,63	—0,66	—0,71	—0,72	—0,72	—0,72	—0,73
—0,38	—0,50	—0,59	—0,62	—0,65	—0,70	—0,71	—0,71	—0,71	—0,71
—0,39	—0,50	—0,59	—0,62	—0,64	—0,69	—0,70	—0,70	—0,70	—0,70
—0,39	—0,50	—0,58	—0,61	—0,64	—0,67	—0,68	—0,68	—0,69	—0,69

C_s	Вероятность									
	0,1	0,33	1	2	5	10	20	25	30	40
2,95	7,18	5,53	4,00	3,15	2,02	1,18	0,44	0,25	0,04	—0,22
3,00	7,22	5,55	4,02	3,16	2,02	1,18	0,42	0,25	0,03	—0,23
3,10	7,29	5,55	4,09	3,20	1,97	1,11	0,37	0,17	0,010	—0,23
3,20	7,35	5,60	4,11	3,22	1,96	1,09	0,35	0,15	—0,006	—0,25
3,30	7,44	5,63	4,15	3,23	1,95	1,08	0,33	0,13	—0,022	—0,26
3,40	7,54	5,71	4,18	3,24	1,94	1,06	0,31	0,11	—0,036	—0,27
3,50	7,64	5,78	4,21	3,25	1,93	1,04	0,29	0,08	—0,049	—0,28
3,60	7,72	5,84	4,24	3,26	1,93	1,03	0,28	0,06	—0,072	—0,28
3,70	7,86	5,90	4,26	3,27	1,91	1,01	0,26	0,06	—0,084	—0,29
3,80	7,97	5,96	4,29	3,28	1,90	1,00	0,24	0,03	—0,095	—0,30
3,90	8,08	6,02	4,32	3,29	1,90	0,98	0,23	0,02	—0,11	—0,30
4,00	8,17	6,08	4,34	3,30	1,90	0,96	0,21	0,01	—0,12	—0,31
4,10	8,29	6,13	4,36	3,31	1,89	0,95	0,20	0,00	—0,13	—0,31
4,20	8,38	6,18	4,39	3,32	1,88	0,93	0,19	—0,01	—0,13	—0,31
4,30	8,49	6,22	4,40	3,34	1,87	0,92	0,17	—0,02	—0,14	—0,32
4,40	8,60	6,27	4,42	3,34	1,86	0,91	0,15	—0,03	—0,15	—0,32
4,50	8,69	6,31	4,44	3,35	1,85	0,89	0,14	—0,04	—0,16	—0,32
4,60	8,79	6,33	4,46	3,35	1,84	0,87	0,13	—0,05	—0,18	—0,32
4,70	8,89	6,40	4,49	3,36	1,83	1,85	0,11	—0,06	—0,18	—0,32
4,80	8,96	6,44	4,50	3,37	1,81	0,82	0,10	—0,08	—0,19	—0,32
4,90	9,04	6,48	4,51	3,37	1,80	0,80	0,08	—0,09	—0,19	—0,33
5,00	9,12	6,52	4,54	3,37	1,78	0,78	0,07	—0,10	—0,20	—0,33
5,10	9,20	6,55	4,57	3,37	1,76	0,76	0,05	—0,11	—0,21	—0,33
5,20	9,27	6,58	4,59	3,38	1,74	0,73	0,04	—0,12	—0,21	—0,33

Приложение 7 5

МАТЕРИАЛЫ
к расчету ливневых расходов воды

Таблица 1

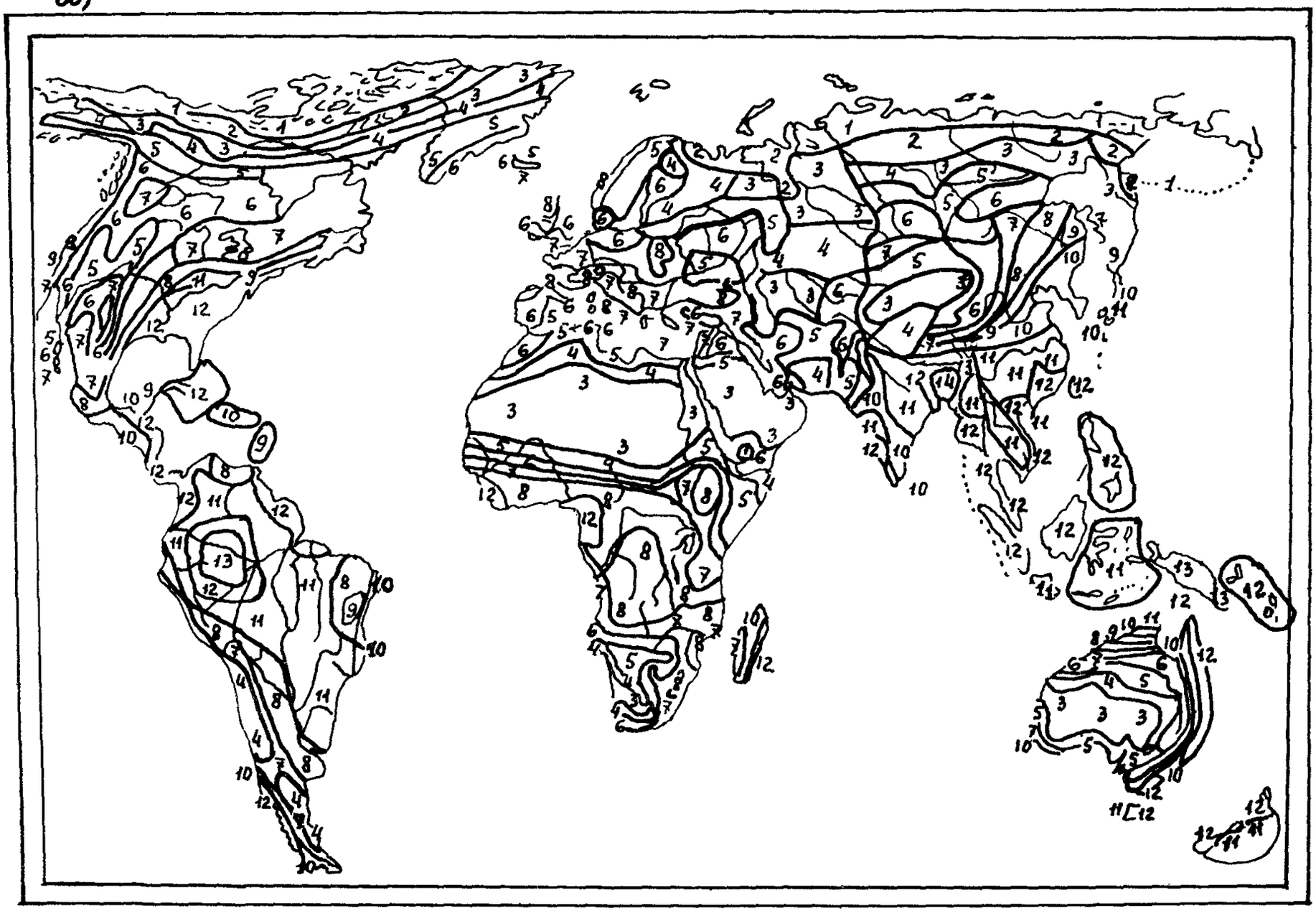
№ районов (см Карту-схему)	Максимальная часовая интенсивность дождя $a_{час}$, мм/мин для вероятностей повышения, %							
	10	5	4	3	2	1	0,3	0,1
1	0,2	0,27	0,29	0,32	0,34	0,4	0,49	0,57
2	0,29	0,36	0,39	0,42	0,45	0,5	0,61	0,75
3	0,29	0,41	0,47	0,52	0,58	0,7	0,95	1,15
4	0,45	0,69	0,64	0,69	0,74	0,9	1,14	1,32
5	0,46	0,62	0,69	0,75	0,82	0,97	1,26	1,48
6	0,49	0,65	0,73	0,81	0,89	1,01	1,46	1,73
7	0,54	0,74	0,82	0,89	0,97	1,15	1,5	1,77
8	0,79	0,98	1,07	1,15	1,24	1,41	1,78	2,07
9	0,81	1,02	1,11	1,20	1,28	1,48	1,83	2,14
10	0,82	1,11	1,23	1,35	1,46	1,74	2,25	2,65
11	1,13	1,40	1,50	1,64	1,79	2,0	2,40	2,7
12	1,60	1,85	1,95	2,06	2,22	2,42	2,72	3,0
13	2,90	3,20	3,35	3,50	3,63	3,86	4,20	4,48
14	3,90	4,27	4,39	4,50	4,70	4,93	5,40	5,70

превышения, %									
50	60	70	75	80	90	95	97	99	99 9
—0,40	—0,50	—0,58	—0,61	—0,63	—0,66	—0,67	—0,67	—0,68	—0,68
—0,40	—0,50	—0,57	—0,60	—0,62	—0,65	—0,66	—0,66	—0,67	—0,67
—0,40	—0,51	—0,58	—0,60	—0,62	—0,64	—0,64	—0,65	—0,65	—0,65
—0,41	—0,51	—0,57	—0,59	—0,61	—0,62	—0,62	—0,62	—0,62	—0,62
—0,41	—0,50	—0,56	—0,58	—0,59	—0,60	—0,61	—0,61	—0,61	—0,61
—0,41	—0,50	—0,55	—0,57	—0,58	—0,59	—0,59	—0,59	—0,59	—0,59
—0,41	—0,50	—0,54	—0,55	—0,56	—0,57	—0,57	—0,57	—0,57	—0,57
—0,42	—0,49	—0,54	—0,54	—0,55	—0,56	—0,56	—0,56	—0,56	—0,56
—0,42	—0,48	—0,52	—0,53	—0,54	—0,54	—0,54	—0,54	—0,54	—0,54
—0,42	—0,48	—0,51	—0,52	—0,52	—0,53	—0,53	—0,53	—0,53	—0,53
—0,41	—0,47	—0,50	—0,51	—0,51	—0,51	—0,51	—0,51	—0,51	—0,51
—0,41	—0,46	—0,49	—0,49	—0,50	—0,50	—0,50	—0,50	—0,50	—0,50
—0,41	—0,46	—0,48	—0,48	—0,49	—0,49	—0,49	—0,49	—0,49	—0,49
—0,41	—0,47	—0,47	—0,47	—0,48	—0,48	—0,48	—0,48	—0,48	—0,48
—0,40	—0,44	—0,46	—0,46	— 0,46	—0,46	—0,46	—0,46	—0,46	—0,46
—0,40	—0,44	—0,45	—0,45	—0,46	—0,46	—0,46	—0,46	—0,46	—0,46
—0,40	—0,43	—0,44	—0,44	—0,44	—0,44	—0,44	—0,44	—0,44	—0,44
—0,40	—0,42	—0,43	—0,43	—0,44	—0,44	—0,44	—0,44	—0,44	—0,44
—0,40	—0,42	—0,42	—0,42	—0,43	—0,43	—0,43	—0,43	—0,43	—0,43
—0,39	—0,41	—0,42	—0,42	—0,42	—0,42	—0,42	—0,42	—0,42	—0,42
—0,39	—0,40	—0,41	—0,41	—0,41	—0,41	—0,41	—0,41	—0,41	—0,41
—0,38	—0,40	—0,40	—0,40	—0,40	—0,40	—0,40	—0,40	—0,40	—0,40
—0,38	—0,39	—0,39	—0,39	—0,39	—0,39	—0,39	—0,39	—0,39	—0,39
—0,37	—0,38	—0,38	—0,38	—0,38	—0,38	—0,38	—0,38	—0,38	—0,38

Таблица 2

F, км²	Коэффициент учета неравномерности распределения осадков k_F для ливневых районов (см. Карту-схему)					
	1—2—3	4—5	6—7	8—9	10—11	12—13—14
20	0,98	1	1	1	1	1
60	0,95	1	1	1	1	1
100	0,90	1	1	1	1	1
1000	0,77	0,95	0,98	0,98	0,98	0,99
10000	0,56	0,74	0,85	0,91	0,93	0,94
60000	0,37	0,46	0,66	0,72	0,82	0,88
100000	0,26	0,34	0,61	0,69	0,78	0,85

a)



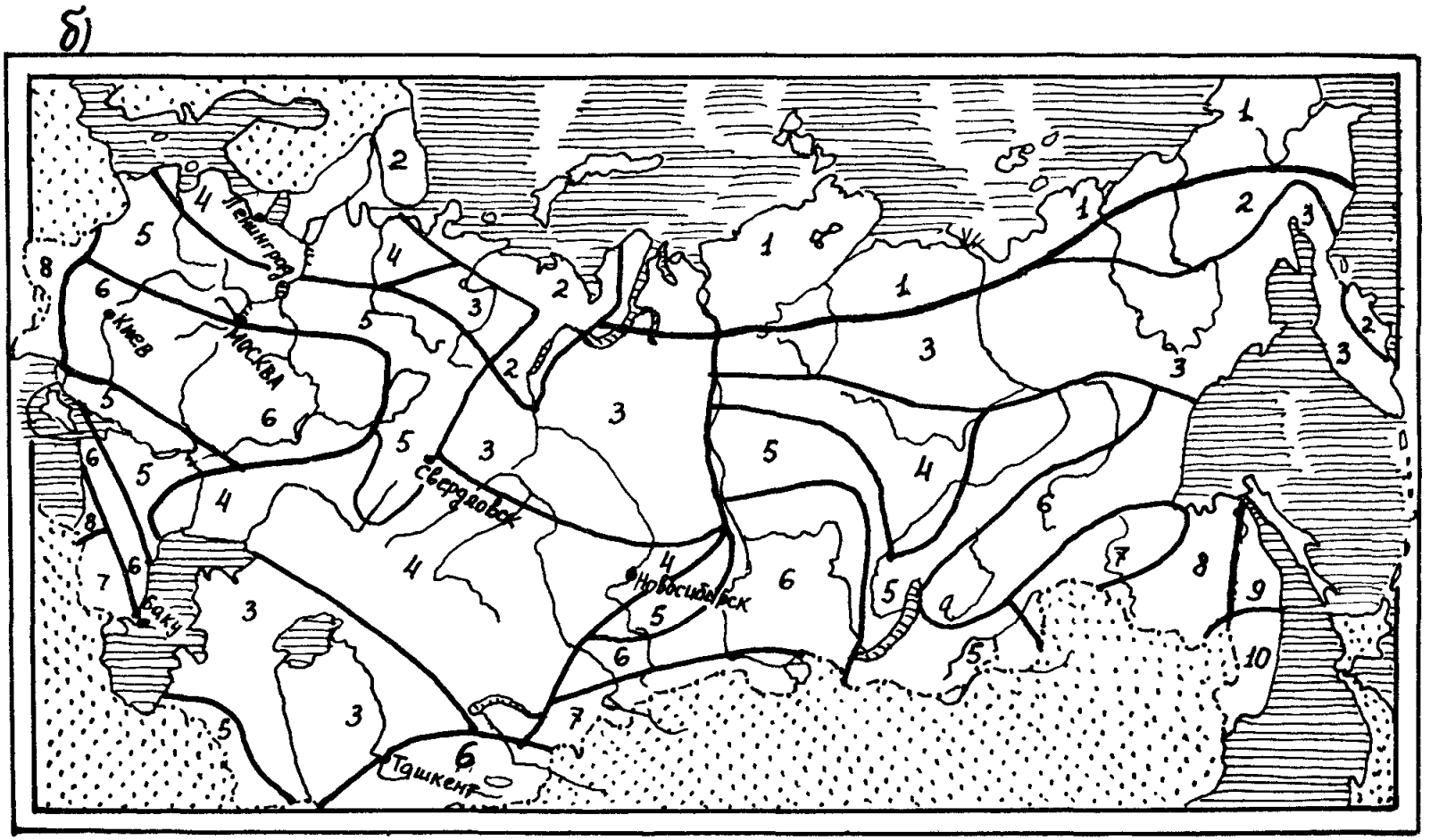


Рис Карта-схема ливневых районов: *а*—земного шара; *б*—СССР (Цифрами показаны номера районов)

Таблица 3

Районы и их номера	Коэффициент склонового стока α_p для вероятностей превышения, %				
	0,33	1	2	3	10
Приморье ДВК, северные районы Вьетнама, Непал. Индонезия, северная Индия, восточный Пакистан, Лаос (№ 12, 13, 14)	1	1—0,9	0,9—0,8	0,8—0,7	0,55—0,45
Хабаровский край, Черноморское побережье Кавказа, восточное Закавказье, ливнеопасные предгорные районы Средней Азии, западный Пакистан (№ 8—10, 11)	1—0,9	0,9—0,8	0,8—0,7	0,7—0,6	0,45
Ливнеопасные районы Карпат, Крыма, Афганистана, Йемена, восточного Ирана и Ирака (№ 7—6)	0,9—0,8	0,8—0,7	0,7—0,6	0,6 —0,5	0,35—0,4
Забайкалье, предгорье Карпат, горные и предгорные районы Среднего Урала, лесостепная зона Европейской части СССР, Монголия (№ 4—5)	0,8—0,7	0,7—0,6	0,6—0,55	0,55—0,5	0,3—0,25
Степная зона Европейской части СССР, Южный Урал, Западная Сибирь (№ 3—4)	0,7—0,65	0,65—0,55	0,55—0,45	0,45—0,4	0,3—0,2
Пустынные и полупустынные районы Средней Азии, Афганистана, Центральной Индии и Центральной Азии; южные районы тундры (№ 1—2)	0,6—0,5	0,5—0,45	0,45—0,35	0,35—0,30	0,25—0,2

Таблица 4

F, км²	Коэффициент редукции часовой интенсивности осадков k_t для ливневых районов СССР (см. Карту-схему)				
	1	2, 3, 4,	5, 6, 7	8, 9, 10	11, 12, 13, 14
10	0,93	0,95	1,00	0,80	0,75
50	0,80	0,65	0,89	0,77	0,70
100	0,70	0,80	0,80	0,75	0,65
300	0,69	0,75	0,70	0,70	0,60
500	0,66	0,70	0,50	0,67	0,52
1000	0,63	0,65	0,60	0,62	0,45
3000	0,60	0,63	0,57	0,51	0,42
5000	0,55	0,60	0,55	0,42	0,40
10000	0,52	0,55	0,45	0,35	0,35
50000	0,50	0,50	0,40	0,30	0,30
100000	0,46	0,42	0,33	0,25	0,27

Приложение 7.6

МАТЕРИАЛЫ
к расчету селевых потоков

Таблица 1

Индекс комплекса	Состав комплексов селеформирующих пород
1	Скальные и полускальные породы, легко размываемые аспидные и глинистые сланцы, песчаники, мергели, мергелистые известняки, аргиллиты
2	Связные глинисто-песчаные породы верхней юры и олигоцен-миоцена, глины, аргиллиты, песчаники с прослоями мергелей и конгломератов
3	Грубообломочные моллассовые отложения со связными и песчаными породами миоплиоцена, конгломераты с прослоями и линзами глин, суглинков и рыхлых песчаников
4	Скальные породы вулканногенно-осадочной формации байоса и среднего эоцена, роговообманковые и альбитовые порфириты из туфа, туфопесчаники, туфобрекчии, лавовые брекчии
5	Высокопрочные породы, кристаллические сланцы, филлиты, анизотропные гнейсы, гранитоиды
6	Высокопрочные скальные породы карбонатной формации мела и верхней юры, брекчированные и доломитизированные известняки, доломиты, песчанистые и мергелистые известняки

Таблица 2

№ категорий	Характер и степень развития эрозионных процессов	Индекс комплекса селеформирующих пород	Удельные коэффициенты селеактивности очагов	
			I—примыкающие к селевым руслам	II—не связанные непосредственно с русловой сетью
1	Мощные эрозионные врезы, заполненные рыхлообломочным материалом Зоны накопления рыхлообломочного материала у границ ледников и снежников Конусы выноса селевых притоков и лавинных лотков Русла и террасы главного тальвега и основных притоков, сложенные мощными отложениями рыхлых материалов, с неустойчивыми склонами, подрезаемыми при проходе высоких вод	1	1,0	0,9
		2	0,95	0,85
		3	0,90	0,80
		4	0,85	0,75
		5	0,80	0,70
		6	0,75	0,65
2	Обнаженные крутопадающие склоны, подверженные интенсивному выветриванию, зоны развития обвалов, камнепадов, оползней и осыпей	1	0,70	0,60
		2	0,65	0,55
		3	0,60	0,50
		4	0,55	0,45
		5	0,50	0,40
		6	0,45	0,35
3	Зоны под пахотой или изреженным лесом и кустарником с выбитой подстилкой, с повреждением коренных пород	1	0,40	0,30
		2	0,35	0,25
		3	0,30	0,20
		4	0,25	0,15
		5	0,20	0,10
4	Зоны под сомкнутым лесом с нормальной подстилкой, но при плохо организованном лесном хозяйстве с возможным образованием карчехода и заломов	—	0,10	0,05
5	Зоны под альпийскими лугами с полноценным дерновым покровом и нормально организованным выпасом скота	—	0,05	0,03
6	Зоны под сомкнутым лесом с полноценной подстилкой и правильно организованным лесным хозяйством	—	0,03	0,01

Таблица 3

I, ‰	Коэффициенты селенасыщенности $k_{S1\%}$ при коэффициентах селеактивности бассейна μ											
	0,01	0,02	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,70	1,00
1000	1,199	0,369	0,511	0,664	0,811	0,865	0,884	0,916	0,928	0,933	0,943	0,950
700	0,170	0,330	0,454	0,616	0,782	0,841	0,871	0,899	0,913	0,921	0,930	0,936
600	0,159	0,312	0,433	0,593	0,764	0,828	0,861	0,891	0,906	0,915	0,925	0,930
500	0,145	0,288	0,404	0,566	0,745	0,813	0,847	0,879	0,896	0,906	0,916	0,923
400	0,128	0,258	0,370	0,529	0,715	0,789	0,826	0,864	0,882	0,892	0,904	0,912
300	0,105	0,220	0,322	0,477	0,670	0,752	0,794	0,837	0,058	0,871	0,885	0,895
200	0,078	0,169	0,255	0,396	0,594	0,685	0,738	0,787	0,819	0,830	0,847	0,860
150	0,062	0,135	0,210	0,338	0,532	0,627	0,682	0,740	0,770	0,783	0,810	0,824
100	0,043	0,111	0,149	0,255	0,434	0,533	0,593	0,660	0,695	0,718	0,743	0,762
70	0,030	0,068	0,106	0,191	0,345	0,440	0,501	0,572	0,623	0,637	0,665	0,688
50	0,021	0,048	0,078	0,140	0,267	0,352	0,410	0,481	0,521	0,548	0,579	0,603
35	0,014	0,033	0,054	0,098	0,196	0,264	0,313	0,377	0,416	0,443	0,474	0,499
20	0,0072	0,017	0,030	0,054	0,112	0,157	0,193	0,241	0,272	0,294	0,322	0,345
10	0,0033	0,0077	0,013	0,024	0,054	0,077	0,096	0,111	0,143	0,154	0,174	0,190
5	0,0014	0,0035	0,006	0,011	0,026	0,038	0,047	0,061	0,071	0,078	0,088	0,096
2	0,0010	0,0013	0,0023	0,0054	0,010	0,014	0,018	0,024	0,028	0,031	0,034	0,038
1	0,0033	0,0006	0,0011	0,0021	0,0047	0,0071	0,0038	0,013	0,014	0,016	0,017	0,018

Таблица 4

I, ‰	Коэффициент относительной устойчивости русла ξ при среднем диаметре отложений, мм											
	10	20	30	50	70	100	150	200	300	500	700	1000
1000										1,00	0,99	0,97
700										0,99	0,97	0,95
600									1,00	0,98	0,96	0,93
500									0,99	0,96	0,94	0,91
400								1,00	0,98	0,94	0,91	0,88
300							1,00	0,98	0,95	0,90	0,86	0,82
200						1,00	0,97	0,94	0,89	0,83	0,78	0,73
150					1,00	0,97	0,93	0,90	0,84	0,77	0,72	0,66
100				1,00	0,96	0,92	0,86	0,82	0,75	0,67	0,61	0,56
70			1,00	0,96	0,91	0,86	0,79	0,74	0,66	0,58	0,52	0,47
50		1,0	0,98	0,90	0,85	0,78	0,71	0,65	0,58	0,49	0,44	0,39
35		0,98	0,92	0,83	0,77	0,70	0,62	0,57	0,50	0,42	0,37	0,32
30	1,00	0,89	0,81	0,71	0,64	0,57	0,49	0,44	0,38	0,31	0,27	0,24
10	0,88	0,74	0,55	0,55	0,48	0,42	0,36	0,32	0,27	0,22	0,19	0,16

ЗНАЧЕНИЯ

функций $f_1(z/h_0)$ и $f_2\left(\frac{z+h_0}{h_0}\right)$

Таблица 1

$\frac{z}{h_0}$	$f_1\left(\frac{z}{h_0}\right)$	$\frac{z}{h_0}$	$f_1\left(\frac{z}{h_0}\right)$	$\frac{z}{h_0}$	$f_1\left(\frac{z}{h_0}\right)$	$\frac{z}{h_0}$	$f_1\left(\frac{z}{h_0}\right)$
0,010	0,0067	0,280	1,3054	0,610	1,8112	0,940	2,2148
0,015	0,1452	0,290	1,3243	0,620	1,8243	0,950	2,2264
0,020	0,2444	0,300	1,3428	0,630	1,8373	0,960	2,2380
0,025	0,3222	0,310	1,3610	0,640	1,8503	0,970	2,2496
0,030	0,3863	0,320	1,3789	0,650	1,8631	0,980	2,2611
0,035	0,4411	0,330	1,3964	0,660	1,8759	0,990	2,2725
0,040	0,4889	0,340	1,4136	0,670	1,8887	1,000	2,2839
0,045	0,5316	0,350	1,4306	0,680	1,9014	1,200	2,5083
0,050	0,5701	0,360	1,4473	0,690	1,9140	1,300	2,6179
0,055	0,6053	0,370	1,4638	0,700	1,9266	1,400	2,7264
0,060	0,6376	0,380	1,4801	0,710	1,9392	1,500	2,8337
0,065	0,6677	0,390	1,4962	0,720	1,9517	1,600	2,9401
0,070	0,6958	0,400	1,5119	0,730	1,9641	1,700	3,0458
0,080	0,7472	0,410	1,5275	0,740	1,9765	1,800	3,1508
0,090	0,7933	0,420	1,5430	0,750	1,9888	1,900	3,2553
0,100	0,8353	0,430	1,5583	0,760	2,0010	2,000	3,3594
0,110	0,8739	0,440	1,5734	0,770	2,0132	2,100	3,4631
0,120	0,9098	0,450	1,5884	0,780	2,0254	2,200	3,5564
0,130	0,9434	0,460	1,6032	0,790	2,0375	2,300	3,6694
0,140	0,9751	0,470	1,6179	0,800	2,0495	2,400	3,7720
0,150	1,0051	0,480	1,6324	0,810	2,0615	2,500	3,8745
0,160	1,0335	0,490	1,6568	0,820	2,0735	2,600	3,9768
0,170	1,0608	0,500	1,6611	0,830	2,0855	2,700	4,0789
0,180	1,0869	0,510	1,6753	0,840	2,0975	2,800	4,1808
0,190	1,1119	0,520	1,6893	0,850	2,1095	2,900	4,2826
0,200	1,1361	0,530	1,7032	0,860	2,1213	3,000	4,3843
0,210	1,1595	0,540	1,7170	0,870	2,1331	3,500	4,8993
0,220	1,1821	0,550	1,7308	0,880	2,1449	4,000	5,3958
0,230	1,2040	0,560	1,7444	0,890	2,1567	4,500	5,8993
0,240	1,2254	0,570	1,7589	0,900	2,1683	5,000	6,4120
0,250	1,2461	0,580	1,7714	0,910	2,1800	5,000	Уровень воды горизонтален
0,260	1,2664	0,590	1,7848	0,920	2,1916		
0,270	1,2861	0,600	1,7980	0,930	2,2032		

Таблица 2

$\frac{z+h_0}{h_0}$	$f_2\left(\frac{z+h_0}{h_0}\right)$	$\frac{z+h_0}{h_0}$	$f_2\left(\frac{z+h_0}{h_0}\right)$	$\frac{z+h_0}{h_0}$	$f_2\left(\frac{z+h_0}{h_0}\right)$	$\frac{z+h_0}{h_0}$	$f_2\left(\frac{z+h}{h_0}\right)$
1,000	—	1,160	0,865	1,370	1,221	1,900	1,850
1,005	—0,102	1,170	0,887	1,380	1,235	1,950	1,904
1,010	+0,074	1,180	0,908	1,390	1,249	2,000	1,957
1,015	0,179	1,190	0,928	1,400	1,262	2,100	2,063
1,020	*0,254*	*1,200*	*0,948*	*1,410*	*1,276*	*2,200*	*2,168*
1,025	0,313	1,210	0,967	1,420	1,289	2,300	2,272
1,030	0,362	1,220	0,985	1,430	1,302	2,400	2,376
1,035	0,403	1,230	1,003	1,440	1,315	2,500	2,478
1,040	0,440	1,240	1,021	1,450	1,328	2,600	2,581
1,045	0,473	1,250	1,038	1,460	1,341	2,700	2,683
1,050	0,502	1,260	1,055	1,470	1,354	2,800	2,785
1,060	0,554	1,270	1,071	1,480	1,367	2,900	2,886
1,070	0,599	1,280	1,087	1,490	1,379	3,000	2,988
1,080	0,639	1,290	1,103	1,500	1,392	3,500	3,492
1,090	0,675	1,300	1,119	1,550	1,453	4,000	3,995
1,100	0,708	1,310	1,134	1,600	1,513	4,500	4,496
1,110	0,738	1,320	1,149	1,650	1,571	5,000	4,997
1,120	0,766	1,330	1,164	1,700	1,628	6,000	5,998
1,130	0,793	1,340	1,178	1,750	1,685	8,000	7,999
1,140	0,818	1,350	1,193	1,800	1,740	10,000	10,000
1,150	0,842	1,360	1,207	1,850	1,795	∞	∞

Приложение 8.2

ПРИМЕР

расчета максимального расхода прорывной волны некапитальной плотины

Трасса дороги пересекает постоянный водоток с площадью водосбора до створа перехода 373 км^2 Выше перехода в 3 км расположена некапитальная плотина длиной $B_п=150$ м с максимальным напором $H_н=4{,}0$ м; объем создаваемого плотиной водохранилища $W_0\approx 0{,}6\times 10^6$, м^3.

Обследованием установлено, что земляная плотина с деревянным водоспуском построена в конце 30-х годов, проект не сохранился, а общее ее состояние неудовлетворительное

На основании данных обследования сделано заключение о возможности прорыва плотины

Расход при прорыве определяем по формуле (8 26), пользуясь данными табл 8 1.

$$Q_п = 150 \cdot 4^{3/2} \cdot 0{,}38 = 455 \text{ м}^3/\text{с}$$

Створ плотины замыкает водосборную площадь $F_{пл}=360$ км^2, для которой вычислены параметры превалирующего максимального ливневого стока $Q_{1\%}=250$ м^3/с и $W_{1\%}=3{,}1\times 10^6$ м^3.

Так как $Q_п > Q_{1\%}$, гидрограф волны прорыва-паводка будет соответствовать изображенному на рис 8 4, *б*

Приращение площади водосбора на участке плотины—переход $\Delta F=373-360=13$ км$^2<0{,}2F$, следовательно участок $l_н=3000$ м будет транзитным (см. п. 8, п. 8,3); на этом участке произойдет распластывание волны прорыва—павод-

ка и уменьшение максимальной ординаты ее гидрографа $Q_п$ Средний уклон в нижнем бьефе плотины $i=1‰$ Расход в створе перехода определим по формуле (8 29) (водохранилище имеет собственный бассейн)

$$Q_{пм}=\frac{(0{,}6\cdot10^6+3{,}1\cdot10^6)\cdot455\cdot1^{0{,}14}}{(0{,}6\cdot10^6+3{,}1\cdot10^6)\cdot1^{0\,14}+1{,}2\cdot455\cdot3000}=314\ м^3/с$$

Величина расчетного для перехода расхода уменьшилась на 30%

Для рассмотренного объекта определим расстояние $l_н$, на котором будет иметь место равенство $Q_п=Q_{р\%}$ По формуле (8 31) для ранее приведенных величин $Q_п$, $Q_{1\%}$, W_0, $W_{1\%}$ и $i‰$ получим

$$l'_н=\frac{(455-250)\cdot(0{,}6\cdot10^6+3{,}1\cdot10^6)\cdot1}{1{,}2\cdot455\cdot250}=5420\ м$$

Следовательно, чтобы снизить расчетный расход до $Q_{пм}=250$ м³/с, трассу перехода пришлось бы сместить вниз по течению водотока на 5420 — 3000 = =2420 м, где проходит примерная граница зоны влияния плотины в ее нижнем бьефе

Приложение 10 1

ПРИМЕР

расчета отверстия и общего размыва под мостом

Исходные данные Створ мостового перехода совпадает с морфоствором (см прил 3 2) Вероятность расчетного расхода 1% Геолого литологический разрез по створу перехода представлен на рис русло сложено галечно-гравийным материалом (считаем однородным) со средним диаметром частиц 25 мм, на левой пойме до отметки 119,0 м—супеси с расчетным сцеплением $C_р=0{,}06\ 10^5$ Па, на правой пойме до отметки 119,0—суглинки с $C_р=0{,}2\ 10^5$ Па

Решение

1 Определяем ширину уширения русла $B_{уш}$ по формуле (14,2) при условии, что $L_м\approx B_{уш}$ При $Q_{1\%}=4650$ м³/с, $Q_р=2550$ м³/с и ширине русла в бытовых условиях $B_р=145$ м (см рис Д прил 3 2) $B_{уш}=145\sqrt{\frac{4650}{2550}}=192$ м

2 Назначаем отверстие моста $L_м=195$ м, причем левую и правую пойменные части ($l_{пл}$ и $l_{пп}$) принимаем пропорционально расходам воды, проходящей по левой и правой поймам в естественных условиях $Q_{пл}/Q_{п\,п}\frac{16\%}{36\%}$ Тогда

$L_м=l_{пл}+B_р+l_{пп}=15$ м $+145$ м $+35$ м

Назначаем срезку грунта на пойменных частях отверстия до отметки 120,0 м (на 0,5 м выше наблюденного в осенний период), на 1,5 м не доходя до подошвы конусов

3 Определяем площадь подмостового сечения до размыва при глубинах потока в русле $H_р=6{,}15$ м, на поймах со срезкой грунта $H_{пл}=H_{пп}=5{,}15$ м и на участках без срезки на левой и правой пойменной части соответственно 2,55 м и 3,15 м

$$\omega_{дм}=1{,}5\cdot2{,}55+13{,}5\cdot5{,}15+145\cdot6{,}15+33{,}5\cdot5{,}15+1{,}5\cdot3{,}15=1140{,}5\ м^2$$

Средняя глубина потока под мостом до размыва $H_{др}\frac{\omega_{дм}}{L_м}\frac{1140{,}5}{195}=5{,}85$ м

(При этом для каждой части отверстия имеем $\omega_{пл}=73{,}3$ м² и $H_{др(пл}=$ $=4{,}9$ м, $\omega_р=890$ м² и $H_{дрр}=6{,}15$ м, $\omega_{пп}=177{,}2$ м² и $H_{др(пп)}=5{,}05$ м)

4 Определяем коэффициент общего размыва подмостового сечения P

При удельном расходе под мостом $q_м\frac{Q}{L_м}=\frac{4650}{195}=23{,}85$ м²/с по графику

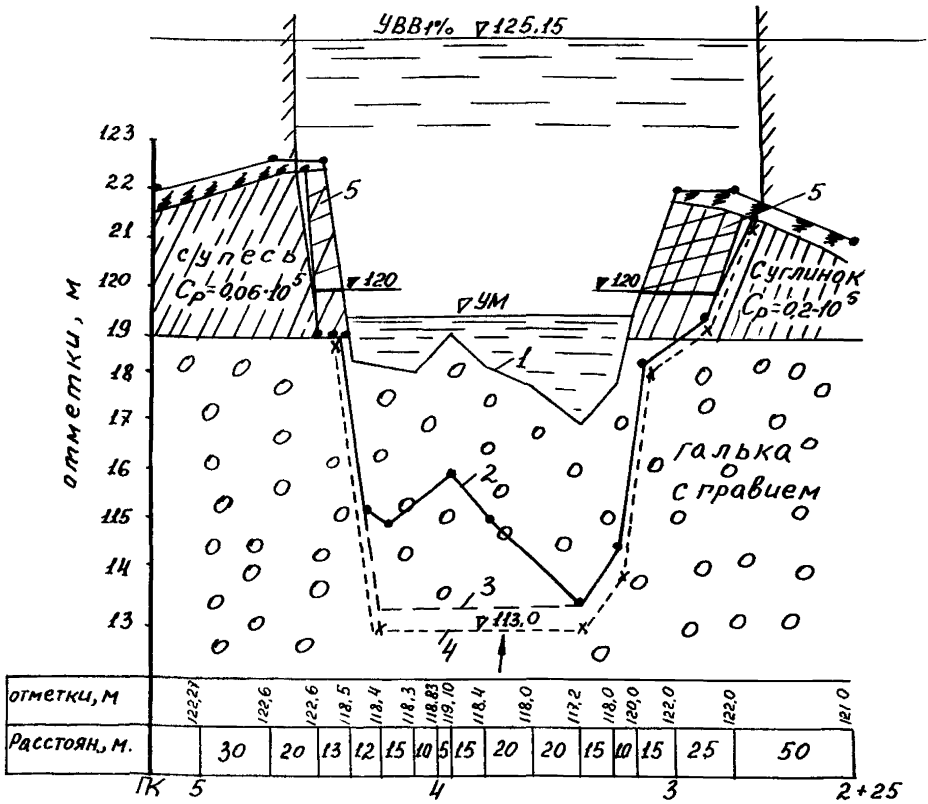


Рис. Расчет линии общего размыва под мостом: *1*—профиль подмостового сечения до размыва; *2*—линия общего размыва без учета руслового процесса; *3*—то же с учетом руслового процесса; *4*—то же с учетом увеличения глубин размыва на 15%; *5*—срезка грунта

(рис. 10 5) для среднего диаметра частиц грунта, подстилающего русло, $d=25$ мм получаем среднюю глубину потока под мостом после размыва $H_{пр} \approx 8{,}8$ м.

$$P = \frac{H_{пр}}{H_{др}} = \frac{8{,}8}{5{,}85} = 1{,}51 < P_{доп}$$

Следовательно, для выбранного отверстия требования норм соблюдены. Возможно при необходимости и сокращение отверстия (Отметим, что при определении $H_{пр}$ пользовались графиком, а не расчетными формулами, поскольку требовалось определение коэффициента P, величина которого не будет входить в последующие расчеты).

Отверстие моста располагается на участке ПК 2+65 — ПК 4+60.

5. Определяем среднюю глубину потока после размыва в русловой части моста $H_{прр}$ в такой последовательности. Предварительно по формуле (10.19) находим коэффициент увеличения расхода воды в естественном русле

$$R_Q = 1 + \frac{890}{1140{,}5}\left(\frac{4650}{2550} - 1\right) = 1{,}64.$$

Расход в русловой части отверстия по формуле (10 17)

$$Q_р = 2550 \cdot 1{,}64 = 4180 \text{ м}^3/\text{с};$$

удельный расход в русловой части отверстия

$$q_м = \frac{Q_р}{B_р} = \frac{4180}{145} = 28{,}8 \text{ м}^2/\text{с};$$

по формуле (10 24) при $\beta = 1$ и $d = 0{,}025$ м

$$H_{прр} = 0{,}93 \left(\frac{28{,}8}{\sqrt{9{,}8} \cdot 0{,}025^{0\,2}} \right)^{0\,77} = 0{,}93 \cdot 9{,}68 = 9{,}0 \text{ м}$$

6 По формуле (10 20) определяем расходы воды, проходящие соответственно по левой и правой пойменным частям отверстия, при $Q - Q_р = 4650 - 4180 = 470$ м^3/с и данных п 3 настоящего примера

$$Q_{пл} = \frac{73\,3 \cdot 4{,}9^{2/3}}{73{,}3 \cdot 4{,}9^{2/3} + 177{,}2 \cdot 5{,}05^{2/3}} 470 = \frac{212}{212+506} 470 = 139 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{пп} = \frac{506}{212+506} 470 = 331 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Удельные расходы соответственно равны

$$q_{пл} = \frac{Q_{пл}}{l_{пл}} = \frac{139}{15} = 9{,}26 \text{ м}^2/\text{с}, \quad q_{пп} = 331/35 = 9{,}45 \text{ м}^2/\text{с}$$

7 Далее по формуле (10 27) рассчитываем глубины потока после размыва для пойменных частей отверстия В формуле принимаем $n = 0{,}034$ (как для русла—см рис Д в прил 3 2), $\varepsilon = 1$, поскольку в русле нет песчаных наносов, $k_t = k_c = 1$, поскольку суглинки талые и незасоленные

При расчетном сцеплении связного грунта $C_р = 0{,}06 \cdot 10^5$ Па на левой пойме

$$H_{пр(л)} = \left(\frac{9{,}26 \cdot 0{,}034}{0{,}033 \cdot \sqrt{0{,}54 + 10^{-4} \cdot 0{,}06 \cdot 10^5}} \right)^{6/7} = 12{,}6 \text{ м}$$

При этой глубине обнажается гравийный материал со средним диаметром частиц $d = 0{,}025$ м (он залегает на обеих поймах с отметки 119,0 м) Поэтому расчет надо вести на нижележащий грунт По формуле (10 24) как для участка, расположенного на ширине уширенного русла

$$H_{пр(л)} = 0{,}93 \left(\frac{9\,26}{0{,}025^{0{,}2} \sqrt{9{,}8}} \right)^{0{,}77} = 3{,}78 \text{ м}$$

При полученной глубине потока отметка дна равна $125{,}15 - 3{,}78 = 121{,}37$ м $> 119{,}0$ м, т е не обнажается гравийный материал (см рис 1) Следовательно, к расчету следует принимать глубину размыва на границе слоев, т е $H_{пр(л)} = 125{,}15 - 119{,}0 = 6{,}15$ м

На правой пойменной части отверстия сверху залегает суглинок с расчетным сцеплением $C_р = 0{,}20 \cdot 10^5$ Па Тогда по формуле (10 27)

$$H_{пр(п)} = \left(\frac{9\,45 \cdot 0{,}034}{0{,}033 \cdot \sqrt{0{,}054 + 10^{-4} \cdot 0{,}2 \cdot 10^5}} \right)^{6/7} = 5{,}63 \text{ м}.$$

При этом отметка дна равна $125{,}15 - 5{,}63 = 119{,}52$ м, что меньше 119,0—отметки, с которой залегает гравий Следовательно, полученную глубину $H_{пр(п)} = 5{,}63$ м принимаем к расчету

8 Рассчитываем глубины потока на h_t на характерных вертикалях подмостового сечения Для русловой и правой пойменной части расчет по формуле (10 22) приведен в табл

Таблица 1

Часть подмостового сечения	Средняя глубина потока до размыва части сечения $H_{др}$, м	Отношение средних глубин потока на части сечения $H_{пр}/H_{др}$	Характеристика вертикали			Результаты расчета	
			ПК +	Расположение	Глубина потока до размыва $h_{др}$, м	$h_{пр}h_{др}\left(\frac{H_{пр}}{H_{др}}\right)$, м	отметка дна после общего размыва, м
Правая пойменная часть	5,05	1,115	2+65	подошва правого конуса	3,15	3,53	121,62
			2+87	правая пойменная часть со срезкой до отм. 120,0 м	5,15	5,75	119,40
Русловая	6,15	1,46	3+15	откос русла	5,15	7,53	118,62
			3+25	то же	7,15	10,47	114,68
			3+40	наинизшая отметка дна в русле	7,95	11,62	113,53
			3+80	русло	6,75	9,86	115,29
			3+95	гребень побочня	6,05	8,83	116,32
			4+25	подошва откоса русла	6,85	10,0	115,15

Для левой пойменной части, где в процессе размыва вскрывается нижележащий грунт, расчет будем вести непосредственно по формулам (10 24), (10.26) или (10 27) с учетом изменения удельного расхода по (10.21).

Поскольку при расчете средней глубины потока после размыва на левой пойме $H_{пр(л)}$ обнажился нижележащий слой, то тем более на участке срезки грунтов (до отметки 119,0 м, т. е. при бытовой глубине потока $h_{др}=125{,}15-119{,}0=5{,}15$ м) произойдет это явление. Поэтому глубину потока на этих вертикалях будем определять по формуле (10 24) при $q=9{,}26\left(\frac{5{,}15}{4{,}9}\right)^{1{,}25}=9{,}85$ м²/с

$$h_{пр(л)}=0{,}93\left(\frac{9{,}85}{\sqrt{9{,}8}\cdot 0{,}025^{0{,}2}}\right)^{0{,}77}=3{,}97\text{ м}<6{,}15\text{ м}.$$

Поэтому к расчету принимаем на участке срезки на левой пойменной части отверстия $h_{пр(л)}=6{,}15$ м.

На этой части отверстия у подошвы конуса (без срезки) глубина потока до размыва 2,55 м (отметки дна поймы—122,60 м).

По формуле (10 21) при $y=1{,}17$ (для связных грунтов) удельный расход на рассматриваемой вертикали

$$q=9{,}26\left(\frac{2{,}55}{4{,}9}\right)^{1{,}17}=4{,}30\text{ м}^2/\text{с}.$$

По формуле (10.27)

$$h_{пр(л)}=\left(\frac{4{,}3\cdot 0{,}034}{0{,}033\sqrt{0{,}054+10^{-4}\cdot 0{,}06\cdot 10^5}}\right)^{6/7}=5{,}48^{6/7}+4{,}32\text{ м},$$

а отметка дна у подошвы левого конуса $125{,}15-4{,}32=120{,}83$ м $>119{,}0$ м.

9 Результаты расчета нанесены на профиль подмостового сечения (см. рис 4). Полученная линия общего размыва не учитывает естественный русловой процесс Подмостовое сечение размыва ассимметричное с пониженными отметками у правого берега и выступающим гребнем какого-то руслового образования у левого Поскольку русло на прямом участке, такое сечение характерно для побочневого русла В то же время по внешним признакам (ниже по течению) и количественным показателям русловой процесс ближе к свободному и незавершенному меандрированию Для учета руслового процесса сделано пред ложение, что вертикаль с наибольшей глубиной может перемещаться по всему сечению русла *

Следующий этап—увеличение глубин общего размыва на 15% При этом следует иметь в виду, что в левой части русла увеличение глубин общего размыва на 15% надо отсчитывать от наинизшей отметки дна в русле до размыва

В качестве примера учтем фактор времени при расчете общего размыва в русловой части моста Проведен расчет по формуле (10 33) в предположении, что имеется причина, вызывающая дефицит поступления наносов к подмостовому сечению

Предварительно определяем

1) По графику (рис 10 2) при глубине потока $H_{др}=6{,}15$ м и крупности грунта $d=0{,}025$ м неразмывающую скорость $v_0=2{,}25$ м/с.

2) По рис Д прил 3 2 получаем среднюю скорость потока на ширине всей длины $v_б \approx 1{,}0$ м/с

По тому же рисунку находим ширину широкой $B_{пб}=1040$ м и узкой $B_{пм}=350$ м пойм, а по формуле (10 64) расчетную ширину разлива

$$L_{разл}=1040\left(1+\frac{195}{1040+350}\right)=1185 \text{ м}.$$

По формуле (10 70) при уклоне нестесненного водного потока в паводок $\iota=0{,}00081$ определяем параметр а

$$a=1{,}15\left(\frac{4650}{2550}\right)^{2/3}-0{,}8\cdot\frac{4650}{2550}\cdot\frac{1{,}0}{\sqrt{9{,}8\cdot 1185\cdot 0{,}00081}}=1{,}72-0{,}48=1{,}24$$

По формуле (10 69)

$$X_0=1{,}24\cdot 1{,}0\sqrt{\frac{1185}{9{,}8\cdot 0{,}00081}}=478 \text{ м}$$

и по формуле (10 37)—длину распространения размыва в русле

$$L_р=0{,}67\cdot X_0=0{,}67\cdot 478=321 \text{ м}$$

3) При удельном расходе в русловой части моста $q_{рм}=28{,}8$ м²/с скорость потока в этой части до размыва

$$v_{рдр}=\frac{28{,}8}{6{,}15}=4{,}68 \text{ м/с}$$

Тогда по формуле (10 36) параметр твердого расхода

$$\alpha_м=\left(\frac{0{,}025}{6{,}15}\right)^{2/3}\cdot\left(\frac{4{,}68}{2{,}25}\right)^3\cdot(4{,}68-1{,}4\cdot 2{,}25)=0{,}344$$

4) По табл. 10 9 параметры $\varphi=10^4$ и

$$A=L_р(2B_{уш}+B_р)=321\cdot(2\cdot 192+145)=170\cdot 10^3$$

Подставляя полученные значения параметров и характеристик потока в формулу (10 33), получим (при времени прохода паводка Т=15 суток)

* Для более полной оценки руслового процесса в районе перехода не хватает ситуационной схемы (хотя для створа перехода на линии А—Б он вполне достаточен)

$$H_{пр}=6{,}15\,(1+10^4\cdot 0{,}344\cdot 2\cdot 15\cdot 195/(170\cdot 10^3)^{6/25}=6{,}15(1+11{,}8)^{6/25}=$$
$$=6{,}15\cdot 3{,}15=19{,}4\text{ м}.$$

По формуле (10.26) определяем предельную глубину потока при заданной крупности грунта $d=0{,}025$ м.

$$H_{пр}=\frac{0{,}9}{0{,}025^{0{,}2}}\left(\frac{28{,}8}{\sqrt{9{,}8}}\right)^{0{,}8}\approx 11\text{ м}.$$

Поскольку предельная глубина оказалась меньше полученной по формуле (10.33), то к расчету следует принимать $H_{пр}=11$ м. Это значит, что для установления в русле предельной глубины потока (соответствующей неразмывающей скорости) требуется меньше 15 суток.

Учет фактора времени эффективности при мелких несвязных и связных грунтах.

Приложение 10.2

ПРИМЕРЫ

расчета местного размыва у промежуточной опоры моста

Исходные данные получены после расчета общего размыва (см. прил. 10.1). Опора расположена в русле, размеры ее показаны на рис. Характеристики потока следующие: глубина $H=12{,}15$ м, скорость $v=3{,}42$ м/с. Грунт—однородный со средним диаметром частиц $d=0{,}025$ м. Русло незарегулированное (свободное поступление наносов к подмостовому сечению).

Пример 1.

Дополнительные данные: низ ростверка поднят над дном после общего размыва $e=4{,}5$ м; косина набегания потока на опору $\alpha=15°$.

Решение.

1. По графику (рис. 10.2) определяем неразмывающую скорость для грунта, в котором будет проходить местный размыв, $v_0=2{,}75$ м/с$<v$. Поэтому расчет местного размыва ведем согласно п. 2а в п. 10 5 по формуле (10.40). Для расчета по этой формуле требуется определить гидравлическую крупность (по графику—рис. 10.1) $\omega=0{,}54$ м/с и параметр $F(b)$, характеризующий влияние формы и размеров опоры на глубину местного размыва.

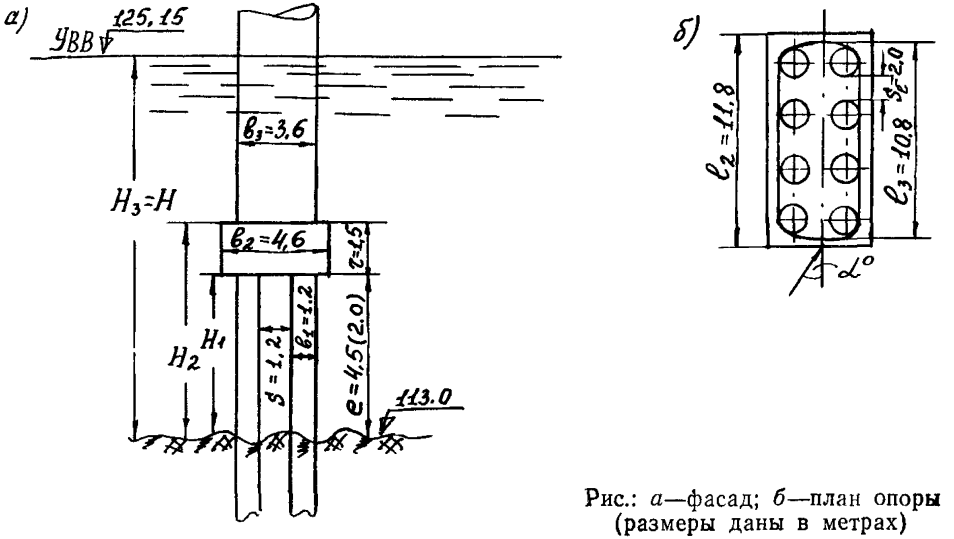


Рис.: *а*—фасад; *б*—план опоры (размеры даны в метрах)

2 Определяем параметр $F(b)$ для свайного основания

1) Поскольку $\alpha<20°$, то расчетным является ряд по фасаду опоры (см п 9 в п 10 5) с двумя сваями Коэффициент формы свайного ряда определим по формуле (10 55)

$$M_1=M_{2c}-0{,}56\left(\frac{12{,}15\cdot 3{,}42}{1{,}2\cdot\sqrt{9{,}8\cdot 0{,}025}}\right)^{1/4}=1{,}61$$

Получено $1<M_1<1{,}75$, поэтому к расчету принимаем $M_1=1{,}61$.

2) Для свайного ряда косина потока определяет только расчетный ряд, а коэффициент косины $K_1=1$

3) Весовой коэффициент первого элемента, которым является свайное основание, определяем по формуле (ниже зависимости 10,53) при $A_1=1$ и $\varphi={}^1/_3$, так как $\frac{H_1}{H}=\frac{e}{H}=\frac{4{,}5}{12{,}15}>0{,}3$

$$f_1=\left(\frac{4{,}5}{12{,}15}\right)^{1/3}=0{,}718$$

Тогда $F(b_1)=b_1^{0,6}\cdot M_1K_1f_1=1{,}2^{0,6}\cdot 1{,}61\cdot 1\cdot 0{,}718=1{,}29$.

3 Определяем параметр $F(b)$ для ростверка

1) Коэффициент формы прямоугольного ростверка по табл 10 12 $M_2=1{,}24$.

2) Для определения коэффициента косины предварительно с учетом рис. 10 10 определяем приведенную ширину ростверка

$$b_\alpha=l_2\,\mathrm{Sin}\,\alpha+b_2\,\mathrm{Cos}\,\alpha=11{,}8\cdot\mathrm{Sin}\,15°+4{,}6\cdot\mathrm{Cos}\,15°=3{,}06+4{,}46=7{,}52\ \text{м}$$

По рис 10 9 при $\frac{b_\alpha}{b_2}=\frac{7{,}52}{4{,}6}=1{,}63$ и $M_2=1{,}24$ получаем $K_2\approx 1{,}12$

3) Верх ростверка находится на глубине (от дна)

$$H_2=e+t=4{,}5+1{,}5=6{,}0\ \text{м}\quad H_2/H=\frac{6{,}0}{12{,}15}=0{,}495$$

Тогда $A_2=1$ и $\varphi={}^1/_3$. По формуле (10 53)

$$f_2=(0{,}495)^{1/3}-f_1=0{,}792-0{,}718=0{,}074.$$

$$F(b_2)=4{,}6^{0,6}\cdot 1{,}24\cdot 1{,}12\cdot 0{,}074=0{,}257.$$

4 Определяем $F(b)$ для тела опоры (без подробных объяснений)

По табл 10 12 для овальной формы $M_3=0{,}85$,

$$b_\alpha=(l_3-b_3)\cdot\mathrm{Sin}\,15°+b_3=(10{,}8-3{,}6)\cdot 0{,}259+3{,}6=5{,}46\ \text{м};$$

$$b_\alpha/b_3=\frac{5{,}46}{3{,}6}=1{,}52\rightarrow K_3=1{,}3;$$

$$H_3/H=1\rightarrow f_3=1-(0{,}495)^{1/3}=1-0{,}792=0{,}208;$$

$$F(b_3)=3{,}6^{0,6}\cdot 0{,}85\cdot 1{,}3\cdot 0{,}208=0{,}496.$$

5 По формуле (10 40)

$$h=0{,}77\cdot 12{,}15^{0,4}\left[\frac{3\,42}{(9{,}8\cdot 0{,}54\cdot 12{,}15)^{1/3}}\right]^{1/2}\cdot(1{,}29+0{,}257+0{,}496)=3{,}96\ \text{м}.$$

Пример 2.

Дополнительные данные косина набегания потока на опору $\alpha=22°$ (вместо $\alpha=15°$, как в примере 1)

Решение

1 Определяем параметр $F(b_1)$ для свайного основания При $\alpha>20°$ в качестве расчетного надо принимать ряд вдоль продольной оси опоры, который имеет $n=4$ сваи

По формуле (10.55) находим коэффициент увеличения размыва у двух свай, расположенных на расстоянии друг от друга в свету $S_1=S=2{,}0$ м

$$M_{2c}=0{,}56\cdot\left(\frac{12{,}15\cdot 3{,}42}{2\cdot\sqrt{9{,}8\cdot 0{,}025}}\right)^{1/4}=1{,}42.$$

Определяем коэффициент увеличения размыва из 4-х свай по сравнению с размывом у двух свай (см. формулу после 10.55)

$$M_{nc}=\frac{4{,}4}{10{,}8}(4-1)=1{,}22.$$

По формуле (10.54) $M_1=1{,}42\cdot 1{,}22=1{,}73$. Проверяем правильность получения коэффициента формы свайного ряда: $1{,}1\cdot n^{2/3}=2{,}77>1{,}73$. Поэтому к расчету принимаем $M_1=1{,}73$. Из примера 1 получено $f_1=0{,}718$

$$F\ (b_1)=1{,}2^{0{,}6}\cdot 1{,}73\cdot 1\cdot 0{,}718=1{,}385.$$

2. Определяем $F\ (b_2)$ и $F\ (b_3)$ аналогично, как в примере 1, отличаться количественно будут только коэффициенты косины:

$$b_{a2}=11{,}8\cdot \mathrm{Sin}\ 22^\circ+4{,}6\cdot \mathrm{Cos}\ 22^\circ=4{,}42+4{,}27=8{,}69\ \text{м};$$

$$b_{a2}/b_2=\frac{8{,}69}{4{,}6}=1{,}89\rightarrow \text{по рис. 10.9 } K_2=1{,}28;$$

$$b_{a3}=(10{,}8-3{,}6)\cdot 0{,}375+3{,}6=6{,}3\ \text{м};$$

$$b_{a3}/b_3=\frac{6{,}3}{3{,}6}=1{,}75\rightarrow \text{по рис. 10.9 } K_3=1{,}5.$$

С учетом полученных коэффициентов косины и результатов расчета в примере 1 имеем:

$$F\ (b_2)=4{,}6^{0{,}6}\cdot 1{,}24\cdot 1{,}28\cdot 0{,}074=0{,}294;$$

$$F\ (b_3)=3{,}6^{0{,}6}\cdot 0{,}85\cdot 1{,}5\cdot 0{,}208=0{,}572.$$

3 По формуле (10.40)

$$h=0{,}77\cdot 12{,}15^{0{,}4}\left[\frac{3{,}42}{(9{,}8\cdot 0{,}54\cdot 12{,}15)^{1/3}}\right]^{1/2}\cdot(1{,}385+0{,}294+0{,}572)=4{,}37\ \text{м}.$$

Пример 3.

Дополнительные данные: кроме данных примера 2, низ ростверка поднят над отметкой дна после общего размыва на $e=2$ м

Решение.

Особенность заключается в том, что $e<0{,}3\cdot H=3{,}64$ м. Поэтому расчет глубины размыва следует вести по формуле (10.58).

1. Определяем глубину размыва у рассматриваемой опоры h_e, если бы низ плиты ростверка находился над дном на расстоянии $e=0{,}3\cdot H=3{,}64$ м. В этом случае задача сводится к нахождению новых значений (по сравнению с примером 2) весовых коэффициентов:

$$H_1/H=0{,}3H/H=0{,}3\rightarrow f_1=(0{,}3)^{1/3}=0{,}67;$$

$$H_2=0{,}3\cdot H+r=3{,}64+1{,}5=5{,}14\ \text{м};\ H_2/H=0{,}423;$$

$$f_2=(0{,}423)^{1/3}-f_1=0{,}75-0{,}67=0{,}08;$$

$$f_3=1-0{,}75=0{,}25.$$

Соответственно:

$$F\ (b_1)=1{,}2^{0{,}6}\cdot 1{,}73\cdot 1\cdot 0{,}67=1{,}292;$$

$$F\ (b_2)=4{,}6^{0{,}6}\cdot 1{,}24\cdot 1{,}28\cdot 0{,}08=0{,}318;$$

$$F\ (b_3)=3{,}6^{0{,}6}\cdot 0{,}85\cdot 1{,}5\cdot 0{,}25=0{,}687.$$

По формуле (10 40)

$$h_e = 0{,}77 \cdot 12{,}15^{0{,}4}\left[\frac{3{,}42}{(9{,}8 \cdot 0{,}54 \cdot 12{,}15)^{1/3}}\right]^{1/2} \cdot (1{,}292 + 0{,}318 + 0{,}687) = 4{,}44 \text{ м}.$$

2 Определяем глубину размыва у рассматриваемой опоры $h_м$, если бы вместо свайного основания был фундамент с плановыми размерами ростверка

В этом случае $F\ (b_1) = 0$—свайного основания нет, а для фундамента и тела опоры надо найти новые значения весовых коэффициентов:

$$H_2/H = 2/12{,}15 = 0{,}165 < 0{,}3 \rightarrow A_2 = 2{,}23 \quad \text{и} \quad \varphi_2 = 1,$$

$$f_2 = 2{,}23 \cdot 0{,}165 = 0{,}367, \quad f_3 = 1 - 0{,}367 = 0{,}637.$$

Соответственно

$$F\ (b_2) = 4{,}6^{0{,}6} \cdot 1{,}24 \cdot 1{,}28 \cdot 0{,}367 = 1{,}46,$$

$$F\ (b_3) = 3{,}6^{0{,}6} \cdot 0{,}85 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}637 = 1{,}75.$$

По формуле (10 40)

$$h_м = 0{,}77 \cdot 12{,}15^{0{,}4}\left[\frac{3{,}42}{(9\,8 \cdot 0{,}54 \cdot 12{,}15)^{1\,3}}\right]^{1/2} (0 + 1{,}46 + 1{,}75) = 6{,}2 \text{ м}.$$

3 По формуле (10.58)

$$h = 4{,}44 + (6{,}2 - 4{,}44)\left(\frac{3\,64 - 2{,}0}{6{,}2 + 3{,}64}\right)^{3/4} = 4{,}44 + 0{,}46 = 4{,}90 \text{ м}$$

Пример 4.

Дополнительные данные данные примера 1, но скорость потока $v = 2{,}0$ м/с, т е $v < v_0$

1 Глубину размыва определяем по формуле (10 41). Задача сводится (в дополнение к расчетам в примере 1) к нахождению начальной скорости $v_н$, а также корректировке коэффициента формы свайного основания, поскольку $M_1 = f\ (v)$

2 Определяем по формуле (10 55)

$$M_1 = 0{,}56\left(\frac{12{,}15 \cdot 2{,}0}{1{,}2 \cdot \sqrt{9{,}8 \cdot 0{,}025}}\right)^{1/4} = 1{,}41$$

Тогда $F\ (b_1) = 1{,}2^{0{,}6} \cdot 1{,}41 \cdot 1 \cdot 0{,}718 = 1{,}128$

3 Для определения начальной скорости $v_н$ предварительно по формуле (10 52) найдем расчетную ширину опоры

$$b = (1{,}2^{0{,}6} \cdot 0{,}718 + 4{,}6^{0{,}6} \cdot 0{,}074 + 3{,}6^{0{,}6} \cdot 0{,}208)^{5/3} = 1{,}433^{5/3} = 1{,}82 \text{ м}.$$

4 По формуле (10 51)

$$\mu = \frac{0{,}95 + 0{,}5 \cdot 12{,}15/1{,}82}{0{,}4 + 12{,}15/1{,}82} = 0{,}607.$$

По формуле (10 50) при $v_0 = 2{,}75$ м/с

$$v_н = 2{,}75\left(\frac{0{,}025}{1{,}82}\right)^{1/8} \cdot 0{,}607 = 0{,}97 \text{ м/с}.$$

5 По формуле (10 41)

$$h = 0{,}77 \cdot 12{,}15^{0{,}4}\left[\frac{2{,}75}{(9{,}8 \cdot 0{,}54 \cdot 12{,}15)^{1/3}}\right]^{1/2}\left(\frac{2 - 0{,}97}{2{,}75 - 0{,}97}\right)^{3/4} \times$$

$$\times (1{,}128 + 0{,}257 + 0{,}496) = 2{,}16 \text{ м}$$

ПРИМЕР

расчета водопропускной способности пойменных мостов

Исходные данные. Пойменный мост отверстием $L_{мпр1}=40$ м (сооружение № 1) расположен на левобережном пойменном подходе общей длиной $B_{пб}=6$ км на расстоянии $B_г=2{,}5$ км от главного русла (см рис 11,1)

Водоток шириной $B_{пр}=35$ м и средней глубиной при расчетном паводке $H_{прб}=5{,}0$ м, заросший, с коэффициентом шероховатости $n_{пр}=0{,}04$, коэффициент извилистости $\gamma_{из}=1{,}6$, по руслу идут песчаные наносы Дно водотока сложено суглинком с расчетным сцеплением $C_р=0{,}16\cdot10^5$ Па

На левой пойме на расстоянии от главного русла $l_2=0{,}5$ км расположен водоток, который в паводок заведомо пропускает расход воды менее 1% расхода главного русла

Левобережная пойма широкая (по сравнению с правой) Приведенный коэффициент шероховатости между водотоком и руслом $n_{пг}=0{,}05$ на остальной части $n_{пп}=0{,}08$ Пойма вся пересыпана подходом Правая пойма узкая $B_{пм}=1{,}5$ км, также вся пересыпана подходом

Главное русло шириной 800 м, со средней глубиной в паводок 10 м, пропускает $Q_{г.р}=11{,}5$ тыс м^3/с, коэффициент шероховатости $n_р=0{,}025$, коэффициент извилистости $\gamma_{из}=1{,}1$, сложено несвязным грунтом, паводки продолжительные $\alpha_р=0{,}5$ Через главное русло запроектирован мост отверстием $L_м=900$ м Уклон свободной поверхности реки в паводок $i=0{,}00006$ Полный расход реки $Q=16{,}5$ тыс м^3/с

Определить водопропускную способность пойменных мостов на левой пойме (на рис 11 1 соответственно сооруж № 1 и 2)

Расчет сооружения № 1. Расчет проводим в предположении, что сооружение № 1 пропускает $Q_{пр1}>0{,}01Q$

Назначаем глубину потока под пойменным мостом после размыва $H_{пр\,п/р}=7$ м По графику (рис 10 4) для $C_р=0{,}16\cdot10^5$ Па и $H=7$ м находим неразмывающую скорость $v_0=1{,}90$ м/с График составлен для коэффициента шероховатости $n=0{,}03$ и $\varepsilon=1{,}0$ Русло водотока имеет шероховатость $n_{пр}=0{,}04$ и для нестесненного потока фактическая неразмывающая скорость $v_0\frac{0{,}03}{n_{пр}}$ Под мостом русло будет расчищено и коэффициент шероховатости можно принять $n_{пр}=0{,}03$ Поэтому фактическая неразмывающая скорость под пойменным мостом с учетом движения по руслу песчаных наносов ($\varepsilon=1{,}16$) $v_0=\frac{1{,}90}{1{,}16}=$ $=1{,}64$ м/с

Поскольку $v_{пр}=v_0$, задаем $Q_{пр}=v_{пр}L_{мпр}H_{пр\,п/р}=1{,}64\cdot40\cdot7=458$ м^3/см

Расход под мостом через главное русло (расходом, проходящим через пойменное сооружение № 2, пренебрегаем) равен $Q_м=Q-Q_{пр}=16500-458=$ $=16042$ м^3/с

Расчетная глубина потока в главном русле с учетом рекомендаций п 8 а в п 11 2 равна

$$H_{расч}=H_р\left[1+\left(\left(\frac{Q_м}{Q_{гр}}\right)-1\right)\alpha_р\right]=10\left[1+\left(\left(\frac{16042}{11500}\right)^{0{,}77}-1\right)\cdot0{,}5\right]=10{,}90\text{ м}$$

По формуле (10 65)

$$v_м=\frac{16042}{900\cdot10{,}90}=1{,}64\text{ м/с}$$

Определяем по формуле (11 11) фиктивную ширину поймы $B_ф$

Предварительно по формуле (11 13) находим ширину участка, примыкающего к пойменному сооружению $\left(y=2\,\frac{0{,}025}{0{,}05}=1\right)$,

$$B_{\text{ппр}}=40+\left(1+\sqrt{\frac{0{,}04}{0{,}08}}\right)\cdot 2500\cdot\left(\frac{458}{16042}\right)=40+122\approx 162\text{ м}.$$

Поскольку на левой широкой пойме одно сооружение, пропускающее расход более 0,01 Q, то $B_{\text{ф}}=6000-162=5838$ м.

Расстояние от вертикали с перепадом уровней у насыпи z_{01}, по которому определяют водопропускную способность пойменного сооружения № 1, до главного русла равно с учетом формулы (11.8)

$$l_1=B_{\text{г}}-B_{\text{пг}}=2500\left(1-\frac{458}{16042}\right)=2425\text{ м}.$$

Вычисляем максимальный подпор $z_{\max}$ по формуле (10.62).

Предварительно определяем по формуле (10.64) расчетную ширину разлива:

$$L_{\text{разл}}=5838\left(1+\frac{900}{5838+1500}\right)=6550\text{ м}$$

и по формуле (10.62)

$$\beta=2\cdot 9{,}8\cdot\frac{0{,}025^2\cdot 1{,}1}{10^{4/3}}6550=4{,}1;$$

по графику (рис. 10.12) $\zeta=4{,}1$

$$z_{\max}=4{,}1\frac{1{,}64^2}{2\cdot 9{,}8}=0{,}56\text{ м}.$$

По графику (рис. 10.13) получаем при $l_1/B_{\text{ф}}=\frac{2425}{5838}=0{,}415$ и $z_{01}/z_{\max}=$ $=0{,}87$. Откуда $z_{01}=0{,}87\cdot 0{,}56=0{,}49$ м.

Определяем скорость потока под пойменным мостом по формуле (11.7).

Предварительно для пойменного сооружения находим: ширину примыкающей поймы (без отверстия моста)

$B_{\text{ппр1}}-L_{\text{мпр1}}=162-40=122$ м (принимаем $L_{\text{разл}}=B_{\text{ппр1}}$);

по формуле (10.62)

$$\beta=2\cdot 9{,}8\cdot\frac{1{,}6\cdot 0{,}04^2}{6^{4/3}}\cdot 122=0{,}653<1{,}75,\text{ поэтому }\zeta=1{,}77\text{ (см. формулу 10.67)}.$$

По формуле (11.7) $v_{\text{пр1}}=\sqrt{2\cdot 9{,}8\cdot 0{,}49/1{,}77}=2{,}31$ м/с, больше принятой скорости потока под пойменным мостом $v_{\text{пр1}}=1{,}64$ м/с. Поэтому следует задать бо́льшую глубину размыва $H_{\text{прп/р}}=10$ м, при которой $v_0=v_{\text{пр}}=1{,}73$ м/с и $Q_{\text{пр}}=1{,}73\cdot 40\cdot 10=692$ м^3/с

Расчеты показали, что при этих условиях перепад для пойменного моста снизился незначительно ($z_{01}=0{,}46$) м, так же как и скорость под мостом $v_{\text{пр1}}=$ $=\sqrt{\frac{2\cdot 9{,}8\cdot 0{,}46}{1{,}77}}=2{,}26$ м/с$>1{,}73$ м/с

Во второй итерации, несмотря на принятую значительную глубину потока, под пойменным мостом после общего размыва, она оказалась недостаточной. Следовательно, необходимо для моста с размываемым руслом увеличивать отверстие.

Ниже приводятся результаты расчета (без пояснений, так как они проведены по аналогии с первой итерацией) для отверстия

$$L_{\text{мпр}}=100\text{ м и }H_{\text{грп/р}}=10\text{ м},\ v_{\text{пр}}=v_0=1{,}83\text{ м/с}.$$

$$Q_{\text{пр1}}=1{,}73\cdot 100\cdot 10=1730\text{ м}^3/\text{с};\ Q_{\text{м}}=14770\text{ м}^3/\text{с}.$$

$$H_{\text{расч}}=10\cdot\left(1+\left(\left(\frac{14770}{11560}\right)^{0{,}7}-1\right)\cdot 0{,}5\right)=11{,}1\text{ м};$$

$$v_м = \frac{14770}{900 \cdot 11{,}1} = 1{,}48 \text{ м/с};$$

$$B_{пр} = 35 + \left(1 + \sqrt{\frac{0{,}04}{0{,}08}}\right) \cdot 2500 \cdot \left(\frac{1730}{14770}\right) = 535 \text{ м};$$

$$l_1 = 2500 \cdot \left(1 - \frac{1730}{14770}\right) = 2210 \text{ м}; \quad B_ф = 6000 - 535 = 5465 \text{ м};$$

$$L_{разл} = 5465 \cdot \left(1 + \frac{900}{5465 + 1500}\right) = 6160 \text{ м};$$

$$\beta_м = \frac{2 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}025^2 \cdot 1{,}1}{10^{4/3}} \cdot 6160 = 3{,}85.$$

По графику (рис. 10.12) $\zeta_м = 4{,}0$,

$$z_{max} = 4 \cdot \frac{1{,}46^2}{2 \cdot 9{,}8} = 0{,}435 \text{ м}, \quad l_1/B_ф = \frac{2210}{5465} = 0{,}405,$$

$$z_{01}/z_{max} = 0{,}85, \quad z_{01} = 0{,}85 \cdot 0{,}435 = 0{,}37 \text{ м};$$

$$\Sigma l_{пр} = 535 - 35 = 500 \text{ м}, \quad \beta_{пр} = 2 \cdot 9{,}8 \cdot \frac{0{,}04^2 \cdot 1{,}6}{6^{4/3}} \cdot 500 = 2{,}3,$$

$$\zeta_{пр1} = 2{,}5, \quad v_{пр1} = \sqrt{\frac{2{,}98 \cdot 0{,}37}{2{,}5}} = 1{,}7 \text{ м/с} \approx v_0,$$

поэтому отверстие подобрано. Фактический расход в отверстии пойменного моста $Q_{пр1} = 1{,}70 \cdot 100 \cdot 10 = 1700$ м³/с.

Здесь следует обратить внимание, что получено большое отверстие, да к тому с коэффициентом размыва более двух. Поэтому наиболее приемлемым решением в конкретном случае является устройство моста $L_{пр} = 40$ м, как было принято первоначально, но с неразмываемым руслом.

Для этого отверстия определим водопропускную способность. Более подробно такой расчет производят подбором. Здесь для простоты воспользуемся данными произведенных ранее расчетов и определим $Q_{пр}$ без подбора как для водотока с малым расходом согласно п. 5 в п. 11.2.

Имеем $z_{max} = 0{,}56$ м, $l_1/B_ф = \frac{2500}{6000} = 0{,}417$, по графику (рис. 10.13):

$$z_{01}/z_{max} = 0{,}87 \text{ и } z_{01} = 0{,}56 \cdot 0{,}87 = 0{,}50 \text{ м}.$$

По формуле (11.7) при $\zeta = 1{,}77$

$$v_{пр1} = \sqrt{2 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}50/1{,}77} = 2{,}32 \text{ м/с}.$$

$$Q_{пр1} = 2{,}32 \cdot 40 \cdot 6{,}0 = 556 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расчет сооружения № 2.

Расчет водопропускной способности сооружения № 2 проводим согласно рекомендации п 5 в п. 11.2, как для случая 1 а (см. п. 11.2).

Случай $L_{мпр1} = 100$ м.

Из приведенных расчетов сооружения № 1 имеем: $z_{max} = 0{,}435$ м, $B_ф = 5465$ м.

При $l_2 = 500$ м $\quad l_2/B_ф = \frac{500}{5465} = 0{,}092.$

По графику (рис 10 13) при $l_2/B_ф = 0{,}092$ $\quad \frac{z_{02}}{z_{max}} = 0{,}45$

и $z_{02} = 0{,}45 \cdot 0{,}435 = 0{,}195$ м.

По формуле (11 7) скорость потока под пойменным мостом (при $\zeta = 1{,}77$ см. п 5 в п 11 2)

$$v_{пр2} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}195}{1{,}77}} = 1{,}47 \text{ м/с}$$

При известной площади живого сечения под мостом по формуле (11 6) можно определить расход воды $Q_{пр2}$, проходящий через пойменное сооружение

Случай $L_{мпр1} = 40$ *м*

Из расчетов сооружения № 1 известно $z_{max} = 0{,}56$ м При $l_2 = 500$ м и $B_ф = B_{пб} = 6000$ м и $l_2/B_ф = 0{,}083$

По графику (рис 10 13) $z_{02}/z_{max} = 0{,}44$,

$$z_{02} = 0{,}44 \cdot 0{,}56 = 0{,}246 \text{ м}$$

По формуле (11 7) скорость потока под пойменным мостом

$$v_{пр2} = \sqrt{2 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}246/1{,}77} = 1{,}65 \text{ м/с}$$

От величины отверстия сооружений № 1 зависит подпор у насыпи на подходах Так, при $L_{мпр1} = 100$ м для главного русла параметр $\beta_м = 3{,}85$ Тогда по графику (рис 10 12) $\eta = 2{,}6$ и максимальный подпор у насыпи на левой пойме (при $v_м = 1{,}48$ м/с) по формуле (10 60)

$$\Delta h_{max} = 2{,}6 \cdot \frac{1\,48^2}{2 \cdot 9{,}8} = 0\,29 \text{ м}$$

При $L_{мпр1} = 40$ м $\Delta h_{max} = 0{,}37$ м

С учетом общей длины подходов (в примере 7,5 км) снижение отметки пойменной насыпи на 8 см может привести к существенному уменьшению объемов земляных работ Поэтому при принятии проектного решения необходимо комплексно рассматривать все пойменные сооружения

Приложение 12 1

ПРИМЕР

определения расчетных скоростей ветра по срочным наблюдениям на гидрометеостанции

Определяется расчетная скорость ветра для мостового перехода через большую реку Пик паводка на рассматриваемой реке по данным водпоста за период наблюдений приходится на период с 21 апреля по 13 июня Для расчета взяты имеющиеся данные за полные три месяца из непрерывного статистического 25-летнего ряда срочных наблюдений за ветром по флюгеру на высоте 10 м на ближайшей гидрометеостанции, расположенной в местности типа В за период 1966—1990 гг

Полученные в результате обработки статистического ряда повторяемости градаций ветра по скоростям и направлениям за каждый из трех паводочных месяцев приведены в табл 1 Повторяемости градаций скоростей ветра всех направлений за период апрель—июнь в целом (как среднеарифметическое) приведены в табл 2

Для ее построения из табл 1 суммируют повторяемости за три месяца по одним и тем же скоростям и направлениям и полученную сумму делят на 3 Например, первая левая цифра в табл 2 получена как $\frac{3{,}1+4{,}1+4{,}2}{3} = 3{,}8$

Скорость ветра v_{zl} нормативной обеспеченности на каждом румбе определяют по режимным функциям (рис), для построения которых составляют табл 3 В ней по повторяемости P каждой градации (в каждом румбе определяется из табл 2) рассчитана обеспеченность F градации путем последовательного суммирования повторяемостей от больших скоростей ветра к меньшим

Таблица 1

Градации скорости ветра, м/с	Повторяемость градаций ветра, в %, по направлениям (румбам)								Итого, %
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
Апрель									
0—1	3,1	2,3	2,6	2,8	3,8	2,9	3,5	3,1	
2—5	7,0	5,7	6,4	7,3	8,6	5,5	6,7	7,1	
6—9	1,8	1,4	2,5	3,0	3,0	1,7	2,6	2,4	
10—13	0,2	0,2	0,4	0,3	0,5	0,3	0,1	0,4	
14—17	0,04	0,04	0,2	0,04	0,2	0,1	0,1	0,04	
18—20	—	—	—	—	0,04	—	—	—	
Всего по одному направлению	12,14	9,64	12,1	13,44	16,14	10,5	13,0	13,04	100
Май									
0—1	4,1	3,0	3,7	2,9	3,5	1,6	2,7	3,5	
2—5	8,2	7,3	8,0	6,6	7,1	5,4	6,6	8,3	
6—9	2,3	1,9	2,0	1,3	2,1	1,1	1,9	3,1	
10—13	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,11	0,5	
14—17	0,1	—	—	—	0,03	—	0,03	0,1	
18—20	—	—	—	—	—	—	0,03	—	
Всего по одному направлению	14,9	12,3	13,8	11,0	12,93	8,2	11,37	15,5	100
Июнь									
0—1	4,2	2,8	3,5	2,9	3,1	3,0	3,5	4,8	
2—5	10,9	6,5	5,8	5,0	5,9	5,0	7,9	12,0	
6—9	1,8	0,74	1,0	1,2	1,5	0,7	1,8	3,3	
10—13	0,1	0,04	0,1	0,1	0,04	0,1	0,1	0,3	
14—17	—	—	—	—	0,04	0,04	0,1	0,1	
18—20	—	—	—	—	—	—	—	—	
Всего по одному направлению	17,0	10,08	10,4	9,2	10,58	8,84	13,4	20,5	100

Таблица 2

Градации скорости ветра, м/с	Средняя за три месяца повторяемость градации ветра, в %, по направлениям (румбам)								Итого
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	ЗС	
0—1	3,8	2,7	3,27	2,87	3,47	2,5	3,23	3,8	25,64
2—5	8,7	6,5	6,73	6,3	7,2	5,3	7,07	9,14	56,94
6—9	1,97	1,33	1,83	1,83	2,2	1,17	2,10	2,93	15,36
10—13	0,17	0,11	0,20	0,20	0,25	0,17	0,13	0,37	1,6
14—17	0,05	0,1	0,07	0,01	0,09	0,05	0,08	0,08	0,44
18—20	—	—	—	—	0,01	—	0,01	—	0,22
Всего	14,69	10,65	12,1	11,21	18,22	9,19	12,62	16,32	100,0

Таблица 3

Градации скорости ветра, м/с	С		СВ		В		ЮВ	
	P, %	*F*, %	*P*, %	*F*, %	*P*, %	*F*, %	*P*, %	*F*, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0—1	25,87	100,0	25,36	100,0	27,03	100,0	25,60	100,0
2—5	59,22	74,13	61,03	74,64	55,62	72,97	56,20	74,40
6—9	13,41	14,91	12,49	13,61	15,12	17,35	16,33	18,20
10—13	1,16	1,50	1,03	1,12	1,65	2,23	1,78	1,87
14—17	0,34	0,34	0,09	0,09	0,58	0,58	0,09	0,09
18 и более	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл 3

Градации скорости ветра, м/с	Ю		ЮЗ		З		СЗ	
	P, %	*F*, %	*P*, %	*F*, %	*P*, %	*F*, %	*P*, %	*F*, %
1	10	11	12	13	14	15	16	17
0—1	26,25	100,0	27,20	100,0	25,60	100,0	23,28	100,0
2—5	54,46	73,75	57,67	72,80	56,02	74,40	56,01	76,72
6—9	16,64	19,29	12,73	15,13	16,64	18,38	17,95	20,71
10—13	1,89	2,65	1,85	2,40	1,03	1,74	2,27	2,76
14—17	0,68	0,76	0,55	0,55	0,63	0,71	0,49	0,49
18 и более	0,08	0,08	—	—	0,08	0,08	—	—

Данные в табл 3 получены следующим образом. Приведенные в табл 2 суммы повторяемости всех градаций ветра по одному направлению (например, для С сумма равна 14,69%) принимают за 100% и соответственно увеличивают повторяемости рассматриваемых градаций (для С в 1/0,1469 раз). Так, из столбца С табл. 2 повторяемость 0,05 градации 14—17 м/с переносится в соответствующую графу табл 3 равной $0,05 \cdot 1/0,1469 = 0,34$, для градации 10—13 м/с—$0,17 \cdot 1/0,1469 = 1,16$ и т д По значениям F и градациям скорости строятся для каждого румба режимные функции (рис). При построении режимной функции на графике откладывают для соответствующего F минимальное значение скорости в градации.

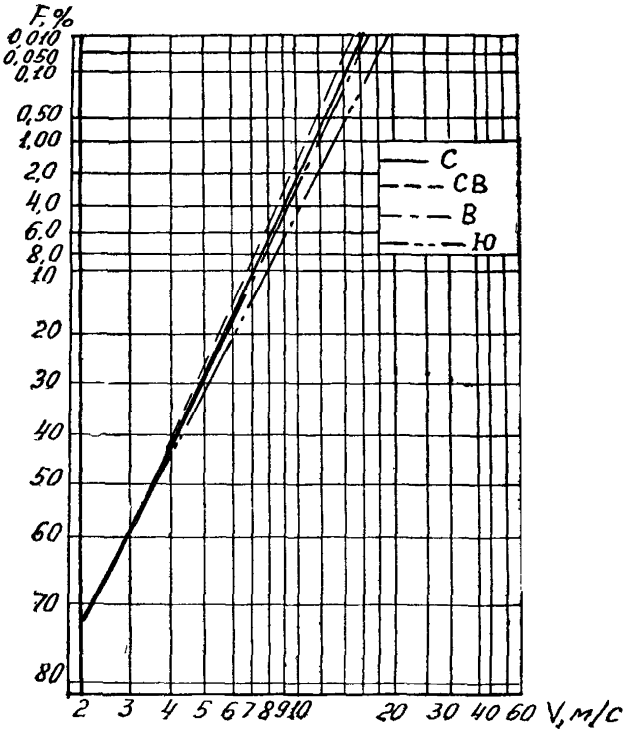


Рис Режимные функции скорости ветра (апрель—июнь 1968—1990 г)

Для определения скорости v_{zl} заданной обеспеченности $i\%$ определяют для каждого румба значение обеспеченности по формуле

$$F_{1/i}=4{,}17\,\frac{t}{Nn_tP_W}$$

где t—продолжительность шторма, для речных пойм принимают $t=6$ ч; N—число дней наблюдений в году за паводочный период; n_t—нормативная повторяемость в годах; P_W—повторяемость ветра рассматриваемого румба в долях единицы от ветра по всем румбам

В рассматриваемом примере принимаем число суток за полные месяцы апрель—июнь ($N=91$ день); нормативная повторяемость равна один раз в 25 лет ($n_t=25$ лет); доля повторяемости ветра по каждому румбу от ветра по всем румбам подсчитана в табл. 2 (см последнюю строчку).

Результаты расчета $F_{1/i}$ по каждому румбу приведены в табл. 4. В качестве примера определим значение $F_{1/i}=F_{25}$ для направления С

$$F_{25}=4{,}17\cdot\frac{6}{91\cdot25\cdot0{,}1469}=0{,}0749$$

На каждом румбе расчетные обеспеченности ветра F_{25}, определенные по ним по режимным функциям (рис.) скорости v_{zl}, коэффициенты k_z, k_{fl}, k_l и скорости ветра v_W (по формуле 12.2) приведены в табл 4.

Таблица 4

Направление ветра (румб)	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
F_{25}	0,0749	0,1033	0,0908	0,0981	0,0832	0,1197	0,0872	0,0674
v_{zl}, м/с	14,5	13,0	14,5	14,5	17,0	14,5	16,0	16,0
k_z	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
k_{fl}	0,985	1,021	0,985	0,985	0,94	0,985	0,956	0,956
k_l	1,226	1,148	1,112	1,058	1,256	1,056	1,17	1,234
v_W, м/с	17,5	14,9	15,9	15,1	20,1	15,1	17,8	18,9

Приложение 12.2

ПАРАМЕТРЫ

волн 1% обеспеченности в системе шторма и наката на откосы сооружений

Разгон волны L, км	Скорость ветра v_W, м/с	Средняя глубина акватории d, м	Параметры волн			Накат волны $h_{run1\%}$, м, на откос, укрепленный бетонными плитами при заложении m		
			высота $h_{1\%}$, м	средняя длина $\bar{\lambda}$, м	период T, сек.	2	3	10
0,1	5	1	0,1	0,6	0,6	0,1	0,1	0,0
	8	1	0,1	0,9	0,8	0,2	0,1	0,0
	10	1	0,1	1,0	0,8	0,2	0,1	0,0
	15	1	0,2	1,4	1,0	0,4	0,3	0,1
	20	1	0,2	1,7	1,0	0,6	0,4	0,1
	25	1	0,3	1,9	1,1	0,7	0,5	0,2
	30	1	0,4	2,4	1,2	0,9	0,6	0,2
0,2	5	1	0,1	0,8	0,7	0,2	0,1	0,0
	8	1	0,1	1,3	0,9	0,3	0,2	0,1
	10	1	0,2	1,6	1,0	0,3	0,2	0,1
	15	1	0,3	2,6	1,3	0,8	0,5	0,2
	20	1	0,3	2,7	1,3	0,9	0,6	0,2
	25	1	0,4	3,2	1,4	1,0	0,8	0,3
	30	1	0,5	3,6	1,5	1,3	0,9	0,3
0,4	5	1	0,1	1,4	0,9	0,2	0,2	0,1
	8	1	0,2	1,9	1,1	0,4	0,3	0,1
	10	1	0,2	2,4	1,2	0,5	0,3	0,1
	15	1	0,4	3,4	1,5	0,9	0,6	0,2
	20	1	0,5	4,2	1,6	1,3	0,9	0,3
	25	1	0,6	5,2	1,8	1,6	1,1	0,4
	30	1	0,7	5,5	1,9	1,9	1,3	0,5
0,8	5	1	0,2	1,9	1,1	0,3	0,2	0,1
	8	1	0,3	3,0	1,4	0,5	0,3	0,1
	10	1	0,3	3,3	1,5	0,6	0,4	0,1
	15	1	0,3	3,3	1,4	0,7	0,5	0,2

Продолжение таблицы

Разгон волны L, км	Скорость ветра v_W, м/с	Средняя глубина акватории d, м	Параметры волн			Накат волны $h_{run1\%}$, м, на откос, укрепленный бетонными плитами при заложении m		
			высота $h_{1\%}$, м	средняя длина $\overline{\lambda}$, м	период T, сек.	2	3	10
		2	0,5	5,0	1,8	1,1	0,7	0,2
	20	1	0,4	3,4	1,5	0,9	0,6	0,2
		2	0,6	6,6	2,0	1,5	1,0	0,4
		3	0,7	6,6	2,0	1,7	1,2	0,4
	25	1	0,4	3,3	1,5	1,0	0,7	0,2
		2	0,7	6,8	2,1	1,7	1,2	0,4
		3	0,9	7,6	2,2	2,0	1,4	0,5
	30	1	0,5	3,6	1,5	1,1	0,8	0,3
		2	0,8	6,8	2,1	1,9	1,3	0,5
		3	1,0	9,2	2,4	2,4	1,6	0,6
		4	1,1	9,2	2,4	2,8	1,7	1,4
1,5	5	1	0,2	2,5	1,3	0,4	0,3	0,1
	8	1	0,3	3,3	1,5	0,6	0,4	0,1
	10	1	0,3	3,3	1,5	0,5	0,4	0,1
		2	0,4	5,2	1,8	0,8	0,5	0,2
	15	1	0,4	3,3	1,4	0,7	0,5	0,2
		2	0,6	6,6	2,1	1,3	0,9	0,3
		3	0,7	6,9	2,1	1,5	1,0	0,3
	20	1	0,4	3,4	1,5	0,9	0,6	0,2
		2	0,7	6,7	2,1	1,7	1,2	0,4
		3	0,9	9,3	2,4	2,1	1,4	0,5
		4	1,0	9,3	2,4	2,2	1,6	0,5
	25	1	0,4	3,3	1,5	1,0	0,7	0,3
		2	0,7	6,8	2,1	1,7	1,2	0,4
		3	1,0	9,9	2,5	2,5	1,7	0,6
		4	1,1	11,4	2,7	2,7	1,9	0,7
		5	1,2	11,4	2,7	2,8	1,9	0,7
	30	1	0,5	3,6	1,5	1,1	0,8	0,3
		2	0,8	6,8	2,1	1,9	1,3	0,5
		3	1,0	10,1	2,5	2,5	1,8	0,6
		4	1,3	13,0	2,9	3,1	2,2	0,8
		5	1,4	13,2	2,9	3,3	2,3	0,8
2,0	5	1	0,2	3,2	1,4	0,4	0,3	0,1
		2	0,3	3,8	1,6	0,6	0,4	0,1
	8	1	0,3	3,3	1,5	0,6	0,4	0,1
		2	0,4	5,9	1,9	0,8	0,6	0,2
		3	0,5	5,9	1,9	0,9	0,6	0,2
	10	1	0,3	3,3	1,5	0,5	0,4	0,1
		2	0,5	7,0	2,1	0,9	0,6	0,2
		3	0,6	7,5	2,2	1,1	0,7	0,2

Разгон волны L, км	Скорость ветра v_W, м/с	Средняя глубина аквато-рии d, м	Параметры волн			Накат волны $h_{run1\%}$, м, на откос, укрепленный бетонными плитами при заложении m		
			высота $h_{1\%}$, м	средняя длина $\overline{\lambda}$, м	период T, сек.	2	3	10
	15	1	0,4	3,3	1,4	0,8	0,5	0,2
		2	0,6	6,6	2,1	0,9	0,7	0,3
		3	0,9	9,9	2,5	1,9	1,3	0,4
		4	0,9	11,1	2,7	2,2	1,4	0,5
	20	1	0,4	3,4	1,5	0,9	0,6	0,2
		2	0,7	6,7	2,1	1,7	1,2	0,4
		3	0,9	10,4	2,6	2,2	1,5	0,5
		4	1,2	12,8	2,9	2,8	1,9	0,7
		5	1,3	12,8	2,9	3,0	2,1	0,7
	25	1	0,4	3,3	1,5	1,1	0,7	0,3
		2	0,7	6,8	2,1	1,7	1,2	0,4
		3	1,0	9,9	2,5	2,5	1,7	0,6
		4	1,3	14,1	2,0	3,1	2,2	0,8
		5	1,5	16,8	3,3	3,6	2,5	0,9
		6	1,6	16,8	3,3	3,8	2,7	1,0
	30	1	0,5	3,6	1,5	1,1	0,8	0,3
		2	0 8	6,8	2,1	1,9	1,3	0,5
		3	1,1	10,1	2,5	2,6	1,8	0,6
		4	1,4	13,0	2,9	3,3	2,3	0,8
		5	1,7	17,3	3,3	4,1	2,8	1,0
		6	1,8	19,4	3,5	4,3	3,0	1,1
		7	1,9	19,4	3,5	4,5	3,1	1,1
		8	2,0	19,4	3,5	4,6	3,2	1,1
		9	2,0	19,4	3,5	4,7	3,3	1,2
3,0	5	1	0,2	3,2	1,4	0,4	0,3	0,1
		2	0,4	4,7	1,7	0,7	0,4	0,1
		3	0,4	4,7	1,7	0,7	0,4	0,1
	8	1	0,3	3,3	1,4	0,6	0,4	0,1
		2	0,5	7,1	2,1	0,9	0,6	0,2
		3	0,6	9,1	2,1	1,2	0,8	0,2
		4	0,7	9,5	2,5	1,3	0,9	0,3
	10	1	0,3	3,3	1,4	0,5	0,4	0,1
		2	0,5	7,9	2,1	0,9	0,6	0,2
		3	0,7	10,8	2,6	1,2	0,8	0,2
		4	0,8	11,3	2,7	1,5	1,0	0,3
	15	1	0,4	3,3	1,4	0,8	0,5	0,2
		2	0,6	6,6	2,1	1,3	0,8	0,3
		3	0,9	9,9	2,5	1,9	1,3	0,4
		4	1,1	13,6	3,0	2,4	1,6	0,6
		5	1,3	17,4	3,3	2,7	1,8	0,6
		6	1,3	17,4	3,3	2,8	1,9	0,6

Разгон волны L, км	Скорость ветра v_W, м/с	Средняя глубина аквато-рии d, м	Параметры волн			Накат волны $h_{run1\%}$, м, на откос, укрепленный бетонными плитами при заложении m		
			высота $h_{1\%}$, м	средняя длина $\bar{\lambda}$, м	период T, сек.	2	3	10
	20	1	0,4	3,4	1,5	0,9	0,6	0,2
		2	0,7	6,7	2,1	1,7	1,1	0,4
		3	0,9	10,4	2,6	2,2	1,5	0,6
		4	1,2	13,2	2,9	2,8	1,9	0,7
		5	1,5	16,4	3,2	3,6	2,4	0,9
		6	1,7	19,9	3,6	4,2	2,9	1,0
		7	1,7	22,4	3,8	4,2	2,9	1,0
		8	1,8	22,4	3,8	4,4	3,0	1,1
		9	1,9	22,4	3,8	4,5	3,1	1,1
	25	1	0,4	3,4	1,5	1,0	0,7	0,3
		2	0,7	6,8	2,1	1,7	1,2	0,4
		3	1,1	9,9	2,5	2,5	1,7	0,6
		4	1,3	14,0	3,0	3,2	2,2	0,8
		5	1,5	16,9	3,3	3,6	2,5	0,9
		6	1,8	19,7	3,6	4,2	2,9	1,0
		7	2,1	23,0	3,8	5,0	3,4	1,2
		8	2,3	36,3	4,1	5,5	3,8	1,4
		9	2,4	28,9	4,3	5,7	4,0	1,4
	30	1	0,5	3,6	1,5	1,1	0,8	0,3
		2	0,8	6,8	2,1	1,9	1,3	0,5
		3	1,1	10,1	2,5	2,6	1,8	0,6
		4	1,4	13,0	2,9	3,3	2,3	0,8
		5	1,7	17,2	3,3	4,1	2,8	1,0
		6	2,0	21,7	3,7	4,6	3,2	1,1
		7	2,2	24,0	3,9	5,1	3,5	1,2
		8	2,4	26,5	4,1	5,6	3,9	1,4
		9	2,8	29,7	4,4	6,6	4,5	1,6

Примечания:

1. Для получения волны $h_{5\%}$ (для расчета мощности укрепления) табличные значения умножают на 0,85.

2. Если укрепление производится не бетонными плитами, то накат волны на откос (графы 7, 8, 9) принимают с коэффициентами: 0,90—мощение камнем и укрепление дерновкой; 0,4—каменная наброска (при коэффициенте заложения откоса $m>5$ коэффициент равен 0,5).

ПРИМЕР

расчета параметров волн с учетом изменения глубины потока по длине разгона

Исходные данные. Расчетная скорость ветра $v_W=20$ м/с; длина разгона разбита на два участка: первый длиной $L_1=2{,}5$ км и глубиной потока в конце участка $d_1=3{,}5$ м; второй—с $L_2=1{,}2$ км и глубиной потока у насыпи $d_2=2{,}5$ м.

Требуется определить параметры волн у основания насыпи.

Р е ш е н и е.

Вначале определим параметры волн на первом участке согласно п 5 в п. 12 3.

По безразмерным характеристикам

$$\frac{gL_1}{v_W^2}=\frac{9{,}8\cdot 2500}{20^2}=64 \quad \text{и} \quad \frac{gd_1}{v_W^2}=\frac{9{,}8\cdot 3{,}5}{20^2}=0{,}086$$

с графика (рис. 12.3) снимаем безразмерное среднее значение высоты волны $\frac{g\bar{h}_1}{v_W^2}=0{,}0104$. Откуда средняя высота волны $\bar{h}_1=0{,}0104\cdot 20^2/9{,}8=0{,}43$ м.

Находим условную безразмерную глубину потока на втором участке

$$\frac{gd_2}{v_W^2}=\frac{9{,}8\cdot 2{,}5}{20^2}=0{,}0625.$$

Находим дополнительный разгон по графику (рис. 12.3)

при $\frac{g\bar{h}_1}{v_W^2}=0{,}0104$ равный $g\Delta l/v_W^2=120$.

Находим безразмерный разгон на втором участке

$$gl_2/v_W^2=\frac{9{,}8\cdot 1200}{20^2}=30$$

Находим суммарный безразмерный разгон (с учетом условного разгона)

$$g\Delta l/v_W^2+\frac{gl_2}{v_W^2}=120+30=150.$$

По gd_2/v_W^2 и суммарному безразмерному разгону по графику (рис 12 3) находим $g\bar{h}_2/v_W^2=0{,}0102$ и $\bar{h}_2=0{,}0102\cdot\frac{v_W^2}{g}=0{,}42$ м.

Если бы $d_2=1{,}5$ м, то условный безразмерный разгон по графику найти нельзя, так как на глубине 1,5 м не при каком разгоне в конкретных условиях (при $v_W=20$ м/с) высота волны $\bar{h}=0{,}43$ м сформироваться не может.

Следовательно система волн, полученная при $d=3{,}5$ м, начнет трансформироваться.

Если по графику условный безразмерный разгон получить нельзя, то искомую среднюю высоту волны у насыпи следует определять по формуле (12 3)

$$\bar{h}_2=0{,}24d_2=0{,}24\cdot 1{,}5=0{,}36 \text{ м}.$$

ОБЛАСТЬ
применения наиболее распространенных типов укрепления

Вид укрепления	Основные особенности и условия применения	Допускаемые значения		
		скорости течения при глубине потока у сооружения 1—4 м, м/с	высоты волны в диапазоне $m=2—5$, м	воздействия льда
	I Надводная зона и периодически подтопляемые откосы			
Засев травами	Необходимы благоприятные климатические условия (сезонность работ) и наличие растительного грунта Нельзя обеспечить надежную защиту в первый период	Неподтопляемые откосы		
Одерновка в клетку	Простота устройства, использование только местных материалов Сезонность работ. Применяется с целью экономии дерна	Неподтопляемые откосы		
Сплошная одерновка	Большие трудовые затраты, связанные с заготовкой и укладкой дерна Применяется для защиты от размыва периодически подтапливаемых откосов	0,7—1,3	0,2	—
Химическое закрепление грунтов смолами	Относительно малая стоимость, возможность механизации при пологих откосах Недолговечность покрытия	До 1,0	—	—
Грунтобетон	Использование местных материалов Требуются сжатые сроки укладки Значительные трудовые затраты, связанные с уходом за покрытием	До 1,5	0,2—0,3	—
Асфальтобетон (монолитный)	Высокая пластичность и водонепроницаемость обеспечивают бесшовность неразрезных креплений и отсутствие обратных фильтров Возможность механизации процесса на пологих откосах Из за недостаточной морозостойкости целесообразно применять в южных районах при небольшой глубине потока (плохая сопротивляемость взвешивающему давлению воды)	До 3,0	0,3—0,5	—

Продолжение

Вид укрепления	Основные особенности и условия применения	Допускаемые значения		
		скорости течения при глубине потока у сооружения 1÷4 м, м/с	высоты волны в диапазоне m=2—5, м	воздействия льда
	II. Зона переменного уровня			
Мощение камнем	Использование местных материалов. Требует больших затрат ручного квалифицированного труда. Разрушается при деформации грунтов основания. При крупности камня:			Слабый ледоход (разрушается при ударе льда)
	$d_к$=0,15 м	2,5—4,0	До 0,5	
	$d_к$=0,25 м	2,7÷4,5	0,7—0,9	
Каменная наброска	Использование местных материалов. Простота исполнения и ремонта. Возможна механизация. Значительный расход камня (особенно горной массы). Применяется в районах при наличии местного камня			Толщина льда и навалы ледяного поля не вызывают значительных повреждений. Разрушается от воздействия припая при изменении уровня воды
	При крупности камня:			
	$d_к$=0,15 м	2,2—3,5	До 0,5	
	$d_к$=0,5 м	3,0—4,5	1,4—1,8	
Гибкие решетчатые железобетонные покрытия (заполняемые камнем)	Сокращение расхода камня и уменьшение требуемой крупности по сравнению с каменной наброской до трех раз при воздействии волн и до двух при продольных течениях			См. каменную наброску
Габионы	Возможность использования низкосортного камня. Малый срок службы (из-за коррозии и разрыва сетки)—5—12 лет. Применяется на горных реках—при крупных грунтах и бурных потоках (большие скорости при малых глубинах)	До 6,0	До 1,5 (при $m \leqslant 1{,}0$)	Наличие льда сокращает срок службы покрытия

Продолжение

Вид укрепления	Основные особенности и условия применения	Допускаемые значения		
		скорости течения при глубине потока у сооружения 1÷4 м, м/с	высоты волны в диапазоне $m=2$—5, м	воздействия льда
Сборные железобетонные разрезные плиты	Гибкие индустриальные конструкции Требуют устройства обратных фильтров Допускают деформации откоса			
	При наибольшей толщине 20 см и длине ребра плиты до 3 м	До 4,0	1,5—2,0	До 0,6 м при $m=2$
Сборные железобетонные плиты, омоноличенные по контуру	Индустриальность конструкций Отсутствие обратных фильтров (укладываются на подготовку из щебня или гравия) Применяют при волновых воздействиях, при которых не обеспечивается устойчивость разрезных плит			
	При наибольшей толщине до 25 см и длине ребра карты в направлении, перпендикулярном линии уреза, до 20 м	До 3,5	До 4,0	До 0,80 м при $m=2$
Монолитные железобетонные плиты	Целесообразно применять при малых объемах работ, криволинейных участках или в сложных гидрологических условиях			
	При толщине до 0,5 м и ширине ребра до 15 м	До 5,0	До 6,0	До 1,4 м при $m=2$
Бетонные массивы	Применяют для устройства дамб, шпор и других незатопляемых регуляционных сооружений на горных реках с высокой амплитудой колебания уровня воды		Не являются лимитирующими, так как область применения укреплений (горные реки) характеризуется малыми волновыми и ледовыми воздействиями	
	При кубической форме со стороной 1,5 м.	До 6,0		
	То же 2 м	До 8,0		
Наброска из фасонных блоков	Гибкость конструкций, допускающих осадку сооружений Простота устройства укрепления, но сложность изготовления элементов Высокая волногасящая способность и сопротивляемость потоку. Применяются в сложных гидрологических условиях.			Воздействия льда не могут вызвать значительных повреждений
	При массе до 15 т	Свыше 6,0	Свыше 8,0 при $m\leqslant 1{,}5$	

Продолжение

Вид укрепления	Основные особенности и условия применения	Допускаемые значения		
		скорости течения при глубине по тока у сооружения 1—4 м, м/с	высоты волны в диапазоне m=2—5, м	воздействия льда
	III Подводные откосы и основания сооружений			
Хворостяные и камышитовые тюфяки	Большие трудозатраты по изготовлению тюфяка и значительный расход камня для пригрузки Применяют при наличии местных материалов на участках, находящихся все время под водой	До 2,0	—	—
Тонкие гибкие покрытия (железобетонные и асфальтобетонные) толщиной 5 см	Индустриальность изготовления и полная механизация процесса укладки «в воду», грунтонепроницаемость На откосе применяется на подготовке	До 1,5	0,7—1,0	0,2 м
Гибкие бесфильтровые железобетонные покрытия толщиной 10—15 см	Индустриальность изготовления и механизация процесса укладки Не требуется устройства обратных фильтров или подготовки. Рекомендуется для условий строительства насухо	До 3,0	До 1,7	До 0,6 м
Сборные бетонные плиты	Гибкость покрытий, хорошая сопротивляемость бурному потоку Увеличение расхода бетона по конструктивным соображениям При толщине менее 20 см блоки обламываются Коррозия металлических шарниров Применяются для защиты регуляционных сооружений на горных участках рек при гравийно-галечных грунтах	До 6,0	Не являются лимитирующими (см Бетонные массивы)	

Приложение 14.1

РАСЧЕТ

струенаправляющих дамб

Исходные данные примера прил 10 1 и прил 3 2· отверстие $L_м$=195 м, бытовой уклон водной поверхности i=0,00081; левая пойма пропускает в расчетный паводок 16% расхода и сложена супесью с расчетным сцеплением $C_р$=0,06 · 10^5 Па; правая пойма пропускает 29,2% и сложена суглинком $C_р$=0,2 · 10^5 Па Гидроморфологические характеристики живого сечения реки в створе перехода при расчетном расходе приведены в табл 1.

Таблица 1

Участки живого сечения	Расход, м³/с	Ширина участка, м	Средняя скорость, м/с	Средняя глубина, м	Коэффициент шероховатости
Коренное русло	2550	145	2,86	6,15	0,034
Левая пойма	745	350	0,815	2,61	0,074
Правая пойма	1355	1040	0,49	2,66	0,10
Все сечение	4650	1535	1,01	2,98	

Расчетный расход определен по снеговому (продолжительному) паводку
По данным расчетов примера прил 10 1
площадь подмостового сечения до размыва (с учетом срезки) $\omega_{бм}=1040$ м²,
коэффициент общего размыва под мостом $P=1{,}51$,
средняя скорость потока по всему живому сечению нестесненного потока $v_б=1{,}01$ м/с (см табл 1).

Решение I Для расчета плановых размеров струенаправляющих дамб предварительно определим максимальный Δh_{max} и предмостовой $\Delta h_в$ подпоры*

1 Определим среднюю скорость под мостом $v_м$ на момент осуществления $\alpha_р$ размыва Поскольку паводок снеговои, принимаем согласно п 3 в п 10 5 $\alpha_р=0{,}5$

При $\omega_{бм}=1140$ м² и $P=1{,}51$ по формуле (10 65)

$$v_м=\frac{4650}{1140\cdot(1+(1{,}51-1)\cdot 0{,}5)}=3{,}27 \text{ м/с}$$

2 Определяем по формуле (10 62) параметр β
Для этого находим
при глубине русла $H_р=6{,}15$ м и коэффициенте его шероховатости $n_р=0{,}034$ коэффициент трения по формуле (10 63)

$$\lambda_р=\frac{2\cdot 9{,}8\cdot 0{,}034^2}{6{,}15^{1/3}}=0{,}0123,$$

по формуле (10 64) определяем расчетную ширину разлива (при назначении ширины пойм, перекрытых насыпью, учитываем пойменные части отверстия левую $l_{пл}=15$ м и $B_{пм}=350-15=335$ м, правую $l_{пп}=35$ м и $B_{пб}=1040-35=1005$ м)

$$L_{разл}=1005\cdot\left(1+\frac{195}{1005+335}\right)=1200 \text{ м}$$

Пусть коэффициент извилистости русла равен $\gamma_р=1{,}0$ Тогда

$$\beta=\frac{0{,}0123}{6{,}15}\cdot 1{,}0\cdot 1200=1{,}46$$

3 По формуле (10 61) определяем коэффициент сопротивления моста (можно также пользоваться рис 10 12)

$$\eta=3{,}85\lg 1{,}46+0{,}25=1{,}71$$

4 По формуле (10 60) определяем максимальный подпор у насыпи

$$\Delta h_{max}=1{,}71\frac{3{,}27^2}{2\cdot 9{,}8}=0{,}94 \text{ м}$$

* Излагается подробно как пример определения подпоров.

5. Определяем расстояние X_0 от створа моста до вертикали, где устанавливается предмостовой подпор, в такой последовательности:

а) По формуле (10 70) определяем коэффициент а (для простоты в качестве расхода, проходящего на ширине моста, принимаем расход в русле $Q_{рб}=2550$ м³/с)

$$a=1{,}15\left(\frac{4650}{2550}\right)^{2/3}-0{,}8\cdot\left(\frac{4650}{2550}\right)\sqrt{\frac{1{,}01^2}{9{,}8\cdot 1200\cdot 0{,}00081}}=1{,}717-0{,}477=$$

$=1{,}24<2{,}5$, поэтому к расчету принимаем $a=1{,}24$.

б) По формуле (10 69)

$$X_0=1{,}24\cdot 1{,}01\sqrt{\frac{1200}{9{,}8\cdot 0{,}00081}}=485\text{ м}$$

6. По формуле (10.68) находим величину предмостового подпора

$$\Delta h_в=0{,}94-0{,}00081\cdot 485=0{,}65\text{ м.}$$

II. С учетом данных примера в прил 10 1 определим расчетные гидравлические характеристики потока у подошвы дамб в створе моста

1. У правого конуса глубина потока до размыва $h_{дмб}=3{,}15$ м, после размыва $H_п=3{,}53$ м По формуле (14 8) расчетная глубина потока у правого конуса

$$h_{дм(п)}=3{,}15+0{,}5\cdot(3{,}53-3{,}15)=3{,}34\text{ м}$$

2. При среднем удельном расходе в правой пойменной части отверстия $q_{пп}=11$ м²/с, средней глубине потока на этой части отверстия до размыва $H_{дрп}=5{,}05$ м и то же у правого конуса $h_{дрп}=3{,}15$ м по формуле (10 21) при $y=1{,}17$ (связные грунты) удельный расход у подошвы правого конуса

$$q_п=11\left(\frac{3{,}15}{5{,}05}\right)^{1{,}17}=6{,}35\text{ м}^2/\text{с}$$

3 По формуле (10 3) скорость потока у подошвы правого конуса

$$v_{дм(п)}=6{,}35/3{,}34=1{,}9\text{ м/с}$$

4. Аналогично определяем расчетные гидравлические характеристики потока на вертикали у подошвы левого конуса (данные берем из примера в прил 10 1):

по формуле (14 8) при $h_{дмб}=2{,}55$ м и $H_л=4{,}32$ м $h_{дм(л)}=2{,}55+0{,}5\cdot(4{,}32-2{,}55)=3{,}43$ м;

при известном удельном расходе $q_л=4{,}30$ м²/с расчетная скорость на этой вертикали $v_{дм(л)}=4{,}30/3{,}43=1{,}25$ м/с.

III. Определяем скорости потока в головах дамб $v_г$ со стороны правой (мощной) и левой (слабой) пойм.

1 Определяем по формуле (14 14) коэффициент φ_l для двух пойм при $Q_{бм}=2550$ м³/с и коэффициентах стеснения потока правым (мощным) $\delta_м=0{,}292$ и левым $\delta_с=0{,}16$ подходами.

$$\varphi_м=\frac{(4650/2550)^2\cdot(0{,}292+2550/4650)^2-1}{(4650/2550)^2-1}=0{,}583;$$

$$\varphi_с=\frac{(4650/2550)^2\cdot(0{,}16+2550/4650)^2-1}{(4650/2550)^2-1}=0{,}288.$$

2 По формуле (14 13) с учетом формулы (14 10) находим фиктивную глубину потока у подошвы головы дамбы на мощной пойме (при глубине потока на этой вертикали $h_б=3{,}15$ м—см рис. Д в прил 3 2)

$$H_{г(м)}=(3{,}15+0{,}65)\cdot 0{,}583+3{,}15\cdot(1-0{,}583)=3{,}53\text{ м.}$$

3 Определяем фиктивные средние уклоны свободной поверхности потока перед мостом с учетом правой (мощной) $i_{м(м)}$ и левой $i_{м(с)}$ пойм по формуле (14 19):

$$i_{м(м)} = 0{,}00081+0{,}583\cdot 0{,}65/485=0{,}00081+0{,}000782=0{,}001591,$$

$$i_{м(с)}=0{,}00081+0{,}288\cdot 0{,}65/485=0{,}000944$$

4 По формуле (14 11) скорость потока в голове дамбы со стороны мощной поймы при коэффициенте Шези $C_{г(м)} = \dfrac{3{,}53^{1/6}}{0{,}10} = 12{,}37$ равна

$$v_{г(м)}=12{,}37\cdot\sqrt{3{,}53\cdot 0{,}292}\cdot(0{,}00081\cdot 0{,}001591)^{1/4}=0{,}43 \text{ м/с}$$

5 По формуле (14 15) находим показатель степени

$$\beta = \frac{1{,}55\cdot 0{,}43}{\sqrt{9{,}8\cdot 3{,}53}} = 0{,}112<0{,}2$$

К расчету принимаем $\beta = 0{,}2$

По формуле (14 12)

$$v_{г(с)}=0{,}43\cdot(0{,}16/0{,}292)^{1/3}\left(\frac{0\,001591}{0\,000944}\right)^{0{,}1}=0{,}37 \text{ м/с}$$

IV Определяем плановые размеры дамб в такой последовательности

1 Радиусы кривизны токов в головах дамб равны

со стороны правой (мощной) поймы по формуле (14 16)

$$\rho_{min(м)} = \frac{0{,}43^2}{9{,}8}\cdot\frac{0{,}001591^{0\,2}}{0{,}00081}\,(1-(0{,}292+0{,}16))^{0{,}4}=5{,}12 \text{ м},$$

со стороны левой поймы по формуле (14 17)

$$\rho_{min(с)} = \left(\frac{0{,}16}{0{,}292}\right)^{2/3}\cdot 5{,}12=3{,}43 \text{ м}$$

2 По формуле (14 7) или рис 14 5 определяем отношение полуосей дамб при значениях скоростей для правой дамбы $v_{дм(п)}=1{,}9$ м/с, $v_{г(м)}=0{,}43$ м/с и левой $v_{дм(л)}=1{,}25$ м/с, $v_{г(с)}=0{,}37$ м/с

Для правой дамбы

$$\lambda_п = \sqrt{2\ln 1{,}9/0{,}43+1}=2$$

Для левой дамбы

$$\lambda_л = \sqrt{2\ln 1{,}25/0{,}37+1}=1{,}87$$

3 Определяем длину вылета $l_в$ и ширину разворота b для дамб по соответствующим формулам (14 3) и (14 4)

для правой дамбы

$$l_в=2^2\cdot 5{,}12=20{,}48 \text{ м},$$

$$b=2\cdot 5{,}12=10{,}24 \text{ м},$$

для левой дамбы

$$l_в=1{,}87^2\cdot 3{,}43=12{,}0 \text{ м},$$

$$b=1{,}87\cdot 3{,}43=6{,}42 \text{ м}$$

Полученные размеры принимают по внешней бровке (со стороны русла) верха дамб По всей видимости, особенно со стороны левого берега, дамба может быть заменена уширенным конусом

Для прикидочных расчетов по формуле (14 5) ширина разворота дамб равна со стороны правой поймы

$$b=1{,}11\cdot 0{,}292\;\;145=46{,}9 \text{ м},$$

со стороны левой поймы $b=1{,}11\cdot 0{,}16\cdot 145=25{,}7$ м

Принимая значения отношений полуосей по А М. Латышенкову (см п 10 в п 10 5), имеем длины вылета дамб

со стороны правой поймы при $\lambda=1{,}83$ $l_в=1{,}83\cdot 46{,}9=85{,}8$ м.

со стороны левой поймы при $\lambda=1{,}67$ $l_в=1{,}67\cdot 25{,}7=39{,}6$ м Как видим, точный метод позволяет существенно сократить размеры дамб

V. Глубину местного размыва у голов дамб (конусов) определяем по формуле (14 22)

1 Для правосторонней дамбы имеем следующие исходные данные

глубина потока в голове дамбы (с учетом подпора) $H_г=3{,}15+0{,}65=3{,}80$ м,

неразмывающая скорость для связного грунта с $C_р=0{,}2\cdot 10^5$ Па и $H=H_г=3{,}80$ м по графику (рис. 10 4) $v_0=1{,}95$ м/с, в районе дамбы будет проведена расчистка от деревьев и коэффициент шероховатости будет равен $0{,}05-0{,}06=0{,}055$; к расчету поэтому следует принимать неразмывающую скорость (см п 10 в п 10 3) $v_0=1{,}95\cdot\dfrac{0{,}03}{0{,}055}=1{,}06$ м/с;

скорость потока в голове дамбы $v_г=0{,}43$ м/с;

по табл 14 1 при коэффициенте заложения откоса дамб $m=2$ коэффициент $K_m=0{,}77$

2 Для левосторонней дамбы:

при отметках дна поймы в голове дамбы 122,6 м, $УВВ_{1\%}=125{,}15$ м и предмостовом подпоре $\Delta h_в=0{,}65$ м глубина потока в голове дамбы $H_г=125{,}15-122{,}6+0{,}65=3{,}20$ м;

при $C_р=0{,}06$ 10^5 Па и $H=3{,}20$ м по графику (рис 10 4) $v_0=1{,}12$ м/с, а к расчету принимаем $v_0=1{,}12\dfrac{0\,03}{0{,}055}=0{,}61$ м/с,

$v_г=0{,}37$ м/с и $K_m=0{,}77$

3 У левобережной дамбы глубина местного размыва будет равна

$$h=\left(2\frac{0{,}37}{0{,}61}-1\right)3{,}20\cdot 0{,}77=0{,}53\text{ м}$$

У правобережной дамбы (у подошвы ее головы) размыва не будет, поскольку $2\,v_г/v_0=2\dfrac{0{,}43}{1{,}06}<1$.

VI Расчет укреплений откосов дамб (конусов) от продольных течений.

Определяющим для расчета укреплении является скорость потока у подошвы дамбы в створе моста $v_{дм}$.

Со стороны правой дамбы $v_{дм(п)}=1{,}9$ м/с, с левой—$v_{дм(л)}=1{,}25$ м/с

1 Требуемую крупность камня для укрепления откосов каменной наброской определяем по формуле (14 23) при $m=2$ и $m_0=1{,}25$

для правобережной дамбы

$$d_к=\frac{1{,}9^2}{4\cdot 9{,}8}\cdot\frac{}{\sqrt{2^2-1{,}25^2}}=0{,}117\text{ м};$$

для левобережной дамбы

$$d_к=\frac{1{,}25^2}{4\cdot 9{,}8}\frac{2}{\sqrt{2^2-1{,}25^2}}\approx 0{,}05\text{ м}$$

2 Определяем по формуле, приведенной в табл 12 8, требуемую по условиям устоичивости толщину $\delta_{пл}$ железобетонных плит Принимаем стыковку плит с закрытыми швами ($k_{пл}=1{,}43$) и плотность плиты $\rho_{пл}=2400$ кг/м^3

Тогда для правобережной дамбы

$$\delta_{пл}=0{,}22\cdot 1{,}43\cdot\frac{1{,}9^2}{9{,}8}\frac{1000}{2400-1000}=0{,}083\text{ м}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Альбом конструкций крепления откосов земляного полотна железных и автомобильных дорог общей сети Союза ССР Инв № 750, Мосгипротранс, 1970, 197 с

2 Альбом конструкций укрепления откосов земляного полотна автомобильных дорог общего пользования Вып О Серия 3 503 9—78 Союздорпроект. Изд Новосибирск ф л ЦИТФ, 1989, 82 с

3 Барышников Н Б Морфология, гидрология и гидравлика пойм Л Гидрометеоиздат, 1984, 280 с

4 Бегам Л Г Алтунин В С, Цыпин В Ш Регулирование водных потоков при проектировании дорог М Транспорт, 1977 304 с

5 Бегам Л Г, Цыпин В Ш Надежность мостовых переходов через водотоки М Транспорт, 1984 253 с

6 ГОСТ 26775—85 Габариты подмостовых судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях М Государств комитет СССР по делам строительства, 1986 8 с

7 Готлиб Я Я, Донченко Р В, Пехович А И Лед в водохранилищах и нижних бьефах ГЭС Л Гидрометеоиздат, 1983 200 с

8 Гришанин К В Динамика русловых потоков Л Гидрометеоиздат, 1979 312 с

9 Грушевский М С Неустановившееся движение воды в реках и каналах Л Гидрометеоиздат, 1982 288 с

10 Дементьев В А Искусственные сооружения на водотоках с наледями Стройиздат, 1983 181 с

11 Донченко Р В Ледовый режим рек СССР Л Гидрометеоиздат, 1987 247 с

12 Дорожно мостовая гидрология Справочник Под ред Б Ф Перевозникова М Транспорт, 1983 199 с

13 Езерский О Е О расчете отверстий мостов на нижних бьефах низконапорных плотин Транспортное строительство 1979, № 3 с 45—47

14 Железняков Г В Гидрология и гидрометрия М Транспорт, 1989 376 с

15 Железные дороги в долинах рек Под ред Переселенкова Г С М Транспорт, 1991 344 с

16 Жуков В Ю, Синютин В Д Влияния формы опор на проход карчехода в пролетах моста Изв вузов Сер Стр во и архитектура, 1976, № 7 С 136—138

17 Жуков В Ю, Юрков Ф Х, Домогашев В Н Прогнозирование интенсивности карчехода на горно таежных реках Изв вузов Сер Стр во и архитектура, 1978 № 5 С 128—131

18 Залесский В Ф Новая модификация распределения вероятностей Пирсона III типа Сборник научных трудов ЦНИИС Пути повышения качества и надежности проектирования и строительства транспортных сооружений 1988 С 127—131

19 Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты ВСН 84—89 М Союздорнии, 1990 271 с

20 Инженерно геодезические изыскания железных и автомобильных дорог ВСН 208—89 М ВПТИтрансстрой, 1990 111 с

21 Инженерно-геологические изыскания железнодорожных, автодорожных и городских мостовых переходов ВСН 156—88 М Минтрансстрой, 1989 28 с

22 Инструкция по определению расчетных характеристик дождевых селей ВСН 03—76 Л Гидрометеоиздат, 1976 29 с

23 Инструкция по проектированию и постройке металлических гофрированных водопропускных труб ВСН 176—78 Минтрансстрой СССР М Орг трансстрой, 1979 130 с

24 Инструкция по проектированию и строительству противоселевых сооружений СН 518—79 М Стройиздат, 1981 14 с
25 Инструкция по расчету ливневого стока с малых водосборов ВСН 63—76 М Минтрансстрой, 1976 103 с
26 Инструкция по сооружению земляного полотна нефтепромысловых дорог на слабых озерно-болотистых и пойменных отложениях с использованием местных грунтов в условиях постоянного и временного подтопления РД 39 3-30—77 Тюмень, 1978 59 с
27 Инструкция по фотограмметрическим работам при составлении топографических карт и планов М Недра, 1974 80 с
28 Инструкция по фотографической съемке в масштабах 1 5000, 1 2000, 1 500 (ГКИНП 02-33—82) М Недра, 1982 157 с
29 Каталог заторных и зажорных участков рек СССР Том I Л Гидрометеоиздат, 1976 260 с
30 Козлов Д В, Юрченко Н Ф Вопросы эксплуатации комплексных гидроузлов в зимних условиях Сб Гидравлика мелиоративных каналов, коллекторов, сооружений и трубопроводов М МГМИ, 1990 с 47—56
31 Кондратьев Е Н, Попов И В, Снищенко Б Ф Основы гидроморфологической теории руслового процесса Л Гидрометеоиздат, 1982 271 с
32 Костелянец Б А, Лиштван Л Л Уширение речного русла при общем размыве // Транспортное стр во 1986 № 10 С 14—15
33 Лиштван Л Л Определение зоны затопления при прохождении прорывной волны // Гидротехника и мелиорация 1981 № 4 С 37—38
34 Методические рекомендации по определению наивысших заторных уровней воды при проектировании мостовых переходов и насыпей на прижимных участках рек в районах Севера, Сибири и Якутской АССР М ЦНИИС, 1983, 21 с
35 Методические рекомендации по определению расходов воды при проектировании переходов через водотоки в зоне воздействия некапитальных плотин М ЦНИИС, 1981, 17 с
36 Методические рекомендации по определению характеристик ледового режима рек северной части Сибири М Гидрометцентр СССР, 1984, 40 с
37 Методические рекомендации по расчету максимального дождевого стока и его регулированию М Союздорпроект, 1980 141 с
38 Методические рекомендации по технологии автоматизированного выполнения гидрометрических работ на изысканиях мостовых переходов М ЦНИИС, 1984 40 с
39 Методические рекомендации по учету стока на реках в зимний и переходный периоды Л ГГИ, 1980 30 с
40 Методические указания по борьбе с заторами и зажорами льда М Энергия, 1970 150 с
41 Методические указания по применению наземной стереофотограмметрической съемки на изысканиях дорог М ЦНИИС 1972 130 с
42 Милитеев А Н, Цыпин В Ш Гидравлический расчет пойменных мостов // Транспортное стр во 1991 № 5 С 13—14.
43 Наставление гидрометрическим станциям и постам Вып 6 Часть I Гидрометеоиздат, 1978 384 с
44 Нормы производства инженерно-геологических изысканий для строительства на вечномерзлых грунтах РСН 31—83 М Госстрой, 1983 43 с
45 Основные положения по аэрофотосъемке выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов (ГКИНП 09 32—80) М Недра, 1982 16 с
46 Параметры ветровых волн, воздействующих на откосы транспортных сооружений на реках ВСН 206—87 Минтрансстрой М ЦНИИС, 1987 57 с
47 Перевозников Б Ф Водопропускные сооружения лоткового типа М Транспорт, 1978 204 с
48 Перевозников Б Ф Опыт обоснования расчетных максимумов дождевого стока для строительства внегородских автомобильных дорог М. Транспорт, 1979 64 с
49 Перевозников Б Ф Расчеты максимального стока при проектировании дорожных сооружений М Транспорт, 1975 304 с

50 Пехович А И. Основы гидроледотермики. Л Энергоиздат, 1983 199 с
51 Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений М. Транспорт, 1991 (в печати)
52. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик Л Гидрометеоиздат, 1984. 448 с.
53. Рекомендации по расчету зажорных явлений в нижних бьефах ГЭС Л.: Гидрометеоиздат, 1977 31 с
54. Рекомендации по укреплению откосов сооружений мостовых переходов и насыпей на прижимных участках рек наброской из каменных материалов / ЦНИИС М, 1979 60 с
55 Рекомендации по проектированию струенаправляющих дамб на мостовых переходах через равнинные реки. / ЦНИИС. М, 1982 57 с.
56 Рекомендации по учету деформаций речных русел при проектировании инженерных сооружений на реках зоны БАМ Л Гидрометеоиздат, 1983. 71 с
57 Рекомендации по методике определения экстремальных гидрометеорологических характеристик / ПНИИИС Госстроя СССР, 1986. 32 с
58 Рекомендации по производству опережающих исследовании для строительства в районах распространения вечномерзлых грунтов М Стройиздат, 1986 86 с.
59 Рекомендации по прогнозу деформаций речных русел на участках размещения карьеров и в нижних бьефах гидроузлов Л · Гидрометеоиздат, 1988 128 с
60 Рекомендации по инженерно-геокриологическим изысканиям для строительства мостов и труб на вечномерзлых грунтах севера Тюменской обл, включая Ямал / ЦНИИС, М, 1988 80 с
61. Руководство по изучению селевых потоков. Л: Гидрометеоиздат, 1976. 29 с
62. Руководство по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновых ледовых и от судов). П 58—76 / ВНИИГ. Л, 1977 316 с
63. Руководство по проектированию искусственных сооружений автомобильных дорог на водотоках с наледями. М.: Транспорт, 1978. 61 с.
64 Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах М: Стройиздат, 1980. 303 с.
65 Руководство по определению допускаемых неразмывающих скоростей водного потока для различных грунтов при расчете каналов / ВНИИГиМ. М, 1981. 57 с.
66. Руководство по гидрологическим расчетам при проектировании водохранилищ Л: Гидрометеоиздат, 1983. 284 с.
67. Руководство по проектированию карьеров Мероприятия по предотвращению понижения уровней воды. М: Транспорт, 1987. 51 с.
68 Рыбоохрана Сб. документов. Под ред. В М. Каменцева М Юридическая литература, 1988. 614 с
69. Строительные нормы и правила СНиП 1 02 07—87 Инженерные изыскания для строительства. / Госстрой СССР, ГУГК СССР, М. ЦИТП Госстроя СССР, 1988 104 с
70 Строительные нормы и правила СНиП 2 01 01—82. Строительная климатология и геофизика М.: Стройиздат, 1983 136 с
71 Строительные нормы и правила. СНиП 2 01 14—83. Определение основных гидрологических характеристик. / Госстрой СССР. М: Стройиздат, 1985 36 с
72. Строительные нормы и правила. СНиП 2 02 01—83 Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования / Госстрой СССР. М: Стройиздат. 1985 40 с.
73 Строительные нормы и правила СНиП 2 02 03—85 Свайные фундаменты / Госстрой СССР М: ЦИТП Госстроя СССР, 1986 48 с
74. Строительные нормы и правила. СНиП 2 03 11—85. Защита строительных конструкций от коррозии / Госстрой СССР. М: Стройиздат, 1986 45 с.
75 Строительные нормы и правила ТНиП 2 05 03—84. Мосты и трубы. / Госстрой СССР М · ЦИТП Госстроя СССР, 1985. 200 с

76 Строительные нормы и правила СНиП 2.05.02—85. Автомобильные дороги / Госстрои СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. 56 с.

77 Строительные нормы и правила СНиП 2.05.06—85. Магистральные трубопроводы / Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстрой СССР, 1988. 52 с.

78 Строительные нормы и правила СНиП 2.05.11—83. Внутрихозяйственные автомобильные дороги в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях и организациях / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1984. 23 с.

79 Строительные нормы и правила СНиП 2.06.01—86. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования / Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. 32 с.

80 Строительные нормы и правила СНиП 2.06.04—82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) / Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. 40 с.

81 Строительные нормы и правила (СНиП II-39—76) Железные дороги колеи 1520 мм. М.: Стройиздат, 1977. 68 с.

82 Строительные нормы и правила (СНиП II-7—81) Строительство в сейсмических районах. М.: Стройиздат, 1982. 49 с.

83 Строительные нормы и правила (СНиП II-18—76) Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М.: Стройиздат, 1977. 48 с.

84 Соколов Ю. Н. Гидравлическое сопротивление пойм // Водные ресурсы. 1980, № 6. С. 143—154.

85 Технические указания по применению аэрометодов при изысканиях мостовых переходов (ВСН 37—67). М.: Оргтрансстрой, 1967. 59 с.

86 Типовая технологическая схема добычи песка, гравия и песчано-гравийной смеси в руслах рек и других судоходных водоемах. М.: Транспорт, 1980. 71 с.

87 Указания по повышению несущей способности земляного полотна и дорожных одежд с применением синтетических материалов. ВСН 49—86. Минтрансстрой. М.: Транспорт, 1988.

88 Условные знаки для топографических планов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. ГУГК СССР. М.: Недра, 1989. 286 с.

89 Учет деформаций речных русел в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов). ВСН 163—83. Миннефтегазстрой. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 143 с.

90 Херхеулидзе И. И. Сквозные защитные и регулирующие сооружения из сборного железобетона на горных реках. М.: Гидрометеоиздат, 1967. 131 с.

91 Цыпин В. Ш., Цыпина М. В. К определению оптимальной вероятности расчетного паводка при проектировании мостовых переходов // Гидротехническое строительство, 1986. № 4. С. 16—19.

92 Цыпин В. Ш. К определению рабочего уровня воды для вспомогательных сооружений // Транспортное стр-во, 1988. № 9. С. 12—13.

93. Шарп Д. Д. Гидравлическое моделирование. М.: Мир, 1984, 280 с.

94 Юдин Л. Н., Марченко А. С., Лагутина Т. А. Нестандартные характеристики геотекстиля // Транспортное строительство, 1990. № 8. С. 20—22.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Основные положения 5

Глава 1 **Подготовительные и инженерно-геодезические работы**

А Подготовительные работы 7

1 1 Выбор места мостового перехода 7

1 2 Составление ситуационно гидрологической схемы мостового перехода по имеющимся материалам 11

1 3 Источники и методы получения исходной информации о районе мостового перехода 13

1 4 Определение объема, методов выполнения и программы инженерно-гидрологических работ 16

Б Топографо геодезические работы 19

1 5 Инженерно топографические планы мостовых переходов и требования к ним 19

1 6 Съемочная геодезическая сеть 20

1 7 Аэрофототопографическая съемка 23

1 8 Наземные топографические съемки 27

Глава 2 **Гидрометрические работы**

А Наземные работы (контактный метод) 29

2 1 Цели и методы выполнения работ 29

2 2 Организация работ 29

2 3 Оборудование и устройства для наблюдений за водным режимом реки 30

2 4 Уровни воды 32

2 5 Глубина потока 33

2 6 Измерение скоростей и направлений течения поплавками 35

2 7 Измерения скоростей течения воды вертушками 39

2 8 Камеральная обработка измерений расходов и уровней воды 41

2 9 Ледовые явления 45

Б Аэрогидрометрические работы (дистанционный метод) 49

2 10 Организация аэрогидрометрических работ 49

2 11 Линейные аэрогидрометрические изыскания 51

2 12 Камеральная обработка аэрофотоснимков 54

Глава 3 **Морфометрические работы**

3 1 Назначение морфометрических работ 61
3 2 Определение уровенного режима 62
3 3 Продольный профиль реки 63
3 4 Выбор и съемка морфостворов 64
3 5 Камеральная обработка 66

Глава 4 **Обследование существующих сооружений и долинных ходов**

4 1 Обследование искусственных водотоков 71
4 2 Обследование существующих мостовых переходов 73
4 3 Обследование некапитальных плотин 76
4 4 Обследование конусов выноса и селевых потоков 78
4 5 Определение гидрологических характеристик долинных ходов трассы 84

Глава 5 **Инженерно-геологические работы**

5 1 Общие положения 87
5 2 Изыскания для разработки ТЭО и ТЭР строительства 90
5 3 Изыскания для составления проекта 93
5 4 Изыскания для рабочей документации (рабочего проекта) 109

Глава 6 **Научное сопровождение проектов мостовых переходов**

6 1 Цели, организация и методы исследований 115
6 2 Физическое моделирование 117
6 3 Математическое моделирование 119
6 4 Основные принципы назначения запасов размеров сооружений мостового перехода с позиций теории надежности 121

Глава 7 **Гидрологические расчеты водотоков с ненарушенным бытовым режимом**

7 1 Требования к исходным материалам и вероятности превышения расчетных гидрологических параметров 125
7 2 Расчет расходов и уровней воды при наличии или недостаточности данных гидрометрических наблюдений 132
7 3 Расчеты максимального стока весеннего половодья при отсутствии данных гидрометрических наблюдений 141
7 4 Расчеты максимального стока дождевых паводков при отсутствии данных гидрометрических наблюдений 143
7 5 Расчетные гидрографы весеннего половодья и дождевых паводков 145
7 6 Линейно региональные нормы для расчетов максимального дождевого стока в неизученных районах СССР и зарубежных странах 148
7 7 Перенос уровней и расходов с водпостов на створ перехода 157
7 8 Расчет судоходного и меженного уровней в створе перехода 159

7.9. Продолжительность стояния уровней. Расчет рабочего уровня 163
7.10. Максимальные расходы и объемы выносов селевых потоков 167
7.11. Расчеты ледового режима рек 172

Глава 8. **Гидрологические расчеты водотоков с нарушенным бытовым режимом**

8.1. Построение кривой свободной поверхности водотока в условиях подпора 177
8.2. Расчеты при сгонно-нагонных и приливно-отливных явлениях 181
8.3. Определение расчетных расходов на переходах, расположенных в зоне влияния плотин 184
8.4. Ледовый режим зарегулированных рек 188

Глава 9. **Прогнозы русловых процессов**

9.1. Типизация и задачи прогнозирования руслового процесса 192
9.2. Ленточногрядовый тип русла 193
9.3. Побочневый тип русла 194
9.4. Ограниченное меандрирование русла 196
9.5. Свободное меандрирование русла 198
9.6. Незавершенное меандрирование русла и пойменная многорукавность 202
9.7. Русловая многорукавность 204

Глава 10. **Расчеты при назначении отверстий мостов**

10.1. Размещение и назначение отверстий мостов . . . 207
10.2. Габариты подмостовых пролетов 209
10.3. Основные расчетные характеристики грунтов и наносов 212
10.4. Расчет общего размыва подмостовых сечений . . . 220
10.5. Расчет местного размыва у опор мостов 229
10.6. Расчет подпоров и перепадов уровней воды у сооружений мостового перехода 238
10.7. Косвенные способы оценки гидроморфологических данных для приближенного назначения отверстий мостов 243

Глава 11. **Расчет отверстий мостов в особых условиях**

11.1. Мосты, расположенные ниже плотин 246
11.2. Расчет групповых отверстий 249
11.3. Отверстия при переменном подпоре 254
11.4. Расчеты отверстий и регуляционных сооружений мостовых переходов на горных реках, конусах выноса и селевых потоках 258
11.5. Особенности проектирования мостов на водотоках с наледями 268
11.6. Гидравлические расчеты при наличии карчехода . . 269
11.7. Отверстия мостов, располагаемых вблизи существующих 270

Глава 12 **Воздействия течений, волн и льда на сооружения мостовых переходов**

12 1 Параметры воздействия водного потока 272
12 2 Параметры ледового воздействия 273
12 3 Расчет ветровых и судовых волн и их наката на откосы сооружений 279
12 4 Выбор типов укрепления 288

Глава 13 **Проектирование пойменных насыпей**

13 1 Конструкция незатопляемых пойменных насыпей 292
13 2 Затопляемые пойменные насыпи автомобильных дорог 295
13 3 Учет гидрологических условий при проектировании вторых путей и реконструкции железных дорог 302

Глава 14 **Проектирование регуляционных сооружений и реконструкция мостовых переходов**

14 1 Срезка грунта в подмостовых сечениях 304
14 2 Расчет струенаправляющих дамб 306
14 3 Расчет поперечных регуляционных сооружений 313
14 4 Спрямление русел и водоотводы на поймах 317
14 5 Причины нарушения и методы усиления водопропускной способности мостовых переходов 318
14 6 Реконструкция существующих регуляционных сооружений 326

Глава 15 **Мостовые переходы и охрана окружающей среды**

15 1 Природоохранные мероприятия при изысканиях и в проектах мостовых переходов 328
15 2 Экологические аспекты при пересечении пойменных массивов 332
15 3 Требования, предъявляемые к проектированию карьеров 333

Приложения

2 1 Термины ледовых образований и явлений на реках 340
3 1 Форма акта о режиме реки 341
3 2 Пример оформления чертежей морфометрических работ 344
3 3 Коэффициенты шероховатости естественных русел каналов и пойм 344
3 4 Таблица динамических скоростей потока в руслах рек на пике паводка $p\%$ вероятности превышения 349
3 5 Характерные уровни воды, используемые при проектировании мостовых переходов 350
4 1 Определение состава крупнообломочного аллювия 351
6 1 Примеры математического моделирования гидравлической работы эксплуатируемых и проектируемых мостовых переходов **354**
7 1 Спрямляющие клетчатки трехпараметрического гамма распределения
7 2 Номограммы для вычисления параметров трехпараметрического гамма распределения C_v и C_s методом наибольшего правдоподобия

на вклейке, стр 354—355

7.3. Ординаты интегральных кривых распределения вероятностей по С. Н. Крицкому—М. Ф. Менкелю . . 356
7.4. Отклонение ординат кривой вероятностей превышения Пирсона III типа от середины при $\bar{x}=1$ и $C_v=1$ (по Фостеру—Рыбкину) 361
7.5. Материалы к расчету ливневых расходов воды . . 364
7.6. Материалы к расчету селевых потоков 369
8.1. Значения функций $f_1(z/h_0)$ и $f_2\left(\frac{z+h_0}{h_0}\right)$ 372
8.2. Пример расчета максимального расхода прорывной волны некапитальной плотины 373
10.1. Пример расчета отверстия и общего размыва под мостом 374
10.2. Примеры расчета местного размыва у промежуточной опоры моста 379
11.1. Пример расчета водопропускной способности пойменных мостов 383
12.1. Пример определения расчетных скоростей ветра по срочным наблюдениям на гидрометеостанции . . . 386
12.2. Параметры волн 1% обеспеченности в системе шторма и наката на откосы сооружений 390
12.3. Пример расчета параметров волн с учетом изменения глубины потока по длине разгона 394
12.4. Область применения наиболее распространенных типов укрепления 395
14.1. Расчет струенаправляющих дамб 398
Список литературы 403

Техн. редактор *О. И. Корякина*

Сд. в набор 21.11.91. Подписано в печать 11.11.92. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага офсетна
Гарнитура литературная. Печать офсетная и высокая. Усл. печ. л. 25,75+вк
Усл. кр.-отт. 25,75. Уч.-изд. л. 33,06. Изд. № 56. Тир. 2500. Зак. 5606.

Проектный конструкторско-технологический институт транспортного строительст
«ПКТИтрансстрой», 119819, Москва, 2-й Зачатьевский пер., д. 2, корп. 7.
МП «Вельти», 165100, г. Вельск Архангельской обл.

ОПЕЧАТКИ

Стр	Строка	Напечатано	Следует читать
77	8 снизу	$H \approx \left(\frac{Q_{p\%}}{m_в \sqrt{2g}} \right)$,	$H \approx \left(\frac{Q_{p\%}}{m_в \sqrt{2g}} \right)^{2/3}$,
137	3 снизу	(7 9)—(7.16)	(7 7)—(7.14)
139	4 снизу	средства	средние
155	табл 7 4, графа 1, 12 снизу	Европейская	Еврейская
213	21 снизу	$+(0{,}02-k_1k_2)-$ $-k_п)\,d_п)$,	$+(0{,}02-k_1-k_2-$ $-k_п)\,d_п)$,
238	2 снизу	со стержнем	со стрежнем
	3 снизу	соединяющей поверхностные скорости.	соединяющей наибольшие поверхностные скорости
242	8 снизу	$(X_0=S_0)$,	$(X_0-S_{ов})$,
248	ф. (11 3)	$\left(\frac{q}{\sqrt{g}d^{0,25}} \right)$	$\left(\frac{q}{\sqrt{g}d^{0,25}} \right)^{0,8}$
253	2 сверху	Ширину $_{пг}$ определяют по формуле (11 7)	Ширину $B_{пг}$ определяют по формуле (11 8)
281	4 снизу	$0{,}675+4{,}5$	$0{,}675+\frac{4{,}5}{k_z v_{zl}}$
312	17 сверху	при $i_{м(м)}<0{,}0001-$ $-i=i_{м(м)}$	при $i_{м(м)} \leqslant 0{,}0001 i=$ $i_{м(м)}$

Стр	Строка	Напечатано	Следует читать
321	табл. 14.3, 2—3 графы	$<(3\div5)i\quad(l_к-L_р)$; $<(2\div4)il_к+\Delta h$,	выражение $<(3\div5)i\ (l_к-L_р)$,—относится к графе «выше»; выражение $<(2\div4)il_к+\Delta h$,—к графе «ниже»
325	ф. (14.39)	$\sqrt{1+m_0^2}$	$\sqrt{1+m_0^2}$
356	7 сверху, 8 графа	2,48	3,48
357	5 снизу, 11 графа	0,33	0,03
374	5 снизу	$H_{др}\frac{\omega_{дм}}{L_м}\frac{1140,5}{195}=$	$H_{др}=\frac{\omega_{дм}}{L_м}=\frac{1140,5}{195}$
	1 снизу	$q_м\frac{Q}{L_м}=$	$q_м=\frac{Q}{L_м}=$
377	табл. 1, графа 7	$h_{пр}\,h_{др}($	$h_{пр}=h_{дп}($
	2 снизу	$5,48^{6/7}+4,32$ м,	$5,48^{6/7}=4,32$ м,
379	1 сверху	$(170\cdot10^3)^{6/25}$	$(170\cdot10^3))^{6/25}$
383	6 снизу	$\left(\frac{Q_м}{Q_{гр}}\right)$	$\left(\frac{Q_м}{Q_{гр}}\right)^{0,77}$
402	8 снизу	$\frac{}{\sqrt{2^2-1,25^2}}$	$\frac{2}{\sqrt{2^2-1,25^2}}$

Зак. 5606. Тир. 2500. Пособие к СНиП 2.05.03—84 «Мосты и трубы».

gost.e-ecolog.ru