МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА СССР
ЦНИИС-ГЛАВТРАНСПРОЕКТ

НАСТАВЛЕНИЕ
по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
СССР
ЦНИИС — ГЛАВТРАНСПРОЕКТ

НАСТАВЛЕНИЕ ПО ИЗЫСКАНИЯМ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ И АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

(НИМП-72)

Москва, «Транспорт», 1972

УДК 624 2/ 8 001.2

Наставление по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки. ЦНИИС — Главтранспроект Министерства транспортного строительства СССР. Изд-во «Транспорт», 1972, стр 1—280.

В наставлении даны рекомендации по выбору трассы мостовых переходов, рассмотрены гидрологические, гидрометрические и инженерно-геологические работы, необходимые при изысканиях переходов, а также освещены гидрологические и гидравлические расчеты при проектировании и назначении отверстий сооружений.

Наставление составлено по материалам научно-исследовательских работ и накопленного опыта в области способов и технологии изыскательских работ по гидрологии, топографии, геологии и методов расчета основных размеров сооружений мостовых переходов

Наставление рекомендовано Главтранспроектом Минтрансстроя СССР в качестве пособия при изысканиях и проектировании мостовых переходов

Настоящее издание Наставления заменяет Наставление, изданное Главтранспроектом в 1961 г.

Наставление по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки является практическим пособием и рассчитано на инженерно-технических работников, выполняющих проектно-изыскательские работы по мостовым переходам Рис 93, табл 74, библ. 86

3-18-1

39-БЗ-32-72

ЦНИИС — Главтранспроект

Наставление по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки

Редактор **К. М. Ивановская**

Технический редактор **Т. М Плёшкова**

Корректоры **А. П Новикова** и **С. Н. Мясникова**

Сдано в набор 6/VI 1972 г Подписано в печать 16/XI 1972 г.
Формат бумаги $60\times90^{1}/_{16}$ № 2. Печ л 17,5 Уч-изд л 18,8 Тираж 7000 экз.
Зак. тип 1218 Цена 1 р 08 к Т—19321. Изд № 1к—3—1/15 № 5662
Издательство «Транспорт», Москва, Басманный туп , 6а

Московская типография № 8 «Союзполиграфпрома»
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
Хохловский пер . 7

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее Наставление разработано взамен «Наставления по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки», изданного Главтранспроектом в 1961 г.

В Наставлении учтены опыт применения предыдущего издания Наставления, новые нормативные, методические и другие руководящие документы и рекомендованы прогрессивные методы и технология гидрологических, топографических и инженерно-геологических изысканий с использованием современных приборов и инструментов, а также электронных вычислительных машин.

Новыми в Наставлении являются разделы по прогнозированию русловых процессов, классификации существующих мостовых переходов по водопропускной способности и аэрогидрометрии. Значительно переработаны разделы по промерным, морфометрическим и инженерно-геологическим работам, расчеты общих и местных размывов, назначение и расчет групповых отверстий и др.

Наставление разработано ЦНИИСом, Мосгипротрансом и Союздорпроектом при участии Саратовского политехнического института и Томгипротранса.

Авторы Наставления: Л Г. Бегам, В. С. Муромов, Н. Н. Чегодаев, Ю. С. Смирнов, Г. П. Кудрявцев, М. К. Дружинин, В. Ш. Цыпин (ЦНИИС) — § 5, 9—15, 24—27, 28, 35, 39, 48, 51—53, 62—67, Л. Л. Лиштван, Н. И. Маслов, С. М. Быханов, П. Н Березин, А П. Иванчук, Г. Г. Зуева (Мосгипротранс) — § 1—4, 6—8, 16—20, 23, 30, 32—34, 36, 38, 40, 42—50, 54, 57, 61, 69; Б. Ф. Перевозников, Н. А. Словинский, А. А. Александров, В С. Смирнов, С М. Бликштейн, И. Б. Тимофеев, В Д. Марков (Союздорпроект) — § 1—4, 21—22, 24—27, 29, 31, 41, 58—60, 68, 70, 71; Б. А. Костелянец (Томгипротранс) — § 37, 72 и И. С. Ротенбург (Саратовский политехнический институт) — § 55—56

Наставление рассмотрено Гипротрансмостом и Ленгипротрансмостом, одобрено Главтранспроектом, секцией изысканий и проектирования железных и автомобильных дорог научно-технического совета Минтрансстроя СССР (протокол от 13 июня 1971 г.), а также комиссиями мостов и тоннелей и строительства научно-технического совета МПС (протокол от 26 октября 1971 г).

Общая редакция выполнена Л. Г. Бегамом, В. С. Муромовым, Л. Л. Лиштваном, Б. Ф. Перевозниковым и В. Ш. Цыпиным.

Рецензирование Наставления выполнено канд. техн. наук Ф В. Залесским (ПНИИИ Госстроя СССР), сотрудниками кафедры изысканий и проектирования железных дорог (зав. кафедрой чл.-корр. АН СССР А В. Горинов), кафедры гидравлики и водоснабжения (зав. кафедрой проф. Г. В. Железняков) МИИТа, специалистами Гипротрансмоста и Ленгипротрансмоста.

Зам директора ЦНИИСа И Ф НАСЕДКИН	Начальник Мосгипротранса Ю В РЕЙНГАРДТ	Директор Союздорпроекта В Ф РОГОЖЕВ

Руководитель отделения изысканий и проектирования железных дорог ЦНИИСа
Г З ВЕРЦМАН

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Настоящее Наставление составлено в дополнение и развитие Строительных норм и правил, технических условий и норм и других нормативных документов.

2. Наставление является пособием, предназначенным для использования при изысканиях и проектировании мостовых переходов постоянного типа через водотоки, перекрываемые средними и большими мостами[1], новых железных и автомобильных дорогах, вторых путей и при реконструкции существующих мостовых переходов.

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.

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. Проектирование мостового перехода, как правило, выполняют в две стадии: 1) технический проект; 2) рабочие чертежи.

---

[1] К средним относятся мосты полной длиной свыше 25 до 100 *м*, к большим — свыше 100 *м* [73].

Перед составлением технического проекта выполняют весь комплекс топографических, инженерно-геологических и гидрологических изысканий, предусмотренный соответствующими разделами Наставления. Перед разработкой рабочих чертежей, как правило, выполняют необходимые для этой стадии топографические, инженерно-геологические и в отдельных случаях также и гидрологические работы в составе и объеме, учитывающем результаты рассмотрения и утверждения технического проекта.

В случаях несложных проектных решений разрабатывают техно-рабочий проект мостового перехода, для которого выполняют все изыскательские работы, обеспечивающие обе стадии проектирования.

В сложных случаях разработке проекта перехода предшествует составление технико-экономического обоснования (ТЭО). Методика и объем изыскательских работ для ТЭО Наставлением не регламентируются и устанавливаются специальной программой.

6. При выполнении проектно-изыскательских работ, помимо рекомендаций Наставления, должны соблюдаться общеобязательные инструкции и указания по технике безопасности, геодезическому надзору, а также правила использования материалов Геологического и Гидрометеорологического фондов СССР.

7. Наставление предусматривает работы, необходимые для составления проекта мостового перехода. Перечень и объем их в каждом случае определяют в зависимости от изученности реки и сложности перехода.

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

Методы расчета и способы производства работ, приведенные в Наставлении, 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 Наставлению.

Глава I

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ И ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

§ 1. ВЫБОР МЕСТА ПЕРЕХОДА

1. Трассу перехода намечают согласно заданному направлению проектируемой дороги с учетом условий гидрологических, топографических, инженерно-геологических, судоходства и сплава. В случаях, обоснованных расчетами, место перехода может определять на отдельных участках [13] направление дороги

2. Проектируемый мостовой переход должен удовлетворять условиям п. 3 Основных положений. Для этого трассу перехода назначают с учетом следующих требований:

а) участок русла реки в месте перехода должен быть устойчивым, плесовым, 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;

б) на участке перехода поймы должны быть наиболее узкими, расположенными на высоких отметках, незаболоченными, без озер, проток и староречий;

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

г) не рекомендуется располагать переход непосредственно ниже устья притока во избежание скопления наносов под мостом;

д) ось проектируемого перехода следует располагать, как правило, нормально к направлению руслового и пойменного потоков при расчетном паводке; косое расположение перехода допускается при наличии технико-экономических обоснований;

е) если направления пойменного и руслового потоков не параллельны, створ перехода располагают нормально к среднему направлению более мощного из потоков; методы определения средних направлений руслового и пойменного потоков приведены в [16].

3. При выборе мостового перехода предпочтение по инженерно-геологическим условиям следует отдавать варианту, где коренные и плотные породы располагаются на более высоких отметках.

4. Не рекомендуется располагать сооружения перехода на участках, имеющих карстовые явления или сложенных гипсом и другими выщелачиваемыми породами. Следует избегать расположения подходов на берегах, подверженных оползням или имеющих мокрые косогоры, на заболоченных поймах, пересечениях пойменных

озер, проток и староречий, а также на участках, где образуются наледи.

5 Мостовой переход через судоходные и сплавные реки располагают в соответствии с требованиями НСП 103-52 [50]:

а) на судоходных и сплавных реках 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. При камеральном трассировании соблюдение этого требования устанавливается по лоцманским картам;

в) отклонение оси моста от нормали к направлению течения без увеличения ширины габарита судоходных пролетов допускается не более 5°. Косина перехода более 5° допускается при условии увеличения ширины подмостового габарита и устройства соответствующих регуляционных сооружений;

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

д) расположение перехода на судоходной реке в пределах речного порта не должно ухудшать условий рейдовых операций. При выборе варианта перехода необходимо учитывать требования местных бассейновых управлений пути МРФ, а также организаций, производящих сплав леса.

§ 2. СБОР И ОБРАБОТКА ДАННЫХ О РАЙОНЕ ПЕРЕХОДА

1. До начала изыскательских работ производят сбор и изучение материалов, содержащих сведения о режиме пересекаемой реки и районе перехода. К ним относятся материалы:

а) картографические и топографо-геодезические;

б) гидрологические;

в) метеорологические;

г) геологические;

д) сведения о судоходстве и сплаве на реке;

е) сведения о ближайших железнодорожных, автодорожных и городских мостах, а также материалы ранее производившихся изысканий для проектирования этих мостов;

ж) сведения о ближайших существующих и проектируемых ГЭС и других гидротехнических сооружениях;

з) сведения о существующих и проектируемых коммуникациях (ЛЭП, линиях связи, трубопроводах и пр.);

и) материалы по планировке населенных пунктов и промышленных объектов;

к) технико-производственные и экономические сведения, в том числе сведения о строительных материалах.

2. Картографический материал получают в Картгеофонде СССР и его республиканских и областных управлениях; там же получают

выписку из каталога марок и реперов и координаты пунктов триангуляции и полигонометрии.

Следует собрать плановые материалы съемок прошлых лет (в том числе крупномасштабных), которые могут оказаться в наличии в организациях, перечисленных в пп. 2—4.

По материалам разновременных съемок можно установить характер и интенсивность руслового процесса на участке перехода.

3. Гидрологический режим рек СССР изучают на стационарной сети постов и станций Гидрометеослужбы СССР (ГМС); материалы этих наблюдений приводятся в следующих изданиях Главного управления Гидрометеослужбы при Совете Министров СССР (ГУГМС) и Государственного гидрологического института (ГГИ):

а) Сведения об уровнях на реках и озерах СССР за период с 1891 по 1935 г. включительно;

б) Материалы по режиму рек СССР, содержащие основные гидрографические и гидрологические данные по рекам СССР с начала систематических наблюдений на них по 1935 г. включительно;

в) Гидрологические ежегодники, в которых помещены данные гидрологических наблюдений на реках и озерах СССР с 1936 г. по настоящее время;

г) Ресурсы поверхностных вод СССР, материалы водного кадастра СССР (издание состоит из трех серий).

серия *1* — Гидрологическая изученность — содержит сведения о количестве и размерах рек и озер и их изученности;

серия *2* — Основные гидрологические характеристики — содержит материалы наблюдений водопостов ГМС на реках, озерах и водохранилищах за период до 1962 г. включительно,

серия *3* — Ресурсы поверхностных вод СССР — представляет научные обобщения данных о режиме рек, озер и водохранилищ, а также региональные формулы по расчету стока,

д) Материалы по максимальному стоку талых вод рек СССР;

е) Труды и другие издания Государственного гидрологического института, освещающие вопросы гидрологии рек отдельных районов СССР;

ж) Атлас вскрытия и замерзания рек европейской части СССР;

з) Каталог отметок наивысших уровней воды рек и озер СССР;

и) Материалы по максимальному стоку дождевых паводков рек СССР.

4. Данные по режиму рек можно также получить в организациях:

а) Гидропроекте Министерства энергетики и электрификации СССР и его перифирийных отделениях;

б) Гипроводхозе Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР и его отделениях;

в) Гипроречтрансе Министерства речного флота РСФСР;

г) институтах разных министерств и ведомств, проектирующих железные и автомобильные дороги, трубопроводы и т. д.

5. На ближайших к переходу репрезентативных метеостанциях собирают данные, характеризующие климат района; сведения об

осадках, температурный режим воздуха, скорости и направления ветров и т. д.; эти факторы изучают в основном метеостанции, находящиеся в ведении местных управлений Гидрометеослужбы.

Материалы этих наблюдений публикуют в издаваемых Гидрометеослужбой;

а) справочниках по климату СССР;

б) метеорологических ежемесячниках и метеорологических ежегодниках.

6. С целью изучения инженерно-геологических условий района перехода собирают данные по истории формирования рельефа, геологическому строению и гидрогеологическим условиям, неблагоприятным физико-геологическим явлениям и инженерно-геологическим процессам. Необходимо собрать сведения о месторождениях строительных материалов в районе перехода.

Материалы по геологии сосредоточены в Геолфонде и архивах республиканских и местных геологических управлений и трестах инженерно-строительных изысканий, а также в организациях, выполняющих инженерно-геологические исследования, частично перечисленных в п. 4.

В состав геологических материалов входит геологическое описание района перехода, геологические разрезы, профили и колонки буровых скважин, а также сведения:

а) о грунтах русла реки и поймы;

б) об уровнях и режиме подземных вод на участках расположения сооружений и анализы воды;

в) об оползнях и мокрых косогорах;

г) о сейсмических и карстовых явлениях.

7. Для учета требований судоходства и сплава при выборе перехода необходимо получить в местном бассейновом управлении пути Министерства речного флота, а также сплавных организациях следующие сведения, характеризующие условия судоходства и сплава:

а) класс реки;

б) лоцманские карты или атласы судоходных рек с судовыми ходами;

в) габариты судов, буксируемых составов и плотов и перспективы увеличения их габаритов;

г) особенности условия движения судов и плотов в районе перехода;

д) допускаемые поверхностные скорости для сплавного и взводного судоходства;

е) интенсивность судоходства и сплава и перспективы дальнейшего их развития.

8. Следует ознакомиться с проектно-изыскательскими материалами по ближайшим мостам и с материалами наблюдений за их работой.

С этой целью в службах пути управлений железных дорог, в дистанциях пути, в управлениях автомобильных дорог и других орга-

низациях железнодорожного и автомобильного транспорта следует запросить:

а) планы и карты с нанесенными вариантами переходов;

б) пояснительные записки с расчетами отверстий мостов;

в) схемы мостов с геологическими разрезами и расчетными уровнями;

г) характеристику работы моста по пропуску паводков;

д) совмещенные профили живого сечения по промерам под мостом;

е) материалы наблюдений водпоста под мостом;

ж) случаи размывов, разрушений и повреждений на переходе (подмыв опор, регуляционных сооружений, их укрепление и др.);

з) сведения о работе регуляционных сооружений и состоянии укрепления их откосов;

и) все имеющиеся отметки УВВ с указанием дат пиков половодий и паводков.

9. Для проектирования мостового перехода в зоне водохранилища или нижнем бьефе плотины необходимо получить в организациях, эксплуатирующих существующие или проектирующих новые водохранилища, материалы, характеризующие бытовой режим реки до постройки ГЭС и измененный после создания водохранилища.

Для проектирования мостового перехода в зоне существующих или проектируемых наземных, подземных и воздушных коммуникаций (ЛЭП, линий связи, трубопроводов и пр.) необходимо собрать в проектирующих и эксплуатирующих организациях проектную документацию, исполнительные чертежи сооружений и сведения о перспективе их переустройства.

10. При расположении мостового перехода вблизи населенных пунктов или промышленных объектов необходимо получить планировочные материалы в местных учреждениях: городских архитектурно-планировочных управлениях (АПУ), плановых отделах райисполкомов, отделах капитального строительства (ОКС) промышленных предприятий.

В состав указанных материалов входят планы:

а) существующей застройки населенного пункта или промышленного предприятия с показанием подземных коммуникаций и красных линий проектируемой перепланировки;

б) расположения существующих и проектируемых набережных, пристаней, элеваторов, электростанций и т. д.

11. Следует собрать сведения о наличии в районе перехода:

а) местных строительных материалов и условиях доставки их на переход;

б) электроэнергии в количестве, потребном для нужд строительства перехода;

в) строительных, промышленных и транспортных предприятий, которые могут быть использованы при строительстве перехода;

г) рабочей силы и жилищ.

12. Для учета экономических требований необходимо получить в местных организациях сведения:

а) о размещении и производственных связях грузо- и пассажирообразующих точек, а также о перспективах развития народного хозяйства в районе изысканий;

б) об объемах и направлениях перевозок грузов и пассажиров автомобильным и другими видами транспорта для решения вопросов координации их работы;

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

г) об эксплуатационно-стоимостных показателях работы существующего мостового перехода, паромной переправы, низководного моста и т. п.;

д) о простоях, задержках, перерывах движения и косвенных потерях народного хозяйства.

13. Для правильной организации изыскательских работ должно быть составлено общее представление о режиме реки, климатических, гидрологических, топографических, экономических и геологических условиях района изысканий на основе изучения и обработки собранных материалов.

По этим данным предварительно намечают основные решения. Для этого приближенными методами устанавливают ориентировочные значения:

а) расчетного расхода воды;

б) предполагаемого отверстия моста;

в) размеров и положения регуляционных сооружений;

г) ожидаемых глубин размывов подмостового русла.

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА И МЕТОДОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЕВЫХ РАБОТ, СОСТАВЛЕНИЕ ПРОГРАММЫ

1. Составлению технического проекта мостового перехода предшествуют изыскания, включающие топографо-геодезические, гидрологические и геологические полевые работы. Перед выполнением изысканий необходимо выявить перечень и объем работ, установить метод их производства, составить программу и определить сроки выполнения.

Объем и характер полевых работ зависят от полноты имеющихся материалов, размеров перехода и заданных сроков разработки проекта.

При наличии полных и надежных материалов следует сократить объем работ, не допуская повторений и ограничиваясь привязкой данных к створу перехода с обязательной проверкой соответствия их натуре. Например, имея план перехода в нужном масштабе, необходимо предусмотреть контрольные промеры русла в характерных точках (плёс, перекат), а также проверить плановое положение берегов, островов, рукавов, и т. п., которое могло измениться вследствие руслового процесса.

Геологические разрезы речной долины, совпадающие со створом

перехода или близкие к нему, корректируют по результатам бурения контрольных скважин (см. гл. IV).

Имеющиеся гидрологические материалы обычно относятся к створам, не совпадающим со створом намечаемого перехода. В таких случаях предусматривают перенос расчетных расходов и уровней воды на створ перехода.

Иногда необходимо проверить данные наблюдений на месте и провести контрольные промеры в случае неучета поймы или других частей живого сечения водного потока.

2. Независимо от наличия топографического материала предусматривают съемку мест пересечения автомобильных и железных дорог для проектирования развязок, переездов или путепроводов через железные дороги. Следует также предусмотреть съемку всех изменений ситуации.

3. 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 нужно определять прецизионными методами, русловые съемки производить с помощью эхолотов, а измерение скоростей течения и расходов воды на крупных реках методами аэрогидрометрии.

При определении сроков камеральной обработки полевых материалов следует учитывать использование ЭВМ при вычислении координат опорной сети, статистической обработке рядов расходов и уровней воды, морфометрических и других расчетах.

4. При изысканиях мостовых переходов учитывают возможность укладки трассы на стереомодели местности.

5. При изысканиях мостовых переходов производятся, как правило, морфометрические работы; в необходимых случаях их дополняют гидрометрическими работами.

При гидрометрических работах определяют расходы воды, скорости течения, уклоны водной поверхности в период прохода паводка. Гидрометрические изыскания наиболее ценны, если охватывают период высокого (выше уровня выхода воды на пойму) половодья или паводка.

При морфометрических работах, которые можно выполнять в беспаводочный период, определяют количественные соотношения между морфометрическими и гидравлическими характеристиками русла и пойм реки.

Ограничиться морфометрическими работами можно в случаях, когда:

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

б) вблизи проектируемого расположен существующий переход, нормальная работа которого проверена за период эксплуатации и размеры сооружений которого могут служить аналогом для проектируемого;

в) мостовой переход располагается на участке реки с небольшими поймами;

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

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

В остальных случаях целесообразно применение гидрометрических или смешанных гидроморфометрических изысканий, выполняемых в весенне-летний период.

Производство морфометрических изысканий в зимнее время не рекомендуется, за исключением тех районов, где имеются преимущества в организации и проведении изыскательских работ, а также если требуется изучение зимнего режима рек.

6. В зависимости от объема полевых работ комплектуют штат технических работников, составляют программу и определяют сроки выполнения работ.

Сетевой график изысканий мостовых переходов составляют исходя из сроков, установленных на все проектно-изыскательские работы, и с учетом того, что отдельные их виды на мостовых переходах можно выполнять в определенный период года (например, топогеодезические, когда поймы свободны от воды и снежного покрова, гидрометрические — во время паводков).

§ 4. ТРАССИРОВАНИЕ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

1. Трассу мостового перехода намечают так, чтобы она удовлетворяла требованиям п. 3 Основных положений и в наименьшей степени отклонялась от общего направления проектируемой дороги. В сложных условиях направление трассы подходов может подчиняться выбранному створу перехода с возможным удлинением трассы.

Во всех случаях необходимо изучение вариантов трассы перехода в зависимости от условий топографических, геологических, гидрологических, экономических, судоходства и сплава. До назначения вариантов трассы необходимо решить задачу об оптимальном расположении мостового перехода исходя из наименьших потерь при перевозке грузов и пассажиров, т. е. расположить мостовой переход так, чтобы он наилучшим образом обслуживал все транспортные связи.

Для этого до начала изысканий определяют зону возможного расположения вариантов мостового перехода. Затем проводят камеральное трассирование вариантов и отбирают наиболее конкурентоспособные для полевого трассирования.

2. Трасса перехода должна приближаться к прямой. Элементы плана и профиля трассы перехода должны соответствовать требованиям СНиП II-Д. 1-62 для железных дорог [62] и СНиП II-Д. 5-62 для автомобильных дорог [63].

Повороты трассы в пределах поймы допускаются при их доказанной целесообразности. На активно работающей пойме при углах

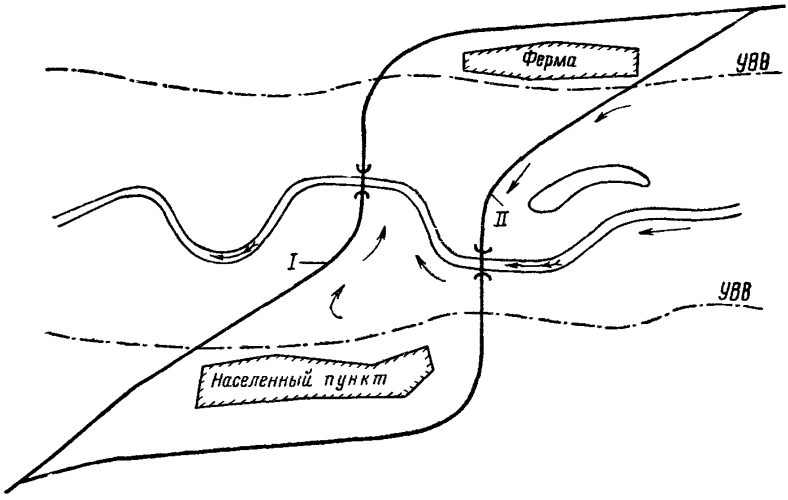


Рис. 1. Варианты перехода через реку с широкой поймой

поворота вниз по течению образуются водные «мешки», создающие угрозу прорыва насыпи и затрудняющие слив воды с поймы в отверстие моста (рис. 1, вариант *I*), но вместе с тем исключающие течение вдоль насыпи. При угле поворота вверх по течению вдоль верховой стороны насыпи возникают повышенные скорости потока, что потребует защиты ее от подмыва (рис. 1, вариант *II*).

При пересечении поймы следует использовать для трассы перехода местные возвышенности (остатки прирусловых валов, выступы берегов и т. п.), избегая пересечения озер, болот, староречий и активных проток.

3. При трассировании мостовых переходов необходимо учитывать естественный русловой процесс (см. гл. VII). В извилистых узких долинах, когда трасса многократно пересекает русло реки, одновременно с вариантами устройства мостов на пересечениях русла целесообразно рассматривать варианты спрямлений и отводов русла от запроектированной трассы (рис. 2).

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

4. При трассировании перехода через конус выноса возможны три варианта его пересечения:

а) в вершине конуса, вблизи горловины ущелья;

б) в средней активной части конуса;

в) в нижней части конуса или в обход его.

При пересечении в вершине конуса размеры отверстия и регуляционных сооружений оказываются наименьшими, но при этом обычно происходит излишний набор и потеря высоты по трассе. Пе-

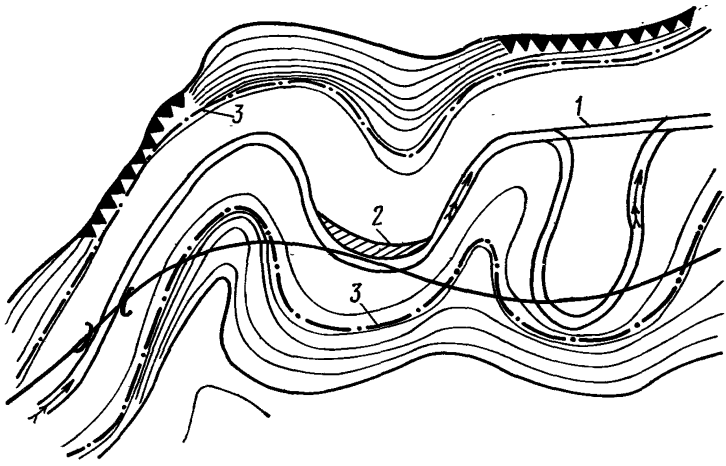


Рис. 2. Расположение трассы в извилистых долинах:
1 — спрямление русла; *2* — отвод русла; *3* — граница разлива при УВВ

ресечение в середине конуса обычно бывает кратчайшим, но стоимость моста и регуляционных сооружений наибольшей. При обходе конуса часто возникает возможность заменить одно большое отверстие моста несколькими малыми и обойтись без дорогостоящих регуляционных сооружений, однако при этом, как правило, трасса удлиняется.

Поэтому если местные условия или особые требования не диктуют какое-либо однозначное решение, трассирование перехода и полевые работы следует производить для нескольких вариантов с последующим их сравнением.

Существующие автомобильные дороги часто пересекают конусы выноса в их наиболее широкой части с несколькими мелкими водопропускными сооружениями временного характера или бродами и это положение трассы оказывается наименее благоприятным для проектирования капитального мостового перехода. Поэтому на дорогах низших категорий (по согласованию с заказчиком) возможно проектирование бродов капитального типа вместо мостов, что следует учитывать при трассировании подходов.

При пересечении конусов выноса в средней или нижней части трассу следует располагать нормально к образующей конуса, т. е. по кривой с углом поворота, равным или несколько большим угла растекания потока по конусу (рис. 3). Такое положение трассы облегчает регулирование потока и не допускает свала его в пониженные места.

Указанное требование не относится к случаям, когда сток по конусу от горловины ущелья до перехода заключен в канал (см. § 60).

5. При пересечении реки вблизи проектируемого гидроузла трассу мостового перехода располагают с учетом проекта организации строительства этого гидросооружения.

Мостовые переходы в зоне водохранилищ и нижних бьефов проектируемых плотин трассируют с учетом бытового и измененного плотиной режима реки. При этом возможны случаи:

а) мостовой переход располагается в нижнем бьефе плотины; в этом случае трассу располагают вне зоны сосредоточенного размыва русла за плотиной;

б) переход располагается по плотине ГЭС; такой вариант перехода решается в ее проекте;

в) переход располагается в пределах распространения подпора; в этом случае трассу перехода надо располагать в наиболее узком месте водохранилища;

г) переход располагается в верхней части водохранилища, где возможны заторы льда; в этом случае следует установить границы заторной зоны (см. § 38) и располагать мостовой переход вне ее.

При расположении перехода ниже некапитальной плотины должна учитываться возможность ее прорыва со всеми последствиями для перехода.

При проходе дороги вдоль берега водохранилища трасса ее должна быть удалена на безопасное расстояние от прогнозируемой бровки перерабатываемого волнобоем берега водохранилища.

Расположение перехода выше или ниже существующего гидроузла назначают на основе сравнения вариантов.

6. При трассировании мостового перехода вблизи существующего необходимо учитывать:

а) наличие, расположение и состояние регуляционных сооружений и укреплений с верховой и низовой сторон насыпи подходов к мосту;

б) конфигурацию русла и размывы его у существующего моста;

в) образование ветровой волны с обеих сторон от существующего перехода;

г) условия производства строительных работ.

При трассировании мостового перехода вблизи существующего автодорожного мостового перехода следует учитывать возможность полного его использования или использования отдельных сооружений. Следует рассмотреть вариант его ликвидации с переводом движения на вновь устраиваемый переход или использования его при организации строительных работ.

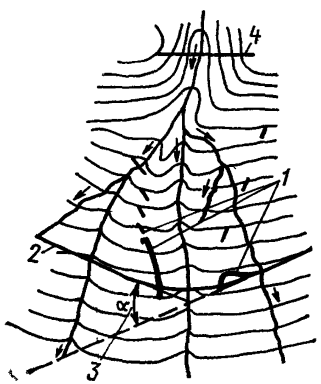


Рис. 3. Расположение трассы на конусе выноса:

1 — регуляционные сооружения; *2* — желательное положение трассы; *3* — угол поворота трассы, больший или равный углу растекания потока; *4* — морфоствор

Если существующий мост сохраняется, то новый переход следует располагать на достаточном расстоянии от него, чтобы деформации русла, вызываемые одним переходом, не были опасны для другого; в крайнем случае необходимо предусмотреть защитные мероприятия.

При близком расположении проектируемого мостового перехода от существующих следует учитывать возможность совместного их регулирования.

При трассировании мостового перехода необходимо учитывать достаточность его удаления от существующих коммуникаций, ЛЭП, газопроводов, нефтепроводов и оценить возможность их переноса, переустройства или смещения трассы перехода. При этом необходимо учитывать распространение размыва от моста вдоль реки.

Следует избегать расположения трассы перехода в пределах действия аварийных водосбросов ГЭС, особенно высоконапорных.

При расположении трассы перехода по территориям добычи полезных ископаемых ее, как правило, необходимо прокладывать по местам, в которых не намечаются разработки.

Трасса перехода должна проходить вне промышленных объектов и населенных мест, но достаточно близко к ним для сокращения подъездов.

Следует учитывать необходимость устройства развязок, съездов и переездов при пересечении дорог местной сети.

7. При трассировании мостовых переходов небходимо использовать следующие официальные документы:

а) «Основы земельного законодательства Союза ССР и союзных республик», 1968 г.;

б) постановления Совета Министров СССР и советов министров союзных республик по вопросам использования и отвода земель, занимаемых для строительства, и директивные документы, издаваемые в развитие этих постановлений;

в) ведомственные приказы и распоряжения о вопросах и порядке согласований.

8. Вопросы, связанные с проложением трассы перехода в районе залегания полезных ископаемых, должны быть также согласованы с территориальными геологическими управлениями и республиканскими министерствами геологии.

9. Согласованию подлежат следующие вопросы, связанные с организацией строительства:

а) отвод земель для временных сооружений и строительных площадок под полигоны железобетонных конструкций, временных дорог, мастерских, стоянок дорожных машин и других транспортных средств, складов горюче-смазочных материалов и взрывчатых веществ (ВВ) — с землепользователями, местными советами, заинтересованными организациями; склады ВВ — также с органами гостехнадзора и МВД;

б) условия и сроки получения строительных материалов из действующих карьеров и изготавливаемых местной промышленно-

стью, — с организациями, эксплуатирующими предприятия, районными и областными плановыми комиссиями;

в) аренда существующих и использование ведомственных железнодорожных тупиков и разгрузочных площадок, постройка новых тупиков и разгрузочных площадок различного назначения — с отделениями и управлениями железных дорог, с предприятиями, а при постройке новых тупиков и разгрузочных площадок — с Госсанинспекцией и пожарной охраной;

г) возможность получения электроэнергии, пара, воды, газа — с предприятиями и их вышестоящими инстанциями;

д) возможность применения средств гидромеханизации для возведения насыпей подходов и регуляционных сооружений — с Госсанинспекцией, Госрыбнадзором, с бассейновыми управлениями пути и пароходствами МРФ;

е) возможность доставки грузов к месту строительства по водным речным путям — с бассейновым управлением водного пути и пароходством МРФ.

10. Трасса перехода и места расположения его сооружений по конкурирующим вариантам (с примерными размерами намечаемых к постоянному и временному изъятию земельных площадей) должны быть согласованы: с советами министров союзных и автономных республик; местными советами; с совхозами, колхозами и другими землепользователями; с архитектурно-планировочными управлениями в городах; с Госрыбнадзором; с органами Министерства обороны; с предприятиями и организациями, интересы которых затрагивают сооружения мостового перехода; с бассейновыми управлениями пути Министерства речного флота; лесосплавными организациями; республиканскими управлениями речного транспорта или отделами малых рек; с проектными организациями, если на пересекаемом водотоке намечается строительство гидротехнических сооружений.

§ 5. ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОФОТОСЪЕМКИ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ГЕНЕРАЛЬНЫХ И ДЕТАЛЬНЫХ ПЛАНОВ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА. ФОТОТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

1. Применение комплекса аэрометодов на изысканиях мостовых переходов позволяет одновременно получить необходимые данные для составления генеральных и детальных планов перехода и ряд гидрологических характеристик реки.

Аэрофотосъемочные работы выполняют согласно Техническим указаниям [69].

2. Масштабы аэрофотосъемки для составления топографических генеральных планов определяются шириной пересекаемого водотока. Их принимают по таблице на стр. 20.

3. В необжитых труднодоступных районах и при обеспеченности материалов аэрофотосъемки показаниями статоскопа и радиовысотомера наземное планово-высотное обоснование аэроснимков можно не производить. Планы перехода создаются в условной системе

координат и высот. Эти планы могут быть в последующем привязаны к государственной системе координат или к системе координат и высот, в которой ведутся изыскания трассы.

4. В обжитых районах при составлении планов производится привязка аэроснимков в системе координат близлежащего населенного пункта. В этом случае на участке съемки необходимо получить не менее четырех-пяти опознаков. Высотная привязка аэроснимков производится в абсолютной системе высот.

Ширина разлива, *м*	Масштабы	
	аэрофотосъемки	плана
150—500	1: 3000—1: 7000	1:1000—1: 2000
500—1000	1: 7000—1:12000	1:2000—1: 5000
> 1000	1:15000—1:20000	1:5000—1:10000

5. Планы переходов через реки с шириной разлива до 1,5 *км* составляют на основе материалов маршрутной аэрофотосъемки, а при большей ширине разлива для составления планов используют площадную аэрофотосъемку и каркасные маршруты.

6. Камеральные работы при составлении планов перехода включают: построение планово-высотной основы стереофотограмметрическими методами, фототрансформирование аэроснимков и составление фотоплана.

При составлении плана мостового перехода по материалам площадной аэрофотосъемки развивают опорные сети вдоль морфостворов и намечаемой оси мостового перехода.

7. Фототрансформирование аэроснимков и составление фотоплана мостового перехода выполняют обычными методами. На полученный в результате камеральных работ фотоплан перехода наносят всю топографическую информацию, результаты полевого и камерального гидрологического и инженерно-геологического дешифрирования.

8. Планы переходов, характеризующихся широкой затопляемой поймой, не изображающейся на аэрофотоснимках одного маршрута, составляют по аэрофотоснимкам каркасного маршрута масштаба мельче 1 : 12 000 вдоль основного створа перехода.

9. Планово-высотной основой аэрофотосъемки на участках с широкой затопляемой поймой является опорная сеть, полученная в результате аналитического фототриангулирования.

В этом случае планово-высотные опознаки должны располагаться не реже чем через шесть-семь базисов фотографирования в случае аналитического сгущения и через четыре-пять базисов при сгущении на универсальных приборах (масштаб съемки 1 : 1000—1 : 12 000). Планы составляют на стереометрографе, стереопроекторе и т. п.

Расхождения в высотах по сводкам между стереопарами допускаются в пределах 1 *м*.

10. Планы переходов, характеризующихся крутыми, обрывистыми и высокими берегами, составляют по фотоснимкам, полученным

фототеодолитной съемкой [42], производимой с противоположного берега, если ширина разлива (русла) обеспечивает необходимый масштаб съемки. Базисы фотографирования проектируют с учетом требований к точности составляемых планов. Расстояния от базиса до дальней границы фотографируемого объекта не должны превышать (при $f_к = 200$ *мм*):

При составлении планов				масштаба 1 : 500	600—700 *м*
»	»	»	»	1 : 1000—1 : 1500	1200 »
»	»	»	»	1 : 2000	2800 »
»	»	»	»	1 : 5000	4—5 *км*

План составляют по фототеодолитным снимкам при помощи стереоавтографа.

11. Когда ширина русла не позволяет производить фототеодолитную съемку необходимого масштаба, крутой берег фотографируют с качающейся опоры (шлюпки, катера и т. п.). В этом случае каждая стереопара обеспечивается не менее чем шестью планово-высотными опознаками, которые должны располагаться по краям и в середине фотоснимка.

Камеральная обработка таких фотоснимков осуществляется аналитически. В результате обработки вычисляют элементы внешнего ориентирования снимков и геодезические координаты определяемых точек, на основе которых строят план снятой местности.

Составление плана можно осуществлять по вычисленным элементам внешнего ориентирования на стереопланиграфе.

§ 6. НАЗЕМНЫЕ КРУПНОМАСШТАБНЫЕ СЪЕМКИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ ПЕРЕХОДОВ

А. На стадии технического проекта

1. Наземные крупномасштабные съемки местности для проектирования регуляционных сооружений, земляного полотна на подходах к мосту, укреплений берегов, отводов русел производят, когда применение аэрофотосъемки нерационально из-за малых размеров съемки или по условиям точности работ.

2. Съемки выполняют в соответствии со СНиП II-А.13-69 [60], СН 212-62 [24], «Техническими указаниями по летносъемочным работам и геодезической привязке аэроснимков для изготовления изыскательских планов» [69] и «Указаниями по производству геодезических разбивочных работ при строительстве больших и внекласных мостов» [77].

3. Детальный план снимают на площади, достаточной для проектирования сооружений перехода и временных сооружений, необходимых для строительства.

Минимальные размеры съемки следующие:

а) поперек реки в пределах разлива при наивысшем уровне или расчетном уровне (для автомобильных дорог) плюс 1—2 *м* запаса по высоте;

б) вверх и вниз по течению реки по 1,0—1,5 отверстия моста, но не менее чем по 100 *м* в каждую сторону от оси мостового перехода.

В местах спрямления русла, укрепления берегов, расположенных вне мостового перехода, выполняют детальную съемку с привязкой ее теодолитными ходами к оси мостового перехода.

Детальные съемки предусматривают также на участках долинных ходов трассы, где проектируют спрямления русла, устройство запруд, отбойных траверсов и укрепление берегов.

4. Подводную съемку русла, староречий и проток выполняют в пределах детального плана тахеометрически путем промеров глубин по створам с плановой привязкой их и нивелировкой урезов.

На больших реках промеры глубин рационально выполнять эхолотом «Язь» (см. § 11 гл. II).

Подводную съемку русла на участке спрямления выполняют в местах сопряжения его с проектируемым спрямляющим каналом. В местах подводной съемки выявляют пониженные отметки дна для определения уклона дна спрямляющего канала.

Подводную съемку производят в местах проектируемых запруд и траверсов.

5. В пределах мостового перехода могут находиться подземные и наземные коммуникации (газо- и нефтепроводы, водопроводы, линии электропередач и т. п.). Их наносят на детальный план перехода по исполнительным чертежам. Люки колодцев и камер подземных коммуникаций должны быть закоординированы и положение их увязано с данными исполнительных чертежей.

Наземные коммуникации снимают в натуре; на плане указывают глубину заложения подземных коммуникаций и все их технические характеристики.

6. Детальный план снимают в масштабах в зависимости от площади снимаемого объекта и размеров проектируемых сооружений: для малых рек (площадь съемки в одном массиве до 10 *га*) — 1 : 500, для средних (площадь до 50 *га*) — 1 : 1000, для крупных (площадь выше 50 *га*) — 1 : 2000.

Для отдельных узлов регуляционных сооружений съемку в масштабе 1 : 500 принимают также на переходах через средние и большие реки.

7. Съемка планов мостовых переходов может быть тахеометрическая или мензульная. Для детальной съемки рельефа местности может применяться метод нивелирования по квадратам (съемка небольших открытых и горизонтальных площадок). Мензульная съемка может быть эффективной при больших площадях съемки и благоприятных климатических условиях. Рекомендуемые инструменты для этого вида съемки: кипригель-автомат КА-2 или кипригель КБ-1.

Тахеометрическую съемку удобно производить редукционным тахеометром Дальта-20 или внутрибазисным тахеометром Т-13.

8. Расстояния между реечными точками (пикетами) и расстояния от инструмента до рейки принимают по табл. 1.

Таблица 1

Масштаб съемки	Сечение рельефа, *м*	Вид съемки	Максимальные расстояния между точками (пикетами), *м*	Максимальное расстояние, *м*, от инструмента до рейки при съемке		
				рельефа	ситуации	
					твердых контуров	нетвердых контуров
1:500	0,5	Мензульная	20	100	60	80
		Тахеометрическая	15	100	60	80
1:1000	0,5	Мензульная	30	150	60	100
		Тахеометрическая	20	150	60	100
1:2000	0,5	Мензульная	50	200	100	150
		Тахеометрическая	40	200	100	150
	1,0	Мензульная	70	250	100	150
		Тахеометрическая	60	250	100	150

Таблица 2

Масштаб съемки	Максимальные длины теодолитных ходов между пунктами триангуляции и полигонометрии или между узловыми точками трассы или магистрального хода, *км*		Максимальное удаление пункта триангуляции или полигонометрии от точки хода, *км*
	на застроенной территории	на незастроенной территории	
1:500	0,8	1,2	5
1:1000	1,2	1,8	5
1:2000	2,0	3,0	5

9. Обоснованием для съемки являются магистральные нивелир-теодолитные ходы, привязанные, как правило, к пунктам государственной триангуляции, полигонометрии и реперам нивелирования.

Длины ходов должны быть не более указанных в табл. 2.

Относительные невязки в магистральных теодолитных ходах не должны быть более 1 : 3000, а абсолютные не должны превышать величин, приведенных в табл. 3.

В ходах длиной до 150 *м* при съемке в масштабе 1 : 500 — 1 : 1000 и до 250 *м* в масштабе 1 : 2000 допускаются абсолютные невязки (в плане), не превышающие:

0,1 *м* . . . . . для масштаба 1 : 500
0,15 » . . . . . » » 1 : 1000
0,25 » . . . . . » » 1 : 2000

При съемке незастроенных территорий допускаются висячие ходы длиной до 150 *м* для масштаба 1 : 500 и 1 : 1000 при одной точке поворота и до 300 *м* для масштаба 1 : 2000 при двух точках поворота. На застроенной территории разрешаются висячие ходы не более чем с тремя поворотными точками и длиной не свыше 100 *м* при масштабе 1 : 500, 150 *м* при 1 : 1000 и 200 *м* при 1 : 2000.

Таблица 3

Масштаб съемки	Допустимые невязки в магистральных и теодолитных ходах на допустимую длину хода, *м*	
	на застроенной территории	на незастроенной территории
1:500	0,25	0,40
1:1000	0,40	0,60
1:2000	0,60	0,90

Длина линий в теодолитном ходе не должна превышать 350 *м* и быть не менее 20 *м* на застроенной территории и 40 *м* на незастроенной.

10. Длины линий в теодолитных ходах измеряют в прямом и обратном направлениях дальномерами, стальными лентами или рулетками. Поправку за наклон линии к горизонту учитывают при углах наклона более одного градуса.

Углы в магистральных теодолитных ходах измеряют двумя полными приемами с перестановкой лимба между приемами на величину, близкую к 90°. Угловые невязки в замкнутых полигонах и ходах не должны превышать величины $f = \pm 1' \sqrt{n}$, где n — число углов в полигоне или ходе.

11. На открытой пересеченной местности магистральные теодолитные ходы заменяют аналитическими сетями, состоящими из цепочек треугольников, центральных систем или геодезических четырехугольников. Аналитическая сеть должна опираться на базисы; между базисами допускается построение цепочки треугольников, число которых принимают не более:

15 . . . . . для съемки масштаба 1 : 2000
10 . . . . . » » » 1 : 1000
5 . . . . . » » » 1 : 500

Базисы измеряют в прямом и обратном направлении с предельной относительной ошибкой 1 : 10 000.

При построении аналитической сети для углов α треугольников соблюдается условие $30° \leqslant \alpha \leqslant 120°$. Углы измеряют по требованиям п. 10. Длина сторон треугольников должна быть не менее 150 *м*.

Аналитическую сеть уравновешивают упрощенным способом; невязки в координатах вершин распределяют пропорционально длинам сторон.

12. Пункты теодолитных ходов и аналитических сетей закрепляют деревянными кольями, столбами, костылями или металлическими трубами. Ось перехода по створу моста закрепляют столбами согласно указаниям табл. 1 СНиП III-Д.-62 [66].

Проложение теодолитных ходов и построение аналитических сетей выполняют согласно указаниям СН 212-62 [24].

13. Высотные отметки пунктов съемочного обоснования определяют техническим нивелированием, которое выполняют отдельными ходами, системами ходов и замкнутыми полигонами между марками и реперами государственного нивелирования II, III и IV классов. Допускается проложение висячих нивелирных ходов.

Предельная невязка хода или замкнутого полигона не должна превышать $\pm 50\sqrt{L}$ (*мм*), где L — длина хода в километрах.

Нивелирование опорной сети рекомендуется выполнять нивелиром с самоустанавливающейся осью визирования (например, нивелиром Ni 0,25).

На каждом берегу реки устанавливают по одному деревянному или бетонному реперу, на которые переносят высотные отметки от реперов государственного нивелирования. От установленных реперов передают высоты на точки съемочного обоснования. Реперы устанавливают на сухих местах в расстояниях от трассы, обеспечивающих их сохранность при строительстве.

Передачу отметок с берега на берег выполняют методом, изложенным в указаниях [77].

14. Планы мостовых переходов составляют в системе координат трассы.

Оригиналы планов съемки вычерчивают тушью согласно условным знакам [81].

При оформлении планов:

а) координатную сетку на подлинниках вычерчивают зеленой тушью сплошными тонкими линиями;

б) ось проектируемой трассы вычерчивают сплошной красной линией толщиной 1 *мм*, а варианты сплошными линиями разных цветов;

в) пикеты по трассе выписывают тем же цветом, каким показана трасса, перпендикулярно к трассе слева по счету километров, нивелирные отметки — перпендикулярно к трассе по счету километров черной тушью более мелким шрифтом;

г) условные знаки раздельных пунктов вычерчивают слева, условные знаки километров — справа по счету последних, надписи — параллельно трассе;

д) элементы кривых выписывают с внутренней стороны кривой параллельно трассе, все остальные надписи делают с запада на восток;

е) отметки нивелирные выписывают с точностью 0,01 *м*, тахеометрические с точностью 0,1 *м* черной тушью; отметки уровней воды выписывают с точностью 0,1 *м* зеленой тушью;

ж) подводные горизонтали, урезы воды в русле, протоках и озерах обводят зеленой тушью;

з) закрепленные на местности центры по оси перехода обозначают кружками с флажками;

и) линии разлива при наибольшем УВВ для железных дорог и расчетном УВВ для автомобильных наносят зеленой тушью пунктиром.

15. На планах указывают системы координат в высотных отметках, время съемки, учреждение, производившее съемку, масштабы съемки и накладки плана, а также источники, по которым нанесены подземные коммуникации.

На плане должна быть таблица координат пунктов обоснования съемки и схема расположения планшетов.

Планы подписывают лица, производившие съемку, составляющие план, начальник изыскательской партии.

К плану должны быть приложены:

а) схемы ходов обоснования съемки с ведомостью уравновешивания цепи треугольников, ходов полигонометрии и теодолитных ходов;

б) ведомость вычисления координат пунктов обоснования съемки с показанием угловой и линейной невязки;

в) ведомость уравновешивания нивелирных ходов обоснования съемки;

г) полевые журналы, подписанные исполнителями и лицами, проверяющими работу.

Б. На стадии рабочих чертежей

16. При рабочем проектировании выполняют:

а) восстановление трассы мостового перехода;

б) съемку местности для составления детального плана (см. пп. 1—15), если ось мостового перехода значительно смещается относительно положения, принятого на стадии технического проекта;

в) досъемку местности до требуемых в п. 3 размеров, если ось мостового перехода незначительно отклоняется от принятого ее положения в техническом проекте;

г) дополнительные съемки в местах, где произошли изменения рельефа и ситуации за период, предшествующий рабочему проектированию (берега и русло реки, а также активно действующие протоки);

д) разбивку и закрепление оси мостового перехода в соответствии с указаниями [77].

§ 7. НАЗЕМНЫЕ СЪЕМКИ РУСЕЛ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА

1. Для прогнозирования естественных русловых деформаций выполняют русловые съемки (как дополнение к съемкам по п. 3 § 6) в случаях, когда собранные согласно п. 2 § 2 данные указывают на интенсивный русловой процесс (см. гл. VII).

2. При ленточно-грядовом типе руслового процесса русло снимают в горизонталях или изобатах на протяжении трех шагов ленточной гряды. Съемку производят непосредственно после спада паводка, когда высота гряд наибольшая.

3. При побочневом типе руслового процесса русло снимают в горизонталях на протяжении четырех шагов побочня (см. рис. 2 гл. VII) по окончании паводка для фиксации наибольших глубин, образовавшихся при проходе паводка в плёсовых лощинах; наинизшие отметки перекатов определяют промерами в конце меженного периода. Съемкой охватывают бровки коренного русла, побочни, а также спрямляющие рукава между отторгнутым побочнем и коренным берегом; по этой съемке устанавливают наибольшую величину периодического расширения русла.

4. При осередковом типе руслового процесса с устойчивыми островами промеряют глубины по фарватерам обоих рукавов на всей их длине.

На реках с блуждающим руслом в паводковый период промеряют живые сечения в трех створах: по оси перехода, выше и ниже по течению на расстоянии, равном половине ширины зоны блуждания; на каждом створе производят не менее 10 промеров за паводок.

5. При ограниченном меандрировании снимают в горизонталях излучины русла и прилегающие к ним пойменные массивы на ширину пояса меандрирования и на двойную длину шага излучины вдоль реки. Съемку производят на спаде паводка для фиксации наибольших глубин в плёсовых лощинах; наинизшие отметки перекатов определяют промерами в конце меженного периода.

6. При свободном меандрировании русловую съемку выполняют по окончании паводка в пределах пересекаемой трассой излучины и двух смежных с ней — верховой и низовой.

7. При русловых процессах типа незавершенного меандрирования и пойменной многорукавности производят русловые съемки на спрямляющих меандры протоках и пойменных рукавах в зависимости от типа руслового процесса в них.

Недоразвитую излучину, пересекаемую трассой, и смежные с ней излучины снимают так же, как и при свободном меандрировании.

8. На мостовых переходах в морских устьях рек, на конусах выноса селевых потоков, а также при сложном типе руслового процесса (например, движение побочней по развивающемуся меандру или пойменная многорукавность) русловые съемки производят по индивидуальным программам.

§ 8. СОСТАВЛЕНИЕ СИТУАЦИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ПО ИМЕЮЩИМСЯ МАТЕРИАЛАМ

1. По картографическому или аэросъемочному материалу перед полевыми работами составляют ситуационно-гидрологическую масштабную схему мостового перехода. На схеме показывают варианты трассы перехода, намечаемые створы наблюдений, пункты, с которых предположено вести поплавковые наблюдения, водомерные посты и участки крупномасштабной съемки.

Схема служит обоснованием программы изыскательских работ. Схема должна освещать участок русла и пойм на протяжении не

менее полуторной ширины разлива при наивысшем или расчетном (для автомобильных дорог) 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 устанавливают индивидуально.

Схемы составляют в масштабах:

1 : 50 000	для рек с	шириной	русла		>500 *м*
1 : 25 000	»	»	»	»	250—500 »
1 : 10 000	»	»	»	»	100—250 »
1 : 5 000	»	»	»	»	<100 »

При больших поймах допускается уменьшение масштаба схемы.

2. В процессе полевых работ уточняют ситуационно-гидрологическую схему, в частности, положение размываемых берегов русла, побочней, кос, осередков, островов, действующих проток и границы растительности на поймах. Производят также промеры наибольших глубин у вогнутых берегов русла и на перекатах, в пойменных озерах-старицах определяют отметки местных возвышенностей на поймах, не затопляемых в паводок, а также отметки древних и современных прирусловых валов. На основе обследований района мостового перехода на ситуационно-гидрологической схеме указывают:

а) следы прохода высокой воды на поймах в виде отложений наносника на кустах и деревьях; следы интенсивных течений в пониженных местах пойм в виде отложенного песка и гравия, а также погнутых течением травы и кустов;

б) следы выхода льда на поймы в виде ободранной льдинами коры на деревьях, разрушения берегов навалами льда;

в) пониженные места прирусловых валов, через которые вода из русла переливается на поймы;

г) места образования заторов льда, заломов сплавляемой древесины, скопления карчей.

Установленные признаки прохода высоких вод привязывают в плане и наносят на схему.

3. После внесения уточнений и дополнений по п. 2 и 3 на ситуационно-гидрологической схеме показывают места первых выходов воды на поймы и вероятные направления наиболее мощных течений на поймах при расчетных $УВВ_{P\%}$ (см. рис. 2 в гл. III). Если вследствие особенностей рельефа и ситуации направления течений на поймах при других уровнях воды резко отличаются от направлений при $УВВ_{P\%}$, то эти направления также показывают с примечанием о вероятности превышения того уровня, к которому они относятся. 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.

§ 9. ОБСЛЕДОВАНИЕ ВОДОПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

1. Существующие мостовые переходы классифицируют по водопропускной способности на основании материалов обследования, которое выполняется в соответствии с § 20.

2. Классификация существующих мостовых переходов по водопропускной способности поможет выявить сооружения с недостаточной пропускной способностью и установить очередность их усиления.

Водопропускную способность перехода характеризует расход воды, пропускаемый всеми его сооружениями при запасах, соответствующих принятым категориям.

3. Водопропускную способность сооружений определяют для паводков, расходы на пике которых имеют вероятности превышения, установленные СНиП II-Д.7-62 [64]. Применительно к данной дороге вероятности расчетных расходов устанавливают соответствующие министерства и ведомства.

4. Для определения водопропускной способности мостовых переходов используют проектные, натурные и другие материалы и выполняют гидрологические, гидравлические и русловые расчеты.

Эти расчеты выполняют в два этапа:

а) приближенные расчеты, дающие преуменьшенные запасы в сооружениях, выполняют для исключения мостовых переходов с достаточной водопропускной способностью;

б) подробные (точные) расчеты выполняют для тех переходов, которые в результате приближенных расчетов оказались имеющими недостаточную водопропускную способность.

Приближенные расчеты выполняют согласно «Методическим указаниям по обследованию водопропускной способности больших и средних мостов» [40].

Подробные расчеты выполняют по указаниям настоящего Наставления.

5. Категории водопропускной способности мостовых переходов отличаются состоянием основных и второстепенных сооружений при пропуске расчетных паводков.

К основным сооружениям относят мосты (опоры и пролетные строения), насыпи подходов в пределах разлива при расчетном уровне, водоразделительные дамбы и дамбы обвалования.

К второстепенным относят остальные сооружения; сооружения руслового регулирования и укреплений берегов на реках с русловым процессом всех типов, кроме блуждающего, в классификации не участвуют; сооружения на блуждающих руслах относятся к второстепенным.

6. Мостовые переходы по водопропускной способности подразделяют на три категории:

I — переходы, на которых при пропуске расчетных расходов обеспечиваются нормальные условия эксплуатации основных сооружений и сохранность второстепенных сооружений;

II — переходы, на которых не обеспечивается сохранность второстепенных сооружений;

III — переходы, на которых не обеспечивается сохранность основных сооружений;

7. Расчеты для определения категорий перехода по водопропускной способности производят по следующим ограничивающим элементам:

а) возвышение бровки полотна подходов к мостам над расчетным уровнем с учетом волны с накатом на откос и подпора;

б) то же возвышение струенаправляющих дамб и берм;

в) возвышение низа пролетных строений над расчетным уровнем с учетом влияния подпора и волны;

г) достаточность поперечных сечений земляного полотна и водоразделительных дамб по условиям фильтрации;

д) достаточность глубины заложения фундаментов опор моста от отметки грунта после размыва;

е) достаточность защиты откосов и подошв насыпей подходов, струенаправляющих дамб, траверсов и других регуляционных сооружений от размыва и волнобоя.

Нормы для отнесения элемента перехода к категориям по водопропускной способности принимают по Методическим указаниям [40].

Глава II

ГИДРОМЕТРИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

§ 10. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ, ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

1. Гидрометрические наблюдения за проходом половодья выполняют в соответствии с п. 5 § 3 преимущественно для крупных или сложных мостовых переходов на стадии технического проекта.

Поскольку гидрометрические работы выполняют как дополнительные к морфометрическому обследованию, предполагается, что опрос старожилов, сбор сведений о режиме реки, обработка данных многолетних наблюдений Гидрометеослужбы и других организаций, съемки продольного профиля реки выполнены в соответствии с указаниями гл. III и § 28.

Гидрометрические работы выполняют согласно Наставлению Гидрометеослужбы [46] и дополнений к нему [15], а также с учетом работы [17].

2. Гидрометрические работы выполняют в два периода. До начала половодья:

а) разбивают и закрепляют гидростворы, устраивают тросовые перетяжки;

б) устраивают водомерные посты;

в) строят вышки для засечек поплавков, оборудуют суда для наблюдений вертушкой;

г) производят подводную съемку русла.

В период половодья выполняют:

а) наблюдения за уровнем воды;

б) наблюдения скоростей и направления течений, судовых ходов, сплава и ледохода;

в) в необходимых случаях подводную съемку русла; повторную съемку русла производят после прохода половодья.

3. Число створов наблюдений устанавливают в зависимости от условий протекания потока на участке перехода.

Если условия протекания сложные, назначают два-три створа, чтобы проследить изменения гидрологических элементов в продольном и поперечном направлениях.

Из намеченных створов выбирают главный, который желательно совместить с осью перехода.

Желательно, чтобы на главном створе:

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

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

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

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

4. 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 краской на нижнем поясе фермы (если работы производят со смотровой тележки) или на настиле тротуара.

Устройство водомерных постов

5. На участках мостового перехода должно быть установлено не менее трех водомерных постов; один из них совмещают с главным гидроствором, а для других (для определения уклона) располагают вверх и вниз от него на следующих расстояниях, зависящих от продольного уклона реки:

Уклон, ‰	0,05	0,06	0,08	0,10	0,20	0,30	0,50	0,80	1,5 и более
Расстояние, *км*	5,5	4,1	2,7	2,0	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1

Указанные расстояния между водопостами обеспечивают измерение уклона водной поверхности с точностью 10% при измерении уровня воды с точностью 1 *см*. При другой точности измерений расстояние между водопостами определяют по методическим указаниям [45].

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

Если на створе перехода в излучине наблюдается разность уровней воды у противоположных берегов более двойной точности измерений на водомерном посту (2 *см*), то устанавливают по три поста на каждом берегу.

На реках со сложной поверхностью воды (горные, блуждающие реки), а также на обширных поймах при наличии поперечного уклона количество и расположение постов зависит от местных условий.

Если направление течения на пойме отличается от течения в главном русле, по концам обследуемого участка на пойме устанавливают дополнительные водпосты реечного типа.

Водомерные посты увязывают двойной нивелировкой IV класса с допустимой невязкой $20\sqrt{L}$ (*мм*).

6. Водомерные посты применяют:

а) свайные на беспойменных нескальных берегах (рис. 1);

б) реечные на пойменных террасах или скальных берегах;

в) свайно-реечные на высоких пойменных берегах.

Водомерные посты размещают в местах, не подверженных размыву, защищенных от ударов льдин и бревен, вне заводей, подпоров, обратных течений и т. п. по возможности на берегах с откосами крутизной 1 : 5—1 : 2.

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.

У водомерного поста на незатопляемом месте устанавливают репер, отметку которого определяют двойной нивелировкой IV класса. Сваи и нули реек нивелируют от указанного репера дважды до и после паводка.

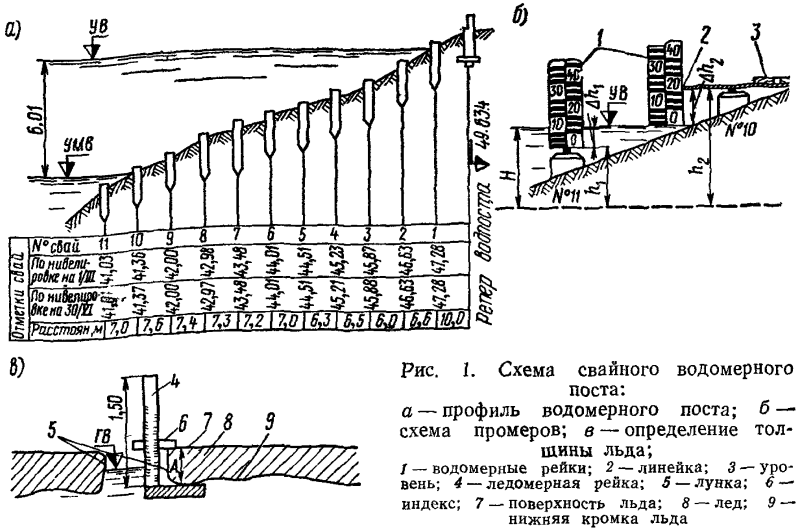


Рис. 1. Схема свайного водомерного поста:

а — профиль водомерного поста; *б* — схема промеров; *в* — определение толщины льда;

1 — водомерные рейки; *2* — линейка; *3* — уровень; *4* — ледомерная рейка; *5* — лунка; *6* — индекс; *7* — поверхность льда; *8* — лед; *9* — нижняя кромка льда

7. На водомерном посту должны быть:

а) максимальная водомерная рейка для фиксации наивысшего уровня в период между очередными замерами;

б) переносная водомерная рейка для ежедневных измерений уровня воды;

в) аккумуляторный фонарь;

г) легкая лодка с веслами.

Постройка вышек для засечек поплавков

8. Наблюдательные вышки (рис. 2) устраивают для засечек теодолитом поплавков, льдин, судов и караванов одноточечным способом.

Возвышение горизонтальной оси трубы теодолита, установленного на вышке над наивысшим уровнем воды в реке ($H_г$), определяют по формуле

$$H_г = 0{,}0175 D_н, \qquad (1)$$

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

Центр вышки — проекцию вертикальной оси инструментального столика на поверхность земли — закрепляют врытым в землю столбом и привязывают к пунктам съемочного обоснования.

Вышку оборудуют для работы по накладке траекторий поплавков или льдин и рассчитывают на нагрузку от двух человек и ветровое давление.

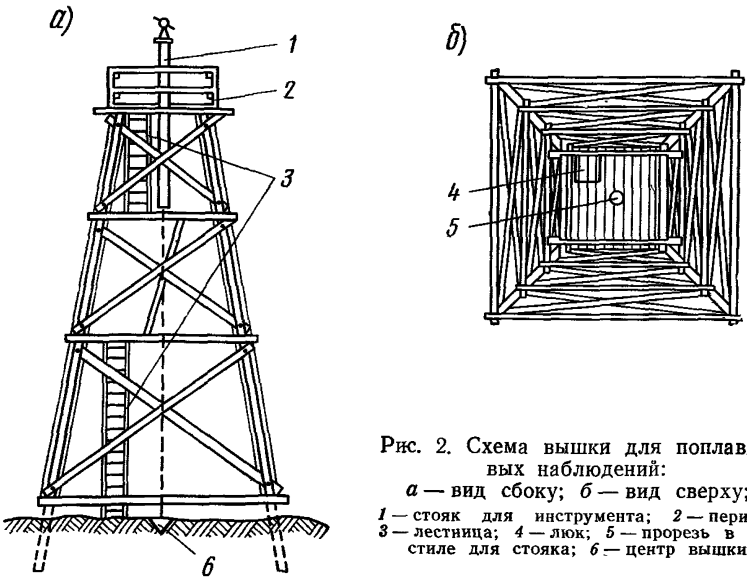


Рис. 2. Схема вышки для поплавковых наблюдений:
а — вид сбоку; *б* — вид сверху;
1 — стояк для инструмента; *2* — перила; *3* — лестница; *4* — люк; *5* — прорезь в настиле для стояка; *6* — центр вышки

Проект вышки должен быть обоснован инженерным расчетом, а строительство должно осуществляться специалистами, знающими правила техники безопасности строительных работ.

Оборудование лодок или самоходных паромов для измерения скоростей вертушками

9. Лодки для наблюдений в русле должны быть длиной от 6 до 12 *м*.

Паромы-самоходы, передвигающиеся по тросу, устраивают обычно из двух лодок, соединенных между собой общим настилом.

Лодки и паромы оборудуют выносными поворотными стрелами, на которых устанавливают лебедки для спуска вертушек. Лодки оборудуют также якорными лебедками, устанавливаемыми в носовой части, и якорями (табл. 1).

Таблица 1

Наибольшая средняя скорость течения на вертикали, *м/сек*	Для вертушки		Для якоря	
	вес груза, *кг*	диаметр троса, *мм*	вес 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

Для наблюдений на пойме оборудуют легкие лодки. Если глубины не превышают 3 *м*, стрелы не устраивают, а вертушку опускают на штанге.

10. Лодки и паромы-самоходы должны иметь следующие инструменты и оборудование: 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 в лодке, инструменты для ремонта оборудования.

Устройство перетяжек для измерения скоростей вертушками

11. Тросовые перетяжки для паромов-самоходов или люлек устраивают при ширине реки до 600 *м*.

Диаметр троса для предварительного определения собственного веса вычисляют по формуле (в *мм*)

$$d_т = k_т \sqrt{G}, \tag{2}$$

где G — нагрузка, равная весу груженой люльки или гидродинамическому давлению на понтон, *кГ*; $k_т$ — коэффициент, определяемый согласно приведенным ниже данным:

Пролет перетяжки, *м* . .	До 300	300—400	400—500	500—600
$k_т$	1	1,05	1,10	1,20

Закрепление тросовых перетяжек должно быть надежным и обоснованным расчетами.

Наибольшее натяжение троса не должно превышать $^1/_6$ его временного сопротивления на разрыв по ГОСТ 3071—66.

Натяжение троса определяют по формуле (в *кГ*)

$$T_{max} = l \frac{G + q_т l}{8f}, \tag{3}$$

где l — расстояние между опорами перетяжки, *м*; G — вес сосредоточенного груза, помещенного в середине пролета, *кГ*; $q_т$ — вес 1 *пог. м* троса, *кГ*; f — стрела провеса троса, *м*.

Стрелу провеса для предварительных расчетов принимают

$$f = \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{20}\right) l. \tag{4}$$

Расчет натяжения троса проверяют по полученной в натуре стреле провеса.

12. При работе с лодки или парома-самохода, зачаленных за трос, сопротивление, воспринимаемое ими, передается в виде нагрузки на трос и определяется по формуле (в *кГ*)

$$G = 0{,}35 S_п v^2_{max}, \tag{5}$$

где v_{max} — максимальная поверхностная скорость течения, *м/сек*; $S_п$ — смоченная поверхность парома-самохода, $м^2$, определяемая по формуле

$$S_п = \frac{nl_л}{2T_л} + 0{,}83B_л, \qquad (6)$$

где n — число лодок в пароме; $l_л$ — длина одной лодки, *м*; $T_л$ — осадка одной лодки, *м*; $B_л$ — ширина одной лодки, *м*.

Устройство перетяжек на судоходных или сплавных реках возможно только после получения письменного разрешения судоходных или сплавных организаций при условии установки береговых и плавучих сигналов и обеспечения быстрого затопления троса при проходе судов и плотов.

На реках, несущих в паводок наносник, деревья и прочее, у перетяжки должно быть организовано постоянное дежурство для быстрого спуска троса в воду. Паром должен быть оборудован приспособлением для быстрого разъединения его с тросом.

При устройстве тросовых перетяжек и их эксплуатации должны соблюдаться правила техники безопасности, особенно при опускании троса для пропуска судов и плотов.

§ 11. ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИН

1. Промерные работы рекомендуется выполнять в соответствии с рекомендациями «Методических указаний по технологии подводной съемки мостовых переходов с применением ультразвуковой аппаратуры» [44].

При отсутствии ультразвуковой аппаратуры глубины до 3—4 *м* измеряют наметкой, а свыше 3—4 *м* — лотом. Точки промеров (промерные вертикали) в плане фиксируют засечками теодолитом одноточечным способом или по створам [17, 46].

2. Для измерения глубин (от 1 *м*) ультразвуковым способом применяют эхолот «Язь». Положение точек промера на плане определяют дальномером «Телетоп».

Глубины до 1 *м* промеряют наметкой. Промеры глубин ведут по поперечникам, расположенным через $^1/_5$ — $^1/_2$ ширины реки и закрепленным по берегам вехами. Расстояние между вехами на каждом берегу принимают не менее 5% от длины створа.

3. При длине поперечника более 200 *м* на нем обозначают через 50—60 *м* промежуточные точки плавучими буйками, закрепленными на якорях. Буек представляет собой деревянный кружок толщиной около 5 *см*, диаметром около 20 *см* со стержнем длиной 30—35 *см* в центре кружка. Буек закрепляют на якоре в виде груза на тонкой леске.

4. Расстояния между промерными точками при их расстановке определяют дальномером «Телетоп». Одновременно эхолотом определяют глубины у буйков. Промерные поперечники привязывают к магистральным ходам.

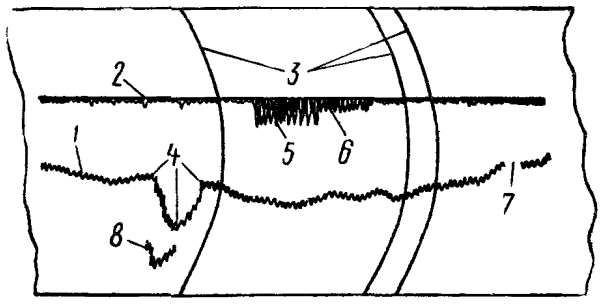


Рис. 3. Батиграмма эхолота:

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)

При измерении глубин судно должно двигаться равномерно. В момент прохода судна у буйка на ленте самописца делают отметку и указывают номер буйка. Одновременно ведут журнал, в котором отмечают номер поперечника, расстояния и глубины на участках от точки окончания работы эхолота до берега. После окончания промерных работ буйки снимают для последующего использования.

5. Промеры глубин эхолотом 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.

Эхолотом определяют толщину льда, которая отображается на ленте самописца толщиной начальной линии (рис. 3). Для установления связи между толщиной льда и толщиной начальной линии эхолот тарируют. Для этого на поверхности льда устанавливают ледяной кубик, одну грань которого делают ступенчатой с высотой ступени 20—30 *см*. На каждую ступень кубика ставят вибратор и, зная толщину льда, сопоставляют ее с соответствующей толщиной начальной линии на ленте самописца.

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.

Участки между промерными точками определяют по отметкам на батиграмме и номерам буйков на точках (рис. 4). 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 надписаны глубины в метрах.

На восковке в заданном горизонтальном масштабе поперечника на горизонтальной линии *AB* откладывают исправленные расстояния между урезами воды и промежуточные промерные точки (*I*, *II*,

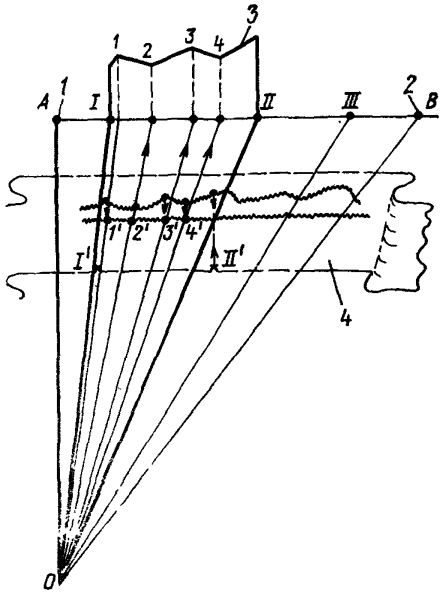


Рис. 4. Построение профиля поперечника по батиграмме эхолота:
1 — урез левого берега; *2* — урез правого берега; *3* — профиль по дну; *4* — батиграмма

III). От точки *A* по перпендикуляру к линии *AB* откладывают отрезок прямой *AO*, примерно равный *AB*. От точки *O* проводят лучи к промежуточным точкам *I*, *II*, *III*. Затем восковку накладывают на батиграмму так, чтобы промежуточные промерные точки на батиграмме *I'* и *II'* помещались на лучах *OI* и *OII*. Характерные точки рельефа на рассматриваемом участке батиграммы (*1'*, *2'*, *3'* и *4'*) переносят на профиль, продолжая лучи *O1*, *O2* и т. д. до пересечения с линией *AB*. От точек пересечения *1*, *2*, *3*, *4* в вертикальном масштабе профиля откладывают глубины, указанные на батиграмме.

§ 12. ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЕЙ

1. Измерения уровней при медленном его изменении проводят 2 раза в сутки (в 8 и 20 *ч*). Во время половодья количество замеров увеличивают до 4, 6, 12 или 24 в сутки в зависимости от скорости подъема или спада уровня.

Если наблюдается волнение, то отсчет по рейке производят дважды при отходе и при набеге волны. Рекомендуется применять гасители волн в виде цилиндра без дна или стеклянной трубки, прикрепленной к рейке.

При переходе от одной сваи или рейки к следующей отсчеты производят по обеим сваям или рейкам.

Точность отсчетов при измерении — 0,01 *м*.

Отсчеты измерений уровня воды заносят в водомерный журнал, в котором, кроме отсчетов уровней, отмечают: появление закраин, подвижки льда, начало и конец ледохода, заторы льда и их прорывы, начало и конец навигации и лесосплава, карчеход, заломы леса, появление сала и шуги, зажоры, забереги, начало ледостава, образование торосов, толщины льда у берега и посередине реки, образование полыней.

2. По материалам водомерных наблюдений составляют один график колебаний уровней по всем постам, что позволяет контроли-

ровать проведенные наблюдения, а также выявлять местные подпорные явления.

Помимо графика, для водпостов в районе перехода строят такой же график для ближайшего водомерного поста Гидрометеослужбы; кривую связи уровней главного поста на переходе с водпостом ГМС строят по сходственным уровням или с учетом времени добегания воды на участке между переходом и створом ГМС.

Для графика колебаний уровней вертикальный масштаб отметок уровней принимают $^1/_{100}$—$^1/_{20}$; горизонтальный масштаб времени от 1 *мм* = 1 сутки до 12 *мм* = 1 сутки.

3. Определение продольных уклонов при гидрометрических наблюдениях необходимо для вычисления коэффициентов шероховатости русла и пойм, перенесения отметок уровней воды со створов на переход, а также для установления зависимости продольного уклона от уровней воды. При определении продольных уклонов следует пользоваться «Методическими указаниями № 81 Гидрометеослужбы» [45].

4. При расположении мостового перехода или створов в излучине русла или на повороте долины реки устанавливают величину поперечного уклона потока.

Для этого на водпостах одновременно измеряют уровни и устанавливают зависимость поперечного уклона от уровня и средней скорости течения.

5. При гидрометрических наблюдениях на существующем мостовом переходе исследуют искаженные сооружениями уровни и уклоны реки.

Уклонные водпосты преимущественно реечного типа устанавливают:

а) с верховой стороны вдоль насыпи подходов не менее трех водпостов на каждой пойме: у устоя моста, у головы верховой струенаправляющей дамбы (или на расстоянии двух отверстий от устоя моста, если дамбы нет) и в конце разлива;

б) с низовой стороны вдоль насыпи подходов не менее двух водпостов на каждой пойме: у головы низовой струенаправляющей дамбы (или на расстоянии одного отверстия от устоя моста, если дамбы нет) и на границе разлива;

в) выше оси перехода на расстоянии двух отверстий три водпоста (один в русле и два по концам разлива);

г) ниже оси мостового перехода на расстоянии двух отверстий моста три водпоста (один — на главном русле и два — на границах разлива).

По указанным 16 точкам составляют планы в горизонталях поверхности потока при уровнях, соответствующих началу и концу интенсивной работы пойм, и при УВВ расчетной вероятности превышения.

По данным наблюдений строят зависимости поперечных уклонов поверхности воды вдоль подходов к мосту с низовой и верховой сторон от уровня воды, а также зависимости подпора перед мостом от уровня или расхода воды.

§ 13. ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ И НАПРАВЛЕНИЙ ТЕЧЕНИЯ, СУДОВЫХ ХОДОВ, СПЛАВА И ЛЕДОХОДА

Измерения скоростей и направлений течения поплавками

1. Для рек с весенними половодьями измерения выполняют с момента вскрытия до устойчивой межени. Если половодье невысокое, то продолжительность измерений на спаде сокращают.

На реках с летне-осенним или зимним паводками (от ливней, таяния ледников в горах и затяжных дождей) наблюдениями охватывают подъем и спад первого пика полностью, а при последующих только на уровнях, превышающих наблюденные при прохождении первого пика.

Наиболее прост и дешев одноточечный поплавковый способ измерений скоростей течения; недостаток его — зависимость точности от состояния погоды. На крупных открытых реках с частыми ветрами назначают комбинированные измерения вертушками и поплавками.

2. Наблюдения направлений и измерений скоростей течения воды в реке одноточечным способом производят при помощи поплавков. Через примерно равные интервалы времени производят засечки этих поплавков с отсчетами по вертикальному и горизонтальному кругам теодолита; одновременно производят отсчеты по секундомеру.

Поплавки изготовляют 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 белым флажком; для придания поплавку устойчивости в ветреную погоду к нему прикрепляют небольшой груз.

Если расстояние от вышки до поплавков более 1 *км*, применяют поплавки треугольной формы при длине каждой стороны 0,5 *м*; в вершинах треугольника помещают стержни высотой 15—20 *см*, снабженные разноцветными флажками. При плохой видимости поплавки сопровождают лодкой.

При сильном ветре производство поплавковых измерений не допускается.

3. Поплавковые измерения выполняют в количестве:

двух во время ледохода с засечками плывущих льдин, двух на пике, двух на подъеме и трех-четырех на спаде половодья (до межени).

Длину участка наблюдений принимают:

Для рек шириной русла до 200 *м*	0,5—1 *км*
» » » » » 500 »	1—2 »
» » » свыше 500 »	2—3 »

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

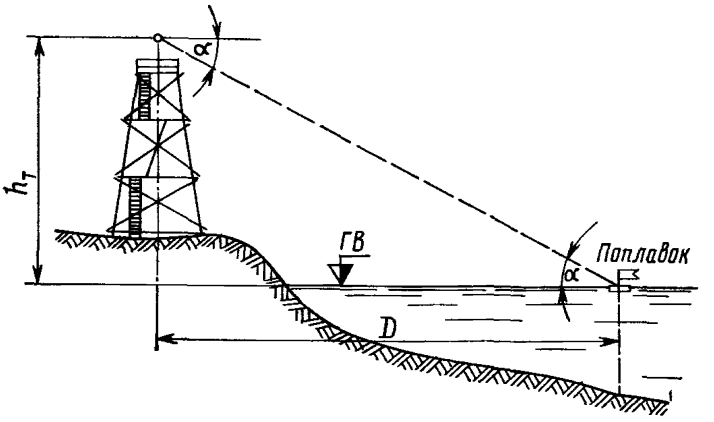


Рис. 5. Схема засечки поплавков одноточечным способом

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

Для рек шириной до 200 *м*	7— 9 траекторий
» » » » 500 »	9—11 »
» » » » 1000 »	11—13 »
» » свыше 1000 »	13—15 »

Траектории должны располагаться равномерно по ширине потока, для чего накладку поплавков желательно выполнять на вышке специальным прибором [46].

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

Минимальные вертикальные углы, допускаемые при засечках поплавков, приведены в табл. 2.

Максимальные промежутки времени в секундах между двумя засечками поплавка приведены в табл. 3.

Во время измерений линии урезов снимают одноточечным способом; при резком изменении уровня воды съемку урезов производят несколько раз.

4. Обработка поплавковых измерений заключается в накладке траекторий хода поплавков на планшеты.

Таблица 2

Высота горизонта инструмента над горизонтом воды, *м*	Масштабы съемок			
	1 : 500	1 : 1000	1 : 2000	1 : 5000
	Минимальные углы наклона			
10	4°	3°	2°	1°30′
20	6°	4°30′	3°	2°
30	8°	5°30′	4°	2°30′
40	10°	6°	4°30′	3°

Примечание. Таблица составлена для одноминутного теодолита; для 30-секундного теодолита указанные в таблице значения углов уменьшают вдвое.

Таблица 3

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

Накладку производят в полярных координатах по горизонтальному углу, отсчитанному от створа засечного пункта (вышки) и расстоянию от центра вышки до поплавка D (рис. 5), которое определяют по формуле

$$D = \frac{h_т}{\operatorname{tg} \alpha \pm i \sin \varphi}, \qquad (7)$$

где α — вертикальный уклон; i — продольный уклон потока; φ — горизонтальный угол между створом, проходящим через вышку, и направлением на поплавок (рис. 6); $h_т$ — превышение отметки горизонта инструмента над отметкой рабочего уровня воды в створе вышки.

В формуле (7) знак минус применяют 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:

$$H_{раб} = \frac{H_{нач} + H_{кон}}{2}. \qquad (8)$$

Разность $H_{нач} - H_{кон}$ не должна превышать:

Для	масштаба	планшета	1 : 1000	0,02 *м*
»	»	»	1 : 2000	0,05 »
»	»	»	1 : 5000	0,10 »

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

Для исключения поправки на уклон поплавковый планшет разбивают на участки по длине реки; для каждого участка вычисляют значение $h_т$ и расстояние до поплавка определяют по формуле

$$D = \frac{h_т}{\operatorname{tg} \alpha} \qquad (9)$$

двумя приближениями, первоначально задаваясь величиной $h_т$, определенной для створа вышки.

Количество участков для вычисления $h_т$ определяют по тем же условиям, что и количество рабочих уровней воды.

5. У каждой засечки поплавка на планшете выписывают отсчет по секундомеру (см. рис. 6).

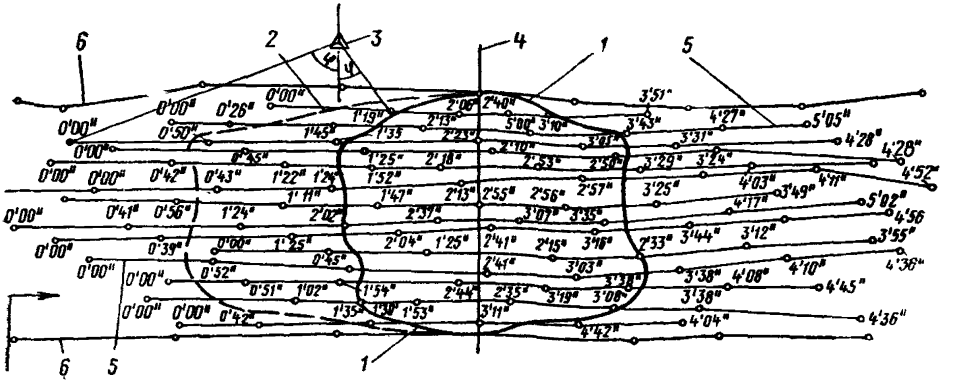


Рис. 6. Измерения направлений и скоростей течения поверхностными поплавками:
1 — эпюра равных времен; *2* — эпюра поплавковых скоростей; *3* — пункт засечки поплавков; *4* — створ наблюдений; *5* — траектории хода поплавков; *6* — линии урезов воды; *7* — направление течения

На планшетах с траекториями поплавков строят эпюры поплавковых скоростей.

Для этого предварительно проводят линии равных времен хода поплавков от выбранного сечения, откладывая в каждую сторону (при масштабе скорости 1 *см* — 0,2 *м/сек*) время хода:

При	масштабе	планшета	1 : 1000	25 *сек*
»	»	»	1 : 2000	50 »
»	»	»	1 : 5000	125 »

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 подводных отмелей, движущихся 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.

Таблица 4

Характеристики русла	Средняя глубина, *м*			
	1—5		>5	
	K_1	K_2	K_1	K_2
1. Русла прямые, чистые земляные (глина, песок), галечные, гравийные	0,84	0,66	0,86	0,67
2. Русла извилистые, частично заросшие травой, каменистые	0,80	0,63	0,83	0,65
3. Русла извилистые, сложенные из крупных валунов	0,74	0,59	0,82	0,62

6. 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.

Фиктивный расход $Q_ф$ ($м^3/сек$) определяют планиметрированием эпюры фиктивных элементарных расходов, а величину действительного расхода вычисляют как

$$Q = K_1 Q_ф;$$

коэффициент K_1 для приближенных расчетов определяют согласно табл. 4, составленной Г. В. Железняковым.

Для более точного определения K_1 [18] следует пользоваться формулой

$$K_1 = \frac{(2{,}3\sqrt{g} + 0{,}3C)\,C}{[(2{,}3 + \beta_*)\sqrt{g} + 0{,}3C]\,C + \beta_* g}, \qquad (10)$$

Таблица 5

H, м	n								
	0,015	0,020	0,025	0,030	0,040	0,050	0,080	0,10	0,20
	C (по Г. В. Железнякову)								
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	24,2	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

где C — коэффициент Шези ($м^{0,5}/сек$), принимаемый в зависимости от коэффициента шероховатости n по табл. 5 (n — находят по табл. 6, гл. III); $g=9{,}81$ $м/сек^2$; β_* — параметр формы живого сечения естественных русел, принимаемый в зависимости от отношения средней глубины H к максимальной h_{max}:

H/h_{max}	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00
β_*	1,21	1,13	1,07	1,02	1,00

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, а

$$K_2=\frac{(2{,}3\sqrt{g}+0{,}3C)C}{(4{,}1\sqrt{g}+0{,}4C)C+g}.$$

Для приближенных расчетов коэффициент K_2 определяют по табл. 4.

7. Траектории движения плотов, судов и составов определяют также одноточечным способом. Отдельно идущие суда засекают засечкой носа, а плоты и составы каждый раз двумя засечками носа буксира, а затем хвоста состава.

На планшет наносят траектории движения отдельных судов и векторы, характеризующие перемещение плотов или составов.

Количество этих наблюдений принимают:

На подъеме и пике паводка	по два наблюдения
» спаде	» три »
» межени	» четыре »

Участок наблюдений должен охватывать по одному плёсу и перекату, примыкающему к переходу (выше и ниже его), и быть не менее 10-кратной максимальной длины состава.

Измерения скоростей течения воды вертушками

8. На реках с весенним половодьем измерения производят после окончания ледохода, а при летних паводках с момента начала подъема уровня.

Измерения включают подъем, пик паводка и его спад до межени.

До выхода воды из берегов русла измерения производят через $\sim 0{,}5$ *м* по высоте уровня воды, а при выходе воды на пойму через $\sim 0{,}2$ *м* по высоте уровня и обязательно в момент пика паводка. Одно судно может обработать 8—10 вертикалей в день.

9. Если невозможно произвести разбивку и закрепление вертикалей створа до начала паводка, измерения производят:

1) в русле — установкой судна в створе двумя теодолитами; ввиду отсутствия профиля живого сечения створа, количество вертикалей увеличивают на 20—25%;

2) на пойме — с установкой лодки вблизи створа и закреплением отработанных вертикалей плавучими вехами на якорях; путь лодки на заросшей пойме накладывают схематично по румбам, а места наблюдений отмечают заметками на деревьях; после спада воды пойменные вертикали привязывают к створу.

10. Вертушки применяют не находившиеся в работе после последней тарировки и имеющие тарировочный паспорт.

Для любых условий работы пригодна универсальная (для работы на штанге и тросе) вертушка Н. Е. Жестовского с диапазоном измерений скоростей от 0,10 до 5 *м/сек*.

По окончании полевых работ производят контрольную тарировку вертушек. Если скорости, полученные по новому тарировочному уравнению, разнятся от первоначальных более чем на 5%, вводят поправки пропорционально времени работы вертушки.

11. Скорости течения на вертикали измеряют в точках, указанных в табл. 6.

Таблица 6

Глубина на вертикали, *м*	Число точек на вертикали	Положение точек на глубине, считая от поверхности воды
>3	5	Пов.; 0,2*h*; 0,6*h*; 0,8*h*; *h*—Δ
От 1 до 3	2	— 0,2*h* — 0,8*h* —
<1	1	0,6*h*

Примечание. Пов. — глубина погружения лопастей вертушки в воду; *h* — глубина вертикали, *м*; Δ — расстояние от низа груза до оси вертушки (от 0,10 до 0,60 *м*) в зависимости от работ на штанге или тросе, а также от размеров груза и донного контакта.

Если опускание вертушки на глубину 0,6 *h* затруднительно, допускается измерять скорость в точке на 0,2 *h*. Продолжительность измерений в каждой точке вертикали зависит от скорости течения.

Если в течение 100 *сек* поступят три и более сигналов, то по первому по истечении 100 *сек* сигналу измерение в точке прекращают.

Если в течение 100 *сек* поступят менее трех сигналов, то наблюдение продолжают до четырех сигналов.

12. После установки лодки на створе наблюдений определяют фактическое положение вертикали.

Если угол отклонения струй от нормали к створу более 10°, его измеряют по данным совместных поплавковых наблюдений или засечкой привязанного к лодке поплавка с точностью до 1°.

Для определения поправки к глубине погружения вертушки на относ троса течением [18] измеряют углы отклонения троса от вертикали: угол φ_1 при погружении вертушки под поверхность воды (с точностью до 5°) и угол φ_2 при погружении на данную точку вертикали (с точностью до 2°).

Относительные поправки Δl к длине подводной части троса l, измеренной по счетчику на лебедке (со знаком минус), даны в табл. 7.

Глубину до 3 *м* измеряют на вертикали по градуированной штанге или промерной рейке с точностью до 5 *см*.

При больших глубинах и скоростях течения рекомендуется параллельно с промером глубин по счетчику на лебедке производить контрольные промеры глубин эхолотом.

13. Техник, измеряющий скорости течения, должен соблюдать общие обязательные правила техники безопасности, а также обязан:

а) перед началом работ осмотреть судно и устранить неисправности;

б) иметь спасательные принадлежности для работающих на судне людей;

в) знать правила судовой сигнализации и немедленно отвечать на сигналы судов;

Таблица 7

φ, *град*	φ_1 *град*		
	0	10	20
	$\Delta l/l$		
10	0,01	0,01	—
20	0,02	0,02	0,03
30	0,04	0,05	0,06
40	0,08	0,09	0,10

г) при опасности столкновения с плывущим судном или составом быстро снимать судно с якоря;

д) быстро уходить к берегу или отцеплять паром от троса при опасности столкновения с плывущими крупными карчами. Начальник партии должен согласовать производство работ с пароходством и с организациями лесосплава. Начальник партии обязан проинструктировать персонал, работающий на реке, и систематически контролировать соблюдение правил техники безопасности.

14. При выполнении измерений вертушкой с существующего моста следует учитывать изменчивость подмостового русла вследствие размыва, что требует промеров глубин при каждом измерении. Промеры рекомендуется выполнять эхолотом «Язь» с удлиненным кабелем вибратора.

15. На переходах в морских устьях рек измеряют скорости и направления течения.

Бытовой режим рек в морских устьях искажен приливом-отливом и ветровым сгоном-нагоном, которые вызывают изменение уровня воды, скоростей течения и их направления.

При приливах и нагонах на устьевом участке течение замедляется и принимает обратное направление. При отливах и сгонах течение воды ускоряется. Режим реки на приливном участке изучают наблюдениями в течение всего паводка.

Наблюдения проводят непрерывно в течение полной приливно-отливной фазы. Измерение на вертикали начинают с донной точки, 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 повторяют снова. Работу начинают за 30 *мин* до наступления максимума прилива и заканчивают на 30 *мин* позднее наступления следующего максимума.

Момент наступления максимума прилива перемещается по времени суток, поэтому для правильной организации наблюдений необходимо составить расписание ежедневного начала и конца наблюдений.

В зоне прилива-отлива измеряют продольные уклоны водной поверхности по трем постам через каждые 30 *мин.*

График наблюдений при сгонно-нагонных явлениях составляют с учетом ветрового режима на данном участке.

Для построения зависимостей Q, v, ω, $i=f(H_y)$, кроме наблюдений в районе перехода, организуют параллельные наблюдения на контрольном створе, расположенном вне зоны прилива или ветрового нагона воды. В качестве контрольного используют створ Гидрометеослужбы или другой организации.

§ 14. КАМЕРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

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

а) пятиточечном

$$u_{ср}=0{,}1\,(u_{пов}+3u_{0{,}2h}+3u_{0{,}6h}+2u_{0{,}8h}+u_{дон}); \qquad (11)$$

б) двухточечном

$$u_{ср}=\frac{u_{0{,}2h}+u_{0{,}8h}}{2}; \qquad (12)$$

в) одноточечном

$$u_{ср}=u_{0{,}6h}. \qquad (13)$$

При измерении скорости в точке $0{,}2h$ $u_{ср}\approx 0{,}9\ u_{0{,}2h}$.

Для построения эпюры средних скоростей по ширине потока определяют средний рабочий уровень воды в период наблюдений.

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 большем изменении уровня отметку рабочего уровня определяют по формуле

$$H_{раб}=\frac{q_1H_1+q_2H_2+\ldots+q_nH_n}{q_1+q_2+\ldots+q_n}, \qquad (14)$$

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

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

$$q=u_{ср}h\cos\alpha, \qquad (15)$$

где $u_{ср}$ — средняя скорость, *м/сек*; h — глубина, вычисляемая от рабочего уровня, *м*; α — угол отклонения струй от нормали к створу, учитываемый при $\alpha\geqslant 6^\circ$.

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

Расход по створу (Q *м*³/*сек*) определяют планиметрированием фигуры, ограниченной линией расходов на вертикалях и линией среднего рабочего уровня.

Масштабы живых сечений и эпюр принимают:

а) горизонтальных расстояний 1 : 500—1 : 10 000;

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 *м*²/*сек*.

По данным каждого измерения, вычисляют значения H, ω, v, i и n для живого сечения русла или участка поймы.

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

3. Точность гидрометрических измерений определяют согласно работе [19]. Вычисления при обработке данных гидрометрических измерений производят с точностью, указанной в табл. 8.

Таблица 8

№ п/п	Гидрометрические величины	Обозначение	Размерность	Точность вычислений
1	Уровни воды	H_y	*м*	0,01 *м*
2	Площади живых сечений	ω	*м*²	1,0 *м*²
3	Скорости течения	v и u	*м/сек*	0,01 *м/сек*
4	Глубины	h	*м*	0,05 *м*
5	Расходы на вертикали	q	*м*²/*сек*	0,01 *м*²/*сек*
6	» по живому сечению	Q	*м*³/*сек*	1,0 *м*³/*сек*
7	Ширина по зеркалу воды	B	*м*	1,0 *м*

4. 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

$$u_{ср}=\frac{1}{2(n-1)}(u_1+2u_2+\ldots+2u_{n-1}+u_n), \qquad (16)$$

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).

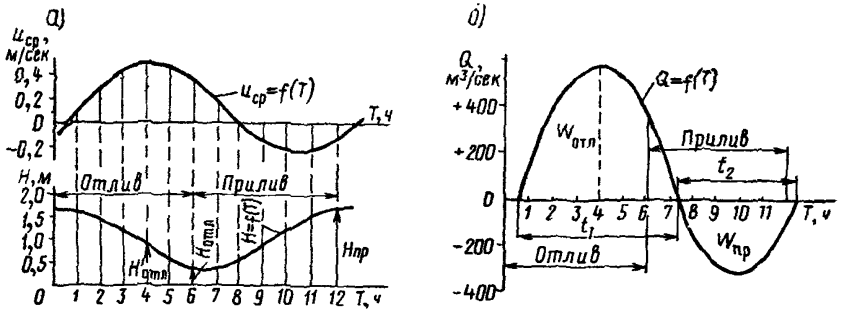


Рис. 7. Изменение гидрологических характеристик реки за приливно-отливный цикл:
а — кривые хода уровней и скоростей на вертикали по фазам прилива и отлива; *б* — кривая хода полных расходов воды по фазам прилива и отлива

По вычисленным средним скоростям на вертикалях строят отдельно для каждого часа наблюдения эпюры $u_{ср}$ (рис. 7, *а*) и вычисляют полные расходы согласно указаниям п. 2.

По вычисленным для каждого часа полным расходам строят кривую хода расходов по фазам прилива-отлива (рис. 7, *б*). Площади фигур, ограниченные линией хода расходов и линией времени, равны объемам стока (в $м^3$) соответственно за фазу отлива $W_{отл}$ и фазу прилива $W_{пр}$.

Объем речного стока $W_{реч}$ за весь приливо-отливный цикл

$$W_{реч}=W_{отл}-W_{пр}. \qquad (17)$$

Средний за приливо-отливный цикл расход речной воды

$$Q_{реч}=\frac{W_{реч}}{t_1+t_2}, \qquad (18)$$

где t_1 и t_2 — продолжительность течений одного знака (см. рис. 7, *б*).

Наибольший расход воды Q'_{max} за приливо-отливный 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:

$$Q_{реч}=f\left(\frac{H_{пр}+H_{отл}}{2}\right); \qquad (19)$$

$$Q'_{max}=f(H'_{отл}); \qquad (20)$$

$$\Delta Q=f\left(\frac{H_{пр}+H_{отл}}{2}\right). \qquad (21)$$

5. По результатам измерений вертушкой и поплавками с использованием данных наблюдений по ближайшему гидрометрическому

створу строят зависимости расхода от уровня воды $Q=f(H_у)$, а также зависимости других гидрологических элементов: ω, v, $i=f(H_у)$.

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

Тесная связь между уровнями и расходами воды получается при устойчивом русле реки, постоянной шероховатости и уклоне, когда разброс точек на графике обусловливается только ошибками измерений (рис. 8, *а*).

Вследствие изменчивости уклона по фазам паводка расходы воды на подъеме больше расходов на спаде при том же уровне. Зависимость $Q=f(H_у)$ в этом случае экстраполируют по вершинам петель (см. рис. 8, *б*).

При построении зависимостей $Q=f(H_у)$ для рек с неустойчивым руслом разброс точек оказывается значительным и по ним можно провести только приближенные зависимости (см. рис. 8, *в*).

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

При экстраполяции кривой $v=f(H_у)$ следует учитывать, что при выходе воды на пойму [18] скорости в русле уменьшаются, а затем постепенно увеличиваются. Кривые $\omega=f(H_у)$ проводят по вычисленным точкам. Кривые $v=f(H_у)$ экстраполируют графически или при помощи построения двух вспомогательных графиков $i=f(H_у)$, $n=f(H_у)$ и вычисления значений $v_{ср}=\frac{1}{n}H^{\frac{2}{3}}i^{\frac{1}{2}}$.

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

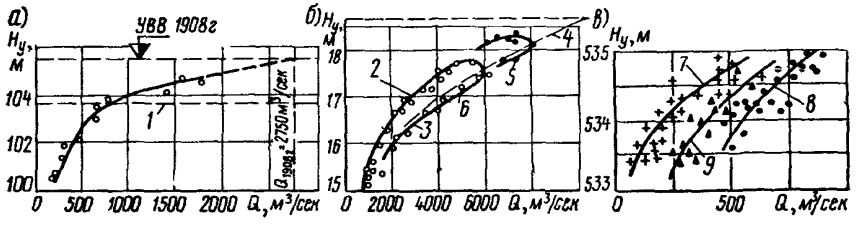


Рис. 8. Зависимости $Q=f(H)$:

а — зависимость $Q=f(H)$ при устойчивом русле и постоянном уклоне; *б* — зависимость $Q=f(H)$ 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 1953 г.; *6* — наблюдения 1958 г.; *7* — кривая 1965 г.; *8* — кривая 1967 г.; *9* — кривая 1960 г.

В сложных случаях (наличие обширных пойм и спрямляющих течений на излучинах русла, вызывающих поперечный водообмен между руслом и поймами) экстраполяцию указанных зависимостей выполняют согласно «Пособию по экстраполяции кривых» [53].

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.

8. 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 $Q=f(H_y)$ строят зависимость модулей расхода от уровня воды $\frac{Q}{\sqrt{i}}=f(H_y)$, которую экстраполируют до требуемого уровня.

Одновременно строят зависимость $i=f(H_y)$, с которой 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.

Зависимости $Q=f(H_y)$ в зоне приливо-отливных течений строят по указаниям пп. 4—5.

9. На реках с неустойчивым руслом паводки сопровождаются размывами дна и заносами его, вследствие чего нарушается связь уровней с расходами.

В этом случае строят зависимости расходов от средних глубин $Q=f(H)$. Отметки среднего дна $H_{дна}$ вычисляют для каждого наблюдения по формуле

$$H_{дна}=H_y-H, \tag{22}$$

после чего строят зависимость $H_{дна}=f(Q)$.

Так как расчетные значения H_y 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_y.

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

$$H_{низ}=H_y-h_{max}. \tag{23}$$

§ 15. ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОМЕТОДОВ ДЛЯ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ

1. Аэрометодами определяют скорости и направления поверхностных течений, расходы воды, глубины и отметки уровней воды, направления судовых ходов и движения льдин. Работы проводят в соответствии с рекомендациями ВСН 37-67 [70]. Аэрометоды для получения натурных гидрометрических данных применяют на реках с шириной русла более 100 *м*.

Применение аэрометодов целесообразно при полном использовании летных средств. Для этого необходимо проводить аэрогидрометрические работы на ряде переходов или, если количество обследуемых переходов мало, аэрогидрометрические работы целесообразно выполнять попутно с основной работой летных средств (аэрофотосъемка вариантов трассы, транспортировка грузов и др.).

2. Летносъемочные работы выполняют при ширине разлива менее 100 *м* с использованием вертолета К-26, а при ширине разлива до 1,5 *км* и больше самолета Ан-2 или вертолета Ми-4. Самолет или вертолет должны быть оборудованы серийной аэрофотосъемочной аппаратурой (АФА).

3. Летносъемочные работы следует выполнять в пасмурную или облачную погоду, когда исследуемый участок покрыт сплошной тенью от облаков. В солнечную погоду работать рекомендуется рано утром или вечером, когда солнечные блики не попадают в объектив АФА.

4. Перед началом летносъемочных работ заготавливают сосуды с индикатором в количестве

$$N = 2an, \tag{24}$$

где a — число промерных точек (вертикалей) на створе наблюдений; n — общее число измерений в период прохождения паводка.

Накануне дня вылета сосуды заполняют жидким индикатором (смесь отработанного авиационного масла с керосином в пропорции 1 : 1, удельный вес 0,86 *т*/*м*^{3}) и устанавливают в самолете для последующего их сброса при измерениях скоростей.

Сосудом для индикатора служит бутыль емкостью 0,75 *л* с пластмассовой пробкой, в которой по окружности и на верхней поверхности имеются отверстия.

К низу бутыли прикрепляется бетонный балласт.

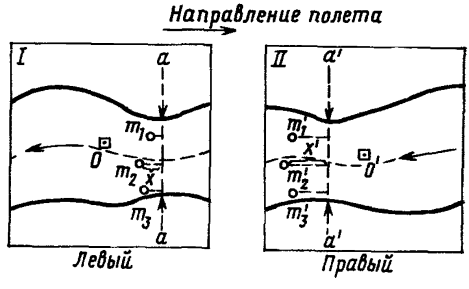


Рис. 9. Изображение поверхностных поплавков на смежных аэроснимках *I* и *II*: $O - O'$ центры снимков: m — точки, фиксированные индикатором; $a - a$ и $a' - a'$ — постоянный створ

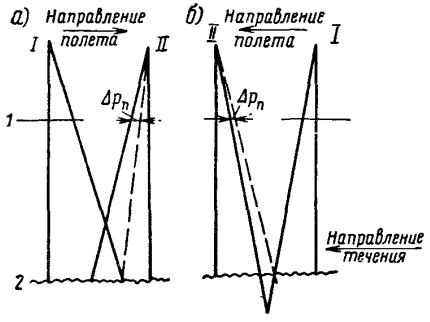


Рис. 10. Схема стереофотограмметрического измерения скоростей течения:
а — пересечение лучей, проектирующих смещение точки выше поверхности воды; *б* — пересечение лучей, проектирующих смещение точки ниже поверхности воды;
1 — плоскость аэроснимка; *2* — поверхность воды

Чтобы индикатор беспрепятственно выходил из бутыли, она должна занять на дне положение горлом вверх. Для этого в верхней части бутыли прикрепляют крестообразно два металлических стержня.

5. Поверхностные скорости определяют на основе измерения смещений мелких, плывущих по реке предметов (специально пущенных поплавков, струй индикатора, видных на снимке, щепок и др.). Смещение измеряют по перекрывающимся аэроснимкам (рис. 9). Разность расстояний $x'—x$ представляет собой смещение точек поверхности воды в масштабе аэрофотоснимков за интервал времени аэросъемки, зафиксированном на снимках от постоянного створа ($a—a$ и $a'—a'$ на рис. 9).

Поверхностную скорость течения в данной точке определяют по формуле

$$v_{пов} = \frac{(x' - x) H'_п}{\Delta t f_к}, \qquad (25)$$

где $H_п'$ — высота полета, *м*; $f_к$ — главное фокусное расстояние фотоаппарата, *мм*; Δt — интервал времени между моментами съемки, *сек*.

Смещение точек на аэрофотоснимках под воздействием течения (рис. 10) аналогично разностям продольных параллаксов Δp_n при отличии фотографируемой поверхности от плоскости. Поэтому при стереоскопическом рассматривании пары снимков поверхность воды будет казаться выпуклой или вогнутой в зависимости от направления полета тем больше, чем больше скорость течения.

При стереофотограмметрическом методе измерений поверхностную скорость (в *м/сек*) в данной точке определяют по формуле

$$u_{пов} = \frac{\Delta p_n H_n}{\Delta t f_к}, \qquad (26)$$

где Δp_n — разность продольных параллаксов, *мм*, определяемая стереометром по снимкам; H_n — высота съемки, устанавливаемая на шкале стереометра.

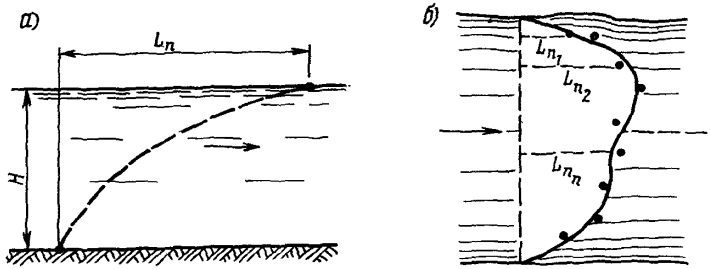


Рис. 11. Измерение расхода воды методом поплавков-интеграторов: а — траектория выхода поплавка-интегратора на поверхность; б — эпюра расходов на вертикали

Определение поверхностной скорости указанным способом возможно, если на перекрывающихся аэрофотоснимках изображены оба берега реки или какие-либо опорные точки (острова, бакены, буйки и др.).

Точность определения скорости равна $\pm 0{,}05$ *м/сек*.

6. Определение расходов аэрометодом основано на работе поплавков-интеграторов, представляющих собой жидкость, которая выливается из сосудов при соприкосновении их с дном (см. п. 4). В зависимости от средней скорости всплывания $u_{под}$, глубины и средней скорости на вертикали (рис. 11, *а*) поплавок появится на поверхности на расстоянии L_n от места его выпуска.

Расход ($м^2/сек$) на вертикали

$$q = 0{,}135 L_n. \qquad (27)$$

Соединяя кривой точки выхода поплавков на поверхность воды, получим эпюру элементарных расходов в некотором масштабе (рис. 11, *б*).

Суммарный расход находят, определяя площадь эпюры расходов на вертикалях.

7. Летносъемочные работы при определении расходов проводят в следующем порядке: пролетают вдоль створа наблюдений и сбрасывают сосуды с жидким индикатором. Одновременно фотографируют точки падения сосудов на поверхность воды. После набора самолетом заданной высоты фотографируют исследуемый участок в период выхода на поверхность воды жидкого индикатора из сброшенных по створу сосудов.

Эту съемку выполняют через 3—4 *мин* после сбрасывания, с тем чтобы установился выход индикатора и были бы видны струи жидкости на водной поверхности.

8. При наличии поперечных профилей водотока аэрометодами определяют только поверхностные скорости и направления поверхностных течений предварительно плывущих предметов, производят

маркировку водной поверхности, используя бутылки или колбы из тонкого стекла, наполненные каким-либо индикатором, листы белой бумаги и пр.

9. Значения поверхностных скоростей получают по аэроснимкам, обработанным на стереометре. Поверхностные скорости вычисляют для точек измерения по формуле (26). В этом случае расход воды получают, планиметрируя эпюру фиктивных расходов согласно указаниям п. 6 § 13.

10. Направление струй определяют по изображениям полос индикатора на аэроснимках.

При съемке в период ледохода или маркированной водной поверхности направление струй получают в виде векторов, длину и направление которых определяют по смещениям льдин или поплавков на смежных аэроснимках маршрута.

11. Условные отметки уровней определяют относительно репера (выбранного на одном из урезов вблизи створа перехода), отметка которого принята за начало высот. Превышения над началом высот устанавливают при помощи стереоскопических измерений.

Условные отметки уровней $H_{усл}$ получают из следующего выражения

$$H_{усл} = H_{ун} + h_{ср}, \tag{28}$$

где $H_{ун}$ — отметка репера условного начала высот; $h_{ср}$ — среднее из нескольких измерений превышение отметки репера над наблюденным уровнем воды.

12. Глубины в точках вертикалей при определении расходов поплавками-интеграторами для каждого цикла измерений находят по формуле

$$h \approx \frac{q}{K_1 u_{пов}}, \tag{29}$$

где K_1 — принимают по формуле (10) при $\beta_* = 1$.

Определение глубин по этой формуле с использованием скоростей и расходов, определенных аэрометодом, недостаточно точно. Поэтому профиль живого сечения получают как среднюю линию дна, проведенную между профилями, построенными по данным всех измерений расходов.

13. При изысканиях долинных ходов приближенный профиль водотока снимают на основе аэронивелирования, а уточненный продольный профиль водотока составляют при различных уровнях на основе измерения аэрофотоснимков и наземной геодезической привязки [70].

При использовании данных аэронивелирования следует учитывать, что точность отметок продольного профиля речной долины составляет $\pm 1{,}0$ *м*.

Урезные точки, имеющие аэронивелировочные отметки, наносят на профиль по расстояниям, полученным с фотосхемы. По нанесенным отметкам находят среднее положение профильной линии.

Глава III

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

§ 16. НАЗНАЧЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ

1. Условия применения морфометрических работ определяют согласно указаниям п. 5 § 3.

В зависимости от назначения морфометрические работы применяют для определения гидрологического режима реки, русловых расчетов для выбора трассы долинных ходов, на пересечениях конусов выноса и селевых потоков.

Кроме того, морфометрические работы выполняют при проектировании искусственных русел, а также в связи с обследованием существующих мостовых переходов.

2. Морфометрические работы для определения гидрологического режима реки и русловых расчетов включают установление характерных уровней, построение продольного профиля реки, выбор и съемку морфостворов, типа руслового процесса и его расчетных параметров и других гидрологических данных, необходимых для проектирования перехода.

3. При проектировании дороги по долине реки, на поймах или косогорах, подтопляемых высокими водами, целью морфометрических работ является получение продольного профиля поверхности воды при расчетном расходе и определение максимальных скоростей течения.

Морфометрия существующих мостовых переходов предусматривает работы, необходимые для получения расчетных гидрологических характеристик для случаев проектирования, указанных в § 20.

4. Морфометрия конусов выноса включает работы, необходимые для учета специфических условий предгорных и горных районов. Морфометрия искусственных русел предусматривает работы, связанные с пересечением различного вида каналов и устройством спрямляющих, отводных и подводящих русел в районе проектируемых или существующих переходов.

§ 17. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕКИ

Уровенный режим

1. При определении уровенного режима реки по данным Гидрометеослужбы на ближайших водомерных постах устанавливают отметки и даты самых высоких, низких, ранних и поздних уровней ледостава, первой подвижки льда, весеннего ледохода, пика паводка или половодья, межени, осеннего и зимнего ледохода.

Расчетные и характерные уровни со створа водпоста переносят на створ перехода методами, изложенными в §§ 33 и 34, в соответствии с Указаниями по определению расчетных гидрологических характеристик [75].

2. В районе перехода устанавливают отметки и даты появления уровней:

а) высоких вод (УВВ);
б) высокого ледохода (УВЛ);
в) высокой подвижки льда (УВПЛ);
г) низкой подвижки льда (УНПЛ);
д) средней межени (УСМ);
е) низкой межени (УНМ);
ж) первой высокой подвижки льда (УВПЛ).

Эти уровни устанавливают по данным водомерных постов, по аналогии, опросом старожилов, по меткам и местным признакам.

Уровень высокого ледохода можно определить по повреждениям коры деревьев на берегах русла; уровень низкой межени — по минимальной глубине воды на гребне нижележащего переката.

При определении уровня высоких вод (УВВ) устанавливают даты половодий и собирают данные об уровнях за все годы, указанные местными жителями. Если точные даты неизвестны, необходимо установить время прохода паводков сообразно с их происхождением, а также количеством паводковых пиков в году.

Вероятности превышения установленных характерных уровней определяют по данным наблюдений на водпосту-аналоге.

3. Сведения о наивысших уровнях воды на реках СССР собраны в монографии Б. Д. Зайкова [20], а также в СН 435-72 [75].

Наиболее надежны данные водомерных постов, опубликованные в Ресурсах поверхностных вод СССР. При пользовании опубликованными данными необходимо проверять, не изменялись ли в процессе наблюдений нули графиков, отметки реперов и нули реек водпостов или государственной системы реперов и марок после повторных нивелировок, а также не переносились ли водпосты в другое место. Эти сведения публикуют в гидрологических ежегодниках и проверяют при изысканиях.

В отдельных случаях установить отметку УВВ можно лишь опросом старожилов или по следам паводков. Сведения об УВВ желательно получить в возможно большем числе мест на обоих берегах реки, не ограничивая район обследования. Места показаний уровня выбирают наиболее надежные, например урезные черты на штукатурке домов и т. п.

При определении года наивысшего половодья не следует пренебрегать и самыми приближенными данными. В сопоставлении с другими данными показания старожилов дают представление о периоде N лет, в течение которого данный УВВ не повторился; вероятность превышения УВВ равна $P_э \approx \frac{70}{N}\ \%$.

Показания об УВВ и режиме реки оформляют актом опроса (см. приложение 1).

4. Отметки УВВ по следам на местности определяют при сомнении в правильности показаний старожилов, а также в случаях съемки продольного профиля реки (см. п. 7).

К следам на местности относятся:

а) наносник (мелкие сучки, обломки тросника, пучки травы, ил и т. п.) на стволах деревьев и пологих берегах;

б) отложения наносов или нефти на коре деревьев и в расщелинах скал;

в) полоса смыва «пустынного загара» на скальных берегах;

г) следы подмыва водой крутых берегов;

д) границы распространения пойменной растительности в засушливых районах;

е) линия изменения цвета и состава травы на склонах пойменной террасы;

ж) линия смачивания оштукатуренных и деревянных стен зданий, а также лёссовой или глинистой незадернованной поверхности древних конусов выноса в пустынных предгорных районах.

При определении отметки УВВ по местным признакам остаются неизвестными год паводка, оставившего следы и период, за который этот паводок был наивысшим. Поэтому надо опросным путем получить сведения об УВВ за различные годы (даже вдали от перехода) для дешифрирования найденных следов во времени.

Определяя отметки УВВ по следам, следует учитывать, что нижняя (наиболее яркая) граница полосы смыва «пустынного загара» может быть отнесена к среднему паводочному уровню, а верхняя (слабо очерченная) к уровню повторяемостью 1 раз в 5—10 лет; следы более редких половодий, если они прошли давно, обычно не сохраняются. То же относится и к многоярусным следам подмыва крутых нескальных берегов.

Следы, оставшиеся на стволах деревьев, а также ботанические признаки, указывающие на затопление пойменных террас, следует отнести к паводкам повторяемостью 1 раз в 10—15 лет.

5. Если створ расположен на излучине русла, то отметки УВВ на берегах могут различаться на величину Δh вследствие поперечного уклона водной поверхности.

По разности этих уровней Δh можно приближенно определить среднюю скорость потока как $v_{ср}=\sqrt{\frac{\Delta h}{b_р}Rg}$,

где R — средний радиус излучины; $b_р$ — ширина русла; g — ускорение силы тяжести.

На горных реках разность отметок УВВ по берегам бывает большой, когда:

а) основная часть потока концентрируется в наиболее разработанной части русла, а на остальной части водной поверхности наблюдаются значительные поперечные уклоны;

б) основная часть потока прорывается на пойменную террасу, и, не выработав нового русла, возвращается в старое; при этом отметки УВВ на поймах оказываются выше, чем в русле;

в) река протекает в древнем конусе выноса, и поймы расположены на более низких отметках, чем бровки русла, при этом отметки УВВ на поймах ниже, чем в русле.

В этих случаях отметки УВВ, определенные для какого-нибудь участка морфоствора, не могут быть использованы для построения зависимости расхода от уровня для всего створа. Если есть данные о поперечном уклоне водной поверхности на морфостворе, расходы вычисляют по участкам створа с учетом поперечного уклона и косины потока.

Продольный профиль реки

6. Для определения уклона свободной поверхности потока снимают продольный профиль по урезу воды в русле. При этом промеряют глубины по фарватеру в характерных точках дна (гребень переката, плёсовая лощина). В этих же местах определяют отметки бровок берегов и наиболее пониженных участков современных прирусловых валов.

Протяженность съемки продольного профиля устанавливают исходя из следующих соображений:

а) при режиме реки, не нарушенном гидротехническими сооружениями, профиль снимают на протяжении ситуационной схемы перехода, но не менее одного плёса и одного переката для рек при $F > 50\,000$ *км*^{2}, двух плёсов и двух перекатов для рек при $2\,000 < F < 50\,000$ *км*^{2} и трех — пяти плёсов и перекатов для рек с меньшей площадью водосбора;

б) если за пределами ситуационной схемы на расстоянии до 5 *км* расположен водпост ГМС, то продольный профиль доводят до него, при этом площади водосборов для водпоста и перехода должны различаться не более чем на 25%;

в) если переход находится в зоне подпора другой рекой, профиль снимают вниз от перехода до устья, где определяют отметку УВВ подпирающей реки; вверх от перехода продольный профиль снимают до конца кривой подпора; при длине кривой подпора выше перехода более ~ 5 *км* продольный профиль снимают на этом протяжении, а на участке до конца кривой подпора профиль составляют по картографическому материалу;

г) если переход находится на участке реки, зарегулированном в межень каскадом малых плотин, не влияющих на проход весенних паводков, профиль снимают на участке от нижнего бьефа нижерасположенной плотины до конца распространения подпора вышерасположенной плотины;

д) при расположении мостового перехода в верхнем или нижнем бьефе крупной плотины данные для построения продольного профиля получают в организациях, ведающих проектированием или эксплуатацией плотины.

7. При наличии фотопланов и карт масштаба не мельче 1 : 25 000, на которых водоток имеет ширину русла не менее 2 *мм* в масштабе карты, продольный профиль реки снимают нивелированием с определением расстояний между точками урезов воды дальномером.

Точки для нивелирования урезов берут в характерных местах, определяющих переломы свободной поверхности воды: в начале и

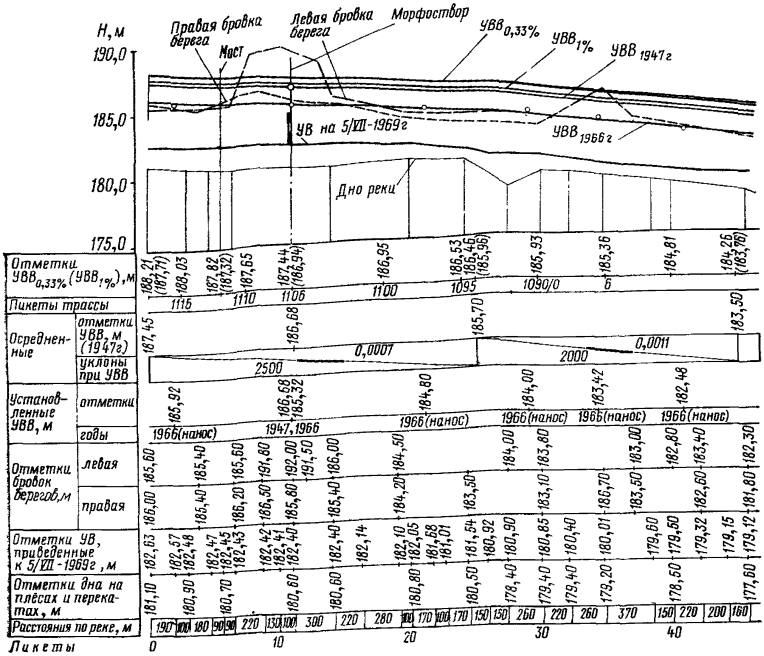


Рис. 1. Продольный профиль реки по руслу

конце перекатов и плёсов, в устьях притоков и крупных логов, у мостов, гидротехнических сооружений и т. д.

Опознавая эти точки на фотоплане или карте, определяют расстояния между ними для составления продольного профиля.

Если картографической основы нет, то прокладывают теодолитный ход на участке съемки профиля: к нему привязывают урезные точки и с него снимают план русла.

При съемке продольного профиля устраивают временные водомерные посты и отмечают время при нивелировании урезов, отметки которых приводят к одному моменту времени введением поправок по наблюдениям на водомерном посту.

На протяжении продольного профиля (рис. 1) устанавливают возможно большее число отметок УВВ за различные годы, отметки заторов, зажоров, навалов льда на берега и заломов лесосплава. Места определения УВВ и других уровней привязывают к продольному профилю реки и наносят на ситуационную схему перехода (рис. 2). Рекомендуемые масштабы профиля приведены в табл. 1.

8. На продольном профиле реки наносят линии свободной поверхности и очертания берегов, определяют уклоны потока при УВВ.



Рис. 2. Ситуационно-гидрологическая схема мостового перехода:

1 — автомобильная дорога III категории; *2* — автодорожный мост: *3* — морфоствор № 1; *4* — морфоствор № 2; *5* — начало выхода воды на пойму; *6* — спрямляющие течения; *7* — трасса проектируемого перехода; *8* — роза скоростей ветра в *м/сек*

Продольный профиль свободной поверхности в межень отличается от профиля ее при паводках. До уровня выхода воды на пойму уклоны на плёсах увеличиваются, а на перекатах уменьшаются. Если поймы имеют однообразную ширину и глубину и уклон их поверхности мало отличается от среднего уклона дна русла, то при дальнейшем подъеме уровня уклон свободной поверхности обычно не изменяется.

Таблица 1

Протяжение профиля, *м*	Масштабы	
	горизонтальный	вертикальный
До 2 000	1 : 5 000	1 : 100
„ 5 000	1 : 10 000	1 : 100
„ *10 000*	*1 : 20 000—1 : 25 000*	*1 : 200*

Если ниже по течению долина расширяется, уклон при УВВ увеличивается; если долина сужается или резко поворачивает, то уклон уменьшается. Для определения паводочного уклона используют следы наносов прошедших паводков.

9. Построение линии свободной поверхности производят по участкам продольного профиля водотока, имеющим примерно однообразный уклон уреза воды или дна на момент съемки.

Построение линии свободной поверхности при расчетном расходе воды контролируют подбором уровней для известного расхода по морфостворам.

Выбор и съемка морфостворов

10. Морфостворы намечают предварительно по картографическому материалу и располагают нормально к направлениям руслового и пойменного потока. Морфостворы в необходимых случаях делают ломаными (рис. 3).

На меандрирующих реках морфоствор располагают в наиболее узком месте поймы с наименьшим числом стариц и проток на участках, где направления руслового и пойменного потоков параллельны.

На полугорных реках, где русло приподнято над долиной и поток образует выпуклую поверхность с более высокими отметками по фарватеру, морфоствор намечают по плану перехода в горизонталях. Русловая часть пересекается нормально, а на поймах створы намечают параллельно горизонталям. На реках с блуждающим руслом морфостворы назначают в местах наименьшей ширины зоны блуждания.

11. На обследуемом участке реки разбивают морфостворы для:

а) построения профиля свободной поверхности при расчетном уровне;

б) определения расходов и уровней воды;

в) распределения расчетного расхода воды между руслом и поймами на мостовом переходе.

Морфоствор для распределения расчетного расхода между рус-

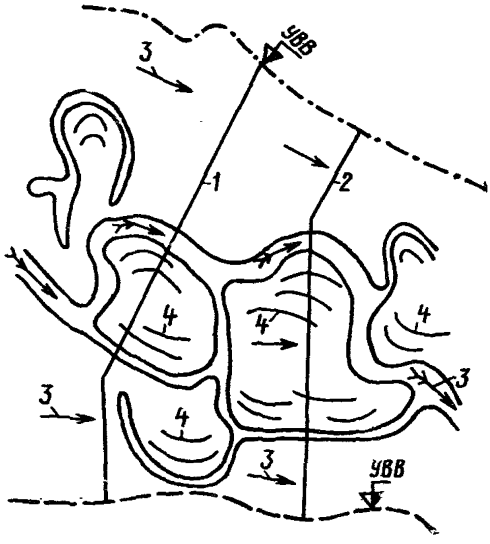


Рис. 3. Расположение ломаных морфостворов:

1 и *2* — морфостворы; *3* — направления течений; *4* — старые прирусловые валы

лом и поймами располагают непосредственно выше трассы перехода.

12. Морфостворы снимают тахеометром и привязывают к продольному профилю реки. Границами морфоствора являются отметки земли, превышающие отметки, установленные УВВ на 1—2 *м* для уровней весенних половодий и на 2—3 *м* для ливневых паводков (см. рис. 4).

При съемке морфоствора снимают ситуацию по 100 *м* в каждую сторону, а также описывают ситуационно-морфологические особенности русла и поймы.

К последним относятся:

а) пойменные озера, староречья, протоки, спрямляющие течения, прорывы перешейков излучин русла, постоянно действующие водотоки.

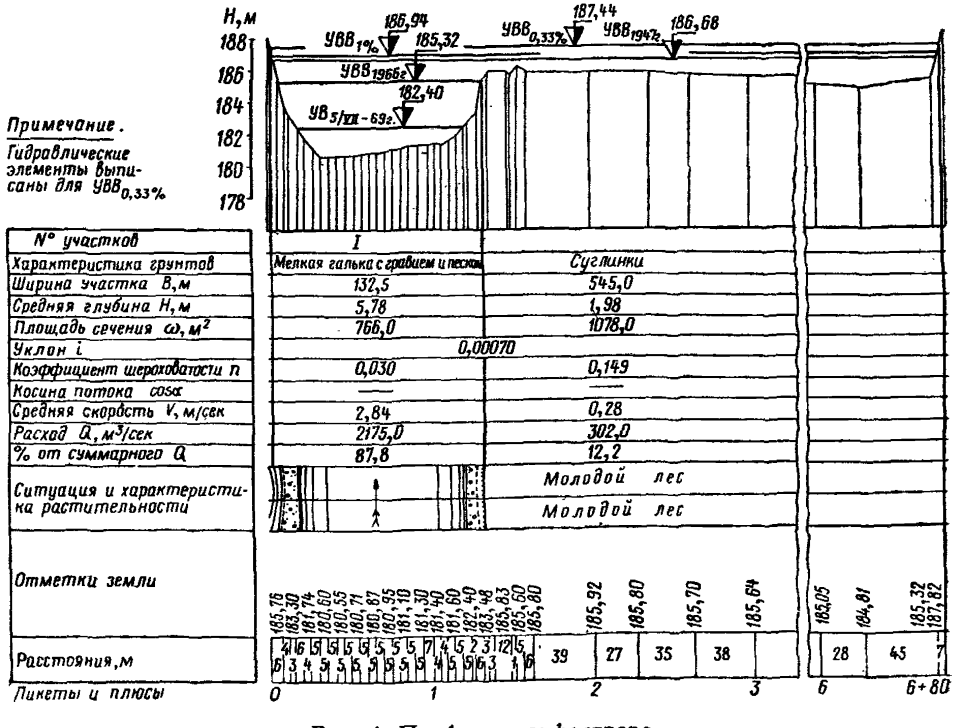


Рис. 4. Профиль морфоствора

б) густота пойменной растительности, трава и ее высота выше и ниже створа перехода, насыпи и другие сооружения;

в) характеристика грунтов в русле реки и на незадернованных участках поймы;

г) границы участков морфоствора, имеющих различное сопротивление течению, частота затопления поймы.

13. Об интенсивности течения и направлении струй на пойме судят по оставшимся после половодья коряжнику и поваленным деревьям, по крупности аллювия, отложенного в виде вытянутых по течению кос, по воронкообразным размывам у крупных деревьев.

14. На крупных реках 2—3 раза измеряют скорости течения в русле поплавками или вертушкой (см. гл. II) с измерением уклонов по урезным кольям. Это позволяет установить начальную точку для построения кривой расходов, а также значения коэффициентов шероховатости при межени.

15. При съемке морфостворов на горных водотоках берут пробы для гранулометрического анализа руслового аллювия и визуально определяют размеры наиболее крупных камней и среднюю крупность русловых отложений согласно приложению 2.

Крупность аллювия, отложенного на повороте русла, может не соответствовать крупности влекомых в паводок наносов, так как на плёсах при спаде воды откладываются мелкие фракции, покрывая крупные, двигавшиеся при высоком уровне.

§ 18. ОБСЛЕДОВАНИЕ ДЛЯ РУСЛОВЫХ РАСЧЕТОВ

1. Данные для русловых расчетов получают по материалам русловых съемок на участке перехода. Минимальные их размеры (см. гл. VII) в зависимости от типа руслового процесса приведены в табл. 2.

Таблица 2

Тип руслового процесса	Протяженность русловой съемки по длине реки	Тип руслового процесса	Протяженность русловой съемки по длине реки
Ленточно-грядовый	Три шага гряды	Ограниченное меандрирование	Два шага излучины
Побочневый	Четыре шага побочня	Свободное меандрирование	Пересекаемая и две смежные излучины
Осередковый	Ширина зоны блуждания (Периодические промеры по трем створам)	Незавершенное меандрирование	Пересекаемая излучина и спрямляющая протока и вышележащие излучина и прогока

2. Если при побочневом типе руслового процесса русло периодически расширяется в пойменных бровках, то выбирают однородный участок реки и на нем измеряют по 15—20 створам ширину русла в бровках. Однородным считается участок реки без крупных прито-

ков с однородным геологическим строением, на протяжении которого площадь водосбора изменяется не более чем на 15%. Створы выбирают в местах наибольшего расширения русла. К расчету принимают наибольшую ширину русла.

3. При блуждающем русле определяют расчетную ширину зоны блуждания, для чего выбирают морфологически однородный участок русла, на котором по 15—20 створам определяют ширину зоны блуждания; к расчету принимают наибольшую ширину. Максимальные глубины, которые могут образоваться в одной из проток при свале в нее большей части расхода на спаде паводка, определяют аналогично. Для этого используют промеры глубин за ряд лет на гидростворе у водомерного поста на выбранном участке реки (см. гл. VII).

4. При свободном меандрировании прорывы перешейков между развитыми излучинами происходят в разное время и на однородном участке реки можно наблюдать излучины, находящиеся в различных стадиях развития. Это позволяет получить морфометрические связи для прогнозирования. По имеющимся картографическим материалам намечают 15—20 излучин, для каждой из которых определяют: длину $S_и$, шаг $\lambda_и$, угол разворота $\alpha_и$, расстояние от середины шага излучины до ее вершины $a_и$ и наименьший радиус кривизны излучины $r_и = \frac{\lambda_и^2}{4a_и}$. Если излучина асимметрична в плане (что бывает при $\alpha_и > 140°$), она имеет обычно две вершины, для каждой из которых определяют $r_и$.

На тех же излучинах снимают створы, проходящие через вершины излучин (в случае разделения плёсов на излучине разбивают два створа). На створах определяют: ширину русла в бровках $B_и$, среднюю $\bar{H}_к$ и максимальную h_{max} глубины при расчетном уровне.

5. По перечисленным характеристикам свободно меандрирующего русла строят графики $\frac{S}{\lambda_и} = f(\alpha_и)$, где $\alpha_и$ — угол разворота излучины: для одноплёсовых излучин также строят график глубины плёсовой лощины $h_{max} = f\left(\frac{S}{\lambda_и}\right)$ (см. рис. 5).

Для многоплёсовых излучин строят связи

$$h_{max} = f(r_и) \quad \text{или} \quad \frac{h_{max}}{\bar{H}_к} = f\left(\frac{B_к}{r_и}\right).$$

Если есть планы разновременных съемок выбранного участка русла, то по совмещенным излучинам на планах определяют угловую скорость их разворота $\frac{\Delta\alpha_и}{\Delta t}$, где $\Delta\alpha_и$ — изменение угла разворота излучины за время между съемками.

Зависимость $\frac{\Delta\alpha_и}{\Delta t} = f\left(\frac{S}{\lambda}\right)$, построенная по натурным данным,

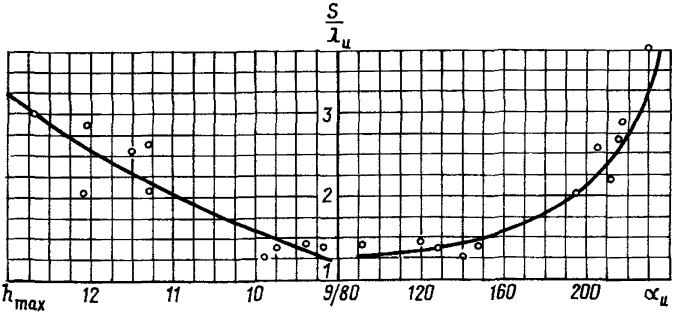


Рис. 5. Зависимости максимальной глубины h_{max} и угла разворота излучины $\alpha_и$ от показателя ее развития $S/\lambda_и$

позволяет уточнить коэффициент скорости развития излучины $K_{из}$ (см. гл. VII), используя зависимость $\frac{S}{\lambda_и} = f(\alpha_и)$ и выражая $\frac{\Delta\alpha_и}{\Delta t}$ в долях от его максимального значения.

Морфометрические обследования смешанных типов руслового процесса, в частности пойменной многорукавности, выполняют по специальным программам, составляемым с учетом приведенных выше рекомендаций.

§ 19. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ 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 : 10 000 или 1 : 25 000; 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. § 29). 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. § 17). 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.

Основой съемки для составления продольного профиля реки при долинном ходе служит теодолитный ход по трассе, к которому при-

вязывают нивелирование урезов, морфостворы и план русла, или сама трасса дороги.

Для переноса отметок $УВВ_{P\%}$ от русла реки на трассу составляют ситуационную схему долины реки, на которой показывают трассу дороги, русло с отметками $УВВ_{P\%}$, устья притоков, гидротехнические сооружения и мосты, населенные пункты, водомерные посты, морфостворы, границы разлива и растительности с характеристиками ее и розу ветров.

Для составления ситуационной схемы долины используют карты масштабов не мельче 1 : 50 000; 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 $УВВ_{P\%}$.

3. Скорости течения на пойме вдоль речного откоса земляного полотна, подтопляемого при $УВВ_{P\%}$, определяют по двум морфостворам в начале и конце участка подтопления (см. § 17). 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. § 41), по исходным данным, определяемым 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 (см. табл. 2). По материалам съемок прогнозируют русловой процесс (см. гл. VII) и в необходимых случаях предусматривают укрепление подмываемого берега русла или его спрямление.

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. IX).

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 : 10 000.

Если в пределах отсеченной части поймы необходимо устроить несколько искусственных сооружений для водотоков, то устанавливают 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.

§ 20. ОБСЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

1. Морфометрическое обследование существующих мостовых переходов проводят:

а) при проектировании реконструкции мостового перехода или отдельных его элементов ввиду неудовлетворительной их работы;

б) при проектировании моста под второй путь;

в) при проектировании нового перехода, если вблизи его расположены существующие железнодорожные или автодорожные мосты.

Обследование водотоков, пересекаемых существующими мостовыми переходами, проводят согласно указаниям п. 8 § 2 и § 17.

2. Если существующий мост пропустил близкие к расчетному половодья, то происшедшие изменения в режиме реки у перехода могут служить контролем расчетов и обоснований проектных решений. Если существующий мост пропустил половодья, меньшие расчетного, то установленные изменения бытового режима реки (подпоры, размывы) должны быть использованы для построения зависимостей их от УВВ.

Сведения о проходе высоких половодий 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 пролетные строения, с которых производились промеры, местоположение водомерных реек на опорах, когда и кем делались метки УВВ на устоях — при наивысшем уровне или после него.

3. По промерам под мостами строят совмещенные профили живых сечений за годы, когда русло располагалось в том или ином пролете, а также когда наибольшие глубины размещались у опор моста (рис. 6, *а*). 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 или уровня (рис. 6, *б*);

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

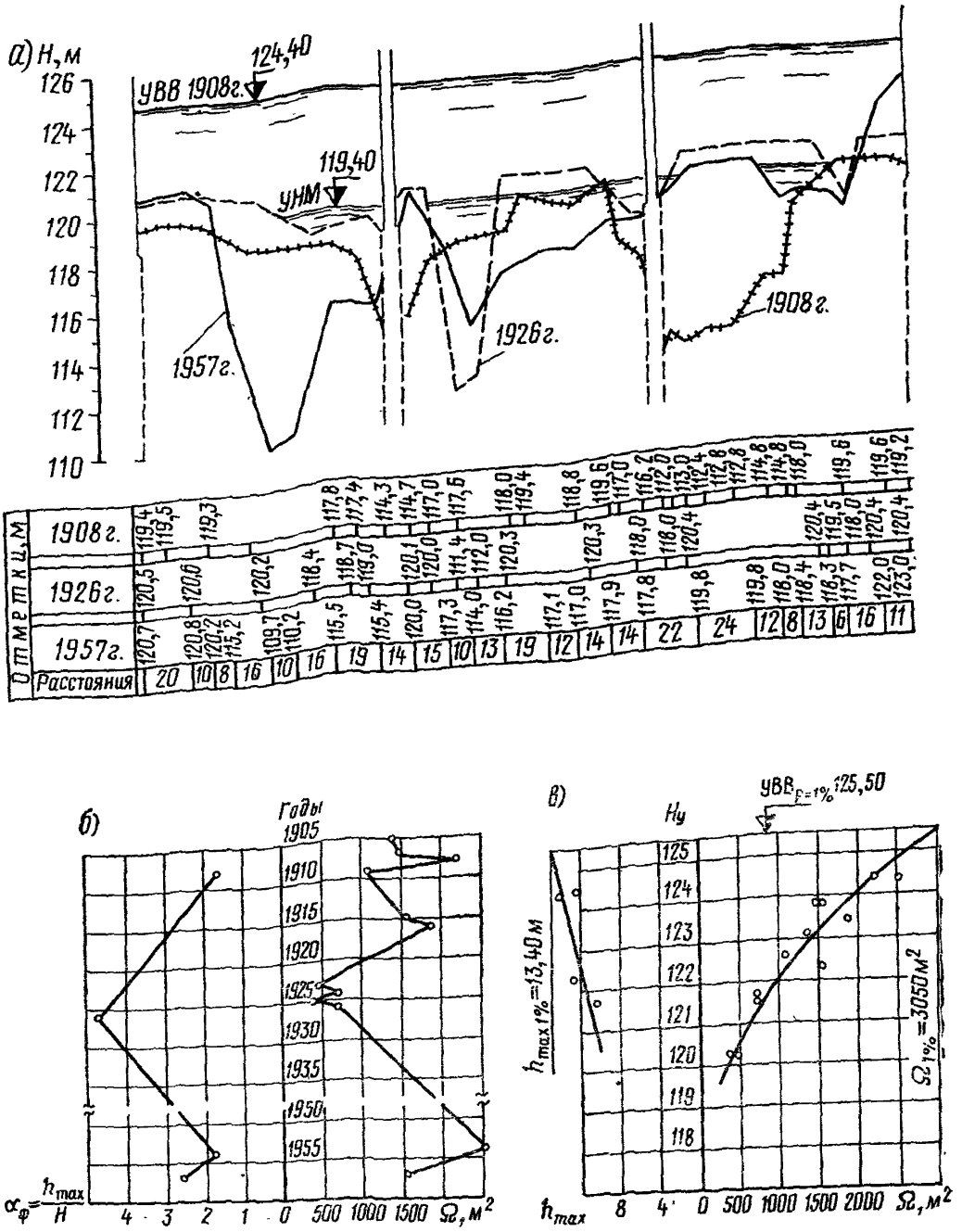


Рис. 6. Развитие размывов под мостом во времени:
а — совмещенные профили живых сечений подмостового русла; *б* — графики изменения рабочей площади Ω под мостом и коэффициента формы $\alpha = \frac{h_{max}}{H}$ по годам; *в* — зависимости рабочей площади Ω и максимальных глубин h_{max} от уровня воды $H_у$

в) коэффициента формы живого сечения $\alpha_ф = \frac{h_{max}}{H}$ под мостом от уровня или расхода; изменения этой величины и рабочей площади во времени представлены на рис. 6, *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 и 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. VII). Если плановые материалы отсутствуют, то перемещения устанавливают по опросу старожилов и составляют глазомерную схему положений русла в районе перехода за различные годы;

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

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

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

5. На основании материалов (п. 4) проводят анализ работы мостового перехода (см. § 9).

Если предусматривается реконструкция перехода, то на основании указанного анализа намечают мероприятия по улучшению работы элементов перехода.

Если вблизи проектируется новый мостовой переход, то данные анализа используют для принятия проектных решений.

6. При обследовании переходов с пойменными мостами собирают следующие данные об их работе:

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

б) профили живых сечений под мостами, тип укреплений русел и глубину размывов ниже мостов;

в) отметки уровня подпертой воды с верховой стороны моста (на верховом откосе насыпи), под мостом (по меткам на устоях) и ниже моста (на низовом откосе насыпи);

г) расходы воды, пропускаемые каждым пойменным мостом, и скорости течения под мостами при определенном в натуре УВВ;

д) гидравлическая схема протекания расчетного расхода; затопленный или незатопленный водослив.

Таблица 3

Характеристика пойменного отверстия	φ
Мост на понижении поймы	0,5
Мост через протоку, действующую только во время паводка	0,6
Мост через протоку с ясно выраженным руслом	0,7

7. Расход Q, пропускаемый пойменным мостом, определяют по формуле

$$Q=\omega_м \varphi \sqrt{2g\Delta z},$$

где $\omega_м$ — площадь живого сечения потока под мостом, $м^2$; φ — коэффициент, принимаемый по табл. 3; g — ускорение силы тяжести, $м/сек^2$; Δz — разность уровней воды с верховой стороны насыпи у границы разлива и в отверстии моста.

При устройстве малых мостов с укрепленным дном на трассе долинного хода, попадающего на пойму, расход Q определяют по установленным в натуре глубине подпертой воды перед сооружением $H_п$ и бытовой глубине воды с низовой стороны сооружения $h_б$ или по глубине воды под мостом h и глубине $h_б$.

Если $h_б \leqslant 1{,}25h$, то мост работает как незатопленный водослив. В этом случае:

$$H_п = 1{,}6h; \tag{1}$$

$$Q = 1{,}55bH_п^{\frac{3}{2}}; \tag{2}$$

$$v = 2{,}48\sqrt{H_п}, \tag{3}$$

где b — отверстие моста в свету, $м$; v — средняя скорость в отверстии, $м/сек$.

Если $h_б > 1{,}25h$, то пойменный мост работает как затопленный водослив. В этом случае:

$$H_п = h_б + 0{,}063v^2; \tag{4}$$

$$Q = 3{,}99h_б b\sqrt{H_п - h_б}; \tag{5}$$

$$v = 3{,}99\sqrt{H_п - h_б}. \tag{6}$$

§ 21. 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.

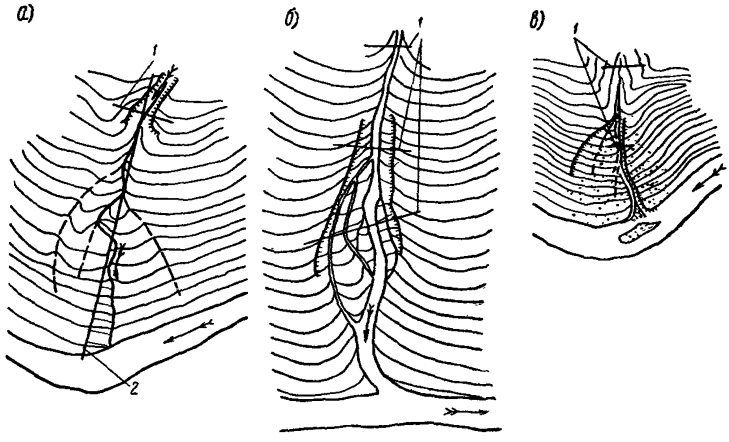


Рис. 7. Схемы расположения морфоствороз на конусах выноса: *а* — несколько русел на конусе выноса; *б* — конус врезанной зоной блуждания; *в* — недействующий конус с врезанным руслом; *1* — морфоствороы; *2* — трасса продольного профиля

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

а) поток растекается по всей поверхности конуса, русла слабо выражены и изменяются при каждом паводке (см. рис. 3 в гл. I);

б) на поверхности конуса выражено одно или несколько русел, пропускающих средние паводки, при выдающихся паводках происходит переформирование русел (рис. 7, *а*);

в) большая 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. 7, *б*);

г) недействующий конус; русло водотока врезано в его поверхность и имеет сечение, способное пропустить максимальные расходы (рис. 7, *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 : 25 000 и 1 : 10 000, фотопланов и съемок. Для рекогносцировки эффективно использование вертолетов или легких самолетов.

3. При обследовании устанавливают тип конуса выноса, собирают сведения о гидрологическом режиме водотока, мощности, характере и частоте прохождения паводков. На конусах (см. п. I, 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. гл. IX).

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 : 10 000.

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. Русловый 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 бездействовавшую 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 руслового процесса 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. Отметки 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 больших 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. 7, *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, 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 § 23. 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 (см. гл. IX).

8. Селевыми потоками (селями) называют насыщенные твердым материалом потоки, образующиеся в бассейнах горных водотоков.

При пересечении селевых водотоков необходимо произвести сбор и анализ сведений о прохождении селей. Если пересекаемые селевые водотоки не обследовались, на основе действующей инструкции [41] проводят обследование; для этой работы при необходимости привлекают специализированные организации. Ниже приводятся сведения, необходимые для составления программы таких работ.

9. Для определения расчетных расходов и объемов селевого потока необходимыми являются: площадь селеобразующих очагов бассейна, сведения о причинах возникновения селей, их типах и частоте прохождения, о максимальных расходах, уровнях и объемах выносов.

Причинами возникновения селей могут быть:

а) ливневые осадки и продолжительные обложные дожди;

б) интенсивное таяние ледников, снежников и сезонных снегов в высокогорной части бассейна в результате резкого повышения температуры (иногда в сочетании с обложными дождями);

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

г) прорыв заторов, образованных оторвавшимися от ледника массивами.

Селевые потоки, образовавшиеся по двум последним причинам (обычно связанным с землетрясением), явление редкое и почти не поддающееся прогнозированию.

Если на водотоке возможны сели по причинам а, б, то более мощными являются сели ливневого происхождения, которые и принимают в качестве расчетных.

10. Селевые потоки подразделяют на грязевые, грязе-каменные и водо-каменные. В грязевых селях твердая составляющая селевой массы преимущественно состоит из мелких песчано-глинистых фракций. В грязе-каменных она содержит мелкие (песчано-глинистые) частицы и более крупные включения (щебень, галька, валуны). Водо-каменные сели отличаются меньшим содержанием песчано-глинистых фракций и преобладанием крупных включений. При движении сели захватывают с берегов подмытые деревья и кустарники.

По динамическим свойствам сели бывают связные (структурные) и жидкие (турбулентные). Связные сели представляют собой вязко-пластичную массу, способную двигаться при сравнительно больших уклонах; поток имеет выпуклую поверхность, не растекается сплошным слоем, стремится сохранить прямолинейность движения, переползает через препятствия. Турбулентные сели сохраняют свойства водного потока.

11. Селеобразующими очагами на бассейне являются: обнаженные склоны, скалистые массивы, сложенные легковыветривающимися породами, моренные отложения, осыпи, оползневые массивы (в том числе и покрытые растительностью), русловая сеть водотоков, сложенная аллювием.

Наиболее активными источниками селеобразования являются накопившиеся у подножья крутых склонов продукты выветривания и шлейфы мелкофракционных осыпей.

При наличии карт масштаба 1 : 25 000 и крупнее на территории бассейна отмечают места селеобразования, производят облет бассейна на вертолете и вносят визуальные поправки.

При отсутствии крупномасштабных карт снимают фотопланы в масштабе 1 : 5 000 или 1 : 10 000 на всем или части бассейна.

Уточнения вносят при полевом обследовании водотока.

12. Обследование селевого водотока производят с целью:

а) уточнения расположения и площади селеобразующих очагов и оценки их активности;

б) выявления мест образования и прохождения связных селевых потоков;

в) установления типа селевых потоков по их отложениям;

г) отыскания следов паводков для определения максимальных расходов селевого потока;

д) выявления мест образования заторов и оценки их высоты;

е) оценки изменения мощности и типа селя по мере его приближения к створу перехода.

13. Маршрут обследования намечают на карте масштаба не мельче 1 : 25 000 или по фотопланам. Маршрут, как правило, охватывает участок по главному водотоку от створа перехода до зоны активных очагов селеобразования. Если источниками селеобразования являются боковые притоки, то намечают обследование одного-двух наиболее мощных из них.

Перед выходом в поле составляют маршрутную схему с нанесением основных ориентиров. Если схему составляют по карте мельче 1 : 25 000, то для высотной привязки изучаемых объектов используют барометр-анероид.

В очагах селеобразования обмеряют площади накопившихся отложений продуктов денудации, определяют их объем. При затруднительности шурфования толщину отложений определяют визуально по очертанию коренных бортов, глубине русел, промытых в толще отложений, и другим признакам.

14. В характерных створах (три — пять на протяжении маршрута) определяют максимальный диаметр валунов, транспортированных потоком по руслу, а не скатившихся с боковых склонов. В этих створах определяют средний диаметр крупнообломочного аллювия согласно приложению 2.

В местах, где обнаружены следы уровней прошедших селей, снимают поперечники и продольный профиль водотока с учетом указаний § 17.

В местах сужений и поворотов русла, а также в устьях боковых притоков оценивают возможность заторных явлений, отыскивают следы заторов.

Если подобные места находят вблизи от перехода, необходимо снять два-три поперечника и уклон для определения возможного объема затора.

На всем протяжении маршрута изучают отложения селевой массы и берут пробы.

15. В результате обследования селевого водотока представляют:

а) схематический план бассейна с нанесением площадей селеобразующих очагов;

б) продольный профиль водотока с нанесением створов;

в) абрисы характерных обследованных участков;

г) профили поперечников;

д) пояснительную записку, в которой должны быть установлены тип селя, его мощность (максимальный объем выносов), повторяемость, а также даны рекомендации по укладке трассы и размещению селепропускных отверстий.

§ 22. ОБСЛЕДОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ РУСЕЛ

1. По назначению искусственные русла (каналы) делятся на:

а) энергетические (деривационные);

б) мелиоративные;

в) судоходные;

г) спрямляющие русла рек у мостовых переходов и др.

Каналы проектируют на заданный расход воды.

Сечение канала характеризуют (рис. 8):

ширина канала при расчетном уровне B, $м$;

площадь живого сечения ω, $м^2$;

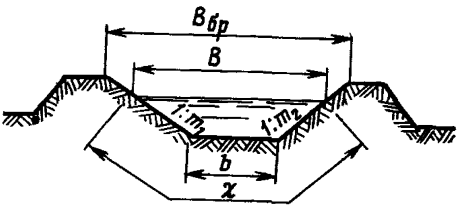


Рис. 8. Сечение канала

смоченный периметр χ, *м*;
гидравлический радиус

$$R=\frac{\omega}{\chi}\ м;$$

ширина канала между бровками русловых откосов $B_{бр}$, *м*;
коэффициент заложения откосов m;
ширина по дну b, *м*;
глубина h, *м*.

На существующих неукрепленных каналах проектные характеристики могут изменяться вследствие различного геологического строения русла вдоль канала, а также в связи с русловым процессом, возникающим при движении наносов.

С течением времени неукрепленный канал при скорости течения, превышающей неразмывающую, превращается в речное русло с тем или иным типом руслового процесса (см. гл. VII). В несвязных грунтах канал расширяется и мелеет, а в связных расширяется и углубляется.

Таблица 4

Тип канала	Для каналов, разработанных экскаваторами и землечерпалками	Тип канала	Для каналов, разработанных экскаваторами и землечерпалками
Земляные, однородные и прямолинейные:		Земляные каналы, разработанные экскаватором-драглайном или землечерпалкой:	
чистые, недавно завершенные	0,016	без растительности	0,028
чистые, после выветривания	0,022	с незначительным кустарником по берегам	0,05
чистые, в однородном гравии	0,025	Каналы в скальной породе:	
с короткой травой, редкими водорослями	0,027	гладкие и однородные	0,035
Земляные, криволинейные, с медленным движением:		неровные и неоднородные	0,04
без растительности	0,025	Каналы без технического обслуживания, заросшие водорослями и кустарником:	
с травой и небольшим количеством водорослей,	0,03	густые водоросли высотой, равной глубине потока	0,08
с густыми водорослями или водной растительностью в глубоких руслах	0,035	чистое дно, кустарник на откосах	0,05
с земляным дном и откосами, укрепленными рваным камнем	0,03	то же, при высоком уровне воды	0,07
с каменным дном и заросшими берегами	0,035	густой кустарник, высокий уровень воды	0,10
с каменным дном, укрепленным булыжником, и чистыми откосами	0,04		

2. Первоначальные параметры каналов получают в организации, проектирующей или эксплуатирующей канал.

В процессе обследования необходимо установить наличие и состояние укреплений, деформации канала и определить будущий характер руслового процесса, для чего определяют мутность потока, расход влекомых наносов, среднюю скорость течения.

При отсутствии натурных данных скорость течения определяют согласно п. 7 § 23, а расход наносов по формуле (43) в гл. V; расчеты выполняют для морфоствора, совмещенного с трассой перехода. Коэффициенты шероховатости для земляных и облицованных каналов принимают по табл. 4 и 5.

Остальные морфометрические работы выполняют так же, как и для естественных водотоков (см. § 17 и 23).

Для морфоствора строят зависимость $Q=f(H)$, по которой определяют отметки УВВ и УМВ, соответствующие известным максимальному и минимальному расходам.

Полученные отметки уровней увязывают с отметками, полученными от организаций, эксплуатирующей или проектирующей канал.

Таблица 5

№ п/п	Тип облицовки	Для облицованных каналов
1	Древесиной:	
	строганой необработанной	0,012
	строганой, пропитанной креозотом	0,012
	нестроганой	0,013
	в виде досок с рейками	0,015
	покрытой толем	0,014
2	Бетоном:	
	обработанным мастерком	0,013
	затертым	0,015
	обработанным с гравием на дне	0,017
	необработанным	0,017
	в виде ровного торкретбетона	0,019
	то же, волнистого	0,020
	на хорошо обкатанной породе	0,020
	на рваном камне	0,027
3	Бетонное дно и откосы, облицованные:	
	обтесанными камнями на известковом растворе	0,017
	случайными камнями на известковом растворе	0,020
	оштукатуренной бутовой кладкой на цементе	0,020
	то же, неоштукатуренной	0,025
	сухой бутовой кладкой или каменной наброской	0,030
4	Гравийное дно и откосы, обработанные:	
	формовочным бетоном	0,020
	случайными камнями на известковом растворе	0,023
	сухой бутовой кладкой или каменной наброской	0,033
5	Кирпичом:	
	глазурованным	0,013
	на цементно-известковом растворе	0,015
6	Асфальтобетоном:	
	гладким	0,013
	шероховатым	0,016
7	Растительным покровом	—
8	Каменной кладкой:	
	из цементированного бута	0,025
	из сухого бута	0,032
	» тесаного камня	0,015

3. При изысканиях переходов через каналы, помимо топографических, инженерно-геологических и гидрологических данных, собирают следующие сведения:

а) перспективы использования канала;

б) размеры проездов по обоим берегам канала, подлежащих перекрытию мостом;

в) подмостовые габариты для частей моста, перекрывающих канал, проезды;

г) данные о пропуске судов, имеющих специальные габариты.

Если на судоходном канале предполагается устройство разводного пролета, то, помимо перечисленных, необходимо собрать данные:

а) об устойчивости судоходного фарватера и возможных его перемещениях на переходе, получаемые путем сопоставления лоцманских карт и материалов наблюдений за проходом судов;

б) о минимальных габаритах неразводных пролетов с учетом карчехода, ледохода, волнения и т. д.;

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

г) о выборе местоположения и размерах разводного пролета и высоте его подъема, а также о сроках и длительности разводки пролета, представляемых в виде протокола согласования с местными органами.

§ 23. КАМЕРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

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

а) план бассейна реки с данными о длине реки, площади и средней ширине бассейна для створов водпостов и морфостворов (рис. 9);

б) ситуационная схема перехода с морфостворами, вариантами перехода и розой наибольших или среднемноголетних скоростей ветра за паводочный период (см. рис. 2);

в) продольный профиль реки по руслу с линиями свободной поверхности водотока при различных УВВ (см. рис. 1);

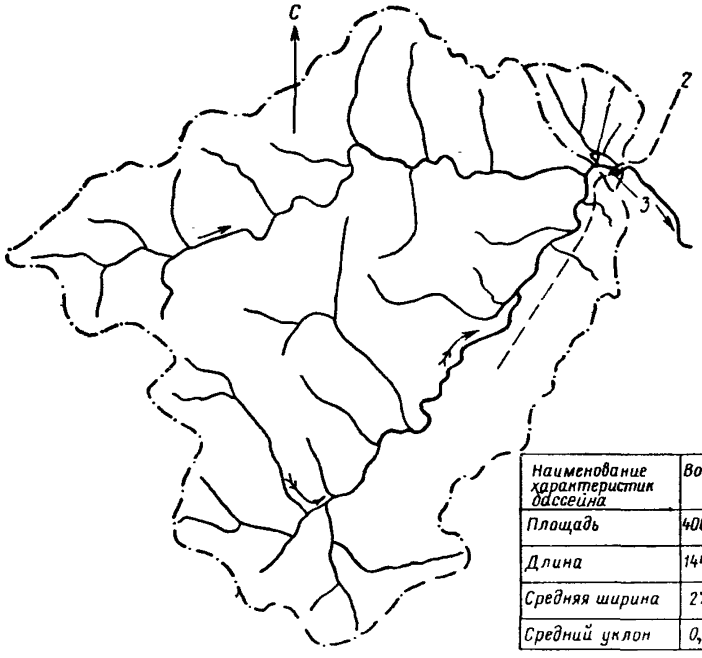
г) профили морфостворов (см. рис. 4).

2. Для определения гидравлических характеристик водотока по морфометрическим данным необходимо:

а) установить по продольному профилю реки и ситуационной схеме уровень воды, при котором начинает работать пойма, а также уклоны водной поверхности в русле и на пойме с учетом спрямляющих течений при УВВ;

б) установить по профилю морфоствора и ситуационной схеме неработающие «мертвые» площади живого сечения потока, которые образуются в замкнутых старицах или ложбинах между старыми прирусловыми валами, направление которых не совпадает с направлением течения;

в) разделить профиль морфоствора на участки с однообразны-



Наименование характеристик бассейна	Водпост	Мостовой переход
Площадь	4000кв км	4240кв км
Длина	144,5 км	149,0 км
Средняя ширина	27,7 км	28,4 км
Средний уклон	0,0012	0,0011

Рис. 9. План бассейна реки:
1 — водпост; *2* — проектируемая трасса; *3* — створ проектируемого перехода

ми условиями по глубине воды, косине струй и растительности; главное русло выделяют в самостоятельный участок.

3. На ситуационной схеме вычерчивают траектории основных пойменных течений при уровне начала работы поймы и более высоком уровне воды. Их пересечение с морфоствором определяет углы косины струй $\alpha_к$ (см. формулу 12).

Так как наблюдения за проходом паводка по пойме обычно отсутствуют, то указанные траектории проводят, руководствуясь рельефом поймы и направлением основных проток.

По траекториям пойменных течений и отметкам уровня воды в начале и конце их устанавливают продольные уклоны поверхности потока на пойме; если направления течений и длины траекторий по пойме с повышением уровня меняются, то продольные уклоны определяют для нескольких уровней и строят зависимость

$$i = f(H_у).$$

4. Неработающие площади исключают из расчета; максимальную глубину $h_{зам}$ от расчетного уровня воды, при которой происходит течение в замкнутых старицах и ниже которой сечение не работает, определяют по формуле

$$h_{зам} \approx h_{бр} + 0{,}05B_{зам}, \qquad (7)$$

Таблица 6

Характеристика водотока	n (по М. Ф. Срибному)	Характеристика водотока	n (по М. Ф. Срибному)
Естественные русла в весьма благоприятных условиях (чистое, прямое, незасоренное, земляное со свободным течением русло)	0,025	Потоки типа селевых, состоящих из грязи, камней и пр.	0,200
Промежуточное значение между предыдущей и следующей категориями, часто применяемое в практике; галечные и гравийные русла при словесной характеристике их, совпадающей с предыдущей категорией	0,0285	Поймы больших и средних рек, покрытые нормальным количеством растительности (травы, кустарника)	0,050
Русла постоянных водотоков равнинного типа (преимущественно больших и средних рек) в благоприятных условиях состояния ложа и течения воды.	0,0333	Русла периодических водотоков сильно засоренные и извилистые. Сравнительно заросшие, неровные, плохо разработанные поймы рек (промоины, кустарники, деревья, с наличием заводей) Порожистые участки равнинных рек. Галечно-валунные русла горного типа с неправильной поверхностью водного зеркала	0,067
Периодические потоки (большие и малые при очень хорошем состоянии поверхности и формы ложа)	0,0333	Реки и поймы значительно заросшие (со слабым течением), с большими глубокими промоинами	0,080
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	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 косоструйным течением, заводями и пр.	0,100
Правильные, хорошо разработанные галечные русла горных рек (в нижнем течении). Земляные русла периодических водотоков (сухих логов) в благоприятных условиях	0,040	Горно-водопадного типа русла 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
Русла (больших и средних рек) значительно засоренные, извилистые и частично заросшие, каменистые с неспокойным течением	0,050	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
Периодические (ливневые и весенние) водотоки, несущие во время паводка заметное количество наносов с крупногалечным или покрытым растительностью ложем	0,050	Глухие поймы, сплошь лесные, таежного типа. Склоны бассейнов в естественном состоянии	0,200

где $h_{бр}$ — глубина воды над средней отметкой бровок старицы или замкнутой ложбины по морфоствору, *м*; $B_{зам}$ — длина старицы или замкнутой ложбины по направлению течения на данном участке морфоствора, *м*.

Если $0{,}05 B_{зам} > h_{ст}$, где $h_{ст}$ — максимальная глубина старицы или ложбины в бровках, то «мертвой» зоны нет.

5. Установив направление паводочных течений и выделив неработающие площади живого сечения морфоствора, последний разбивают на участки с примерно однообразной глубиной и косиной струй по признакам сопротивления движению воды, которое зависит:

а) для главного русла — от формы, извилистости, растительности на берегах и слагающего грунта;

б) для пойм — от характера, высоты и густоты растительности, а также от сезона прохождения паводка.

В табл. 6, 7 и 8 даны значения коэффициентов шероховатости естественных русел и пойм, которыми пользуются при отсутствии натурных данных.

Приведенные в указанных таблицах наименьшие значения n в особо благоприятных условиях могут достигать: для русел $n \approx 0{,}017$

Таблица 7

Уклон	Q, $м^3/сек$	Характеристика грунтов ложа и реки	n (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
		» и валуны. Река в глубоком каньоне или в ущелье зажата между скалами	0,043
	>200	Гравий и галька	0,031
		Галька с валунами	0,041
		» и валуны. Река в глубоком каньоне или в ущелье зажата между скалами	0,053
0,01—0,02	<100	Гравий и галька	0,038
		Галька и валуны	0,048
	>100	Гравий и галька	0,048
		Галька и валуны	0,058

Продолжение табл. 7

Уклон	Q, $м^3/сек$	Характеристика грунтов ложа и реки	n (по Н. М. Носову)
0,02—0,04	<50	Галька	0,058
		Валуны	0,067
	>50	Галька	0,067
		Валуны	0,078
0,04—0,08		Валуны и галька	0,092
		Обломки скал и валуны	0,112

Таблица 8

Характеристика пойм	n (по Бредли)	Характеристика пойм	n (по Бредли)
Пастбища без кустарника:		без листвы (весной)	0,05—0,06
		с листвой (летом)	0,10—0,16
низкая трава	0,03—0,035	Густой ненаклоненный ивняк летом	0,15—0,20
высокая »	0,035—0,05		
Пашни:		Вырубка с пнями:	
без посевов	0,03—0,04	без побегов	0,04—0,05
зрелые пропашные культуры	0,035—0,045	с сильно заросшими берегами	0,06—0,08
зрелые полевые культуры	0,04—0,05	Строевой лес со слабым подлеском:	
Густая высокая трава с средним кустарником	0,05—0,07	при уровне воды ниже ветвей	0,10—0,12
Кустарник средней густоты с деревьями:		при затоплении ветвей	0,12—0,16

(прямолинейные плёсы с большими глубинами, малые уклоны) и для пойм $n \approx 0{,}020$ (совершенно ровная пойма с низкой травой при течении, параллельном руслу).

6. Ситуационная характеристика по оси морфоствора не всегда определяет сопротивление движению воды на данном участке морфоствора.

Наличие выше или ниже морфоствора участков с большей шероховатостью, чем принятая для данного участка, не влияет на протекание воды при соблюдении условия

$$l_n \geqslant 11{,}0h_n, \tag{8}$$

где l_n — расстояние от морфоствора до участка с большей шероховатостью, $м$; h_n — средняя глубина воды на границе участка с большей шероховатостью, $м$.

Если участки с повышенной шероховатостью расположены с обеих сторон от морфоствора, то при соблюдении в каждую сторону условия (8) среднее расстояние l_n' между границами верхового и низового участков с большей шероховатостью можно принимать

$$l_n' > 30h_n. \tag{9}$$

Наличие выше или ниже морфоствора участков с меньшей шероховатостью не влияет на условия течения на данном участке.

Если условия (8) или (9) не соблюдены, то расчетное значение коэффициента шероховатости n принимают равным:

а) при несоблюдении условия (8)

$$n = n_1 + \frac{(n_2 - n_1)(11h_n - l_{ср})}{11h_n}, \tag{10}$$

где n_1 — коэффициент шероховатости, принятый для данного участка; n_2 — коэффициент для участка с большей шероховатостью; $l_{ср}$ — среднее расстояние от морфоствора до участка с повышенной шероховатостью;

б) при несоблюдении условия (9)

$$n = n_1 + \frac{(n_2 - n_1)(30h_n - l_{ср}')}{30h_n}, \tag{11}$$

где n_2 — среднее значение шероховатости для участков с повышенной шероховатостью выше и ниже морфоствора; $l_{ср}'$ — среднее расстояние между участками с повышенной шероховатостью.

Пример 1. Густой кустарник расположен с верховой стороны лугового участка морфоствора на расстоянии $l_{ср}=12$ *м*; $n_1=0{,}05$; $n_2=0{,}16$; $h_n=3$ *м*; так как $l_{ср}<l_n$, то по формуле (10)

$$n = 0{,}05 + \frac{(0{,}16 - 0{,}05)(11 \cdot 3 - 12)}{11 \cdot 3} = 0{,}12.$$

Пример 2. Густой кустарник расположен вокруг лугового участка морфоствора, средняя ширина поляны $l'_{ср}=80$ *м*, n_1, n_2 и h_n имеют прежние значения, так как $l_{ср}' < l_n'$, то по формуле (11)

$$n = 0{,}05 + \frac{(0{,}16 - 0{,}05)(30 \cdot 3 - 80)}{30 \cdot 3} = 0{,}06.$$

В случае течения воды по льду на реках, промерзающих до дна (см. п. 8 § 36), значения n принимают от 0,015 до 0,025 в зависимости от состояния поверхности льда.

7. Среднюю скорость течения на каждом участке морфоствора вычисляют по формулам (в *м/сек*)

$$v = \frac{1}{n} H^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \cos \alpha_к, \tag{12}$$

или

$$v = \beta_* C \sqrt{Hi}, \tag{12'}$$

где n — коэффициент шероховатости, определяемый по таблицам 6, 7 и 8 или по натурным данным с учетом пп. 8, 9 и 10; H — средняя глубина воды на данном участке створа, *м*; i — продольный уклон поверхности потока; $\cos\alpha_к$ — поправка, учитывающая косину струй на данном участке створа; β_* и C — определяют по п. 6 § 13.

8. Для пойменных участков морфоствора среднюю глубину воды определяют делением площади живого сечения на ширину участка при данном уровне. Также определяют среднюю глубину для участков русла, проток и рукавов при $\frac{2B}{H_{ср}} \geqslant 30$, где B — ширина их русел при данном уровне; если для этих русел $\frac{2B}{H_{ср}} \geqslant 30$, то в формуле (11) вместо $H_{ср}$ принимают гидравлический радиус $R=\frac{\omega}{\chi}$, где χ — смоченный периметр живого сечения.

Если для русла коэффициент формы $\alpha_ф=\frac{h_{max}}{H} \geqslant 1{,}5$, то в формулу (12) вводят параметр формы живого сечения β_* [18], зависящий от $\alpha_ф$:

β_*	1,1	1,2	1,3
$\alpha_ф$	1,5	2,0	2,5

Продольный уклон потока i в главном русле принимают по продольному профилю (см. рис. 1), а для пойменных участков — с учетом построения траекторий пойменных течений на ситуационной схеме перехода.

9. Для расчета скорости течения предгорных и горных водотоков с распластанными руслами (в *м/сек*) рекомендуется формула

$$v=\frac{1}{n} AH^x i^{\frac{1}{2}} \cos\alpha_к, \qquad (13)$$

где n, H, i, $\cos\alpha_к$ — имеют те же обозначения, что и в формуле (12); A, x — коэффициент и показатель степени, учитывающие изменения скоростей течения предгорных и горных рек от глубин воды в русле.

Значение A принимают при $H \leqslant 1{,}7$ *м* равным 1,07, при больших глубинах $A=1{,}0$; значения x приведены ниже:

H	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,2	1,4	1,8
x	0,349	0,396	0,416	0,440	0,454	0,504	0,529	0,666
AH^x	0,610	0,745	0,865	0,970	1,02	1,173	1,278	1,48

При $H>1{,}8$ *м* принимают $x=0{,}666$

Коэффициент шероховатости n определяют по табл. 7.

Коэффициент шероховатости для русел предгорных и горных рек при $H \leqslant 1{,}5$ *м* и $i \geqslant 0{,}004$, сложенных крупным аллювием, при наличии только продольного уклона межени, дополнительно проверяют по формуле

$$\frac{1}{n}=\Phi\sqrt[4]{i}, \qquad (14)$$

где Φ — коэффициент, учитывающий изменение шероховатости русел с увеличением глубин воды при межени:

H, *м*	0,4	0,7	1,0	1,5
Φ	63,3	64,2	65,0	68,0

Для расчетного уровня значения Φ могут быть ориентировочно приняты с коэффициентом увеличения 1,6.

10. Русла горных рек по выходе их на равнину на спаде паводка заносятся мелким аллювием, поэтому снятое в беспаводочный период живое сечение русла такой реки не соответствует паводочному живому сечению.

Если известен расчетный расход беспойменного блуждающего русла и соответствующий ему уровень воды, то среднюю глубину H в момент прохода пика расчетного паводка можно получить по формуле (10) в гл. VII, а расчетную среднюю скорость, как $\frac{v_{P\%}}{BH}$, где B — ширина русла в расчетном створе.

11. Для речных русел результат, полученный по формулам (12) и (13) при наличии данных о гранулометрическом составе аллювия, слагающего русло, сопоставляют с табл. 3 в гл. VIII для $УВВ_{1\%}$. Для УВВ других вероятностей превышения значения $v_{дин}$ по этой таблице уменьшают на коэффициент β (см. стр. 173).

Если в районе перехода в русле измеряли скорости течения $v_{ср}$ и и продольный уклон i при разных уровнях воды, то коэффициенты шероховатости русла определяют из формул (12) и (13) обратным вычислением и строят зависимость $n_р = f(H_у)$.

Если уклон в русле не измерялся, то определяют величины $\frac{\sqrt{i}}{n_р} = \frac{v_{ср}}{H^{\frac{2}{3}}}$ и строят зависимость от уровня $\frac{\sqrt{i}}{n_р} = f(H_у)$. Экстраполируя указаные зависимости, получают значения $n_р$ или $\frac{\sqrt{i}}{n_р}$ при расчетном уровне.

12. Для расчета скорости (в *м/сек*) горных потоков большой мутности и переходных к селевым (см. табл. 10) применяют формулу

$$v_с = \frac{6{,}5}{a_с} H^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{4}}, \qquad (15)$$

где H и i имеют прежние значения; $a_с$ — коэффициент внутреннего сопротивления в потоке; для воды $a_с = 1$, для селевого потока

$$a_с = \left[\frac{\gamma_н(\gamma_с - 1)}{\gamma_н - \gamma_с} + 1\right]^{0{,}5}, \qquad (16)$$

где $\gamma_н$ — удельный вес материала, отложенного потоком, *т/м*^{3}; $\gamma_с$ — объемный вес селевой массы, *т/м*^{3}.

Удельный вес материала наносов определяют по образцам, взятым в натуре или по табл. 9.

Таблица 9

Материалы и грунты	Расчетный удельный вес $\gamma_н$, $т/м^3$
Кварцит, кварцевый песок	2,65
Известняк	2,70
Глина, моренный суглинок, лёсс	2,70
Гранит	2,75
Доломит	2,85

Таблица 10

Характеристика горных потоков	Объемный вес γ_c, $т/м^3$
Водные потоки большой мутности	1,00—1,05
Потоки, переходные к селевым (слабо селеносные)	1,05—1,15
Селевые потоки	1,15—1,50

Объемный вес селевой массы можно принимать по табл. 10, пользуясь визуальной характеристикой отложенной селевой массы и данными опроса местных жителей.

Для турбулентных селевых потоков применяют формулу

$$v_c = 5{,}7H^{0{,}55}i^{0{,}33} \qquad (17)$$

Объемный вес массы потока в зависимости от весового содержания взвешенных насосов (мутности) приближенно выражается формулой

$$\gamma_c \approx 1 + 0{,}6\rho_п, \qquad (18)$$

где $\rho_п$ — мутность потока, $т/м^3$. Для турбулентных селей предельное значение $\rho_п = 0{,}8$ $т/м^3$. При больших значениях $\rho_п$ сель может быть связным по структуре и ламинарным по режиму движения [11].

13. Результаты морфометрических расчетов оформляют в виде профилей морфостворов, на которых показывают деление на участки, ситуационную характеристику и гидравлические данные (см. рис. 4). Масштабы профилей принимают:

Для малых рек . . . . . горизонтальные 1 : 1000—1 : 2000
» » » . . . . . вертикальные 1 : 100—1 : 200
» средних и больших . . горизонтальные 1 : 5000—1 : 10 000
» » » . . . . . вертикальные 1 : 200

Распределение известной величины $Q_{P\%}$ по участкам морфоствора путем подбора значений n можно выполнять на ЭВМ.

14. Для морфоствора строят зависимости гидравлических характеристик русла и пойм от уровня воды:

$$v,\ H,\ \omega,\ Q,\ i,\ n = f(H_у).$$

Для пойм свободно меандрирующих рек (сложный рельеф пойм, мертвые пространства) рекомендуется рассчитывать расход пойменного потока для расчетного уровня воды; этот расход суммируют с расходом русла реки, а зависимость $Q = f(H_у)$ для интервала уровней между транзитным и наивысшим уровнями воды проводят на глаз в виде плавной кривой.

Если поймы ровные, без староречий или если старые прирусловые валы вытянуты по направлению течения, расход пойменного потока рассчитывают для нескольких уровней, начиная от уровня начала работы пойм и до расчетного.

При наличии данных о перекосах водной поверхности на морфостворе глубины принимают с учетом поперечного уклона, а скорости вычисляют с учетом косины потока.

График $i=f(H_y)$ при отсутствии наблюдений в паводочный период строят, используя уклон при межени, уклон, определенный по точкам найденных на местности отметок УВВ, и уклон при $УВВ_{P\%}$ учитывая возможное спрямление потока при этом уровне.

15. Для долинного хода трассы по морфометрическим зависимостям подбирают $УВВ_{P\%}$ для морфологически однородных участков продольного профиля реки. В случае резкого изменения ширины разлива (например, при выходе реки из ущелья на равнину) между морфостворами обоих участков при паводке образуется кривая спада (или кривая подпора при входе потока в ущелье). В случае резкого расширения или сужения долины строят кривую свободной поверхности [12].

Глава IV

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

§ 24. УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

1. Инженерно-геологические изыскания выполняют в объемах, необходимых для технико-экономического сравнения вариантов мостовых переходов и разработки проектных решений по выбранному основному варианту.

2. Содержание и объемы работ зависят от сложности инженерно-геологических условий района варьирования, участка перехода, стадии проектирования, этапа изысканий и размеров проектируемого моста.

3. Благоприятными (простыми) в инженерно-геологическом отношении для сооружения моста являются участки долин рек, где залегают:

горизонтальные, четко разделяемые слои, содержащие грунты, однородные по литологическому (петрографическому) составу, сложению, состоянию и свойствам в пределах слоя;

пласты скальных и полускальных пород, равномерно трещиноватых и выветрелых в пределах пласта, имеющие падение, а также уклон поверхности под дном долины, не превышающие 15°;

массивы магматических или метаморфических пород одного петрографического состава, нетрещиноватые или с равномерно развитой трещиноватостью и выветрелостью пород, и где отсутствуют:

слабые, просадочные, вечномерзлые песчано-глинистые грунты, подземные льды, каменная соль, гипс, ангидрит, соле- и гипсоносные породы, закарстованные известняки, мел, мергель и доломит,

неблагоприятные склоновые, пойменные и русловые процессы (оползни, осыпи, курумы, обвалы, суффозия, эрозия донная и боковая, заболачивание и др.), напорные подземные воды;

тектонические разрывы, переломы продольного профиля долины реки, связанные с неотектоническими движениями в бассейне реки или эвстатическими колебаниями базиса эрозии.

§ 25. РАБОТЫ НА СТАДИИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ

1. Целью инженерно-геологических работ, проводимых на стадии ТЭО, является обоснование выбора оптимальных вариантов больших мостовых переходов, что имеет существенное значение для выбора основного направления дороги.

2. В задачи работ, осуществляемых для составления ТЭО, входят: построение схематических геолого-литологических разрезов, изучение в первом приближении склоновых, береговых, пойменных и русловых физико-геологических процессов по всем возможным вариантам больших мостовых переходов по сравниваемым основным направлениям дорог и данных о месторождениях ископаемых строительных материалов в районе изысканий.

3. Для решения этих задач собирают и обобщают литературные источники, аэрофотоснимки, топографические, геологические, геоморфологические, литологические, петрографические карты, карты четвертичных отложений, инженерно-геологические и другие карты наличных масштабов, фондовые материалы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации различных речных сооружений в долине большой реки на участке, где она может быть пересечена трассой. Изучают колонки выработок, геологические разрезы, данные о составе, сложении, состоянии и свойствах грунтов, содержащиеся в проектно-изыскательской и построечной документации, и описания деформации речных сооружений, обусловленных развитием различных инженерно-геологических процессов, отраженных в фондовой и текущей отчетности эксплуатирующих организаций.

4. На основе выполненных обобщений составляют записку по характеристике инженерно-геологических условий участков каждого из сравниваемых вариантов большого мостового перехода. К ней прилагают схематические геолого-литологические разрезы по вариантам.

§ 26. ИЗЫСКАНИЯ НА СТАДИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА

1. Инженерно-геологические изыскания на стадии технического проекта моста осуществляются в два этапа: I — выбор вариантов мостового перехода; II — изыскания по выбранному направлению.

Инженерно-геологические работы для технического проекта автодорожных мостов проводят, как правило, в один этап.

Инженерно-геологические работы в два этапа выполняют для титульных и больших мостов в сложных инженерно-геологических условиях.

Работы, осуществляемые для выбора варианта мостового перехода

2. Элементами сравнения при выборе лучшего в инженерно-геологическом отношении (и оптимального по другим технико-экономическим показателям) варианта мостового перехода являются:

залегание плотных и прочных пород (скальных, полускальных, моренных, крупнообломочных, дочетвертичных и др.) на более высоких по отношению к меженному уровню воды в реке отметках;

сравнительно более ровная поверхность и меньшие уклоны кровли прочных пород, подстилающих аллювий;

отсутствие или меньшие интенсивность и размеры проявления неблагоприятных для возведения и эксплуатации моста, подходов к нему и других сооружений перехода различных русловых, пойменных, береговых, склоновых, карстовых, мерзлотных и других физико-геологических процессов на участке варианта;

относительная близость и удобство сообщения варианта перехода и месторождений ископаемых строительных материалов.

3. Задачи инженерно-геологических изысканий на этом этапе состоят в изучении геологического строения, гидрогеологических условий, физико-геологических явлений и современных физико-геологических процессов, развитых на участках вариантов мостовых переходов и в поисках месторождений местных ископаемых строительных материалов и грунтов для строительства.

4. В подготовительном к полевым изысканиям периоде разрабатывают техническое задание на изыскания (утверждаемое руководством проектной организации), собирают и изучают материалы по району работ и участкам вариантов мостового перехода, составляют программу инженерно-геологических изысканий, оформляют договора и разрешения на производство работ, комплектуют изыскательские подразделения и решают другие организационные вопросы.

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. К заданию прилагают материалы по трассированию дороги, транспортной схеме района и другие документы, определяющие положение моста.

Программу инженерно-геологических изысканий составляют на основе технического задания после изучения упомянутых выше материалов (см. п. 3 § 25) по районам и участкам работ. В программе приводят общую характеристику района, намечают объемы и сроки выполнения инженерно-геологических работ, излагают методику их проведения.

Программу согласовывает главный инженер проекта и утверждает руководство проектно-изыскательской организации. Если изыскания и проектирование выполняют разные организации, программу согласовывают с генеральным подрядчиком. В соответствии с намечаемыми программой объемами работ составляют калькуляцию их стоимости.

В полевой период проводят инженерно-геологические съемки, геофизические исследования, разведочные работы, опробование грунтов и воды, лабораторные исследования и полевую обработку получаемых материалов. Образцы грунтов, отбираемых из обнажений и выработок, после описания геологом, контрольного выборочного просмотра части их начальником геологической партии или главным геологом экспедиции, выполнения лабораторных работ и увязки геологических разрезов хранят до окончания изысканий за исключением образцов грунтов, отбираемых из опорных скважин. Эти образцы сдают на хранение заказчику.

5. Топографической основой для проведения инженерно-геологических съемок служат аэрофотоснимки, карты масштабов от 1 : 25 000 до 1 : 10 000 и изыскательские планы масштабов от 1 : 5 000 до 1 : 500. Аэрофотоснимки должны быть дешифрированы до полевых работ еще при составлении их программы камерально, а в самом начале изысканий откорректированы на местности. Если представляется возможным, целесообразно провести аэровизуальные наблюдения участка долины в районе всех намечаемых вариантов мостового перехода для выделения или уточнения уже оконтуренных на аэрофотоснимках площадей с развитыми современными физико-геологическими процессами и рационального планирования маршрутов предстоящих наземных инженерно-геологических съемок, а также поисков месторождений строительных материалов.

При пересечении селеносных долин или если селевые явления развиты на склонах вблизи вариантов мостового перехода главной долины, инженерно-геологической съемкой масштаба 1 : 25 000 — 1 : 10 000 должны быть охвачены область формирования, зона транзита и конус выноса селей.

В прочих случаях инженерно-геологические съемки выполняют на участке долины, охватывающем все варианты перехода. Если они удалены друг от друга на расстояние больше 0,5 *км*, съемки ведут по каждому варианту отдельно.

Полоса съемки должна захватывать участки расположения регуляционных и защитных сооружений, площади срезки, но не менее 300 *м* вверх и 200 *м* вниз по течению от оси перехода. Если же вблизи от места перехода происходят речные подмывы берегов, переформирования русла, образование отмелей, кос и осередков, суффозия и карстовые явления на пойме и в русле, пойма изобилует старицами и заболочена, ширину 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, осовы, оползни, то площадь съемки расширяют до бровок неустойчивых склонов.

При отсутствии на участке перехода неблагоприятных русловых, береговых и склоновых явлений принимают масштаб съемки 1 : 10 000—1 : 5 000, при их наличии — 1 : 2 000—1 : 1 000.

В процессе съемки расчищают склоны, коренные берега и уступы террас и описывают геологическое строение их в пределах эрозионного вреза. Зондируют болота с целью определения состава и напластования отложений. При достаточной дифференциации физических особенностей пород проводят геофизические исследования. Закладывают отдельные выработки для интерпретации результатов геофизической разведки. Описывают, зарисовывают и фотографируют морфологические элементы долины и выраженные в рельефе следы различных физико-геологических процессов.

6. В задачи геофизической разведки входят: расчленение отдельных геоморфологических элементов долины на участки с различными инженерно-геологическими условиями, установление состава и мощности аллювия и выявление скрытых следов физико-геологических процессов: линий тектонических разрывов, поверхностей скольжения оползней, карстовых и суффозионных полостей, древних и современных размывов на берегах, пойме и в русле реки, погребенных льдов и границ вечномерзлых грунтов в первом приближении.

Кроме того, геофизические исследования применяют для определения мощности вскрыши и полезного ископаемого, положения уровня грунтовых вод и оконтуривания площади месторождений минеральных строительных материалов, необходимых для строительства.

Для решения перечисленных задач применяют вертикальное электрическое зондирование, электропрофилирование, каротаж скважин, резистивиметрию, сейсмо- и гравиразведку в различных модификациях в зависимости от поставленной цели и особенностей изучаемых массивов пород.

Объемы геофизических исследований в связи с тем, что они являются пионерными по отношению к главнейшим работам — разведке и опробованию, неоднократно корректируются в процессе изысканий. При определении объемов геофизических работ учитывают рекомендации «Методики геофизических исследований при инженерно-геологических изысканиях» [38].

Результаты инженерно-геологического картирования и проведенных геофизических исследований используют для целенаправленного размещения точек разведки и обоснованного определения глубин бурения на выделенных инженерно-геологических участках мостового перехода и предназначенных к разработке перспективных месторождений ископаемых строительных материалов.

7. При благоприятных инженерно-геологических условиях на берегах русла реки закладывают по одной скважине глубиной в песчано-глинистых грунтах не менее 15 *м*, в русле для среднего моста закладывают одну-две скважины, для большого моста выработки задают не реже, чем через 100 *м*, но не менее двух, той же глубины, считая от дна реки. В крепкие интрузивные породы скважины за-

глубляют не менее чем на 2 *м*, в эффузивные, метаморфические и осадочные скальные породы на 5 *м*, в полускальные валунно-галечные и глыбово-щебенистые грунты не менее чем на 10 *м*. При наличии под скальными, полускальными и крупнообломочными грунтами рыхлых и более мелких по составу отложений глубину скважин увеличивают на мощность этих грунтов, но не более чем до 15 *м*. Скважины проходят на выявленных геофизической разведкой участках древнего и современного размыва, а в прочих местах равномерно по всему створу перехода. Если для увязки геологического разреза выработок не хватает, проходят дополнительные скважины или увеличивают их глубину.

При неблагоприятных условиях число осевых скважин увеличивают, задают дополнительные выработки на поперечниках к оси перехода для определения уклона кровли поверхности прочных пород, падения пластов и др. Стремятся пройти всю толщу слабых, просадочных, карстующихся, подверженных оползневым смещениям и содержащих подземные льды пород. При значительной их мощности бурят на глубину до 30 *м*.

8. Способы бурения и диаметры скважин зависят от типа пород и глубин разведки и указаны в табл. 1.

Таблица 1

Горные породы	Способ бурения	Глубина скважин, *м*	Диаметр скважин, *мм*	
			начальный	конечный
Песчаные и глинистые грунты	Ударно-канатный и шнековый	До 10 10—20 20—40	127 168 219	127
Валунники, галечники, гравийно-галечные отложения и другие грунты с включением крупнообломочного материала более 40%	Ударно-канатный	До 10 10—20 20—40	168 219 273—325	168
Полускальные породы	Ударно-канатный	До 10 10—20 20—40	127 168 219—273	127
Скальные породы	Колонковый	До 10 10—20 20—40	110 130 150	110

9. Для описания отбирают пробы грунтов при ударно-канатном бурении в ячейковые ящики из каждого слоя, но не реже чем через 0,5 *м*. Колонковый керн укладывают в ящики целиком.

10. Образцы грунтов для лабораторных исследований отбирают из каждого слоя, но не реже чем через 2 *м* по глубине, в глинистых грунтах при резком изменении консистенции — через 0,5 *м*, а в пре-

делах возможной глубины размыва в любых породах через 1 *м*. Образцы и керны хранят в течение всего времени изысканий.

11. Для определений объемного веса, испытаний прочности и сжимаемости глинистых грунтов несущих пластов 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 25 *см*, диаметр не менее 10 *см*.

Общее количество образцов и соответственно испытаний грунтов каждого несущего пласта должно быть достаточным для статистической обработки частных показателей и получения обобщенных (расчетных) значений угла внутреннего трения, сцепления и модуля деформации грунтов (но не менее 15—20 для каждого инженерно-геологического элемента).

12. Для грунтов всех пройденных слоев определяют номенклатурные классификационные характеристики: для песков — гранулометрический состав, естественная влажность; связных грунтов — пределы пластичности, естественная влажность, объемный вес, а в пределах возможной глубины размыва и гранулометрический состав супесей; для крупнообломочных грунтов — гранулометрический и петрографический состав; полускальных и скальных пород — петрографический состав, объемный и удельный веса, водопоглощение, пределы прочности при сжатии в сухом и водонасыщенном состоянии. Определяют сцепление глинистых грунтов для расчетов размыва под мостом.

13. Если в качестве несущих выступают слои песка, глин тугопластичной, полутвердой и твердой консистенции, целесообразно определить плотность и прочность грунта с помощью статической пенетрации в массиве. При этой плотности можно испытать песчаный грунт на сопротивление сжатию и быстрому неконсолидированно-недренированному сдвигу в лаборатории для установления модуля деформации и параметров природной прочности грунтов. Образцы глинистых грунтов ненарушенного сложения и естественной влажности, отобранные из несущих слоев, испытывают по этой же схеме. Глинистые грунты мягко- и текучепластичной консистенции целесообразно испытать лопастными приборами.

14. В тех случаях, когда несущими будут являться пласты лёссовых грунтов, определяют относительную просадочность последних и параметры прочности в водонасыщенном состоянии.

15. Воды русла и всех гидравлически самостоятельных подземных водоносных горизонтов анализируют для определения агрессивности среды по отношению к бетону. Анализируют водные вытяжки из засоленных грунтов.

16. Устанавливают возможность и условия получения ископаемых строительных материалов для строительства моста из местных карьеров, согласовывают необходимые сроки и объемы. Если это почему-либо невозможно или получаемые объемы недостаточны, ведут поиски и разведку месторождений. На наиболее перспективных

из них по качеству материала, запасам, транспортной доступности и условиям разработки проводят геофизические исследования, разведочные работы и опробование с детальностью, соответствующей изученности месторождения по категории C_1 в соответствии с Инструкцией ВКЗ [23]. Мелкие притрассовые месторождения с запасами менее 50 тыс. $м^3$ разведуют в соответствии с требованиями ведомственных инструкций. Кроме того, производят поиски и предварительную разведку месторождений грунтов для отсыпки насыпей на подходах к мосту, в том числе месторождений, разрабатываемых способом гидромеханизации.

17. В камеральный период завершают лабораторные исследования и обработку материалов полевых изысканий. Составляют инженерно-геологические карты, электро-, сейсмо- и гравиеразрезы и профили, продольные и поперечные геологические разрезы по вариантам мостового перехода, ведомости анализов и испытаний грунтов, пенетрации песков, анализов воды. В пояснительной записке приводят данные по инженерно-геологическому сравнению вариантов мостового перехода. Разрабатывают программу инженерно-геологических работ по выбранному варианту перехода.

Работы на выбранном варианте мостового перехода

18. Целями инженерно-геологических изысканий на участке выбранного мостового перехода являются:

получение инженерно-геологических материалов, необходимых для разработки схемы и конструкции моста, подходов к нему, защитных и регуляционных сооружений;

обеспечение планируемого строительства местными ископаемыми строительными материалами.

19. В задачи работ входят:

построение детальных инженерно-геологических разрезов по участку мостового перехода, включая подходы к мосту и различные обустройства в пределах УВВ;

изучение месторождений ископаемых строительных материалов, состава и свойств последних;

определение состава, сложения, состояния и свойств грунтов оснований всех сооружений перехода, выемок на подходах к мосту, карьеров, из которых будут возведены подходные насыпи и дамбы, состава вод;

детальное изучение развитых на участке перехода различных физико-геологических явлений и процессов.

20. Техническое задание на инженерно-геологические работы по выбранному варианту мостового перехода должно содержать плановые материалы по местоположению моста и других сооружений перехода, перечень требуемых для проектирования характеристик грунтов, рекомендации о проведении специальных исследований в связи с особенностями инженерно-геологических условий участка, требо-

вания к составу и запасам ископаемых строительных материалов, необходимых для строительства.

В соответствии с результатами инженерно-геологических изысканий, осуществленных для выбора вариантов мостового перехода и на основе технического задания, разрабатывают программу работ и подсчитывают их сметную стоимость. В программе приводят краткую характеристику инженерно-геологических условий участка выбранного перехода, устанавливают объемы, сроки и методы выполнения планируемых работ. Программу согласовывает главный инженер проекта и утверждает руководство проектно-изыскательской организации.

21. В состав работ входят:

геофизические исследования;

разведочное бурение и горнопроходческие работы с отбором образцов грунтов, строительных материалов и проб воды из выработок;

полевые испытания прочности и деформируемости грунтов несущих пластов в массиве;

режимные гидрогеологические и температурные наблюдения и наблюдения за развитием и протеканием некоторых неблагоприятных геологических процессов;

лабораторные исследования грунтов, материалов и воды;

камеральная обработка получаемых данных.

22. На участке выбранного варианта ставят дополнительные к ранее осуществленным на первом этапе изысканий для технического проекта 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 участков, выделенных по особенностям их инженерно-геологических условий (см. п. 6).

23. В пределах проектируемого моста на подходах к нему и в местах размещения проектируемых регуляционных, защитных и других сооружений каждый из выделенных при выборе варианта перехода участков должен быть разведан не менее чем одной-двумя выработками и не реже чем через 200 *м* на берегах и 100 *м* в русле реки по протяжению трассы (табл. 2).

При неблагоприятных условиях задают скважины и на поперечниках к оси моста.

В основании подходных насыпей и регуляционных дамб при их высоте до 6 *м* проходят скважины глубиной 3 *м*, а при большей высоте до 6 *м*. При наличии слабых грунтов их проходят на всю мощность, но не более полуторной высоты проектируемой насыпи; участки проектируемых выемок разведуют на всю глубину последних плюс 3 *м*. В пределах моста бурят на глубины, указанные в пп. 7 и 8.

Предварительно объемы буровых работ в месте расположения моста назначают по табл. 3 в зависимости от намечаемой длины моста и инженерно-геологических условий, определяемых по литературным, фондовым и другим материалам. При этом вследствие невоз-

можности точного назначения положения моста, длину моста следует принимать с коэффициентом 1,3.

При длине моста >200 *м* объемы буровых работ (количество скважин) определяют по особой программе (табл. 2).

На подходах в пределах поймы на мостовом переходе количество скважин может быть принято из расчета одна скважина на 100 *м*. На воде бурят с понтонов, плотов, льда.

Как правило, бурят всухую, чтобы не пропустить в разведываемом разрезе важных в инженерном отношении прослоек мягких, просадочных и растворимых пород. При надежном построении разреза по уже полученным данным часть скважин может быть пройдена с промывкой шлама.

24. Доразведуют применительно к категории В выбранные для строительства месторождения ископаемых строительных материалов и грунтов (п. 16). Месторождения песчаных грунтов, предназначенных для гидронамыва земляных сооружений, разведуют в зависимости от выдержанности напластований по сеткам от 25×25 до 50×50 *м* на глубину предполагаемой разработки или до подошвы полезной толщи. Определяют гранулометрический состав, оптимальную влажность и максимальную плотность материала, а если проектируется насыпь или дамба высотой более 12 *м*, то и прочность грунта при плотности, предусматриваемой проектом.

25. При пересечении на подходах к мосту проток, стариц, участков со слабыми грунтами, болот зондируют торф, илы, сапропели на всю глубину, заглубляя выработки на 1—2 *м* в плотные подстилающие породы минерального дна.

На длине пересечения, меньшей 100 *м*, закладывают три поперечника из трех-пяти скважин: в начале, середине и конце болота или старицы. При бóльшей длине зондируют через 100 *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.

26. На участке проектируемого моста образцы отбирают, грунты и воду опробуют, как указано в пп. 9—15. На подходах к мосту и в местах размещения проектируемых защитных и регуляционных сооружений опробуют грунты каждого вскрытого выработками слоя.

Для всех грунтов находят влажность через 0,5 *м* по глубине разведываемых разрезов. Для песков — послойно гранулометрический состав, для связных грунтов — пределы пластичности; для грунтов, укладываемых в тело земляных сооружений, — оптимальную влажность и максимальную плотность. Для расчета вероятного размыва определяют гранулометрический состав 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 также и при водонасыщении образцов.

Устанавливают параметры природной прочности и сжимаемости слабых, текуче- и мягкопластичных связных грунтов оснований земляных сооружений. При этом такие грунты можно испытать на сопротивление быстрому сдвигу в лаборатории или крыльчаткой в массиве.

27. 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.

Таблица 2

Длина выделенного участка на морфологическом элементе долины в пределах сооружения или подходов, *м*	Число выработок в русле и на каждом берегу реки	
	в пределах проектируемого моста	на подходах
<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*

Примечания. 1. При каньонообразном строении долины разведочные работы рекомендуется производить с помощью шурфов, расчисток и геофизических методов. 2. При применении геофизических методов количество выработок может быть сокращено на 20—30% (т. е. 20—30% выработок могут быть заменены точками геофизических измерений)

Модуль деформации грунтов определяют статической пенетрацией грунтов (п. 13), пробными нагружениями пород в шурфах и скважинах штампами или испытаниями прессиометром. В этих испытаниях получают показатели природной прочности и сжимаемости грунтов, а в лаборатории могут быть установлены также параметры задаваемой проектом или ожидаемой в эксплуатации прочности грунтов насыпей, дамб, оснований при плотности и влажности, отличающихся от естественных.

Таблица 3

Длина моста (с учетом коэффициента 1,3), *м*	Инженерно-геологические условия	
	простые	сложные
	Количество скважин	
25—100	3—5	5—7
100—200	5—7	7—9

В местах, где при вскрытии котлованов под устои проектируемого моста можно ожидать значительного водопритока, для установления размеров водоотлива и мощности насосов проводят опытные откачки.

28. Режимные наблюдения за развитием карста, смещением оползней, прохождением селей, эрозионными подмывами проводят только при значительных размерах и интенсивности проявления этих процессов, когда они требуют обоснования проектов дорогостоящих защитных мероприятий.

В районах распространения вечной мерзлоты проводят температурные наблюдения в скважинах. Определяют объемный вес и суммарную влажность мерзлого грунта. Подробно описывают текс-

туры мерзлых грунтов. Работы выполняют в соответствии с требованиями ВСН 61-61 [68] и Руководством по геологической документации при изысканиях для строительства [57].

В районах с температурой пород выше минус 3° С может потребоваться провести специальные наблюдения за изменением температуры (под устоями, опорами проектируемого моста) в годовом цикле в специально оборудуемых скважинах для проектирования мероприятий против возможности образования чаши протаивания под сооружениями. Как правило, режимные наблюдения осуществляют по индивидуальным программам.

29. Для проектирования выдают продольный инженерно-геологический профиль по створу мостового перехода и поперечные разрезы в пределах уровня высоких вод, включая и подходы, разрезы под основания проектируемых защитных и регуляционных сооружений, обобщенные значения величин параметров прочности и сжимаемости грунтов несущих пластов, которые будут служить основаниями сооружений. Обобщенные величины получают при статистической обработке совокупностей частных значений показателей свойств грунта каждого отдельно взятого инженерно-геологического элемента массива (пласта, линзы породы) на переходе. Перечисленные материалы и данные необходимы для установления допускаемых напряжений на грунты оснований проектируемых сооружений, разработки принципиальной схемы моста, конструкций фундаментов его устоев и опор, земляного полотна на подходах к месту, защитных, укрепительных и других обустройств. Выдают паспорта месторождений ископаемых строительных материалов и грунтов.

30. 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, приводят материалы по инженерно-геологическому сравнению вариантов перехода.

В специальной части описывают инженерно-геологические условия участка выбранного мостового перехода. Здесь содержатся разделы: поучастковое описание трассы; геологическое строение, состав, сложение, состояние и свойства грунтов; подземные воды; физико-геологические явления; рекомендации по выбору типа оснований опор и устоев моста и способам производства строительных работ; рекомендации по конструкциям земляного полотна на подходах к мосту и других сооружений мостового перехода, расчету их устойчивости и технологии строительства; характеристика состава местных ископаемых строительных материалов, запасы и положение месторождений.

Текст заключения иллюстрируют фотографиями, зарисовками, картами и разрезами. К заключению прилагают:

карту или план района с нанесенными вариантами мостового перехода;

инженерно-геологические карты района и участков мостовых переходов разных масштабов;

продольные инженерно-геологические профили по всем вариантам и выбранному переходу, поперечные геологические разрезы по нему;

колонки выработок и обнажений;

геоэлектрические разрезы, электро- и сейсмопрофили и другие результаты геофизических исследований;

схему расположения месторождений и действующих карьеров местных ископаемых строительных материалов и грунтов для гидронамывов подходных насыпей и дамб;

паспорта месторождений строительных материалов и грунтов;

таблицы и паспорта результатов испытаний грунтов в массиве;

графики и таблицы опытных откачек и режимных наблюдений;

ведомости результатов лабораторных исследований грунтов, русловых и подземных вод общие и таблицы обобщенных значений показателей свойств грунтов;

петрографические описания шлифов пород.

К заключению могут быть также приложены:

рабочая карта фактического материала;

каталог выработок;

документы о согласовании: отвода земель для разработки месторождений, получения материалов из действующих карьеров;

список использованных литературных источников, фондовых и отчетных материалов.

Содержание заключения должно отвечать требованиям представления отчета во Всесоюзный или территориальный геологические фонды министерств геологии охраны недр СССР и союзных республик.

В камеральный период разрабатывают программу инженерно-геологических работ для стадии рабочих чертежей на основе результатов изысканий для технического проекта и нового технического задания, составляют смету стоимости планируемых работ.

§ 27. ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ

1. После того как на стадии технического проекта установлена принципиальная 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 и по замечаниям строительной организации могут быть приняты отдельные решения по изменениям положения трассы, высоты проектной линии, принципиальной схемы и длины проектируемого моста и некоторым другим параметрам мостового перехода. В связи с этим также проводят дополнительные инженерно-геологические изыскания.

Третьей целью этих изысканий является инженерно-геологическое обоснование строительства и временной эксплуатации сооружений, проектируемых на строительной площадке у моста и на карьерах ископаемых строительных материалов. К мостовому переходу и

некоторым карьерам от действующих дорог прокладывают подъездные пути, трассы которых также нужно обследовать.

2. В соответствии с перечисленными целями основными задачами исследований для стадии рабочего проектирования являются установление инженерно-геологических условий основания каждой опоры моста, изучение условий участков размещения сооружений, положение которых изменено, и мест строительства вновь проектируемых постоянных и временных зданий и сооружений.

3. В техническом задании на инженерно-геологические работы должны содержаться плановые материалы по окончательному расположению моста, его опор, регуляционных и защитных сооружений, подходов к мосту и временных обустройств для строительства, включая подъездные пути и дороги. Приводят данные о предполагаемой конструкции фундаментов опор и устоев моста, зданий и других сооружений и величине нагрузок, передаваемых на грунты оснований. Указывают необходимые для расчетов оснований характеристики грунтов всех слоев, которые будут воспринимать нагрузки от опор и устоев моста. Рекомендуют специальные работы, необходимость в которых может возникнуть в связи с особенностями инженерно-геологических условий мест размещения сооружений и способов производства строительных работ. Прикладывают продольные профили проектируемых подъездных ветвей, дорог к мосту и карьерам строительных материалов и развязок.

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. Составляют смету на выполнение работ.

4. Основными видами инженерно-геологических изысканий являются: разведочное бурение, испытания грунтов в массиве, опытные работы, лабораторные исследования и камеральная обработка результатов.

На этой стадии могут быть также продолжены режимные наблюдения, начатые в стадии разработки технического проекта. На участках перетрассировок, изменения положения сооружений и на площади, где будут размещены временные сооружения и здания, и по трассам подъездных путей выполняют инженерно-геологические съемки, геофизические исследования, разведочные работы и опробование грунтов.

5. Примерные объемы разведочных работ для обследования основания одной опоры (устоя) моста для различных инженерно-геологических условий указаны в табл. 4. Если на площадку проектируемой опоры попали некоторые выработки, пройденные ранее, объемы планируемой разведки и отвечающего ей опробования вскрываемых грунтов и вод соответственно сокращают.

Одну скважину проходят по центру площади фундамента проектируемой опоры. Две скважины размещают по краям опоры на ее оси в равных расстояниях от оси моста. Третью скважину бурят по

Таблица 4

Инженерно-геологические условия основания проектируемой опоры	Число скважин	Глубина разведки
I. Простые		
Благоприятные при ширине опор по длинной стороне менее 15 *м*	1	До 15 *м*
То же, более 15 *м*	2	До 15 *м*
II. Сложные		
В разрезе присутствуют пласты слабых [1] грунтов, при ширине опор по длинной стороне менее 15 *м*	1	На 5 *м* ниже поверхности прочных пород[2], но не более 40 *м*
То же, более 15 *м*	2	То же
Падение пластов и уклоны поверхности прочных пород, подстилающих аллювий, превышают 15°, имеются карманы выветрелых пород, глубокие размывы	2	На 5 *м* ниже поверхности прочных пород, но не более 30 *м*
В разрезе присутствуют пласты каменной соли, гипса, ангидрита, солей и гипсоносных пород	2—3	На 5 ниже подошвы толщи растворимых пород, но не более 30 *м*
В толще известняков, доломитов, мела или мергелей имеются карстовые полости	2—3	На 5 *м* ниже подошвы горизонта карстования, но не более 30 *м*
В разрезе присутствуют линзы и пласты подземных льдов, просадочные грунты	2—3	На 5 *м* ниже подошвы подземных льдов, толщи просадочных грунтов, но не более 30 *м*
В основании опор могут быть встречены тектонические разрывы пластов и блоков прочных пород и зоны дробления	3—4	На 5 *м* ниже поверхности массива пород, нарушенных разрывов, подошвы зоны дробления, но не более 30 *м*
Под дном долины расположены поверхности скольжения оползней	3—4	На 5 *м* ниже самой нижней поверхности скольжения оползня
В аллювии погребены глыбы и валуны скальных пород или аллювий подстилается валунной мореной, глыбовыми скоплениями	2—3	На 5 *м* ниже подошвы аллювия, но не более 20 *м*

[1] Слабыми являются илы, глинистые грунты текучей, текуче- и мягкопластичной консистенции и другие неплотные грунты.

[2] Под прочными подразумевают полускальные, скальные, крупнообломочные, моренные, песчано-глинистые породы дочетвертичного возраста и другие плотные породы

оси моста у одной из длинных сторон опоры так, что в плане точки всех трех выработок образуют треугольник. Четыре скважины располагают по углам ромба, вписываемого на плановом очертании фундамента опоры: две из этих выработок попадают на ось мостового перехода.

В тех случаях, когда геофизическая разведка обнаружила в расстоянии до нескольких метров от места размещения опоры карстовые полости или подземные льды, для определения точного положения и размеров этих образований закладывают дополнительные скважины в стороне от опор проектируемого моста. При этом имеют в виду рассмотрение целесообразности смещения в плане оси или отдельных опор моста.

6. Из скважин отбирают образцы, монолиты пород и пробы воды для лабораторных исследований в том же составе и объемах, что и в стадии технического проекта (см. пп. 9—15 § 26), опробуя каждую выработку. Должен быть опробован каждый слой вскрываемой толщи пород. В быстром неконсолидированно-недренированном лабораторном испытании образцов грунтов ненарушенного сложения и естественной влажности, отобранных из несущих пластов, определяют параметры природной прочности грунтов. Глинистые грунты несущей толщи испытывают на сжимаемость; для набухающих разностей находят влажность, величину и давление набухания, — для просадочных относительную просадочность. Устанавливают растворимость и размягчаемость в воде полускальных, соле-, гипсоносных и карбонатных пород.

Общее число частных определений показателей тех или иных свойств грунта данного несущего пласта должно быть достаточным для получения обобщенных значений на основе статистической обработки материалов. Для грунтов оснований опор мостов надежность значений обобщенных показателей прочности и деформативности должна быть не ниже 95% и, следовательно, число частных значений, которые подвергают статистической обработке, не менее 25 для каждого инженерно-геологического элемента (несущего пласта). В обработку включают результаты лабораторных и полевых (в массиве) испытаний грунтов несущей толщи, выполненных на всех этапах изысканий для технического проекта и рабочих чертежей для данного инженерно-геологического элемента (пласта).

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 минералого-петрографического анализа, определений состава и степени засоления, состава поглощенных катионов, емкости обмена, валового химического анализа и др.

7. Испытания грунтов в массиве и опытные работы осуществляют в том же составе и объемах, что и при изысканиях для технического проекта (см. п. 27 § 26). Режимные наблюдения проводят, как указано в п. 28 § 26.

Для проведения лопастных, штамповых и прессиометрических испытаний, опытных откачек, гидрогеологических и температурных режимных наблюдений, измерений 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) для предупреждения возможности сообщения по скважине гидравлически самостоятельных водоносных горизонтов и проникновения воды в пласты карстующихся, выщелачиваемых, набухающих, просадочных пород. В перспективе по окончании режимных наблюдений ликвидируют таким же путем и специальные скважины.

8. На участках перетрассировок, изменения положения защитных и регуляционных сооружений инженерно-геологические работы выполняют в том же составе, что и для технического проекта (пп. 21—29 § 26). Объемы работ должны быть достаточными для освещения объектов дополнительного изучения с той же степенью детальности.

9. Строительные площадки у моста и карьеров, где будут размещены здания и временные сооружения, при наличии плотных грунтов и положении максимального уровня грунтовых вод не ближе 2 *м* от поверхности земли разведуют по сеткам 50×50 и 50×100 *м* скважинами глубиной 6—8 *м*. Грунты каждого вскрытого при этом слоя опробуют, определяя их номенклатурные строительные характеристики (объемный вес, влажность, пределы пластичности, гранулометрический состав и др.).

В случае частого чередования слоев и линз различных по составу, плотности и влажности грунтов, наличия в разрезе слабых пород, близкого к поверхности земли залегания уровня грунтовых вод разведуют основание каждого проектируемого здания или сооружения двумя — четырьмя выработками глубиной 8—10 *м*, а в слабых грунтах — до 15 *м*. Кроме определений номенклатурных показателей грунтов всех вскрытых слоев, для оснований двух и многоэтажных зданий, котельных, насосных станций, крановых ходов и некоторых других ответственных сооружений проводят полевые и лабораторные испытания прочности и деформативности грунтов несущих пластов.

10. По результатам изучения оснований проектируемых опор моста составляют уточненные продольный инженерно-геологический профиль мостового перехода, поперечные геологические разрезы основания каждой опоры (устоя) и дают описание выявленных условий.

Для участков перетрассировок, трасс подъездных путей составляют заключение с приложениями, как указано в п. 29 § 26.

В заключениях об инженерно-геологических условиях строительных площадок характеризуют геологическое строение, гидрогеологические условия, геологические явления на участках, состав, сложение, состояние и свойства грунтов оснований проектируемых

сооружений. Тексты иллюстрируют геологическими разрезами, колонками выработок, а для сложных инженерно-геологических условий фотографиями, инженерно-геологическими картами масштабов 1 : 5000—1 : 2000 (составляемыми еще на стадии технического проекта), геоэлектрическими разрезами, электропрофилями и другими материалами.

Глава V

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ВОДОТОКОВ В БЫТОВЫХ УСЛОВИЯХ

§ 28. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЯДОВ ГОДОВЫХ МАКСИМУМОВ РАСХОДОВ И УРОВНЕЙ

1. Гидрологические расчеты при проектировании мостовых переходов выполняют по материалам, перечень которых приведен в § 2, если нельзя использовать результаты обработки наблюдений, опубликованные в «Ресурсах поверхностных вод СССР».

В результате гидрологических расчетов получают расчетные:

а) гидрографы паводков;

б) расходы и уровни;

в) параметры ледового режима и ветровой волны.

Расчетные значения скоростей течения получают по зависимости $v=f(H_y)$ для расчетных уровней воды (см. гл. II и III).

2. Мосты, регуляционные сооружения и пойменные насыпи рассчитывают на воздействие паводков, максимальные ординаты гидрографов которых (максимальные расходы) имеют вероятность превышения, приведенную в табл. 1.

На дорогах промышленных предприятий с ограниченным сроком службы при специальном обосновании в проекте допускается вероятность превышения расчетного расхода 3%.

Таблица 1

Мосты на дорогах			
железных		автомобильных и городских	
Категория дороги	Расчетная вероятность превышения, %	Категория дороги	Расчетная вероятность превышения, %
I и II общей сети	1	I—III общей сети и городские	1
Ниже II общей сети и всех промышленных преприятий	2	Ниже III общей сети и всех промышленных предприятий	2
—	—	Мосты с отверстием более 100 *м* независимо от категории дороги	1

Для железных дорог всех категорий мосты, регуляционные сооружения и пойменные насыпи рассчитывают также на пропуск паводков с расходами и соответствующими им уровнями вероятностью превышения 0,33% (так называемые «наибольшие» расходы).

3. Если уровни воды не связаны с расходами (в случае нагонных ветров, заторов, зажоров и т. п.), высотные размеры сооружений устанавливают по этим уровням заданной вероятности превышения, если они выше уровней, связанных с расходами той же вероятности превышения.

4. Методика гидрологических расчетов зависит от полноты исходных материалов. В гидрологических расчетах применяют статистические и генетические методы, а также метод гидрологической аналогии.

5. Для гидрологических расчетов, связанных с применением генетических методов, а также с перенесением расходов и уровней с изученного створа на переход, необходимо иметь:

а) выкопировку из мелкомасштабной карты бассейнов исследуемой реки и рек-аналогов с показанием основной гидрографической сети, горных хребтов, общих и частных водоразделов, основных населенных пунктов, водпостов и метеостанций;

б) план бассейна реки с нанесением ситуации бассейна, водораздела выше проектируемого перехода, водоразделы бассейнов существующих мостовых переходов, водпостов ГМС и других пунктов, где производились гидрологические исследования. На плане выписывают характерные отметки по водоразделам, урезам основной реки и ее притоков. Там же приводят форму с исходными данными:

№ п/п	Наименование створов по основной реке и притокам	Площадь бассейна F, км²	Длина реки от истока L, км	Средний уклон реки от истока i	Площадь, км², %				
					леса	озер	болот	ледников	селеобразующих очагов

в) в необходимых случаях (горные, селевые водотоки) 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.

6. При расчете расходов и уровней заданной вероятности превышения по данным многолетних наблюдений соблюдают следующие условия:

а) ряд должен содержать только наивысшие в каждом году генетически однородные (от снеготаяния, таяния ледников, дождевые

и др.) расход и уровень воды. Если период наблюдений уровней больше периода наблюдений расходов, то по имеющимся данным строят зависимость $Q=f(H_y)$, которую экстраполируют согласно гл. II и § 17; с этой кривой снимают недостающие в ряду значения Q;

б) для рек, наивысшие уровни и расходы которых наблюдаются в разные сезоны года, производят выборку и обработку однородных рядов, соответствующих снеговому половодью и дождевым паводкам. В этом случае вероятность того, что наивысший уровень или расход превысят заданные значения, вычисляют по формуле

$$P=P_1+P_2-P_1P_2,$$

где P_1 и P_2 — вероятности превышения (в долях единицы) наивысшего уровня или расхода половодья и дождевого паводка;

в) нельзя включать в ряд наивысшие уровни воды, образовавшиеся от подпора другой рекой, зажоров или заторов льда, нагона воды ветром и т. п.; если эти явления носят систематический характер, то ряды таких уровней обрабатывают отдельно;

г) если расчетный створ находится вблизи слияния двух рек, необходимо выяснить, как влияет приток на уровенный режим основной реки или наоборот; если графики паводочных уровней имеют два пика, то обрабатывают отдельно два ряда — для основной реки и для притока, для расчета принимают наибольшее значение расхода и уровня;

д) если паводок, проходит поверх льда, глубины и уровни воды определяют от поверхности льда;

е) при отсутствии или недостаточности данных за отдельные годы ряды расходов и уровней дополняют данными других водомерных постов, с которыми установлена связь уровней;

ж) если на реке были построены гидротехнические сооружения, изменившие паводочный режим в створе водпоста, то в обрабатываемый ряд включают уровни и расходы только за годы после постройки сооружений;

з) для правильного определения среднего значения максимальных расходов за n лет в обрабатываемый ряд должны входить расходы как высоких, так и низких паводков.

При ряде наблюдений (менее 20 лет) необходимо по более длительным наблюдениям на реке-аналоге установить, включает ли имеющаяся короткая выборка расходы высоких и низких паводков. Если короткий ряд охватывает только низкие или высокие паводки, то ряд необходимо удлинить согласно п. 13. Удлинение ряда производят также в случае, если не соблюдено условие, указанное в п. 14.

7. В результате статистических обработок рядов получают расчетные значения расходов и уровней различных вероятностей превышения.

Обработку выполняют методами моментов или квантилей.

8. При обработке по методу моментов [28, 75] в соответствии с п. 6 составляют ряд максимальных расходов и вычисляют:

а) среднеарифметическое значение расхода

$$\overline{Q}=\frac{\sum_{1}^{n}Q}{n}, \tag{1}$$

где $\sum_{1}^{n}Q$ — сумма годовых наивысших расходов за n лет; n — число членов ряда;

б) отношение каждого расхода ряда к среднеарифметическому

$$K=\frac{Q_i}{\overline{Q}};$$

в) квадраты разностей $(K-1)^2$ для всех членов ряда;

г) коэффициент вариации C_v ряда расходов

$$C_v=\sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(K-1)^2}{n-1}}. \tag{2}$$

Коэффициент асимметрии C_s принимают согласно указаниям п. 10.

9. Если в ряду максимальных расходов имеются перерывы, их восполняют по коррелятивным и другим связям с данными наблюдений на реках-аналогах (см. п. 13).

Если имеется ряд расходов за n лет и один надежно вычисленный расход Q_N, относительно которого известно, что он является наибольшим за N лет, то $\overline{Q}$ и C_v определяют по формулам:

а) когда экстремальный расход установлен по историческим данным вне ряда систематических гидрометрических измерений,

$$\overline{Q}=\frac{1}{N}\left(Q_N+\frac{N-1}{n}\sum_{i=1}^{n}Q_i\right); \tag{3}$$

$$C_v=\sqrt{\frac{1}{N-1}\left[\left(\frac{Q_N}{\overline{Q}}-1\right)^2+\frac{N-1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Q_i}{\overline{Q}}-1\right)^2\right]}; \tag{4}$$

б) когда экстремальный расход входит в состав ряда систематических измерений, а по историческим данным установлено, что на протяжении N лет этот расход не был превышен,

$$Q=\frac{1}{N}\left(Q_N+\frac{N-1}{n-1}\sum_{i=1}^{n-1}Q_i\right); \tag{5}$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N-1}\left[\left(\frac{Q_N}{\overline{Q}}-1\right)^2+\frac{N-1}{n-1}\sum_{i=1}^{n-1}\left(\frac{Q_i}{\overline{Q}}-1\right)^2\right]}. \qquad (6)$$

В этих формулах n — число членов ряда; $\overline{Q}$ — средний расход с учетом экстремального расхода Q_N; Q_i — расход в ряду.

10. Для оценки соответствия принятой теоретической интегральной кривой распределения эмпирическим точкам расходов (или уровней) вычисляют эмпирическую вероятность превышения каждого члена ряда $P_э$ (в %) по формуле

$$P_э = \frac{m-0{,}3}{n+0{,}4}100, \qquad (7)$$

где m — порядковый номер члена в ряде, составленном в убывающем порядке.

Эмпирические точки накладывают на клетчатках вероятностей. Данные для построения клетчаток приведены в приложениях 3 и 4. После накладки эмпирических точек на ту же клетчатку наносят одну из теоретических интегральных кривых распределения, наименее отклоняющуюся от эмпирических точек при вычисленных значениях $\overline{Q}$ и C_v.

Кривые распределения составлены для отношений $\frac{C_s}{C_v}$ от 1,0 до 6,0 (см. приложение 5). Если ни одна из этих кривых не подходит к эмпирическим точкам, строят кривые при иных отношениях $\frac{C_s}{C_v}$, допуская прямолинейную интерполяцию между табличными значениями, или пользуются таблицами, приведенными в приложении 6 и 7, подбирая необходимые отношения $\frac{C_s}{C_v}$.

Если ни одна из теоретических кривых распределения не соответствует эмпирическим точкам, то по ним проводят зависимость $Q=f(P\%)$, по которой определяют расчетное значение $Q_{P\%}$.

При подборе теоретической кривой по эмпирическим точкам следует стремиться к получению соответствия этой кривой большинству точек, а не отдельным, экстремальным точкам. При невозможности достигнуть такого соответствия на всем протяжении кривой допускается подбирать усеченную теоретическую кривую распределения и получать соответствие только в области больших расходов.

Допускается обрабатывать ряды не абсолютных значений расходов, а коэффициентов $K=\frac{Q_i}{\overline{Q}}$ или $K-a$, подбирая величину a так, чтобы значения $K-a$, нанесенные на клетчатку вероятностей, расположились по прямой линии.

Расчетное значение расхода заданной вероятности превышения определяют по формуле

$$Q_p = \overline{Q}k_p, \qquad (8)$$

где $\overline{Q}$ — средний расход; k_p — ордината теоретической интегральной кривой распределения, определяемая по приложению 5.

Статистические расчеты рекомендуется выполнять с использованием ЭВМ [22, стр. 39—49].

Расчетные уровни воды определяют по зависимости $Q=f(H_y)$ соответственно расчетному значению расхода.

11. Расчетные значения уровней можно непосредственно получить по данным водомерных измерений, для чего:

а) составляют ряд уровней над нулем графика в убывающем порядке;

б) определяют эмпирическую вероятность каждого члена ряда по формуле (7);

в) на клетчатку вероятностей наносят ряд эмпирических точек и проводят кривую $H_y=f(P\%)$;

г) кривую $H_y=f(P\%)$ графически экстраполируют и определяют уровни требуемой вероятности превышения. Высота уровней зависит, помимо расхода, от формы живого сечения. Поэтому указанный расчет выполняют для беспойменного створа или для створа, где водомерными измерениями охвачены высокие уровни воды, при которых затапливаются поймы.

При обработке рядов уровней необходимо выполнять требования СН 435-72 [75].

12. По методу квантилей параметры кривой распределения вычисляют по трем опорным расходам определенных вероятностей превышения (квантилям), снятым с проведенной эмпирической кривой распределения.

Порядок определения параметров для биноминальной кривой распределения следующий:

а) составляют ранжированный ряд максимальных расходов за n лет согласно п. 6;

б) вычисляют эмпирические вероятности превышения каждого члена этого ряда и соответствующие точки накладывают на клетчатку вероятностей согласно п. 10;

в) по эмпирическим точкам графически проводят сглаженную кривую $Q=f(P\%)$ так, чтобы она наилучшим образом соответствовала большинству точек в пределах $P=5$—95%; с этой кривой снимают значения расходов $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$ и $Q_{95\%}$.

Если подбором параметров не удастся получить хорошее совпадение теоретической и натурной кривой распределения во всех частях, то определяют три расхода в части кривой, соответствующей наибольшим расходам (усеченной кривой) $Q_{5\%}$, $Q_{10\%}$ и $Q_{50\%}$.

г) вычисляют характеристики коэффициента асимметрии для всей кривой

$$K_{sn}=\frac{Q_{5\%}-Q_{50\%}}{Q_{50\%}-Q_{95\%}}$$

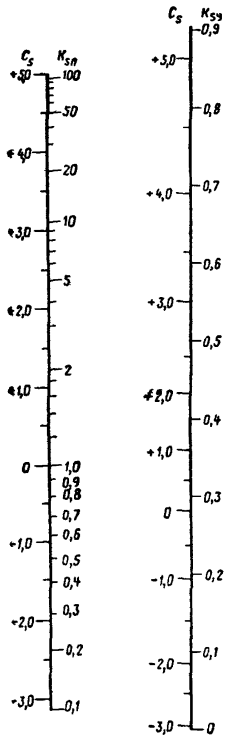


Рис. 1. Шкалы для определения коэффициента асимметрии C_s

или при подборе усеченной кривой

$$K_{sy}=\frac{Q_{5\%}-Q_{10\%}}{Q_{10\%}-Q_{50\%}};$$

д) коэффициент асимметрии C_s находят по графику (рис. 1), исходя из вычисленных характеристик K_{sn}, или K_{sy};

е) при найденном значении коэффициента асимметрии C_s по приложениям 6 и 7 находят модульные коэффициенты для полной кривой $\Phi_{5\%}$, $\Phi_{50\%}$ и $\Phi_{95\%}$ или для усеченной кривой $\Phi_{5\%}$, $\Phi_{10\%}$ и $\Phi_{50\%}$;

ж) в обоих случаях определяют коэффициент вариации по формуле

$$C_v=\frac{Q_{5\%}-Q_{50\%}}{\Phi_{5\%}Q_{50\%}-\Phi_{50\%}Q_{5\%}};$$

з) средний расход в обоих случаях определяют по формуле

$$\overline{Q}=\frac{Q_{5\%}}{1+C_v\Phi_{5\%}};$$

и) вычисляют расходы различной вероятности превышения по формуле

$$Q_{P\%}=\overline{Q}\,[1+C_v\Phi(C_s,\ P\%)],$$

где $\Phi(C_s,\ P\%)$ — модульные коэффициенты, соответствующие вероятности расходов $P_\%$ и найденному значению коэффициента асимметрии по рис. 1;

к) если характеристики коэффициента асимметрии $K_{sn}<1$ или $K_{sy}<0{,}282$, коэффициент асимметрии C_s отрицателен.

Если в ряду есть экстремальные расходы, истинный период повторяемости которых неизвестен, то расчет методом квантилей надежнее. В противном случае можно пользоваться любым методом.

Пример. Значения опорных параметров на р. Иенгре: $Q_{5\%}=960$ *м³/сек*; $Q_{50\%}=390$ *м³/сек* и $Q_{95\%}=190$ *м³/сек*.

Вычисляем: а) характеристика коэффициента асимметрии

$$K_{sn}=\frac{960-390}{390-190}=\frac{570}{200}=2{,}85;$$

б) по номограмме (см. рис. 1) принимаем $C_s=1{,}71$;

в) по приложению 6 при $C_s=1{,}7$ находим:

$$\Phi\ (5\%;\ 1{,}7)=1{,}97;\quad \Phi\ (50\%;\ 1{,}7)=-0{,}27;$$

$$\Phi\ (95\%;\ 1{,}7)=-1{,}06;$$

г) коэффициент вариации

$$C_v = \frac{960 - 390}{1{,}97 \cdot 390 + 0{,}27 \cdot 960} = \frac{570}{770 + 258} = \frac{570}{1028} = 0{,}553;$$

д) средний расход

$$\overline{Q} = \frac{960}{1 + 0{,}553 \cdot 1{,}97} = \frac{960}{2{,}095} = 460 \ м^3/сек.$$

Для вычислений $Q_{P\,\%}$ заполняем следующую таблицу:

Величины	$P\%$						
	0,33	1,0	5,0	10	50	95	99
$\Phi(P\%;\ C_s)$	4,43	3,44	1,97	1,32	—0,27	—1,06	—1,14
$C_v\Phi(P\%;\ C_s)$	2,46	1,93	1,09	0,740	—0,149	—0,585	—0,630
$1+C_v\Phi(P\%;\ C_s)$	3,46	2,93	2,09	1,74	0,851	0,415	0,370
$Q_p = \overline{Q}\,[1 + C_v\Phi\ (P\%;\ C_s)]$	1590	1350	959	800	390	190	170

13. Для приведения короткого ряда расходов к более длинному строят график корреляционной связи между соответствующими по годам расходами короткого и длинного рядов.

Если тесной связи нет, то на том же графике строят связь равнообеспеченных расходов воды обоих рядов.

По полученным точкам строят сглаженную кривую связи; ее графически экстраполируют и по ней переносят расчетные расходы, определенные по водпосту с длинным рядом, на водпост с коротким рядом, или приводят параметры кривой распределения к многолетнему периоду наблюдений согласно указаниям СН 435-72 [75].

14. Полученный расчетный расход $Q_{P\,\%}$ считают надежным, если стандартная ошибка

$$\Delta Q_{P\%} \leqslant 0{,}2 Q_{P\%}.$$

Таблица 2

Коэффициент вариации C_v	Вероятность превышения P, %				Коэффициент вариации C_v	Вероятность превышения P, %			
	0,33	1,0	2,0	3,0		0,33	1,0	2,0	3,0
	E_p					E_p			
0,2	0,38	0,35	0,32	0,32	1,0	1,50	1,41	1,34	1,30
0,4	0,68	0,64	0,60	0,58	1,2	1,78	1,66	1,58	1,52
0,6	0,96	0,90	0,86	0,82	1,4	2,05	1,91	1,81	1,75
0,8	1,30	1,16	1,10	1,06					

Значение $\Delta Q_{P\%}$ определяют по формуле

$$\Delta Q_{P\%} = \frac{E_p}{\sqrt{n}} Q_{P\%}, \qquad (9)$$

где E_P — коэффициент, характеризующий среднеквадратическую ошибку, определяемый по табл. 2; n — число членов статистического ряда с учетом приведения его к многолетнему периоду.

§ 29. МАКСИМАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ ТАЛЫХ ВОД

1. Расходы талых вод определяют согласно СН 435-72 [75].

При невозможности применения СН 435-72 допускается рассчитывать расход [58] по формуле

$$Q_{P\%} = \frac{A_{P\%} F}{(F+1)^{0,25}} \delta_1 \delta_2 \delta_3 \delta_4, \qquad (10)$$

где $A_{P\%}$ — максимальный модуль элементарного стока расчетной вероятности превышения в $м^3/сек$ с 1 $км^2$ по данным наблюдений или опубликованным данным [58]; F — площадь бассейна, $км^2$; δ_1, δ_2, δ_3, δ_4 — коэффициенты, учитывающие степень снижения максимального расхода различными аккумуляторами стока.

2. Влияние озер и болот учитывают коэффициентом

$$\delta_1 = 1{,}0 - K_{об} \lg(f_{оз} + 0{,}20 f_б + 1), \qquad (11)$$

где $f_{оз}$ и $f_б$ — доля площади бассейна, занятая озерами и болотами, %; $K_{об}$ — коэффициент, равный 0,7—0,9 в зависимости от расположения озер в бассейне и увеличивающийся при низовом их расположении.

Формула (11) действительна при $f_{оз} > 1\%$ и $f_б > 10\%$. При $f_{оз} > 15\%$ величину $f_б$ принимают равной нулю.

Формула (11) действительна при $(f_{оз} + 0{,}20 f_б) \leqslant 45\%$.

Влияние только болотной аккумуляции учитывают коэффициентом

$$\delta_2 = 1{,}0 - K_б \lg(1 + 0{,}2 f_б), \qquad (12)$$

где $K_б$ — коэффициент, изменяющийся от 0,6 для верховых болот до 0,7—0,8 для низинных и пойменных.

Влияние леса учитывают коэффициентами:

а) для лесостепной и степной зон

$$\delta_3 = 1 - \gamma_л \lg(1 + f_л), \qquad (13)$$

где $\gamma_л$ — коэффициент, равный 0,2—0,3; $f_л$ — лесистость водосбора (в %) от площади водосбора;

б) для лесной зоны

$$\delta_3 = 1 - \gamma_л' f_л, \qquad (14)$$

где $\gamma_л'$ — коэффициент, равный 0,6 для южной части лесной зоны и 0,70 для северной ее части; $f_л$ — лесистость водосбора в долях единицы.

При наличии на водосборе озер, болот и лесов совместное влияние их учитывают коэффициентом

$$\delta_4 = 1{,}0 - 0{,}6 \lg (1 + f_{оз} + 0{,}2 f_б + 0{,}05 f_л), \qquad (15)$$

где $f_{оз}$, $f_б$, $f_л$ — соответственно озерность, заболоченность и залесенность в процентах от площади водосбора.

Замена коэффициента δ_4 произведением $\delta_1 \delta_3$ не допускается.

Аккумуляцию стока вышележащими крупными водохранилищами учитывают по данным их проекта и эксплуатации. Мелкие водохранилища, образованные некапитальными плотинами (§ 40), как аккумуляторы стока не учитывают.

3. Параметр $A_{P\%}$ в формуле (10) картирован для европейской территории СССР. Однако рекомендуется определять этот параметр статистической обработкой данных по рекам-аналогам (см. § 32).

Если водосбор реки-аналога по условиям аккумуляции стока отличен от водосбора обследуемой реки, то значение $A_{P\%}$ по переходу определяют по формуле

$$A_{P\%} = A_{P\%\,(ан)} \frac{\delta_{(1-4)\,ан}}{\delta_{(1-4)}}, \qquad (16)$$

где $A_{P\%\,(ан)}$ — модуль элементарного стока реки-аналога; $\delta_{(1-4)ан}$ — коэффициент, учитывающий аккумуляционные факторы бассейна реки-аналога; $\delta_{(1-4)}$ — то же, для бассейна обследуемой реки.

При обследовании нескольких рек, относящихся к одному гидрологическому району, строят в логарифмических координатах зависимость модулей максимального стока $M = \frac{Q_{p\%}}{F}$ от площади водосбора рек F.

Зависимость $M = f(F)$ при коэффициенте корреляции входящих в нее величин $r \geqslant 0{,}8$ используют как региональные нормы элементарного модуля максимального стока талых вод; зависимость $M = f(F)$ позволяет также судить о правильности расчетных расходов в створах проектируемых переходов.

Для подбора уравнения $M = f(F)$ обычно принимают зависимость вида $M = \frac{A_{P\%}}{(F + C)^n}$.

4. Расчетные гидрографы стока половодья строят в соответствии с рекомендациями СН 435-72 [75].

В случае простых одномодальных гидрографов средних и малых рек допускается построение по уравнениям:

а) для кривой подъема

$$Q_t = Q_{max}\left(\frac{t}{t_п}\right)^2; \qquad (17)$$

б) для кривой спада

$$Q_t = Q_{max}\left(\frac{t_{сп} - t}{t_{сп}}\right)^2, \qquad (18)$$

где Q_t — текущая ордината расхода воды; Q_{max} — максимальная ордината гидрографа; $t_п$ и $t_{сп}$ — соответственно продолжительность подъема и спада, сутки; t — текущая абсцисса времени от нуля для подъема и от максимума для спада, сутки.

Продолжительность подъема половодья $t_п$ определяется по формуле

$$t_п = T_с + \frac{L}{v}, \qquad (19)$$

где $T_с$ — продолжительность схода основной массы снега, принимаемая по наблюдениям на метеостанции, расположенной вблизи геометрического центра площади водосбора (центра тяжести) или ориентировочно по табл. 3, сутки; L — длина реки до данного створа, *км*; v — средняя скорость течения в русле при пике половодья, *км/сутки*.

Таблица 3

Типы водосборов	$T_с$, сутки.
Заболоченные водосборы лесной зоны	6
Водосборы лесной зоны	5
» лесостепной зоны	4
» степной зоны ЕТС	3
Водосборы степной зоны Казахстана	2
Водосборы полупустынь	1

Параметр $T_с$ можно принимать по формуле (19) для реки — аналога при известных $t_п$, v и t.

Отношение продолжительности спада $t_{сп}$ к продолжительности подъема половодья $t_п$ принимают по гидрографу-аналогу или назначают ориентировочно от 2,0—2,5 для рек степной и лесной зон до 3,0—4,0 для озерных и заболоченных рек с большими поймами.

Объем $W_р$ максимального стока заданной вероятности превышения (в $м^3$) при схематизации гидрографа, согласно уравнениям (17) и (18), определяют по формуле

$$W_р = 28\,800 Q_р t_л (1 + K_п), \qquad (20)$$

где $Q_{р\%}$ и $t_п$ имеют прежние значения;

$$K_п = \frac{t_{сп}}{t_п}.$$

§ 30. МАКСИМАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ

1. Расходы дождевых паводков определяют по действующим нормативным документам. При наличии натурных данных наиболее надежно расходы определяют по региональным нормам стока при достаточном их обосновании [39]. Для районов, не охваченных рекомендациями нормативных документов, для одномодальных паводков можно пользоваться рекомендациями [78] или формулой

$$Q_{P\%} = \frac{0{,}28\left(H_т' - H_н\right)\alpha F}{t_п} f\delta + Q_{гр}, \qquad (21)$$

где $H_т'$ — расчетный слой осадков, *мм* (по п. 2); $H_н$ — слой *начального увлажнения почвогрунтов, мм* (см. *табл.* 4); $t_п$ — *продолжительность* подъема паводка, *ч* (по п. 3); α — коэффициент дождевого стока (по п. 4); F — площадь водосбора, *км*^{2}; f — коэффициент формы гидрографа, принимаемый для малых и средних рек равным:

$f=1{,}20$	при отсутствии пойм
$f=1{,}00$	» поймах, пропускающих до 25% расчетного расхода
$f=0{,}75$	на поймах, пропускающих до 50% расчетного расхода

δ — коэффициент, учитывающий влияние регуляторов стока по формуле (15); для дождевых паводков, вызываемых многосуточными ливневыми дождями, регулирующее влияние леса не учитывают; $Q_{гр}$ — расход грунтового питания (*м*^{3}/*сек*), определяемый приближенно по формуле

$$Q_{гр} = \frac{M_0 F}{1000}, \qquad (22)$$

где M_0 — норма годового стока, *л/сек км*^{2} [58].

2. Расчетный слой осадков H_T' (*мм*) с учетом редукции слоя по площади водосбора определяют по формуле

$$H_T' = \frac{H_T}{1 + K_T F^m}, \qquad (23)$$

где H_T — слой осадков (в *мм*) заданной вероятности превышения за расчетную продолжительность их T в *мин*.

Параметры K_T и m рекомендуется определять по планам изогиет дождей на основании наблюдений на ливнесточных станциях. Ориентировочно для районов, указанных в работе [58], принимают:

при $T<1440$ *мин*;	$K_T=0{,}001$ и	$m=0{,}8$;
при $T>1440$ *мин*;	$K_T=0{,}002$ и	$m=0{,}6$;
при $F\leqslant 100$ *км*^{2}	$H_T'=H_T$	

Расчетную продолжительность осадков T принимают в зависимости от продолжительности подъема паводка $t_п$ (см. п. 3) по рис. 2.

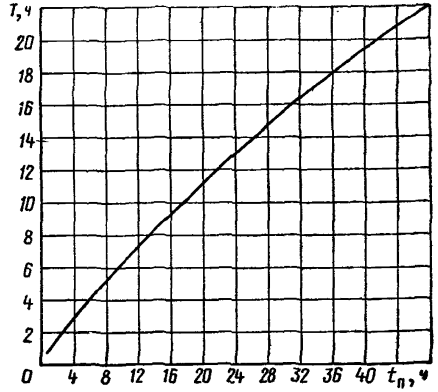


Рис. 2. График для определения расчетной продолжительности осадков в зависимости от продолжительности подъема паводка

Государственным гидрологическим институтом изданы «Материалы по расчетным характеристикам дождевых осадков», в которых приведены таблицы: I — наибольших слоев осадков за интервалы времени τ от 5 до 2880 *мин*, II — ординат кривых $\psi(\tau)$ редукции осадков по их продолжительности и III — характеристик суточных осадков разной обеспеченности $H_{P\%}$ для всех районов СССР. Пользуясь табл. III, для метеостанции, ближайшей к геометрическому центру тяжести площади водосбора, находят величину $H_{P\%}$ нужной обеспеченности, затем для τ, равной расчетной продолжительности дождя T, по табл. II интерполяцией находят величину $\psi(T)$. Величину H_T определяют по формуле

$$H_{T\,(P\%)} = H_{P\%}\psi(T). \tag{24}$$

В случае расчета максимальных расходов дождевых паводков вне района, данные для которых приведены в указанном издании, выполняют статистическую обработку рядов максимальных в году слоев осадков для интервалов времени (например, для τ=5, 10, 20, 40, 90, 300 и 1440 *мин*) путем построения на клетчатке вероятностей зависимостей $H_\tau = f(P\%)$ (см. рис. 3, *а*). По значениям $H_{(P\%)}$ расчетных вероятностей превышения строят в логарифмическом масштабе график зависимостей $H_{T\,(P\%)} = f(T)$ (см. рис. 3, *б*); по этому графику для нужных значений T находят расчетные величины $H_{T\,(P\%)}$.

При наличии на бассейне нескольких метеостанций расчетный слой осадков определяют без учета редукций по площади водосбора, а непосредственно по плану изогиет расчетного дождя (рис. 4).

3. Продолжительность подъема паводка $t_п$ (в *ч*) определяют по формуле

$$t_п = \frac{k_{под} L}{3{,}6 v_п}, \tag{25}$$

где $k_{под}$ — коэффициент, принимаемый от 1,0 для коротких ливневых дождей до 1,5 для обложных дождей продолжительностью более суток; L — длина реки от истока по руслу, *км*; $v_п$ — средняя за

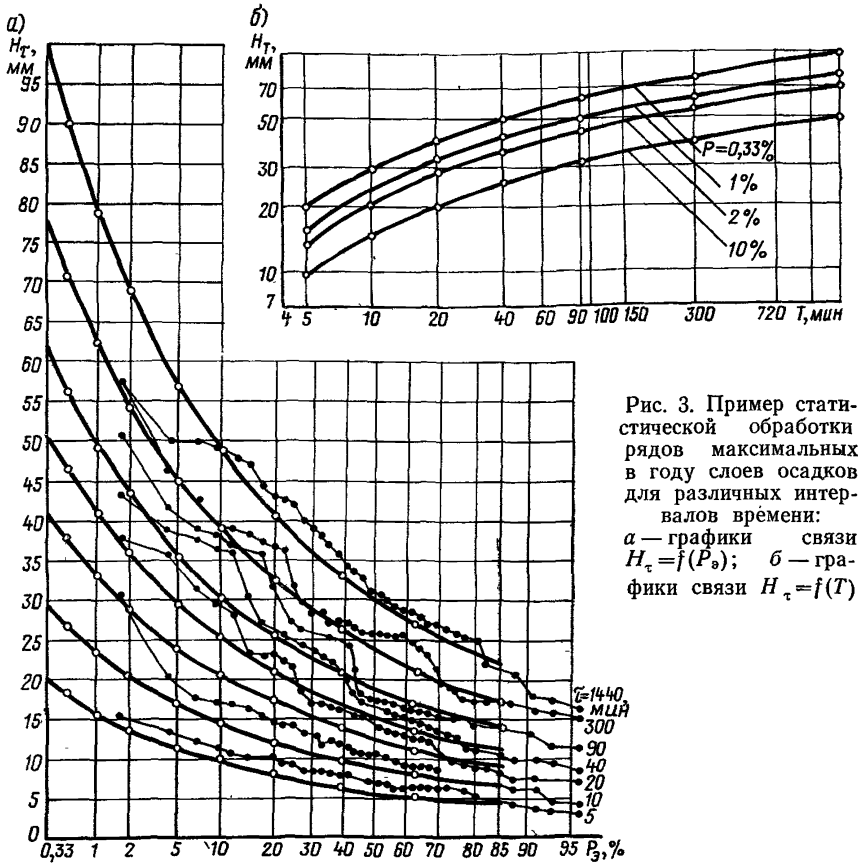


Рис. 3. Пример статистической обработки рядов максимальных в году слоев осадков для различных интервалов времени:
а — графики связи $H_\tau = f(P_э)$; *б* — графики связи $H_\tau = f(T)$

время подъема скорость добегания пика паводка, равная $\sim 0{,}7\, v_{max}$, где v_{max} — максимальная скорость течения для расчетного створа, *м/сек*.

Если есть данные одновременных наблюдений за осадками, вызвавшими паводок, и за уровнями воды в створе перехода, то продолжительность подъема определяют по формуле

$$t_п = k_{под} t_{сд}, \tag{26}$$

где $t_{сд}$ — время сдвига между пиком дождя и пиком паводка, *ч*.

Величину $t_п$ также определяют, задаваясь расходом по формуле

$$t_п \approx \frac{1{,}7L}{I^{\frac{1}{3}} Q^{\frac{1}{4}}}, \tag{27}$$

где I — средний уклон водотока от истока до расчетного створа, ‰.

Величину $Q_{P\,\%}$ определяют по формуле (21) подбором, изменяя значение Q в формуле (27), допуская расхождение между $Q_{P\,\%}$ и Q не более 25%.

4. Объемный коэффициент дождевого стока α принимают по табл. 4.

Таблица 4

Район, зона	Слой начального увлажнения $H_{нач}$, *мм*	$P\%$					
		50	10	4	2	1	0,33
		α					
Лесная зона	10	0,06—0,05	0,10—0,15	0,15—0,20	0,20—0,25	0,25—0,30	0,30—0,35
Лесостепная и степная зона для водосборов $F \leqslant 1000$ *км*^{2}	20	0,00—0,05	0,10—0,15	0,20—0,25	0,25—0,35	0,30—0,40	0,40—0,50
Предгорные районы Урала и Карпат, горные и предгорные районы Средней Азии и Кавказа (кроме Черноморского побережья)	15	0,05—0,10	0,15—0,20	0,25—0,30	0,30—0,35	0,35—0,45	0,45—0,55
Дальний Восток (кроме Южного Приморья), горные районы Карпат	10	0,05—0,10	0,20—0,25	0,30—0,35	0,35—0,45	0,40—0,50	0,50—0,65
Дальний Восток (Южное Приморье), Черноморское побережье Кавказа, Западная Грузия	5	0,10—0,15	0,25—0,30	0,35—0,40	0,45—0,55	0,55—0,70	0,75—0,90

Значения α рекомендуется уточнять по рекам-аналогам (см. п. 4 § 32) обратным расчетом по формуле (21).

Коэффициент стока может быть уточнен, когда на створе перехода установлен уровень высокой воды и дата прошедшего паводка, а также распределение по водосбору осадков, вызвавших этот паводок. Коэффициент стока в этом случае определяют по формуле

$$\alpha = \frac{W_{ст}}{W_{ос}}; \qquad (28)$$

где $W_{ст}$ — объем дождевого стока в $м^3$, определяемый по формуле

$$W_{ст} = 300 Q_p t_п (4 + 3K_п), \qquad (29)$$

где $K_п$ — отношение продолжительности спада к продолжительности подъема принимают по типовому гидрографу реки-аналога или назначают равным 1,5—2,0 для малых рек с безлесными бассейнами и малопроницаемыми почвами до 3,0—4,0 для малых рек с лесистыми бассейнами или проницаемыми почвами (а также для средних рек с обычными поймами) и до 4,0—6,0 для больших рек

со значительными поймами; W_{oc} — объем выпавших на водосбор осадков (в $м^3$), равный среднему слою осадков, умноженному на площадь, ими покрытую.

Гидрограф дождевого паводка строят по формулам (17) и (18), принимая за единицу времени час вместо суток.

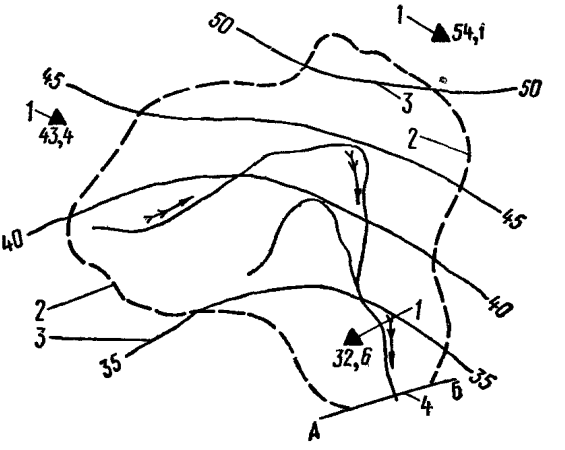


Рис. 4. План бассейна водотока с показанием метеостанций и изогиет дождя 17 июля 1960 г.:

1 — метеостанции; *2* — границы бассейна; *3* — изогиеты дождя в *мм*; *4* — створ перехода

Пример расчета. В створе перехода через водоток с площадью водосбора $F=363$ $км^2$ установлен УВВ дождевого паводка, прошедшего 17 июля 1960 г. По расчету $Q_{max(17/VII)}=93{,}5$ $м^3/сек$. На трех метеостанциях, расположенных в районе водосбора (рис. 4), зарегистрированы осадки, выпавшие в то же число. Объем осадков, вычисленный по изогиетам дождя, $W_{oc}\approx 15\cdot 10^6$ $м^3$. Длина водотока от истока до створа, перехода $L=34{,}8$ $км$, максимальная скорость течения в створе перехода по расчету $v_{max}=2{,}14$ $м/сек$ и $v_п=0{,}7\cdot 2{,}14=1{,}50$ $м/сек$. Продолжительность подъема паводка при $k_{под}=1$ по формуле (25) будет

$$t_п=\frac{34{,}8}{3{,}6\cdot 1{,}5}=6{,}45\ ч.$$

Объем стока 17/VII—60 г. определяем по формуле (29)

$$W_{тг}=300\cdot 93{,}5\cdot 6{,}45\,(4+3\cdot 2)=1{,}81\cdot 10^6\ м^3.$$

По формуле (28) коэффициент стока дождевого паводка 17/VII—60 г.

$$\alpha=\frac{1{,}81\cdot 10^6}{15\cdot 10^6}=0{,}12.$$

Средний суточный слой осадков 17/VII-60 г. на водосборе составил $H_р=\frac{15\cdot 10^6}{363\cdot 10^6}\approx 41{,}4$ $мм$. Водосбор расположен в районе г. Камыша (Северо-Кавказского управления гидрометеослужбы). Для этого района в табл. III «Материалов по расчетным характеристикам дождевых осадков» [37] находим, что такой слой осадков имеет вероятность превышения $P\approx 10\%$.

По табл. 4 для степной зоны и этой вероятности превышения $\alpha=0{,}10\div 0{,}15$, что соответствует натурным данным.

Определим расчетную величину $Q_{1\%}$. По табл. III [37] находим $H_{1\%}=85$ $мм$ и по табл. II для района Нижней Волги и продолжительности осадков $6{,}45\cdot 60=387$ $мин$, интерполируя, находим $\psi(\tau)=0{,}800$. Ввиду малости водосбора расчетный слой осадков $H_т'\cong H_т$ и согласно формуле (24) $H_т'=85\cdot 0{,}800=68$ $мм$. Тогда по формуле (21), пользуясь данными табл. 4 и принимая $Q_{гр}\approx 0$, δ и $f=1{,}0$, получим

$$Q_{1\%}=\frac{0{,}28\,(68-20)\,0{,}35\cdot 363}{6{,}45}=264\ м^3/сек.$$

§ 31. МАКСИМАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

1. Максимальные расходы селевых потоков дождевого происхождения вычисляют [85] по формуле

$$Q_c = \psi_Q Q_в, \tag{30}$$

где $Q_в$ — расход жидкого стока, определяемый по формуле (21); ψ_Q — коэффициент твердого стока (или коэффициент селеносности), определяемый по формуле

$$\psi_Q = \frac{1+\beta_Q}{1-\delta\varepsilon_п\beta_Q}, \tag{31}$$

где β_Q — наносно-водное отношение при пике паводка; $\varepsilon_п$ — приведенная порозность твердых материалов, поступивших в поток (отношение объема пустот к объему зерен); δ — водонасыщенность пор твердых материалов до их смыва.

Значения $\varepsilon_п$ определяют по натурным данным, полученным при обследовании селевых очагов, где накапливается материал, подготовленный к смыву. При отсутствии этих данных для бассейнов, где возможно прохождение только водокаменных селевых потоков, принимают $\delta\varepsilon_п = 0{,}2$, для бассейнов с грязевыми и грязекаменными селями $\delta\varepsilon_п = 0{,}4$.

Характеристикой двухфазного потока является наносно-водное отношение β (отношение объема твердой фазы потока к жидкой фазе).

Различаются величины осредненного за время паводка наносно-водного отношения β_W и предельного его значения в момент прохождения пика паводка β_Q.

Наносно-водное отношение связано с мощностью селеобразующих очагов в бассейне, характеризуемом коэффициентом m_μ и уклоном водотока, характеризуемым коэффициентом m_i.

Коэффициенты m_μ и m_i определяют по эмпирическим зависимостям, представленным в виде номограмм (рис. 5). Наносно-водное отношение β_W определяют по формуле

$$\beta_W = m_\mu m_i m_P. \tag{32}$$

Коэффициент m_P, учитывающий вероятность превышения паводка, зависит от $P\%$:

$P\%$	0,01	0,1	1	2	5	10	20	50
m_P	2,8	2,0	1,2	1	0,7	0,5	0,3	0,1

Селеносность бассейна μ выражает отношение площади селеобразующих очагов F_c к общей площади бассейна F. При отсутствии натурного обследования эту величину принимают на основании изучения фактических отложений, сведений о частоте и мощности селевых явлений или по табл. 5.

Связь между β_W и β_Q принимают по формуле

$$\beta_Q = 0{,}24 + 0{,}96\beta_W \leqslant 1{,}5\beta_W. \quad (33)$$

Объем твердого материала, смытого с площади бассейна за расчетный паводок, определяют по формуле

$$W_т = W\beta_W \frac{1 + \varepsilon_п\delta}{1 - \delta\varepsilon_п\beta_W}, \quad (34)$$

где W — объем жидкого стока.

2. Если установлено, что на водотоке формируются только турбулентные селевые потоки, то пределу транспортирующей способности таких потоков соответствует величина $\beta_Q = 1$, возможная только в узких горных ущельях с большими уклонами. В нестесненных руслах с пойменными террасами и на конусах выноса с уклонами менее 0,03—0,04 предельное значение наносно-водного отношения $\beta_Q \leqslant 0{,}4$. В подобных случаях, если расчет по формулам (32) и (33) дает большие значения, то следует ввести ограничения.

Если на реке, в которую впадает рассматриваемый селевой водоток, имеются гидрометрические посты, на которых измеряют расход наносов, то следует проанализировать результаты расчетов, используя данные о среднем и наибольшем стоке наносов в годы и месяцы, когда проходили селевые потоки.

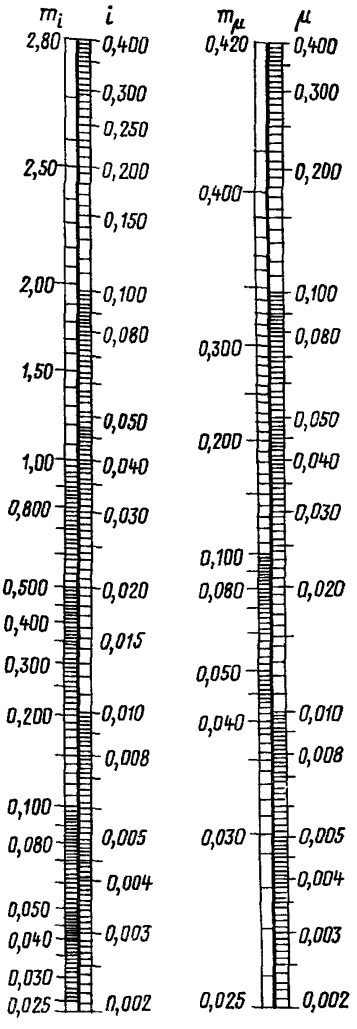


Рис. 5. Шкалы для определения коэффициентов m_i и m_μ при расчете максимальных расходов и объема твердого стока селевых потоков

3. Связные (структурные) сели с ламинарным режимом движения селевой массы не могут быть стеснены сооружениями мостового перехода. В створе перехода по материалам обследования такого водотока (см. § 21) устанавливают расчетный уровень структурного селя с учетом возможных заторов селевой массы.

Расчет связных селей выполняют по специальной методике.

Таблица 5

Типы бассейнов	$\mu = \frac{F_c}{F}$	Типы бассейнов	$\mu = \frac{F_c}{F}$
Весьма сильно эродированные	0,2—0,40	Весьма слабо эродированные (горные реки с повышенным значением твердого стока в паводки)	0,01—0,03
Сильно эродированные	0,10—0,2		
Средне »	0,05—0,10		
Слабо »	0,03—0,05		

§ 32. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ МЕТОДОМ АНАЛОГИЙ

1. Для получения расчетных расходов и уровней в створах переходов через малоизученные реки применяют метод аналогий. Для этого выбирают гидрологически изученный район и реку, которые могут служить аналогами для данного неизученного района и реки.

Гидрологические и метеорологические параметры для выбранного аналога применяют для расчета расходов по генетическим формулам (см. § 29—31), а также для определения вероятности превышения установленных на месте за разные годы УВВ и соответствующих им расходов по материалам гидрологических изысканий.

2. При выборе района или реки-аналога стремятся получить возможно лучшее соответствие в признаках, приводимых ниже.

Климатические признаки:

а) типы максимального стока (от таяния снега или ледников, ливневый, селевой и т. п.);

б) суточные максимумы жидких осадков к началу весеннего снеготаяния или таяния ледников для снегового или ледникового стока (расчетной вероятности превышения);

в) среднесуточные максимумы градиентов потепления в период снеготаяния, при преобладании снегового или ледникового стока;

г) средняя температура воздуха в ливневый период;

д) ориентировка бассейнов по отношению к направлению влагоносных ветров в ливневый период (при ливневом и селевом стоке) или к направлению фронтона сеготаяния (при снеговом и ледниковом стоке).

Морфометрические признаки:

а) густота русловой сети, определяемая коэффициентом

$$\rho = \frac{\sum l_i}{F},$$

где Σl_i — сумма длин реки и ее притоков, *км*, взятых по картам одного масштаба для изучаемого бассейна и аналога;

б) абсолютные отметки водоразделов и средние высоты бассейнов над уровнем моря;

в) средние уклоны водотоков I, ‰;

г) размеры водосборных площадей, причем площадь водосбора реки-аналога не должна отличаться от площади водосбора неизученной реки более чем в 5 раз при $F \geqslant 1000$ км² и в 10 раз при $F < 1000$ км². Для рек с весенне-летним половодьем от таяния горных снегов и ледников вместо площадей F у створа-аналога и перехода вводят площадь $F_0 \geqslant F$, соответствующую части площади водосбора, покрытой снегом и ледником к началу снеготаяния;

д) форма бассейна, характеризуемая региональной зависимостью вида $L = a\sqrt{F}$, где L — длина водотока;

е) озерность и заболоченность бассейнов;

ж) расстояние между изучаемым бассейном и аналогом, которое должно быть минимальным.

Геоботанические признаки:

а) почвенный покров;

б) залесенность бассейнов;

в) наличие селеносных эродированных склонов при преобладании селевого стока;

г) наличие карста и подземного стока.

3. Если при выборе района-аналога подобными оказываются не все признаки, то для районов с весенним половодьем предпочтение отдают району с близкими средней суммой осадков за холодный период и при изменении среднесуточных температур в период снеготаяния; для районов с преобладающими ливневыми паводками предпочтение отдают району с близким суточным максимумом осадков; для районов с половодьем от таяния ледников решающим признаком является средний максимум суточных колебаний температуры за период таяния ледников по высокогорным метеостанциям.

При выборе реки-аналога с летним половодьем от таяния ледников предпочтение отдают реке с близкими высотами водораздела, отметками залегания и площадью ледников.

4. Для выбранных рек-аналогов выполняют статистическую обработку рядов уровней и расходов за имеющийся многолетний период по указаниям § 28.

5. Основная формула для определения расходов методом аналогии

$$Q_p = Q_{pa} \frac{f(F, L, I, \ldots)}{f(F_a, L_a, I_a, \ldots)}, \qquad (35)$$

где Q_p — искомый расход для бассейна вероятности превышения $P\%$; Q_{pa} — то же, для бассейна-аналога, определяемый статистически по ряду наблюденных расходов; $f(F, L, I\ldots)$ — расчетная функция расхода от параметров бассейна, взятая по генетическому методу расчета, принятому для проведения расчетов по аналогии; $f(F_a, L_a, I_a;\ldots)$ — та же функция, но для параметров бассейна аналога.

Полученные для реки-аналога значения параметров ($A_{P\%}$, H_T, $a_{1\%}$), входящих в формулы § 29—31, принимают к расчету для обследуемой реки.

Перенос значения C_v' с реки-аналога можно производить [8] по интерполяционным формулам:

при снеговом стоке $C_v^{сн} = C_v' \left(\frac{L'}{L}\right)^{0,2}$;

при дождевом стоке $C_v^{д} = C_v' \left(\frac{L'}{L}\right)^{0,2} \sqrt{\frac{H'+2}{H+2}}$,

в которых L — длина водосбора от истока до замыкающего створа, *км*; H — высота геометрического центра бассейна над уровнем моря, *м*, определяемая как полусумма абсолютных отметок истока реки и уровня межени в замыкающем створе.

Величины со штрихами относятся к реке-аналогу, без штрихов — к неизученной реке.

6. Расходы и уровни расчетной вероятности превышения, полученные для неизученной реки по принятым для аналогов гидрологическим параметрам, увязывают с расходами, полученными по установленным при изысканиях уровням высоких паводков. Эти расходы расчетной вероятности превышения $Q_{P\%}$ вычисляют по формуле

$$Q_{P\%} = Q_H \frac{K_P}{K_H}, \qquad (36)$$

где Q_H — расход воды, соответствующий установленному в натуре УВВ; K_P — ордината интегральной кривой распределения для расчетной вероятности превышения $P\%$ при принятых по аналогии значениям C_v и C_s/C_v (приложение 5); $K_н$ — ордината той же кривой для вероятности превышения установленного в натуре УВВ.

Вероятность превышения найденного на местности УВВ определяют по § 17; если известен год установленного в натуре УВВ и этот год охвачен наблюдениями на реке-аналоге, то вероятность его превышения определяют по данным обработки ряда уровней для реки-аналога. Аналогом по уровням не может быть створ наблюдений с сильно деформируемым блуждающим руслом вследствие отсутствия связи $Q=f(H)$.

7. Расчетные расходы, вычисленные по вероятности превышения найденного на местности УВВ и определенные по аналогии с использованием формул (10) и (24), должны различаться между собой не более чем на 20—25%.

Если расхождение больше, то уточняют принятую вероятность превышения наблюденного УВВ и принятые по аналогии параметры максимального расхода.

В частности, учитывают реально возможное затопление пойм; соответствие вероятности превышения определенных в натуре УВВ по данным аналога и показаниям старожилов, а также соответствие русловых скоростей течения при расчетном уровне грунту, слагающему русло (см. табл. 3 гл. VIII).

8. При отсутствии надежных аналогов и данных многолетних наблюдений за расходами и уровнями воды разрабатывают региональные нормы стока [39] по материалам полевых краткосрочных обследований нескольких водотоков.

§ 33. РАСЧЕТ СУДОХОДНОГО И МЕЖЕННЫХ УРОВНЕЙ В СТВОРЕ ПЕРЕХОДА

Расчетный судоходный уровень определяют на основании НСП 103-52 [50].

Для нешлюзованных рек расчетный судоходный уровень определяют в следующем порядке:

1) Устанавливают класс реки по НСП 103-52.

2) Составляют ведомость из трех граф: в первой помещают порядковые номера; во второй — наивысшие отметки уровня паводков по данным водомерных постов (отметки располагают в нисходящем порядке); в третьей графе помещают годы, в которые наблюдались эти отметки.

3) Определяют порядковый номер паводка (по которому определяется РСУ) по формуле

$$N=\frac{a\,(n+1)}{100}, \tag{37}$$

где a — коэффициент, принимаемый по табл. 6; n — количество лет наблюдений на водомерном посту.

Соответствующий расчетному порядковому номеру год является расчетным.

4) Определяют допустимую по классу реки продолжительность стояния уровней воды (в сутках), которые были выше расчетного судоходного уровня в расчетном году по формуле

$$t=\frac{\kappa m}{100}, \tag{38}$$

где m — фактическая продолжительность фактической навигации (период, когда река свободна от льда и «сала») в расчетом году, сутки; κ — коэффициент, принимаемый по табл. 6.

5) по данным водомерных наблюдений в расчетном году устанавливают тот уровень воды, выше которого продолжительность стояния высоких паводковых уровней, вычисленная по формуле (38), составляет t суток. Этот уровень принимают за расчетный судоходный уровень воды.

За расчетный сплавной уровень принимают уровень вероятности превышения $p=10\%$.

Таблица 6

Классы рек	Величина коэффициентов		Классы рек	Величина коэффициентов	
	a	κ		a	κ
I	2	5	IV	5	5
II	3	6	V	5	3
III	4	6	VI	4	2
			VII	4	2

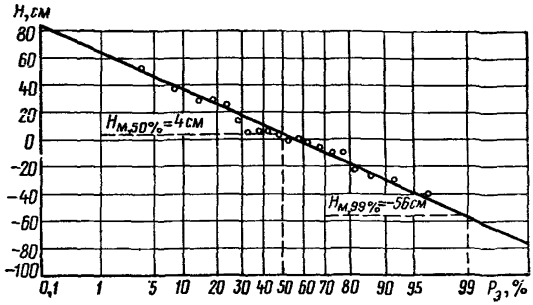


Рис. 6. Пример определения уровней средней ($H_{м,50\%}$) и наинизшей ($H_{м,\ 99\%}$) меженни, над «0» графика водпоста

Отметку этого уровня в створе перехода согласовывают в местных сплавных организациях.

2. В качестве расчетных меженных уровней принимают наинизшую межень с обеспеченностью уровня на 99% ($H_{нм\,99\%}$) и среднюю межень ($H_{мср}$).

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 $P_э$ определяют по формуле (7). На клетчатке вероятностей по значениям уровней $H_{нм}$ и соответствующим им $P_э$ строят зависимость $H_{нм}=(P_э)$, с которой снимают значение $H_{нм,99\%}$.

Уровень средней межени определяют 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 (см. § 34). Пример определения $H_{нм,99\%}$ приведен на рис. 6.

Если на данной реке нет наблюдений или непосредственный перенос имеющихся наблюдений невозможен, то величины $H_{нм,99\%}$ и $H_м$ в створе перехода определяют по соответствующим меженным расходам. Эти расходы вычисляют по СН 435-72 [75].

§ 34. 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 СН 435-72 [75]:

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 уровней воды заданной вероятности превышения;

в) при расположении водомерного поста не далее 3 *км* — по уклону водной поверхности.

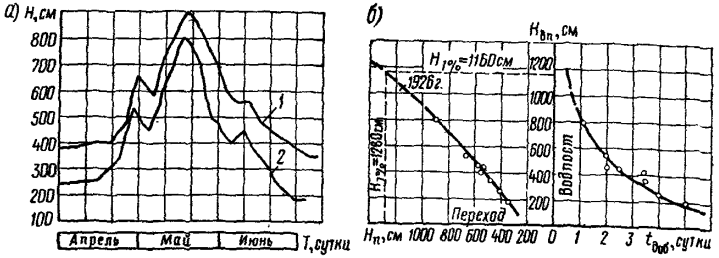


Рис. 7. Пример построения кривой связи сходственных уровней воды между водпостом и переходом:
1 — переход; *2* — водпост

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 $r_к \geqslant 0{,}8$. 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, 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 створом перехода.

Для надежной экстраполяции кривой связи уровней используют также амплитуды высоких исторических уровней над нулями многолетнего поста и временного поста на переходе (рис. 7, *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 $t_{доб}=f(H)$ (рис. 7, *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. 8).

3. Уклон водной поверхности может изменяться с изменением уровня. Поэтому при переносе уровней по уклону необходимо одновременной нивелировкой урезов воды на участке переноса уровней

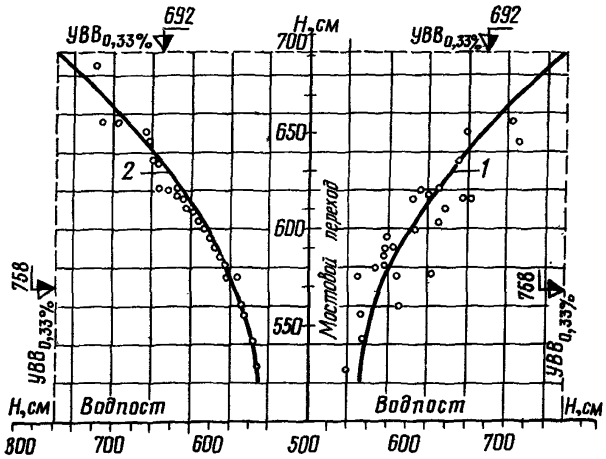


Рис. 8. Пример построения кривых связи сходственных уровней и уровней равной обеспеченности:

1 — кривая связи сходственных уровней; *2* — то же, равной обеспеченности

установить характер и размеры этого изменения; в результате должно быть принято расчетное значение уклона $i_{\text{расч}}$ или построена зависимость $i=f(H)$.

4. 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 (см. § 29 и 30). Это возможно, если расчетный слой суммарного стока, коэффициент дружности половодья и показатель степени его редукции для расходов талых вод или модуль максимального расхода и показатель степени его редукции для дождевых паводков на том же участке остаются неизменными. В противном случае максимальные расходы определяют для створа мостового перехода методом аналогий согласно § 32.

5. Максимальные расходы талых вод переносят от створа водпоста на створ перехода по формуле

$$Q_{\text{р}}=Q'_{\text{р}}\frac{\delta_1\delta_2}{\delta'_1\delta'_2}\left(\frac{F}{F'}\right)^n, \qquad (39)$$

где $Q_{\text{р}}$ — расход расчетной вероятности превышения в створе перехода, *м*³/*сек*; $Q_{\text{р}}'$ — то же, в створе водпоста; F — площадь водосбора в створе перехода, *км*²; F' — то же, в створе водпоста; δ_1, δ_2 — параметры, принимаемые по СН 435-72 для створа перехода, или параметры δ_1, δ_2, δ_3 и δ_4 при пользовании формулой (10); δ_1' и

δ_2' — то же, для створа водпоста или соответственно δ_1', δ_2', δ_3' и δ_4' при пользовании формулой (10); n — показатель степени редукции дружности половодья, принимаемый по СН 435-72 или $n=0{,}25$ при пользовании формулой (10).

Максимальные расходы дождевых паводков переносят со створа водпоста на переход по формуле

$$Q_p = Q_p' \left(\frac{F}{F'}\right)^{1-n} \frac{\delta\delta_1}{\delta'\delta_1'}, \qquad (40)$$

где δ' — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода вследствие заболоченности для створа водпоста, принимаемый по СН 435-72 [75]; δ_1' — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода проточными озерами для створа водопоста, принимаемый по СН 435-72; δ и δ_1 — то же, для створа перехода; n — показатель степени редукции модуля максимального расхода, принимаемый по СН 435-72.

Допускается переносить максимальные расходы на створ перехода по региональным зависимостям $M=f(F)$, где $M=\frac{Q}{F}$ модуль максимального расхода, полученный по натурным данным, а для максимальных расходов дождевых паводков также по формуле (21) при условии натурного определения коэффициента стока для створа водпоста (см. § 29 и 30).

Если участок реки между створом водпоста и створом, на который переносят расход, бесприточный, при переносе расхода учитывают распластывание паводочной волны [25].

§ 35. РАСЧЕТЫ ТВЕРДОГО СТОКА

1. Сток твердого материала, переносимого рекой, осуществляется в виде влекомых по дну частиц (донные наносы) и частиц, перемещаемых в массе воды (взвешенные наносы). Вследствие изменения динамических характеристик водного потока по длине реки и по гидрологическим фазам происходит переход одного вида твердого стока в другой. Естественные русловые деформации (см. гл. VII) и деформации подмостовых русел (см. гл. VIII) зависят, главным образом, от донных наносов, характеризуемых их расходом на единицу ширины русла (элементарный расход или расход на вертикали $q_т$).

2. Расход донных наносов на вертикали (*кг/сек м*) определяют [32] по формуле

$$q_т = 12\left(\frac{u}{u_0}\right)^3 d\,(u-u_0)\left(\frac{h}{d}\right)^{0{,}33}, \qquad (41)$$

где u — средняя скорость на вертикали, *м/сек*; u_0 — размывающая скорость для наносов, *м/сек*; d — диаметр частиц наносов, *м*; h — глубина воды, *м*.

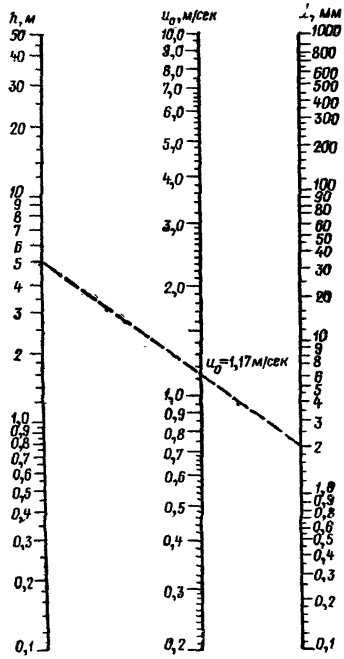


Рис. 9. Номограмма для определения размывающей скорости по формуле (42)

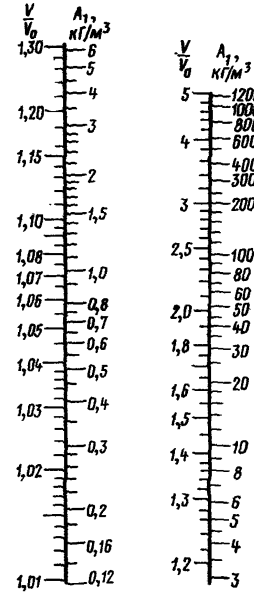


Рис. 10. Шкала для определения величины A в формуле (43)

Размывающую скорость [67] определяют по формуле

$$u_0 = 3{,}6\sqrt[4]{hd} \qquad (42)$$

или по графику (рис. 9).

3. Если глубины и скорости распределены по ширине русла приблизительно равномерно, то полный расход донных насосов (в *кг/сек*) определяют по формуле

$$G = 12\left(\frac{v}{v_0}\right)^2\left(\frac{v}{v_0}-1\right)\left(\frac{d}{H}\right)^{\frac{2}{3}}Q, \qquad (43)$$

где v — средняя скорость в сечении, *м/сек*; v_0 — средняя размывающая скорость, *м/сек*; d — средний диаметр частиц наносов, *м*; H — средняя глубина, *м*; Q — полный расход воды в данный момент времени, *м³/сек*.

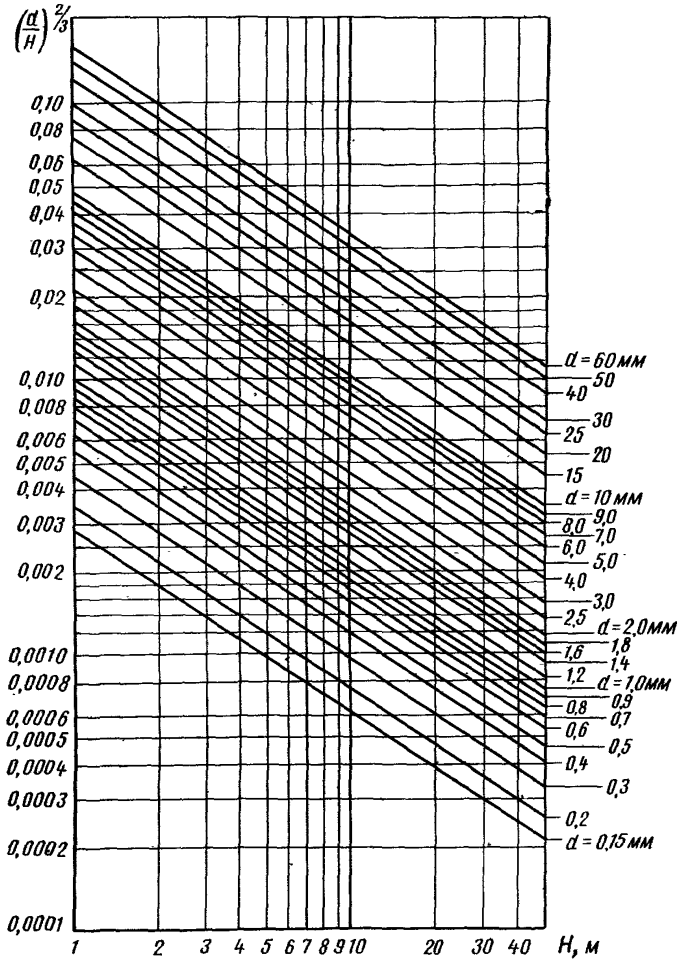


Рис. 11. График для определения $\left(\frac{d}{H}\right)^{\frac{2}{3}}$

Вычисления по формуле (43) выполняют по номограммам (рис. 10 и 11),

где $G = A_1 B_1 Q$; $A_1 = 12\left(\frac{v}{v_0}\right)^2\left(\frac{v}{v_0} - 1\right)$; $B_1 = \left(\frac{d}{H}\right)^{\frac{2}{3}}$.

§ 36. РАСЧЕТЫ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕК И ВОДОХРАНИЛИЩ

1. При проектировании переходов учитывают воздействие ледяного покрова на сооружения зимой и в период весеннего ледохода.

По условиям весеннего ледохода реки Советского Союза [27] 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 воды 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.

2. 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:

а) даты наиболее раннего, позднего и высокого весеннего и осеннего ледохода;

б) максимальный и минимальный уровни первой подвижки льда и максимальные уровни весеннего и осеннего ледохода;

в) толщину льда и ее изменения в течение ледостава;

г) размеры льдин;

д) густоту и скорость движения льдин по ширине и длине исследуемого участка реки;

е) места образования заторов и зажоров льда, причины их возникновения, уровни и отметки наибольших заторов и зажоров;

ж) места выхода льда на пойму, навалов льда на берегах и образования постоянных полыней;

з) случаи разрушения берегов и сооружений ледоходом и при прорыве заторов;

и) места промерзания реки до дна и образования наледей, их размеры и причины возникновения.

3. Наибольшую за зиму толщину льда $h_л$ 1-процентной вероятности превышения [73] определяют по наблюдениям на ближайшем к переходу водпосту, обрабатывая ряд максимальных годовых толщин льда. Если ближайшие к мостовому переходу водомеры посты расположены выше и ниже по течению, то при примерно равном периоде наблюдений используют данные вышележащих постов.

При наблюдениях меньше чем за 10 лет толщину льда принимают равной наибольшей установленной при изысканиях.

Если толщину льда определяют по показаниям старожилов, следует выяснить, к какому времени ледостава относятся показания, и ввести поправки для приведения показанной величины к расчетной.

При отсутствии натурных данных толщину льда (в *см*) можно определить по приближенной формуле

$$h_л = 2\sqrt{\Sigma|t|}, \qquad (44)$$

где $\Sigma|t|$ — наибольшая за все годы наблюдений сумма отрицательных среднесуточных температур (в С°) за период от ледостава до начала снеготаяния по данным ближайшей метеостанции.

Плотность льда во время ледохода принимают равной $\sim 0{,}9$ *т/м*^{3}.

4. Данные о ледовом режиме в створе ближайшего водомерного поста сопоставляют с показаниями местных жителей, так как ледовые условия по длине реки меняются. Это особенно относится к заторным уровням, выходу льда на поймы и разрушительной силе ледохода. При определении заторных уровней устанавливают уровни воды и верха нагроможденных льдин.

Данные о размерах льдин устанавливают опросом или натурными наблюдениями. Размер льдин L ориентировочно можно принимать $L = {}^1/_{10}$ ширины реки (длина и ширина льдин примерно одинаковы).

5. Изучение ледового режима особенно важно в районах с суровой зимой, где при вскрытии происходят мощные заторы и навалы льда на берега [34]. Прорывы таких заторов сопровождаются разрушениями расположенных ниже берегов и сооружений.

Лед в заторах находится, как правило, в размятом состоянии с плотностью 0,55—0,60 *т/м*^{3}. Для приближенного определения общей толщины льда в заторе высоту его надводной части умножают на 12.

6. В период осеннего ледохода и при ледоставе на некоторых реках происходит закупорка живого сечения шугой (зажоры), которые вызывают значительные подъемы уровней.

При движении шуговых скоплений плотность их составляет 0,2—0,3 *т/м*^{3}, плотность зажоров — 0,45—0,55 *т/м*^{3}.

7. На реках с небольшим зимним стоком, где русло местами промерзает до дна, вода выходит на лед, замерзает и образует наледи. Толщина наледей достигает 2 *м* и более. Ледохода при наледях обычно не наблюдается, весенний паводок проходит над слоем льда, что повышает уровень высоких вод.

§ 37. 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 водопоста на створ перехода (см. § 32).

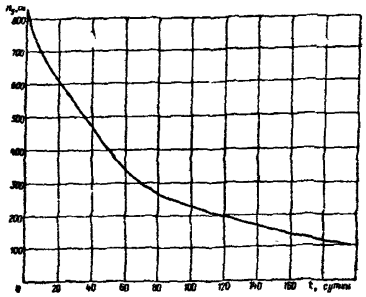


Рис. 12. График продолжительности стояния уровней $H_у = f(t)$

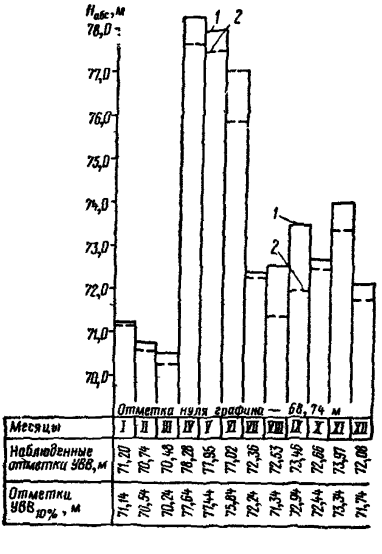


Рис. 13. График для определения рабочего уровня:
1 — УВВ наблюденный; *2* — УВВ вероятностью превышения 10%

Для оценки продолжительности 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 количество дней, в которых уровень был не выше данной отметки.

В предпоследней графе таблицы приведены суммы чисел таких дней за весь период, а в последней графе средние многолетние значения числа дней с уровнями, достигающими данной отметки, или меньшими.

Результаты расчета представляют графиком (рис. 12). По такому графику определяют среднемноголетнюю продолжительность стояния любого уровня для установления сроков фундирования и возведения опор, перекрытия проток, выполнения укрепительных работ, эксплуатации временных сооружений и плавучих средств, а также для расчета и устройства срезки подмостового русла.

2. За рабочий уровень для проектирования организации строительных работ принимают уровень высокой воды с вероятностью превышения 10%. Рекомендуется определять его для каждого месяца в году с построением ступенчатого графика.

Схема расчета следующая:

а) выбирают наибольшие по годам за каждый месяц уровни воды; б) для каждого месяца составляют статистический ряд уровней высокой воды, определяют эмпирическую вероятность

превышения каждого члена ряда и, экстраполируя эмпирическую кривую распределения, определяют уровни с вероятностью превышения 10% (см. § 28); в) по полученным для каждого месяца уровням строят график (рис. 13), позволяющий строительной организации установить рабочий уровень, а также период, в который возможно производство тех или иных работ при этом уровне.

Если данные о наибольших по месяцам 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 вероятностью превышения 10%, определенный обработкой ряда наибольших в году уровней.

Для каждого расчетного уровня можно определить продолжительность стояния. На основании совокупного учета этих характеристик определяют календарные сроки, а в ряде случаев и способы производства работ.

Глава VI

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ВОДОТОКОВ С НАРУШЕННЫМ БЫТОВЫМ РЕЖИМОМ

§ 38. ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ ЗАРЕГУЛИРОВАННЫХ РЕК

1. Увеличение глубины и площади водной поверхности, падение уклона и скорости потока и более высокая температура воды в водохранилище изменяют сроки и характер льдообразования и вскрытия ледового покрова на зарегулированной реке по сравнению с бытовым состоянием. Примерная зона возможных заторов льда показана на рис. 1; она разделяется на зоны: а) переменного подпора реки в хвосте водохранилища, где ледовый режим наиболее сложен; б) постоянного подпора реки. Ледовый режим на участке реки в нижнем бьефе плотины также отличен от бытового.

В зоне «б» замерзание происходит раньше, а толщина ледяного покрова водохранилища на 15—20% больше бытовой. На реках первых двух групп (см. п. 1 § 36) водохранилища очищаются от льда на 10—12 дней позже, чем реки в бытовых условиях. На реках третьей группы очищение водохранилища от льда происходит одновременно, а иногда раньше ледохода на реке в бытовых условиях.



Рис. 1. Зона возможных заторов:
1 — уровень высокого ледохода; *2* — уровень низкого ледохода; *3* — уровень межени

Толщина льда в водохранилище ко времени вскрытия уменьшается до 50—70% от зимней и почти весь лед тает на месте. Ветер ускоряет разрушение ледового

покрова и вызывает движение льдин со скоростями примерно 0,035 от скорости ветра; последнюю определяют по § 68.

2. На участке сопряжения подпорных уровней покрытого льдом водохранилища с бытовыми уровнями весеннего ледохода образуются заторы, так как сплывающий лед встречает здесь неподвижное ледяное поле. Наиболее мощные заторы возникают в начале ледохода при низких уровнях.

Длину заторного участка определяют по продольному профилю реки, на который наносят нормальный подпорный уровень (НПУ) водохранилища и уровень наинизшей сработки его (УНС), а также уровни наиболее низкого и высокого начала ледохода на реке (см. рис. 1).

3. Для расчета высоты затора определяют объем льда $W_л$, который может сплыть при ледоходе к намеченному створу

$$W_л \approx LBh_{лр}\kappa_л, \qquad (1)$$

где L — длина реки выше створа, *м*; B — средняя ширина реки при ледоставе, *м*; $h_{лр}$ — средняя толщина льда в реке, *м*; $\kappa_л$ — коэффициент потерь льда, равный $\sim 0{,}80$.

При нескольких уровнях определяют емкости заторного участка $W_{зат}$ выше створа, способные вместить объем сплывающего льда:

$$W_{зат} \approx \frac{B_{зат}H^2\kappa_и}{2i_{ср}} - W_{лв}, \qquad (2)$$

где $B_{зат}$ — средняя ширина заторного участка, *м*; H — средняя глубина живого сечения на рассматриваемом створе, *м*; $i_{ср}$ — средний уклон долины реки на заторном участке; $\kappa_и$ — коэффициент использования емкости водохранилища в зависимости от залесенности пойм, принимаемый равным 0,25 при сплошной залесенности, и 0,75 — при малозаросших поймах; $W_{лв}$ — объем льда, покрывающего водохранилище (в $м^3$), определяемый как

$$W_{лв} = l_в B_в h_{лв}, \qquad (3)$$

где $l_в$ — длина водохранилища от рассматриваемого створа при НПУ, *м*; $B_в$ — средняя его ширина при НПУ, *м*; $h_{лв}$ — толщина льда в водохранилище, *м*.

Уровень, при котором удовлетворяется равенство $W_л \approx W_{зат}$, соответствует заторному уровню. Затор, достигнув наибольшей высоты, после прорыва перемещается вниз по реке, при этом высота его падает. Плотность льда в заторе составляет примерно 0,55—0,60 $т/м^3$, лед находится в раздробленном состоянии.

4. Ледовый режим реки в нижнем бьефе плотины зависит от зимних условий и режима эксплуатации водохранилища. Обычно лед из водохранилища в нижний бьеф не сбрасывают.

Вследствие сброса из водохранилища более теплой воды зимой в нижнем бьефе сохраняется незамерзающий участок длиной от 1 до 50 *км*; в суровые зимы река в нижнем бьефе покрывается тонким льдом. В пределах этого участка воздействие льда на сооружения не учитывают.

5. Ледовый режим водохранилищ определяют по данным наблюдений на постах УГМС и организаций, эксплуатирующих водохранилища.

В этих организациях получают:

а) отметки нормального подпорного уровня (НПУ) и уровня наибольшей сработки (УМС) водохранилища;

б) сроки сработки водохранилища в зимний период;

в) сроки весеннего наполнения водохранилища;

г) характеристики ледового режима водохранилища, характерные даты и отметки уровней замерзания и вскрытия;

д) толщину льда в зимний период и при вскрытии, наличие заторов;

е) размеры и скорости движения льдин на акватории водохранилища;

ж) данные о сбросе льда в нижний бьеф;

з) места образования заторов, их продолжительность, отметки уровней воды в заторах;

и) случаи и характер разрушения берегов и сооружений при прорыве заторов;

к) размер, наибольшую толщину и прочность льдин, сбрасываемых в нижний бьеф;

л) данные о размерах незамерзающего участка реки в нижнем бьефе.

§ 39. ПОСТРОЕНИЕ КРИВОЙ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОДОТОКА В УСЛОВИЯХ ПОДПОРА

1. Кривые свободной поверхности рассчитывают при:

а) подпоре исследуемой реки другой рекой или озером;

б) расположении перехода в зоне влияния водохранилища на притоке, для которого отсутствует кривая подпора;

в) трассировании линии по долине реки.

2. В случаях затопления ценных земель, промышленных объектов, населенных пунктов и т. п. кривую свободной поверхности строят по методам, излагаемым в работах [82 и 86].

Построение выполняют по живым сечениям характерных участков пойм и русла и по шероховатости, ширине и продольному уклону, для которых имеются зависимости $Q=f(H_Y)$. В прочих случаях кривую свободной поверхности строят упрощенными способами (пп. 3 и 4 § 39).

3. Для предварительных соображений подпор z_A в точке A над подпорным уровнем высоких вод вероятностью превышения P% ($ПУВВ_{P\%}$) у источника подпора (рис. 2, *а*), определяют по формуле

$$z_A = \frac{(il_A)^2}{4z_1}, \qquad (4)$$

где i — средний уклон при $УВВ_{P\%}$ на участке l_A; z_1 — подпор у его источника, равный разности отметок $ПУВВ_{P\%}$ и $УВВ_{P\%}$.

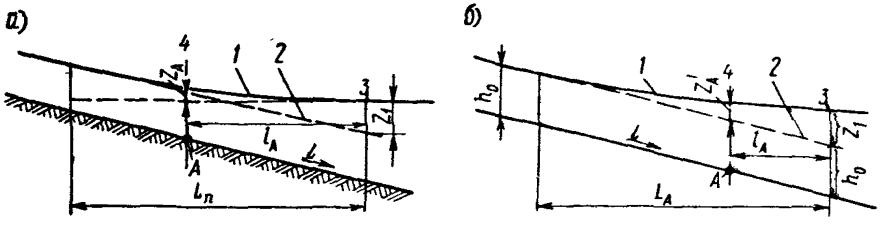


Рис. 2. Построение кривых подпора упрощенными приемами:
а — приближенным; *б* — более точным;
1 — кривая подпора (ПУВВ$_{P\%}$); *2* — УВВ$_{P\%}$ (бытовой); *3* — подпертый уровень у источника подпора; *4* — створ в точке *A*

Подпор распространяется от его источника на расстояние

$$L_{\text{п}} = \frac{2z_1}{i}, \tag{5}$$

4. Для предварительных расчетов также применяют уравнение, дающее более точное решение

$$\frac{i}{h_0} l_A = f\left(\frac{z_1}{h_0}\right) - f\left(\frac{z'_A}{h_0}\right), \tag{6}$$

где z_A' — подпор в точке A над бытовым уровнем УВВ$_{P\%}$ на расстоянии l_A от источника подпора; h_0 — средневзвешенная глубина подпираемого водотока при УВВ$_{P\%}$, определяемая как

$$h_0 = \frac{\omega_{\text{лп}}\kappa_1 + \omega_{\text{шп}}\kappa_2 + \omega_{\text{р}}}{b_{\text{лп}}\kappa_1 + b_{\text{шп}}\kappa_2 + b_{\text{р}}}, \tag{7}$$

где $\omega_{\text{лп}}$, $\omega_{\text{шп}}$ и $\omega_{\text{р}}$ — соответственно площади живого сечения левой и правой пойм и главного русла, $м^2$; $b_{\text{лп}}$, $b_{\text{шп}}$ и $b_{\text{р}}$ — ширины левой и правой пойм и главного русла, $м$; κ_1 и κ_2 — отношения средних скоростей течения соответственно на левой и правой поймах к средней скорости течения в русле.

Значения $f\left(\frac{z}{h_0}\right)$ приведены в табл. 1.

Для известных в данном створе величин i, h_0, l_A и известной у источника подпора величины $f\left(\frac{z_1}{h_0}\right)$ по уравнению (6) находят $f\left(\frac{z'_A}{h_0}\right)$ и, пользуясь табл. 1, определяют значение z_A' (рис. 2, *б*).

Если уклон на участке подпора переменный, то расчет и построение кривой подпора выполняют по участкам с однообразным уклоном.

Таблица 1

$\frac{z}{h_0}$	$f\left(\frac{z}{h_0}\right)$	$\frac{z}{h_0}$	$f\left(\frac{z}{h_0}\right)$	$\frac{z}{h_0}$	$f\left(\frac{z}{h_0}\right)$	$\frac{z}{h_0}$	$f\left(\frac{z}{h_0}\right)$	$\frac{z}{h_0}$	$f\left(\frac{z}{h_0}\right)$
0,010	0,0067	0,230	1,2040	0,510	1,6753	0,790	2,0375	1,800	3,1508
0,015	0,1452	0,240	1,2254	0,520	1,6893	0,800	2,0495	1,900	3,2553
0,020	0,2444	0,250	1,2461	0,530	1,7032	0,810	2,0615	2,000	3,3594
0,025	0,3222	0,260	1,2664	0,540	1,7170	0,820	2,0735	2,100	3,4631
0,030	0,3863	0,270	1,2861	0,550	1,7308	0,830	2,0855	2,200	3,5564
0,035	0,4411	0,280	1,3054	0,560	1,7444	0,840	2,0975	2,300	3,6694
0,040	0,4889	0,290	1,3243	0,570	1,7589	0,850	2,1095	2,400	3,7720
0,045	0,5316	0,300	1,3428	0,580	1,7714	0,860	2,1213	2,500	3,8745
0,050	0,5701	0,310	1,3610	0,590	1,7848	0,870	2,1331	2,600	3,9768
0,055	0,6053	0,320	1,3789	0,600	1,7980	0,880	2,1449	2,700	4,0789
0,060	0,6376	0,330	1,3964	0,610	1,1812	0,890	2,1567	2,800	4,1808
0,065	0,6677	0,340	1,4136	0,620	1,8243	0,900	2,1683	2,900	4,2826
0,070	0,6958	0,350	1,4306	0,630	1,8373	0,910	2,1800	3,000	4,3843
0,080	0,7472	0,360	1,4473	0,640	1,8503	0,920	2,1916	3,500	4,8993
0,090	0,7933	0,370	1,4638	0,650	1,8631	0,930	2,2032	4,000	5,3958
0,100	0,8353	0,380	1,4801	0,660	1,8759	0,940	2,2148	4,500	5,8993
0,110	0,8739	0,390	1,4962	0,670	1,8887	0,950	2,2264	5,000	6,4120
0,120	0,9098	0,400	1,5119	0,680	1,9014	0,960	2,2380	5,000	Уровень воды горизонтален
0,130	0,9434	0,410	1,5275	0,690	1,9140	0,970	2,2496		
0,140	0,9751	0,420	1,5430	0,700	1,9266	0,980	2,2611		
0,150	1,0051	0,430	1,5583	0,710	1,9392	0,990	2,7225		
0,160	1,0335	0,440	1,5734	0,720	1,9517	1,000	2,2839		
0,170	1,0608	0,450	1,5884	0,730	0,9641	1,200	2,5083		
0,180	1,0869	0,460	1,6032	0,740	1,9765	1,300	2,6179		
0,190	1,1119	0,470	1,6179	0,750	1,9888	1,400	2,7264		
0,200	1,1361	0,480	1,6324	0,760	2,0010	1,500	2,8337		
0,210	1,1595	0,490	1,6568	0,770	2,0132	1,600	2,9401		
0,220	1,1821	0,500	1,6611	0,780	2,0254	1,700	3,0458		

§ 40. РАСХОДЫ НА ПЕРЕХОДАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТИН

1. Если мостовой переход располагают ниже существующей капитальной плотины, водосбросные сооружения которой рассчитаны на пропуск расходов большей вероятности превышения, чем проектируемый переход, то последние рассчитывают на наивысший расход при прорыве плотины. Этот расход определяют по методике Гидропроекта.

Когда трасса проектируемого перехода проходит вблизи существующей некапитальной плотины, в верхнем или нижнем бьефе ее сооружения перехода должны быть рассчитаны на пропуск наивысшего расхода при прорыве плотины. Этот расход определяют по приближенной методике [47], изложенной ниже.

2. При прорыве плотины вода поступает из водохранилища в виде волны прорыва (попуска) по естественному руслу; по мере продвижения волны длина ее увеличивается, а высота уменьшается.

Для проектирования мостового перехода в этом случае необходимо определить расходы:

а) от прорыва в створе плотины;

б) в нижнем бьефе на расстоянии $L_р$ от плотины с учетом распластывания волны;

в) в верхнем бьефе при опорожнении водохранилища.

3. Расход в створе плотины при ее прорыве определяют приближенно по формуле

$$Q_п = B_п H_н^{\frac{3}{2}} \kappa_{пр}, \tag{8}$$

где $B_п$ — длина плотины по урезу воды в верхнем бьефе при предельном наполнении водохранилища, *м*; $H_н$ — напор (разность отметок уровней воды в верхнем и нижнем бьефах до прорыва плотины), *м*; $\kappa_{пр}$ — коэффициент, учитывающий отношение возможной ширины прорыва к длине плотины $B_п$ и условия истечения при прорыве.

Коэффициент $\kappa_{пр}$ ориентировочно принимают при расчете на прорыв:

а) новых земляных плотин V класса, находящихся в удовлетворительных условиях эксплуатации, $\kappa_{пр}=0{,}50$;

б) старых земляных плотин, не имеющих класса (мельничных и др.), а также плотин V класса, находящихся в неудовлетворительных условиях эксплуатации, $\kappa_{пр}=0{,}75$.

Мостовые переходы, расположенные выше и ниже земляных плотин IV и более высоких классов, построенных по современным нормам, а также крупных старых плотин, находящихся под постоянным надзором, на расход при прорыве не рассчитывают.

4. Расход воды в створе перехода, расположенного в нижнем бьефе водохранилища на расстоянии $L_р$ *м* от плотины, определяют приближенно по формуле

$$Q_{пм} = \frac{W_0 Q_п}{W_0 + Q_п L_р \tau} + Q_м, \tag{9}$$

где W_0 — объем водохранилища при наинизшем уровне верхнего бьефа, $м^3$; $L_р$ — расстояние расчетного створа от плотины, *м*; τ — множитель, характеризующий условия прохождения волны прорыва в нижнем бьефе, *сек/м*; $Q_м$ — расход притока при прорыве, $м^3/сек$.

Объем водохранилища W_0 определяют по плану в горизонталях или получают в организации, эксплуатирующей плотину.

Для ориентировочных расчетов принимают

$$W_0 = \frac{B_в H_н l_в}{4}, \tag{10}$$

где $B_в$ — ширина водохранилища в створе плотины, *м*; $H_н$ — напор, *м*; $l_в$ — длина водохранилища, *м*.

При определении расстояний от плотины до перехода не учитывают длину участка гашения энергии перепада при прорыве пло-

тины, равную $10H_н$. Ввиду возможности образования глубокой промоины на этом участке створ перехода рекомендуется располагать на расстоянии не менее $20H_н$ от створа некапитальной плотины.

Таблица 2

Средние уклоны русел на участке распластывания периодических водотоков	τ
0,0005—0,001	1,25
0,001—0,005	1,00
0,005—0,01	0,90
0,01—0,05	0,80

Множитель τ (см. табл. 2 и 3) зависит от величины и соотношения скоростей продвижения волны прорыва в ее лобовой и тыловой частях.

Расчет по формуле (9) можно выполнять, если расстояние $L_р \leqslant 15$ *км* для малых уклонов русла и $L_р \leqslant 30$ *км* для больших уклонов, а также при отсутствии на участке резких сужений и расширений русла. Если эти условия не соблюдены, то расчет выполняют согласно работам [25] и [14].

5. Расход воды в створе перехода в верхнем бьефе водохранилища определяют по формуле

$$Q_{пв} = \frac{W_1}{W_0 - W_2}(Q_п + Q'_п), \qquad (11)$$

где W_0 и $Q_п$ — имеют прежние значения; W_1 — объемы водохранилища выше перехода, $м^3$; W_2 — то же, ниже перехода при отметке уровня, равной наинизшей отметке дна в створе перехода, $м^3$; $Q_п'$ — расход при прорыве, вычисленный по формуле (8) для напора $H_н$, равного разности наинизшей отметки дна в створе перехода и наинизшей отметки дна в створе плотины, $м^3/сек$.

Если W_2 и $Q_п'$ незначительны (при малой разности наинизших отметок дна в створе перехода и створе плотины), то формула (11) упрощается:

$$Q_{пв} = \frac{W_1}{W_0} Q_п. \qquad (12)$$

6. Данные о трансформации паводка в крупных водохранилищах (сбросовые расходы) получают в организации, проектирующей

Таблица 3

Типы рек		Уклоны	τ
Низинные	малые	0,0001—0,0005	1,50
	средние	0,00005—0,0001	1,25
Равнинные	малые	0,0005—0,005	1,00
	средние	0,0001—0,0005	0,80
Полугорные	малые	0,005—0,05	0,65
	средние	0,0005—0,005	0,50
Горные	малые	0,05—0,01	0,40
	средние	0,005—0,05	0,35

водохранилище. Для небольших водохранилищ колхозных ГЭС, прудов с водосливными плотинами, а также озер, через которые проходит главное русло реки, трансформацию паводка [58] рассчитывают по приближенной формуле

$$Q_{сб} = Q_р \left(1 - \frac{W_{ор}}{W_р}\right) \kappa_г, \qquad (13)$$

где $Q_{сб}$ — максимальный расход сброса из водоема, *м*³/*сек*; $Q_р$ — максимальный расход воды, поступающий в водоем, *м*³/*сек*; $W_{ор}$ — регулирующий объем водоема, равный площади акватории, умноженной на среднюю глубину возможного наполнения от межени до бровок берегов, *м*³; $W_р$ — объем расчетного паводка, *м*³; $\kappa_г$ — коэффициент, учитывающий кривизну графиков притока, принимаемый ~0,85.

§ 41. РАСЧЕТЫ ПРИ СГОННО-НАГОННЫХ И ПРИЛИВНО-ОТЛИВНЫХ ЯВЛЕНИЯХ

Сгонно-нагонные явления

1. В больших водохранилищах, устьях рек, лиманах, озерах и на участках рек, направление которых совпадает с траекториями движения штормовых ветров, возникают сгоны и нагоны воды. Наибольшие нагоны наблюдаются в узких и мелких заливах и устьях рек.

На больших равнинных реках нагоны затухают в 100—150 *км* от морского устья. В дельтах рек при штормовых ветрах нагоны могут вызвать катастрофические наводнения с подъемом уровня от 5 до 11 *м*.

2. Определение нагонных уровней при наличии систематических наблюдений выполняют согласно пп. 3 и 6 § 28. Если наблюдений нет или их данные нельзя использовать для створа перехода, то производят расчет сгонно-нагонных денивеляций по методике, изложенной в [25].

При небольшом транзитном расходе водотока разность отметок уровней воды между двумя точками акватории Δz_D, *м*, можно приближенно определить по формуле

$$\Delta z_D = (3 + 10h_в)\, 10^{-8} \frac{D_н}{H} W_{10}^2 \cos \alpha_D, \qquad (14)$$

где $h_в$ — средняя на рассматриваемом участке высота ветровой волны, *м*; $D_н$ — расстояние между заданными точками, *м*; H — средняя глубина водоема на участке $D_н$, *м*; W_{10} — расчетная скорость ветра на высоте 10 *м* над водой, принимаемая в соответствии с § 68, но не менее 12 *м*/*сек*; α_D — угол между направлением ветра и осью $D_н$.

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 этой волны в створе перехода могут оказаться больше, чем бытовые расчетной вероятности превышения.

Расчет волны попуска при сливе нагонной воды производят методами, изложенными в [14].

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 приливо-отливной фазы могут наблюдаться два противоположных течения.

Наблюдения и обработка расходов и уровней в условиях прилива и отлива приведены в § 14. Ход уровней, скоростей и расходов показан на рис. 7 в гл. II.

6. Расчетные расходы с учетом прилива $Q_{пр}$ и отлива $Q_{отл}$ воды при отсутствии непосредственных наблюдений определяют по формулам:

$$Q_{пр} = Q_{P\%} - \frac{W_{пр}}{3600\Delta t_{пр}}; \qquad (15)$$

$$Q_{отл} = Q_{P\%} + \frac{W_{пр}}{3600\Delta t_{отл}}, \qquad (16)$$

где $Q_{P\%}$ — собственный паводочный расход реки заданной вероятности превышения, $м^3/сек$; $\Delta t_{пр}$ — 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, $м^3$.

Объем $W_{пр}$ определяют по формуле

$$W_{пр} \approx 0{,}33 L_{пр} h_{пр} (B_м + B_L) + \kappa_п, \qquad (17)$$

где $L_{пр}$ — длина распространения прилива выше створа перехода, $м$; $h_{пр}$ — высота прилива над средним уровнем 15-дневного периода в створе перехода, $м$; $B_м$ — ширина разлива реки в период максимального прилива в створе перехода, $м$; B_L — ширина разли-

ва в створе, расположенном на расстоянии $L_{пр}$ выше перехода, *м*; $k_п$ — объем приливной воды в притоках, определяемый по формуле

$$k_п = 0{,}33 \sum_{i=1}^{n} (B_{у\,i} + b_i) l_i \Delta h_i', \qquad (18)$$

где $B_{уi}$ — ширина разлива притока в устье, *м*; b_i — ширина разлива в месте выклинивания волны прилива на притоке, *м*; l_i — длина распространения прилива по притоку, *м*; $\Delta h_i'$ — высота приливной воды в устье притока, *м*.

В формулах (17) и (18) можно приближенно принимать $B_м = B_L$ и $B_{уi} = b_i$.

7. Отметку уровня высоких вод при приливе $H_{пр}$ определяют по формуле

$$H_{пр} = H_{P\%} + k_h (h_{max} - h_{min} + \Delta h_{пр}), \qquad (19)$$

где $H_{P\%}$ — максимальный уровень воды заданной вероятности превышения, вычисленный путем статистической обработки многолетних рядов ежегодных максимумов уровней от суммарного воздействия паводковых вод и прилива, *м*; k_h — коэффициент, учитывающий возможность ежегодных несовпадений пика паводка с максимумом сизигийного периода, который принимают:

Количество лет наблюдений . .	<5	5—10	10—30	30—50	>50
k_h	0,40	0,30	0,2	0,1	0

$h_{max} - h_{min}$ — разность максимального и минимального уровней воды сизигийного прилива, *м*; $\Delta h_{пр}$ — увеличение приливной волны в зависимости от силы попутного ветра, принимаемое $(0{,}7—1{,}2)h_{пр}$.

Глава VII

ПРОГНОЗЫ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

§ 42. ТИПЫ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ЗАДАЧИ ИХ ПРОГНОЗОВ

1. Русловой процесс (изменения плана и живых сечений русла под воздействием потока, транспортирующего наносы) подлежит прогнозированию для определения деформаций русла, которые произойдут за срок службы перехода [10].

2. Прогнозирование деформаций живых сечений русла необходимо для выбора наиболее невыгодных условий работы опор моста при общем и местном размывах (см. § 47). Прогнозирование деформаций русла в плане необходимо для проектирования подходов к мосту, регуляционных сооружений, а также для расположения моста в плане.

3. Классификация Государственного гидрологического института [52] устанавливает семь основных типов руслового процесса, ко-

торые опознают по аэрофотоснимкам, крупномасштабным картам и путем визуального осмотра в натуре:

1) ленточногрядовый тип (на аэрофотоснимках видны гряды наносов в русле);

2) побочневый тип (на снимках и картах видны побочни, расположенные в шахматном порядке);

3) ограниченное меандрирование (на снимках и картах русло изображается в виде пологой синусоиды);

4) свободное меандрирование (на снимках и картах русло изображается в виде различно изогнутых петель неправильной формы);

5) незавершенное меандрирование (на снимках и картах русло изображается в виде различных петель, соединенных действующими протоками);

6) осередковый тип (на снимках и картах русло разбито на рукава между островами);

7) блуждание русла (на снимках и картах русло изображается в виде широкой зоны отложений наносов без растительности, обычно изрезанной протоками).

4. Следует иметь в виду, что на различных участках реки могут быть различные типы руслового процесса в зависимости от соотношения твердой и жидкой фаз стока и рельефа местности, меняющихся по ее длине.

Русловые процессы на конусах выноса горных водотоков рассмотрены в § 21.

Ниже приведено описание каждого типа руслового процесса и дана методика прогноза деформаций русла.

§ 43. СМЕЩЕНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ ГРЯД И ПОБОЧНЕЙ

1. Ленточногрядовый тип руслового процесса характеризуется слабо извилистым руслом (коэффициент извилистости не больше 1, 2), повороты его совпадают с поворотами долины; берега устойчивые без следов подмыва и задернованы; дно песчаное, в межень просвечивают крупные гряды наносов, занимающие всю ширину русла $b_р$; поймы небольшие, ровные, без проток и стариц.

Для ленточногрядового типа характерны следующие параметры (рис. 1):

$\lambda_г$ — шаг гряды; $\frac{\lambda}{b_р}$ — относительный шаг (обычно 6—8); $\Delta_г$ — высота гряды, равная превышению гребня над наинизшей точкой дна подвалья (обычно 1,5—2,0 *м*); $\bar{C}_г$ — средняя скорость перемещения ленточных гряд (сотни метров в год).

Максимальные высоты и скорости перемещения гряд наблюдаются в паводок.

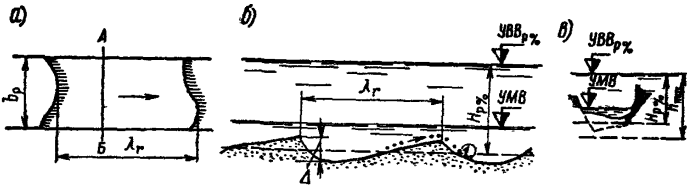


Рис. 1. Ленточные гряды:
а — план; *б* — продольный профиль по линии наибольших глубин; *в* — совмещенные профили живых сечений по гребню и подвалью гряды

2. Максимальную глубину в подвалье гряды (см. рис. 1, *в*) при расчетном паводке [21] определяют по формулам для участков русла:
прямолинейных

$$h_{max} = H_{р\%}(1 + 0{,}65K_г); \qquad (1)$$

криволинейных

$$h_{max} = H_{р\%}(1 + K_г), \qquad (2)$$

где $H_{р\%}$ — высота над средней линией дна расчетного уровня воды, *м*; $K_г$ — коэффициент для вероятности уровня 2—0,33%, принимаемый по табл. 1.

3. При побочневом типе руслового процесса наносы движутся грядами, занимающими все русло и сильно перекошенными в плане. Пониженные части гряд образуют перекаты, возвышенные части гряд примыкают к противоположным берегам и в межень обсыхают, образуя побочни (рис. 2, *а*).

Таблица 1

Диаметр частиц грунта *d*, *мм*	$\frac{H_{р\%}}{d} > 1000$	$\frac{H_{р\%}}{d} = 300 \div 1000$	$\frac{H_{р\%}}{d} = 100 - 300$
	$K_г$		
0,0—0,25	0,35	0,45	0,50
0,25—0,50	0,30	0,40	0,45
0,50—1,00	0,25	0,35	0,40
1,0—5,0	0,20	0,30	0,35
>5,0	0,15	0,25	0,30

При этом типе значительных изменений плана коренных берегов русла и переформирований пойм не происходит. Побочни, смещаясь вниз по течению, прикрывают от размыва участки берега, к которым они примыкают, а прижимные участки берега, где расположены плёсовые лощины, размываются. Это приводит к периодическим расширениям и сужениям русла, сопровождавшимся иногда отторжением побочней.

Признаки периодически расширяющихся русел — обрывистые подмываемые берега и следы отторжений побочней и спрямлений русла.

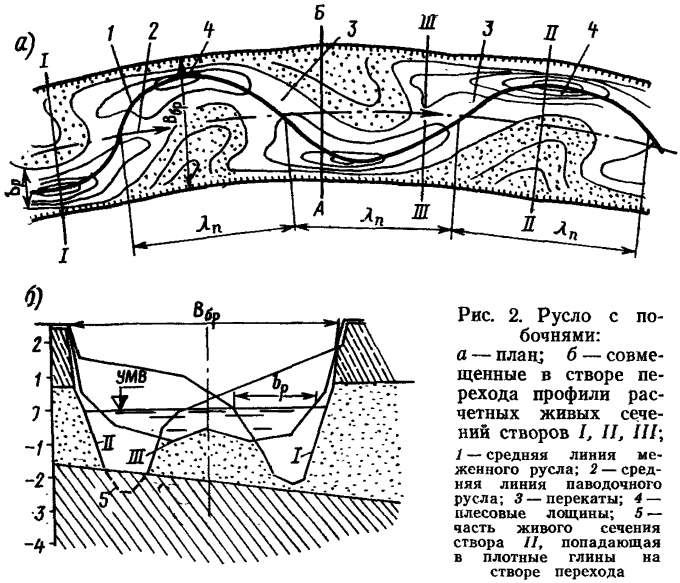


Рис. 2. Русло с побочнями:
а — план; *б* — совмещенные в створе перехода профили расчетных живых сечений створов *I, II, III*; *1* — средняя линия меженного русла; *2* — средняя линия паводочного русла; *3* — перекаты; *4* — плесовые лощины; *5* — часть живого сечения створа *II*, попадающая в плотные глины на створе перехода

4. Для побочневого типа характерны следующие параметры (см. рис. 2):

$\lambda_п$ — шаг побочня, *м*; $b_р$ — ширина меженного русла, *м*; $B_{бр}$ — ширина русла в его пойменных бровках, *м*; $\frac{\lambda_п}{b_р}$ — относительный шаг побочня (обычно 4—8); $C_п$ — средняя скорость сползания побочней (десятки-сотни метров в год). Отношение $\frac{B_{бр}}{b_р}$ на плёсовом участке $\approx 2 \div 4$, на перекатном $B_{бр} \approx b_р$.

Для периодически расширяющихся русел на участке перехода устанавливают наибольшую ширину русла в бровках B_{max}.

5. Движение побочней изменяет форму живого сечения в створе перехода (рис. 2, *б*).

По материалам русловой съемки (см. § 7) выбирают три живых сечения (*I, II* и *III* на рис. 2), два из которых соответствуют наибольшим глубинам у правого и левого берегов русла, а третье — перекату с наибольшей глубиной. Эти сечения, совмещенные в створе перехода *А — Б* по средней линии между бровками коренного русла, являются прогнозируемыми сечениями, которые могут образоваться за время эксплуатации перехода (см. рис. 2, *б*).

Скорости $\bar{C}_г$ и $\bar{C}_п$ достаточно велики для образования в створе перехода за время его эксплуатации всех характерных живых сече-

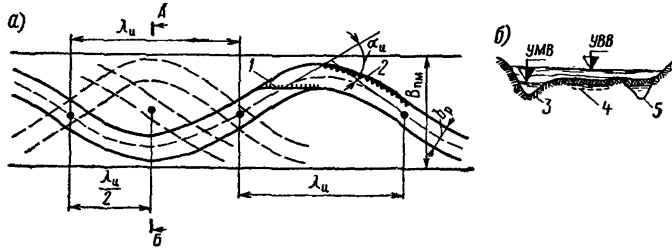


Рис. 3. Ограниченно меандрирующее русло:
а — план; *б* — живые сечения в створе *А*—*Б* при смещении излучины на $\lambda_и$;
1 — гребень гряды; *2* — подмываемый берег; *3* — живое сечение в начале смещения; *4* — то же, при смещении на 0,5 $\lambda_и$; *5* — то же, в конце смещения

ний; поэтому для ленточно-грядового и побочневого типов руслового процесса определять их не обязательно.

§ 44. ДЕФОРМАЦИЯ МЕАНДРОВ

1. При ограниченном меандрировании, характерном для рек, текущих в узких долинах, побочни, зарастая, превращаются в пойменные массивы, примыкающие к бортам долины. Пойменные массивы размываются с верховой и наращиваются с низовой стороны. Сползание вниз по течению пологих меандров происходит с сохранением их очертаний и размеров (рис. 3). Наибольшие глубины находятся у подмываемого верхового берега пойменного массива. Ограниченное меандрирование русла характеризуют параметры (см. рис. 3):

$\lambda_и$ — шаг излучины, *м*; $b_р$ — ширина меженного русла, *м*; $B_{пм}$ — ширина пояса ограниченного меандрирования, *м*; $\bar{r}$ — средний радиус кривизны излучин на обследуемом участке, *м*; $\alpha_и$ — средний угол разворота излучины на том же участке ($\bar{\alpha}_и \leqslant 60$—$70°$); $\bar{C}_и$ — средняя скорость сползания излучины, *м/год*.

2. Образование всех трех сечений (рис. 3, *б*) за срок эксплуатации перехода возможно при сдвижке излучины на величину $\geqslant \lambda_и$. Скорость $\bar{C}_и$ невелика (метры, реже десятки метров в год). В ряде случаев сдвижка за расчетный срок произойдет на величину $< \lambda_и$, *при этом под мостом образуются одно или два характерных сечения*. Поэтому величину $\bar{C}_и$ необходимо определить по среднему смещению точек перегибов излучин (рис. 3, *а*) за период между разновременными съемками русла. Если таких съемок нет, то среднее смещение бровки вогнутого берега $\Delta B_{бр}$ (за год) определяют по формуле

$$\Delta B_{бр} = \frac{(q_{ткр} - q_{тпр})\, T_{расч}}{\gamma_в H_л}, \qquad (3)$$

где $q_{ткр}$ — средний за расчетное время погонный расход наносов на криволинейном участке русла, *кг/сек·м*; $q_{тпр}$ — то же, на прямолинейном участке; $T_{расч}$ — расчетное время в году, в течение которого

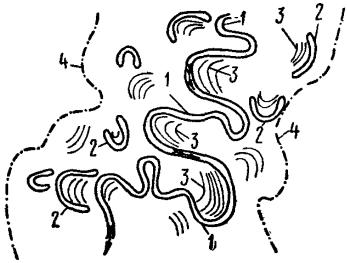


Рис. 4. План свободно меандрирующей реки:
1 — меандры русла; *2* — старицы; *3* — прирусловые валы; *4* — границы поймы

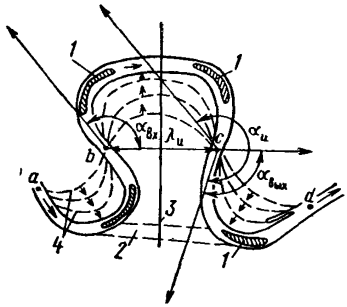


Рис. 5. Схема основных измерителей свободно меандрирующего русла:
1 — глубокие участки плёсов; *2* — направления; *3* — створ перехода; *4* — старые прирусловые валы

при прохождении среднего паводка ($P \approx 50\%$) средняя скорость течения на криволинейном участке русла превышала неразмывающую, *сек*; $\gamma_в$ — объемный вес водонасыщенного грунта русла в естественном залегании, *кг/м*^{3}; $\overline{H}_л$ — средняя за расчетное время глубина воды плёсовой лощины на протяжении вогнутого берега, *м*.

Величины $q_{ткр}$ и $q_{тпр}$ определяют по формулам (41) и (42) гл. V, но величину v_0 для криволинейного участка принимают с поправочным коэффициентом k_{v_0}, определяемым по формуле

$$k_{v_0} = \sqrt{\sqrt{1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2} - 10\frac{m_0 H_л}{m\bar{r}}}, \qquad (4)$$

где m_0 — коэффициент откоса водонасыщенного грунта русла; m — коэффициент подводного откоса вогнутого берега (без учета слоя наилка); $H_л$ — средняя за расчетное время глубина плесовой лощины у вогнутого берега, *м*; $\bar{r}$ — средний радиус кривизны излучины, *м*.

3. Признаками свободного меандрирования является: меандры различной формы и размеров, широкая пойма, превышающая ширину пояса меандрирования и рельеф поймы, представленный веерами старых прирусловых валов, разделенных лощинами, а также подковообразными старицами (рис. 4). Меандры с течением времени меняют свои очертания: в начале развития сползают по течению аналогично процессу ограниченного меандрирования, постепенно увеличивая угол разворота $\alpha_и$ (рис. 5). Скорость сползания уменьшается, и дальнейшее развитие меандра приводит к образованию петли. Одинаково направленные излучины русла разворачиваются около неподвижных точек перегибов средней линии русла (точки *a*, *b*, *c* на рис. 5) и постепенно сближают подмываемые вогнутые берега, что приводит к прорыву перешейка между ними (см. рис. 4). После прорыва верховая и низовая излучины объединяются в одну пологую излучину, а средняя излучина превращается в подковообразную старицу.

Если пояс меандрирования прижмется к борту долины или к неразмываемому останцу в пойме, развитие излучины нарушается и русло может сделать поворот, не связанный с процессом меандрирования. Плёсовая лощина у вогнутого берега при больших углах разворота иногда разделяется на две и более, и излучина становится асимметричной. В паводки плёсы размываются, а перекаты наращиваются, в межень происходит обратный процесс. Отметки дна плёсов и перекатов могут в течение года колебаться до нескольких метров.

4. Свободно меандрирующие русла (см. рис. 5) характеризуют параметры:

$\lambda_и$ — шаг излучины, *м*; S — длина излучины (расстояние между верховой и низовой точками перегиба излучины, измеренное по средней линии русла), *м*; $\alpha_и$ — угол разворота излучины, равный сумме углов входа и выхода из излучины $\alpha_и = \alpha_{вх} + \alpha_{вых}$; $B_{пм}$ — наибольшая ширина пояса меандрирования, равная наибольшей ширине поля, ограниченного линиями, соединяющими вершины одинаково направленных излучин, *м*; $r_и$ — радиус кривизны, измеряемый в случае асимметричного развития излучины отдельно для участка каждой плесовой лощины, *м*; $B_{бр}$ — ширина русла в бровках на прямых участках между излучинами, *м*; $B_к$ — то же, в излучине, *м*; $C_м$ — скорость смещения береговой линии в точке наибольшей деформации в плане, *м/год*; $\overline{C}_м$ — средняя скорость смещения береговой линии, определяемая совмещением двух разновременных съемок нескольких излучин русла, *м/год*.

$$\overline{C}_м = \frac{\sum_1^n F}{\sum_1^n l_б T}, \qquad (5)$$

где $\sum_1^n F$ — сумма всех площадей размыва на исследуемом участке русла, *м*^{2}; $\sum_1^n l_б$ — сумма длин размываемых берегов, измеренных по первоначальному плану русла, *м*; T — период между двумя съемками русла, годы.

Значения $C_м$ и $\overline{C}_м$ колеблются от метров до десятков метров в год.

При отсутствии разновременных съемок русла $C_м$ и $\overline{C}_м$ принимают по аналогии с другими участками данной реки или другими реками с тем же типом руслового процесса (см. табл. 2 и 3). Признаками аналогии служат близкие значения уклона водной поверхности и среднего диаметра частиц грунта русла или близкой мощности водотока. Если по аналогии установлена только величина $\overline{C}_м$, то принимают $C_м = 4\overline{C}_м$.

5. Деформации в плане свободно меандрирующего русла (при $\alpha_и > 70°$) приближенно рассчитывают по формуле

$$y_б \approx C_м K_{из} T \frac{h_п - h_0}{h_т - h_0}, \qquad (6)$$

где $y_б$ — смещение средней линии русла или линии вогнутого берега на данном поперечнике, *м*; $K_{из}$ — коэффициент скорости развития излучины, зависящий от угла ее разворота $\alpha_и$ (см. табл. 4); T — число лет срока прогнозирования величины $y_б$; $h_п$ — наибольшая глубина на поперечнике, *м*; $h_т$ — наибольшая глубина плёса данной излучины, *м*; h_0 — средняя глубина двух перекатов, ограничивающих данную излучину, *м*.

Таблица 2

Уклон реки	Среднегодовой расход воды, $м^3/сек$	Период наблюдений, лет	Средняя скорость смещения берега $\bar{C}_м$, *м/год* (по данным ГГИВНИИСТ)	Уклон реки	Среднегодовой расход воды, $м^3/сек$	Период наблюдений, лет	Средняя скорость смещения берега $\bar{C}_м$, *м/год* (по данным ГГИВНИИСТ)
0,0003	480	20	3,6	0,0006	880	19	2,6
0,0002	595	20	4,0	0,0016	1110	8	15,0
0,0003	625	20	3,7	0,0008	1580	2	16,0
0,0005	720	20	4,7	0,0009	1700	39	2,6
0,0004	860	20	6,9	0,0009	1740	39	4,5
0,0008	905	20	4,9	0,0008	1800	39	4,4
				0,0003	4790	39	6,5

Таблица 3

Река	Участок и пункт	Период наблюдений, лет	Уклон реки	Грунт русла	Скорость смещения бровки берега	
					средняя $\bar{C}_м$, *м/год*	наибольшая $C_м$, *м/год*
Ока	г. Рязань, устье р. Прони	47	0,00004	Песок с гравием	1,20	10,0
Ока	Устье р. Прони, с. Юшта	47	0,00003	Песок с гравием	2,9	7,5
Тобол	у г. Кургана	19	0,00007	Мелкий песок	2,8	—
Иртыш	у г. Ханты-Мансийска	44	0,00002	Мелкий песок	7,0	27,0
Белая	Приток р. Ангары	22	0,0002	Гравий с песком	—	30,0
Кура	у с. Али-Байрамлы	23	0,00005	Мелкий песок	8,0	23,0
Сакмара (приток р Урала)	у г. Сакмара	80	0,00035	Гравий с мелкой галькой	6,0	13,0
Б. Кинель	Приток р. Самары в нижнем течении	2	0,0002	Песок с мелким гравием	2,8	6,5
Сура	Княжиха	68	0,00006	Мелкозернистый песок	2,2	4,0

Глубины h_n, h_m и h_0 отсчитывают от уровня средней межени.

Для промежуточных значений $\alpha_и$ величины $K_{из}$ определяют интерполяцией. Значения $K_{из}$ рекомендуется уточнять по натурным данным (см. п. 5 § 18). При прогнозировании на сроки $T>30$ лет расчет по формуле (6) выполняют, разделяя период T на отрезки времени по 10—20—30 лет в зависимости от величины $C_м$ и срока

Таблица 4

Угол разворота излучины $\alpha_и^\circ$	Коэффициенты скорости развития $K_{из}$	Угол разворота излучины $\alpha_и^\circ$	Коэффициенты скорости развития $K_{из}$	Угол разворота излучины $\alpha_и^\circ$	Коэффициенты скорости развития $K_{из}$	Угол разворота излучины $\alpha_и^\circ$	Коэффициенты скорости развития $K_{из}$
70	0,04	130	0,40	155	1,00	190	0,44
90	0,08	135	0,65	165	0,96	200	0,24
110	0,16	137	0,80	175	0,80	210	0,09
120	0,24	145	0,97	185	0,60	230	0,03

прогнозирования. Расчет и построение линии деформированного берега производят сначала для первого отрезка времени и определяют конечное значение $\alpha_и'$, для которого определяют по таблице новое значение $K_{из}$; затем производят расчет и построение деформации для следующего отрезка и т. д. (см. рис. 7, *а*). После построения плана излучины через T лет результаты построения проверяют по натурной зависимости $\frac{S}{\lambda_и}=f(\alpha_и)$ (см. § 18).

Если величины $\frac{S}{\lambda_и}$, полученные после построения нового плана и по связи $\frac{S}{\lambda_и}=f(\alpha_и)$, сильно различаются, принятую величину скорости $C_м$ увязывают с натурными данными.

6. Для одноплёсовых излучин с увеличением отношений $\frac{S}{\lambda_и}$ и $\frac{B_{бр}}{r_и}$ увеличиваются максимальные глубины в живых сечениях. Расчет прогнозируемой глубины выполняют по формуле

$$h'_{max}=h_{max}\frac{\varepsilon'_н}{\varepsilon_н}, \qquad (7)$$

где h'_{max} — прогнозируемая максимальная глубина живого сечения, *м*; h_{max} — современная максимальная глубина живого сечения, *м*; $\varepsilon_н'$ и $\varepsilon_н$ — коэффициенты, принимаемые для прогнозируемого и современного планов русла по приведенным ниже данным:

$\frac{B_{бр}}{r_и}$	0	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50
$\varepsilon_н$ или $\varepsilon_н$	1,27	1,48	1,84	2,20	2,57	3,00

Глубины h'_{max} и h_{max} отсчитываются от расчетного $УВВ_{P\%}$.

Полученную по формуле (7) величину h'_{max} рекомендуется проверить по натурной зависимости (см. § 18)

$$h_{max}=f\left(\frac{S}{\lambda_и}\right).$$

При расхождении данных расчета с указанной зависимостью предпочтение отдают результату по натурной зависимости. Если грунт на глубине h'_{max} отличается от грунта на глубине h_{max}, то возможность образования h'_{max} определяется условием $v_{h'_{max}} > v_0$, где $v_{h'_{max}}$ — средняя скорость на вертикали глубиной h'_{max}; v_0 — неразмывающая скорость для обнажившегося грунта на той же глубине.

Получив расчетом величины $y_б$ и h_{max}, зная ширину русла $B_к$ и заложения откосов вогнутого и выпуклого берегов, строят схематизированное прогнозируемое живое сечение русла в створе мостового перехода (см. рис. 7, *б*).

Изложенные в пп. 1—6 способы расчета деформаций меандров применимы к руслам, сложенным несвязными грунтами. Для русел, сложенных связными грунтами, эти способы неприменимы, так как наибольшие глубины здесь образуются у выпуклых берегов [29].

7. Признаками незавершенного меандрирования являются: частое и значительное затопление широкой поймы, отсутствие петлеобразных меандров и наличие спрямляющих проток между одинаково направленными излучинами русла. В эти протоки постепенно перемещается русло (см. рис. 8). После этого излучина медленно отмирает. До перемещения русла в спрямляющей протоке наблюдается русловой процесс ленточно-грядового или побочневого типа; после перемещения спрямляющая протока меандрирует до образования нового спрямления.

Кроме основных характеристик, применяемых при свободном меандрировании ($\lambda_и$, S, $\alpha_и$, $\bar{C}_м$), для незавершенного меандрирования определяются:

$\frac{S_{пр}}{S_{из}}$ — показатель незавершенности меандрирования, где $S_{пр}$ — длина спрямления и $S_{из}$ — длина спрямляющей протоки; $\frac{\bar{h}_п}{\bar{H}_р}$ — показатель затопляемости поймы, где $\bar{h}_п$ — средняя глубина затопления поймы и $\bar{H}_р$ — средняя глубина русла при расчетном уровне. Чем больше отношение $\frac{\bar{h}_п}{\bar{H}_р}$, тем на более ранних стадиях развития происходит спрямление излучины.

8. При частом, глубоком и длительном затоплении поймы в результате повторных спрямлений незавершенных меандров возникает русловой процесс, называемый пойменной многорукавностью.

Отдельные рукава большой протяженности рассматриваются как самостоятельные русла, которые имеют тот или иной из описанных типов руслого процесса; поэтому специальных измерителей, характеризующих пойменную многорукавность, не предусматривается, и деформации рассчитывают соответственно этим типам. Перемещение по главным рукавам гряд наносов может привести к закрытию одних и к возобновлению течения в других протоках. Необходимо прогнозировать возобновление деятельности заглохших на момент изысканий проток при смещении закрывающих их гряд (см. п. 1 § 43).

§ 45. ДЕФОРМАЦИИ ОСЕРЕДКОВ

1. При осередковом типе руслового процесса по распластанному руслу движутся расчлененные большие гряды наносов. Возвышенные части гряд, обсыхая в межень, образуют осередки, между которыми располагаются извилистые протоки.

Осередковый тип руслового процесса разделяется на два подтипа. При длительной межени обсохшие части осередков покрываются растительностью, способствующей отложению наносов, и превращаются в острова; расчеты деформаций для этого подтипа, называемого русловой многорукавностью, выполняют в зависимости от типа руслового процесса, наблюдаемого в том или ином рукаве.

При длительном паводочном периоде и кратковременной межени лишенные растительности осередки подвижны; скорость перемещения их достигает сотен — тысяч метров в год, такой подтип называется блужданием русла (см. рис. 9, *а*).

Особенно интенсивен процесс блуждания горных рек, вышедших на предгорную равнину при мелкозернистых наносах на участке блуждания. Пойм на таких участках нет, паводки занимают всю ширину распластанного русла (зону блуждания), окружающая равнина имеет отметки более низкие, чем отметки русла.

2. Паводочный поток, взвешивая мелкий аллювий, временно углубляет блуждающее русло, которое после спада снова заполняется наносами. Образование максимальной глубины в таком русле возможно на любой вертикали створа. Оно зависит от движения осередков и распределения расхода по живому сечению (см. рис. 9).

Среднюю и максимальную бытовые глубины русла при его саморазмыве в паводок приближенно определяют по формулам:

$$\overline{H}_{\text{быт.р}} \approx \left(\frac{Q_{P\%}}{B_{\text{р}} 0{,}68 d_{\text{ср}}^{0{,}28} \beta} \right)^{y}; \tag{8}$$

$$h_{\text{быт.р}} \approx K_{\text{в}} \overline{H}_{\text{быт.р}}, \tag{9}$$

где $\overline{H}_{\text{быт.р}}$ — средняя бытовая глубина в момент саморазмыва при пропуске расчетного расхода, *м*; $h_{\text{быт.р}}$ — максимальная бытовая глубина в тех же условиях, *м*; $Q_{P\%}$ — расчетный расход вероятности превышения $P\%$, *м*³/*сек*; $B_{\text{р}}$ — ширина русла по линии УВВ$_{P\%}$, *м*; $d_{\text{ср}}$ — средний диаметр несвязных грунтов, слагающих русло, *мм*;

y — показатель степени редукции размыва по глубине (табл. 3 в гл. VIII); β — безразмерный параметр, зависящий от вероятности превышения расчетного расхода (см. стр. 173); $K_в$ — коэффициент, зависящий от ширины зоны блуждания, принимаемый от $K_в \approx 2$ для теснин и до $K_в \approx 5$ для равнин, где ширина зоны блуждания наибольшая.

Величину $h_{быт.р}$ проверяют по натурным данным согласно указаниям п. 3 § 18.

3. Галечниковые русла, блуждающие в пределах горной долины, включают обычно узкую галечниковую пойменную террасу, покрытую наилком и закрепленную растительностью, паводочное широкое русло, врезанное в террасу на глубину 1,5—3,0 *м* и одно или несколько меженных русел, занимающих 0,1—0,4 ширины паводочного русла.

Галечниковые гряды паводочного русла начинают перемещаться при паводках ниже средних, а интенсивный размыв пойменных террас происходит при паводках $P \leqslant 5\%$.

Скорости смещения пойменных бровок составляют десятки метров в год, а скорости перемещения гряд в паводочном русле десятки-сотни метров в год.

В этих условиях

$$h_{быт.р} \approx 0{,}8 \frac{d_{max}^{0,75}}{i^{0,38}}, \qquad (10)$$

где d_{max} — максимальный диаметр камней, передвигаемых потоком, *м*; i — продольный уклон русла на участке определения глубины.

Величина $h_{быт.р}$ по формуле (10) не должна быть менее максимальной глубины воды при $УВВ_{P\%}$, установленной на момент изысканий. Глубины $H_{быт.р}$ и $h_{быт.р}$ могут образоваться, если нет ограничения по геологическому строению русла.

§ 46. ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА РУСЛОВОЙ ПРОЦЕСС

1. Естественный русловой процесс нарушается воздействием гидротехнических сооружений. Сведения об изменении бытовых русловых условий получают в соответствующих организациях.

2. Для верхнего бьефа плотины ГЭС характерны:

а) отложение в зоне выклинивания подпора в русле наносов и превращение однорукавного русла основной реки и притоков в многорукавные; в этой зоне возможно более частое, чем в бытовых условиях, затопление пойм, что приведет к образованию или усилению работы пойменных проток;

б) отложение в водохранилище взвешенных наносов и остановка сползающих песчаных гряд;

в) разрушение берегов водохранилища ветровыми волнами на десятки метров в год. Расчеты переформирований берегов под воздействием ветровых волн выполняют по специальной методике [26].

3. Для нижнего бьефа водохранилища характерны:

а) деформации русла непосредственно за рисбермой в виде глубоких воронкообразных размывов;

б) задержка руслоформирующих наносов, что вызывает понижение дна русла в нижнем бьефе на протяжении десятков и даже сотен километров, вследствие уменьшения затопления пойм отмирают рукава и пойменные протоки.

Устройство плотин на притоках может вызвать изменение типа руслового процесса на главной реке ниже их устьев.

Если углубление русла, возможное ниже плотины, ограничено слоем неразмываемых грунтов, то интенсивно развиваются излучины.

4. Изъятие из реки больших объемов стока на орошение замедляет русловой процесс и может изменить его тип. В блуждающем русле это может вызвать остановку гряд-осередков, закрепление их растительностью, исчезновение рукавов и меандрирование главного русла. При этом средняя отметка дна русла повышается.

Добыча гравия на перекатах может привести к обмелению вышележащих участков.

5. Обвалование пойм значительно влияет на русловой процесс при незавершенном меандрировании и пойменной многорукавности, так как эти типы руслового процесса связаны с частым затоплением пойм. Выключение поймы, активно работающей в паводки, приводит к концентрации расхода в русле, что ускоряет образование спрямляющих проток и деформацию вогнутых берегов русла.

Спрямление меандрирующих русел на большом протяжении вначале приводит к смене руслового процесса, так как по спрямляющему руслу начинают двигаться ленточные гряды или побочни.

Если берега спрямленного русла не укреплены, то с течением времени русло снова начнет меандрировать.

6. В неукрепленных каналах большого протяжения, сооружаемых для переброски значительных объемов стока, в зависимости от расхода наносов и других факторов возникает один из описанных в § 43—45 типов руслового процесса.

Каналы, проходящие в несвязных грунтах при скоростях больших, чем неразмывающие, расширяются и мелеют, а проходящие в связных грунтах расширяются и углубляются.

§ 47. УЧЕТ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

1. В соответствии с п. 1 § 43 створ перехода через реку с ленточногрядовым типом процесса располагают нормально к руслу и нешироким поймам.

При расчете общего и местного размывов учитывают возможность образования глубины h_{max} в бытовых условиях при проходе расчетного паводка (см. п. 2 § 43). Эта глубина может образоваться, если есть ограничения по геологическим условиям.

2. Согласно п. 3 § 43, при побочневом типе руслового процесса створ перехода (если нет специальных требований судоходства и

сплава) располагают нормально к руслу в бровках независимо от положения меженного русла.

Согласно пп. 4 и 5 § 43, в створе перехода строят три живых сечения: а) при расположении плёса у правого берега; б) переката в середине русла и в) плёса у левого берега. Устанавливают также наибольшую возможную ширину русла в пойменных бровках B_{max}. Отверстие моста должно удовлетворять условиям $L_{св} \geqslant B_{max}$ или $L_{св} \geqslant B_{бр}$, если предполагается укрепление пойменных берегов расширяющегося русла.

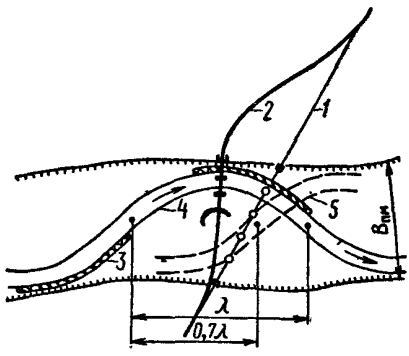


Рис. 6. Схема перехода через реку с ограниченно меандрирующим руслом:

1 — трасса перехода при перекрытии мостом пояса меандрирования; *2* — трасса перехода при закреплении вогнутых берегов излучин; *3* — укрепления берегов; *4* — положение русла во время изысканий перехода; *5* — то же, после смещения на величину 0,7 λ

Каждое из указанных выше трех сечений может оказаться в створе моста при расчетном паводке. Поэтому общий и местный размывы рассчитывают для всех трех сечений.

3. Согласно пп. 1 и 2 § 44, для малых и средних рек с ограниченно меандрирующим руслом в узкой глубокой долине, если смещение излучины за срок службы моста больше чем $0{,}5\,\lambda_и$, сравнивают вариант перекрытия мостом всего пояса меандрирования ($L_{св} \approx B_{пм}$) с вариантом закрепления подмываемых вогнутых берегов верховой и пересекаемой трассой излучин. В первом варианте пересечение пояса меандрирования и русла возможно под любым углом, во втором — стремятся к пересечению под прямым углом (рис. 6).

По первому варианту мост устраивают на цилиндрических опорах, так как русловой поток будет подходить к ним под различными углами в зависимости от положения излучин. Размывы подмостового русла рассчитывают для тех живых сечений, которые могут образоваться за срок эксплуатации перехода.

Для средних и больших рек с более широкой долиной, если смещение излучины за срок службы моста менее $0{,}5\lambda$, при расположении моста в плане учитывают возможное смещение берегов за тот же срок.

Пример. Требуется рассчитать смещение меандра большой реки ($\lambda_и = 1675$ *м*; $\overline{\alpha_и} = 67°$; $\overline{r_и} = 1500$ *м*) за срок службы моста (100 лет). Русло сложено гравелистым песком ($d_{ср} = 0{,}0028$ *м*; $\gamma_в = 1600$ *кг/м*^{3}; $m_0 = 2{,}5$; $m = 5{,}3$).

Для паводка вероятности превышения $P \approx 50\%$ выполняют следующее:

1) строят график хода уровней (при отсутствии наблюдений на переходе — по аналогии с ближайшим водпостом); пользуясь этим графиком и формулой (12 гл. III) строят графики изменения во времени средних скоростей на криволинейном $v_{кр} = f(T)$ и прямолинейном $v_{пр} = f(T)$ участках реки;

2) пользуясь формулой (42 гл. V), строят график изменения во времени неразмывающей скорости $v_0=f(T)$ и, сопоставляя его с графиком $v_{кр}=f(T)$, определяют расчетное время $T_{расч}=648\cdot10^3$ *сек*, в течение которого $v_{кр}>v_0$, а также средние за это время скорости $\overline{v_{кр}}=1{,}30$ *м/сек*; $\overline{v_{пр}}=1{,}24$ *м/сек* и $\overline{v_0}=1{,}29$ *м/сек*;

3) за время $T_{расч}$ определяют среднюю глубину в сечении на криволинейном участке $H_{ср.кр}=5{,}89$ *м* и среднюю глубину плёсовой лощины $\overline{H_л}=7{,}30$ *м*;

4) по формуле (4) вычисляют поправочный коэффициент κ_{v_0} к величине $\overline{v_0}$ для криволинейного участка

$$\kappa_{v_0}=\sqrt{\sqrt{1-\left(\frac{2{,}5}{5{,}3}\right)^2}-10\frac{2{,}5\cdot7{,}3}{5{,}3\cdot1500}}=0{,}92$$

и по формуле (41 гл. V) с учетом этой поправки вычисляют средний за время $T_{расч}$ погонный расход наносов на криволинейном участке

$$q_{т.кр}=12\left(\frac{1{,}30}{1{,}29\cdot0{,}92}\right)^3 0{,}0028\,(1{,}30-1{,}29\cdot0{,}92)\left(\frac{5{,}89}{0{,}0028}\right)^{0{,}33}=0{,}0622\ кг/сек.\ м;$$

5) по формуле (3), учитывая, что для прямолинейного участка при $\overline{v_{пр}}=1{,}24$ *м/сек* $<v_0=1{,}29$ *м/сек* $q_{т.пр}=0$, определяют среднее смещение меандра за год

$$\Delta B_{бр}=\frac{0{,}0622\cdot648\cdot10^3}{1{,}6\cdot10^3\cdot7{,}30}=3{,}45\ м/год;$$

6) за срок службы моста меандр сместится на $3{,}45\cdot100=345$ *м* или на $\sim0{,}2\,\lambda_и$;

7) согласно указаниям п. 2 § 44, строят прогнозируемый план русла, смещая излучину на величину $0{,}2\,\lambda$, и по плану определяют деформацию берегов в створе перехода для учета ее при размещении отверстия моста.

4. Согласно п. 3 § 44, мостовой переход через реку со свободно меандрирующим руслом располагают нормально к касательной, проведенной в середине кривой вогнутого берега. Излучину для створа перехода выбирают развитую ($\alpha_и>185°$), по возможности прижатую к одному из бортов долины. Следует избегать пересечений русла в точках перегиба смежных излучин. Подходы к мосту в пределах поймы проектируют согласно указаниям п. 2 § 4 и § 67.

Если выбранная для перехода излучина и сопряженные с ней излучины образуют узкий перешеек, то рассматривают два варианта устройства моста:

а) на излучине русла с закреплением сближающихся вогнутых берегов смежных излучин;

б) на искусственном русле, прорытом через перешеек между излучинами (см. рис. 5).

В случае «а» прогнозируют плановые деформации и максимальную глубину у вогнутого берега центральной излучины. В случае «б» при спрямлениях длиной менее $\lambda_и$ спрямляемой излучины прогнозируют деформации пологой излучины, образованной спрямлением из верховой и низовой излучин.

Если перешеек между верховой и низовой излучинами широк, и размыв их берегов не угрожает прорывом перешейка, то прогнози-

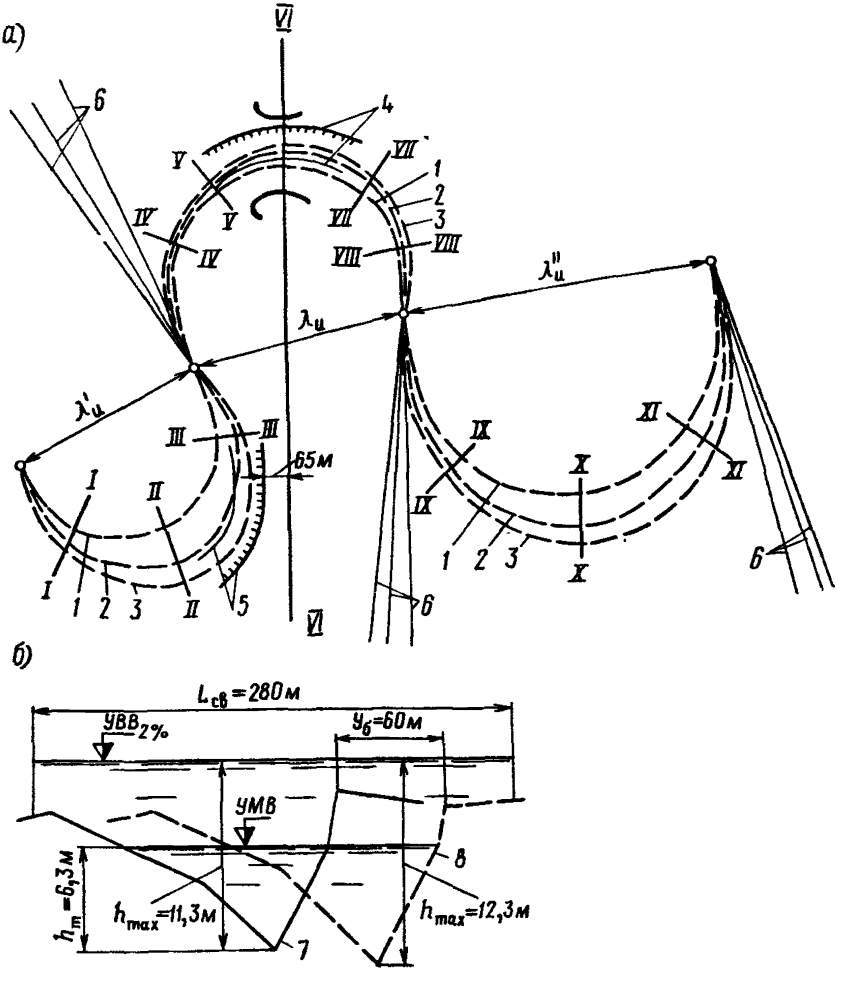


Рис. 7. Переход через свободно меандрирующую реку:
а — план деформации средней линии русла и его берегов; *б* — схематические профили живого сечения русла в створе перехода;

1 — средняя линия во время изысканий перехода; *2* — прогнозируемая средняя линия через 25 лет; *3* — то же, через 50 лет; *4* — положение деформируемых берегов в створе перехода через 50 лет; *5* — то же, для верховой излучины; *6* — направление векторов, определяющих изменение углов разворота; *7* — живое сечение русла по съемке во время изысканий; *8* — то же, прогнозируемое через 50 лет

руют деформации всех трех излучин. В этом случае трассу подходов на участке излучин располагают с учетом прогнозируемых очертаний русла.

Пример. Трасса перехода пересекает реку на участке трех сопряженных излучин. Уклон реки — 0,006, ширина русла — $B_{бр}$=100 *м*.

Требуется построить план русла после смещения всех трех излучин за срок T=50 лет и прогнозируемое живое сечение русла в створе перехода.

По плану определены углы разворота: верховой излучины $\alpha_в$=190°, центральной — 205° и низовой — 195°. По табл. 2 центральная излучина имеет наи-

меньший коэффициент скорости развития, следовательно, является наиболее устойчивой и поэтому пересечение русла сделано в ее середине (рис. 7, *а*).

Так как перешеек между верховой и низовой излучинами в самом узком месте имеет ширину 600 *м* и нет признаков скорого прорыва его, то рассчитаны деформации всех трех излучин на 11 поперечниках, пять из которых расположены на центральной излучине, требующей более детального расчета.

Расчет смещений выполнен для средней линии русла и его берегов на лимитирующих участках по формуле (6) в два этапа по 25 лет каждый (см. рис. 7, *а*). Средняя скорость смещения береговой линии принята по аналогии с п. 7 табл. 2: $\overline{C}_м = 2{,}6$ *м/год*; расчетная скорость смещения в точке наибольших деформаций $C_м = 4\,\overline{C}_м = 4 \cdot 2{,}6 = 10{,}4$ *м/год*.

Расчет сведен в табл. 5.

Из табл. 5 видно, что деформации русла во втором этапе примерно в 2 раза меньше, чем в первом; минимальное расстояние от вогнутого берега верховой излучины до оси земляного полотна на правой пойме через 50 лет составит ~65 *м*; бровка вогнутого берега центральной излучины в створе перехода сместится в сторону правой поймы на ~60 *м*, что учтено при расположении моста на створе перехода (см. рис. 7, *а*).

Через 50 лет радиус кривизны центральной излучины изменится от $r_и = 370$ *м* до $r_и' = 320$ *м*; для отношений

$$\frac{B_{бр}}{r_и} = 0{,}270 \quad \text{и} \quad \frac{B_{бр}}{r_и'} = 0{,}314$$

находим (см. стр. 154) $\varepsilon_н = 2{,}29$ и $\varepsilon_н' = 2{,}50$.

Таблица 5

№ сечений	Глубины от УМВ, *м*			I-й этап, *T*-25 лет			II-й этап, *T*-25 лет			Смещение берега за 50 лет $y_б + y_{б(м)}'$
	$h_п$	h_m	h_o	α, град	$\kappa_{из}$	$y_{б(м)}$	$\alpha'_{град}$	$\kappa'_{из}$	$y'_{б(м)}$	
I	3,9	—	0,8	190	0,57	55,6	201	0,22	27,8	83,4
II	—	7,2	0,8	190	0,57	114,9	201	0,22	57,5	172,4
III	5,0	—	0,8	190	0,57	75,5	201	0,22	37,7	113,2
IV	1,7	—	0,7	205	0,16	7,5	215	0,07	3,3	10,8
V	3,4	—	0,7	205	0,16	20,2	215	0,07	8,8	29,0
VI (переход)	—	6,3	0,7	205	0,16	41,8	215	0,07	18,2	60,0
VII	6,0	—	0,7	205	0,16	39,6	215	0,07	17,3	56,9
VIII	2,9	—	0,7	205	0,16	16,4	215	0,07	7,2	23,6
IX	2,8	—	0,6	195	0,35	39,4	203	0,19	21,4	60,8
X	—	5,7	0,6	195	0,35	91,2	203	0,19	49,6	140,8
XI	4,9	—	0,6	195	0,35	77,0	203	0,19	41,9	118,9

Разность $УВВ_{2\%} - УМВ = 5{,}00$ *м*, поэтому для створа перехода $h_{max} = 6{,}3 + 5{,}0 = 11{,}3$ *м*. По формуле (7) после смещения русла наибольшая глубина у вогнутого берега будет (см. рис. 7, *б*)

$$h_{max} = 11{,}3\,\frac{2{,}50}{2{,}29} = 12{,}3 \text{ } м.$$

Таблица 6

S, м	S', м	$\lambda_и$, м	$\frac{S}{\lambda_и}$	$\frac{S'}{\lambda_и}$	Углы разворота, °		Наибольшие глубины	
					начальный $\alpha_и$	конечный $\alpha'_и$	начальная h_{max}, м	конечная h'_{max}, м
1475	1625	635	2,32	2,56	207	214	11,6	12,0

В гл. III дан пример построения для той же реки натурных зависимостей $\frac{S}{\lambda_и}=f(\alpha_и)$ и $h_{max}=f\left(\frac{S}{\lambda_и}\right)$, по которым для начальной (S) и конечной (S') длины центральной излучины и шага ее $\lambda_и$ (см. рис. 7, *а*) определены углы разворота $\alpha_и$ и максимальные глубины (см. табл. 6).

Значения $\alpha_и'$ и h'_{max} близки к вычисленным.

5. Согласно п. 7 § 44, при переходе реки с русловым процессом типа незавершенного меандрирования мост располагают на излучине или на спрямляющей протоке. Для прогнозирования деформаций необходимо знать расход излучины $Q_{из}$ и расход, спрямляющий протоки $Q_{пр}$ при расчетном уровне воды. При $\frac{Q_{из}}{Q_{пр}}<1$ мост располагают на протоке, а при $\frac{Q_{из}}{Q_{пр}}>1$ следует рассмотреть варианты с устройством запруд, закрывающих русло или протоку (рис. 8).

В случае устройства моста на излучине деформацию русла рассчитывают по п. 5 § 44. Если мост устраивают на спрямляющей протоке, то рассчитывают деформации по тому типу руслового процесса, который ожидается на спрямлении с учетом возможного перехода к меандрированию.

6. При пойменной многорукавности интенсивность руслового процесса в рукавах и протоках после строительства моста резко меняется; изменяется иногда тип руслового процесса. В этих условиях следует меньше стеснять поток, рассматривая варианты устройства мостов средних или больших отверстий на наиболее активных рукавах и протоках (см. § 33) и не допуская активизации проток, параллельных трассе перехода, устраивая соответствующие регуляционные сооружения.

7. Согласно указаниям пп. 1—3 § 45, трассу мостового перехода через реку с блуждающим руслом выбирают в наиболее узком

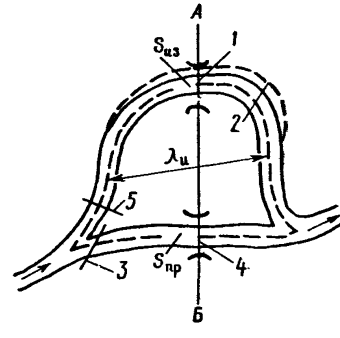


Рис. 8. Схема мостового перехода через реку с незавершенным меандрированием:

1 — устройство моста на излучине; *2* — прогнозируемое положение берега; *3* — запруда на спрямляющей протоке; *4* — устройство моста на спрямляющей протоке; *5* — запруда на излучине

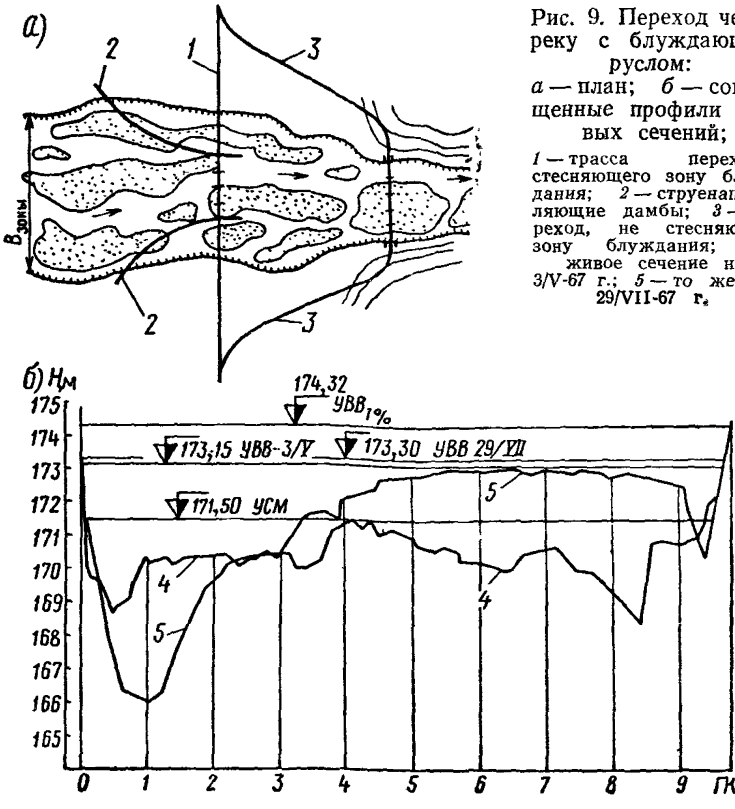


Рис. 9. Переход через реку с блуждающим руслом:
а — план; *б* — совмещенные профили живых сечений;
1 — трасса перехода, стесняющего зону блуждания; *2* — струенаправляющие дамбы; *3* — переход, не стесняющий зону блуждания; *4* — живое сечение на 3/V-67 г.; *5* — то же, на 29/VII-67 г.

месте зоны блуждания. Стеснение этой зоны подходными насыпями возможно при условии сооружения струенаправляющих дамб, сужающих поток от ширины зоны блуждания до отверстия моста (рис. 9). Максимальные глубины могут образоваться у любой опоры моста.

Пример. Мостовой переход через реку с блуждающим руслом намечен в теснине шириной 978 *м*, полностью перекрываемой отверстием моста (см. рис. 9). Стеснение потока опорами мало, и коэффициент общего размыва $P \approx 1$. В створе перехода действует водомерный пост. Средний диаметр частиц несвязного грунта, слагающего русло, $d_{ср} = 1$ *мм*.

Расчетный расход $Q^{1\%} = 9550$ *м*^{3}/*сек* проходит при уровне на отметке 174,32 *м*.

Русловой процесс интенсивен (рис. 9, *б*): только за период с 3 мая по 29 июля 1967 г. при расходах ниже средних у левого берега образовались большие глубины и сползший осередок закрыл правобережный рукав.

Требуется определить наибольшую глубину и наинизшую отметку дна при пропуске $Q_{1\%}$ вследствие саморазмыва подмостового русла. По формуле (8)

$$\overline{H}_{быт.р} = \left(\frac{9550}{978 \cdot 0{,}68 \cdot 1^{0{,}28}}\right)^{0{,}71} = 6{,}60 \text{ м}.$$

По формуле (9) $h_{быт.р}=2\cdot 6{,}60=13{,}2$ *м*.

Наинизшая отметка размытого дна 174,32—13,2=161,12 *м*.

Коэффициенты бытового саморазрыва русла будут переменными: так, например, для живого сечения на 3/V—67 г. величина $P_{быт}=1{,}65$, а для живого сечения на 29/VII—67 г. $P_{быт}=2{,}11$ (рис. 9, *б*).

8. В соответствии с указаниями § 46 при переходах через реки, сток которых зарегулирован гидротехническими сооружениями, необходимо установить:

а) сменился или нет тип руслового процесса на участке мостового перехода после постройки гидротехнического сооружения;

б) если тип руслового процесса не изменился, то увеличилась или уменьшилась интенсивность процесса;

в) если тип руслового процесса изменился, то в какой стадии развития находятся русловые формы (ленточные гряды, побочни, осередки, острова, меандры).

В зависимости от решения этих вопросов выполняют расчеты и рекомендации, изложенные в данной главе.

Если гидротехническое сооружение вызвало необратимые деформации русла (понижения дна в нижнем бьефе плотины, повышение его при изъятии стока и т. п.), то эти деформации учитывают при фундировании опор моста, назначении надводных габаритов его, а также отметок бровок пойменных насыпей и струенаправляющих дамб.

При переходе через пионерную прорезь будущего крупного канала или канал с неукрепленным руслом рассчитывают возможное уширение и обмеление или уширение и углубление его согласно п. 6 § 46 для назначения отверстия и заглубления опор моста с учетом этих изменений.

Глава VIII

РАЗМЕЩЕНИЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ ОТВЕРСТИЙ И РАСЧЕТЫ РАЗМЫВОВ

§ 48. РАЗМЕЩЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ, ГАБАРИТЫ, НАЗНАЧЕНИЕ ПРОЛЕТОВ ДЛЯ ПРОПУСКА СУДОВ И ЛЕДОХОДА

1. Сооружения мостового перехода, стесняя речной поток при УВВ, вызывают:

а) изменение отметок свободной поверхности потока выше и ниже перехода;

б) изменение скоростей течения на поймах и в русле;

в) деформации русла в районе перехода;

г) изменение водного режима пойм.

Прогноз этих изменений для половодья или паводка расчетной вероятности превышения является основной задачей проектирования мостового перехода.

Отметки поверхности потока выше и ниже перехода определяют отметки бровок дамб, траверсов, берм и земляного полотна на поймах, а также подтопление населенных пунктов и хозяйственных объектов на поймах.

Скорости течения определяют типы укреплений откосов насыпей подходов и регуляционных сооружений и в отдельных случаях подмостового русла.

Отметки дна русла после размыва определяют отметки заложения фундаментов мостовых опор, а также условия эксплуатации водозаборов и других сооружений вблизи перехода.

Изменения водного режима пойм (перекрытие проток, стариц и пр.) вызывают заболачивание пойменных угодий и нарушение других хозяйственных интересов.

2. Проектирование водопропускных отверстий основывается на анализе геологического строения по оси перехода, распределения расходов и скоростей потока на поймах и в русле при различных уровнях воды, русловых процессов, использования реки для судоходства и сплава.

На основании этих материалов намечают водопропускные отверстия и схему регулирования потока.

3. Как правило, на реках с выраженным руслом или при равномерном распределении расхода по живому сечению назначают одно водопропускное отверстие. Необходимость устройства дополнительных водопропускных сооружений на пойме должна быть обоснована гидравлическими и экономическими расчетами.

При концентрации расчетного расхода в двух и более местах живого сечения по створу перехода рассматривают вариант устройства группы водопропускных отверстий.

4. В пойменных насыпях иногда предусматривают водопропускные сооружения на малых водотоках, имеющих самостоятельное питание (когда отвод их в русло реки затруднителен), на мелиоративных и иных каналах, а также сооружения для выпуска оставшейся после паводка воды из пониженных участков поймы. В пойменной насыпи предусматривают водопропускные сооружения следующих типов:

а) шандорный мост или труба для своевременого закрытия отверстия при паводках;

б) мост с лотком или труба с отводящими руслами, рассчитанными на скорости протекания, соответствующие глубине подпертой воды перед сооружением;

в) мост или труба, отделяемые от пойменного потока основной реки водоразделительной дамбой, рассчитываемой как плотина с односторонним напором.

Устройство водоразделительной дамбы целесообразно, если сооружение располагают вблизи границы разлива, а также при ко-

сых переходах для отделения пониженной части поймы во избежание образования «водного мешка» (рис. 1). В этих случаях отверстие сооружения, рассчитанное на пропуск стока с собственного бассейна, проверяют на безопасный вход и выход воды реки, подтопляющей сооружение с низовой стороны.

Целесообразность устройства таких отверстий необходимо обосновать сравнением с вариантом водоотвода в русло реки.

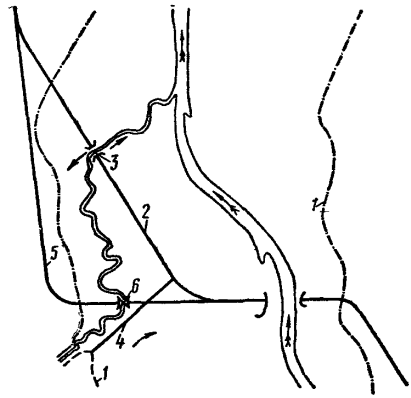


Рис. 1. Размещение водопропускных отверстий на мостовом переходе:
1 — границы разлива при $УВВ_{P\%}$; *2* — вариант трассы при косом пересечении поймы; *3* — отверстие моста, работающего на пропуск ручья и на заход и выход пойменной воды; *4* — водоразделительная дамба; *5* — вариант трассы при нормальном пересечении поймы; *6* — шандорный мост, работающий на пропуск меженных вод ручья

5. Отверстие моста, как правило, развивают в сторону поймы, пропускающей больший расход. Отношение рабочих площадей до размыва, но после срезки, приходящихся на пойменные участки моста ($\omega_п$ и $\omega_л$), должно быть примерно равно отношению расходов правой и левой поймы ($Q_{пп}$ и $Q_{лп}$), т. е.

$$\frac{\omega_п}{\omega_л} \approx \frac{Q_{пп}}{Q_{лп}}.$$

При размещении отверстия учитывают прогнозирование руслового процесса (см. гл. VII). При этом сравнивают варианты: а) укрепления деформируемых берегов; б) смещения отверстия с учетом прогнозируемого положения русла.

Водопропускное отверстие располагают с учетом ситуационных особенностей перехода, а также требований по перекрытию дорог, трубопроводов и пр.

К ситуационным особенностям перехода, вызывающим увеличение или смещение отверстия моста, относятся:

а) активно действующие протоки, расположенные поблизости от намечаемого моста;

б) наличие широкой русловой зоны при движении побочней и блуждания русла, когда ее стеснение приводит к затратам на регулирование потока большим, чем затраты на увеличение отверстия моста;

в) пересечение трассой перехода действующих затонов при невозможности сокращения их акваторий по условиям судоходства.

Размеры отверстий мостов через судоходные каналы определяются требованиями судоходства, а через мелиоративные — сохранением гидравлического режима канала.

6. Разбивку отверстия моста на пролеты и назначение подмостовых габаритов на судоходных и сплавных реках производят в соответствии с НСП 103-52 [50].

На реках I, II и III классов судоходные пролеты мостов располагают с учетом траекторий движений судов и составов, возможности изменения судовых ходов, в частности, за счет переформирования русла.

Если направление судовых ходов в течение навигационного периода меняется, то при размещении судоходных пролетов предпочтение отдают судовым ходам при наибольшей интенсивности судоходства.

Величина пролетов моста, не предназначенных для судоходства и лесосплава, должна обеспечивать беззаторный пропуск ледохода.

7. Минимальную ширину пролета $l_{\text{пр,min}}$ для беззаторного пропуска ледохода [27] определяют по приближенной формуле

$$l_{\text{пр.min}} = \frac{7{,}3 b_{\text{оп}} K_{\text{л}} L_{\text{л}}}{v_{\text{л}}^2 P_{\text{л}} B_{\text{л}}}, \qquad (1)$$

где $b_{\text{оп}}$ — ширина опоры на расчетном уровне ледохода, *м*; $K_{\text{л}}$ — удельное расчетное давление льда на опору, *т/м*^{2}, принимаемое для вертикального или слабо наклонного режущего ребра опоры по табл. 1; $v_{\text{л}}$ — средняя скорость движения льдин, принимаемая равной средней поверхностной скорости течения воды при расчетном уровне ледохода, *м/сек*; $P_{\text{л}}$ — плотность ледохода (отношение площади, занятой льдом, ко всей площади водной поверхности на участке мостового перехода); если нет натурных данных, принимают $P_{\text{л}}=0{,}7$; $B_{\text{л}}$ — ширина реки при расчетном уровне ледохода, *м*; $L_{\text{л}}$ — средний поперечный размер льдин, *м*; если нет натурных данных, принимают $L_{\text{л}} \approx 01, B_{\text{л}}$.

Таблица 1

Форма режущей грани опоры в плане	Скорости движения льдин $v_{\text{л}}$, *м/сек*			Форма режущей грани опоры в плане	Скорости движения льдин $v_{\text{л}}$, *м/сек*		
	1,0	2,0	3,0		1,0	2,0	3,0
	$K_{\text{л}}$, (*т/м*^{2})				$K_{\text{л}}$, (*т/м*^{2})		
Прямоугольная	45	30	23	То же, 90°	33	22	17
Полуциркульная	41	27	21	» , 75°	31	20	16
				» , 60°	29	19	15
Треугольная при угле заострения 120°	36	24	19	» , 45°	27	18	14

В табл. 1 значения $K_{\text{л}}$ даны для европейской части Союза, за исключением среднего и нижнего течения рек бассейна Северного Ледовитого океана; для рек Севера и Сибири табличные значения $K_{\text{л}}$ умножают на 1,5, в их среднем течении и на 1,7 — в нижнем.

8. Возвышение низа пролетных строений и подферменных площадок над уровнями воды и ледохода в несудоходных пролетах мостов на судоходных и сплавных реках, а также на несудоходных и несплавных водотоках устанавливают в зависимости от местных условий, но не менее величин, указанных в табл. 2.

Таблица 2

Элементы мостов	Наименьшее возвышение, *м*			
	над уровнем воды (с учетом влияния подпора и волны)			над наивысшим уровнем ледохода
	расчетным для мостов		наибольшим для мостов на железных дорогах	
	на железных дорогах общей сети	на остальных дорогах		
Низ пролетных строений:				
при глубине подпертой воды не более 1 *м*	0,50	0,50	0,25	—
то же, более 1 *м*	0,75	0,50	0,25	0,75
при наличии карчехода	1,50	1,00	1,00	—
на селевых потоках	—	1,00	1,00	—
Подферменные площадки	0,25	0,25	—	0,50

В северной строительно-климатической зоне (СНиП II.А.6-62) [59] наименьшее возвышение низа пролетных строений назначается с учетом наледных явлений и при наличии карчехода должно быть увеличено не менее чем на 0,5 *м*. В последнем случае отверстие пролетов в свету должно быть не менее 15 *м*.

Для средних и больших мостов возвышение низа пролетных строений и подферменных площадок принимают, как правило, над бытовым уровнем воды; учет части подмостового подпора в отдельных случаях (переходы через горные реки, вблизи существующих мостов, средние мосты на суходолах, работающие как незатопленный водослив) должен быть обоснован гидравлическим расчетом.

Принятое по табл. 2 наименьшее возвышение низа пролетных строений мостов, расположенных в зоне разлива и водохранилищ, должно быть не менее $0{,}75\,h_в$, где $h_в$ — высота ветровой волны (см. § 41).

§ 49. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ

1. Для каждого варианта моста, составленного с учетом указаний § 48, рассчитывают общий размыв подмостового русла при пропуске расходов воды с вероятностью превышения, приведенной в табл. 1 гл. V.

Если условия протекания (распределение расхода, косина струй) для какого-либо участка подмостового русла при пониженном уровне более невыгодны, чем при расчетном, общий размыв определяют также и для пониженного уровня.

Для расчета общего размыва необходимы:

а) расчетные расход и уровень в створе моста;

б) схема моста, план срезки и регуляционных сооружений;

в) геологический разрез и колонки буровых скважин подмостового русла, а также для живых сечений согласно п. д.);

г) гранулометрический состав для несвязных и расчетное сцепление и пористость для связных грунтов;

д) расчетные живые сечения подмостового русла, прогнозируемые на срок службы моста (см. § 43—45 и 47).

2. Величину общего размыва характеризует коэффициент размыва P, равный отношению средней глубины под мостом после размыва $H_{м,пр}$ к средней глубине до размыва $H_{м,др}$ при расчетном уровне

$$P=\frac{H_{м,пр}}{H_{м,др}}. \qquad (2)$$

Максимальные допускаемые коэффициенты общего размыва приведены ниже:

Расход на 1 *пог. м* отверстия моста, рассчитанного без размыва и срезки, *м³/сек* . . .	до 2	3	5	10	15	20 и более
Допускаемые коэффициенты общего размыва	2,20	2,10	1,70	1,40	1,30	1,25

Отверстием моста в свету $L_{св}$ называется расстояние между передними гранями устоев (или между откосами конусов при обсыпных устоях), определяемое по продольной оси моста на расчетном уровне воды за вычетом суммарной ширины промежуточных опор.

Отверстие моста без размыва и срезки определяют приближенно так:

1) рассчитывают общий размыв для одной из схем проектируемого моста без учета срезки способом, изложенным в п. 1 § 50, по одному из прогнозируемых живых сечений русла;

2) определяют площадь размыва $\Delta\Omega_р$ как разность площадей живого сечения под мостом после размыва и до размыва

$$\Delta\Omega_р=\Omega_{пр}-\Omega_{др};$$

3) определяют отверстие моста без размыва $L_{бр}$ по формуле

$$L_{бр}\approx L_р+\frac{\Delta\Omega_р}{H_н}, \qquad (3)$$

где $L_р$ — отверстие моста по принятой схеме, *м*; $H_н$ — средняя глубина на пойменной части моста без учета срезки грунта, *м*.

3. Опоры моста, обтекаемые водным потоком, вызывают отжим струй от боковых граней и образование нетранзитных зон, уменьшающих фактическую ширину потока под мостом. Для пролетов более 15 *м* при нормальном пересечении потока отжимы струй не учитывают.

При косом пересечении потока трассой перехода различают два случая:

1) русло реки пересечено нормально, а пойменные потоки — косо; в этом случае косина пересечения пойменных потоков в расчете отверстия не учитывается, так как направление течения пойменных потоков изменяется насыпями подходов и струенаправляющими сооружениями; образующаяся при этом водная воронка также способствует устранению косины пойменного потока.

2) поймы пересечены нормально или косо к направлению течения, а русло пересечено косо под углом α; в этом случае рабочую площадь под мостом в пределах русла ($\Delta\Omega$) следует определять с учетом косины потока $\Delta\Omega = \omega_{рус} \cos\alpha$. При расположении опор моста в пределах косопересеченного русла рабочая величина пролета определяется по формулам:

а) для круглых опор

$$l_{раб} = (l_{св} + b)\cos\alpha - b;$$

б) для необтекаемых опор прямоугольного очертания

$$l_{раб} = l_{св}\cos\alpha - a\sin\alpha;$$

в) для опор с полуциркульными очертаниями носовой и кормовой граней

$$l_{раб} = l_{св}\cos\alpha - a\sin\alpha + b(\cos\alpha + \sin\alpha - 1),$$

где $l_{раб}$ — рабочая величина пролета, *м*; $l_{св}$ — расстояние в свету между гранями опор по расчетному уровню воды, *м*; α — угол пересечения; b — ширина опоры, *м*; a — длина опоры, *м*.

Формулы, приведенные в п. б и в, действительны при $\alpha \leqslant 25°$; при большей косине определяют $l_{раб}$ на основании исследований на модели перехода или располагают оси опор параллельно течению.

В последнем случае $l_{раб} = l_{св}\cos\alpha$.

Рабочее отверстие моста с учетом косины будет:

$$L_{раб} = \sum_{1}^{n} l_{раб},$$

где n — число пролетов моста.

При значительной косине перехода в сечении водотока, нормальном к течению, могут находиться не все опоры моста. В этом случае, проводя несколько таких сечений, выявляют наибольшее число опор, захватываемых поперечным сечением, и при расчете общего размыва и подпора учитывают стеснение отверстия только этими опорами [48].

4. При наличии на переходе руслового и пойменного мостов косина пересечений водотока существенно влияет на величину средних скоростей в русловом и пойменном отверстиях. Особенно сильно это влияние сказывается на величине скоростей в пойменном отверстии.

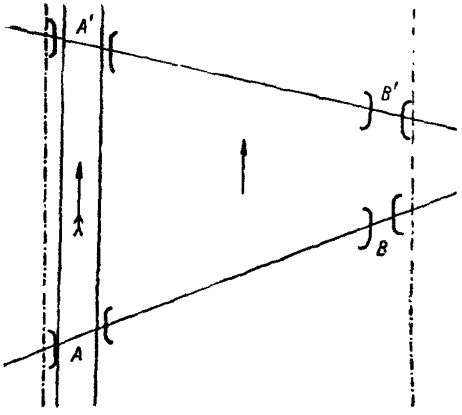


Рис. 2. Схема к определению влияния косины перехода на совместную работу руслового и пойменного мостов:
A и *A'* — положения руслового отверстия;
B и *B'* — положение пойменного отверстия на мостовом переходе

На рис. 2 показаны два варианта косого пересечения водотока; мосты, обозначенные *B* и *A'*, будут работать более напряженно, чем те же мосты, обозначенные *A* и *B'*, что необходимо учитывать при расчете размыва [51].

5. Общий размыв подмостового русла рассчитывают для каждого варианта моста и каждого прогнозируемого живого сечения (см. § 43—45 и 47).

В необходимых случаях (условия судоходства, наличие в районе перехода кабелей, трубопроводов и иных сооружений) выполняют также специальные расчеты русловых деформаций выше и ниже моста [1].

Ниже даются два метода расчета общего размыва подмостовых русел: по допускаемым скоростям течения и по гидрографу паводка. Эти расчеты не предусматривают случая размыва в вечномерзлом грунте, для которого требуется выполнить специальные исследования.

Первым методом, дающим результат с некоторым запасом, допускается пользоваться для предварительных расчетов.

§ 50. РАСЧЕТ ПО ДОПУСКАЕМЫМ СКОРОСТЯМ ТЕЧЕНИЯ

1. На водотоках, несущих наносы, глубины после общего размыва на каждой вертикали русла под мостом рассчитывают [36] по формуле

$$h_{\text{пр}} = \left(\frac{S_{\text{р}} h_{\text{др}}^{\frac{5}{3}}}{a_{\text{г}} \beta} \right)^{y}, \qquad (4)$$

где $h_{\text{пр}}$ — глубина воды от расчетного уровня на данной вертикали после размыва, *м*; $h_{\text{др}}$ — то же, до размыва, *м*; $a_{\text{г}}$, y — параметры, определяемые по табл. 3 в зависимости от среднего диаметра частиц несвязного грунта

$$d = \frac{\sum p_i d_i}{100},$$

d_i — средний диаметр частиц отдельной фракции, который определяется как среднее арифметическое значение крайних диамет-

ров частиц данной фракции; p_i — весовая доля фракции, %; β — параметр, зависящий от вероятности превышения расчетного расхода P %:

P%	0,33	1	2	4	10	20	30	40	50	60	70
β	1,07	1,00	0,97	0,92	0,86	0,81	0,77	0,74	0,72	0,69	0,67

$S_р$ — характеристика стеснения потока мостом, определяемая по формуле

$$S_р = \frac{Q_{P\%}}{L_{раб} H_{др}^{\frac{5}{3}}}, \qquad (5)$$

где $Q_{P\%}$ — расчетный расход, *м*³/*сек*; $H_{др}$ — средняя глубина на длине $L_{раб}$ до размыва, *м*.

Таблица 3

Средний диаметр фракций грунта d (*мм*)	y	$a_г$	H, *м*								
			2	3	4	5	6	7	8	9	10
			$v_{дин\ 1\%}$								
0,05	0,70	0,29	0,40	0,48	0,54	0,60	0,65	0,69	0,74	0,77	0,81
0,10	0,70	0,36	0,48	0,57	0,65	0,72	0,77	0,82	0,88	0,92	0,28
0,30	0,70	0,49	0,65	0,77	0,87	0,96	1,03	1,10	1,16	1,22	1,26
0,50	0,71	0,56	0,74	0,88	0,99	1,08	1,16	1,24	1,31	1,38	1,44
1,0	0,71	0,68	0,90	1,05	1,18	1,29	1,39	1,48	1,56	1,64	1,70
2,0	0,72	0,83	1,08	1,27	1,42	1,54	1 66	1,77	1,86	1,95	2,02
3,0	0,73	0,92	1,20	1,40	1,57	1,70	1,83	1,94	2,04	2,13	2,22
6,0	0,74	1,12	1,44	1,67	1,85	2,00	2,14	2,24	2,36	2,48	2,56
10,0	0,74	1,30	1,65	1,90	2,11	2,28	2,42	2,56	2,68	2,80	2,91
15,0	0,75	1,45	1,84	2,10	2,32	2,51	2,67	2,81	2,94	3,06	3,18
25,0	0,76	1,68	2,10	2,38	2,62	2,82	2,98	3,14	3,27	3,40	3,51
50,0	0,77	2,03	2,50	2,82	3,08	3,28	3,47	3,63	3,78	3,92	4,05
100,0	0,78	2,46	3,00	3,36	3,64	3,88	4,07	4,25	4,42	4,56	4,70
200,0	0,80	3,00	3,60	3,99	4,30	4,56	4,77	4,97	5,16	5,30	5,46
300,0	0,81	3,36	3,93	4,38	4,68	4,95	5,17	5,36	5,53	5,70	5,84

Если подмостовое русло сложено слоями различных грунтов, то расчет по формуле (4) выполняют последовательным приближением.

Если глубина $h_{пр}$, рассчитанная по параметрам $a_г$ и y для верхнего слоя грунта, окажется в нижележащем, более прочном слое, то расчет по формуле (4) повторяют, принимая значения $a_г$ и y для этого слоя. Если новое значение $h_{пр}$ окажется в вышележащем слое, то размыв остановится на границе слоев.

Когда вышележащий слой подстилает более размываемый грунт, рассчитанная по формуле (4) глубина размыва верхнего слоя грунта считается устойчивой, если до нижней границы этого слоя остается запас

$$\Delta h_{пр} \geqslant 0{,}17 y h_{пр}, \qquad (6)$$

где y и $h_{пр}$ имеют прежние значения.

При несоблюдении условия (6) расчет производят по параметрам нижнего, более слабого грунта.

Для сложного геологического строения расчет выполняют на ЭВМ.

Пример. Рабочее отверстие моста $L_{раб}=100$ *м*; средняя глубина под мостом до размыва $H_{др}=3{,}0$ *м*; расчетный расход $Q_{2\%}=600$ *м*^{3}/*сек*; русло сложено гравелистым песком со средним диаметром частиц $d=2$ *мм*. Требуется определить глубину размыва $h_{пр}$ на вертикали с наибольшей глубиной до размыва $h_{др}=5{,}0$ *м*.

Определяем по формуле (5) постоянную $S_р = \dfrac{600}{100\cdot 3^{\frac{5}{3}}} = 0{,}96$, по табл. 3 параметры $a_г=0{,}83$, $y=0{,}72$ и находим параметр $\beta=0{,}97$.

По формуле (4) получаем глубину после размыва

$$h_{пр} = \left(\frac{0{,}96\cdot 5{,}0^{\frac{5}{3}}}{0{,}83\cdot 0{,}97}\right)^{0{,}72} = 7{,}8 \text{ м}.$$

По геологическому разрезу подмостового русла находим, что на данной вертикали на глубине 6,5 *м* залегает слой гравия $d=6$ *мм*.

Пользуясь табл. 3 и формулой (4), находим для гравия

$$h'_{пр} = \left(\frac{0{,}96\cdot 5{,}0^{\frac{5}{3}}}{1{,}12\cdot 0{,}97}\right)^{0{,}74} = 6{,}2 \text{ м}.$$

Так как $h'_{пр}<6{,}5$ *м*, слой гравия не будет размыт, и размыв остановится на границе слоев гравелистого песка и гравия.

Приведенный метод расчета общего размыва применяют для мостов через речные русла, в которых при расчетном паводке движутся наносы (средняя скорость в русле больше размывающей для данного грунта).

2. Для мостов через водотоки, не несущие наносов, в случае искусственного прекращения движения наносов в русле и на пойменных участках мостов глубины после общего размыва на вертикалях живого сечения под мостом рассчитывают по формуле

$$h_{пр} = \left(\frac{S_р h_{др}^{\frac{5}{3}}}{3{,}6 d^{0{,}25}}\right)^{0{,}8}, \qquad (7)$$

где d — средний диаметр несвязного грунта в метрах.

Глубина размыва, рассчитанная по формуле (7) при слоистом залегании грунтов, считается устойчивой, если до нижней границы верхнего слоя остается запас

$$\Delta h_{пр} \geqslant 0{,}14 h_{пр}. \qquad (8)$$

3. При расчетах по формуле (7) в связных грунтах вместо d принимают эквивалентное значение $d_{экв}$ в зависимости от коэффициента пористости связного грунта ε:

Глины и суглинки при ε . . .	$>1{,}2$	$1{,}2 \div 0{,}6$	$0{,}6 \div 0{,}3$	$0{,}3 \div 0{,}2$
Эквивалентный диаметр $d_{экв}$, *мм*	0,15	3	10	50

При наличии надежных данных о сцеплении грунта глубина размыва в связных грунтах может быть определена подбором по формуле (24).

Если при расчете размыва в русле, выполняемого по формуле (4), обнажается слой связного грунта, то размыв в этом слое рассчитывают по формуле (7) согласно приведенным выше указаниям.

§ 51. РАСЧЕТ ПО ГИДРОГРАФУ ПАВОДКА

1. Расчет размыва предусматривает наличие струенаправляющих дамб и других регуляционных сооружений на переходе, устройство срезки грунта или расчистки живого сечения под мостом с выводом срезки или расчистки вверх и вниз от оси моста. Расчет выполняют по методическим указаниям ЦНИИСа [43].

2. Расчет выполняют по гидрографу расчетного паводка. В качестве расчетного принимают паводок, максимальный расход которого имеет вероятность превышения, соответствующую нормам. Форма гидрографа зависит от морфометрических характеристик речного бассейна и метеорологических факторов. При отсутствии наблюдений схематизация возможна по треугольнику, трапеции или по типовым уравнениям, описывающим очертание гидрографа. Наиболее надежна схематизация по модели реальных паводков[1] на основе имеющихся наблюдений на данной реке или реке-аналоге. Если паводки на данной реке многовершинные, то схематизация по моделям реальных паводков обязательна.

3. При схематизации расчетного гидрографа по треугольнику необходимо знать две из следующих трех величин:

а) продолжительность паводка $T_п$ (основание треугольника);

б) суммарный сток за период паводка ΣQ (площадь треугольника);

в) максимальный расход Q_{max} (высота треугольника).

При отсутствии наблюдений для равнинных рек в зависимости от площади бассейна F принимают следующие соотношения продолжительности подъема и спада ($t_1 : t_2$):

F, км²	300—500	500—5000	Более 5000
t_1/t_2	1:1	1:1,5	1:2

Для рек с большими или заболоченными поймами и с заболоченными бассейнами принимают $\frac{t_1}{t_2} = 1 : 3$.

4. На небольших водотоках при паводках от продолжительных дождей гидрограф схематизируют по трапеции. Продолжительность стояния максимального расхода $T_п$ принимают равной $0{,}1\,T_п$.

Для трапецеидального гидрографа $T_п$ (в *сек*)

$$T_п = \frac{2\sum Q}{1{,}1 Q_{max}}. \qquad (9)$$

[1] Здесь все виды временных подъемов уровня воды в реке независимо от их происхождения и высоты для краткости называют паводками.

Параболическое очертание гидрографа строят в соответствии с указаниями § 29.

5. Для построения расчетного гидрографа [10] на основе обобщения ряда реальных гидрографов наиболее высоких паводков намечают на каждом графике принятой для обобщения группы характерные переломные точки. Определяют средние абсциссы и ординаты этих точек. Ординаты выражают в процентах от максимального расхода, абсциссы — в процентах от продолжительности паводка, которую принимают средней для всей группы гидрографов.

Полученные относительные гидрографы наносят на один чертеж и проводят осредняющую линию через центры тяжести ординат; полученная осредняющая линия и образует расчетный относительный гидрограф.

Для построения гидрографа расчетного паводка вычисляют абсолютные значения ординаты через 1/20—1/10 общей продолжительности паводка, а кроме того, и в характерных переломных точках. Для этого относительные ординаты и абсциссы умножают соответственно на максимальный расход и на принятую продолжительность паводка.

6. Схематизированный расчетный гидрограф (одновершинный или многовершинный) заменяют ступенчатым, при этом следует учитывать, что общий размыв происходит лишь при уровнях выше средней отметки поймы, а отложение наносов возможно в паводок и межень.

Число ступеней от момента выхода воды на пойму до начала спада должно быть не менее трех. Ступени на спаде удобнее принимать при тех же расходах, что и на подъеме.

При разбивке гидрографа на ступени ветвь подъема гидрографа делят по высоте на три равные части и через точки деления проводят горизонтальные линии. Через середины участков гидрографа между ступенями проводят вертикальные линии, точки пересечения которых с горизонтальными линиями принимают за границы ступеней (см. приложение 8).

7. Ход размыва рассчитывают, последовательно суммируя размыв на каждой ступени гидрографа.

Размыв на данной ступени гидрографа определяют по выражению

$$\Delta t = \frac{\gamma \Delta W}{G_м - G_р}, \qquad (10)$$

где Δt — приращение времени, *сек*; ΔW — приращение объема размыва, *м*^{3}; $G_м$ — расход наносов, выносимых из-под моста, *кг/сек*; $G_р$ — расход наносов, поступающих по руслу к мостовому сечению, *кг/сек*; γ — объемный вес наносов, *кг/м*^{3}.

Если ΔW выражается в тыс. *м*^{3}, а $G_м - G_р$ в *кг/сек* и $\gamma = 1700$ *кг/м*^{3}, то Δt имеет размерность сутки:

$$\Delta t = \frac{19{,}7 \Delta W}{G_м - G_р}. \qquad (11)$$

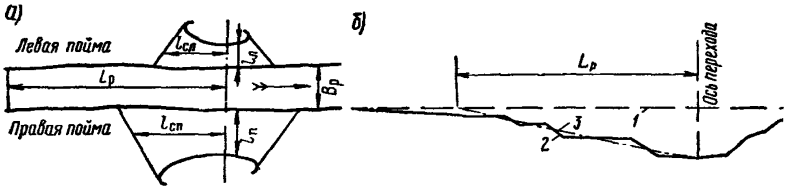


Рис. 3. Схема к определению объема тела размыва:
а — план; *б* — продольный профиль дна русла;
1 — до размыва; *2* — фактический после размыва; *3* — то же, схематизированный

Расчет сводится к подбору такого объема (следовательно, и глубины) размыва, при котором время, необходимое на его осуществление, равно продолжительности данной ступени гидрографа.

Расчет на последующей ступени гидрографа начинают с размыва, осуществившегося на предыдущей ступени.

8. Для расчета размыва при пропуске расчетного паводка за исходное принимается живое сечение, снятое в период изысканий, за исключением случаев, когда: а) поймы в районе перехода пропускают более 10% общего расхода реки при паводке вероятностью превышения 50%; б) требуется учитывать сосредоточенный размыв и поэтому живое сечение под мостом принимается с учетом перемещения русла (см. гл. VII). В последнем случае необходимо предварительно рассчитать размыв исходного сечения, близкий к стабилизации от ряда паводков вероятностью превышения расхода 50%, включая меженный период после каждого из них.

При приближенных расчетах можно ограничиться расчетом на предварительный пропуск одного паводка вероятностью превышения 50%.

9. Объем размыва определяют (рис. 3) по формуле

$$\Delta W = M\Delta h, \tag{12}$$

$$M_р = 0{,}5(B_р L_р + l_п l_{сп} + l_л l_{сл}); \tag{13}$$

где Δh — принятый слой смыва, *м*; $B_р$ — ширина русла, *м*; $l_п$ и $l_л$ — части отверстия моста соответственно на правой и левой поймах, *м*; $l_{сп}$ и $l_{сл}$ — расстояния между осью моста и верхней границей срезки или расчистки соответственно по правому и левому берегу русла, *м*; $L_р$ — длина распространения размыва, *м*, определяемая по формуле

$$L_р = 0{,}67 a v_б \sqrt{\frac{L_{разл}}{g i_б}}, \tag{14}$$

где $v_б$ — средняя бытовая скорость нестесненного потока в целом (русла и поймы), *м/сек*; a — величина, определяемая по табл. 9; $L_{разл}$ — ширина разлива, принимаемая при одностороннем стеснении потока подходом к мосту равной полной ширине разлива, а при двустороннем стеснении — равной половине полной ширины разлива; $i_б$ — бытовой уклон водной поверхности; $g = 9{,}81$ *м/сек*^{2}.

При изменении скорости нестесненного потока за период затопления пойм не более чем на 25% длину распространения размыва принимают для всех ступеней гидрографа такую же, что и для наивысшей ступени.

В противном случае длину распространения размыва определяют для каждой ступени отдельно.

10. Для блуждающих рек, на которых струенаправляющие дамбы доводят до границ зоны блуждания, длину распространения размыва принимают равной расстоянию от оси моста до концов струенаправляющих дамб: $L_р = l_{дамб}$.

В этом случае величину $M_р$ в формуле (12) определяют по формуле

$$M_р = \frac{1}{6}\left(1 + \frac{2l_м}{B_р}\right) l_{дамб}. \qquad (15)$$

11. Расходы наносов, входящие в формулу (10), определяют по формуле (43) в гл. V, а размывающую скорость определяют по формуле (42) в гл. V.

При этом для определения $G_м$ все величины, входящие в формулу, принимают для сечения под мостом, а для $G_р$ — для сечения русла в зоне подпора.

Подпор перед мостами больших и средних отверстий по сравнению с бытовой глубиной в русле при расчетном паводке — малая величина, которую приближенно рассчитывают для каждой ступени гидрографа по формуле

$$\Delta z = \eta v_м^2, \qquad (16)$$

где $v_м$ — средняя скорость под мостом, *м/сек*; η — коэффициент, зависящий от доли пропускаемого поймами расхода и соотношения скоростей в русле $v_р$ и на пойме $v_п$, принимаемый [31] по табл. 4.

Таблица 4

Характеристика рек	$v_р/v_п$	
	2,0	4,0
	η	
Горные или с малой поймой, пропускающей до 20% расчетного расхода	0,03—0,05	0,04—0,05
Полугорные или с поймой, пропускающей от 20 до 40% расчетного расхода	0,05—0,06	0,05—0,07
Равнинные с поймой, пропускающей от 40 до 60% расчетного расхода	0,06—0,09	0,07—0,10
Равнинные с поймой, пропускающей от 60 до 80% расчетного расхода	0,09—0,12	0,10—0,14

Примечание. Меньшее значение η в таблице соответствует меньшему проценту расчетного расхода, пропускаемого поймами из указанных в данной строке таблицы.

12. При расчете размыва различают два случая: а) размыв проходит в одном слое грунта; б) в слоях различных грунтов.

В случае а) расчет ведут по выражению (11) с учетом выносимых и поступающих в подмостовое сечение наносов. В случае б) при обнажении в процессе размыва грунта более крупнозернистого, чем лежащий на поверхности, размыв в обнажающемся слое рассчитывают без учета поступления наносов под мост ($G_р=0$); при обнажении более мелкозернистого грунта $G_м$ определяют по этому грунту, а $G_р$ — по грунту в зоне подпора.

Расчет выполняют сначала для грунта, слагающего дно до размыва, согласно указаниям п. 14. Затем устанавливают, зашел ли размыв в последующий слой грунта; если размыв зашел в этот слой, то расчет повторяют для грунтов этого слоя. Аналогично ведут расчеты для каждого из последующих слоев в случае их обнажения.

13. Если на части живого сечения под мостом грунты неразмываемые, то на остальной части размыв рассчитывают в следующем порядке.

Определяют часть расхода, проходящую на размываемом участке живого сечения $Q_{раз}$ (приближенно $Q_{раз}=Q\left(\frac{\omega_{раз}}{\omega_м}\right)$, где $\omega_м$ и $\omega_{раз}$ площади живого сечения под мостом, $м^2$ (соответственно общая и на размываемой части живого сечения).

Расход наносов $G_м$ на размываемой части определяют как $G_м=\rho_м Q_{раз}$ ($кг/сек$); в последнем выражении значение $\rho_м$ определяют исходя из средней скорости на размываемой части

$$v=\frac{Q_{раз}}{\omega_{раз}}.$$

При определении ΔW по формуле (12) значения $B_р$ $l_п$ и $l_л$ вводят в расчет лишь в пределах той ширины, где происходит размыв.

14. Линию общего размыва под мостом определяют из условия, что каждая глубина после размыва увеличивается в P раз, т. е. $H_{пр}=PH_{др}$, где P — средний коэффициент размыва, равный отношению средней грубины (или площади), после размыва к глубине (или площади) до размыва.

15. Расчет общего размыва выполняют в следующем порядке.

Определяют твердый расход под мостом $G_{м1}$ и в зоне подпора до размыва $G_{р1}$; задаются небольшим слоем размыва Δh_1 (например, 0,1 $м$). Вычисляют твердый расход в тех же створах после смыва слоя Δh_1: $G_{м2}$ и $G_{р2}$. Находят среднее значение твердого расхода под мостом $G_м=0{,}5\,(G_{м1}+G_{м2})$ и в зоне подпора $G_р=0{,}5\,(G_{р1}+G_{р2})$. Вычисляют объем размыва ΔW_1, соответствующий смытому слою Δh_1, и находят время, за которое этот слой смывается:

$$\Delta t_1=\frac{\gamma\Delta W_1}{(G_м-G_р)}.$$

Задаются следующим слоем смыва Δh_2 и, повторяя аналогичные операции, находят второй интервал времени Δt_2. Так поступают и

далее, пока $\Sigma\Delta t=\Delta t_1+\Delta t_2+\ldots+\Delta t_n$ не окажется равна продолжительности первой ступени T_1; при этом может потребоваться подобрать часть продолжительности последнего интервала времени и определить соответствующую высоту слоя смыва.

Вычитая глубину размыва на первой ступени из отметки дна z_1 до размыва, находят отметку дна z_2 в начале действия второй ступени гидрографа.

Аналогично рассчитывают размыв на второй ступени гидрографа для параметров потока на этой ступени, но начинают с живого сечения, размытого за время первой ступени.

16. По мере углубления размыва значения разностей $G_м - G_р$ уменьшаются, а затем становятся отрицательными, что свидетельствует об отложении наносов под мостом.

При проходе от положительных к отрицательным значениям $G_м - G_р$ наступает максимум размыва.

Так как развитие размыва во времени идет по кривой, желательно, чтобы величина размыва в пределах одной ступени складывалась из нескольких слоев смыва Δh и для каждой ступени было бы три или больше расчетных строчек.

17. Результаты расчета оформляют в виде графика, на который наносят построенный гидрограф расчетного паводка, ступенчатый гидрограф, используемый в расчете, и полученную интегральную кривую общего размыва.

Пример расчета общего размыва по гидрографу паводка приведен в приложении 8.

На основании полученной максимальной ординаты кривой общего размыва $(\Sigma\Delta h)_{max}$ определяют коэффициент размыва под мостом

$$P=\frac{H_{м,др}+(\sum\Delta h)_{max}}{H_{м,др}},$$

где $H_{м,др}$ — средняя глубина под мостом до размыва при расчетном уровне. Это значение коэффициента размыва используют при выборе отверстия моста.

18. По местоположению проектируемых опор моста для глубины у каждой опоры или только для максимальной глубины (при необходимости с учетом ожидаемого сосредоточенного размыва), если все опоры проектируются по этой глубине, строят интегральные кривые общего размыва при расчетном паводке.

Ордината такой кривой $h_д$ на каждый момент времени определяется как

$$h_д=h_{д,др}\left(\frac{H_{м,пр}}{H_{м,др}}-1\right),$$

где $H_{м,др}$ и $h_{д,др}$ — средняя глубина воды под мостом и у опоры при данном расходе в предположении отсутствия размыва, *м*; $H_{м,пр}$ — средняя глубина воды под мостом после размыва к данному моменту времени.

Для каждой опоры для характерных точек гидрографа определяют глубину местного размыва (см. § 52), строят кривую зависи-

мости местного размыва от времени и суммарную кривую общего и местного размыва у данной опоры.

Максимальная ордината суммарной кривой и определяет расчетную величину размыва у данной опоры.

На этот же график наносят кривые изменения подпора и средней скорости под мостом при расчетном паводке, одновременно устанавливают максимальную величину подпора и скорости, которые используют для проектирования мостового перехода.

Исходя из времени стояния пика расчетного паводка и уровней, близких к максимальному, согласно указаниям п. 5 § 68 определяют высоту волн у сооружений мостового перехода, а с учетом подпора еще и отметки верха укреплений и сооружений перехода. По максимальному значению скорости под мостом выбирают укрепление струенаправляющих дамб.

Расчет общего размыва по гидрографу паводка можно выполнить на ЭЦВМ. Программа такого расчета для БЭСМ-2М приведена в [43] и для БЭСМ-4 — в [22].

19. При определении допускаемого коэффициента размыва (табл. 4 п. 33 СН 200-62), сравнении вариантов мостовых переходов и в других случаях, когда достаточно ориентировочного представления о характере и стоимости сооружений мостового перехода, возможен приближенный расчет общего размыва под мостом, который выполняют по п. 1 § 50 или как изложено ниже.

Приближенный расчет выполняют по настоящим указаниям с заменой многоступенчатого гидрографа одноступенчатым.

Продолжительность одноступенчатого гидрографа принимают равной периоду от выхода воды на пойму до пика расчетного паводка. Если максимальный расход при расчетном паводке держится в течение некоторого отрезка времени, то продолжительность одноступенчатого гидрографа принимают до середины этого отрезка.

Расход в течение всего времени одноступенчатого гидрографа принимают равным расчетному.

В качестве величин $l_{сп}$ и $l_{сл}$, входящих в выражение (13), разрешается принимать значения проекций верховых струенаправляющих дамб на нормаль к оси моста, определяемые по указаниям § 64.

Общий размыв при расчете по одноступенчатому гидрографу содержит некоторый запас.

§ 52. РАСЧЕТ МЕСТНОГО РАЗМЫВА У ОПОР МОСТОВ

1. Расчеты местного размыва выполняют согласно ВСН 62-69 [71].

Различают два случая 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 размывающей для

грунтов русла, а также пойменные потоки на задернованных и заросших поймах.

Различают следующие грунтовые условия:

а) русло на глубину, превышающую глубину суммарного размыва, сложено однородным несвязным грунтом;

б) русло сложено неоднородным несвязным грунтом;

в) русло сложено связным грунтом;

г) русло сложено слоями разных грунтов.

2. Несвязным считается грунт с числом пластичности $W_п \leqslant 1$ (см. п. 9).

Несвязный грунт считается однородным, если:

а) $\frac{D_{max}}{d} \leqslant 3$;

б) в случае, предусмотренном п. 1,а при средней скорости потока больше размывающей для частиц диаметром D_{max}.

Здесь D_{max} — средний диаметр крупных частиц, которые составляют 2% веса грунта или самой крупной фракции гранулометрического состава, если она составляет не менее 2% веса грунта; d — средний диаметр частиц всего грунта;

3. Наибольшую глубину местного размыва у опоры в случае, предусмотренном в п. 1, а, определяют по формуле

$$h = \left(h_0 + 0{,}014\frac{v - v_0}{w} b\right) MK, \tag{17}$$

а в случае, приведенном в п. 1, б, по формулам:

$$h = h_0 \left(\frac{v - v_н}{v_0 - v_н}\right)^{\frac{3}{4}} MK; \tag{18}$$

$$h_0 = \frac{6{,}2\beta H}{\left(\frac{v_0}{w}\right)^{\beta}}, \tag{19}$$

где h_0 — предельная глубина местного размыва у цилиндрической опоры при $v = v_0$; b — расчетная ширина опоры, *м*; H — глубина потока перед опорой, *м*; $\beta = 0{,}18\left(\frac{b}{H}\right)^{0{,}867}$; значения β можно брать по табл. 5; v — средняя скорость потока на вертикали перед опорой, *м/сек*; v_0 — размывающая скорость[1] для данного грунта, *м/сек*, (см. п. 5); $v_н$ — начальная скорость размыва, *м/сек* (см. п. 5); w — гидравлическая крупность частиц грунта (скорость падения в стоячей воде (см. п. 6); M — коэффициент формы, зависящий от конструкции опоры (см. п. 15); K — коэффициент косины, зависящий от угла, образуемого продольной осью опоры с направлением течения перед опорой (см. п. 16).

[1] Размывающей здесь называется та средняя на вертикали скорость потока, при которой начинается движение частиц грунта; ее не следует отождествлять с допускаемой скоростью, которая определяется в соответствии со специальными нормами.

Таблица 5

$\frac{b}{H}$	β	$\frac{b}{H}$	β	$\frac{b}{H}$	β	$\frac{b}{H}$	β	$\frac{b}{H}$	β
0,040	0,0110	0,10	0,0242	0,30	0,063	0,80	0,148	2,0	0,330
0,045	0,0122	0,12	0,0285	0,35	0,072	0,90	0,164	2,5	0,400
0,050	0,0134	0,14	0,0325	0,40	0,080	1,00	0,180	3,0	0,465
0,060	0,0156	0,16	0,0366	0,45	0,090	1,20	0,205	3,5	0,515
0,070	0,0178	0,18	0,0410	0,50	0,098	1,40	0,240	4,0	0,600
0,080	0,0200	0,20	0,0450	0,60	0,115	1,60	0,270	4,5	0,660
0,090	0,0222	0,25	0,0540	0,70	0,130	1,80	0,300	5,0	0,720

Значения v, v_0 и w следует подставлять в единой системе единиц.

4. Когда опора и фундамент имеют переменную по высоте ширину (рис. 4), то расчетную ширину определяют по формуле

$$b=\frac{b_1t_1+b_2t_2+\dots}{t_1+t_2+\dots}, \tag{20}$$

где b_1, b_2 — ширины, а t_1, t_2 — высоты элементов опоры, взятые в пределах воды, считая от линии общего размыва.

5. Размывающую скорость для несвязных грунтов определяют по формуле (42) гл. V или по графику (см. рис. 9).

Начальную скорость размыва для несвязных грунтов определяют по формуле

$$v_{\text{н}}=v_0\left(\frac{d}{b}\right)^y, \tag{21}$$

где d и b подставляют в одинаковых мерах.

Показатель y принимают в зависимости от $H:d$

$\frac{H}{d}$	20	40	60	80	100	200	400	600	800	1000	2000 и более
y	0,198	0,181	0,173	0,167	0,163	0,152	0,143	0,139	0,137	0,134	0,125

6. Среднюю гидравлическую крупность грунта w, состоящего из частиц разной крупности, определяют как средневзвешенную по формуле

$$w=\frac{\sum w_ip_i}{100},$$

где w_i — средняя гидравлическая крупность данной фракции гранулометрического состава грунта; p_i — весовая доля фракции, %:

Среднюю гидравлическую крупность фракции определяют как среднюю арифметическую гидравлических крупностей частиц, крайних для данной фракции, т. е.

$$w_i=\frac{w_{i,\max}+w_{i,\min}}{2}.$$

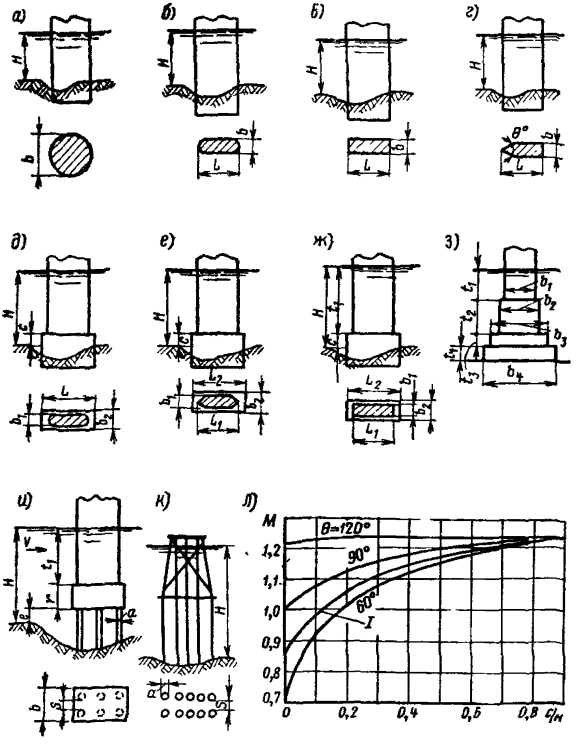


Рис. 4. Схема различных видов опор и коэффициенты формы: *а* — значение коэффициента формы принимают $M=1{,}00$; *б* — $M=0{,}85$; *в* — $M=1{,}24$; *г* — M в зависимости от двугранного угла Θ опоры:

θ	120	90	60
M	1,22	1.0	0,73

д — M принимают в зависимости от относительной высоты обреза фундамента c/H по рис. 4, *л*, кривая *1*; *е* — M принимают в зависимости от двугранного угла с верхней стороны и относительной высоты обреза фундамента c/H по рис. 4, *л*; *ж* — $M=1{,}24$; *з* — схема к определению расчетной ширины (длины) опоры по п. 4 § 52; *и* и *к* — коэффициент формы принимают по формуле (20); *л* — график для определения коэффициента формы опор на массивных фундаментах

Таблица 6

d	w	d	w	d	w	d	w	d	w	d	w
0,01	0,007	0,25	2,70	1,5	12,6	7	29,7	50	76,9	180	145
0,03	0,062	0,30	3,24	2,0	15,3	10	35,2	60	84,2	200	152
0,05	0,178	0,40	4,32	2,5	17,7	15	43,0	80	96,9	250	170
0,08	0,443	0,50	5,40	3,0	19,3	20	49,2	100	108	300	186
0,10	0,692	0,60	6,48	3,5	20,9	25	54,8	120	119	350	201
0,15	1,557	0,80	8,07	4,0	22,3	30	60,0	140	128	400	215
0,20	2,16	1,00	9,44	5,0	24,9	40	68,9	160	137	500	240

Гидравлическую крупность частиц w (*см/сек*) принимают по табл. 6 в зависимости от их диаметра d, *мм*.

Приближенно гидравлическую крупность однородного несвязного грунта можно определять по его среднему диаметру.

7. Если несвязный грунт характеризуется отношением

$$\frac{D_{\max}}{d} > 3,$$

он считается неоднородным (см. п. 2).

При местном размыве в неоднородном грунте может образоваться естественная отмостка дна воронки, уменьшающая глубину размыва.

Расчет с учетом естественной отмостки выполняют, руководствуясь указаниями ВСН 62-69.

8. Когда в воронку размыва попадают наносы средним диаметром частиц $d_н$ мельче грунта средним диаметром d, в котором идет размыв, эти наносы способствуют размыву; в этом случае глубину размыва определяют по формуле

$$h = (h' + H)\varepsilon - H, \tag{22}$$

где h' — глубина размыва, определяемая без учета влияния мелких наносов по формуле (18); ε — коэффициент абразивности, значения которого принимают в зависимости от отношения $d/d_н$:

$\varepsilon/d_н$ . . .	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25
ε	1,41	1,35	1,30	1,26	1,22	1,20	1,18	1,16	1,15	1,14

9. Грунт с числом пластичности больше единицы считается связным. Числом пластичности грунта $W_ч = W_т - W_р$ называется разность весовых влажностей (в %), соответствующих состояниям грунта на границе текучести $W_т$ и на границе раскатывания $W_р$ [61, стр. 4].

Глубину местного размыва у опоры в связном грунте определяют по формуле

$$h = \frac{6{,}2\beta H}{\left(\frac{v_0}{w}\right)^{\beta}} \left(2\frac{v}{v_0} - 1\right)^{0{,}75} MK. \tag{23}$$

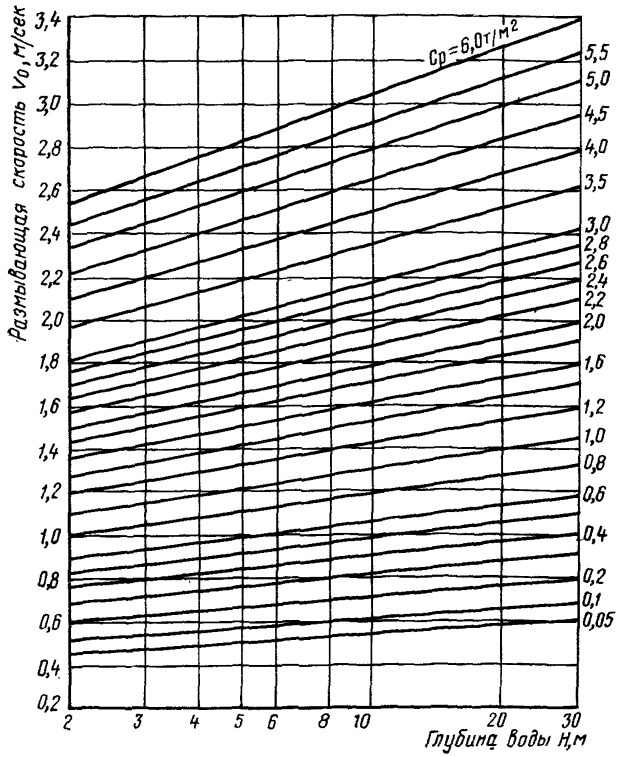


Рис. 5. График для определения размывающей скорости связных грунтов при $\varepsilon=1{,}4$

10. Размывающую скорость для связного грунта определяют по формуле

$$v_0=\frac{0{,}4}{\varepsilon}(3{,}34+\lg H)\sqrt{0{,}151+C_p}, \qquad (24)$$

где C_p — расчетное сцепление, $т/м^2$; $\varepsilon=1{,}4$, если в воронку размыва поступают влекомые потоком песчаные наносы, и $\varepsilon=1$ в противном случае.

Для ускорения расчета по формуле (24) рекомендуется использовать график (рис. 5), составленный при $\varepsilon=1{,}4$; при $\varepsilon=1{,}0$ значения v_0, получаемые по графику, умножают на 1,4.

Для получения расчетного значения C_p могут быть использованы стандартные методы испытаний грунтов на сдвиг, а также ре-

комендации СНиП II-Б.1-62 (табл. 13) [61] или заменяющие указанную таблицу документы.

Предпочтительно для расчета размыва в связных грунтах использовать данные о сцеплении, определенные вдавливанием в грунт сферического штампа (прибор конструкции Н. А. Цытовича) непосредственно на месте расположения сооружения или на отобранных там пробах грунтов (монолитах).

11. При расчете глубины размыва в связном грунте в качестве w в формулу (23) подставляют гидравлическую крупность однородного несвязного грунта, обладающего такой же размывающей скоростью; диаметр частиц его (в *мм*) находят по формуле

$$d_э = \frac{5{,}95}{H} v_0^4, \tag{25}$$

где v_0 — в *м/сек*, а H — в *м*.

12. Когда русло сложено слоями различных грунтов, а поток не влечет донных наносов (причем средняя скорость потока у опоры меньше размывающей для верхнего слоя), глубину местного размыва определяют по формуле (18) для обнаженного грунта в следующем порядке: находят глубину размыва для первого слоя; если полученная глубина размыва захватывает второй слой, расчет проводят для второго слоя, условно считая, что он выходит на поверхность, и так до тех пор, пока будет найден слой, в котором размыв прекратится.

Если при расчете для какого-либо слоя глубина размыва получается меньше суммы толщин вышележащих слоев, то это значит, что размыв останавливается на поверхности рассматриваемого слоя.

13. При слоистом строении русла, когда средняя скорость потока у опоры v меньше размывающей v_0 для нижних обнажаемых грунтов и происходит влечение наносов, глубину размыва определяют для обнажаемого грунта по формуле

$$h = h_{0D}\left(\frac{\varepsilon v - v_{нD}}{\varepsilon v_{0D} - v_{нD}}\right)^{0{,}76} МК, \tag{26}$$

где h_{0D} — глубина размыва в грунте рассматриваемого слоя частиц диаметром D, определяемая по формуле (19); ε — коэффициент абразивности (см. п. 8).

Расчет по формуле (26) проводят аналогично описанному в п. 12 при расчете по формуле (18). При отсутствии влечения наносов принимают в формуле (26) $\varepsilon = 1$.

Когда обнажается неоднородный грунт, расчет проводят по пп. 11—19 указаний ВСН 62-69 [71].

14. Во всех случаях, когда в воронку поступают наносы, глубину размыва принимают не более чем дает формула (17) для грунта, влекомого потоком в виде донных наносов.

15. Значения коэффициента формы опор M (кроме опор на сваях и столбчатых фундаментах) принимают по рис. 4.

Для опор на столбчатых фундаментах и на сваях (рис. 4, *и*, *к*) за расчетную ширину принимают ширину свай или сваи-оболочки *a*; а коэффициент формы *M* определяют по формуле

$$M = M_1 M_2 \eta_0 M_{пл}, \tag{27}$$

где M_1 — коэффициент формы отдельной сваи, который принимают равным 1 для круглых и 1,24 для прямоугольных свай;

$$M_2 = 0{,}56 \left(\frac{Hv}{S\sqrt{gd}} \right)^{0{,}25}; \tag{28}$$

$$\eta_0 = \frac{(S + 2a)\, n}{a\,(n+1) + \sum S}, \tag{29}$$

где S — расстояние в свету между сваями по фасаду моста; a — ширина сваи или сваи-оболочки; при $M_2 < 1$ принимают $M_2 = \eta_0 = 1$; n — число просветов между сваями;

$$M_{пл} = 1{,}1 \left(1 + \frac{r}{H + e} \right), \tag{30}$$

где r — толщина плиты ростверка; e — высота положения низа плиты над дном после общего размыва.

Если нижняя плоскость плиты фундамента заглублена ниже расчетной поверхности дна (линии общего размыва) на величину e, значение e в формуле (30) отрицательное.

При неодинаковых просветах между сваями (по фасаду) в знаменателе формулы (28) и числителе формулы (29) ставят меньшую величину S.

Когда дно воронки получается выше основания плиты ростверка (сваи не обнажаются), расчет выполняют как для опоры на массивном фундаменте, независимо от того, обнажаются ли при этом сваи, или размыв остается в пределах массивной части.

Глубину размыва у опоры на столбчатом фундаменте принимают не больше, чем у опоры той же расчетной ширины на массивном фундаменте.

16. Если продольная ось опоры образует с направлением набегающего на нее потока угол α больше 10°, коэффициент косины K определяют по формуле

$$K = 1 + \left[1{,}22 - \frac{1{,}12}{\sqrt{\left(\frac{H}{b} + 0{,}75 \right)^3}} \right] f, \tag{31}$$

где f — коэффициент, значения которого берут из графика (рис. 6) в зависимости от отношения $\frac{L}{b}$ (где L — расчетная длина опоры в плане; b — расчетная ширина) и угла косины.

При $\alpha \leqslant 10°$ принимают $K = 1$.

Коэффициент косины опор на столбчатых фундаментах опреде-

ляют как для массивных опор, при этом их расчетную ширину определяют по п. 4 для массивной части, которая находится выше линии общего размыва (см. рис. 4). Расчетную длину опоры определяют по п. 4, но вместо ширины элементов b_1, b_2..... подставляют их длины L_1, L_2.....

Приближенные расчеты для предварительных соображений выполняют по [40].

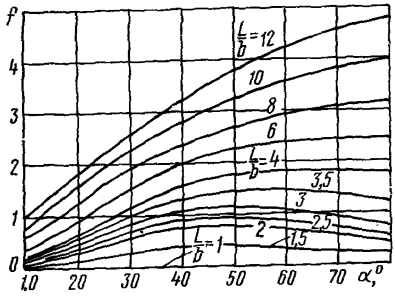


Рис. 6. График для определения коэффициента f в формуле (31)

§ 53. РАСЧЕТ МЕСТНОГО РАЗМЫВА У СТРУЕНАПРАВЛЯЮЩИХ ДАМБ И ТРАВЕРСОВ

1. Ниже изложен расчет глубины местного размыва у голов эллиптических дамб, размеры и очертание которых определяют по методу, изложенному в данном Наставлении, а также для прямолинейных дамб той же длины, что и эллиптическая дамба, считая по проекции на нормаль к оси перехода.

Расчет применим и для конуса, если размеры и очертание требуемой верховой эллиптической дамбы близки к очертанию и размерам конуса, а также и для дамбы грушевидного очертания, если очертание ее с речной стороны совпадает с эллиптической дамбой, рассчитанной по данному Наставлению.

Если общий размыв под мостом рассчитывают во времени с учетом гидрографа паводка, то принимают глубины и скорости потока на тот момент времени, когда средняя скорость под мостом получает наибольшее значение.

Глубина воды после местного размыва у головной части дамбы $h_{пр}$ определяется последовательными приближениями из уравнения

$$h_{пр} = aK_р \frac{v_м - v_{нест}}{v_0} h_{ядр} K_m + h_{вдр}(1 - K_m), \qquad (32)$$

где $h_{др}$ — глубина воды до размыва у головной части дамбы, *м*; a — коэффициент, принимаемый в зависимости от меры стеснения потока λ:

λ	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
a	5,2	4,3	3,2	2,5	2,0	1,8	1,6	1,5

При односторонней дамбе $\lambda = \frac{Q}{Q_{мб}}$, где Q — полный расход, а $Q_{мб}$ — расход, проходящий на ширине отверстия моста в бытовых условиях. При двусторонних дамбах Q — расход на нестесненной части потока, состоящей из прилегающих к данной дамбе поймы и

Таблица 7

$\frac{h_{пр}}{h_{др}}$	$K_р$ для дамб		$\frac{h_{пр}}{h_{др}}$	$K_р$ для дамб	
	эллиптических	прямолинейных		эллиптических	прямолинейных
1,0	0,61	0,61	4,0	1,80	1,95
1,5	0,94	1,04	5,0	2,07	2,17
2,0	1,19	1,28	6,0	2,29	2,38
3,0	1,52	1,68			

части русла до линии наибольших глубин, а $Q_{мб}$ — расход на части отверстия, прилегающей к данной дамбе; $K_р$ — величина, зависящая от коэффициента размыва и очертания дамб и определяемая по табл. 7;

v_0 — размывающая скорость для грунта у головной части дамбы, определяемая при глубине после размыва; κ_m — величина, принимаемая в зависимости от крутизны откоса дамбы m:

m	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
κ_m	0,71	0,55	0,44	0,37	0,32	0,28

При односторонней дамбе:

v_m — наибольшее значение средней скорости под мостом, определяемое при расчете общего размыва; $v_{неет}$ — средняя скорость всего нестесненного потока в бытовых условиях.

При двусторонних дамбах:

$v_м$ — наибольшее значение средней скорости на части отверстия моста, прилегающей к данной дамбе, считая от вертикали с наибольшей глубиной; $v_{неет}$ — средняя скорость в бытовых условиях на нестесненной части потока, состоящей из прилегающих к данной дамбе поймы и части русла до вертикали с наибольшей глубиной.

2. Глубину размыва h у головной части траверса (рис. 7) определяют:

а) при поступлении наносов в воронку размыва по формуле

$$h=\left(h'+0{,}0207\frac{v-v_0}{w}b\right)\kappa_m\kappa_\alpha; \tag{33}$$

б) при отсутствии поступления наносов

$$h=h'\left(\frac{v-v_н}{v_0-v_н}\right)^{0,75}\kappa_m\kappa_\alpha. \tag{34}$$

В формулах (33) и (34)

$$h'=\frac{1{,}84H}{0{,}5+\frac{H}{b}}, \tag{35}$$

где $v_н$ — начальная скорость, определяемая для несвязных грунтов по п. 5 § 52, причем в формуле (21) принимают $b=H$; $\kappa_\alpha=\sqrt[3]{\frac{\alpha^\circ}{90}}$—

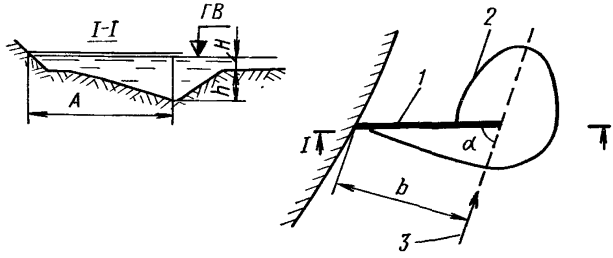


Рис. 7. Схема местного размыва у траверса:
1 — траверс; *2* — контур воронки размыва; *3* — направление течения

коэффициент, учитывающий расположение траверсов в плане; α — угол, образуемый осью траверса с направлением течения (когда траверс в плане повернут по течению, угол меньше 90°, а против течения — больше 90°); b — длина проекции траверса на нормаль к направлению течения у его головной части, *м*; v — средняя скорость течения набегающего потока на вертикали против головной части траверса, *м/сек*; κ_m — коэффициент, зависящий от крутизны откоса головы траверса (см. стр. 190).

Прочие факторы учитывают так же, как при расчете размыва у опор.

§ 54. ПРИБЛИЖЕННОЕ НАЗНАЧЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ МОСТОВ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ ТРАССЫ И РАЗРАБОТКИ ТЭО

1. Для выбора направления проектируемой дороги сравнивают несколько вариантов, которые трассируют по картам масштабов 1 : 10 000, 1 : 25 000 и 1 : 50 000. Данные для эскизного проектирования и определения стоимости мостовых переходов определяют по картам.

2. Если ширина русла и границы пойм в данном масштабе карты ясно не выражены, а по карте могут быть установлены только границы бассейна, то ориентировочную величину отверстия моста определяют [35] по формулам:

а) для рек, имеющих снеговое половодье

$$L_{св} \approx \frac{AF^{0,5}}{1,5v}; \qquad (36)$$

б) для рек, имеющих ливневой паводок,

$$L_{св} \approx \frac{BF^{0,35}}{1,5v}, \qquad (37)$$

где $L_{св}$ — отверстие моста в свету, *м*; A — элементарные снеговой, а B — ливневой стоки расчетной вероятности превышения, опреде-

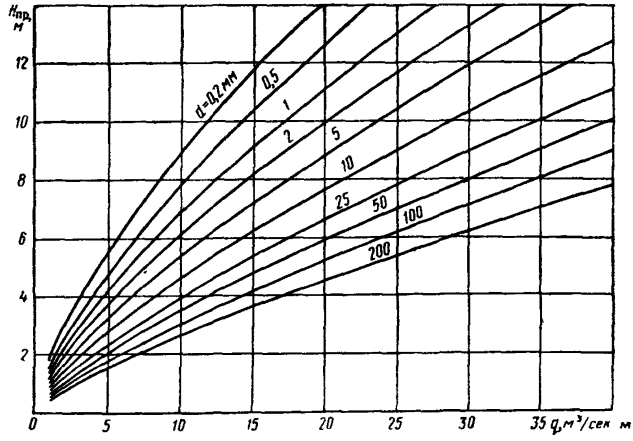


Рис. 8. График для приближенного определения средней глубины под мостом после размыва

ляемые для района трассы по опубликованным данным, *м³/сек км²* [58]; F — площадь водосбора, *км²*; v — средняя скорость течения в главном русле, *м/сек*, определяемая по табл. 3 для средней глубины $H=1{,}5F^{0{,}15}$; грунтовыми характеристиками русла задаются на основании общей геологической характеристики района.

Коэффициент размыва, учитывая приближенность расчета по формулам (36) и (37), в расчет не вводят.

Отметку расчетного уровня высокой воды на переходе определяют по формуле

$$УВВ_{1\%}=D_0+2F^{0{,}15}, \qquad (38)$$

где $УВВ_{1\%}$ — отметка расчетного уровня высокой воды, *м*; D_0 — отметка межени или дна водотока, определенная по картам, *м*; F — площадь водосбора, *км²*.

3. Если ширину русла и ширину разлива реки можно определить по карте с точностью, достаточной для эскизного проектирования, отверстие моста определяют по формуле

$$L_{св}=\frac{1}{P}(B_р+0{,}04B_п), \qquad (39)$$

где P — принятый средний коэффициент размыва; $B_р$ — ширина русла реки в бровках, *м*; $B_п$ — суммарная ширина пойм реки, *м*.

Так как последний расчет при трассировании линии по картам относится только к крупным рекам, на которых имеются водомерные посты, отметку расчетного уровня высокой воды на мостовом переходе определяют по указаниям § 28.

4. Наибольшую глубину после возможного размыва у мостовых

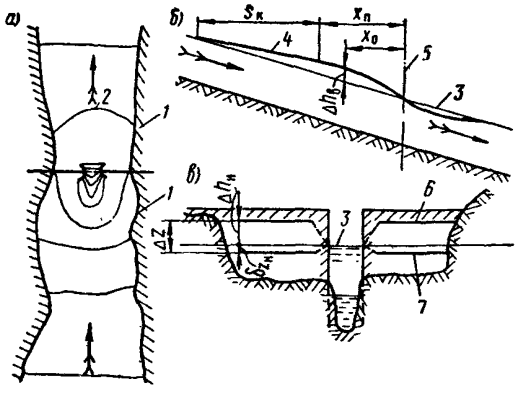


Рис. 9. Подпор и понижение водной поверхности у мостового перехода:

а — схематический план потока и рельеф водной поверхности; *б* — продольный профиль водной поверхности; *в* — профили водной поверхности с верховой и низовой сторон подходной насыпи:

1 — границы разлива; *2* — горизонтали водной поверхности; *3* — водная поверхность нестесненного потока; *4* — то же, стесненного потока; *5* — ось перехода; *6* — водная поверхность с верховой стороны перехода; *7* — то же, с низовой стороны

опор от расчетного уровня определяют в случае, предусмотренном п. 3) по приближенной формуле

$$h_{\max,пр} \approx b_0 + 1{,}6H_{пр}, \qquad (40)$$

где b_0 — ширина опоры по обрезу фундамента, *м*; $H_{пр}$ — средняя глубина под мостом после размыва, *м*, определяемая по графику рис. 8 в зависимости от крупности грунта d и расхода воды на метр отверстия моста $q = \dfrac{Q_{P\%}}{L_{св}}$.

Расход $Q_{P\%}$ приближенно определяют по указаниям § 29 или приближенно по п. 5.

5. Расчетные максимальные расходы рек, имеющих явно выраженные русла, при снеговом половодье могут быть ориентировочно определены [49] по табл. 8 в зависимости от ширины русла $B_р$.

§ 55. РАСЧЕТ ПОДПОРА И ПОНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ У МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА

1. Подпор и понижение водной поверхности рассчитывают по методам, изложенным в [55, 54]. Расчетом определяют (рис. 9):

а) предмостовой подпор $\Delta h_в$;

б) расстояние x_0 от моста до вертикали, где предмостовой подпор наибольший, и расстояние $x_п$ от моста до сечения, за которым вверх по течению подпор уменьшается;

в) максимальный подпор у подходной насыпи с верховой ее стороны $\Delta h_н$;

г) понижение водной поверхности с низовой стороны насыпи $\delta z_н$.

2. Предмостовой подпор (в *м*) находят по формуле

$$\Delta h_в = \kappa \frac{v_м^2 - v_{бм}^2}{2g}, \qquad (41)$$

где κ — коэффициент, определяемый по зависимости

$$\kappa = 1 + \left(\frac{v_б}{v_{бм}}\right)^2 \frac{a}{\sqrt{\frac{Fr}{i_б}}}, \qquad (42)$$

$v_м$ — средняя скорость потока под мостом, *м/сек*; $v_{бм}$ — средняя скорость при отсутствии стеснения потока в части живого сечения, перекрываемой мостом, *м/сек*; $g = 9{,}8$ *м/сек*^{2} — ускорение силы тяжести; $v_б$ — средняя скорость по всему живому сечению нестесненного потока, *м/сек*; $\frac{Fr}{i_б}$ — безразмерный параметр нестесненного потока;

Таблица 8

$B_р$, *м*	Вероятность превышения		$B_р$, *м*	Вероятность превышения	
	0,33%	1%		0,33%	1%
	Расход, *м*^{3}*/сек*			Расход, *м*^{3}*/сек*	
10	85	70	220	5 350	4 580
15	110	90	240	5 870	5 015
20	155	120	260	6 300	5 435
25	220	170	280	6 835	5 860
30	305	230	300	7 360	6 270
40	560	455	320	7 865	6 695
50	825	685	340	8 365	7 100
60	1 095	915	360	8 865	7 500
70	1 365	1 155	380	9 365	7 900
80	1 635	1 395	400	9 875	8 290
90	1 915	1 640	420	10 330	8 640
100	2 185	1 880	440	10 810	9 050
120	2 715	2 330	460	11 290	9 450
140	3 255	2 790	480	11 770	9 810
160	3 775	3 240	500	12 240	10 200
180	4 315	3 700	520	12 720	10 570
200	4 850	4 140	540	13 200	10 930
			560	13 680	11 290

$$Fr = \frac{v_б^2}{g L_{разл}}, \qquad (43)$$

где $L_{разл}$ — расчетная ширина разлива, *м*, при одностороннем стеснении потока подходом, принимается равной полной ширине разлива, а *при двустороннем стеснении — половине полной ширины* разлива; $i_б$ — продольный уклон водной поверхности нестесненного потока; a — коэффициент, принимаемый по табл. 9 в зависимости от степени стеснения потока $\frac{Q}{Q_м}$; Q — общий расход водного потока; $Q_м$ — расход, проходящий при отсутствии стеснения через часть живого сечения, перекрываемую отверстием моста.

Таблица 9

$Fr/i_б$	$Q/Q_м$					
	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
	a					
0,05	1,14	1,21	1,36	1,51	1,66	2,28
0,10	1,07	1,12	1,24	1,39	1,54	2,00
0,15	1,02	1,05	1,13	1,28	1,42	1,72
0,20	0,98	1,01	1,08	1,19	1,30	1,48
0,25	0,94	0,97	1,04	1,11	1,18	1,26
0,30	0,90	0,92	0,97	1,03	1,09	1,08
0,40	0,81	0,82	0,86	0,88	0,90	0,83
0,50	0,73	0,74	0,74	0,73	0,72	0,51

В случаях когда величины $\frac{Q}{Q_м}$ и $\frac{Fr}{i_б}$ лежат за пределами, указанными в табл. 9, коэффициент a принимают равным крайним его значениям.

3. Расстояние от моста до вертикали (в *м*), где устанавливается предмостовой подпор, определяют по формуле

$$x_0 = aL_{разл}\sqrt{\frac{Fr}{i_б}}. \qquad (44)$$

Расстояние от моста до сечения (в *м*), за которым подпор уменьшается, находят по формуле

$$x_п = L_{разл}\left(a\sqrt{\frac{Fr}{i_б}} + \frac{Fr}{i_б}\right). \qquad (45)$$

Длину кривой подпора $S_к$ вверх от указанного живого сечения и отметки свободной поверхности на участке этой кривой находят в соответствии с § 39.

4. Максимальный подпор у подходной насыпи определяют по формуле

$$\Delta h_н = \Delta h_в + x_0 i_б + \frac{v_б^2}{g}. \qquad (46)$$

Понижение уровня водной поверхности за насыпью подхода по сравнению с уровнем нестесненного потока определяют по формуле

$$\delta z_н = h_{бн}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2L_{разл}}{L_{разл} - l_м}\left(\frac{h_б}{h_{бн}}\right)^2\left(\frac{L_{разл}h_б}{l_м h_{бм}} - 1\right)\frac{v_б^2}{gh_б}}\right], \qquad (47)$$

где $h_{бн}$ — средняя глубина воды в части живого сечения нестесненного потока, перекрываемой насыпью подхода, *м*; $l_м$ — отверстие моста, *м*; $h_б$ — средняя глубина всего живого сечения нестесненного потока, *м*; $h_{бм}$ — средняя глубина воды в бытовых условиях на части живого сечения, перекрываемой мостом, *м*.

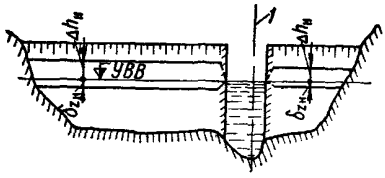


Рис. 10. Подпор и понижение водной поверхности в случае неравного двустороннего стеснения потока подходными насыпями:
1 — граница раздела потока на части

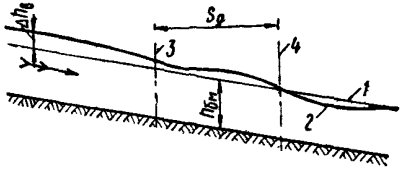


Рис. 11. Продольные профили водной поверхности:
1 — бытовой; *2* — при устройстве двух параллельных мостовых переходов; *3* и *4* — оси переходов

Перепад уровней водной поверхности с верховой и низовой сторон подходной насыпи (в *м*) находят как

$$\Delta z = \Delta h_н + \delta z_н. \qquad (48)$$

Поверхность воды вдоль подходной насыпи при устройстве у моста струенаправляющей дамбы приближенно принимается горизонтальной; с верховой стороны насыпи отметка свободной поверхности выше бытовой на величину максимального подпора $\Delta h_н$; с низовой стороны — ниже на величину $\delta z_н$.

Если струенаправляющей дамбы у моста не устраивают, для приближенного определения отметок поверхности воды вдоль верховой стороны насыпи принимают, что на 3/4 длины подходной насыпи (считая от границы разлива) спад подпертой водной поверхности равен величине $\frac{v_б^2}{g}$, а на 1/4 длины насыпи, примыкающей к устою, спад равен $\Delta h_н - \frac{v_б^2}{g}$.

5. На переходах через реки с двумя резко неравными поймами и разной длиной подходов к мосту (рис. 10) поток делят на левую и правую части и по формулам (46) и (47) находят подпор и понижение водной поверхности для каждой из них.

Границу раздела потока на части устанавливают из условия равенства предмостового подпора обеих частей [56].

При определении расстояния от моста до сечения, за которым подпор начинает уменьшаться, в случае неравных пойм в формулы (45) и (43) подставляют величины для более широкой части потока.

6. При двух параллельных переходах подпор перед верховым переходом получается больше, чем у одиночного перехода на величину

$$\delta h = S_д i_б \left[\left(\frac{Q}{Q_м}\right)^2 - 1\right] C_м, \qquad (49)$$

где $S_д$ — расстояние вдоль по течению между осями переходов, *м* (рис. 11); $C_м$ — коэффициент, определяемый по формуле

$$C_м = \frac{70h_{бм}}{S_д} \cdot \frac{\eta - \frac{S_д}{h_{бм}}}{\eta - 70}, \qquad (50)$$

где η зависит от $Q : Q_м$:

$\frac{Q}{Q_м}$	1 25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
η	250	400	700	1000	1300	1900

Понижение водной поверхности за подходной насыпью мостового перехода, расположенного ниже по течению, определяют по формуле (47) как для одиночного перехода. Уровень с низовой стороны подходной насыпи для перехода, расположенного выше по течению, принимают равным уровню нестесненного потока.

7. Косое пересечение пойменного потока подходной насыпью, направленной вверх по течению (рис. 12), влияет на подпор, если косина значительна. При расчете подпора косину учитывают, когда расстояние $S_{ов}$ вверх от моста до выхода насыпи за пределы разлива превышает x_0 по формуле (44). В этом случае коэффициент в формуле (41)

$$\kappa = 1 + \frac{gS_{ов}i_б}{v^2_{бм}}. \qquad (51)$$

Если $S_{ов} > x_0$, считают, что сечение предмостового подпора совпадает с сечением, проходящим через точку выхода подходной насыпи за пределы разлива реки, и максимальный подпор у насыпи принимают равным предмостовому подпору.

Косое пересечение потока подходной насыпью, направленной вниз, на предмостовой подпор не влияет. Максимальный же подпор у подходной насыпи в этом случае определяют по формуле

$$\Delta h_н = \Delta h_в + (x_0 + S_{он}) \times i_б + \frac{v_б^2}{g}, \qquad (52)$$

где $S_{он}$ — расстояние вниз по течению от створа моста до выхода насыпи за пределы разлива реки (см. рис. 12).

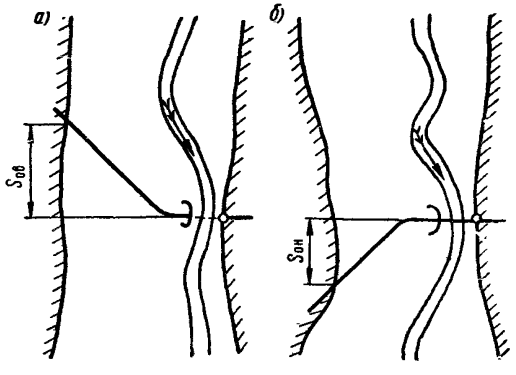


Рис. 12. Планы косого пересечения потока подходными насыпями:
а — с отклонением насыпи вверх по течению; *б* — то же, вниз по течению

8. Подпор и понижение водной поверхности по предлагаемым формулам можно рассчитать для каждой ступени расчетного паводка (см. § 51 и 56).

Для определения возвышения отметки верха укрепления откосов насыпей рассчитывают максимальный подпор и понижение водной поверхности при пике расчетного паводка.

9. Размыв подмостового русла уменьшает величины подпора и понижения водной поверхности и должен учитываться при их расчете. Для этого в формулах данного параграфа принимают значения $Q_м$, $v_м$, $v_{бм}$ и $h_{бм}$, соответствующие размытому дну русла под мостом. Расход нестесненного потока, проходящий через размытую часть живого сечения, находят как

$$Q_м = \frac{Q}{1 + \sum\left(\frac{\kappa_н}{\kappa_м}\right)}, \tag{53}$$

где $\Sigma(\kappa_н/\kappa_м)$ — сумма отношений расходных характеристик; $\kappa_н$ — расходная характеристика неразмытой части живого сечения, перекрываемой подходной насыпью; $\kappa_м$ — то же, размытой части живого сечения в пределах отверстия моста.

Расходную характеристику части живого сечения приближенно определяют по формуле

$$\kappa = \omega h^{\frac{2}{3}} \frac{1}{n}, \tag{54}$$

где ω — площадь части живого сечения, $м^2$; h — там же, средняя глубина воды, $м$; n — там же, средний коэффициент шероховатости.

Среднюю скорость стесненного потока в размытом живом сечении под мостом находят по формуле

$$v_м = \frac{Q}{\omega_{б\,мр}}, \tag{55}$$

где $\omega_{бмр}$ — площадь размытого живого сечения под мостом, $м^2$.

Среднюю скорость нестесненного потока в размытой части живого сечения в пределах отверстия моста находят как

$$v_{б\,мр} = \frac{Q_м}{\omega_{б\,мр}}. \tag{56}$$

Глава IX

НАЗНАЧЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ МОСТОВ В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ

§ 56. НАЗНАЧЕНИЕ И РАСЧЕТ ГРУППОВЫХ ОТВЕРСТИЙ. ОТВЕРСТИЯ С ШАНДОРНЫМИ ЗАТВОРАМИ

1. На мостовых переходах через равнинные реки с поймами, пропускающими во время паводков значительную часть расхода, в некоторых случаях целесообразно устройство группы водопропускных отверстий, состоящей из отверстия через коренное русло и отверстий на пойме (рис. 1), особенно если на пойме имеются посто-

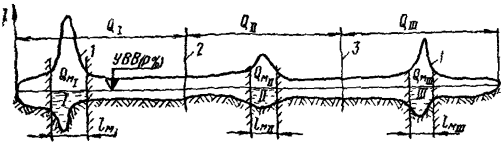


Рис. 1. Схема размещения групповых отверстий на поперечном сечении реки:

I — эпюра расходов на вертикалях; *2* — граница потоков, направленных в отверстия *I* и *II*; *3* — то же, в отверстия *II* и *III*

янно действующие протоки. Окончательное решение принимают в результате сравнения вариантов. При сравнении наряду с другими показателями учитывают:

а) сохранение рукавов и проток для нужд водоснабжения, судоходства и рыбного промысла; б) улучшение условий движения судов у моста через коренное русло; в) снижение подпора; г) уменьшение заболачивания пойм.

2. Размещение и число групповых отверстий (см. рис. 1) зависят от распределения расхода по ширине реки и от сложившегося в бытовых условиях деления потока на части. Кроме моста через коренное русло, мосты могут быть назначены на рукавах, протоках и в пониженных местах поймы при большом удельном расходе воды. Следует стремиться к равномерному размещению водопропускных отверстий по ширине потока, избегая близкого расположения их друг к другу, так как деление потока между близкорасположенными мостами может быть неустойчивым. Оптимальные размеры отверстий мостов и их размещение окончательно устанавливают сравнением вариантов.

3. Распределение расхода воды и сложившееся в бытовых условиях деление потока на части устанавливают по эпюрам элементарных расходов в трех створах: в створе перехода, выше и ниже его. Последние назначают от перехода на расстоянии около половины ширины разлива.

Если живые сечения потока в районе перехода однообразные, можно ограничиться одним створом.

На ситуационный план перехода накладывают эпюры расходов на вертикалях. По ним с учетом ситуационных особенностей участка реки устанавливают плановые границы ярко выраженных частей потока (рис. 2).

На реках с блуждающими руслами, где деформации русла развиваются быстро и имеют беспорядочный характер, более одного отверстия на общем разливе реки, как правило, не назначают.

4. Групповые отверстия рассчитывают по гидрографу расчетного паводка, так как деформации подмостовых русел и водопропускная способность отверстий, находящихся на общем разливе, связаны и развиваются совместно.

В результате расчета должны быть получены: а) графики изменения расхода воды во времени в каждом отверстии; б) ход деформации дна в подмостовых сечениях во времени; в) изменение максимального подпора у подходных насыпей во время паводка.

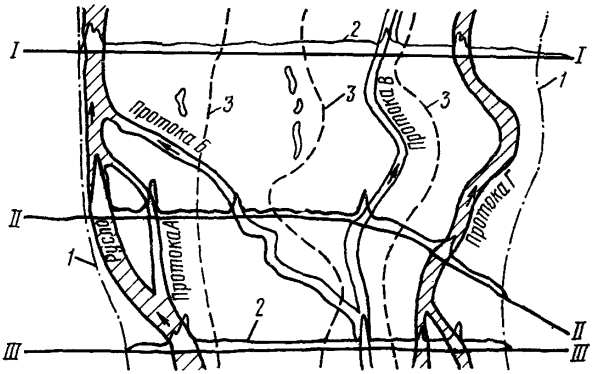


Рис. 2. Схематический план перехода:

1 — граница разлива; *2* — эпюры расходов на вертикалях; *3* — плановые границы частей потока; *I—III* — створы. Штриховкой показаны русло и постоянно действующая протока

Когда пойменный мост проектируется на пойме, где нет влечения донных наносов, и трудноразмываемые грунты залегают на большой глубине, рекомендуется рассчитать групповые отверстия на пропуск реально наблюденной последовательности нескольких паводков и один расчетный паводок, чтобы определить возможную предельную глубину размыва в пойменном отверстии.

5. Расчет групповых отверстий следует начинать с разбивки гидрографа расчетного паводка и соответствующего ему графика уровней на отдельные ступени, как при расчете общего размыва под мостами (см. § 51). Для каждой ступени порядок расчета следующий:

1) определяют расходы воды нестесненного потока в частях живого сечения (русле, протоках, поймах) для двух состояний дна реки:

в бытовых условиях;

с учетом общего размыва дна, происшедшего в отверстиях мостов за время, предшествующее расчетному интервалу.

Если при изысканиях выполняют гидрометрические работы во время паводка, распределение воды между частями живого сечения в бытовых условиях определяют по снятым в натуре эпюрам элементарных расходов; при морфометрических изысканиях — расчетом по характеристикам частей створа. Для размытого дна распределение расходов также находят расчетом по морфологическим характеристикам створа;

2) рассчитывают расходы, пропускаемые каждым отверстием из условия равенства максимального подпора для всех отверстий. При этом общий расход водотока должен быть равен сумме расходов в отверстиях.

Максимальные подпоры определяют по формуле (46, гл. VIII), учитывая при этом деформацию дна за время, предшествующее расчетному интервалу (см. § 55);

3) определяют деформации дна (размыв, намыв) в отверстиях мостов по уравнению баланса донных наносов.

Подробный пример расчета групповых отверстий по гидрографу паводка приведен в книге [56].

6. При сравнении вариантов допускается приближенный расчет групповых отверстий по максимальному расходу воды на пике расчетного паводка [55]. В этом случае общий размыв в отверстиях мостов при влечении наносов определяют по скоростям динамического равновесия русел, а при отсутствии влечения наносов — по размывающим скоростям (см. § 50).

7. При пересечении малых водотоков (мелиоративных каналов, ручьев) пойменной насыпью мостового перехода, отвод которых в русло реки или ее рукав невозможен, допускается предусматривать на пересечениях малых водотоков малые мосты и трубы с шандорными затворами. Во время паводка на основной реке шандорные затворы закрывают.

Шандорные отверстия рассчитывают на пропуск только собственных расходов указанных водотоков в периоды между паводками на основной реке.

Не допускается устройство шандорных мостов через крупные притоки, имеющие общий разлив с основной рекой, и постоянно действующие рукава реки, в которых движутся наносы.

§ 57. ОТВЕРСТИЯ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ПОДПОРЕ

1. Мостовые переходы, расположенные в зоне переменного подпора от паводка другой реки или от ветрового нагона, рассчитывают на пропуск собственных паводочных расходов воды согласно указаниям § 50 и 51 и проверяют на пропуск расходов, возникающих в отверстии моста вследствие подпора со стороны его источника.

Размеры отверстия моста и высоту земляного полотна на подходах принимают для наиболее напряженных условий работы перехода при наибольших скоростях течения и наибольшем уровне воды.

В условиях подпора на мостовом переходе возможны три расчетных случая, рассмотренные ниже в пп. 2, 3 и 4.

2. На пересекаемом водотоке паводка нет; меженный расход пренебрежимо мал; наполнение зоны аккумуляции происходит без значительного перепада (приращения уровня воды по времени $\frac{\Delta H_y}{\Delta t}$ с обеих сторон от перехода практически равны), необходимо определить расчетные уровень и расход, при котором водопропускное отверстие будет работать наиболее напряженно.

Расчет производят трафо-аналитически. Для этого составляют:

а) план акватории подпора в горизонталях (рис. 3, *а*);

б) график колебания уровня воды на источнике подпора $H_у = f(t)$ для фаз подъема и спада (рис. 3, *б*);

в) графики интенсивности подъема и спада уровня $\frac{\Delta H_у}{\Delta t} = f(H_у)$ на источнике подпора (рис. 3, *в*);

г) график изменения площади водного зеркала $\Omega_{ак}$ в зоне аккумуляции перед мостом в зависимости от уровня воды $\Omega_{ак} = f(H_у)$ (рис. 3, *г*);

д) графики расхода при наполнении и опорожнении зоны аккумуляции в створе мостового перехода в зависимости от уровня воды $Q_с = \Omega_{ак} \frac{\Delta H_у}{\Delta t} = f(H_у)$ (рис. 3, *д*);

е) графики средней скорости под мостом в зависимости от уровня воды $v = \frac{\frac{\Omega_{ак} \Delta H}{\Delta t}}{\omega} = f(H_у)$ для различных вариантов отверстий моста, где ω — рабочая площадь под мостом (рис. 3, *е*).

Все расчеты ведут для фаз подъема и спада воды. К расчету принимают критические значения $v_{кр}$ и $H_{кр}$, при которых отверстие моста будет работать наиболее напряженно. Пример расчета подпора от реки приведен на рис. 3.

Если меженным расходом $Q_{меж}$ пренебрегать нельзя, его вводят в расчет путем сдвижки графика рис. 3, *д* на величину $Q_{меж}$ влево для фазы подъема и вправо для фазы спада.

В условиях прохода воды под мостом на фазе подъема и на фазе спада уровня источника подпора, когда движения влекомых наносов на подпираемой реке нет, размыв под мостом рассчитывают по указаниям § 50 и 51.

3. Паводок на пересекаемой реке проходит по предварительно наполненной зоне аккумуляции при постоянном зеркале подпора, который принимают за подпертый критический уровень $H_{кр.п}$ в момент прохода паводка на подпираемой реке, причем уровень подпора превышает расчетный уровень бытового паводка $H_р$ в месте перехода.

В этом случае максимальная ордината гидрографа паводка увеличивается за счет предварительно аккумулированного объема воды при подпоре. Увеличенный расчетный расход $Q_р'$, *м*³/*сек*, можно определить по формуле

$$Q_р' = Q_р \frac{W_с}{W_с - W_{ак}}, \qquad (1)$$

где $Q_р$ — расчетный расход в бытовых условиях, *м*³/*сек*; $W_с$ — полный объем стока подпираемой реки за паводочный период, *м*³; $W_{ак}$ — предварительно аккумулированный объем воды, *м*³ (рис. 4).

Когда уровень подпора ниже расчетного уровня бытового паводка в створе перехода, увеличения расхода не произойдет.

Для расчета размыва под мостом необходимо знать среднюю бытовую скорость в русле при подпертом критическом уровне $H_{кр.п}$, превышающем расчетный бытовой уровень $H_{р\%}$ (см. рис. 4).

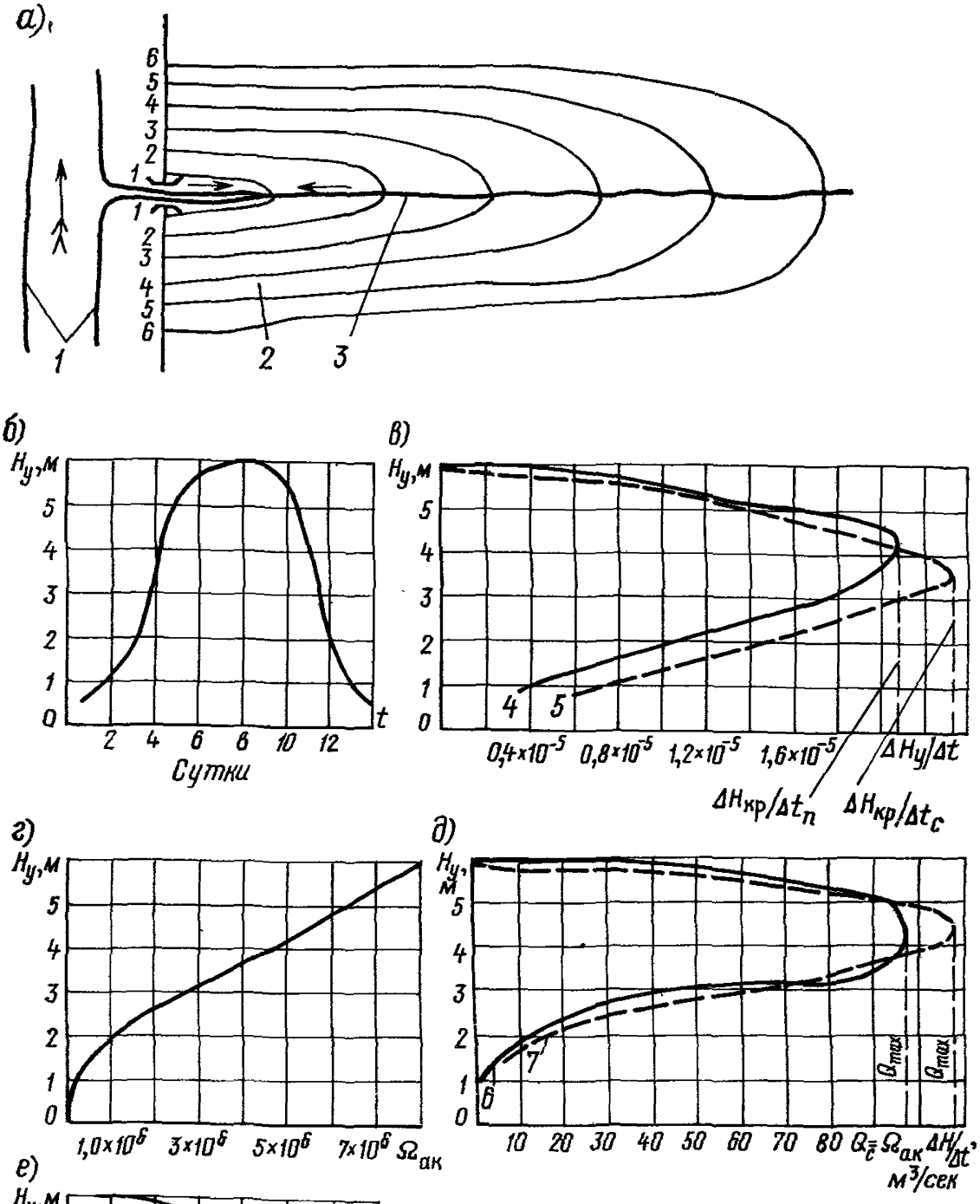


Рис. 3. Пример графо-аналитического расчета критического уровня воды при наполнении и опорожнении зоны аккумуляции:

1 — подпирающая река; *2* — зона аккумуляции; *3* — водоток, пересекаемый трассой; *4* — кривая интенсивности подъема уровня воды; *5* — то же, для фазы спада; *6* — кривая расхода воды при наполнении зоны аккумуляции; *7* — то же, при опорожнении ее; *8* — кривая средней скорости на фазе подъема уровня; *9* — то же, на фазе спада

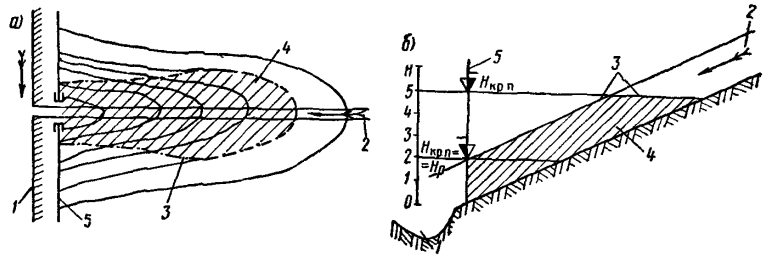


Рис. 4. Схема прохода паводка подпираемой реки при предварительно заполненной зоне аккумуляции:
а — план в горизонталях зоны аккумуляции; *б* — продольный профиль подпираемой реки;
1 — источник подпора; *2* — подпираемая река; *3* — граница зоны предварительной аккумуляции; *4* — предварительно аккумулированный объем воды $W_{ак}$; *5* — створ мостового перехода

Среднюю бытовую скорость в русле определяют по формуле

$$v_{бр}=\frac{Q'_р}{\omega_Σ}\left(\frac{H_{кр}}{H_Σ}\right)^{\frac{2}{3}}\frac{n_Σ}{n_р}, \qquad (2)$$

где $v_{бр}$ — средняя бытовая скорость течения в русле при критическом подпертом уровне $H_{кр.п}$, *м/сек*; $Q_р'$ — расчетный расход, определяемый по формуле (1), *м³/сек*; $\omega_Σ$ — площадь живого сечения по створу перехода, включая русло и поймы при критическом подпертом уровне, *м²*; $H_{кр}$ — средняя глубина в главном русле при уровне $H_{кр.п}$, *м*; $H_Σ$ — средняя глубина по створу перехода, включая русло и поймы при уровне $H_{кр.п}$, *м*; $n_Σ$ и $n_р$ — коэффициенты шероховатости соответственно для всего живого сечения и для русла по оси перехода при уровне $H_{кр.п}$ (см. приложения 1 и 2).

Полученную величину $v_{бр}$ сравнивают с неразмывающей скоростью v_0 и в зависимости от условия $v_{бр} \leqslant v_0$ расчет общего размыва производят по соответствующим пунктам § 50 и 51.

4. Паводок на пересекаемой реке проходит по предварительно наполненной зоне аккумуляции в период спада подпора. В этом случае наибольший паводочный расход, увеличенный за счет влияния подпора (1), суммируется с расходами от спада подпертой воды

$$Q_с=Ω_{ак}\frac{\Delta H_у}{\Delta t_с}.$$

Определяют расчетный уровень воды $H'_{кр.п.}$ и соответствующий ему расход $Q_{кр}'$, при которых водопропускное отверстие будет работать наиболее напряженно.

Расчет производят графо-аналитически. Для этого составляют:

а) план акватории подпора в горизонталях (см. рис. 3, *а*);

б) график колебаний уровня воды $H_у=f(H)$ на источнике подпора (см. рис. 3, *б*);

в) график интенсивности спада паводка на источнике подпора $\frac{\Delta H_у}{\Delta t_с} = f(H_у)$ в зависимости от уровня воды (см. рис. 3, *в*);

г) график изменения площади водного зеркала $\Omega_{ак}$, *м*^{2}, зоны аккумуляции перед мостом в зависимости от уровня воды $\Omega_{ак} = f(H_у)$ (см. рис. 3, *г*);

д) график расхода воды (в *м*^{3}/*сек*) при опорожнении зоны аккумуляции $Q_с = \Omega_{ак} \frac{\Delta H_у}{\Delta t_с} = f(H_у)$ для створа мостового перехода в зависимости от уровня воды (см. рис. 3, *д*);

е) график суммарного расхода воды — паводочного на подпираемой реке $Q_р'$, вычисляемого по формуле (1), и от слива подпертой воды $Q_с$, определяемого по графику на рис. 3, *д*, получают путем смещения указанного графика вправо на величину $Q_р'$;

ж) график средней скорости под мостом до размыва для различных вариантов отверстия моста $v = \frac{Q_р' + Q_с}{\omega_{раб}} = f(H_у)$, *м*/*сек*, где $\omega_{раб}$ — рабочая площадь под мостом до размыва (см. рис. 3, *е*).

Уровень $H_{кр}$, соответствующий наибольшей средней скорости $v_{кр}$ для каждого варианта отверстия моста, является расчетным.

Общий размыв под мостом рассчитывают аналогично изложенному в п. 3, при этом для определения средней бытовой скорости в главном русле $v_{бр}$ в формулу (2) подставляют значения $Q_р'$, $H_{кр}$, H_2 и ω_2, соответствующие критическому уровню $H_{кр.п}$.

5. Когда наполнение и опорожнение зоны аккумуляции происходит с образованием значительного перепада уровней у моста на подпираемой реке (большая площадь зоны аккумуляции и большая интенсивность подъема и спада уровня воды в источнике подпора), для определения расчетного уровня, соответствующего наибольшему перепаду, строят:

а) график ежедневных уровней воды подпирающей реки на фазе подъема $H_у = f(t_п)$;

б) график расхода под мостом $Q = f(H_у)$ при данном отверстии $L_{св}$, для которого $Q = 4{,}15 L_{св} H_{ак} (H_у - H_{ак})^{\frac{1}{2}}$, *м*^{3}/*сек*, где $H_у$ — уровень воды, подпирающей реки, *м*; $H_{ак}$ — уровень воды в зоне аккумуляции, *м*;

в) график изменения площади водного зеркала $\Omega_{ак}$, *м*^{2}, в зоне аккумуляции перед мостом в зависимости от уровня воды $\Omega_{ак} = f(H_у)$;

г) график объема аккумулированной воды W в зависимости от уровня воды в зоне аккумуляции $W = f(H_{ак})$, *м*^{3};

д) график разности уровней подпора и уровня в зоне аккумуляции в зависимости от уровня подпора $H_у - H_{ак} = f(H_у)$.

По последнему графику определяют $H_{кр}$ — уровень, соответствующий наибольшему значению разности $(H_у - H_{ак})$. Для этого уровня и соответствующих ему расходу Q_{max} рассчитывают размыв по § 50 и 51, учитывая, что влекомых наносов в русле нет.

Ординаты указанных графиков вычисляют, задаваясь интервалами подъема или спада уровня воды от источника подпора.

6. Если собственный паводок на подпираемой реке проходит под мостом по мощному ледяному покрову подпертой воды от реки или водохранилища, отверстие моста проверяют на пропуск расчетного расхода, принимая поверхность льда за неразмываемое дно.

Определяют расчетный уровень воды и скорость течения под мостом.

Так как паводочный расход ниже моста растекается по ледяному покрову подпирающей реки или водохранилища, то отверстие моста будет работать как незатопленный водослив.

Определяют критическую глубину $H_{кр}$ под мостом по формуле

$$H_{кр} \approx 0{,}48 \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{L_{св}}\right)^2}, \qquad (3)$$

где Q — расчетный расход воды, $м^3/сек$; $L_{св}$ — отверстие моста в свету с учетом сжатия, $м$.

Глубина подпертой воды перед мостом равна $1{,}6H_{кр}$, а скорость под мостом $v = \frac{Q}{L_{св} H_{кр}}$.

7. При переходах в устьевых участках рек, впадающих в нижние бьефы 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.

§ 58. ОТВЕРСТИЯ ПРИ ПРИЛИВНО-ОТЛИВНЫХ ЯВЛЕНИЯХ

1. Ориентировочно отверстие моста определяют для наиневыгоднейших условий (период отлива) по формуле

$$L = B_р + \Delta B \sum \frac{Q_п}{v_п H_п}, \qquad (4)$$

где $B_р$ — ширина русла реки в створе перехода при расчетном уровне, $м$; ΔB — коэффициент максимально возможного уменьшения отверстия моста в пойменной части — зависит от отношения $\frac{\sum Q_п}{Q_{отл}}$:

$\sum \frac{Q_п}{Q_{отл}} 100$ . .	90	80	70	60	50	40	30	20	10
ΔB	0,92	0,90	0,89	0,86	0,84	0,80	0,74	0,6	0,3

$Q_п$ — расход воды на пойме (левой или правой) в период отлива, *м³/сек*; $v_п$ — средняя скорость течения воды по пойме в период отлива, *м/сек*; $H_п$ — средняя глубина воды на пойме при расчетном уровне, *м*.

2. Если в приливо-отливной зоне русло обваловано, то отверстие моста определяют по формуле

$$L = \frac{Q_{отл}}{(1-\lambda)\, v_0 H_{бр}}, \qquad (5)$$

где $\lambda = \frac{b}{l}$; b — ширина опоры; l — пролет в свету; v_0 — неразмывающая скорость (см. § 35); $H_{бр}$ — бытовая средняя глубина обвалованного русла; $Q_{отл}$ — максимальный расход на фазе отлива (см. п. 8 § 41).

Полученное отверстие моста должно быть сопряжено с существующим обвалованием.

3. В устьях рек, подверженных приливам, происходят интенсивные русловые деформации, зависящие, помимо обычных, от ряда дополнительных факторов, которые необходимо учитывать.

Максимальную глубину воды после размыва у русловых опор определяют по формуле

$$h_{max,пр} = h_{max,рб} + \Delta h_{рб} + \Delta h_0 + \Delta h_м + \Delta h_{вз} + \Delta h_с, \qquad (6)$$

где $h_{max,рб}$ — максимальная глубина воды в створе перехода на период производства полевых работ; $\Delta h_{рб}$ — возможное увеличение максимальной глубины за счет руслового процесса (см. гл. VII); Δh_0 — глубина общего размыва (см. § 50 и 51); $\Delta h_м$ — глубина местного размыва у опоры (см. § 52); $\Delta h_{вз}$ — слой взмученных наносов, образовавшийся в результате воздействия прилива и отлива; $\Delta h_с$ — углубление русла в течение длительного времени при переформировании дельт и воздействия приливов.

Величины $\Delta h_{вз}$ и $\Delta h_с$ определяют на основании специальных исследований.

§ 59. РАСЧЕТЫ В УСЛОВИЯХ ЗАРЕГУЛИРОВАННОГО СТОКА В КАНАЛАХ

1. Проектирование мостовых переходов через каналы, а также через реки ниже шлюзов и плотин вызывает необходимость выполнения расчетов зарегулированного стока.

Гидравлические расчеты открытых русел сводятся к решению уравнения равномерного движения относительно одной из входящих в него величин при заданных значениях остальных величин:

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}, \qquad (7)$$

где Q — расчетный расход воды в канале, *м³/сек*; ω — площадь поперечного сечения канала, *м²*; i — продольный уклон водной поверхности; C — коэффициент Шези, определенный по табл. 8 гл. II; $R = \frac{\omega}{\chi}$ — гидравлический радиус, *м*; χ — смоченный периметр расчетного створа канала, *м*.

2. При расчетах переходов через каналы необходимо знать скорость течения при расчетном расходе.

Если глубина воды известна, то вычисляют площадь поперечного сечения ω, в $м^2$, а затем и скорость (в $м/сек$)

$$v=\frac{Q}{\omega}.$$

Если глубина неизвестна, ее находят в следующем порядке:

а) вычисляют расходную характеристику (в $м^3/сек$) при равномерном движении

$$K_0=\frac{Q}{\sqrt{i}},$$

б) принимают некоторое значение глубины воды (в $м$) и вычисляют соответствующие ей значения ω, χ, R;

в) вычисляют расходную характеристику при глубине H

$$K=C\omega\sqrt{R},$$

г) эти попытки повторяют, пока найдут глубину H_0, при которой

$$K=K_0;$$

д) находят искомую скорость $v=\frac{Q}{\omega_0}$, где ω_0 — площадь сечения потока при глубине H_0.

3. Превышение расчетных скоростей в канале может вызвать деформации и разрушения откосов, а значительное снижение этих скоростей — заиление за счет оседания наносов.

Значения допускаемых скоростей зависят от характера грунтов канала, а для каналов с одеждой — от типа укреплений откосов и дна и могут быть определены по нормативным документам [65, 79].

Отвертие моста через канал должно быть не менее его ширины по урезам воды.

Увеличение бытовой скорости под мостом за счет стеснения живого сечения промежуточными опорами согласовывается с организацией, эксплуатирующей канал.

4. Ниже приведены рекомендации по назначению отверстий мостов через наиболее крупные каналы.

Деривационные каналы предназначаются для подвода воды к гидроэлектростанциям от водозаборов на реках, водохранилищах, озерах и т. п. Гидравлические параметры канала можно получить в организации, эксплуатирующей ГЭС.

Для определения отметки низа конструкции моста строят кривую расходов $Q=f(H)$, по которой определяют уровень при расчетном расходе. К полученному уровню добавляют высоты ветрового нагона, $^3/_4$ высоты ветровой волны и высоту волны потока при быстром эксплуатационном или аварийном сбросе максимальной на-

грузки ГЭС. Полученные в результате учета перечисленных явлений уровень и расход воды принимают за расчетные.

Если канал проложен в насыпи, то минимальное отверстие моста определяется шириной канала по бровкам водоподпорных валов. При устройстве промежуточных опор длину моста увеличивают на их суммарную ширину.

5. При пересечении соединительных судоходных каналов за расчетный принимают максимальный расход насосной станции перекачки, подающей воду в канал.

6. При пересечении обходных судоходных каналов, скорость течения воды в которых мала и имеет переменное направление, определяют только расчетный уровень. Колебания уровня в канале могут быть синхронны колебаниям уровня озера или водоема, часть которого обходит канал. Если на водоеме имеются посты с наблюдениями за длительный период, то за расчетный принимают уровень требуемой для моста вероятности превышения.

При отсутствии или недостаточности наблюдений за расчетный принимают максимальный уровень, установленный по следам на местности или опросом местных жителей. Расчетный уровень назначают с учетом высот ветрового нагона и ветровой волны.

7. Если обходной судоходный канал устроен на реке в обход порогов и мест, не пригодных для судоходства, то за расчетный принимают расход в месте его ответвления при уровне с заданной для мостового перехода вероятностью превышения. В месте пересечения канала уровень вычисляют по расчетным формулам при установленном расчетном расходе и учитывают ветровой нагон и высоту ветровой волны.

8. Мелиоративные каналы, как правило, перекрывают одним пролетом без нарушения режима потока в них. Промежуточные опоры устраивают лишь при согласовании с эксплуатирующими организациями.

Расчетный расход оросительных каналов зависит от расхода в головном водозаборном или распределительном сооружении и величины забора воды на орошение по длине канала. Данные для вычисления расхода или его величину устанавливают по проектным материалам.

Гидравлические параметры канала проверяют по приведенным выше формулам. Ветровой нагон и волну учитывают только на магистральных мелиоративных каналах.

9. Гидравлический расчет обводнительных и водопроводных каналов производят по максимальному расходу в головном водозаборном сооружении или у насосной станции, установленному по проекту канала. Нагон и высоту ветровой волны не учитывают.

10. Лесосплавные каналы рассчитывают при расходе, заданном в проекте канала. Если вычисленный уровень может быть превышен за счет образования в канале заломов сплавляемого леса, то за расчетный для мостового перехода принимают уровень, возможный при заломе.

§ 60. РАСЧЕТЫ ОТВЕРСТИЙ И РЕГУЛЯЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ НА ГОРНЫХ РЕКАХ, КОНУСАХ ВЫНОСА И СЕЛЕВЫХ ПОТОКАХ

1. При пересечении реки в горном ущелье и бурном характере течения проектируемый мост по возможности должен перекрывать русло одним пролетом; опоры располагают за пределами горизонта высоких вод, желательно на коренных породах.

В этом случае гидрологические расчеты ограничиваются определением бытового уровня расчетной вероятности превышения методами, изложенными в гл. II и V.

Если фундаменты опор моста, защитных и подпорных стенок располагаются не на коренных породах, 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 [12].

Общий размыв под мостом определяют согласно указаниям § 50 и 51, а местный — § 52 и 53.

При косом пересечении водотока и значительном уклоне поверхности воды отметки уровней по концам 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 используют формулу

$$l_{м}=(1{,}5 \div 2{,}5)\,B_{уст}, \tag{8}$$

где $B_{уст}$ — ширина устойчивого русла [5], подсчитанная по формуле

$$B_{уст}=A\frac{Q_{рус}^{0,5}}{i^{0,2}}, \tag{9}$$

$Q_{рус}$ — руслоформирующий расход вероятностью превышения 5%; i — продольный уклон.

Коэффициент A принимают по табл. 1.

В формуле (8) нижний предел принимают для больших рек с малыми уклонами, верхний — для бурных горных рек и блуждающих рек в неустойчивых берегах.

При проектировании переходов через блуждающие реки расчеты отверстий рекомендуется производить в соответствии с § 51.

Определение рационального отверстия моста производится на основании сопоставления вариантов с различными отверстиями мостов и соответствующими им схемами регуляционных сооружений.

3. При пересечении рек с блуждающим руслом регуляционные сооружения устраивают обычно в виде массивных струенаправляю-

Таблица 1

Характеристика участка реки	Неразмываемые берега	Размываемые берега
	A	
Горный (русло сложено из обломков скал, булыжника и крупной гальки)	0,7	0,9
Предгорный (русло сложено из гальки, гравия и песка)	0,9	1,0
Равнинный (русло сложено из мелкого гравия и разнозернистого песка)	1,0	1,1
Нижнее течение (русло сложено из мелких наносов):		
а) берега из суглинка	1,1	1,3
б) берега из песка и супеси	1,3	1,7

щих дамб, перекрывающих зону блуждания до коренных берегов (рис. 5).

Такое решение из-за значительной стоимости применяют при небольшой ширине зоны блуждания. 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 (рис. 5) вызывает крупные затраты, возможно устройство коротких дамб грушевидной формы с усилением подходной насыпи (рис. 6).

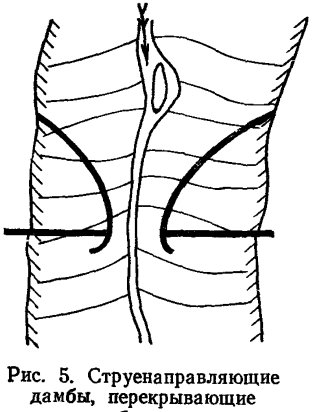


Рис. 5. Струенаправляющие дамбы, перекрывающие зону блуждания

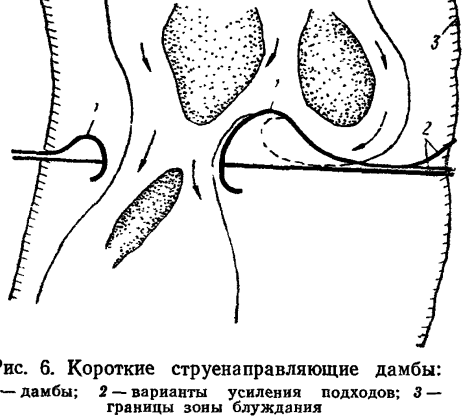


Рис. 6. Короткие струенаправляющие дамбы: *1* — дамбы; *2* — варианты усиления подходов; *3* — границы зоны блуждания

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 [84], направляющих русловые потоки в подмостовое русло (рис. 7). 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. 8. 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 приближенным способом.

На ширине $B_{уст}$ в пределах намечаемого отверстия моста, условно ограниченной вертикальными линиями, строят кривую $Q=f(H)$ и считают, что в этих пределах протекает расход $Q'=\xi Q_{P\%}$, где ξ — коэффициент растекания потока на конусе выноса

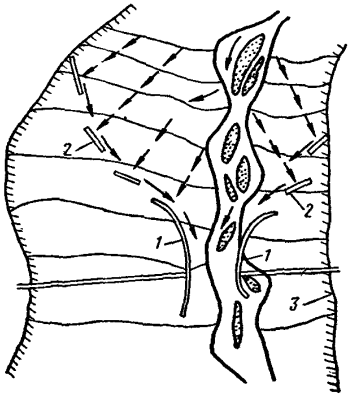


Рис. 7. Регулирование потока дамбами и шпорами:
1 — дамбы; *2* — шпоры; *3* — границы зоны блуждания

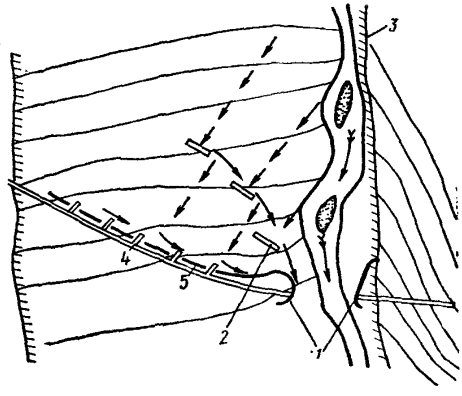


Рис. 8. Регулирование потока шпорами с усилением подходов:
1 — дамбы замкнутого контура; *2* — шпоры; *3* — границы зоны блуждания; *4* — траверсы; *5* — усиление подхода

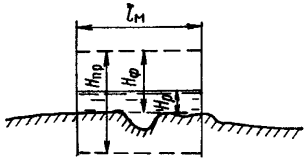


Рис. 9. Схема к определению бытовой глубины на конусах выноса ($l_м = B_{уст}$)

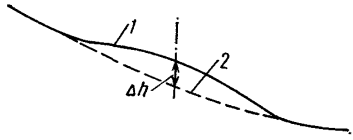


Рис. 10. Схема продольного профиля селевого лога на конусе выноса:
1 — продольный профиль конуса; *2* — возможное очертание профиля после бытового размыва

и принимаемый от 0,8 до 1,0 в зависимости от расстояния перехода до вершины конуса ($\xi = 1$ принимают для створа в вершине конуса, а также при регулировании потока по схеме рис. 11).

По кривой $Q = f(H_у)$ находят фиктивную среднюю глубину $H_ф$, соответствующую расходу $Q' = \xi Q_{P\%}$.

Среднюю глубину размытого русла $H_{пр}$ для намечаемого отверстия моста определяют по формуле (4 гл. VIII), заменяя величину $h_{др}$ на $H_ф$.

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 (рис. 9).

$$H_р \approx 1{,}5H_ф - 0{,}5H_{пр} \qquad (10)$$

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. 10, 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 отложены более крупные фракции, то разработка параболического профиля маловероятна.

На конусах 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 (рис. 11).

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.

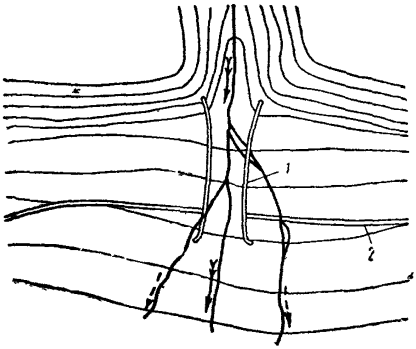


Рис. 11. Схема струенаправляющих дамб на переходе конуса выноса:
1 — дамбы; *2* — трасса перехода

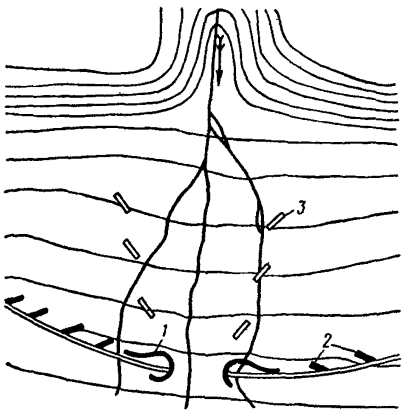


Рис. 12. Схема регулирования потока на конусе выноса:
1 — дамба; *2* — траверсы; *3* — шпоры

7. При значительном удалении перехода от горловины ущелья стоимость дамб может превысить стоимость моста; в этом случае компоновку перехода можно осуществить по рис. 12.

Мостовой переход трассируют по кривой с углом поворота большим, 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. 12, но в вершине конуса устраивают оградительные дамбы, уменьшающие зону растекания потока (см. рис. 11).

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 определяют для каждого водотока и суммарный для всех водотоков. Большие

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 должны назначаться 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/сек*) в подходном и выходном руслах, а также и под мостом при высоких и низких паводках должны удовлетворять условию

$$v > 3{,}83\, d^{\frac{1}{3}} H^{\frac{1}{6}}, \qquad (11)$$

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. Если ось перехода расположена в устье селевого водотока, вблизи от резкого перелома продольного профиля лога неизбежно выпадение наносов непосредственно в отверстии моста, и при эксплуатации необходима периодическая расчистка.

Отверстие моста в этом случае рассчитывают с учетом высоты отложений одного расчетного паводка.

Объем выносов определяют в соответствии с указаниями § 31. Высоту отложений определяют построением кривых $W_c = f(H)$ при схематизации формы тела отложений по рис. 13. Ширину отложений по верху можно принимать равной $B_{уст}$ по формуле (9). 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. Приближенные расчеты высоты завала выполняют по способу, изложенному выше.

11. Если установлено, что на селевом водотоке возможно формирование связных (структурных) селей и что они могут достичь створа мостового перехода, то размеры моста и необходимый подмостовой габарит следует принимать по данным о катастрофических селях на бассейнах, которые могут служить аналогами, с учетом следующих рекомендаций:

а) селевой поток должен быть перекрыт без стеснения;

б) мосты, как правило, должны быть однопролетными.

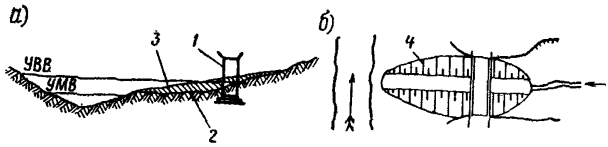


Рис. 13. Определение объема выноса:
а — продольный профиль лога в устье; *б* — план;
1 — мост; *2* — дно до выноса; *3* — то же, после выноса; *4* — тело выноса

12. Высоту отложений селевых потоков в подмостовом отверстии за 50 лет определяют [2] приближенно:

$$h_{тм}=h_т\frac{B}{l_м}\left(1-\frac{B_{уст}}{l_м}\cdot\frac{A_{50}}{Б_{50}}\right), \qquad (12)$$

где $l_м$ — отверстие моста в свету; $B_{уст}$ — ширина устойчивого русла (см. формулу 9); $Б_{50}$ — коэффициент, зависящий от коэффициента вариации максимальных расходов, определяется по табл. 2; A_{50} — отношение суммы модульных коэффициентов твердого стока всех паводков за 50 лет к объему твердого стока паводка вероятностью превышения $p=2\%$, определяется по табл. 2; B — ширина зоны блуждания; $h_т$ — средняя высота отложений за 50 лет определяется по формуле

$$h_т=A_{50}\frac{W_к K_{пр}}{Bl}, \qquad (13)$$

где l — длина участка отложений, *м*; $W_к$ — объем отложений на участке l, определенный по формуле (14); $K_{пр}$ — приведенный коэффициент, определяемый в табличной форме по рис. 14.

Таблица 2

C_v	C_s	A_{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 любом участке продольного профиля реки определяют:

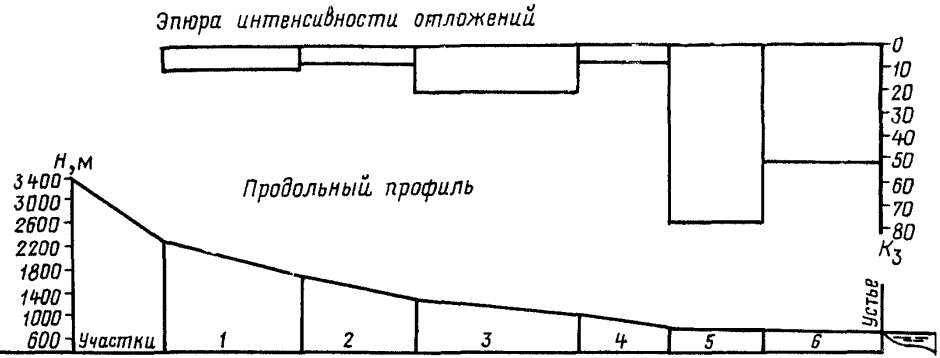
$$W_к=W_т-W_р, \qquad (14)$$

где $W_т$ — объем твердого стока за один расчетный паводок, определенный по формуле (34 гл. V);

$W_р$ — часть объема твердого стока расчетного паводка, которая не отлагается на данном створе, определяется по формуле

$$W_р=\frac{50W_0}{A_{50}}\cdot\frac{f}{\sum f}, \qquad (15)$$

где W_0 — среднегодовой сток наносов в нижележащем створе; f — площадь селеобразующих очагов для рассматриваемого створа; Σf — площадь селеобразующих очагов для нижележащего створа.



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	2,85	1,38		
Интенсивность отложений $K_3 = K_1 + K_2$	—	9,5	8,9	21,5	1,5	77,1	51,6		
$K_4 = l : \Sigma l/n = l n/\Sigma l$	—	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 $K_{пр} = K_5 / \Sigma K_5$	—	0,067	0,052	0,177	0,035	0,364	0,305		
Объем отложений на участке $W_к \cdot K_{пр}$									

Рис. 14. Пример определения высоты отложений наносов

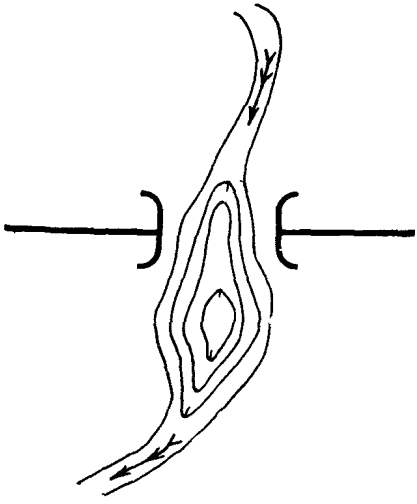


Рис. 15. План размытого русла под существующим мостом

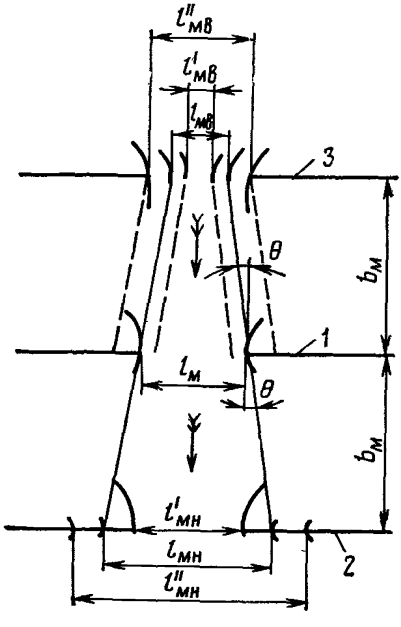


Рис. 16. Схема вариантов размещения отверстий проектируемых мостов относительно существующего моста:

1 — ось существующего мостового перехода; *2* — ось проектируемого мостового перехода с низовой стороны от существующего; 3 — то же, с верховой стороны

При отсутствии данных о стоке наносов и суммарной площади селеобразующих очагов принимают

$$W_р = KW_т, \qquad (16)$$

Коэффициент K равен 0,75 для конусов выноса, имеющих в своей нижней части выпуклую форму, если подошва конуса непосредственно подмывается паводковыми водами долинной реки; равен $\sim$0,5 для конусов выноса вогнутой формы; $\sim$ 0,3, если конус выноса заканчивается на террасе долинной реки и в пределах террасы отсутствует явно выраженное русло.

§ 61. ОТВЕРСТИЯ МОСТОВ, РАСПОЛАГАЕМЫХ ВБЛИЗИ СУЩЕСТВУЮЩИХ. ОТВЕРСТИЯ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ МОСТОВ

1. Если проектируемый мост располагают на минимальном расстоянии от существующего моста (10—30 *м*), то их рассматривают как совместно работающие на пропуск паводков; отверстие проектируемого моста принимают, как правило, равным существующему, а подпор перед верховым мостом увеличивают согласно рекомендациям § 55.

Отверстие назначают больше существующего, когда вследствие стеснения потока и размыва русло ниже створа перехода расширилось (рис. 15)

Предельное расстояние между мостами, на котором сказывается их гидравлическое взаимодействие, определяют согласно указаниям п. 6 § 55. Ес-

ли расстояние между проектируемым и существующим мостами больше $b_м > h_{бм}\eta$ (см. § 55), то работа обоих мостов гидравлически не связана; если это расстояние меньше, то при назначении отверстия проектируемого моста и расчете общего размыва согласно § 50

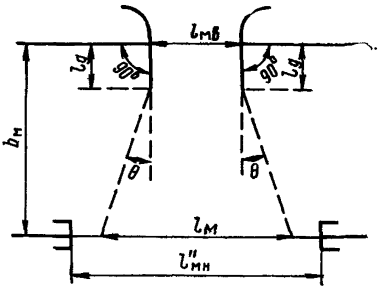


Рис. 17. Схема растекания потока ниже существующего моста при прямолинейных низовых дамбах

2. Отверстие проектируемого моста, не требующее струе- и 51 учитывают рекомендации, изложенные ниже.

направляющих дамб, сопрягающих оба перехода (рис. 16), определяют по формулам:

а) для перехода с верховой стороны от существующего

$$l_{мв} = l_м - 2b_м \operatorname{tg}\theta; \qquad (17)$$

б) для перехода с низовой стороны

$$l_{мн} = l_м + 2b_м \operatorname{tg}\theta, \qquad (18)$$

где $l_{мв}$ — отверстие проектируемого верхового моста, *м*; $l_{мн}$ — то же, низового, *м*; $l_м$ — отверстие существующего моста, *м*; θ — угол растекания потока, принимаемый $\sim 10°$; $b_м$ — расстояние между мостами, *м*.

Формулу (17) применяют, когда у проектируемого с верховой стороны моста низовые дамбы отсутствуют или имеют угол разворота, близкий к 10°.

Формулу (18) применяют, когда у существующего моста низовые дамбы отсутствуют или имеют угол разворота, близкий к 10°. Если существующий мост имеет прямолинейные низовые дамбы длиной $l_д$ (рис. 17), то вместо формулы (18) применяют формулу

$$l_{мн} = l_м + 2(b_м - l_д)\operatorname{tg}\theta. \qquad (19)$$

3. Если отверстия проектируемых мостов будут отличаться от вычисленных по формулам (17), (18) и (19), то могут встретиться случаи (см. рис. 16 и 17):

а) отверстие моста, проектируемого с верховой стороны, назначают меньшим, чем вычисленное по формуле (17); тогда по условию растекания сжатого потока отверстие существующего моста будет работать на ширине $l'_{мв} + 2b_м \operatorname{tg}\theta < l_м$, что учитывают при расчете общего размыва под существующим мостом;

б) отверстие проектируемого верхового моста $l_{мв}''$ назначено большим, чем вычисленное по формуле (17) или равным ему, тогда у проектируемого моста предусматривают низовые дамбы, сопрягающие конусы проектируемого моста с конусами или верховыми

дамбами существующего моста; для расчета размыва под обоими мостами принимают соответственно отверстия $l_{мв}''$ и $l_м$;

в) отверстие проектируемого низового моста $l_{мн}'$ назначено меньшим, чем вычисленное по формулам (18) или (19), тогда у проектируемого моста предусматривают верховые струенаправляющие дамбы, сопрягающие конусы или низовые дамбы существующего моста с проектируемым мостом;

г) отверстие проектируемого низового моста $l_{мн}''$ назначено большим, чем вычисленное по формулам (18) или (19), тогда по условию растекания сжатого потока отверстие проектируемого моста будет работать на ширине $l_м+2b_м\operatorname{tg}\theta<l_{мн}''$, или $l_м+2\operatorname{tg}\theta\times\times(b_м-l_д)<l_{мн}''$, что учитывают при расчете общего размыва под проектируемым мостом; верховых струенаправляющих дамб у проектируемого моста не предусматривают.

4. При реконструкции существующих мостов учитывают данные их эксплуатации, отражающие изменение плана и глубин подмостового русла (см. § 20).

Полученные на основании многолетних промеров живых сечений под мостом зависимости рабочей площади от уровня или расхода воды $\Omega_{раб}=f(H)$, или $\Omega_{раб}=f(Q)$ экстраполируют до расчетного значения $\Omega_{раб.P\%}$.

§ 62. МОДЕЛИРОВАНИЕ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

1. Моделированием называется воспроизведение на моделях в лабораторных условиях картины течения воды на мостовом переходе в целом или у отдельных его сооружений [33].

К моделированию прибегают для решения вопросов, не поддающихся обычным расчетам, а также для проверки принятых решений по сложным переходам.

С помощью моделирования удается внести в проект перехода улучшения, избежать ошибок и получить лучшее проектное решение.

2. Моделирование мостовых переходов могут выполнять организации, располагающие лабораторной базой, измерительной аппаратурой и кадрами соответствующей квалификации.

Моделирование выполняют в специальных лабораториях или на открытых русловых площадках. В гидравлической лаборатории модели переходов или сооружений устраивают в лотках. Русловые площадки обычно устраивают открытыми или в легких павильонах.

Моделирование крупного перехода в двух-трех вариантах требует от шести месяцев до полутора лет. Моделирование отдельных сооружений и фрагментов может быть выполнено за четыре — шесть месяцев.

3. Гидравлические модели бывают жесткие и размываемые. Жесткие модели делают из цемента, дерева, кирпича. В размываемых моделях дно водотока выполняют из чистого мелкого песка, гранулированных пластиков и других материалов.

Жесткие модели позволяют получить направление токов и распределение скоростей без учета деформации русла в процессе эксплуатации. Размываемые модели позволяют наблюдать развитие русловых деформаций во времени с учетом непрерывного изменения расходов и уровней воды.

Для качественного решения задач о течении воды на участке перехода иногда используют воздушные (аэродинамические) модели. На воздушных установках вода моделируется воздухом. Воздушное моделирование дешевле водяного и требует меньше времени.

Количественные данные о глубинах размыва под мостом получить трудно, особенно если размываемые грунты в натуре мелкозернистые или связные. При крупнозернистом грунте в натуре (галька, валуны) с помощью моделирования можно получить количественные результаты.

4. Гидравлическое моделирование основывается на законах динамического подобия.

Динамически подобными называются системы, сходственные элементы которых (размывы, глубина воды, скорости, силы и др.) находятся в постоянном отношении. Например, если для скоростей течения перед опорой на модели $v_м$ и в натуре $v_н$ справедливо отношение

$$\frac{v_н}{v_м} = M_v,$$

то и для всякой другой пары сходственных скоростей должно выдерживаться такое же отношение. Это отношение называется масштабом скоростей.

5. Для полного динамического подобия необходимо полное геометрическое подобие, а также равенство для модели и натуры безразмерных параметров:

а) чисел Фруда

$$\mathrm{Fr} = \frac{v^2}{gl};$$

б) чисел Рейнольдса

$$\mathrm{Re} = \frac{vl\rho}{\mu} = \frac{vl}{\nu}.$$

Здесь v — характерная скорость, взятая в сходственных точках модели и натуры (например, средняя скорость на фарватере); l — характерный линейный отрезок (например, глубина потока на фарватере); ρ — плотность жидкости; μ — динамическая вязкость жидкости; $\nu = \mu/\rho$ — кинематический коэффициент вязкости.

Для полного динамического подобия необходимо, чтобы и шероховатость поверхностей была геометрически подобна. Выполнение этого требования и одновременное равенство чисел Фруда и Рейнольдса осуществить практически затруднительно и не всегда возможно. Но при определенных условиях удовлетворительные результаты можно получить и при неполном подобии.

6. Для жестких моделей с открытым потоком достаточно выполнить условия:

а) поток на модели должен быть турбулентным;

б) должны быть одинаковы числа Фруда;

в) обтекаемые поверхности на модели и в натуре должны быть гидравлически шероховатыми.

Так как при моделировании процесса общих и местных размывов подмостовых русел исходят из критерия Fr=idem, то критерий Re является контролирующим и определяющим возможный предел линейного масштаба моделей. Для русловых потоков принимают $Re_м$ не менее 1000 (с индексом М обозначены гидравлические характеристики модели, с индексом Н соответствующие им характеристики натуры).

Величины, измеренные на модели с плановым масштабом M_l (M — масштабный множитель), пересчитываются на натуру по выражениям:

длина

$$l_н = M_l l_м;$$

время

$$t_н = \sqrt{M_l}\, t_м;$$

скорость

$$v_н = \sqrt{M_l}\, v_м.$$

7. Выполнение условия о геометрическом подобии шероховатости обтекаемых поверхностей часто требует создания моделей крупного масштаба, неосуществимых в данной лаборатории. Тогда приходится идти на искажение шероховатости, которая на модели оказывается относительно выше. В этом случае для соблюдения подобия распределения скоростей и других важнейших гидравлических характеристик масштабы ширины M_b и глубины M_h принимают равными $M_b = M_h$, а коэффициент сопротивления модели [4]

$$\lambda_м = \lambda_н \left(\frac{Re_н}{Re_м}\right)^{\frac{2}{9}} \frac{1}{M_\rho M_S^{\frac{2}{3}}},$$

где $\lambda_н$ — коэффициент сопротивления натуры; $Re_н$, $Re_м$ — числа Рейнольдса потока для натуры и модели; M_ρ — масштаб плотности наносов, равный

$$M_\rho = \frac{\rho_{гр.н} - \rho}{\rho_{гр.м} - \rho};$$

где $\rho_{гр.н}$, $\rho_{гр.м}$ — плотность наносов соответственно для натуры и модели; ρ — плотность воды; $M_S = \frac{S_н}{S_м}$ масштаб отрывающихся отдельностей; $S_н$, $S_м$ — отрывающиеся отдельности грунта для натуры и модели.

8. Если размеры лаборатории не позволяют выполнить условия п. 7, то прибегают к искажению продольных и поперечных масштабов. В этом случае необходимо выдержать условие [3]:

$$M_b = \frac{M_h^2}{M_\rho M_S}.$$

Для пересчета глубин общих и местных деформаций (понижение и повышение отметок размываемого дна) с модели на натуру при скоростях потока $v_м \leqslant (1{,}5 \div 3)\, v_{0м}$ используется масштаб изменения отметки дна в подмостовом русле [3]

$$M'_{\Delta h} = \frac{M_l^{1{,}25} M_I^{1{,}5}}{M_S^{0{,}25} M_\rho^{0{,}25}},$$

а при увеличении скорости $v_м \geqslant (2{,}3 \div 3{,}8)\, v_{0м}$

$$M''_{\Delta h} = \frac{M_l^{1{,}5} M_I^2}{M_S^{0{,}5} M_\rho^{0{,}5}},$$

где M_I — масштаб уклона водной поверхности.

Моделирование деформаций подмостовых русел, сложенных из связных и несвязных грунтов, можно производить по вышеизложенной методике с определением неразмывающих скоростей на модели

$$v_{0,м} = \frac{v_{0,н}}{\sqrt{M_I}}.$$

В результате моделирования деформаций подмостовых русел на пространственных моделях можно прогнозировать процесс местных и общих размывов.

Глава X

РАСЧЕТЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕГУЛЯЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ И ПОЙМЕННЫХ НАСЫПЕЙ

§ 63. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СРЕЗОК БЕРЕГОВ

1. Срезку грунта в пойменной части моста производят для уменьшения отверстия моста, а также для более равномерного распределения расхода воды в подмостовом русле. Срезку с этой целью выполняют, как правило, только на равнинных реках; не следует производить срезку подвижных песчано-галечных побочней и отмелей.

Срезка грунта на пойменном участке отверстия моста допускается при соблюдении условий:

а) пойма, на которой производят срезку, часто затопляется (при УВВ вероятности превышения $P \geqslant 50$—70%);

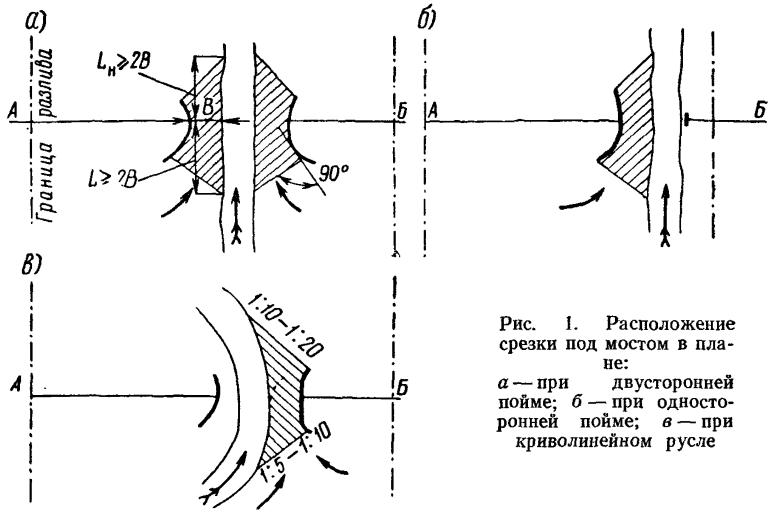


Рис. 1. Расположение срезки под мостом в плане:
а — при двусторонней пойме; *б* — при односторонней пойме; *в* — при криволинейном русле

б) тип руслового процесса исключает возможность заполнения срезки наносами (нельзя производить срезку на выпуклых берегах меандров, на побочнях и осередках);

в) скорость течения воды на срезке при уровне начала затопления поймы должна быть больше неразмывающей скорости;

г) коэффициент общего размыва не должен быть менее 1,25—1,30;

д) площадь срезки, как правило, не должна превышать 25% от расчетной площади под мостом после размыва, за исключением случаев расположения моста на искусственном русле;

е) сумма площадей размыва и срезки грунта, как правило, не должна превышать для несудоходных рек 50% и для судоходных 35%.

2. Если грунт, получаемый при разработке срезки, нельзя использовать для отсыпки подходных насыпей и регуляционных сооружений, то целесообразно рассмотреть вариант уменьшения срезки и увеличения отверстия моста или увеличения размыва.

3. При прямолинейном русле площади срезки по поймам распределяют соответственно размещению моста пропорционально пойменным расходам. При криволинейном русле срезку проектируют, как правило, лишь со стороны вогнутого берега (рис. 1), если это не вызывает резкого увеличения скорости развития меандра. Исключение допускается только для случаев, когда по пойме выпуклого берега проходит более 50% расхода, поступающего под мост; при этом срезают только задернованную часть поймы, а на отмелях срезки не делают.

4. Ширину срезки по оси перехода принимают обычно равной ширине пойменных участков отверстия моста, а длину в обе стороны от оси — не менее двойной ширины. При проектировании на переходе струенаправляющих дамб срезку доводят до их головных частей.

Продольный уклон срезки принимают равным уклону главного русла под мостом. При малых уклонах водотока срезку допускается проектировать горизонтально. Поперечный уклон в сторону русла придают срезке лишь при значительной разности отметок между бровкой русла и уровнем межени.

5. Уровень срезки назначают на 0,25—0,6 *м* выше горизонта межени. Верхнюю и нижнюю границы срезки располагают нормально к касательной к очертанию дамбы в точках начала и конца срезки (см. рис. 1).

Если уровень межени мало отличается от отметки поймы, срезку заменяют расчисткой подмостового русла от растительности. Расчистку продолжают вверх и вниз от оси моста на то же расстояние, что и срезку.

6. Крутизна откосов срезки при сопряжении с естественной поверхностью принимается 1 : 5—1 : 10 с верховой и 1 : 10—1 : 20 с низовой стороны моста.

В легко размываемых грунтах допустимы и более крутые откосы.

§ 64. СТРУЕНАПРАВЛЯЮЩИЕ ДАМБЫ И ТРАВЕРСЫ

1. Струенаправляющие дамбы и траверсы устраивают на переходах при наличии пойм, пропускающих значительную долю расчетного расхода, в случаях необходимости воздействия на русловый процесс, а также при значительной косине перехода и в других сложных ситуационно-гидрологических условиях.

2. Мостовой переход стесняет паводочный поток, в результате чего пойменные воды при подходе к мосту резко искривляются, у конусов моста возникает поперечная циркуляция и местные размывы у подошв конусов с верховой их стороны, а также сосредоточенные размывы подмостового русла. При косом пересечении пойм возникают продольные течения у части верховых и низовых откосов пойменной насыпи, которые могут вызвать ее размывы.

Большинство этих вредных явлений можно уменьшить, а иногда и полностью устранить путем устройства системы струенаправляющих дамб у моста и траверсов у пойменной насыпи.

3. Струенаправляющие дамбы предназначены:

а) для плавного подведения пойменных вод к мостовому отверстию и плавного вывода их из отверстия, чтобы уменьшить неравномерность деформаций подмостового русла;

б) для выпрямления потока под мостом (для уменьшения сосредоточенного размыва у вогнутого берега) или для устранения недопустимой косины потока.

Запроектированные струенаправляющие дамбы должны удовлетворять условиям судоходства и сплава.

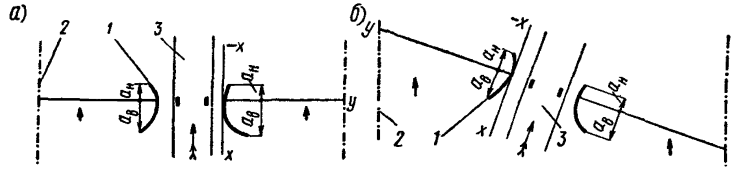


Рис. 2. Струенаправляющие дамбы на мостовых переходах:
а — нормальный переход; *б* — переход с косиной к пойменному потоку;
1 — дамбы; *2* — границы разлива; *3* — русло

4. Струенаправляющие дамбы предусматривают, если по пойме проходит не менее 15% расчетного расхода.

При пойменном расходе менее 15% или при средних расчетных скоростях течения под мостом до размыва менее 1,0 *м/сек* струенаправляющих дамб не делают, за исключением случаев, когда необходимость в них вызывается ситуационными особенностями данного перехода (прижимные течения в сторону слабоработающей поймы, перекрытие проток и т. п.).

При нормальном пересечении мостовым переходом поймы и русла поток регулируется сплошными незатопляемыми криволинейными дамбами (рис. 2, *а*).

Дамбы обычно состоят из верховой и низовой частей и при необходимости из прямых вставок между ними.

Плавное обтекание струенаправляющей дамбы достигается при эллиптическом очертании ее с большой полуосью, расположенной вдоль речного потока.

5. Расчет планового очертания струенаправляющих дамб производят по распределению между руслом и поймами расчетного расхода с проверкой для железных дорог на пропуск наибольшего расхода.

Расчетом [30] определяют координаты осей верховых струенаправляющих дамб в следующем порядке:

1) определяют коэффициент δ стеснения потока насыпью подхода на пойме:

для односторонней поймы

$$\delta = \frac{Q_{\text{пер}}}{Q}; \qquad (1)$$

для двусторонней поймы

$$\delta = \frac{Q_{\text{пер}}}{Q_{\text{п}} + 0{,}5Q_{\text{р}}}, \qquad (2)$$

где Q — полный расход; $Q_{\text{пер}}$ — расход, проходивший в бытовом состоянии на части левобережной или правобережной поймы, перекрытой насыпью; $Q_{\text{п}}$ — расход, проходивший в бытовом состоянии на левобережной или правобережной пойме; $Q_{\text{р}}$ — расход, проходивший в бытовом состоянии в русле;

Таблица 1

δ	Пойма		δ	Пойма	
	двусторонняя	односторонняя		двусторонняя	односторонняя
	A			A	
0,10	0,106	0,112	0,45	0,315	0,481
0,15	0,150	0,170	0,50	0,340	0,533
0,20	0,186	0,222			
0,25	0,215	0,275	0,55	0,365	0,584
0,30	0,240	0,327	0,60	0,390	0,635
0,35	0,265	0,378	0,65	0,410	0,680
0,40	0,290	0,429	0,70	0,430	0,725

Примечание. При $\delta>0{,}70$ его значения можно определить экстраполяцией табличных данных.

2) по табл. 1 находят коэффициент A, зависящий от коэффициента стеснения потока δ;

3) определяют проекцию верховой дамбы на ось пути (ширину разворота) $b_в$ по формуле

$$b_в = AB_р, \tag{3}$$

где $B_р$ — ширина русла реки в бровках, *м*;

4) соотношение полуосей дамбы $\frac{a_в}{b_в} = к$ определяют в зависимости от коэффициента стеснения δ:

δ	0,15	0,16—0,25	0,26—0,35	0,36 и более
$к$	1,50	1,67	1,83	2,0

5) по табл. 2 находят безразмерные координаты дамбы, по которым вычисляют координаты x и y для данных значений $b_в$ и наносят их на план (рис. 2, *а*, *б*);

6) к головной части верховой дамбы прибавляют криволинейную приставку с радиусом, равным 0,2 $b_в$, и углом разворота 90—120°.

6. Низовые струенаправляющие дамбы проектируют в зависимости от размеров верховых дамб.

Проекцию низовой дамбы на нормаль к оси пути определяют по формуле

$$a_н = \frac{a_в}{2}. \tag{4}$$

Низовую дамбу очерчивают по круговой кривой радиуса при угле разворота 7—8°, а затем по прямой, касательной к круговой кривой.

7. Расчет дамб корректируют по местным условиям, учитывая направление течений в русле и на пойме, скорости течения и мощность отдельных проток.

Таблица 2

$\kappa=1{,}50$		$\kappa=1{,}67$		$\kappa=1{,}83$		$\kappa=2{,}00$	
$\frac{x}{b_в}$	$\frac{y}{b_в}$	$\frac{x}{b_в}$	$\frac{y}{b_в}$	$\frac{x}{b_в}$	$\frac{y}{b_в}$	$\frac{x}{b_в}$	$\frac{y}{b_в}$
0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000
0,25	0,013	0,20	0,010	0,20	0,006	0,20	0,004
0,50	0,059	0,40	0,030	0,40	0,028	0,40	0,020
0,75	0,133	0,60	0,065	0,60	0,058	0,60	0,048
1,00	0,253	0,80	0,118	0,80	0,100	0,80	0,088
1,25	0,448	1,00	0,198	1,00	0,163	1,00	0,135
1,30	0,500	1,20	0,305	1,20	0,244	1,200	0,200
1,35	0,564	1,40	0,454	1,40	0,356	1,40	0,285
1,40	0,641	1,50	0,560	1,60	0,514	1,60	0,400
1,45	0,741	1,60	0,712	1,70	0,629	1,80	0,563
1,48	0,836	1,62	0,751	1,75	0,710	1,90	0,688
1,50	1,00	1,64	0,810	1,78	0,767	1,95	0,776
		1,66	0,890	1,80	0,819	1,98	0,874
		1,67	1,000	1,81	0,852	2,00	1,000
				1,83	1,000		

Если по ситуационным особенностям (расположение головы на более высоких отметках, перекрытие протоки и пр.) голову дамбы следует переместить, то изменяют величину $a_в$ и подсчитывают новые координаты x и y.

При косых пересечениях рек струенаправляющие дамбы должны направлять пойменный поток параллельно русловому в пределах отверстия моста (рис. 2, *б*).

В сложных случаях пересечения водотоков (косое пересечение мощных пойм, групповые отверстия на переходе, интенсивный русловый процесс и т. д.) рекомендуется испытание различных вариантов регуляционных сооружений на гидравлических моделях.

8. При нормальном пересечении главного русла и поймы, пропускающей значительную долю расчетного расхода, когда подходы к мосту направлены в верховую сторону, рекомендуется предусмотреть со стороны этой поймы сплошную незатопляемую струенаправляющую дамбу грушевидного очертания. На противоположном берегу со стороны малой поймы устраивают прямолинейную дамбу во избежание прижима потока к этому берегу (рис. 3, *а*).

Очертания речной ветви грушевидной дамбы рассчитывают согласно п. 5; пойменную ветвь грушевидной дамбы сопрягают с насыпью подходов и речной ветвью обратными круговыми кривыми с прямой вставкой между ними (см. рис. 3, *а*).

9. Прямолинейные незатопляемые дамбы или прямые вставки в криволинейных дамбах применяют в качестве струенаправляющих сооружений, если требуется отжать русловый поток при расчетном уровне от одного из устоев моста.

В зависимости от мощности поймы, примыкающей к тому берегу, где устраивается прямолинейная дамба, ее проектируют:

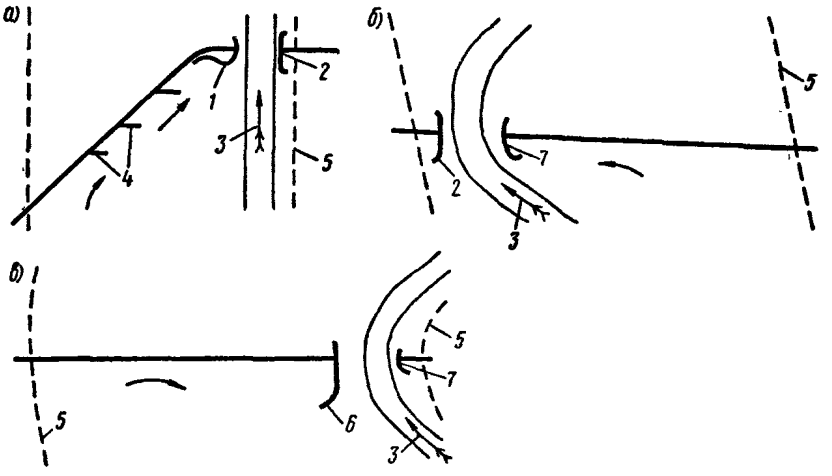


Рис. 3. Схемы регулирования пойменных потоков:
а — при повороте подхода вверх по течению; *б* — при широкой пойме со стороны выпуклого берега; *в* — то же, со стороны вогнутого берега;
1 — грушевидная струенаправляющая дамба; *2* — прямолинейная дамба; *3* — русло; *4* — траверсы; *5* — границы разлива; *6* — криволинейная дамба с прямой вставкой; *7* — криволинейная дамба

а) при малом притоке пойменных вод к отверстию моста — прямолинейной на всем протяжении, за исключением головной части (рис. 3, *б*);

б) при мощном потоке пойменных вод — в виде прямолинейной вставки (рис. 3, *в*); криволинейную часть верховой дамбы в этом случае рассчитывают согласно п. 5.

Размеры верховых прямолинейных дамб или прямых вставок назначают по местным условиям в зависимости от мощности перекрываемых пойм и направления потока на подходе к мосту.

10. Для отжима от подходной насыпи продольных течений на пойме применяют сплошные прямолинейные незатопляемые траверсы, примыкающие к земляному полотну под углом 70—80°, при расстоянии между соседними траверсами, равном примерно четырехкратной длине верхового траверса. Головы траверсов размещают на прямой, соединяющей голову верховой дамбы с крайней точкой возможного подмыва откоса (рис. 4, *а*).

На поймах, изрезанных протоками и староречьями, траверсы располагают на возвышенных местах со стороны коренного берега, не перекрывая проток и понижений местности.

При пересечении реки на излучине траверсы располагают в пределах излучины как с верховой, так и с низовой стороны (рис. 4, *б*).

Траверсы устраивают с верховой стороны при повороте пойменного подхода вверх по течению (см. рис. 3, *а*).

11. Струенаправляющие дамбы проектируют незатопляемыми; верх дамб в профиле независимо от продольного уклона водотока проектируют площадкой на всем протяжении.

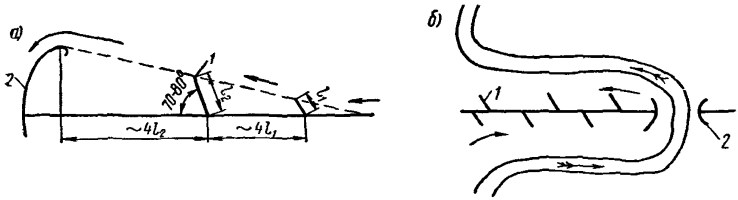


Рис. 4. Схемы расположения траверсов для защиты подходов:
а — сочетание траверсов со струенаправляющей дамбой; *б* — то же, на излучине;
1 — траверсы; *2* — струенаправляющие дамбы

Отметку верха дамбы $БД_в$ с верховой стороны перехода определяют по формуле

$$БД_в = УВВ_{P\%} + \Delta h_н + h_н + 0{,}25 \text{ м}. \quad (5)$$

Отметку верха дамбы с низовой стороны $БД_н$ определяют по формуле

$$БД_н = УВВ_{P\%} + h_н + 0{,}25 \text{ м}, \quad (6)$$

где $УВВ_{P\%}$ — уровень воды, принимаемый наибольшим для железных дорог и расчетным для автомобильных; $\Delta h_н$ — максимальный подпор перед мостом, *м* (вычисляемый по § 38); $h_н$ — высота ската ветровой волны, *м* (см. § 68); 0,25 *м* — технический запас.

Отметки верха траверсов на пойме определяют с учетом $УВВ_{P\%}$, максимального подпора $\Delta h_н$ (см. § 55), продольного уклона реки, ската ветровой волны и запаса 0,25 *м*.

12. Струенаправляющие дамбы и траверсы обычно устраивают земляными с откосами не круче 1 : 2, с уположением их в головной части. Ширина этих земляных сооружений поверху определяется с учетом организации строительных работ, но должна быть не менее 3,0 *м*.

13. Лесонасаждения [9] для регулирования и направления под мост пойменных потоков можно применять, если допустимо, чтобы расчетное воздействие их на поток осуществилось бы через три — пять лет (срока, необходимого для разрастания лесопосадок).

Лесонасаждения проектируют продольными и поперечными полосами в виде траверсов для защиты пойменной насыпи от подмыва, а также сплошными массивами в виде струенаправляющих дамб.

Лесонасаждения в виде продольных полос применяют для защиты пойменных насыпей от волнобоя.

Лесонасаждения с целью регулирования потока предпочтительно проектировать на переходах равнинных рек с небольшими скоростями течения, на влажных почвах, в местах, затапливаемых полыми водами в течение не более 2,5 месяцев и в летнее время в течение не более пяти-шести дней.

Необходимо также использовать в качестве защитных и струенаправляющих мероприятий естественную пойменную лесокустар-

никовую растительность, придавая ей необходимую форму путем вырубки части зарослей по согласованию с органами лесоохраны.

Когда естественные заросли кустарника и лес на поймах ухудшают работу перехода, отклоняя поток в нежелательном направлении, предусматривают вырубку соответствующих площадей.

§ 65. ПОПЕРЕЧНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И УКРЕПЛЕНИЯ

1. Для защиты берегов русла от размыва на участке мостового перехода при интенсивном русловом процессе применяют поперечные сооружения в виде шпор и полузапруд.

Шпоры представляют собой сооружения, выдвинутые от защищаемого берега в русло; отметка верха этих сооружений принимается обычно равной отметке бровки берега русла у корня сооружения.

Полузапруды представляют собой сооружения, также выдвинутые в русло, но частично или полностью затопляемые потоком, проходящим в бровках русла.

Выдвинутые в русло сооружения изменяют положение фарватера защищаемого участка берега, а у их голов возникают местные размывы. Устройство шпор и полузапруд на судоходных и сплавных реках должно быть согласовано с организациями речного флота и лесосплава.

Шпоры могут быть массивными (сплошными), отклоняющими поток от защищаемого участка, и сквозными, гасящими энергию потока на защищаемом участке. Полузапруды устраивают только массивными.

Массивные сооружения подразделяются на деформирующиеся (где допускаются расчетные деформации) и недеформирующиеся (где деформации недопустимы).

К деформирующимся относятся сооружения из хворостяно-каменной кладки, каменной наброски, габионов, бетонных блоков и других; к недеформирующимся относятся земляные сооружения, а также бетонные и железобетонные сооружения, защищенные от подмыва.

2. Шпоры проектируют с наклоном вниз по течению. Расстояние между сплошными шпорами назначают так, чтобы между двумя соседними шпорами образовался защищенный участок берега.

При заданных углах (α — угол наклона шпоры к защищаемому берегу, β — угол растекания потока за шпорой, γ — угол между направлением течения и защищаемым фронтом) и длине шпоры (C_1) расстояние между шпорами L_p' (рис. 5) определяют по формуле

$$L_p' = \frac{\sin(\alpha + \beta - \gamma)}{\sin(\beta - \gamma)} C_1. \qquad (7)$$

Наивыгоднейший угол наклона шпоры к течению, при котором L_p' достигает максимального значения,

$$\alpha = 90° - \beta + \gamma; \qquad (8)$$

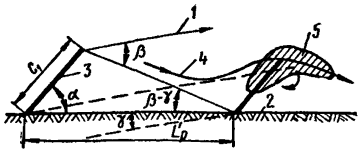


Рис. 5. Схема расположения шпор на прямом участке берега:
1 — направление течения; *2* — защищаемый берег; *3* — шпоры; *4* — направление струй у шпор; *5* — зона размыва у шпоры

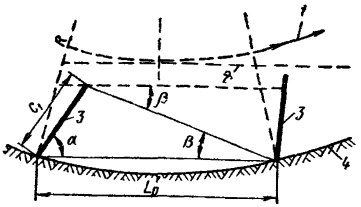


Рис. 6. Схема расположения шпор на вогнутом берегу:
1 — направление течения; *2* — касательная к нему; *3* — шпоры; *4* — защищаемый вогнутый берег

при этом

$$\max L_p' = \frac{C_1}{\sin(\beta - \gamma)}. \quad (9)$$

Если направление течения параллельно защищаемому фронту ($\gamma = 0$), то

$$L_p' = C_1 \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \beta}. \quad (10)$$

Величина β колеблется в пределах 7—20°; рекомендуется принимать $\beta = 14°$. При $\gamma = 0$ оптимальное расстояние между шпорами для равнинных рек $L' \approx 4C_1$; для горных рек это расстояние рекомендуется [5] сокращать до $\approx 2C_1$, увеличивая угол β.

3. Расстояние между шпорами на криволинейном участке определяют приближенно графическим способом (рис. 6).

Задаваясь углом растекания β (для криволинейных участков $\beta = 18° \div 20°$) и длиной шпоры C_1, находят по формуле (10) расстояние L_p'. Затем засечкой от корня первой шпоры находят положение корня следующих шпор и т. д.

Приближенно для криволинейных участков принимают $L_p' \approx \approx 3C_1$.

При больших углах растекания потока шпорам можно придавать Г-образную форму (рис. 7).

Длина a части шпоры или укрепляемого берега (рис. 7) не должна превышать $0{,}5\,C_1$.

4. Длину сплошных шпор C_1 необходимо назначать исходя из следующих условий:

а) стеснение живого сечения потока шпорами не должно превышать 15—20%;

б) длина шпоры должна быть не менее четырехкратной глубины русла у ее головы;

в) зона размыва у шпоры (см. рис. 5) не должна захватывать корня шпоры.

Местный размыв у голов сплошных шпор определяют согласно указаниям § 53.

Головы шпор, подвергающиеся наиболее интенсивному воздействию потока, а также их откосы, подвергающиеся интенсивным продольным токам, должны быть защищены от размыва.

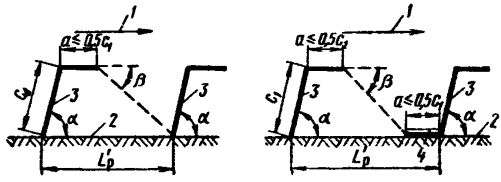


Рис. 7. Схемы Г-образных шпор:
1 — направление течения; *2* — защищаемый берег; *3* — шпоры; *4* — укрепляемая часть берега у корня шпоры

Заложения откосов шпор из каменной наброски или земляных рекомендуется принимать не круче 1 : 2, а для шпор из хворостяно-каменной или габионной кладки не круче 1 : 1,5.

5. Для защиты берегов от размыва применяют также сплошные затопляемые полузапруды. Эти сооружения защищают берег менее эффективно, чем незатопляемые, однако они дешевле и у их голов возникают меньшие размывы.

Затопляемые полузапруды располагают с наклоном 15—30° вверх по течению; расстояние между полузапрудами принимают равным двойной их длине.

6. Шпоры сквозной конструкции проектируют: фундаментные (свайные ряды), бесфундаментные (тетраэдры и сборнорешетчатые шпоры) и смешанные (тетраэдры или сборнорешетчатые конструкции, закрепленные на свайных рядах).

Уменьшая бытовую скорость течения до неразмывающей, сквозные шпоры также способствуют отложению наносов у защищаемого ими участка берега.

При наличии в реке плавника сквозные сооружения с течением времени превращаются в сплошные за счет отложения плавника и забивки им решетки сквозных сооружений; это необходимо учитывать при расчете местного размыва у таких сооружений.

Сквозные сооружения, регулирующие русловый поток, состоят из одного или нескольких рядов свай или других сквозных конструкций.

7. Расположение сквозных шпор для защиты участка берега должно быть таким, чтобы:

а) бытовая скорость течения, воспринимаемая шпорами, расположенными выше защищаемого участка, последовательно гасилась до величины, при которой берег не размывается;

б) в пределах защищаемого участка берега поддерживалась неразмывающая скорость течения.

Среднюю скорость $v_ш$ ниже сквозной шпоры определяют по формуле

$$v_ш = \frac{v_б}{\sqrt{1+b}}, \qquad (11)$$

где $v_б$ — средняя бытовая скорость на части живого сечения, перекрытой шпорой; b — параметр, определяемый по формуле (13).

Расстояние между сквозными шпорами принимают обычно равным сумме их длин.

Число сквозных шпор N, необходимое для гашения бытовой скорости до величины неразмывающей $v_{\text{пер}}$, определяют по формуле

$$N = \frac{2(\lg v_б - \lg v_{\text{пер}})}{\lg(1+b)}. \quad (12)$$

8. Глубину местного размыва у сквозных шпор определяют путем умножения глубины местного размыва, вычисленной для сплошного сооружения по § 53, на коэффициент, определяемый по табл. 3 в зависимости от параметра b.

Параметр b, характеризующий сопротивление сквозной шпоры, определяют по формуле

$$b = \frac{P(2-P)(0{,}79n + 0{,}30)}{(1-P)^2}, \quad (13)$$

где P — коэффициент застройки сквозного сооружения, равный частному от деления суммарной площади водонепроницаемых частей сооружения на площадь всего сооружения (вместе с просветами); n — число рядов свай (или иных элементов) в шпоре.

Таблица 3

b	Коэффициент уменьшения	b	Коэффициент уменьшения
1,00	0,50	5,00	0,75
2,00	0,55	7,00	0,90
2,50	0,60	10,00	1,00
3,20	0,65		

На реках блуждающего типа с песчано-гравийным руслом сквозные сооружения применять не рекомендуется, так как при интенсивном движении крупных гряд наносов требуется большая сплошность конструкции, делающая ее неэкономичной.

9. Берега русел можно защищать от размыва сплошным укреплением предварительно спланированных откосов с устройством подводной части укрепления в виде гибких покрытий (ковров, тюфяков).

Такие укрепления применяют также для защиты берегов и каналов, подтопляемых откосов насыпей на поймах и в водохранилищах от воздействия льдин, ветровых и судовых волн.

В зависимости от срока службы материалов, применяемых для укрепления, их подразделяют на постоянные и временные. Временные укрепления, как правило, применяют лишь для пропуска паводков на эксплуатируемых мостовых переходах.

При проектировании новых мостовых переходов применяют постоянные укрепления, осуществляемые полностью или частично индустриальными и механизированными способами.

Для постоянных укреплений применяют камень в виде наброски по откосу и рисбермы в основании откоса, железобетонные и бетонные плиты для укрепления откосов, габионы, используемые в виде кладки, а также для укрепления подошв откосов.

В качестве укреплений применяют также различные виды лесопосадок (сплошные, полосами, плетнями и т. д.).

Надежными гасителями высоких ветровых волн и больших скоростей течения являются наброски из крупного камня и бетонных блоков, осуществляемые на основе специальных расчетов.

10. При выборе конструкций укреплений учитывают вид укрепляемого сооружения, род грунтов, из которых сложено сооружение и его основание, местные климатические, топографические и гидрологические условия, виды и количество местных материалов для укрепительных работ и др.

Данные для предварительного назначения некоторых типов укреплений, наиболее часто применяемых на мостовых переходах, в зависимости от скорости течения, условий волнобоя и ледохода приведены в табл. 4 при глубинах от 1 до 5 *м*. Подробные данные о различных типах укреплений приведены в «Альбоме конструкций креплений откосов земляного полотна железных и автомобильных дорог общей сети Союза ССР» [6], а также в действующих типовых проектах Гипроречтранса Министерства речного флота РСФСР.

Таблица 4

Типы укреплений	Допускаемые			
	скорость течения *v*, *м/сек*	высота ветровой волны, *м*	толщина льда при ледоходе, *м*	крутизна укрепляемого откоса
Каменная наброска из булыжного или рваного камня крупностью:				
15—20 *см*	3,0—4,0	0,3	0,2	Не круче 1:2
25—30 »	3,8—5,0	0,4	0,6	Не круче 1:2
40—50 »	5,0—6,0	0,5	0,6	Не круче 1:2
Железобетонные плиты сборного покрытия размером 2,5×3,0 *м* при толщине:				
15 *см*	3,5	1,3	0,6	1:2
20 »	4,0	1,7	1,2	1:2
Железобетонные плиты, омсноличенные по контуру, размером 2,5×3,0 *м* при толщине:				
10 *см*	2,5	1,0	0,8	1:2
15 »	3,0	2,0	1,0	1:2
20 »	3,3	2,5	1,2	1:2
Бетонные плиты размером 1,0×1,0 *м* при толщине:				
16 *см*	3,5	1,0	0,6	1:2
20 »	4,0	1,2	0,8	1:2
Габионная кладка	4,0—6,0	—	0,8—1,0	1:1,5
Одерновка плашмя	1,0	0,2	—	1:1,5
Посадка кустарника сплошная	2,5	0,5	0,2	1:2
Габионные тюфяки	6,0	0,6	0,8—1,0	—
Асфальтобетонные тюфяки	3,5	0,6	0,2	—
Гибкий ковер из железобетонных плит	6,0	—	0,8—1,2	—

В последнее время находят применение новые типы укреплений подтопленных откосов в виде сборных решетчатых конструкций, разработанные ЦНИИСом, Мосгипротрансом и Союздорпроектом.

Если пойменная насыпь сооружается гидронамывом, то укрепления от воздействия волн могут быть в отдельных случаях заменены пляжным откосом с уклоном не круче 1 : 30 при соответствующем технико-экономическом обосновании.

§ 66. 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 учитывают проводившиеся мероприятия по пропуску паводков, водоборьбе, а также устанавливают тип реки по русловому процессу и интенсивности переформирования русла. Если эти меры не дали положительного результата, то переустройство регуляционных сооружений необходимо, когда:

а) создавалась 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, когда струенаправляющие дамбы построены неправильно;

г) фарватер сместился с судоходных пролетов моста и вследствие смещения побочней судоходная трасса расположилась с недопустимой косиной относительно опор моста; этот случай характерен для равнинных рек с побочневым руслом;

д) глубины сместились 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.

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.

Целесообразность реконструкции существующих сооружений перехода устанавливают согласно Методическим указаниям по обследованию водопропускной способности больших и средних мостов [40].

2. 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 прогнозом 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 незначительно и не на всем протяжении затопляются при расчетном горизонте, а также 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.

§ 67. 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. 8).

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. 8, *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.).

Если все спрямление русла располагается на пойме, то его рассчитывают на пропуск расхода воды, проходящего в бровках быто-

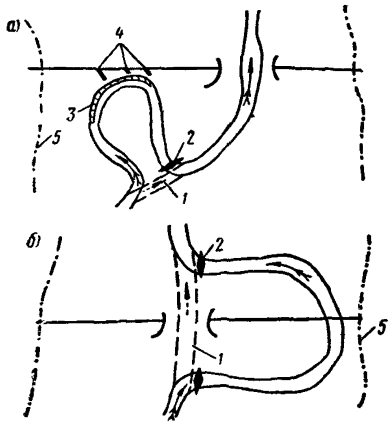


Рис. 8. Схема спрямлений излучин русла:
а — спрямляемая излучина, угрожающая пойменной насыпи на несудоходной реке; *б* — расположение моста на спрямленном русле судоходной реки;
1 — спрямление; *2* — запруда; *3* — вариант укрепления берега; *4* — траверсы при варианте укрепления берега; *5* — граница разлива при УВВ

вого русла. Если спрямленное русло или часть его располагается вне пойм, его рассчитывают на пропуск полного расчетного расхода воды.

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. 8, *б*).

2. Расчет спрямления русла производят по следующим формулам.

Необходимая площадь живого сечения канала (в $м^2$), запроектированного вне пойм, при расчетном уровне воды определяется по формуле

$$\omega = \frac{Q_р}{C\sqrt{hi}\sqrt{\frac{L_{из}}{l_{спр}}}}, \qquad (14)$$

где Q — расчетный расход воды, C — коэффициент Шези; h — глубина воды в спрямленном русле при расчетном уровне; i — бытовой уклон в излучине русла; $L_{из}$ — длина излучины русла; $l_{спр}$ — длина спрямленного участка русла.

Средняя скорость в канале при расчетной отметке $УВВ_{Р\%}$ должна соответствовать бытовой средней скорости в русле при $УВВ_{Р\%}$, умноженной на величину $\sqrt{\frac{L_{из}}{l_{спр}}}$ и определяется по формуле

$$v = \frac{n_{из}}{n_{спр}} h^{2/3}\sqrt{\frac{L_{из}}{l_{спр}}\, i}, \qquad (15)$$

где $n_{из}$ и $n_{спр}$ — коэффициенты шероховатости русла в излучине и на спрямлении соответственно.

Глубина воды в спрямлении определяется по формуле

$$h=\left(\frac{n_{\text{спр}}^2 v^2 l_{\text{спр}}}{n_{\text{из}}^2 i L_{\text{из}}}\right)^{\frac{3}{4}}. \qquad (16)$$

Искусственное и естественное русла сопрягают по круговым кривым радиуса не менее $3{,}5\,B_{спр}$ на неэксплуатируемых и не менее $5\,B_{\text{спр}}$ на сплавных и судоходных реках, где $B_{\text{спр}}$ — ширина в бровках спрямления русла.

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 или грунтовые воды и затоплять хозяйственные сооружения и заболачивать эксплуатируемые пойменные земли.

Слив паводочной воды по резерву может размыть его, превратить в овраг и создать угрозу устойчивости земляного полотна или ухудшить условия землепользования.

В этих случаях в проекте мостового перехода должны быть предусмотрены водоотводы, а при необходимости — шандорные или укрепленные отверстия в пойменных насыпях, укрепления резервов и т. п.

4. Сооружения для отвода воды из замкнутых пойменных водоемов рассчитывают на расход, пропуск которого обеспечит нормальную хозяйственную деятельность на пойме реки выше и ниже по течению от мостового перехода.

Необходимые размеры неукрепенных водоотводных канав на поймах подбирают, задаваясь значениями продольного уклона дна канавы и формой ее сечения, по формулам:

$$\omega=\frac{Q}{3{,}6\,(dR)^{0{,}25}}; \qquad (17)$$

$$i=\frac{13d^{0{,}5}n}{R^{0{,}83}}, \qquad (18)$$

где Q — расход воды, *м*³/*сек*; ω — площадь живого сечения канавы, *м*²; d — средний диаметр частиц несвязного грунта (в *м*) или эквивалентный ему диаметр для связного грунта (см. п. 3 § 50); R — гидравлический радиус живого сечения, *м*; n — коэффициент шероховатости, принимаемый для суглинистых и глинистых грунтов 0,020; для песчаных и гравелистых — 0,025.

§ 68. РАСЧЕТ ВЕТРОВЫХ И СУДОВЫХ ВОЛН И ИХ НАКАТА НА ОТКОСЫ СООРУЖЕНИЙ, ВОЛНОГАСЯЩИЕ УСТРОЙСТВА

1. Расчет наката ветровых волн на откос (рис. 9), учитываемых при назначении незатопляемой бровки пойменных насыпей, производят согласно СН 92-60 [72].

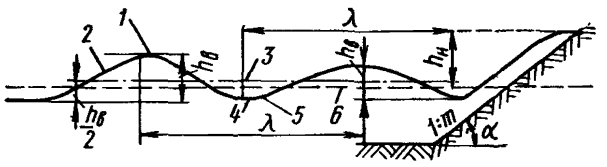


Рис. 9. Профиль ветровой волны и ее наката на откос насыпи:
1 — вершина волны; *2* — гребень волны; *3* — средняя волновая линия; *4* — подошва волны; *5* — впадина волны; *6* — статический уровень

Ветровые волны имеют следующие характеристики (см. рис. 9):

$h_в$ — высота волны — вертикальное расстояние между вершиной и подошвой волны;

λ — длина волны — горизонтальное расстояние между двумя смежными вершинами или подошвами волны;

$\frac{h_в}{\lambda}$ — крутизна волны;

$D_в$ — разгон ветровых волн — протяженность водной поверхности, охваченной ветром, вызывающим образование и развитие волн;

$h_н$ — высота наката волны на откос сооружения.

При расчете волн различают следующие четыре характерные по глубине зоны [74, 72]:

1 — глубоководная с глубиной $H > \frac{1}{2}\lambda_{гл}$, где дно водоема практически не влияет на характер волнения (здесь $\lambda_{гл}$ — длина волны для глубоководной зоны);

2 — мелководная с глубиной $\frac{1}{2}\lambda_{гл} \geqslant H > H_{кр}$, где дно водоема заметно влияет на волновое движение воды ($H_{кр}$ — глубина, при которой начинается разрушение волн);

3 — прибойная с глубиной $H \leqslant H_{кр}$, постепенно уменьшающейся к берегу, в пределах которой начинается и завершается разрушение волн;

4 — приурезовая, в которой вода полностью разрушенных волн периодически накатывается на берег или откос.

Мелководьем называется мелкий водоем или часть глубокого водоема глубиной $H \leqslant \frac{1}{2}\lambda_{гл}$, т. е. вторая, третья и четвертая зоны вместе.

2. Наиболее частыми при проектировании мостовых переходов являются случаи расчета ветровых волн на мелководье, для которых ниже приводится методика расчета волн. Расчет волны в глубоководных водоемах или трансформации глубоководной волны на мелководье выполняют по СН 92-60 [72].

Для проектирования регуляционных сооружений и пойменных насыпей необходимо установить высоту наката ветровой волны на откос сооружения.

Высота волны и ее наката зависит от:

а) скорости ветра;

б) направления ветра и длины разгона волны;

в) глубины водоема при расчетных уровнях;

г) конфигурации водоема;

д) наличия растительности на поймах рек;

е) коэффициента откоса насыпи и типа его укрепления.

3. Высоту наката волны (в *м*) над статическим уровнем определяют по формуле

$$h_н = \frac{2\kappa_ш h_в}{m}\sqrt[3]{\frac{\lambda}{h_в}}, \qquad (19)$$

где $\kappa_ш$ — коэффициент, зависящий от типа покрытия откоса; m — коэффициент откоса, равный отношению заложения к высоте.

Множитель $\frac{\kappa_ш}{m}$ в формуле (19) определяют по табл. 5.

Значения высоты волны $h_в$ и множителя $2h_в\sqrt[3]{\frac{\lambda}{h_в}}$ даны в табл. 6 и 7.

Эти величины рассчитаны для среднего уклона дна в пределах от 0 до 0,004. При больших уклонах дна расчет производят согласно [74].

Таблица 5

Тип покрытия	m					
	1	1,5	2	3	4	5
	$\frac{\kappa_ш}{m}$					
Бетон	0,90	0,60	0,45	0,30	0,23	0,18
Мощение камнем	0,80	0,53	0,40	0,26	0,20	0,16
Наброска из валунов	0,65	0,43	0,33	0,22	0,16	0,13
» из рваного камня	0,55	0,37	0,27	0,18	0,14	0,11
Наброска из массивов	0,50	0,33	0,25	0,16	0,12	0,10

В табл. 5, 6 и 7 при промежуточных значениях исходных параметров допускается интерполяция. Средняя глубина и уклон дна характеризуются средним профилем дна и определяются по имеющимся топографическим материалам.

4. Измеренные на метеостанциях скорости ветра должны приводиться к высоте 10 *м* над уровнем водоема.

Приведение производят по формуле

$$W_{10} = W_м \kappa_в, \qquad (20)$$

где $W_м$ — принятая расчетная скорость ветра по данным метеостанции на высоте H; $\kappa_в$ — коэффициент перехода от скорости ветра, измеренной на высоте $H_м$, к скорости ветра W_{10}:

H, *м*	2	4	6	10	12	14	17	20	30
$\kappa_в$	1,30	1,15	1,08	1,00	0,99	0,97	0,96	0,95	0,93

Скорости ветра определяют на основе статистической обработки данных наблюдений за ветром в период, когда водная поверхность полностью свободна от ледяного покрова.

Таблица 6

Средняя глубина водоема H, м	Расчетная скорость ветра W_{10}, м/сек																	
	10						20						30					
	Расчетный разгон D, км																	
	1	2	4	6	8	10	1	2	4	6	8	10	1	2	4	6	8	10
	$h_в$, м																	
0,5	0,19	0,21	0,37	0,38	0,38	0,38	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,37	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39
1,0	0,28	0,34	0,36	0,38	0,38	0,38	0,46	0,48	0,75	0,76	0,76	0,76	0,67	0,74	0,75	0,76	0,77	0,77
2,0	0,31	0,41	0,50	0,54	0,58	0,61	0,61	0,70	0,74	0,87	0,84	0,84	0,84	0,96	1,00	1,00	1,01	1,06
3,0	0,31	0,43	0,58	0,65	0,71	0,74	0,63	0,83	0,95	1,05	1,10	1,14	0,89	1,17	1,25	1,29	1,31	1,41
4,0	0,31	0,43	0,59	0,68	0,77	0,84	0,64	0,86	1,10	1,20	1,28	1,38	0,90	1,33	1,43	1,50	1,55	1,69
6,0	0,31	0,43	0,60	0,70	0,79	0,88	0,64	0,88	1,18	1,43	1,55	1,62	0,90	1,39	1,71	1,82	1,90	2,07
8,0	0,31	0,43	0,60	0,70	0,80	0,90	0,64	0,88	1,20	1,47	1,67	1,84	0,90	1,40	1,76	2,07	2,20	2,38
10,0	0,31	0,43	0,60	0,70	0,80	0,90	0,64	0,88	1,20	1,50	1,70	1,90	0,90	1,40	1,80	2,18	2,37	2,66

Таблица 7

Средняя глубина водоема H, м	Расчетная скорость ветра W_{10}, м/сек																	
	10						20						30					
	Расчетный разгон D, км																	
	1	2	4	6	8	10	1	2	4	6	8	10	1	2	4	6	8	10
	$2h_в\sqrt[3]{\frac{\lambda}{h_в}}$, м																	
0,5	0,84	0,94	1,74	1,79	1,79	1,79	1,44	1,50	1,50	1,54	1,54	1,54	1,23	1,27	1,30	1,30	1,30	1,30
1,0	1,28	1,58	1,68	1,79	1,79	1,79	1,87	1,98	3,30	3,30	3,36	3,36	2,50	2,80	2,85	2,89	2,93	2,93
2,0	1,44	1,94	2,39	2,60	2,80	2,96	2,61	3,05	3,25	3,60	3,75	4,30	3,28	3,84	4,06	4,06	4,14	4,35
3,0	1,44	2,04	2,80	3,16	3,48	3,65	2,71	3,70	4,29	4,78	5,03	5,24	3,51	4,88	5,27	5,48	5,71	6,06
4,0	1,44	2,04	2,86	3,32	3,80	4,17	2,76	3,85	5,04	5,54	5,94	6,45	3,57	5,66	6,16	6,50	6,75	7,46
6,0	1,44	2,04	2,90	3,43	3,90	4,37	2,76	3,94	5,44	6,69	7,31	7,66	3,57	5,96	7,55	8,11	8,48	9,33
8,0	1,44	2,04	2,90	3,43	3,95	4,48	2,76	3,94	5,54	6,90	7,90	8,76	3,57	6,01	7,82	9,33	9,95	10,81
10,0	1,44	2,04	2,90	3,43	3,95	4,48	2,76	3,94	5,54	7,06	8,05	9,06	3,57	6,01	8,01	9,86	10,81	12,27

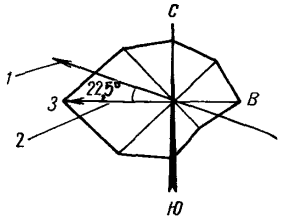


Рис. 10. Допустимое отклонение направления разгона наибольшей протяженности *1* от направления преобладающего ветра *2*

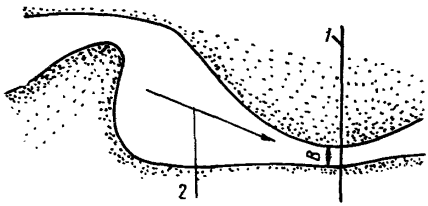


Рис. 11. План узкого водоема: *1* — трасса дороги; *2* — расчетное направление разгона

Если вблизи перехода имеется несколько метеостанций, то для расчета принимают данные метеостанций с более длительным периодом наблюдений.

5. При расчете на наибольший уровень (УВВ $_{0,33\%}$ для железных дорог и расчетный УВВ$_{1-2\%}$ для автомобильных дорог) значение W_{10} принимают равным среднемноголетней скорости ветра из наибольших наблюденных скоростей за паводочный период.

Для условий водохранилищ при расчете на ПУВВ указанных вероятностей превышения значения W_{10} также принимают равным среднемноголетней скорости из наибольших наблюденных скоростей на паводочный период. При расчетах на НПУ и другие длительно стоящие уровни значение W_{10} принимают равным максимальной наблюденной скорости ветра в период открытой воды [74].

При отсутствии данных наблюдений при наличии ряда наблюдений менее 10 лет расчетную скорость ветра рекомендуется принимать равной:

а) 20 *м/сек*, но не менее фактически наблюденной, для рек и водохранилищ при расчетах на УВВ$_{0,33\%}$ или на ПУВВ$_{0,33\%}$;

б) 30 *м/сек*, но не менее фактически наблюденной, для водохранилищ при расчете на НПУ и на другие более низкие подпертые уровни воды, а также для условий морских устьев рек при расчете на уровень ветрового нагона.

6. Разгон ветровой волны определяют одновременно по направлению преобладающего ветра и наибольшей протяженности поверхности воды, чтобы получить максимально возможное в данных условиях значение высоты волны [74].

Направление наибольшей протяженности разгона волн можно считать совпадающим с направлением преобладающего ветра, если угол между ними не превышает 22,5° (рис. 10).

Если для узкого водоема (рис. 11) отношение средней ширины разлива реки B к разгону D не больше 0,7, то расчетный разгон можно определять по формуле

$$D_р = \kappa_D D, \qquad (21)$$

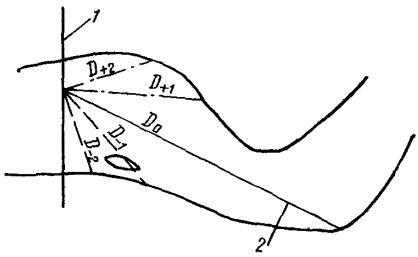


Рис. 12. Схема определения расчетного разгона:
1 — трасса дороги; *2* — направление расчетного разгона

где κ_D — поправочный коэффициент, зависящий от отношения $\frac{B}{D}$:

$\frac{B}{D}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	⩾0,7
κ_D	0,3	0,50	0,63	0,71	0,80	0,85	1,00

В узких водоемах, а также при сложной конфигурации береговой линии или наличии в пределах рассматриваемого участка островов, мысов и других препятствий (рис. 12) расчетный разгон волн определяют в следующем порядке:

1) проводят из рассматриваемой точки главный луч волн, по которому развивается волна наибольшей высоты в направлении против ветра, и по два боковых луча через угловой интервал 22,5° в каждую сторону от главного луча до пересечения их с линией берега (острова, мыса) или с границей ветрового поля;

2) измеряют длины этих лучей D, *км*, по полученным пяти направлениям (см. рис. 12);

3) определяют расчетный разгон волн по формуле

$$D_р = 0{,}27\,[D_0 + 0{,}85(D_{+1} + D_{-1}) + 0{,}5(D_{+2} + D_{-2})]. \qquad (22)$$

7. Когда пойма покрыта лесом или кустарником, препятствующим волнению, расчетная высота набега волны на откос может быть уменьшена за счет поправочного коэффициента.

Коэффициент уменьшения ветровой волны $\kappa_л$ определяют по графику (рис. 13) в зависимости от приведенных ширин полос леса $B_{пр.л}$, или $B_{пр.к}$, определяемых по формулам:

$$B_{пр.л} = \frac{B_л a}{b^2}; \qquad (23)$$

$$B_{пр.к} = \frac{0{,}16 B_к}{b^2}, \qquad (24)$$

где $B_{пр.л}$ — приведенная ширина полосы леса, *м*; $B_{пр.к}$ — то же, кустарника, *м*; $B_л$ — фактическая ширина полосы леса, *м*; $B_к$ — то же, кустарника, *м*; a — коэффициент, принимаемый равным 1,00, 1,40 и 1,80 при среднем диаметре деревьев соответственно 0,15, 0,20 и 0,25 *м*; b — фактическое расстояние между деревьями или кустами, *м*.

При пользовании графиком высоту волны $h_в$ устанавливают по табл. 6 и 7 для условия отсутствия леса и кустарника. Высоту волны с учетом залесенности определяют по формуле

$$h_{вл} = h_в \kappa_л. \qquad (25)$$

По вычисленной величине $h_в$ (см. табл. 6 и 7) определяют второй сомножитель в формуле (25).

8. При косом подходе волн при $m > 1$ и $\beta \geqslant 30°$ в величину наката вводят поправочный коэффициент

$$\kappa_\beta = \frac{1 + 2 \sin \beta}{3}, \qquad (26)$$

где β — угол между лучом волны и линией уреза воды на откосе сооружения.

9. На судоходных реках и каналах в необходимых случаях для назначения укреплений рассчитывают судовую волну и ее накат на откос сооружения.

Расчет выполняют для РСУ и наинизшего уровня навигации.

Для судов обычного типа расчет выполняют согласно разделу VII СН 92-60 [72].

Для судов на подводных крыльях производят специальный расчет.

10. Гашение ветровых волн, угрожающих земляному полотну на поймах и в акваториях водохранилищ, осуществляется специальными плавучими устройствами или на самом откосе, укрепления которого выбирают соответственно высоте волны.

Плавучие устройства для гашения волн в качестве постоянных установок на проектируемых мостовых переходах обычно не применяют, так как они требуют дополнительного надзора. Однако на существующих мостовых переходах в условиях пропуска высоких паводков, угрожающих устойчивости земляного полотна, плавучие устройства применяют, используя имеющиеся материалы (бревна, снеговые щиты и др.).

Значения допускаемой высоты волны для различных типов укреплений приведены в табл. 4.

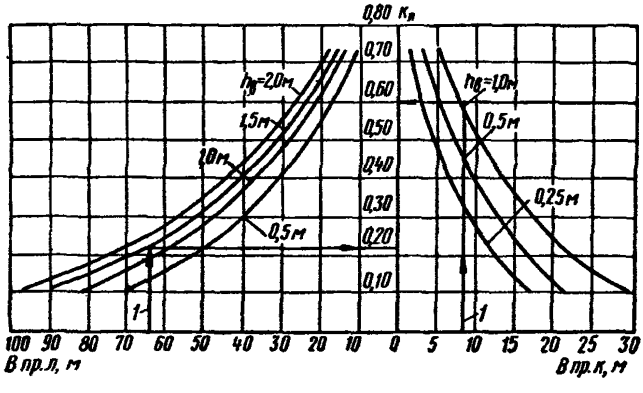


Рис. 13. График для определения коэффициента уменьшения высоты волны при наличии леса или кустарника:

1 — последовательность действий при определении коэффициента уменьшения волны по данным $B_{пр.л}$ или $B_{пр.к}$ и $h_в$

§ 69. РАСЧЕТЫ ДЛЯ НАЗНАЧЕНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ ОТМЕТОК БРОВОК ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И БЕРМ

1. *План, продольный и поперечные профили пойменной насыпи* проектируют по действующим нормам проектирования железных и автомобильных дорог [62, 63] на основе материалов обследования гидрологического режима реки, климатических особенностей местности, геологического строения долины реки, физико-механических свойств грунтов основания и тела насыпи.

Пойменная насыпь имеет два характерных участка:

первый, непосредственно примыкающий к мосту, у которого наинизшая отметка бровки земляного полотна определяется в зависимости от класса реки, высоты пролетных строений и расчетных уровней;

второй, у которого наинизшая отметка бровки земляного полотна должна удовлетворять п. 2.

В необходимых случаях, указанных в § 70, пойменные насыпи устраивают с бермами. Укрепление откосов земляного полотна, защищающее его от воздействия течения, ледохода и волны, выполняют согласно п. 10 § 65.

2. *Бровка земляного полотна на подходах к мостам* через большие и средние реки в пределах разлива и при расположении дороги вдоль рек на их поймах, а также бровки водоразделительных дамб должны возвышаться над уровнем воды заданной вероятности превышения (см. п. 1 § 28) с учетом подпора и наката волны (см. § 55 и 68) на величину технического запаса, который должен быть не менее 0,50 *м* и не менее стандартной ошибки $\Delta H'_{P\%}$ в уровне заданной вероятности превышения.

Стандартная ошибка в уровне зависит от режима реки и морфометрических характеристик створа перехода. Для вычисления ошибки в уровне $\Delta H'_{P\%}$ вычисляют ошибку расхода $\Delta Q_{P\%}$ и, пользуясь зависимостью $Q=f(H_y)$, определяют величину $\Delta H'_{P\%}$. Зависимость $Q=f(H_y)$ устанавливают по рекомендациям гл. II и III.

Стандартную ошибку $\Delta Q_{P\%}$ (со знаком плюс) расхода воды заданной вероятности превышения вычисляют по формуле (9) гл. V.

Порядок расчета технического запаса следующий:

1) по формуле (9) гл. V определяют величину $\Delta Q_{P\%}$;

2) определяют расход $Q'_{P\%}$ с учетом вероятной ошибки

$$Q'_{P\%}=Q_{P\%}+\Delta Q_{P\%};$$

3) по зависимости $Q=f(H_y)$ определяют уровни воды $УВВ'_{P\%}$ и $УВВ_{P\%}$, соответствующие расходам $Q'_{P\%}$ и $Q_{P\%}$;

4) определяют разность $УВВ'_{P\%}-УВВ_{P\%}=\Delta H'_{P\%}$ и сравнивают ее с требуемым минимальным техническим запасом 0,5 *м*; к расчету принимают большую из этих величин.

Бровки берм у земляного полотна на пойме должны иметь запас над уровнем заданной вероятности превышения (с учетом подпора и наката волны) не менее 0,25 *м*.

Для рек с неустойчивым руслом, где связь расхода с уровнем выражается несколькими зависимостями $Q=f_i(H_у)$, расчет выполняют по зависимости, дающей большее значение $\Delta H_{P\%}$.

3. Если насыпь расположена на открытой пойме и уровень высокого ледохода (УВЛ) выше бровок русла с верховой стороны, то льдины, плывущие на пойме, подходя к насыпи, могут создать навал льда на ее откос. Навал льда возможен и при заросшей пойме при пересечении крупных проток и в случаях, когда УВЛ выше верха кустарниковой растительности.

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, ее принимают равной $e_л \approx 3t_л$, где $t_л$ — толщина льдин.

Определив $e_л$, вычисляют отметку верха навала как УВЛ$+e_л$.

Минимальная отметка бровки пойменной насыпи, определенная согласно п. 2, должна быть не ниже отметки верха навала льда.

Если на участке мостового перехода наблюдаются заторы или зажоры льда, то установленная согласно п. 2 минимальная отметка бровки насыпи должна быть не ниже отметки наивысшего заторного или зажорного уровня плюс $1{,}5t_л$.

4. На поймах горных и полугорных рек со значительными скоростями течения минимальную отметку бровки насыпи, установленную согласно п. 2, проверяют по набегу воды на откос насыпи.

Набег $\Delta h_{наб}$ определяют по формуле

$$\Delta h_{наб} = \frac{u^2 \sin^2 \alpha}{g},$$

где u — средняя бытовая скорость течения на вертикали с максимальной глубиной в месте пересечения крупных проток, *м/сек*; α — угол между направлением течения и трассой дороги.

В этих случаях минимальная отметка бровки насыпи должна быть не менее УВВ$_{P\%}+\Delta h_{наб}+0{,}5$ *м*.

§ 70. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ НАЗНАЧЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И ТИПОВ УКРЕПЛЕНИЙ

1. Поперечный профиль пойменной насыпи и тип укрепления откосов могут различаться по длине подтопляемой насыпи, что вызывается необходимостью учета речных воздействий при постоянном или периодическом подтоплении земляного полотна в местах пересечения озер, болот, наледей, стариц, рукавов и пойменных проток.

К таким воздействиям относятся: изменение скорости вдоль насыпи при косых пересечениях, а также при пересечениях проток, стариц и рукавов, волнение искусственно ограниченной акватории на пойме, внутригодовое колебание уровня подтопления, длительность подтопления при разных уровнях воды, ледовые образо-

вания, набег воды на насыпь при перекрытии проток к предгорной местности.

2. При отсутствии данных непосредственных измерений скорость течения вдоль насыпи при косых пересечениях определяют по морфоствoрам, разбиваемым перпендикулярно к основному течению, в количестве, необходимом для проектирования с учетом указаний § 55 и гл. III. В сложных случаях строят кривую изменения скорости течения вдоль проектируемой насыпи.

3. Высоту ветровой волны с накатом в пойменных акваториях определяют для заданных постоянных уровней подтопления, при которых возможно разрушение откосов подходов (см. § 68).

4. При открытой пойме и движении льдин вдоль насыпи необходимо предусматривать меры по укреплению откосов.

Если на реке наблюдаются ледовые образования, необходимо установить места заторов и навалов льда на насыпь. Подобные явления могут возникнуть и на пойме. Отметку навала льда на насыпь определяют согласно п. 3 § 68. Учет этих явлений необходим при назначении размеров поперечного профиля земляного полотна и типов укреплений.

5. В местах пересечения стариц, проток, озер и т. п., а также искусственно создаваемых водоемов в пониженных местах поймы определяют внутригодовое колебание уровней воды с оценкой длительности подтопления насыпи подходов на отдельных участках.

Эту оценку выполняют по графику ежедневных уровней воды для года с расчетным паводком. Для этого на продольном профиле подходов устанавливают по характерным участкам наинизшие уровни подтопления, соответствующие средним отметкам дна на этих участках, по которым и оценивают длительность подтопления.

6. Конструкцию поперечного профиля земляного полотна устанавливают согласно СН 61-59 [76] и типовых проектов сооружений на автомобильных дорогах с учетом воздействий речного потока на отдельные участки пойменной насыпи, определенных по пп. 2—5.

7. Для целей борьбы с разрушением откосов пойменных насыпей и ремонта в процессе эксплуатации с применением механизации ширину берм назначают не менее 4 *м*.

Отметки берм с учетом гидрологических условий назначают в соответствии с рекомендациями § 69.

8. Для укрепления подтопленных насыпей на поймах рек от размывов их подошв в местах староречий, проток, озер применяют дополнительные каменные опорные призмы на необходимую глубину и ширину, установленную в проекте.

Ширину призм принимают по местным условиям.

§ 71. РАСЧЕТЫ ДЛЯ ЗАТОПЛЯЕМЫХ ПОЙМЕННЫХ НАСЫПЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

1. Затопляемые пойменные насыпи устраивают на подходах к низководным и наплавным мостам, паромным и ледяным переправам и бродам, устраиваемым на автомобильных дорогах низших ка-

тегорий. Затопляемые насыпи можно применять на подходах к высоководным мостам, если устройство незатопляемой насыпи экономически нецелесообразно.

На реках с ледоходом, заходящим на пойму, перелив через пойменную насыпь нежелателен.

2. Затопляемые подходы к высоководным мостам могут быть применены на первой стадии строительства с последующим их переустройством на незатопляемые при условии надлежащего заглубления фундаментов опор моста.

3. Затопляемые пойменные насыпи проектируют с допущением экономически оправданного перерыва движения. Длительность перерыва движения по дороге зависит от отметки бровки затопляемой насыпи. Поэтому определение наивыгоднейшей отметки бровки является основной задачей при проектировании затопляемых пойменных насыпей.

Для решения этой задачи определяют длительность стояния воды при различных горизонтах.

4. Наивыгоднейший вариант затопляемой насыпи выбирают путем сравнения вариантов с разными отметками бровки. Сравнение вариантов выполняют по следующей методике [80].

На основе анализа водомерного графика и кривой вероятности превышения паводков различной высоты составляют таблицу зависимости продолжительности затопления $t_{пер}$ от высоты слоя переливающейся воды при расчетном паводке $h_н$ или от соответствующей отметки бровки земляного полотна и устанавливают вероятность затопления насыпи при разных ее высотах.

Каждой продолжительности перерыва движения соответствуют потери от задержки грузов в пути или от удлинения их пробега.

Для их оценки определяют годовую экономию от снижения строительных затрат ΔC, которая выражается уменьшением строительной стоимости моста ΔM и подходов к нему ΔH и увеличением стоимости укреплений $\Delta У$:

$$\Delta C = \Delta M + \Delta H - \Delta У. \qquad (27)$$

Вариант с затоплением насыпи выгоднее, если

$$\Delta C > \sum П_г, \qquad (28)$$

где ΔC — сокращение строительной стоимости перехода с затопляемой насыпью по сравнению с обычным переходом; $\Sigma П_г$ — потери от задержек в движении транспортных средств [7].

5. Минимальная отметка бровки затопляемых пойменных насыпей должна быть не ниже отметки, требуемой из условий проектирования дорожной одежды при отсутствии затопления.

Типы укреплений обочин и низового откоса назначают в зависимости от скоростей воды при переливе, величины которых устанавливают в результате гидравлического расчета [7].

6. Задачей гидравлического расчета затопляемых насыпей является определение глубин и скоростей в характерных точках поперечного сечения полотна дороги.

Гидравлический расчет перелива через насыпь не исключает расчетов устойчивости откосов насыщенной водой насыпи.

Для определения окончательной стоимости перехода с затопляемой насыпью и с соответствующим ее укреплением назначают отверстие моста и определяют скорость переливающегося потока.

§ 72. 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 п. 7 § 69.

При проектировании мостового перехода на втором пути выбирают его положение относительно существующего перехода (сторонность). Помимо этих условий проектирования, 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 гидрологическим характеристикам перехода;

г) очертание, размеры и состояние регуляционных сооружений и укреплений, их соответствие гидрологическим характеристикам перехода и нормам.

2. Для анализа и учета перечисленных условий проводят обследование и классификацию мостовых переходов первого пути согласно указаниям § 9; в сложных случаях прибегают к моделированию.

Учитывают также минимальное междупутье между существующим и проектируемым 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. 8) следует рассматривать весь комплекс условий с учетом указаний § 55 и 61. Решение принимают на основе сравнения вариантов.

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.

Таблица 8

Характеристика существующего перехода	Желательное положение второго пути относительно первого
Интенсивные русловые деформации, большие размеры ямы общего размыва 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 свала 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 при отсутствии заградительной дамбы	С верховой стороны с ликвидацией или уменьшением косины пересечения
Косое пересечение поймы при положении трассы вверх по течению и образование мощного пойменного потока вдоль насыпи	С низовой стороны с ликвидацией или уменьшением косины

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.

4. Мероприятия по реконструкции подходных пойменных насыпей проектируют с учетом работы регуляционных сооружений и отверстия мостового перехода в соответствии с рекомендациями гл. VIII и X, а также с учетом табл. 8.

Приложение 1 (к гл. III)

ФОРМА АКТА ОПРОСА О РЕЖИМЕ РЕКИ

«——» ——————— 197 г

Мы (я), нижеподписавшиеся ———————————————

———————————————————————————

опросили тов.———————————————————————

————————года рождения, проживающего———————————

———————————————————————————

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. Наибольшие интенсивности подъема и спада уровня воды (в *м/ч*).

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 (интенсивным, слабым). 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), уровни подвижек льда ———————————

———————————————————————————

Уровень высокой подвижки льда———

О заторах льда ———

О карчеходе. Размеры отдельно плывущих деревьев, частей сорванных мостов и строений, копен и т. д. ———

3. Паводки.

Кроме весенних половодий, на реке наблюдаются летние (осенние) паводки, уровни которых выше (ниже равны) уровням весенних половодий. Подъем уровня воды происходит за ——часов (дней), на пике уровень держится——часов (дней), а спад происходит——часов (дней).

Наибольшая интенсивность подъема уровня воды≈——*м/ч*, а спада≈ ——*м/ч*.

Характеристика состояния потока: скорости, движение валунов и камней по дну, наличие карчей и прочих плывущих предметах ———

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 ливня (затяжного дождя). На пике уровень держится—— часов (дней). Паводки наблюдаются в ——месяцы.

4. Наблюдавшиеся высшие уровни воды.

Самый высокий уровень воды 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, высокие уровни наблюдались в ——— годах

В текущем ——— году максимальный уровень воды наблюдался в ——— месяце, ——— числа и дошел до ———

5. Прохождение шуги.

Осенью (в начале зимы) наблюдается (не наблюдается) ледоход или шугоход, который сопровождается подъемом уровня воды в реке ———

Интенсивность осеннего ледохода, его даты, толщина льда ———

6. Ледостав.

Ледостав наступает в ——— месяце и длится до ———. Уровень ледостава выше (ниже, равен) летней (зимней) межени. Образование наледей, происхождение их, образование и мощность ———

7. Меженные уровни.

Уровень летней межени выше (ниже) на ——— *м* настоящего уровня ———, а зимой выше (ниже) на ——— *м* ———

Тов. ———

указаны точки УВВ:

——— года с отметкой ———

——— » » » ———

——— » » » ———

8. Прочие явления (о промерзании, просыхании, размывах, перемещении русла и русловых форм, прорывах плотин, условиях сплава, судоходства и пр.)

Записано с моих слов верно: ——— ( ).

Опрос произвел ——— ( ).

Акт принял начальник партии ——— ( ).

Схема точек УВВ прилагается.

Нивелировку точек УВВ произвел ———

в журнале ——— № ———

——— (дата) ——— (подпись) ( )

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА КРУПНООБЛОМОЧНОГО АЛЛЮВИЯ

Гранулометрический состав крупнообломочного аллювия определяют весовым способом. Объем пробы должен быть не менее 1 $м^3$. Гранулометрический состав определяют не менее чем в трех точках в створе проектируемого моста.

Для валунов, взвешивание которых на весах затруднительно, замеряют их объем (рис. 1), который умножается на объемный вес камня.

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%. Производится обмер всех крупных валунов $d>100$ *мм* подряд без сортировки. При этом фиксируются размеры каждого валуна. В дальнейшем при камеральной обработке производится выборка по фракциям. Точный объем выработки не оговаривается. Полевые записи и результаты обработки помещаются в прилагаемых формах и на рис. 2.

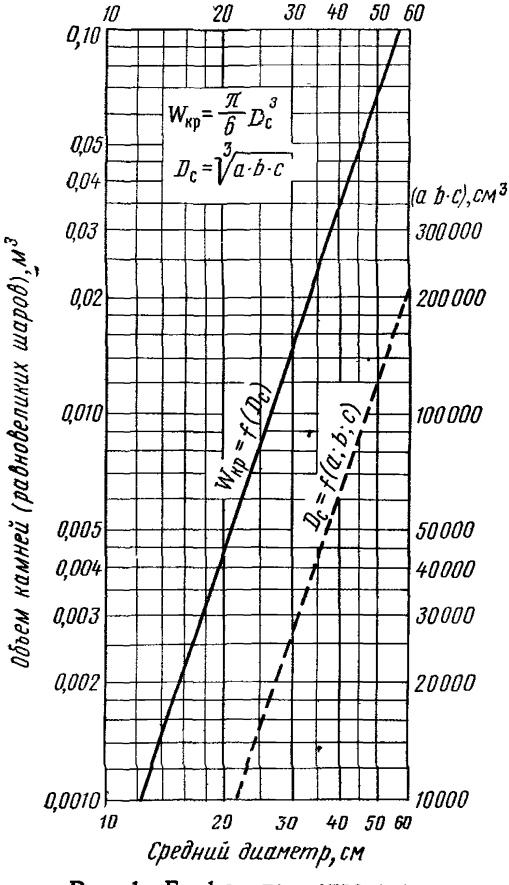


Рис. 1. График для определения среднего диаметра и объема камней

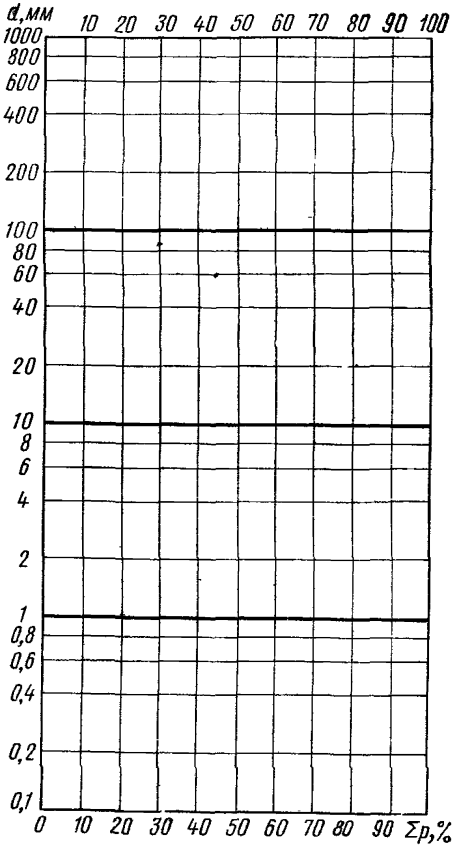


Рис. 2. Клетчатка для построения гранулометрической кривой

Форма 1

Наименование и номер выработки
Местоположение выработки: *км* пк+
Отметка поверхности земли
Размеры выработки: площадь $м^2$,
глубина $h=$ *м*, объем= $м^3$.

№ п/п	Размеры камней, *см*			$a \times b \times c$	D, *см*	Объем камней $W_{кр}$, $м^3$	№ групп
	a	b	c				

Форма 2

№ групп	Средний диаметр, *мм*	Количество, шт.	Общий объем $W_{кр}$, $м^3$	%
	Сумма			100

Форма 3

Наименование и номер выработки
Номер лабораторной пробы
Глубина взятия пробы
Пористость грунта $n=$
Содержание крупных фракций (>100 *мм*)

$$P_{кр} = \frac{\Sigma W_{кр}}{(1-n)\, W_{выр}} 100 = \frac{\qquad}{\qquad} 100 = \frac{\qquad}{\qquad} \%$$

	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 $\kappa_1 = P_{кр} : 100 =$					
	400	450						220	
	300	350						195	
	200	250						170	
	150	175						142	
	120	135						127	
	100	110						115	

Продолжение

	Гранулометрический состав			Пересчет гранулометрического состава				Гидравлическая крупность	
	от до	d, *мм*	p, %	κ	p, %	Σp	dp	w, *см/сек*	wp
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}	$\bar{d}$	

Приложение 3 (к гл. V)

КООРДИНАТЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КЛЕТЧАТКИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ХАЗЕНА

Вероятность превышения P, %	Горизонтальные расстояния от средней абсциссы, $P = 50\%$	Вероятность превышения P, %	Горизонтальные расстояния от средней абсциссы $P = 50\%$	Вероятность превышения P, %	Горизонтальные расстояния от средней абсциссы $P = 50\%$	Вероятность превышения P, %	Горизонтальные расстояния от средней абсциссы $P = 50\%$
50,00	0	22,0	33,2	6,00	66,8	0,50	110,7
48,00	2,2	20,00	36,2	5,00	70,7	0,40	114,0
46,00	4,3	19,00	37,7	4,50	72,8	0,30	118,1
44,00	6,5	18,00	39,4	4,00	75,3	0,20	123,7
42,00	8,7	17,00	41,0	3,50	77,9	0,10	132,9
40,00	10,9	16,00	42,8	3,00	80,9	0,09	134,2
38,00	13,1	15,00	44,6	2,50	84,3	0,08	135,7
36,00	15,4	14,00	46,4	2,00	88,3	0,07	137,3
34,00	17,7	13,00	48,4	1,50	93,3	0,06	139,2
32,00	20,1	12,00	50,5	1,00	100,0	0,05	141,5
30,00	22,5	11,00	52,7	0,90	101,7	0,04	144,2
28,00	25,1	10,00	55,1	0,80	103,6	0,03	147,6
26,00	27,7	9,00	57,6	0,70	105,7	0,02	152,2
24,00	30,4	8,00	60,4	0,60	108,0	0,01	159,9
		7,00	63,5				

Примечание. Горизонтальные расстояния могут быть приняты в любых единицах в зависимости от желаемого размера чертежа.

Приложение 4 (к гл. V)

КООРДИНАТЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СПРЯМЛЯЮЩИХ КЛЕТЧАТОК Н. Н. ЧЕГОДАЕВА

P, %	Горизонтальные расстояния от средней абсциссы $P = 50\%$			P, %	Горизонтальные расстояния от средней абсциссы $P = 50\%$		
	Снеговой сток с бассейнов		ливневой сток, средние бассейны		Снеговой сток с бассейнов		Ливневой сток, средние бассейны
	больших	малых			больших	малых	
50	0,0	0,0	0,0	30	22,3	22,4	22,5
48	2,2	2,2	2,2	28	24,7	24,9	25,0
46	4,3	4,3	4,3	26	27,2	27,5	27,6
44	6,5	6,5	6,5	24	29,7	30,0	30,2
42	8,7	8,7	8,7	22	32,4	32,8	33,0
40	10,9	10,9	10,9	20	35,2	35,7	35,9
38	13,1	13,1	13,1	19	36,6	37,2	37,5
36	15,3	15,4	15,4	18	38,0	38,8	39,0
34	17,6	17,7	17,7	17	39,5	40,3	40,6
32	19,9	20,0	20,1	16	41,1	42,0	42,3

P, %	Горизонтальные расстояния от средней абсциссы $P = 50\%$			P, %	Горизонтальные расстояния от средней абсциссы $P = 50\%$		
	Снеговой сток с бассейнов		Ливневой сток, средние бассейны		Снеговой сток с бассейнов		Ливневой сток, средние бассейны
	больших	малых			больших	малых	
15	42,7	43,7	44,1	0,9	83,2	92,4	96,3
14	44,3	45,5	45,9	0,8	84,2	93,7	97,8
13	46,0	47,3	47,8	0,7	85,2	95,2	99,6
12	47,8	49,2	49,8	0,6	86,4	96,9	101,4
11	49,7	51,3	51,9	0,5	87,7	98,9	103,8
10	51,6	53,5	54,2	0,4	89,2	101,2	106,4
9	53,7	55,8	56,6	0,3	91,2	104,0	109,7
8	55,9	58,3	59,2	0,2	93,5	107,7	114,1
7	58,3	61,0	62,1	0,1	97,0	113,5	121,2
6	60,9	63,9	65,3	0,09	97,5	114,3	122,1
5	63,7	67,4	68,8	0,08	98,0	115,2	123,2
4,5	65,2	69,1	70,8	0,07	98,6	116,2	124,4
4	66,9	71,1	73,1	0,06	99,2	117,2	125,9
3,5	68,8	73,5	75,3	0,05	100,1	118,6	127,5
3	70,7	76,1	78,1	0,04	100,8	120,1	129,4
2,5	72,9	78,7	81,2	0,03	101,9	121,4	131,8
2	75,5	82,0	84,6	0,02	103,2	124,5	135,0
1,5	78,5	86,0	89,1	0,01	105,2	128,6	140,3
1	81,7	91,0	94,9				

Примечание. Горизонтальные расстояния могут быть приняты в любых единицах в зависимости от желаемого размера чертежа.

Приложение 5 (к гл. V)

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	3,48	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

$$\frac{C_s}{C_v} = 1{,}0$$

P, %	C_v									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
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
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	0,03	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
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 3	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
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

ОТКЛОНЕНИЕ ОРДИНАТ КРИВОЙ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПРЕВЫШЕНИЯ ПИРСОНА III ТИПА ОТ СЕРЕДИНЫ ПРИ $\bar{x}=1$ И $C_v=1$ (ПО ФОСТЕРУ — РЫБКИНУ)

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	2,14	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
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

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
—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

C_s	Вероятность									
	0,1	0,33	1	2	5	10	20	25	30	40
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
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

превышения, %

50	60	70	75	80	90	95	97	99	99,9
—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
—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

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ СЕРЕДИНЫ ОРДИНАТ КРИВОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПРИ C_v=1,00 И ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ АСИММЕТРИИ

C_s	Вероятность									
	0,1	0,33	1	2	5	10	20	25	30	40
—0,0	3,09	2,71	2,33	2,04	1,54	1,28	0,84	0,67	0,52	0,25
—0,1	2,95	2,60	2,25	1,98	1,61	1,27	0,85	0,68	0,53	0,27
—0,2	2,81	2,53	2,18	1,92	1,58	1,26	0,85	0,69	0,55	0,28
—0,3	2,67	2,39	2,10	1,88	1,55	1,24	0,85	0,70	0,56	0,30
—0,4	2,54	2,30	2,03	1,82	1,52	1,23	0,85	0,71	0,57	0,31
—0,5	2,40	2,18	1,96	1,78	1,49	1,22	0,85	0,71	0,58	0,33
—0,6	2,27	2,08	1,88	1,72	1,45	1,20	0,85	0,72	0,59	0,34
—0,7	2,14	1,98	1,81	1,66	1,42	1,18	0,85	0,72	0,60	0,36
—0,8	2,02	1,88	1,74	1,60	1,38	1,17	0,85	0,73	0,60	0,37
—0,9	1,90	1,78	1,66	1,54	1,35	1,15	0,85	0,73	0,61	0,38
—1,0	1,79	1,69	1,59	1,50	1,32	1,13	0,85	0,73	0,62	0,39
—1,1	1,68	1,60	1,52	1,48	1,28	1,10	0,85	0,74	0,62	0,41
—1,2	1,58	1,52	1,45	1,36	1,24	1,08	0,84	0,74	0,63	0,42
—1,3	1,48	1,44	1,38	1,31	1,20	1,06	0,84	0,74	0,63	0,43
—1,4	1,39	1,36	1,32	1,26	1,17	1,04	0,83	0,73	0,64	0,44
—1,5	1,31	1,30	1,26	1,22	1,13	1,02	0,82	0,73	0,64	0,45
—1,6	1,24	1,23	1,20	1,16	1,10	0,99	0,81	0,73	0,64	0,46
—1,7	1,17	1,16	1,14	1,12	1,06	0,97	0,81	0,72	0,64	0,47
—1,8	1,11	1,10	1,09	1,06	1,02	0,94	0,80	0,72	0,64	0,48
—1,9	1,05	1,05	1,04	1,02	0,98	0,92	0,79	0,72	0,64	0,48
—2,0	0,999	0,997	0,99	0,99	0,95	0,90	0,78	0,71	0,64	0,49
—2,1	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	0,88	0,76	0,70	0,64	0,49
—2,2	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,85	0,75	0,69	0,63	0,49
—2,3	0,87	0,87	0,87	0,86	0,86	0,82	0,73	0,68	0,62	0,49
—2,4	0,83	0,83	0,83	0,83	0,82	0,79	0,71	0,66	0,62	0,50
—2,5	0,80	0,80	0,80	0,80	0,79	0,77	0,70	0,65	0,61	0,50
—2,6	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76	0,74	0,68	0,64	0,60	0,50
—2,7	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	0,72	0,67	0,63	0,60	0,50
—2,8	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,70	0,65	0,62	0,59	0,50
—2,9	0,69	0,69	0,69	0,68	0,68	0,67	0,64	0,61	0,58	0,50
—3,0	0,67	0,67	0,67	0,66	0,66	0,65	0,62	0,60	0,57	0,50

Приложение 8 (к гл. VIII)

ПРИМЕР РАСЧЕТА ОБЩЕГО РАЗМЫВА ПО ГИДРОГРАФУ ПАВОДКА

Исходные данные. Река равнинная с двусторонней поймой; русло шириной $B_р$=65 *м* и поймы в районе мостового перехода сложены однородным песком со средним диаметром частиц d=1 *мм*; бытовой уклон водной поверхности $i_б$=0,0003. Гидрологические характеристики живого сечения реки в створе мостового перехода при расчетном расходе приведены в табл. 1.

Отметка поверхности воды в створе мостового перехода при расчетном паводке $H_у$=161,45 *м*, в межень $H_у$=158,80 *м*, средняя отметка дна $H_{дно}$=157,60 *м*.

Гидрограф расчетного паводка имеет форму равнобедренного треугольника и характеризуется продолжительностью в 10 суток и расходом на пике паводка Q=665 *м*³/*сек*. Расход в русле при выходе воды на пойму равен 150 *м*³/*сек*.

Отверстие моста $l_м$=91,2 *м*. Под мостом произведена срезка до отметки 159,30 *м*.

Решение. Треугольный гидрограф (рис. 1) заменяем ступенчатым, деля его по высоте на три равные части. Для каждой ступени устанавливаем расходы воды Q и продолжительность каждой ступени t, а по кривой $Q=f(H_у)$ опреде-

превышения, %

50	60	70	75	80	90	95	97	99	9,99
0,00	—0,25	—0,52	—0,67	—0,84	—1,28	—1,64	—1,88	—2,33	—3,09
0,02	—0,24	—0,51	—0,66	—0,84	—1,29	—1,67	—1,92	—2,40	—3,23
0,03	—0,22	—0,50	—0,65	—0,83	—1,30	—1,70	—1,96	—2,47	—3,38
0,05	—0,20	—0,48	—0,64	—0,82	—1,31	—1,72	—2,00	—2,54	—3,52
0,07	—0,19	—0,47	—0,63	—0,82	—1,32	—1,75	—2,04	—2,61	—3,66
0,08	—0,17	—0,46	—0,62	—0,81	—1,32	—1,77	—2,08	—2,68	—3,81
0,10	—0,16	—0,44	—0,61	—0,80	—1,33	—1,80	—2,12	—2,75	—3,96
0,12	—0,14	—0,43	—0,59	—0,79	—1,33	—1,82	—2,15	—2,82	—4,10
0,13	—0,12	—0,41	—0,58	—0,78	—1,34	—1,84	—2,18	—2,89	—4,24
0,15	—0,11	—0,40	—0,57	—0,77	—1,34	—1,86	—2,22	—2,96	—4,38
0,16	—0,09	—0,38	—0,55	—0,76	—1,34	—1,88	—2,25	—3,02	—4,53
0,18	—0,07	—0,36	—0,54	—0,74	—1,34	—1,89	—2,28	—3,09	—4,67
0,19	—0,05	—0,35	—0,52	—0,73	—1,34	—1,91	—2,31	—3,15	—4,81
0,21	—0,04	—0,33	—0,51	—0,72	—1,34	—1,92	—2,34	—3,21	—4,95
0,23	—0,02	—0,31	—0,49	—0,71	—1,34	—1,94	—2,37	—3,27	—5,09
0,24	0,00	—0,30	—0,47	—0,69	—1,33	—1,95	—2,39	—3,33	—5,23
0,25	+0,02	—0,28	—0,46	—0,68	—1,33	—1,96	—2,42	—3,39	—5,37
0,27	0,03	—0,26	—0,44	—0,66	—1,32	—1,97	—2,44	—3,44	—5,50
0,28	0,05	—0,24	—0,42	—0,64	—1,32	—1,98	—2,46	—3,50	—5,64
0,29	0,07	—0,22	—0,40	—0,63	—1,31	—1,99	—2,49	—3,55	—5,77
0,31	0,08	—0,20	—0,39	—0,61	—1,30	—2,00	—2,51	—3,60	—5,91
0,32	0,10	—0,19	—0,38	—0,60	—1,29	—2,00	—2,53	—3,65	—6,06
0,33	0,11	—0,17	—0,37	—0,58	—1,28	—2,01	—2,55	—3,70	—6,20
0,34	0,12	—0,15	—0,35	—0,56	—1,27	—2,01	—2,56	—3,75	—6,34
0,35	0,14	—0,13	—0,33	—0,54	—1,25	—2,01	—2,57	—3,79	—6,47
0,36	0,15	—0,12	—0,32	—0,53	—1,24	—2,01	—2,58	—3,83	—6,60
0,37	0,17	—0,10	—0,30	—0,51	—1,23	—2,01	—2,59	—3,87	—6,73
0,38	0,18	—0,08	—0,28	—0,49	—1,21	—2,01	—2,60	—3,91	—6,86
0,38	0,20	—0,06	—0,27	—0,47	—1,20	—2,02	—2,61	—3,95	—6,99
0,39	0,21	—0,04	—0,26	—0,45	—1,19	—2,02	—2,62	—3,99	—7,12
0,40	0,23	—0,03	—0,25	—0,42	—1,18	—2,02	—2,63	—4,02	—7,29

Таблица 1

Гидрологические характеристики живого сечения реки в створе мостового перехода при расчетном расходе

Участки живого сечения	Расход, $м^3/сек$	Площадь живого сечения, $м^2$	Средняя скорость, $м/сек$	Ширина участка, $м$	Средняя глубина, $м$	Максимальная глубина, $м$
Коренное русло	325	250	1,30	65	3,85	4,77
Левая пойма	184	920	0,20	800	1,15	—
Правая пойма	156	650	0,24	500	1,30	—
Русло и поймы	665	1820	0,365	1365	—	—

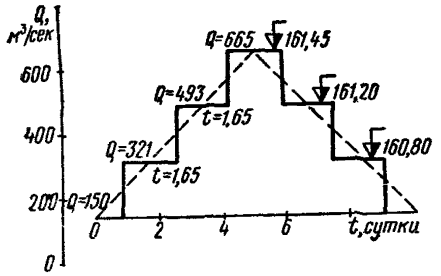


Рис. 1. Схематизированный гидрограф расчетного паводка

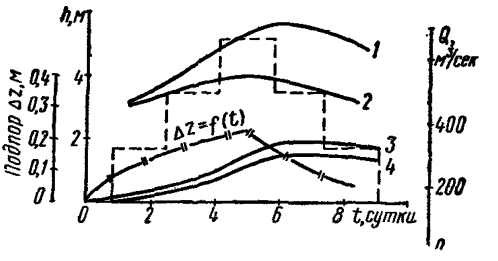


Рис. 2. Зависимости подпора и глубин размыва от времени:

1 — суммарная кривая общего и местного размыва; *2* — местный размыв; *3* — общий размыв на вертикали с максимальной глубиной; *4* — средняя глубина общего размыва

ляем соответствующие им отметки бытовых уровней и расходы русла $Q_{рб}$ (см. графу 4 в табл. 2).

Предварительно определяем длину распространения размыва L, коэффициент $M_р$, необходимый при вычислении объема смыва, и коэффициент η, характеризующий подпор.

По формуле (14) в гл. VIII

$$L = 0{,}67 \cdot 1{,}36 \cdot 0{,}365 \sqrt{\frac{865}{9{,}8 \cdot 0{,}0003}} = 180 \text{ м},$$

где $a = 1{,}36$ (см. табл. 9 в гл. VIII при $\frac{Fr}{i_б} = 0{,}05$ и $\frac{Q}{Q_м} = 2$).

При $l_п \approx l_л = 13{,}1$ м и $l_{сп} \approx l_{сл} = 100$ м по формуле (13) в гл. VIII

$$M_р = \frac{1}{2}(65 \cdot 180 + 13{,}1 \cdot 100 + 13{,}1 \cdot 100) = 7200 \text{ м}^2.$$

По табл. 5 в гл. VIII для равнинной реки с поймами, пропускающими

$$\frac{Q_л + Q_п}{Q} 100\% = \frac{184 + 156}{665} 100 \approx 50\%$$

расчетного расхода, принимаем $\eta = 0{,}075$.

Расчет общего размыва по гидрографу паводка, сведенный в табл. 2, производится в следующей последовательности.

В первую строку таблицы (графы 3—5) записываем расходы и отметку водной поверхности в бытовых условиях для первой ступени, а в графу 6 — первоначальную среднюю отметку дна в подмостовом русле. Для этого определяем площадь живого сечения под мостом с учетом срезки (графа 9) и среднюю глубину воды в отверстии моста $H_м = \frac{\omega_м}{l_м} = 2{,}71$ м. Тогда средняя отметка дна в отверстии $H_{дм} = H_у - H_м = 160{,}80 - 2{,}71 = 158{,}09$ м.

Расчет первой строки доводим до графы 32, где определяем разность твердых расходов, выносимых из-под моста $G_м$ и поступающих сверху через зону подпора $G_р$.

Предположительно принимаем небольшой слой смыва и записываем его в графу 34. Так как расчет начинается с первой ступени гидрографа, где расход воды еще сравнительно небольшой, то и слой смыва принимаем $\Delta h=0{,}10$ *м*. Уменьшаем на эту величину первоначальную отметку дна $H_д$ (графа 6) и продолжаем расчет второй строки до графы 32. Затем, зная среднюю разность твердых расходов, записанную между первой и второй строками в графе 33, и толщину смыва слоя (графа 34), определяем объем ΔW (графа 35) и время Δt, необходимое для смыва данного слоя (графа 36).

Так как время Δt меньше, чем продолжительность первой ступени, определяем время смыва следующего слоя.

На первой ступени гидрографа для смыва слоя в 0,25 *м* потребовалось время 2,08 суток (графа 37), а продолжительность ступени составляет 1,65 суток. Толщину слоя смыва определяем пропорционально времени последнего для ступени значения Δh следующим способом.

Из табл. 2 видно, что за время $(0{,}66+0{,}84)=1{,}5$ суток произошел размыв в 0,20 *м*, а продолжительность ступени равна 1,65 суток. Надо добрать недостающее время, равное $1{,}65-1{,}50=0{,}15$ суток. На размыв следующего слоя 0,05 *м* потребовалось 0,58 суток, а за 0,15 суток слой смыва составит

$$\frac{0{,}15\cdot 0{,}05}{0{,}58}\approx 0{,}01 \text{ м}.$$

Итак, за время первой ступени $t=1{,}65$ суток произошел размыв $\Sigma\Delta h=0{,}20+0{,}01=0{,}21$ *м* (графа 40).

После этого записываем в таблицу бытовые условия для второй ступени и продолжаем расчет. Отметка дна русла в начале второй ступени будет равна первоначальной за вычетом толщины слоя, смытого за время первой ступени: $H_д=158{,}09-0{,}21=157{,}88$ *м*.

При определении толщины слоя, смытого на второй, третьей и четвертой ступенях, принимали так же, как и для первой ступени Δh пропорционально времени смыва.

На пятой ступени разность твердых расходов оказывается уже отрицательной, т. е. под мостом происходит отложение наносов.

Подсчет, приведенный в табл. 2, показывает, что за время пятой ступени отложилось 0,05 *м*. Сумма глубин размыва на ступенях дает максимальный размыв, в примере равный 1,48 *м*.

Расчет в таблице производился на среднюю отметку дна под мостом или на среднюю глубину. Исходя из бытового соотношения максимальной глубины в русле к средней $a=\dfrac{4{,}77}{3{,}85}=1{,}24$ на пике паводка, условно принимаемого равным для всего гидрографа, умножаем глубину размыва на первой ступени, затем последовательно сложенную на первой и второй ступенях и т. д. на 1,24 и получаем график хода размыва на максимальной глубине во времени (рис. 2).

На этом графике показана зависимость местного размыва от времени, рассчитанная по ВСН 62-69 [71] для середины каждой ступени гидрографа паводка (табл. 3).

Так как вследствие размыва глубина и скорость на протяжении ступени изменяются, то при расчете местного размыва принимали среднее арифметическое значение их для данной ступени.

Расчет произведен в предположении, что опора расположена на максимальной глубине, поэтому значения глубин H умножены на отношение бытовых глубин 1,24, а скорости — на $1{,}24^{2/3}$, т. е. на 1,16. В расчете предполагалось, что опора на естественном основании (расчетная ширина $b=4$ *м* с коэффициентами $K=M=1$).

Расчет местного размыва по ступеням представлен в табл. 3.

Из графика (см. рис. 2) видно, что максимум местного размыва по времени не совпадает с максимумом общего размыва.

Таблица 2

Расчет общего размыва по гидрографу паводка

№ строки	№ ступени	Бытовые условия			В створе моста			
		Расход		Отметка поверхности воды $H_у$, м	Средняя отметка дна в отверстии $H_д$, м	Средняя глубина воды $H_м$, м	Размывающая скорость (по графику) $v_{ом}$, м/сек	Площадь сечения $\omega_м = l_м \times H_м$, м²
		общий Q, м³/сек	русла $Q_{р.б}$, м³/сек					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	321	222	160,80	158,09	2,71	0,83	247,2
2					157,99	2,81	0,835	256,3
3					157,89	2,91	0,84	265,4
4					157,84	2,96	0,84	270,0
5		493	270	161,20	157,88	3,32	0,87	302
6					157,68	3,52	0,89	320
7	2				157,48	3,72	0,90	339
8					157,28	3,92	0,90	357
9		665	325	161,45	157,37	4,08	0,90	372
10	3				157,12	4,33	0,92	394
11					156,87	4,58	0,94	417
12					156,62	4,83	0,95	440
13	4	493	270	161,20	156,76	4,44	0,93	404
14					156,66	4,54	0,94	413
15	5	321	222	160,80	156,69	4,11	0,90	374
16					156,74	4,06	0,90	730

Продолжение табл. 2

№ строки	В зоне подпора						
	Скорость в нестесненном потоке $v_б = \frac{Q}{\Omega}$, м/сек	$v_м^2 = [10]^2$, м²/сек²	Подпор η [19] = =0,075 [19], м	Отметка поверхности воды $H_у$=[5]+ +[20], м	Глубина в русле $H_р$= [21] — $H_{дно}$	Площадь сечения русла $\omega_р = B_р H_р$, м	Средняя скорость в русле $v_р$, м/сек
	18	19	20	21	22	23	24
1	0,336	1,69	0,13	160,93	3,33	216	1,03
2	0,336	1,56	0,12	160,92	3,32	216	1,03
3	0,336	1,46	0,11	160,91	3,31	215	1,03
4	0,336	1,42	0,10	160,90	3,30	214	1,04
5	0,33	2,7	0,21	161,41	3,81	248	1,09
6	0,33	2,38	0,18	161,38	3,78	246	1,10
7	0,33	2,13	0,16	161,36	3,76	244	1,11
8	0,33	1,90	0,14	161,34	3,74	243	1,11
9	0,365	3,20	0,25	161,70	4,10	266	1,22
10	0,365	2,85	0,22	161,67	4,07	264	1,23
11	0,365	2,56	0,19	161,64	4,04	262	1,24
12	0,365	2,28	0,17	161,62	4,02	261	1,25
13	0,33	1,49	0,11	161,31	3,71	241	1,12
14	0,33	1,44	0,11	161,31	3,71	241	1,12
15	0,336	0,81	0,06	160,86	3,26	212	1,05
16	0,336	0,81	0,06	160,86	3,26	212	1,05

Продолжение табл. 2

№ строки	В створе моста							В зоне подпора
	Средняя скорость $v_м$, *м/сек*	$\frac{v_м}{v_{ом}}$	A (по графику), *кг/м³*	$\frac{d*}{H_м}$	$\left(\frac{d}{H_м}\right)^{3/5}$ (по графику)	Мутность [12]·[14]× $\times\rho_м$, *кг/м³*	Твердый расход $G_м=\rho_м Q=$ = [15]·[3], *кг/сек*	Площадь живого сечения в бытовых условиях, *м²*
1	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1,30	1,56	16	—	0,0052	0,0832	26,7	967
2	1,25	1,5	14	—	0,005	0,07	22,45	967
3	1,21	1,44	11	—	0,0049	0,054	17,3	967
4	1,19	1,42	10	—	0,0049	0,049	15,7	967
5	1,64	1,88	37,5	—	0,0045	0,169	83	1495
6	1,54	1,73	27	—	0,0043	0,116	57,2	1495
7	1,46	1,62	20	—	0,0042	0,084	41,4	1495
8	1,38	1,54	15,8	—	0,0041	0,0648	32,0	1495
9	1,79	1,99	47	—	0,0040	0,188	125	1820
10	1,69	1,84	34,5	—	0,0037	0,128	85	1820
11	1,60	1,70	25	—	0,0036	0,090	60	1820
12	1,51	1,59	17,7	—	0,0035	0,062	41,2	1820
13	1,22	1,32	7	—	0,0037	0,0259	12,8	1495
14	1,20	1,27	5,4	—	0,0037	0,020	9,86	1495
15	0,86	< 1	—	—	—	—	0	957
16	0,88	< 1	—	—	—	—	0	957

* При пользовании графиком не вычисляют.

Продолжение табл. 2

№ строки	В зоне подпора								Размыв
	Размывающая скорость (по графику) $v_{ор}$, *м/сек*	$\frac{v_р}{v_{ор}}$	A (по графику), *кг/м³*	$\frac{d*}{H_р}$	$\left(\frac{d}{H_р}\right)^{3/5}$	Мутность $\rho_р$ [27]·[29], *кг/м³*	Твердый расход $G_р$ [30]·[4], *кг/сек*	Разность твердых расходов, *кг/сек*	Средняя разность твердых расходов $\Delta G_{ср}$, *кг/сек*
1	25	26	27	28	29	30	31	32	33
1	0,87	1,18	3,0	—	0,0045	0,0135	3,0	23,7	21,6
2	0,87	1,18	3,0	—	0,0045	0,0135	3,0	19,45	
3	0,87	1,18	3,0		0,0045	0,0135	3,0	14,3	16,9
4	0,87	1,20	3,5		0,0045	0,0158	3,49	11,02	12,7
5	0,90	1,21	3,9		0,0041	0,016	4,31	78,69	65,7
6	0,90	1,22	4,0		0,0041	0,0164	4,42	52,78	44,7
7	0,90	1,23	4,4		0,0041	0,018	4,86	36,54	31,8
8	0,90	1,23	4,4		0,0041	0,018	4,86	27,14	
9	0,91	1,34	7,6		0,0040	0,0304	9,9	115,1	94,6
10	0,90	1,37	8,5		0,0040	0,034	11,0	74	61,2
11	0,90	1,38	9,0		0,0040	0,036	11,7	48,3	38,8
12	0,90	1,39	9,2		0,0040	0,0368	11,95	29,25	
13	0,90	1,24	4,5		0,0042	0,019	5,1	7,7	6,2
14	0,90	1,24	4,5		0,0042	0,019	5,1	4,76	
15	0,86	1,22	4,0		0,0046	0,0184	4,08	—4,08	4,08
16	0,86	1,22	4,0		0,0046	0,0184	4,08	—4,08	

Продолжение табл. 2

№ строки	Размыв							
	Слой смыва под мостом Δh, м	Объе смыва $\frac{\Delta h M_p}{1000}$, тыс. м³	Время смыва слоя $\Delta t = \frac{19{,}7\,\Delta W}{\Delta G_{ср}}$, сутки	Суммарное время размыва $t = \sum \Delta t$, сутки	Суммарная глубина размыва $\sum \Delta h$, м	Продолжительность одной ступени, сутки	Глубина размыва за ступень, м	Суммарная глубина размыва, м
1	34	35	36	37	38	39	40	41
1	0,10	0,72	0,66					
2	0,10	0,72	0,84	2,08	0,25	1,65	0,21	0,21
3	0,05	0,36	0,56					
5	0,20	1,44	0,51					
6	0,2	1,44	0,63	2,03	0,60	1,65	0,51	0,72
7	0,2	1,44	0,89					
8								
9	0,25	1,80	0,37					
10	0,25	1,80	0,58	1,87	0,75	1,65	0,69	1,41
11	0,25	1,80	0,92					
12								
13	0,10	0,72	2,29	2,29	0,10	1,65	0,07	1,48
14								
15	0,05	0,36	1,74	1,74	—0,05	1,65	—0,05	1,43
16								

Расчет местного размыва

Таблица 3

№ ступени	H, м	v, м/сек	$H_{max} = 1{,}24H$, м	$v_{max} = 1{,}16v$, м/сек	v_0, м/сек	$\frac{v_0}{w}$	$\frac{b}{H_{max}}$	β	$\left(\frac{v_0}{w}\right)^{\beta}$	$\frac{6{,}2\beta H_{max}}{[10]}$, м	$v_{max} - v_0$, м/сек	$\frac{v_{max} - v_0}{w}$	0,014 [13] b, м	$h = [11] + [14]$, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2,82	1,25	3,50	1,45	0,88	8,8	1,14	0,2	1,59	2,73	0,57	5,7	0,31	3,04
2	3,58	1,51	4,44	1,75	0,93	9,3	0,90	0,17	1,50	3,11	0,82	8,2	0,46	3,57
3	4,43	1,64	5,50	1,90	1,00	10,0	0,73	0,14	1,40	3,41	0,90	9,0	0,50	3,91
4	4,48	1,21	5,55	1,40	1,00	10,0	0,72	0,14	1,40	3,44	0,40	4,0	0,22	3,66
5	4,08	0,86	5,05	1,00	0,97	9,7	0,79	0,15	1,42	3,20	0,03	0,3	0,02	3,22

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Ю. В., Бликштейн С. М. Особенности проложения коммуникаций через реки вблизи мостов. — «Автомобильные дороги», 1967, № 12, с. 14—15.

2. Александров А. А. Расчеты высоты отложений жидких селевых потоков. Материалы V Всесоюзного совещания по изучению селевых потоков. Баку, Изд-во АН Азербайджанской ССР, 1962, с. 184—187.

3. Алтунин В. С. Моделирование общего и местного размывов подмостовых русел. Киев, Изд-во Киевского университета, 1969, с. 28—33. (Труды Второй Всесоюзной научно-технической конференции по гидравлике дорожных водопропускных сооружений).

4. Алтунин В. С. Масштабный эффект при моделировании размыва у гидротехнических сооружений. — «Гидротехническое строительство», 1971, № 11, с. 26—28.

5. Алтунин С. Т. Регулирование русел. М., Сельхозиздат, 1962, 352 с.

6. Альбом конструкций креплений откосов земляного полотна железных и автомобильных дорог общей сети Союза ССР. Инв. № 750. Мосгипротранс. Изд. Главтранспроекта, М., 1970, 197 с.

7. Андреев О. В. Расчет мостовых переходов с затопленными пойменными насыпями. Вып. 18, М., Дориздат, 1956. с. 105—123. (Труды МАДИ).

8. Андреев О. В., Журавлев М. М., Рассказов О. А. Вопросы мостовой гидравлики и гидрологии. М., «Транспорт», 1967. 200 с.

9. Бегам Л. Г. Лесонасаждения для защиты ж.-д. сооружений от вредных воздействий водных потоков. М., Трансжелдориздат, 1954. 128 с.

10. Бегам Л. Г., Лиштван Л. Л., Муромов В. С. Деформации подмостовых русел, М., «Транспорт», 1970. 200 с.

11. Боголюбова Т. В. Селевые потоки и их распространение на территории СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1957. 151 с.

12. Богомолов А. И., Михайлов К. А. Гидравлика. М., Стройиздат, 1965, 632 с.

13. Горинов А. В. Изыскания и проектирование железных дорог. Т. 1, М., «Транспорт», 1969. 366 с.

14. Грушевский М. С. Волны попусков и паводков на реках. Л., Гидрометеоиздат, 1969. 337 с.

15. Дополнения и уточнения к наставлению гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. I. Л., Гидрометеоиздат, 1963. 103 с.

16. Железняков Г. В. Гидравлическое обоснование методов речной гидрологии. М. — Л., АН СССР, 1950, 186 с.

17. Железняков Г. В. Гидрометрия. М., «Колос», 1964. 220 с.

18. Железняков Г. В. Теоретические основы гидрометрии. Л., Гидрометеоиздат, 1968, 292 с.

19. Железняков Г. В., Данилевич Б. Б. Точность гидрологических измерений и расчетов. Л., Гидрометеоиздат, 1966. 240 с.

20. Зайков Б. Д., Высокие половодья и паводки на реках СССР за историческое время. Л., Гидрометеоиздат, 1957. 134 с.

21. Знаменская Н. С. Грядовое движение наносов. Л., Гидрометеоиздат, 1968, 188 с.

22. Изыскания и проектирование автомобильных и железных дорог. Гидрологические расчеты мостовых переходов. Вып. 6. М., Оргтрансстрой, 1969. 39—49 с., 65—84 с.

23. Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям песка и гравия. М., Госгеолиздат, 1961. 56 с.

24. Инструкция по топографо-геодезическим работам для городского, поселкового и промышленного строительства (СН 212-62). М., Изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. 100 с.

25. Караушев А. В. Гидравлика рек и водохранилищ. Л., «Речной транспорт», 1955. 292 с.

26. Кондратьев Н. Е. Расчеты береговых переформирований на водохранилищах. Л., Гидрометеоиздат, 1960. 109 с.

27. Коржавин К. Н. Воздействие льда на инженерные сооружения. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1962. 203 с.

28. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. Гидрологические основы речной гидротехники. М., Изд-во АН СССР, 1950. 391 с.

29. Кузьмин И. А. О взаимодействии потока и грунта его ложа. Сб. двенадцатый, М.—Л., «Энергия», 1964, с. 286—293. (Труды Гидропроекта).

30. Латышенков А. М. Струенаправляющие дамбы. Изд-во Водгео. М., 1956. 196 с.

31. Латышенков А. М. Сравнение величин подмостового подпора по формулам различных авторов с замеренными в натуре. Сб. № 11, ВНИИ Водгео, М., Стройиздат, 1965. с. 290—295 (Труды гидрологической лаборатории).

32. Леви И. И. Динамика русловых потоков. М., Госэнергоиздат, 1957. 252 с.

33. Леви И. И. Моделирование гидравлических явлений. Л. Госэнергоиздат, 1967, 235 с.

34. Лисер И. Я. Весенние заторы льда на реках Сибири. Л., Гидрометеоиздат, 1967. 104 с.

35. Лиштван Л. Л. Определение отверстий средних и больших мостов при трассировании ж.-д. линий по картам. Технико-информационный сб. Мосгипротранса, № 4, Изд. Главтранспроекта, М., 1956. с. 17—26.

36. Лиштван Л. Л. Некоторые вопросы расчета общего размыва подмостовых русел. Сб. научных трудов. Вып. 17. Изд. ЦНИИСа, М., 1966. с. 114—122.

37. Материалы по расчетным характеристикам дождевых осадков. Л., Гидрометеоиздат, 1969. 396 с.

38. Методика геофизических исследований при инженерно-геологических изысканиях. Изд. ЦНИИСа, М., 1969. 224 с. (Труды производственного и научно-исследовательского ин-та по инженерным изы-

сканиям в строительстве Госстроя СССР. Т. I. Методика изысканий).

39. *Методическое руководство по гидрологическому обследованию* водотоков и разработке региональных норм максимального стока при проектировании автомобильных дорог. Изд. Союздорпроекта. М., 1970. 153 с.

40. Методические указания по обследованию водопропускной способности больших и средних мостов. Изд. ЦНИИСа, М., 1971. 38 с.

41. Методические указания по организации и производству наблюдений над селевыми потоками (Казахский НИГМИ). Л., Гидрометеоиздат, 1961. 104 с.

42. *Методические указания по производству* наземной стереофототеодолитной съемки. М., Оргтрансстрой, 1962. 46 с.

43. Методические указания по расчету общего размыва под мостами. Изд. ЦНИИСа, М., 1968. 52 с.

44. Методические указания по технологии подводной съемки мостовых переходов с применением ультразвуковой аппаратуры. Изд. ЦНИИСа, М., 1969. 22 с.

45. Методические указания управлениям Гидрометеослужбы № 81, Л., Гидрометеоиздат, 1971. 24 с.

46. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып 6. Ч. I. Гидрометеорологические наблюдения и работы на реках. Л., Гидрометеоиздат, 1957. 400 с.

47. Наставление по изысканиям ж.-д. мостовых переходов через водотоки. М., Минтрансстрой — Главтранспроект, 1957. 223 с.

48. Невский В. В. О некоторых вопросах расчета отверстий косых мостов. Сб. «Русловые процессы, гидравлика мостовых переходов и дорожных труб». Вып. 288. М., «Транспорт», 1968. с. 92—100. (Труды МИИТа).

49. Невский В. В. Использование гидроморфологических зависимостей для определения максимальных расходов рек. «Транспортное строительство», 1971, № 11, с. 41—42.

50. Нормы проектирования подмостовых габаритов на судоходных и сплавных реках и основные требования к расположению мостов (НСП 103—52). М., Изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1952. 20 с.

51. Поляков М. П. К вопросу об определении коэффициента общего размыва при различных углах пересечения водотока мостовым переходом. Вып. 48. Изд. Саратовского политехнического института. Саратов, 1971, с. 220—236 (Научные труды СПИ).

52. Попов И. В. *Деформации* речных русел и гидротехническое строительство. Л., Гидрометеоиздат, 1969. 363 с.

53. *Пособие по экстраполяции кривых* расходов воды до наивысших уровней (ГУГМС — ГГИ). Л., Гидрометеоиздат, 1966. 114 с.

54. Ротенбург И. Е. Вопросы гидравлического расчета и назначения отверстий мостов на переходах через равнинные реки. Саратов. изд-во Саратовского университета, 1960. 232 с.

55. Ротенбург И. С. и др. Проектирование мостовых переходов через большие водотоки. М., «Высшая школа», 1965. 336 с.

56. Ротенбург И. С., Вольнов В. С. Примеры проектирования мостовых переходов. М., «Высшая школа», 1969. 284 с.

57. Руководство по геологической документации при изысканиях для строительства. Фундаментпроект. М., Стройиздат, 1969. 90 с.

58. Соколовский Д. Л. Речной сток. Л., Гидрометеоиздат, 1968. 539 с.

59. Строительные нормы и правила. Ч. II. Разд. 4. Гл. 3. Сооружения мелиотология и геофизика. Основные положения проектирования (СНиП II-А 6-62). М., *Стройиздат*, 1963. 215 с.

60. Строительные нормы и правила. Ч. II. Разд. А. Гл. 13. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения (СНиП II-А. 13-69). М., Стройиздат, 1970. 24 с.

61. Строительные нормы и правила. Ч. II. Разд. Б. Гл. 1. Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования (СНИП II-Б. 1-62). М., Стройиздат, 1964. 21 с.

62. Строительные нормы и правила. Ч. II. Разд. Д. Гл. 1. Железные дороги колеи 1524 *мм* общей сети. Нормы проектирования (СНиП II-Д. 1-62). М., Стройиздат, 1964. 63 с.

63. Строительные нормы и правила. Ч. II. Разд. Д. Гл. 5. Автомобильные дороги общей сети Союза ССР. Нормы проектирования (СНиП II-Д. 5-62). М., Стройиздат, 1964. 36 с.

64. Строительные нормы и правила. Ч. II. Разд. Д. Гл. 7. Мосты и трубы. Нормы проектирования (СНиП II-Д. 7-62). М., Стройиздат, 1964. 64 с.

65. Строительные нормы и правила. Ч. II. Разд. 4. Гл. 3. Сооружения мелиоративных систем. Нормы проектирования (СНиП II-И. 3-62). М., Стройиздат, 1963. 40 с.

66. Строительные нормы и правила. Ч. III. Разд. Д. Гл. 2. Мосты и трубы. Правила организации и производства работ, приемка в эксплуатацию (СНиП III-Д. 2-62). М., Стройиздат, 1964. 88 с.

67. Студеничников Б. И. Размывающая способность потока и методы русловых расчетов. М., Стройиздат, 1964. 184 с.

68. Технические указания по изысканиям, проектированию и постройке железных дорог в районах вечной мерзлоты (ВСН 61-61). М., Оргтрансстрой, 1962. 147 с.

69. Технические указания по летно-съемочным работам и геодезической привязке аэроснимков для изготовления изыскательских планов. Изд. ЦНИИСа. М., 1969. 43 с.

70. Технические указания по применению аэрометодов при изысканиях мостовых переходов (ВСН 37-67). М., Оргтрансстрой, 1967. 59 с.

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

72. Технические условия определения волновых воздействий на морские и речные сооружения и берега (СН 92-60). М., Госстройиздат, 1960. 132 с.

73. Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб (СН 200-62). М., Трансжелдориздат, 1962. 328 с.

74. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Вып. 50. М. — Л., Гидроэнергоиздат, 1969. 772 с.

75. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик (СН 435-72). М., Госстройиздат. 36 с.

76. Указания по проектированию земляного полотна (СН 61-59). М., Госстройиздат, 1960. 207 с.

77. Указания по производству геодезических разбивочных работ при строительстве больших и внеклассных мостов. Изд. ЦНИИСа. М., 1971. 212 с.

78. Указания по расчету дождевых расходов. Изд. Союздорпроекта. М., 1971. 35 с.

79. Указания по расчету заиления водохранилищ при строительном проектировании. Л., Гидрометеоиздат, 1968. 55 с.

80. Указания по технико-экономическому обоснованию необходимости строительства и сравнения вариантов мостовых переходов и путепроводов (ВСН 34-67). М., «Транспорт», 1968. 37 с.

81. Условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. (Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР). М., «Недра», 1969. 142 с.

82. Херхеулидзе И. И. Графические решения некоторых задач инженерной гидравлики и гидрологии в мостовом и гидротехническом строительстве. М., Автотрансиздат, 1953. 59 с.

83. Херхеулидзе И. И. Вопросы гидрологии и гидравлики мостовых переходов. Сб. I Грузинского республиканского управления НТО СТ и ГХ. Тбилиси. «Заря Востока», 1958. 92 с.

84. Херхеулидзе И. И. Сквозные защитные и регулирующие сооружения из сборного железобетона на горных реках. М., Гидрометеоиздат, 1967. 131 с.

85. Херхеулидзе И. И. Обобщенный объемный метод расчета максимальных расходов дождевых паводков. Вып. 42(48). Л., Гидрометеоиздат, 1971. с. 3—25 (Труды ЗакНИГМИ).

86. Чертоусов М. Д. Гидравлика. М. — Л., Госэнергоиздат, 1962. 630 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Основные положения 5

Глава I.

Подготовительные и топографо-геодезические работы 7

§ 1. Выбор места перехода 7
§ 2. Сбор и обработка данных о районе перехода 8
§ 3. Определение объема и методов выполнения полевых работ, составление программы 12
§ 4. Трассирование мостовых переходов 14
§ 5. Применение аэрофотосъемки для составления генеральных и детальных планов мостового перехода. Фототеодолитная съемка 19
§ 6. Наземные крупномасштабные съемки для проектирования сооружений переходов 21
§ 7. Наземные съемки русел для прогнозирования руслового процесса 26
§ 8. Составление ситуационно-гидрологической схемы мостового перехода по имеющимся материалам 27
§ 9. Обследование водопропускной способности существующих мостовых переходов 29

Глава II.

Гидрометрические работы 30

§ 10. Организация работ, приборы и оборудование 30
§ 11. Измерение глубин 36
§ 12. Измерение уровней 38
§ 13. Измерение скоростей и направлений течения, судовых ходов, сплава и ледохода 40
§ 14. Камеральная обработка 48
§ 15. Применение аэрометодов для гидрометрических работ . . 53

Глава III.

Морфометрические работы 57

§ 16. Назначение морфометрических работ 57
§ 17. Определение гидрологических характеристик реки . . . 57
§ 18. *Обследование для русловых расчетов* 65
§ 19. Определение гидрологических характеристик для долинных ходов трассы 67
§ 20. Обследование существующих мостовых переходов . . . 69
§ 21. Обследование конусов выноса и селевых потоков . . . 72
§ 22. Обследование искусственных русел 77
§ 23. Камеральная обработка 80

Глава IV.

Инженерно-геологические работы 89

§ 24. Условия выполнения работ 89
§ 25. Работы на стадии технико-экономического обоснования 90
§ 26. Изыскания на стадии технического проекта 90
§ 27. Изыскания для рабочих чертежей 101

Глава V.

Гидрологические расчеты водотоков в бытовых условиях . . . 106

§ 28. Статистическая обработка рядов годовых максимумов расходов и уровней 106
§ 29. Максимальные расходы талых вод 114
§ 30. Максимальные расходы дождевых паводков 117
§ 31. Максимальные расходы селевых потоков 122
§ 32. Определение расчетных расходов методом аналогий . . . 124
§ 33. Расчет судоходного и меженных уровней в створе перехода 127
§ 34. Перенос уровней и расходов с водпостов на створ перехода 128
§ 35. Расчеты твердого стока 131
§ 36 Расчеты ледового режима рек и водохранилищ 134
§ 37. Продолжительность стояния уровней. Расчет рабочего уровня 135

Глава VI.

Гидрологические расчеты водотоков с нарушенным бытовым режимом 137

§ 38. Ледовый режим зарегулированных рек 137
§ 39. Построение кривой свободной поверхности водотока в условиях подпора 139
§ 40. Расходы на переходах, расположенных в зоне влияния плотин 141
§ 41. Расчеты при сгонно-нагонных и приливно-отливных явлениях 144

Глава VII.

Прогнозы русловых процессов 146

§ 42. Типы русловых процессов и задачи их прогнозов . . . 146
§ 43. Смещения ленточных гряд и побочней 147
§ 44. Деформация меандров 150
§ 45. Деформации осередков 156
§ 46. Влияние гидротехнических сооружений на русловой процесс 157
§ 47. Учет русловых процессов при проектировании 158

Глава VIII.

Размещение водопропускных отверстий и расчеты размывов 165

§ 48. Размещение отверстий, габариты, назначение пролетов для пропуска судов и ледохода 165
§ 49. Исходные данные для расчетов 169
§ 50. Расчет по допускаемым скоростям течения 172
§ 51. Расчет по гидрографу паводка 175
§ 52. Расчет местного размыва у опор мостов 181
§ 53. Расчет местного размыва у струенаправляющих дамб и траверсов 189

§ 54. Приближенное назначение отверстий мостов для сравнения вариантов трассы и разработки ТЭО 191
§ 55. Расчет подпора и понижения уровня воды у мостового перехода 193

Глава IX. **Назначение отверстий мостов в особых условиях** 198

§ 56. Назначение и расчет групповых отверстий. Отверстия с шандорными затворами 198
§ 57. Отверстия при переменном подпоре 201
§ 58. Отверстия при приливно-отливных явлениях 206
§ 59. Расчеты в условиях зарегулированного стока в каналах 207
§ 60. Расчеты отверстий и регуляционные сооружения мостовых переходов на горных реках, конусах выноса и селевых потоках 210
§ 61. Отверстия мостов, располагаемых вблизи существующих. Отверстия реконструируемых мостов 218
§ 62. Моделирование мостовых переходов 220

Глава X. **Расчет для проектирования регуляционных сооружений и пойменных насыпей** 223

§ 63. Проектирование срезок берегов 223
§ 64. Струенаправляющие дамбы и траверсы 225
§ 65. Поперечные сооружения и укрепления 231
§ 66. Реконструкция существующих регуляционных сооружений 236
§ 67. Спрямление русел и водоотводы на поймах 237
§ 68. Расчет ветровых и судовых волн и их наката на откосы сооружений. Волногасящие устройства 239
§ 69. Расчеты для назначения минимальных отметок бровок земляного полотна и берм 246
§ 70. Рекомендации для назначения поперечного профиля земляного полотна и типов укреплений 247
§ 71. Расчеты для затопляемых пойменных насыпей автомобильных дорог 248
§ 72. Учет гидрологических условий при проектировании вторых путей и реконструкции железных дорог 250

Приложение 1 (к гл. III). Форма акта опроса о режиме реки 252
Приложение 2 (к гл. III). Определение состава крупнообломочного аллювия 255
Приложение 3 (к гл. V). Координаты для построения клетчатки вероятностей Хазена 258
Приложение 4 (к гл. V). Координаты для построения спрямляющих клетчаток Чегодаева 258
Приложение 5 (к гл. V). Ординаты интегральных кривых распределения вероятностей (по С. Н. Крицкому и М. Ф. Менкелю) 259
Приложение 6 (к гл. V). Отклонение ординат кривой вероятностей превышения Пирсона III типа от середины при $x=1$ и $C_v=1$ (по Фостеру—Рыбкину) 264
Приложение 7 (к гл. V). Относительные отклонения от середины ординат кривой обеспеченности при $C_v=1{,}00$ и отрицательной асимметрии 268
Приложение 8 (к гл. VIII). Пример расчета общего размыва по гидрографу паводка 268

Список литературы 275

gost.e-ecolog.ru