ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71925— 2025

Системы и сооружения мелиоративные

ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ВОДОУЧЕТ НА ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Нормы технологического проектирования

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 151 «Мелиорация»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 января 2025 г. № 4-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 1
4 Общие требования 2
5 Назначение сооружения и его местоположение 3
6 Обоснование размещения и выбора типа сооружения 4
7 Обоснование габаритных размеров сооружения 5
8 Расчет прочности и устойчивости элементов конструкции 14
Приложение А (рекомендуемое) Общая классификация гидрометрических сооружений и устройств 18
Приложение Б (рекомендуемое) Область применения и размещение гидрометрических сооружений 19
Приложение В (рекомендуемое) Примеры расчетов гидрометрических мостиков 21
Приложение Г (рекомендуемое) Примеры водосливов 28
Библиография 30

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Системы и сооружения мелиоративные

ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ВОДОУЧЕТ НА ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Нормы технологического проектирования

Reclamation systems and structures. Water distribution and water accounting in the irrigation network. Process design standards

Дата введения — 2025—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие положения и требования к проектированию строящихся и реконструируемых гидрометрических сооружений и (или) устройств в составе пунктов водоучета на мелиоративных системах.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ Р 51657.3 Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Гидрометрические сооружения и устройства. Классификация

СП 100.13330 «СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения»

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил) в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

гидрометрическое сооружение: Гидротехническое сооружение на гидромелиоративной сети, оборудованное средствами (устройствами) для измерений расходов или уровней воды.

[ГОСТ Р 70523—2022, статья 2.3.130]

Издание официальное

3.2

гидрометрическое устройство: Самостоятельное или дополнительное к гидротехническому сооружению устройство, устанавливаемое в водоводе или на гидротехнических сооружениях для измерения объемного расхода воды.

[ГОСТ Р 51657.1—2000, статья 26]

3.3 **пункт водоучета на мелиоративной системе:** Пункт на водотоке или канале, включающий гидрометрическое сооружение или гидрометрическое устройство.

3.4 **технологическое проектирование пункта водоучета:** Процесс разработки комплекта документации, включающей технологический раздел проекта пункта водоучета и задания главного технолога разработчикам других разделов проекта.

3.5 **регистратор уровня воды;** РУВ: Гидрометрическое сооружение, которое в комплекте с техническим оснащением обеспечивает регистрацию положения уровня воды в открытом водном потоке в канале.

3.6 **успокоительный колодец:** Сообщающаяся с каналом емкость, в которой на поверхности воды, защищенной от неблагоприятных внешних воздействий, находится регистратор уровня воды.

4 Общие требования

4.1 Нормы технологического проектирования разработаны для составления технологического раздела проекта пункта водоучета.

4.2 В технологический раздел проекта входят пояснительная записка и графические материалы в соответствии с [1] (пункт 3.1). На их основе подготавливают задание на разработку других разделов проекта.

4.3 В состав технологического раздела входят:

- назначение сооружения и его местоположение;
- обоснование размещения и выбор типа сооружения;
- обоснование габаритных размеров сооружения;
- расчет прочности и устойчивости элементов конструкции;
- указания по особенностям эксплуатации сооружения (если в них есть необходимость, например, по пропуску ледохода и др.).

4.4 В приложении к пояснительной записке помещают копию технического задания на производство изысканий и копии материалов изысканий, непосредственно использованных при проектировании сооружения.

4.5 Графическая часть проекта состоит из генерального плана, чертежей с планами и разрезами сооружения и чертежей с узлами и деталями конструкции.

4.6 Генеральный план составляется в соответствии с [1] (приложение 9), служит для привязки сооружения к местности. На нем изображают:

- план строительной площадки в горизонталях с ориентирами (репером, магистралью, гидростворм) и план со всеми строительными объектами: основным сооружением и вспомогательными устройствами, например дамбами;
- продольный разрез по сооружению с указанием отметок всех существенных точек конструкции и местности;
- два-три поперечных разреза в характерных местах сооружения и прочих объектов, например по дамбам, по канализированному участку русла и др.

4.7 На генеральном плане приводят сводку объемов основных строительных работ (объем выемки грунта, объем насыпи и т. п.) и расхода важнейших строительных материалов (бетона, дерева, металла). Чертеж с планами и разрезами должен дать наглядное представление об устройстве сооружения и размерах его основных элементов. Количество изображений на этом чертеже зависит от сложности конструкции.

4.8 Чертежи с узлами и деталями исполняют, когда возникает необходимость изготовления в производственных условиях нестандартных металлических деталей сооружения.

4.9 К параметрам сооружений относятся схема его конструкции, общие габариты, размеры и материал отдельных строительных элементов.

4.10 На выбор схемы конструкции решающее влияние оказывают природные условия, место расположения сооружения. Они же в значительной степени определяют габариты сооружения, включая его высотное положение. Выбор строительного материала зависит от принятой конструкции сооружения и должен учитывать реальную возможность получения и доставки на стройплощадку соответствующего материала. Размеры отдельных строительных элементов определяют в зависимости от схемы конструкции сооружения и испытываемых его элементами нагрузок.

4.11 Выбор методов, средств измерения уровней регламентируется требованиями к точности и достоверности результата измерения, а также возможностями его осуществления. Проблема выбора таких устройств осложняется необходимостью энергоснабжения электронных уровнемеров, датчиков и сигнализаторов уровня.

5 Назначение сооружения и его местоположение

5.1 Назначение гидрометрического сооружения и (или) устройства, проектируемого в составе пункта водоучета, определяется согласно рисунку А.1 в соответствии с действующей классификацией по ГОСТ Р 51657.3.

5.2 По данным материалов изысканий выбирают схему компоновки РУВ, наиболее отвечающую местным условиям. В подавляющем большинстве случаев останавливаются на береговой схеме.

5.3 РУВ может быть как отдельно стоящим, так и пристроенным или встроенным сооружением. При этом во всех случаях РУВ сохраняет свое назначение средства измерения уровней воды.

5.4 РУВ состоит из успокоительного колодца, технического оснащения, соединительного устройства, измерительного павильона и вспомогательных устройств различного назначения.

5.5 Соединительное устройство обеспечивает надежную связь уровней воды в водном объекте и в успокоительном колодце и защищает от проникновения в него из канала всего, что может помешать работе РУВ (волнение, наносы и т. п.).

5.6 В измерительном павильоне размещают регистрирующую часть уровнемера. Павильон защищает его от атмосферных воздействий и обеспечивает сохранность пункта оборудования водоучета. Если работа РУВ носит временный (сезонный) характер, то измерительный павильон допускается не строить. В этом случае самописец уровней воды размещают в верхней части поплавкового колодца и закрывают крышкой или футляром в виде ящика.

5.7 Вспомогательные устройства служат для дополнительной защиты РУВ от различных вредных воздействий, например, таких как большое количество наносов, проникающих в колодец.

5.8 В качестве главного технического оснащения РУВ используют различные уровнемеры, принцип действия которых может иметь различную основу. Известны поплавковые, гидростатические, акустические и другие высокоточные автоматизированные измерительные приборы и датчики. Применение уровнемерных устройств предполагает два основных способа:

- устройство размещается в водном потоке;
- устройство размещается в успокоительном колодце.

5.9 На чертеж поперечного профиля канала, где намечено строительство пункта водоучета, наносят положения форсированного уровня воды (ФУ), нормального уровня (НУ), минимального уровня (МУ). Ориентируясь на линию ФУ, выбирают положение оси поплавкового колодца так, чтобы длина соединительного устройства была минимальной, а при форсированном уровне не происходило подтопления измерительного павильона (см. рисунок А.2).

5.10 Оптимальное расположение сооружения иногда требует производства срезок грунта или, наоборот, его подсыпки для подъема павильона на более высокие отметки. Рабочий диапазон РУВ считается от МУ до НУ.

5.11 По положению минимального уровня воды назначают отметку нижней части соединительного устройства и дна успокоительного колодца (с учетом глубины приямка). Исходя из получившейся глубины колодца, устанавливают его минимальные внутренние размеры, а в зависимости от мутности потока и длины соединительного устройства назначают его тип и решают вопрос о необходимости включения в проект дополнительных элементов, таких как колодцы, отстойники.

5.12 Используемые для устройства колодцев стандартные железобетонные кольца или металлические трубы в расчете прочности не нуждаются. Квадратные колодцы и соединительные лотки высотой до 2,5 м, изготавливаемые на месте из монолитного железобетона, по конструктивным соображениям должны иметь толщину стенок не менее 0,2 м, а толщину дна не менее 0,3 м, что также обеспечивает им необходимый запас прочности.

6 Обоснование размещения и выбора типа сооружения

6.1 Для того чтобы перечисленные схемы регулирования водораспределения функционировали в заданных режимах и погрешности определения расходов не превышали допустимых, необходимо при проектировании гидрометрических сооружений в составе пунктов водоучета в русле каналов соблюдать следующие требования (см. также [2]):

- распределение скоростей в живом сечении потока должно быть нормальным (симметричным);
- участок должен быть прямолинейным на заданной длине;
- гидравлический режим течения должен исключать отложение донных и осаждение взвешенных наносов;
- участок должен иметь допустимый уклон дна;
- влияние на гидравлический режим потока регулирующих гидротехнических сооружений (ГТС), расположенных ниже по течению, должно быть ограниченным;
- запас высоты берегов водотока или откосов канала должен быть достаточным для возможности повышения максимального уровня воды при установлении кривой подпора после строительства сооружения и пропуска паводков;
- участок русла должен иметь водонепроницаемое основание под гидротехнические сооружения (для исключения потерь);
- участок русла не должен иметь водной растительности и других факторов, изменяющих естественную шероховатость русла.

6.2 При удовлетворении всех перечисленных требований большинство гидрометрических сооружений не нуждаются в градуировке в полевых условиях.

6.3 Прежде чем окончательно выбрать место для установки гидрометрического сооружения, необходимо провести полевые обследования намеченного участка русла. Если перечисленные выше требования не удовлетворяются в естественных условиях (и инженерное улучшение с экономической или технической точек зрения нецелесообразно), то необходимо выбрать другой участок русла для установки гидрометрического сооружения. Если выбранное место с эксплуатационной точки зрения является удобным, но приведенные выше требования удовлетворяются не полностью, необходимо предусмотреть метрологическую аттестацию непосредственно в условиях эксплуатации.

6.4 Рассматривают три характерных участка русла, которые образуются после установки гидрометрического сооружения: верхний бьеф, или подходный участок канала, участок расположения сооружений и нижний бьеф.

6.5 Подходный участок канала оказывает значительное влияние на точность определения расходов воды и поэтому требует удовлетворения следующих требований: обеспечение нормального (практически симметричного) распределения скоростей в живом сечении потока и транспортирование донных и взвешенных наносов в зоне распределения измерительного сечения напора. Это требование обусловлено тем, что рекомендуемые коэффициенты в уравнениях расхода получены эмпирическим путем на основе экспериментальных исследований в лабораторных условиях с практически симметричным распределением скоростей в живых сечениях потока. Такое течение характеризуется тем, что максимальная скорость при каждом расходе устанавливается на 0,6 м, а средняя — на 0,4 м глубины от дна русла.

6.6 При выраженной асимметрии в распределении скоростей или при возникновении вторичных потоков и водоворотов, характеризующихся наличием значительных поперечных составляющих скорости, невозможно использование таких участков для размещения гидрометрических сооружений.

6.7 Нормальное распределение скоростей устанавливается при наличии прямолинейного подходного участка с постоянным поперечным сечением русла, имеющего длину, равную $Ln \geq (5 – 8)\,B$, при максимальном расходе воды. Приведенное значение показывает только нижний предел длины в связи с тем, что более длинные прямолинейные участки русла обеспечивают более устойчивое симметричное распределение. Длина прямолинейного участка отсчитывается от измерительного сечения напора. В потоках, не содержащих наносов и плавающего мусора, симметричность распределения скоростей в живом сечении можно обеспечить с помощью струенаправляющих устройств, которые в самом простом варианте могут представлять собой вертикально установленные деревянные, железобетонные или металлические брусья. Сечение с такими струенаправляющими устройствами должно располагаться от измерительного сечения напора на расстоянии, равном или больше максимальной высоты $10H_{max}$.

6.8 Следующим важным требованием при размещении измерительного сечения на подходном участке является обеспечение во всем диапазоне определяемых расходов значений средней скорости

течения, не превышающей допустимую. Допустимая средняя скорость определяется исходя из следующего ограниченного числа Фруда для русел с любыми формами поперечных сечений по СП 100.13330. Число Фруда *Fr* вычисляют по формуле

$$Fr = \frac{\overline{V}_{\varphi}^2}{g \cdot h_{ср}} \le 0{,}5 \ldots 0{,}6, \quad (1)$$

где $\overline{V}_{\varphi}^2$ — скорость течения, м/с;

g — ускорение свободного падения, м/с^2;

$h_{ср}$ — средняя глубина потока, м.

6.9 Ограничение подходной скорости связано с измерением напора в измерительном створе верхнего бьефа. Средняя скорость также должна удовлетворять условиям неразмываемости потока, т. е.:

$$\overline{V}_{\varphi}^2 \le V_{нер}, \quad (2)$$

где $V_{нер}$ — допускаемая неразмывающая скорость, м/с, определяемая по СП 100.13330.

6.10 Необходимо установить на подходном участке русла такой режим течения, при котором осуществляется транспортирование донных и взвешенных наносов, переносимых потоком в естественном русле. Даже частично занесенный наносами подходный участок, особенно в зоне расположения измерительного сечения, приводит к местному повышению уровня воды и, как следствие, к резкому увеличению погрешности определения расхода.

6.11 При установке водосливов и донных порогов, вызывающих подпор (увеличение глубин) свободной поверхности на подпорном участке русла, необходимо выполнять требование запаса высоты берегов водотока или откосов канала. Для удовлетворения этого требования необходимо искусственное повышение берегов или откосов канала в пределах расчетной части длины кривой подпора.

6.12 К участку непосредственного размещения гидрометрического сооружения предъявляют два основных требования: водонепроницаемость и отсутствие просадочного основания. При наличии в основании грунтов, в которых возможны указанные явления, необходимо принятие специальных инженерных мер по их устранению (бетонное основание гидрометрического сооружения и замочка его перед строительством).

6.13 К участку нижнего бьефа предъявляют два основных требования: обеспечение свободного истечения жидкости, при котором изменение глубины в канале не влияет на измеряемый напор на сооружении, и отсутствие местных размывов, которые могут угрожать целостности сооружения. Возможное повышение напора нижнего бьефа не должно превосходить предельного относительного затопления, являющегося границей, ниже которой обеспечивается свободное истечение жидкости. При наличии в нижнем бьефе водотока или канала размываемых грунтов необходима облицовка русла по длине переформирования потока при сопряжении бьефов. Общие требования и область применения размещения гидрометрических сооружений приведены в приложении Б.

Выбор типа гидрометрического сооружения рекомендуется осуществлять по [3].

7 Обоснование габаритных размеров сооружения

7.1 Определение габаритных размеров гидрометрических сооружений предусматривает выполнение гидравлического и гидротехнического расчетов.

7.2 Гидравлический расчет гидрометрических сооружений выполняют для определения формы, размеров и высотного положения водопропускных частей сооружения. При проектировании водосливов с тонкой стенкой необходимо также установить размеры элементов крепления нижнего бьефа (водобоя, рисбермы). Гидравлический расчет рекомендуется выполнять в соответствии с СП 100.13330.

7.3 Гидротехнический расчет выполняют для определения минимально необходимой длины подземного контура сооружения, гарантирующей отсутствие суффозии, для выяснения размеров противофильтрационных элементов.

7.4 Гидротехнический расчет в полном объеме необходим только при проектировании сравнительно высоконапорных расходомеров, которыми являются водосливы с тонкой стенкой в бетонной несущей конструкции. Для таких же водосливов в деревянной несущей конструкции требуется определение только размеров противофильтрационных элементов. Данное требование относится в том числе к водосливам Крампа и гидрометрическим лоткам, которые, будучи сооружениями малонапорными и со сравнительно протяженным подземным контуром, вообще редко нуждаются в понурах и шпунтах.

7.5 Размеры и высотное положение водослива должны быть такими, чтобы сооружение измеряло весь диапазон расходов того водотока, на котором устанавливается расходомер, и создавало в водотоке возможно меньший подпор, чтобы максимальный уровень в верхнем бьефе не превышал заданной отметки.

7.6 Расчет высотного положения водослива и размеров водопропускного отверстия производят по значениям максимального Q_{max} и минимального Q_{min} расходов; максимальной бытовой глубине в створе водослива $h_б$, которая является также максимальной глубиной нижнего бьефа сооружения t, если за ним не производились расчистка и углубление русла; по профилю поперечного сечения русла и информации о возможности придания подходному участку прямоугольной формы; по наличию ограничений на максимальную отметку уровня или глубину в верхнем бьефе h_{max}.

7.7 Расчет начинают с вычисления числа Фруда Fr по формуле (1) для створа сооружения и выяснения возможности использования водослива с тонкой стенкой по критерию турбулентности потока. Если критерий выдерживается, т. е. $Fr \leq 0,6$, то переходят к выбору формы выреза водослива. Для этого, используя формулы или расчетные таблицы пропускной способности различных водосливов, по значению Q_{max} определяют, какой водослив может пропустить этот расход при допустимом значении напора, не превышающем 1 м. Затем проверяется условие, при котором напор на гребне водослива будет более 5 см при пропуск Q_{min}.

7.8 Для выбранного водослива устанавливают значение высоты водосливной стенки p, которая характеризует высотное положение расходомера. Высота стенки должна быть регламентирована нормами для водослива с соответствующей формой выреза (например, для прямоугольного и треугольного водослива она составляет 20 см) с условием, что тонкостенный водослив должен работать в режиме неподтопленного истечения. Высоту стенки p вычисляют по формуле

$$p = h + 0,1, \quad (3)$$

где h — максимальная глубина нижнего бьефа, м;

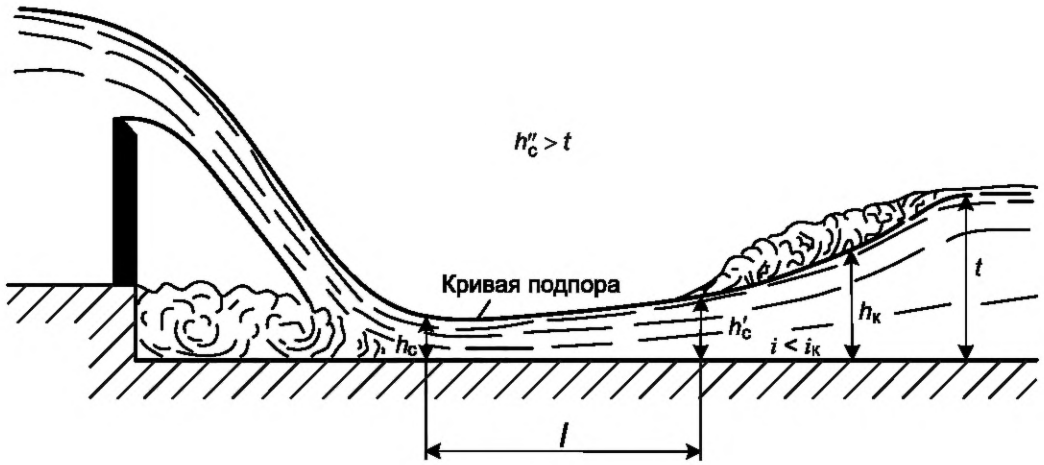
0,1 — величина запаса, м.

7.9 Используя найденное значение высоты водосливной стенки p и ориентируясь на форму поперечного сечения подходного участка, необходимо уточнить значение максимального H_{max} и минимального H_{min} напоров, проверить соблюдение установленных для данного водослива соотношений между его параметрами (H/p и т. д.) и соответствие горизонта воды в верхнем бьефе установленным ограничениям (если оно было задано).

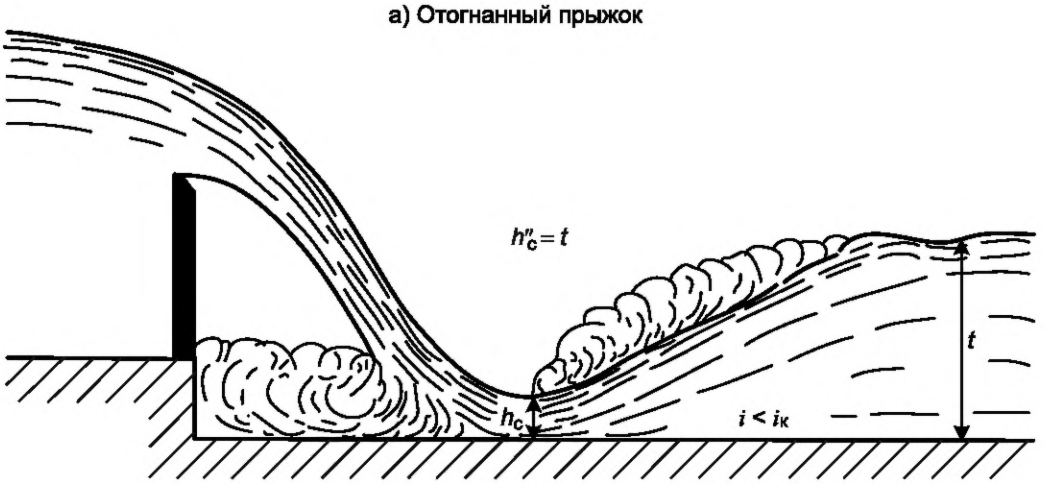
7.10 При выполнении всех перечисленных условий размеры и высотное положение водослива считаются определенными. Если какое-то условие не выполняется, то необходимо подобрать водослив с другой формой выреза, например, вместо треугольного трапецеидальный. Если водослив с другой формой выреза окажется неприемлемым, следует отказаться от применения водослива с тонкой стенкой и перейти к изучению возможности установки расходомера другого типа (лотка, водослива практического профиля и др.).

7.11 Если при расчете сопряжения бьефов и крепления дна за водосливной стенкой естественные (бытовые) условия потока в отводящем русле отвечают спокойному состоянию, т. е. $t > h_к$, где t и $h_к$ — соответственно бытовая и критическая глубины, то сопряжение происходит по одной из трех форм. При $h''_c > t$ (h''_c — большая взаимная глубина) получают сопряжение по типу струи с отогнанным прыжком [см. рисунок 1 а)], при $h''_c = t$ форму сопряжения считают критической [см. рисунок 1 б)], а при $h''_c < t$ полученную форму называют сопряжением по типу покрытой струи или по типу затопленного прыжка [см. рисунок 1 в)].

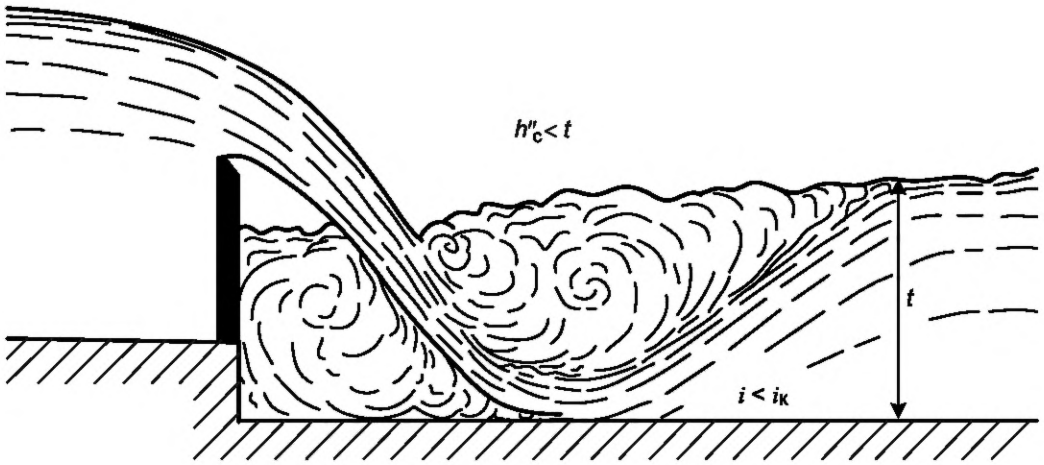
7.12 Наиболее неблагоприятной с гидротехнической точки зрения является первая форма сопряжения. В пределах кривой подпора *c-1* поток, находясь в бурном состоянии, обладает большими скоростями, и, следовательно, на этом участке, длина которого достаточно значительна, требуется прочное крепление русла. При третьей форме скорости течения значительно меньше, и хотя они непосредственно за водосливом все же превышают бытовые скорости, но на сравнительно коротком участке. Вторая форма по своим достоинствам и недостаткам занимает промежуточное положение.



а) Отогнанный прыжок



б) Критическая форма сопряжения



в) Затопленный прыжок

t — бытовая глубина, м; $h_к$ — критическая глубина, м; h''_c — большая взаимная глубина, м; h_c — глубина в сжатом сечении, м; h'_c — глубина гидравлического прыжка, м; l — расстояние от сжатого сечения до начала прыжка, м; i — уклон; $i_к$ — критический уклон

Рисунок 1 — Схемы сопряжения бьефов

7.13 Для прямоугольного русла критическую глубину $h_к$ вычисляют по формуле

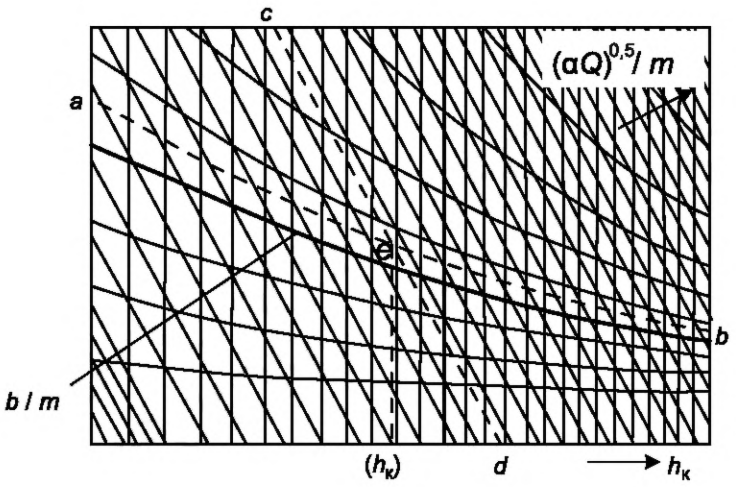
$$h_к = 0{,}47 \cdot q^{2/3}, \quad (4)$$

где $q = Q/b$ — удельный расход, м^3/(с · м);

Q — расход воды, м^3/с;

b — ширина русла, м.

7.14 Для трапецеидального русла с шириной понизу b и заложением откосов m определение формы сопряжения бьефов производят по номограмме (см. рисунок 2). По оси абсцисс отложены значения $h_к$ (вертикальные линии сетки), а по оси ординат — значения функции $(\alpha Q)^{0,5}/m$ (наклонные линии сетки). На сетку нанесены кривые равных значений отношений b/m. При пользовании номограммой определяют значения отношения b/m и функции $(\alpha Q)^{0,5}/m$ (α принимают равным 1,1). Затем необходимо найти на графике кривую линию ab, соответствующую заданному отношению b/m, и наклонную линию cb, соответствующую заданному значению функции $(\alpha Q)^{0,5}/m$. Абсцисса точки пересечения этих линий (точки e) будет искомой критической глубиной $h_к$. При значениях b/m и $(\alpha Q)^{0,5}/m$, лежащих за пределами верхней границы номограммы, критическую глубину $h_к$ для трапецеидального русла возможно вычислить по формуле (4).



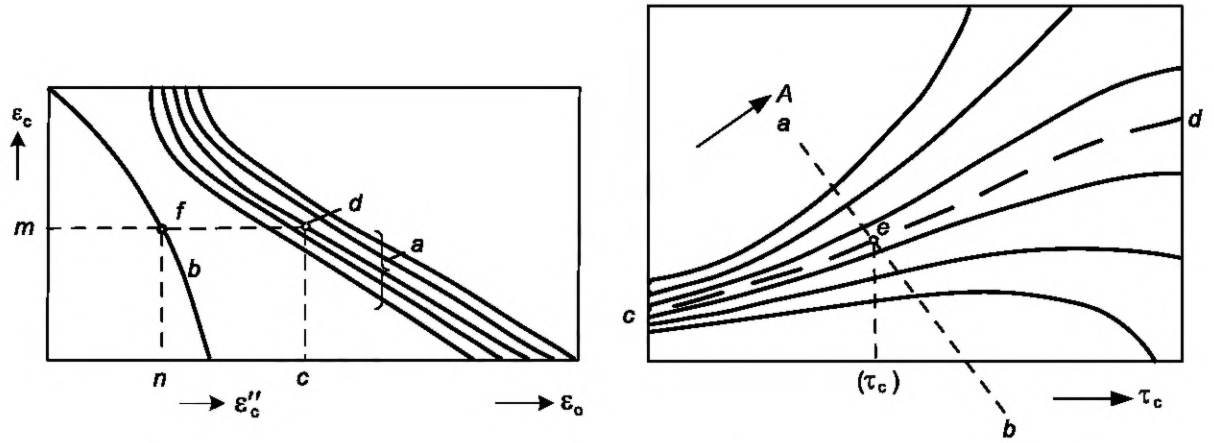
b — ширина понизу, м; m — заложение откосов; $h_к$ — критическая глубина, м; Q — расход воды, м^3/с; α — коэффициент скорости

Рисунок 2 — Схема графика для определения критической глубины трапецеидального русла

7.15 Если $t < h_к$, что маловероятно и может встретиться только на быстротоках, то дальнейшее определение формы сопряжения бьефов выполняют в соответствии с рекомендациями, рассматриваемыми в специальных разделах гидравлики. Если $t > h_к$, то переходят к вычислению глубины в сжатом сечении.

7.16 Для прямоугольного отводящего русла глубину в сжатом сечении $h_с$ можно определить по номограмме (см. рисунок 3).

На этой номограмме по оси абсцисс отложены значения $\varepsilon_о = T/h_к$ (где T— удельная энергия сооружения, характеризуемая расстоянием от дна нижнего бьефа до уровня воды в верхнем бьефе, т. е. $T = H + p$), на ось ординат нанесены соответствующие значения $\varepsilon_с = (h_с/h_к)$, в поле номограммы проведены пять кривых, отвечающих различным значениям коэффициента скорости φ (для водосливов с тонкой стенкой φ принимается от 0,97 до 1,00). Номограммой пользуются согласно рисунку 3 а). Через точку c, соответствующую вычисленному значению $\varepsilon_о$, проводят вертикальную линию cd до пересечения в точке d с той кривой графика (из серии кривых a), которая отвечает заданному значению коэффициента φ. Ордината точки d определяет собою относительную глубину $\varepsilon_о$, по которой находим $h_с = \varepsilon_о \cdot h_к$.



а) Прямоугольная форма русла

б) Трапецеидальная форма русла

ε_o — относительная глубина; ε_c — относительная глубина в сжатом сечении; ε_c'' — большая относительная взаимная глубина; τ_c — сила внутреннего трения

Рисунок 3 — Схемы графиков для определения глубины в сжатом сечении прямоугольного отводящего русла

7.17 Для трапецеидального отводящего русла глубину в сжатом сечении h_c определяют по номограмме [см. рисунок 3 б)]. На ней по оси абсцисс отложены значения величины $\tau_c = h_c/T$, а по оси ординат — значения функции $A = (\alpha Q^{0,5})/(\varphi b T^{1,5})$. Поле номограммы представлено серией кривых, при этом каждой кривой отвечает свое значение функций $B = mt/b$. На номограмме находят наклонную прямую *ad*, отвечающую вычисленному значению функции *A*, и кривую *cd*, отвечающую вычисленному значению функции *B*. Абсцисса точки пересечения этих линий (точки *e*) определяет собой искомое отношение τ_c, по которому вычисляют $h_c = T$.

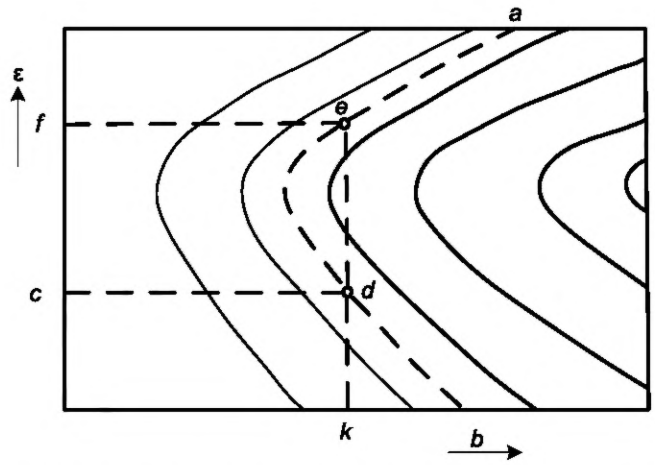
Найденную одним из изложенных выше способов глубину в сжатом сечении принимают за меньшую из взаимных глубин гидравлического прыжка, т. е. $h_c = h_c'$, и затем находят большую взаимную глубину h_c''.

7.18 Для прямоугольного русла большую взаимную глубину h_c'' определяют с помощью номограммы [кривая *b* на рисунке 3 а)]. Через точку *d* проводят горизонтальную прямую, пересекающую кривую *b* в точке *t*. Абсцисса этой точки определяет собою относительную глубину ε_c'', зная которую, находят большую взаимную глубину $h_c'' = \varepsilon_c'' \cdot h_к$.

7.19 Для трапецеидальных русел большую взаимную глубину h_c'' определяют по номограмме (см. рисунок 4), каждая из кривых которой отвечает данному значению отношения $m \cdot h_к/b$. Приняв, как и в случае прямолинейного русла, глубину в сжатом сечении за меньшую из взаимных глубин, вычисляют отношения $\varepsilon' = h_c'/h_к$ и $mh_к/b$. Затем необходимо найти на номограмме кривую, отвечающую вычисленному значению отношения $mh_к/b$. На рисунке 4 эта кривая обозначена *ab*. Далее через точку *c*, соответствующую вычисленному значению отношения ε', проводят прямую *cd*, параллельную оси абсцисс, до пересечения с кривой *ab* в точке *d*. Через точку *d* проводят прямую *de*, параллельную оси ординат, до пересечения с кривой *ab* в точке *e* и через точку *e* проводят прямую *ef*, параллельную оси абсцисс, до пересечения с осью ординат в точке *f*. Последняя точка представляет собой на оси ординат отношение ε'', зная которое, находят искомую большую взаимную глубину $h_c'' = \varepsilon'' \cdot h_к$. Найденное значение h_c'' сопоставляют с бытовой глубиной в отводящем русле *t* и устанавливают форму сопряжения бьефов:

- $h_c'' > t$ — отогнанный прыжок [см. рисунок 1 а)];
- $h_c'' = t$ — критическая форма сопряжения бьефов [см. рисунок 1 б)];
- $h_c'' < t$ — затопленный прыжок [см. рисунок 1 в)].

7.20 Большую взаимную глубину h_c'' необходимо определять для каждого проектируемого сооружения несколько раз, меняя значение расхода и всех связанных с ним параметров потока. Форма сопряжения бьефов обязательно устанавливается для максимального расчетного расхода и одного-двух других расходов, например среднего и занимающего промежуточное положение между средним и максимальным или средним и минимальным.



ε — относительная глубина; *ab* — кривая вычисленного отношения $mh_к/b$

Рисунок 4 — Схема графика для определения взаимных глубин в гидравлическом прыжке при трапецеидальном русле

7.21 Устройство крепления нижнего бьефа гидрометрического сооружения заключается в проектировании двух частей:

- водобоя — жесткого покрытия русла непосредственно за водосливной стенкой, выполняемого из того же материала, из которого делается несущая конструкция сооружения;
- рисбермы, располагаемой за водобоем и представляющей собой так называемое гибкое покрытие, состоящее из каменной наброски или других средств, защищающих русло от размыва (фашин, габионов и др.).

7.22 Если гидравлический прыжок затоплен или имеет место критическая форма сопряжения бьефов, то длину водобоя l_B определяют по формуле (см. рисунок 5)

$$l_B = l_1 + l_2, \tag{5}$$

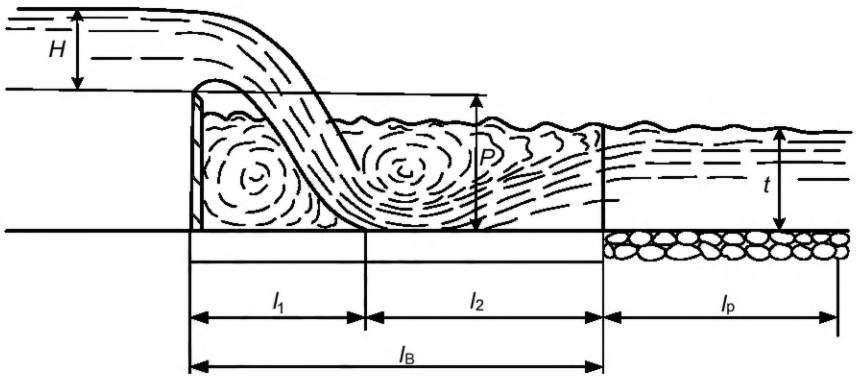
где l_1 — расстояние от напорной грани до сжатого сечения, м;

l_2 — длина прыжка, м.

Эти величины рекомендуется находить по следующим формулам (расчет ведется для случая пропуска сооружением максимального расхода)

$$l_1 = 0{,}3H + 1{,}25\sqrt{(H(p + 0{,}45H)}, \tag{6}$$

$$l_2 = (5{,}2 \div 5{,}5)t. \tag{7}$$



H — напор над водосливом, м; *P* — высота водосливной стенки, м; *t* — максимальная глубина нижнего бьефа сооружения, м; l_1 — расстояние от напорной грани до сжатого сечения, м; l_2 — длина прыжка, м; $l_р$ — длина рисбермы, м; l_B — длина водобоя, м

Рисунок 5 — Схема к расчету длины крепления нижнего бьефа водослива

Длину рисбермы $l_р$ в первом приближении, как правило, назначают равной

$$l_р = (1{,}0 \pm 2{,}0)l_В. \quad (8)$$

Более обоснованным является устройство рисбермы в пределах так называемого послепрыжкового участка $l_{п.п}$, протяженность которого определяют по формуле

$$l_{п.п} = (13{,}0 \div 15{,}6)t. \quad (9)$$

7.23 Материал для устройства рисбермы выбирают исходя из ожидаемых средних скоростей течения в нижнем бьефе сооружения при пропуске максимальных расходов воды. Скорость v определяют по формуле

$$v = \frac{Q_{max}}{\omega}. \quad (10)$$

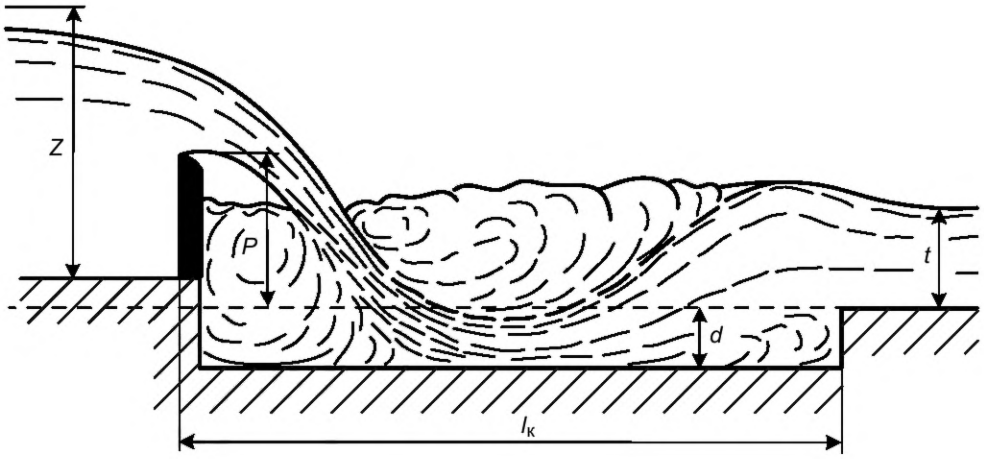
Площадь ω определяют по поперечному профилю отводящего участка в начале рисбермы. Допустимые значения скоростей для различных грунтов и креплений приведены в таблице 1. Следует иметь в виду, что сочетание скоростей течения и устойчивость естественного русла размыву могут оказаться настолько благоприятными, что устройство специального дополнительного крепления русла не потребуется, т. е. сооружение допускается строить без рисбермы.

Таблица 1 — Значения допускаемых неразмывающих средних скоростей течения для грунтов и креплений

В метрах в секунду

Наименование грунтов или типов креплений	Средняя глубина потока, м			
	0,4	1,0	2,0	>3,0
Малоплотные глины и суглинки	0,33	0,40	0,46	0,50
Среднеплотные глины и суглинки	0,70	0,85	0,95	1,10
Плотные глины и суглинки	1,00	1,20	1,40	1,50
Лессовые грунты средней плотности (непросадочные)	0,60	0,70	0,80	0,85
Дерн плашмя	0,60	0,80	0,90	1,00
Дерн свежий в стенку	1,50	1,80	2,00	2,20
Свежие хворостяные покрытия и хворостяные крепления	1,80	2,20	2,50	2,70
Одиночная мостовая из булыжника размером около 20 см	2,50—2,90	3,00—3,50	3,50—4,00	3,80—4,30
Двойная мостовая из булыжника размером около 20 см	3,10—3,60	3,70—4,30	4,30—5,00	4,60—5,40
Габионные крепления	≤4,20	≤5,00	≤5,70	≤6,20
Бутовая кладка из слабой породы на цементном растворе	2,90	3,50	4,00	4,40
Бутовая кладка из слабой породы из средней породы	5,80	7,00	8,10	8,70
Деревянные лотки	≤25			

7.24 Если расчет сопряжения бьефов указывает на образование в нижнем бьефе сооружения незатопленного гидравлического прыжка ($h''_c > t$), то водобой, устраиваемый по изложенному выше принципу в виде ровной бетонной плиты или деревянного настила, получается очень протяженным, так как при определении его длины следует учитывать не только l_1 и l_2 (см. рисунок 5), но и расстояние от сжатого сечения до начала прыжка [на рисунке 1 а) обозначено l]. Поэтому в рассматриваемом случае для максимально быстрого рассеивания энергии потока в нижнем бьефе и уменьшения тем самым необходимой длины водобоя на нем ставят различные гасители в виде пирсов, шашек, балок и т. п. или стараются перевести прыжок в затопленное состояние. Однако использование указанных средств должно осуществляться с осторожностью ввиду того, что они могут вызвать не только затопление прыжка, но и подтопление водослива. Наиболее безопасным в этом отношении является устройство водобоя-колодца (см. рисунок 6).



Z — напор на сооружении, м; P — высота водосливной стенки, м; t — максимальная глубина нижнего бьефа сооружения, м; d — глубина водобойного колодца, м; $l_к$ — длина водобойного колодца, м

Рисунок 6 — Схема к расчету водобойного колодца

7.25 Глубину водобойного колодца d определяют подбором, методом последовательного приближения, чтобы выполнялось соотношение

$$d \approx 1{,}05 \cdot h''_c - t, \tag{11}$$

где h''_c — большая взаимная глубина, м;

t — максимальная глубина нижнего бьефа, м.

Подбор осуществляют в следующей последовательности. Задают некоторую глубину колодца d_0 и, принимая его дно за дно нижнего бьефа, вычисляют величину h''_c. Затем находят значение d по соотношению (11). Если разница между d и d_0 не превышает 10 %, то глубина колодца считается подобранной. При большей разнице задают новое значение d_0 и повторяют расчет.

7.26 Длину водобойного колодца $l_к$ вычисляют по формуле

$$l_к = l_1 + \beta \cdot l_2, \tag{12}$$

где β — коэффициент, равный от 0,70 до 0,80.

За водобойным колодцем устраивают рисберму.

7.27 Проводят расчет размеров противофильтрационных устройств и давления на сооружение фильтрующейся воды. Рассматриваемый расчет выполняется после принятия решения о типе несущей конструкции водослива, т. е. будет ли сооружение построено бетонным (железобетонным) или деревянным. Это позволяет конкретизировать схему подземного контура сооружения и наметить наиболее подходящие для него противофильтрационные элементы. Например, если сооружение планируется в дереве, то оно должно иметь шпунт, который нужен не только для борьбы с фильтрацией, но и как элемент, удерживающий водосливной щит. В бетонных сооружениях шпунт для этого не требуется, поэтому в качестве противофильтрационных элементов возможно использование понуров.

7.28 Необходимая минимальная длина подземного контура сооружения, т. е. путь, вдоль которого происходит фильтрация воды, определяется из соображений исключения возникновения суффозии, т. е. выноса частичек грунта основания фильтрующейся водой. При этом под подземным контуром понимают не просто очертание всех подземных частей сооружения, а непосредственную линию контакта только водонепроницаемых элементов конструкции с грунтами основания. В первом же месте в нижнем бьефе сооружения, где нарушается водонепроницаемость его частей, заканчиваются и подземный контур, и фильтрация воды.

7.29 Приведенная длина подземного контура $L_{пр}$, при которой отсутствует суффозия, должна быть не менее $L_{про}$, вычисляемого по формуле

$$L_{про} = C_0 \cdot Z, \tag{13}$$

где Z — наибольший напор на сооружении;

C_0 — коэффициент, зависящий от вида грунта, определяемый по таблице 2.

Таблица 2 — Значения коэффициентов C_0 для различных грунтов основания

Грунт	C_0	$I_{ср} = 1/C_0$
Очень мелкий песок	8,50	0,12
Мелкий песок	7,00	0,14
Песок средней крупности	6,00	0,17
Крупный песок	5,00	0,20
Мелкий гравий	4,00	0,25
Гравий средней крупности	3,50	0,29
Крупный гравий с галькой	3,00	0,33
Мягкая глина	3,00	0,33
Валуны с галькой и гравием	2,50	0,40
Глина средней плотности	2,00	0,50
Плотная глина	1,80	0,55
Очень плотная глина	1,60	0,67

7.30 Переход от приведенной длины контура к реальной и обратно осуществляется на основании следующего выражения:

$$L_{пр} = \sum l_В + \frac{1}{2}\sum l_Г, \quad (14)$$

где $\sum l_В$ — сумма длин вертикальных участков подземного контура или участков, наклоненных к горизонту под углом более 45°;

$\sum l_Г$ — сумма длин горизонтальных участков или участков, наклоненных под углом менее 45°.

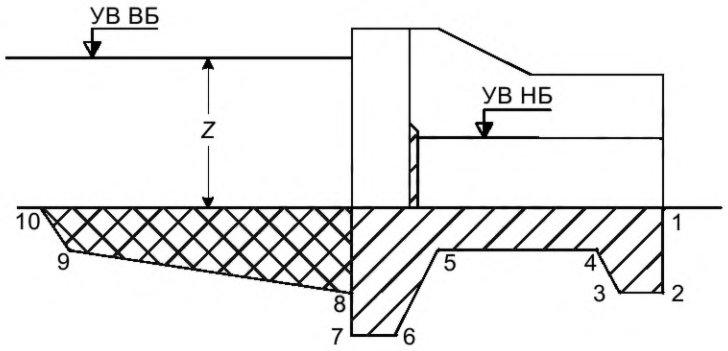
При расчете $L_{пр}$ по формуле (14) реальная длина горизонтальных участков уменьшается в два раза в связи с тем, что эти участки оказывают примерно вдвое меньшее сопротивление фильтрующейся воде, чем вертикальные участки.

7.31 После определения размеров и высотного положения водослива, выбора схемы несущей конструкции и выяснения характера сопряжения бьефов по формулам (13) и (14) вычисляют $L_{про}$ и $L_{пр}$. Если $L_{пр} \geq L_{про}$, то дополнительные противофильтрационные элементы не требуются. Если $L_{пр} < L_{про}$, то подземный контур требуется удлинить, введя в него противофильтрационные элементы таких размеров, чтобы получить $L_{пр} \geq L_{про}$. При этом с позиций борьбы с фильтрацией непринципиально, за счет каких элементов, т. е. шпунтов или понура, будет произведено указанное удлинение. В каждом конкретном случае предпочтение отдают тому элементу, который целесообразнее применить.

7.32 Пример проектирования подземного контура водослива приведен в В.3.

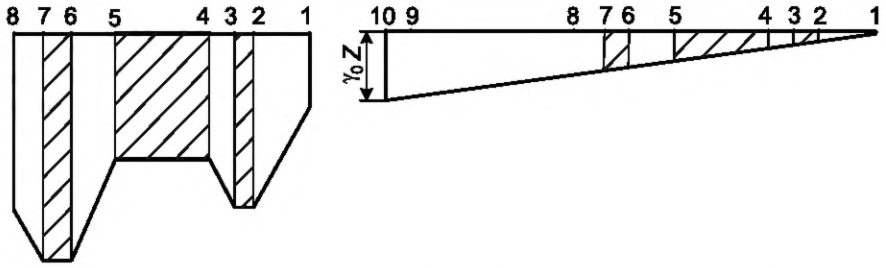
7.33 Расчет давления воды на подземный контур необходим для проверки устойчивости сооружения на сдвиг. Различают два вида давлений, действующих на любое водоподпорное гидротехническое сооружение, в т. ч. и на водосливы: взвешивающее противодавление и фильтрационное противодавление. Вместе они образуют суммарное противодавление, направленное снизу вверх, т. е. против силы тяжести, и тем самым облегчают сооружение, уменьшая его устойчивость.

7.34 Взвешивающее противодавление — это гидростатическое противодавление (Архимедово); оно в любой точке основания сооружения соответствует весу столба воды высотой, равной глубине погружения точки под уровень нижнего бьефа. При расчете устойчивости сооружения необходимо знать значения противодавления не в отдельных точках, а на все горизонтальные участки подземного контура (см. рисунок 7), для чего строится эпюра противодавления [см. рисунок 8 а)].



УВ ВБ — уровень воды в верхнем бьефе, м; УВ НБ — уровень воды в нижнем бьефе, м; Z — напор на сооружении, м

Рисунок 7 — Схема водослива к расчету взвешивающего и фильтрационного противодавлений



а) Взвешивающее противодавление на подземный контур

б) Фильтрационное противодавление на подземный контур

$\gamma_0 Z$ — фильтрационное противодавление

Рисунок 8 — Эпюры взвешивающего и фильтрационного противодавлений на подземный контур водослива

С этой целью выбирают какой-то линейный масштаб и разворачивают в прямую линию весь или только необходимую часть подземного контура сооружения [см. рисунок 8 а), линия 1, 2, ..., 8]. Далее от каждой точки контура откладывают вниз (в масштабе, выбранном для давлений) отрезки, соответствующие величине $\gamma_0 \gamma_i$, где γ_0 — объемный вес воды; γ_i — заглубление точки под уровень нижнего бьефа. Соединив концы этих отрезков, получают эпюру взвешивающего противодавления. Площади эпюр между точками 2—3, 4—5 и 6—7 [на рисунке 8 а) заштрихованы] представляют собой взвешивающие противодавления, действующие на горизонтальные участки подземного контура на 1 м ширины сооружения (из плоскости рисунка).

7.35 Фильтрационное противодавление — это гидродинамическое противодавление, обязанное своим происхождением напору Z на сооружении. Для гидрометрических сооружений возможно применение способа линейной контурной фильтрации, в частности, в графической интерпретации. Разворачивают в прямую линию весь подземный контур сооружения так, как это было пояснено при построении эпюры взвешивающего противодавления. Затем из точки, обозначающей начало пути фильтрации [см. рисунок 8 б), точка 10], откладывают вниз в масштабе давлений отрезок, соответствующий значению $\gamma_0 Z$ (в начале пути фильтрации фильтрационное противодавление всегда равно напору на сооружении). Далее соединяют прямой линией конец этого отрезка с точкой, обозначающей конец пути фильтрации [см. рисунок 8 б), точка 1]. Заштрихованные на эпюре площади соответствуют значениям фильтрационного противодавления на горизонтальные элементы контура 2—3, 4—5, 6—7. Сложив для соответствующих участков величины взвешивающего и фильтрационного противодавлений, определяют суммарное противодавление на подошву сооружения.

8 Расчет прочности и устойчивости элементов конструкции

8.1 Статический расчет необходим для определения прочности и устойчивости сооружения. Его рекомендуется проводить после гидравлических и гидротехнических расчетов, когда известна общая схема сооружения и его основные размеры.

8.2 Водосливам с тонкой стенкой в деревянной несущей конструкции [см. рисунок Г.1] устойчивость и прочность обеспечиваются за счет шпунта, который должен выдерживать максимальную нагрузку N, создаваемую разностью давлений воды на него со стороны верхнего и нижнего бьефов. Горизонтальную силу P_{max}, которую может выдержать шпунтовая стенка, рекомендуется определять по формуле

$$P_{max} = \frac{\xi m b H^2}{6(4n+3)}, \quad (15)$$

где ξ — коэффициент, имеющий значение 1 для шпунтов; 2 — для круглых свай; 2, 6 — для квадратных свай;

m — заложение откосов, определяемое по формуле

$$m = \gamma_{гр}\left[\mathrm{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) - \mathrm{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})\right], \quad (16)$$

где $\gamma_{гр}$ — удельный вес грунта, т/м^3;

φ — угол внутреннего трения, град.;

b — ширина шпунтовой стенки или диаметр сваи, м;

H — глубина забивки, м;

$n = h/H$ — отношение свободной длины шпунта к глубине его забивки.

Для устойчивости сооружения определено следующее условие:

$$P = (1{,}1 \div 1{,}2)N. \quad (17)$$

8.3 Свая (шпунт) должна быть не только устойчива в грунте, но и достаточно прочна, чтобы выдерживать максимальный изгибающий момент M_{max}, создаваемый силой P, значение которого находится по формулам:

- для 1 пог. м шпунтовой стенки

$$M_{max} = P(h + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{2P}{m}}); \quad (18)$$

- для сваи

$$M_{max} = P(h + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{2P}{mb}}). \quad (19)$$

Прочность сваи определяют по формуле

$$\delta_{max} = (\frac{M_{max}}{W}) \le R_и, \quad (20)$$

где W — момент сопротивления сечения, в котором действует M_{max};

$R_и$ — расчетное сопротивление материала балки при изгибе.

8.4 Конструкция водослива с тонкой стенкой в железобетонном исполнении (см. рисунок Г.2) имеет коробчатую форму. Устойчивость такой коробки оценивается на сдвиг по коэффициенту устойчивости $k_{сдв}$, определяемому по формуле

$$k_{сдв} = \frac{f_{тр}G}{E_a} = \frac{F_{тр}}{E_a}, \quad (21)$$

где $t_{гр}$ — коэффициент трения, определяемый по таблице 3;

G — вес дна и боковых стенок водослива, Н;

E_a — сдвигающая сила (разность давления воды со стороны верхнего и нижнего бьефов), Н;

$F_{тр}$ — удерживающая сила (сила трения), Н.

Таблица 3 — Коэффициент трения для различных грунтов

Грунт	$f_{тр}$
Глина	От 0,20 до 0,30 включ.
Суглинок	Св. 0,30 до 0,35 включ.

Окончание таблицы 3

Грунт	$f_{тр}$
Супесь	Св. 0,35 до 0,40 включ.
Песок	Св. 0,40 до 0,50 включ.
Крупнообломочный грунт	Св. 0,50 до 0,58 включ.

Стенка считается устойчивой, если $k_{сдв} \geq 1,2$.

Удерживающую силу трения $F_{тр}$ вычисляют по формуле

$$F_{тр} = f(G + G_в - W), \quad (22)$$

где $G_в$ — вес воды, находящейся в пределах сооружения, Н;

W — суммарное противодавление (взвешивающее и фильтрационное) на подошву сооружения, Н.

8.5 Боковые железобетонные стенки водосливов, лотков и контрольных сечений должны обладать прочностью, достаточной для противодействия активному давлению грунта. По конструктивным соображениям толщину этих стенок делают не менее 20 см. Если учесть, что в стандартных водосливах и лотках высота стенок может незначительно превышать 1 м (в связи с ограничением по максимальным напорам воды), то армирование стенки 10 стержнями диаметром 10—12 мм на 1 пог. м длины стенки обеспечивает ей необходимую прочность.

8.6 У контрольных сечений высота стенок может быть значительно больше 1 м, поэтому их надо рассчитывать на прочность. При этом стенка рассматривается как консольная балка, заделанная в основание сооружения и испытывающая нагрузку, изменяющуюся от нуля у верха стенки до максимального значения интенсивностью σ_x у основания стенки, рассчитываемой по формуле

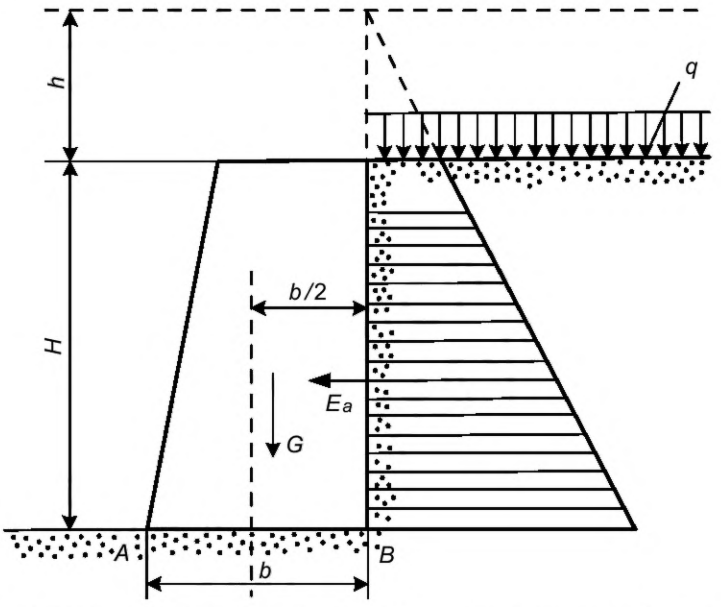
$$\sigma_x = \gamma H_x \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}), \quad (23)$$

где σ_x — удельное давление грунта в точке на глубине H_x;

γ — объемный вес грунта, т/м^3;

φ — угол внутреннего трения, град.

Формула для определения σ_x представляет собой уравнение прямой линии, поэтому эпюра удельных давлений будет иметь вид прямоугольного треугольника с максимумом удельного давления у подошвы стенки (см. рисунок 9).



H — глубина стенки, м; *h* — приведенная высота слоя грунта, м; *b* — ширина стенки, м; E_a — активное давление грунта на подпорную стенку; *G* — вес стенки, Н; *q* — сплошная равномерно распределенная пригрузка, Н/м^2

Рисунок 9 — Эпюра давления на подпорную стенку при наличии пригрузки

8.7 Максимальный изгибающий момент $M_к$ определяют по формуле

$$M_к = \frac{\sigma H^2}{6}, \quad (24)$$

где H — глубина стенки, м.

8.8 Проектирование гидрометрических переходов (мостиков) заключается в выборе типа мостика, определении его высотного положения и расчете на прочность, жесткость или устойчивость всех элементов мостика, испытывающих нагрузки.

8.9 На поперечный профиль канала, вычерченный по выбранному створу строительства сооружения, наносят положения НУ и ФУ (см. рисунок А.2). Ориентируясь на положение НУ, определяют высотное положение низа пролетного строения моста и по точкам пересечения этой линии с берегами выбирают такое местоположение опор, чтобы пролет мостика оказался минимальным. В зависимости от получившейся величины пролета назначают тип пролетного строения моста.

8.10 Форсированный уровень также не должен достигать пролетного строения, но частично он может затапливать опоры. Если ФУ наступает одновременно с ледоходом, то в этом случае перед опорами необходимо устанавливать защитные сооружения в виде ледорезов из кустов свай и т. п. Поверхность грунта вокруг опор требует защиты от размыва путем устройства каменной отмостки или бутобетонной плиты.

8.11 Расчет элементов пролетного строения мостика проводят в той последовательности, в которой элементы воспринимают нагрузку. Примеры расчетов балочного и подвесного гидрометрических мостиков приведены в приложении В.

Приложение А
(рекомендуемое)

Общая классификация гидрометрических сооружений и устройств

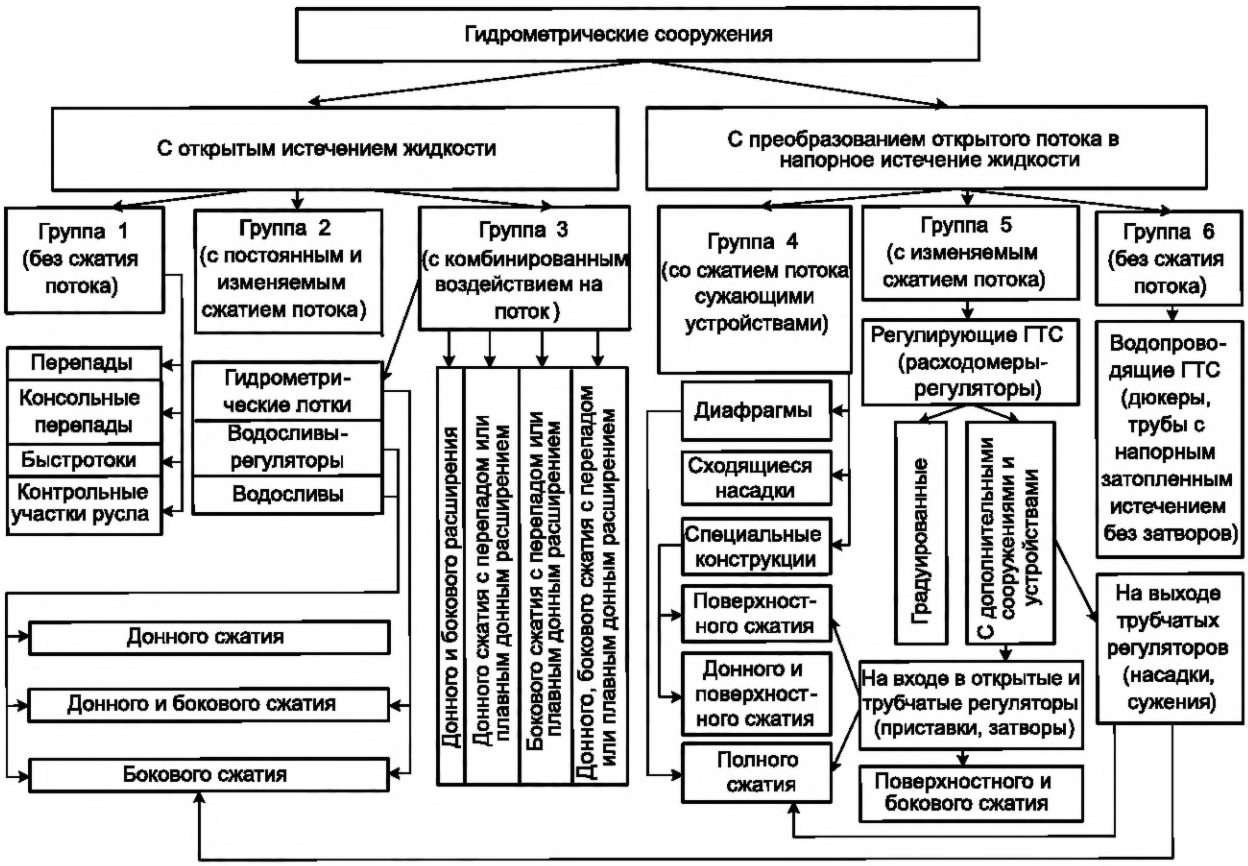
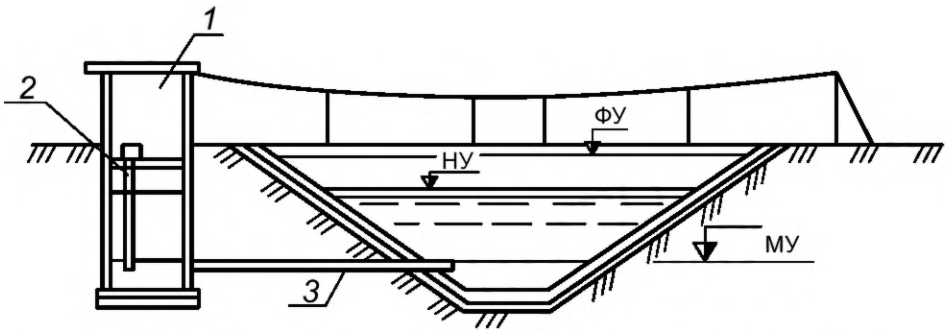


Рисунок А.1 — Схема общей классификации гидрометрических сооружений и устройств



1 — успокоительный колодец; *2* — уровнемер; *3* — соединительное устройство (труба); ФУ — форсированный уровень воды, м; НУ — нормальный уровень воды, м; МУ — минимальный уровень воды, м

Рисунок А.2 — Схема компоновки РУВ

Приложение Б
(рекомендуемое)

Область применения и размещение гидрометрических сооружений

Таблица Б.1 — Область применения и размещение гидрометрических сооружений

Тип и конструкция гидрометрического сооружения	Измеряемый расход, $м^3/с$		Область применения, характеристика русла и водотока, ограничения
	Минимальный	Максимальный	
1 Водосливы с тонкой стенкой			
Треугольные (Томсона) с φ = 90°; φ = 45°	0,0005	0,4	Для измерений расходов воды с погрешностью 1—3 %. Устанавливаются в специальных баках и резервуарах с прямоугольным поперечным сечением. Ограничения: необходимость свободного истечения жидкости, отсутствие наносов в потоке, обеспечение подходной скорости до 0,4 м/с
Прямоугольные с донным сжатием, с донным и боковым сжатием потока	0,005	4,0	Для каналов трапецеидального и прямоугольного сечений с расходами до 5,0 $м^3/с$ с подходной скоростью потока до 0,5 м/с
Трапецеидальные с m_n = 0,25 и m_n = 1,0	0,01	5,0	
2 Водосливы с порогами практического профиля			
Трапецеидальные пороги:			Бетонированные каналы прямоугольного и трапецеидального сечений, земляные каналы трапецеидального сечения с бетонной облицовкой участка гидрометрического створа. Рекомендуются в основном для равномерного и медленно изменяющегося режимов
- симметричного и несимметричного профиля	0,05	10,0	
- с вертикальным откосом в нижнем бьефе	0,1	10,0	
- с продольным трапецеидальным вырезом типа САНИИРИ	0,05	10,0	
Треугольные пороги:			Бетонированные каналы прямоугольного и трапецеидального сечений, земляные каналы трапецеидального сечения с бетонной облицовкой участка гидрометрического створа. Рекомендуются в основном для равномерного и медленно изменяющегося режимов
- несимметричного профиля с m_{p1} = 2,0; m_{p2} = 5,0	0,15	10,0	
- порог Крампа; то же, но с закругленным гребнем	0,15	10,0	
- несимметричного профиля с продольным треугольным вырезом	0,01	10,0	
3 Водосливы с широким порогом			
С прямоугольной и закругленной входной кромкой	0,006	10,0	Бетонированные каналы прямоугольного и трапецеидального поперечного сечения. Земляные каналы и естественные русла любой формы поперечного сечения с бетонированным участком прямоугольного сечения в месте расположения гидрометрического сооружения
С наклонной входной гранью, с закругленной входной кромкой, с продольным треугольным вырезом	0,006	10,0	

Окончание таблицы Б.1

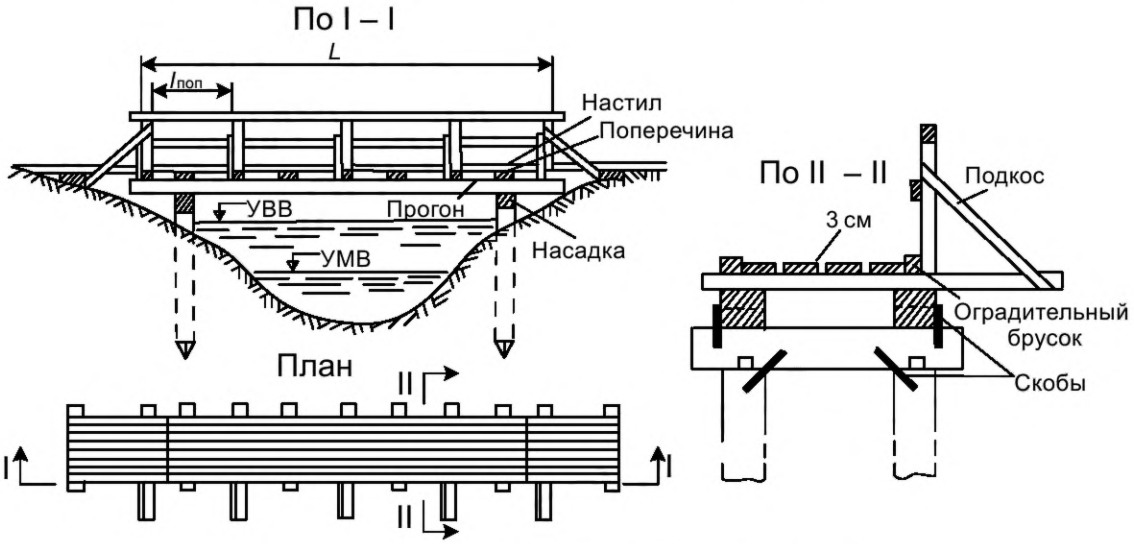
Тип и конструкция гидрометрического сооружения	Измеряемый расход, $м^3/с$		Область применения, характеристика русла и водотока, ограничения
	Минимальный	Максимальный	
4 Гидрометрические лотки			
Прямоугольные с боковым, с совместным донным и боковым сжатием	0,02	5,0	Устанавливаются в каналах прямоугольного, трапецеидального, параболического и полукруглого поперечных сечений, в естественных руслах и в бороздах. Рекомендуются к применению как для чистой воды, так и для потоков, транспортирующих взвешенные и донные наносы. Требуют наименьших перепадов уровней воды. Могут быть использованы при подпорно-переменном режиме с предельным относительным затоплением, не превышающим 0,80—0,84
Трапецеидальные с боковым, с совместным донным и боковым сжатием	0,02	10,0	
Полукруглые с боковым, с совместным донным и боковым сжатием	0,02	10,0	
Укороченной длины типа САНИИРИ	0,05	2,0	
5 Устройства, преобразующие открытый поток в напорное истечение жидкости в канале			
Круглые сходящиеся насадки САНИИРИ	0,02	1,0	Устанавливаются в каналах прямоугольного, трапецеидального, параболического и полукруглого поперечных сечений
Устройства поверхностного сжатия	0,1	5,0	
Дополнительные гидрометрические устройства к регуляторам-водовыпускам			
Приставки прямоугольного сечения с открытым регулятором	0,12	4,0	Рекомендуются на открытых и напорных водовыпусках-регуляторах в качестве расходомеров-регуляторов при расходе воды $Q_{max}/Q_{min} \le 5,0$
Приставки прямоугольного сечения с криволинейной верхней полкой для трубчатых и открытых регуляторов	0,12	5,0	В небольших каналах трапецеидального поперечного сечения, в параболических оросительных лотках. Рекомендуются к применению при небольших перепадах уровней воды на гидрометрическом посту
Устройство типа Вентури на выходе трубчатых водовыпусков и регуляторов	0,25	5,0	Рекомендуется для установки на регулируемых вододелителях и водовыпусках (водовыделах)
6 Использование существующих ГТС в качестве расходомерных сооружений			
Перепады и быстротоки, дюкеры, градуированные регуляторы-водовыпуски	Лимитируются пропускной способностью сооружений		Указанные ГТС могут быть использованы в качестве гидрометрических сооружений после их градуировки и оснащения измерительной аппаратурой
Контрольные закрепленные створы с устойчивыми или облицованными участками русла	1,0	250,0 и более	В каналах любого поперечного сечения, в водотоках с естественным руслом для контроля расходов воды

Приложение В
(рекомендуемое)

Примеры расчетов гидрометрических мостиков

В.1 Пример расчета балочного гидрометрического мостика

В.1.1 Балочный гидрометрический мостик (см. рисунок В.1) должен перекрыть пролет L = 7,2 м. Назначают ширину мостика (расстояние между осями прогонов) b = 0,8 м, расстояние между поперечинами $l_{поп}$ = 1,2 м. В качестве временной нагрузки принимают нагрузку от людей с интенсивностью 0,004 МН/м^2 (400 кгс/м^2).



УВВ — уровень высоких вод, м; УМВ — уровень меженных вод, м

Рисунок В.1 — Однопролетный деревянный балочный мостик

В.1.2 Для настила принимают доски толщиной t = 4 см и проверяют их прочность при условии, что участок настила рассматривается как балка, лежащая на двух соседних опорах-поперечинах. Коэффициент перегрузки для временной нагрузки равен 1,25. Расчетное сопротивление на изгиб для досок равно 13 МН/м^2 (см. таблицу В.1).

Таблица В.1 — Расчетные сопротивления для сосны и ели

Вид напряжений и элементов	Обозначение	Расчетное сопротивление	
		кг/см^2	МН/м^2
1 Изгиб	$R_и$	130	13,0
2 Растяжение вдоль волокон	$R_р$	100	10,0
3 Сжатие и смятие вдоль волокон	$R_с$	130	13,0
4 Сжатие и смятие волокон по всей поверхности	$R_с$	18	1,8
5 Местное смятие поперек волокон:			
- в опорных плоскостях	$R_{см}$	24	2,4
- в лобовых врубках и шпонках		30	3,0
- под шайбами при углах смятия 60°—90°		40	4,0
6 Скалывание	$R_{ск}$	12	1,2

Расчетная нагрузка q на 1 пог. м настила составляет

$$q = 1{,}25 \cdot 0{,}004 \cdot b = 1{,}25 \cdot 0{,}004 \cdot 0{,}8 = 0{,}004 \text{ МН/м}. \quad (В.1)$$

В.1.3 Рассчитывают максимальный изгибающий момент M от равномерно распределенной нагрузки

$$M = \frac{q \cdot l_{поп}^2}{8} = \frac{0{,}004 \cdot 1{,}2^2}{8} = 0{,}00072 \text{ МН} \cdot \text{м}. \quad (В.2)$$

В.1.4 Вычисляют момент сопротивления W для настила, имеющего в поперечном сечении форму прямоугольника

$$W = \frac{k \cdot b \cdot t^2}{6} = \frac{0{,}85 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}04^2}{6} = 0{,}000181 \text{ м}^3. \quad (В.3)$$

Коэффициент k = 0,85 учитывает наличие щелей между досками настила.

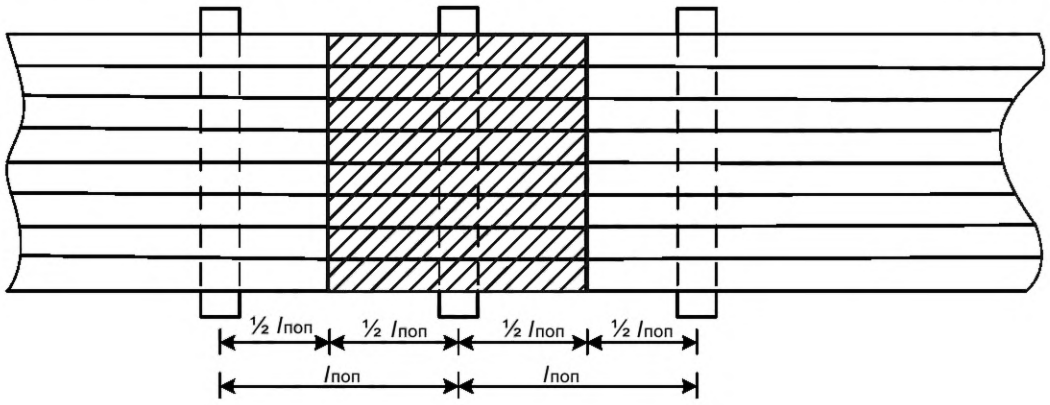
В.1.5 Вычисляют напряжение, возникающее в настиле, и выполняют проверку его прочности по выражению

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{0{,}00072}{0{,}000181} = 3{,}98 < 13 \text{ МН/м}^2. \quad (В.4)$$

Таким образом, в рассматриваемом мостике настил из досок толщиной 4 см с большим запасом выдерживает нагрузку. Но использовать для настила доски толщиной менее 3—4 см не рекомендуется в связи с их недолговечностью.

В.1.6 От настила нагрузка передается на поперечину, которую также рассматривают как балку, свободно лежащую на двух опорах-прогонах и имеющую пролет b, равный 0,8 м. Принимают поперечное сечение деревянной поперечины квадратным со стороной a = 8 см.

В.1.7 Нагрузка на поперечину будет собираться с площади настила, заштрихованной на рисунке В.2.



$l_{поп}$ — расстояние между поперечинами мостика, м

Рисунок В.2 — Схема к расчету нагрузок на поперечину мостика

Эта нагрузка имеет постоянные и временные составляющие. К первым относятся вес настила $q_{наст}$ и вес поперечины $q_{поп}$ с коэффициентом перегрузки 1,1 (вес 1 м^3 сосны принят 0,006 МН/м^3). Указанные нагрузки, приходящиеся на 1 пог. м поперечины определяют по формулам:

$$q_{наст} = 1{,}1 \cdot \gamma \cdot l_{поп} \cdot t = 1{,}1 \cdot 0{,}006 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}04 = 0{,}00032 \text{ МН/м}, \quad (В.5)$$

$$q_{поп} = 1{,}1 \cdot \gamma \cdot a^2 \cdot 1 = 1{,}1 \cdot 0{,}006 \cdot 0{,}08^2 = 0{,}00004 \text{ МН/м}. \quad (В.6)$$

Временную нагрузку $q_{вр}$ определяют по формуле

$$q_{вр} = 1{,}25 \cdot 0{,}004 \cdot l_{поп} = 1{,}25 \cdot 0{,}004 \cdot 1{,}2 = 0{,}006 \text{ МН/м}. \quad (В.7)$$

Полную нагрузку на 1 пог. м поперечины $q_п$ определяют по формуле

$$q_п = q_{наст} + q_{поп} + q_{вр} = 0{,}00636 \text{ МН/м}. \quad (В.8)$$

В.1.8 Определяют изгибающий момент M, момент сопротивления W и напряжение σ

$$M = \frac{q_п \cdot b^2}{8} = \frac{0{,}00636 \cdot 0{,}8^2}{8} = 0{,}00051 \text{ МН} \cdot \text{м}, \quad (В.9)$$

$$W = \frac{a^3}{6} = \frac{0{,}08^3}{6} = 0{,}000085 \text{ м}^3, \quad (В.10)$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{0{,}00051}{0{,}000085} = 6{,}0 < 13 \text{ МН/м}^2. \quad (В.11)$$

Поперечина выдерживает нагрузку. Усилия от поперечин в виде их опорных реакций передаются на прогоны. Для изготовления прогона используют брус сечением 20 × 22 см 1 пог. м $q_{пр}$ определяют по формуле

$$q_{пр} = \gamma \cdot 0,2 \cdot 0,22 = 0,006 \cdot 0,044 = 0,000264 \text{ МН/м}. \quad (В.12)$$

В.1.9 Опорную реакцию поперечины N вычисляют по формуле

$$N = \frac{q_п \cdot b}{2} = \frac{0,00636 \cdot 0,8}{2} = 0,002544 \text{ МН}. \quad (В.13)$$

Опорные реакции поперечин являются для прогона сосредоточенными силами. Но так как поперечин много и они равномерно расставлены по всему прогону, то для удобства расчетов сосредоточенные силы приводят к равномерно распределенной нагрузке $q_{равн}$ по формуле

$$q_{равн} = \frac{N}{l_{поп}} = \frac{0,002544}{1,2} = 0,00212 \text{ МН/м}. \quad (В.14)$$

В.1.10 Полную нагрузку на 1 пог. м прогона $q_{прог}$ определяют по формуле

$$q_{прог} = q_{равн} + q_{пр} = 0,00212 + 0,000264 = 0,002384 \text{ МН/м}. \quad (В.15)$$

Затем рассчитывают изгибающий момент M, момент сопротивления W и напряжение σ (как для настила и поперечины) по формулам

$$M = \frac{q_{прог} \cdot L^2}{8} = \frac{0,002384 \cdot 7,2^2}{8} = 0,0154 \text{ МН} \cdot \text{м}, \quad (В.16)$$

$$W = \frac{0,20 \cdot 0,22^2}{6} = 0,0016 \text{ м}^3, \quad (В.17)$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{0,0154}{0,0016} = 9,6 < 13 \text{ МН/м}^2. \quad (В.18)$$

Прогон выдерживает нормальные напряжения. Его также проверяют на касательные напряжения τ. Максимальную перерезывающую силу Q вычисляют по формуле

$$Q = \frac{q_{прог} \cdot L}{2} = \frac{0,002384 \cdot 7,2}{2} = 0,0086 \text{ МН}. \quad (В.19)$$

Касательное напряжение τ вычисляют по формуле

$$\tau = \frac{3Q}{2F} = \frac{3 \cdot 0,0086}{2 \cdot 0,2 \cdot 0,22} = 0,3 < 1,2 \text{ МН/м}^2, \quad (В.20)$$

где F — это площадь сечения.

Таким образом, условие прочности по касательному напряжению соблюдается.

В.1.11 Проверяют прогон на жесткость. Для прогонов относительный прогиб f/L должен находиться в пределах 1/400—1/500. Определяют стрелу прогиба f (см. рисунок В.3).

$$f = \frac{5 \cdot q_{прог} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 0,002384 \cdot 7,2^4}{384 \cdot 0,1 \cdot 10^5 \cdot 0,00017} = 0,049 \text{ м}; \quad (В.21)$$

$$\frac{f}{L} = \frac{0,049}{7,2} = \frac{1}{150}, \quad (В.22)$$

где E — модуль упругости первого рода;

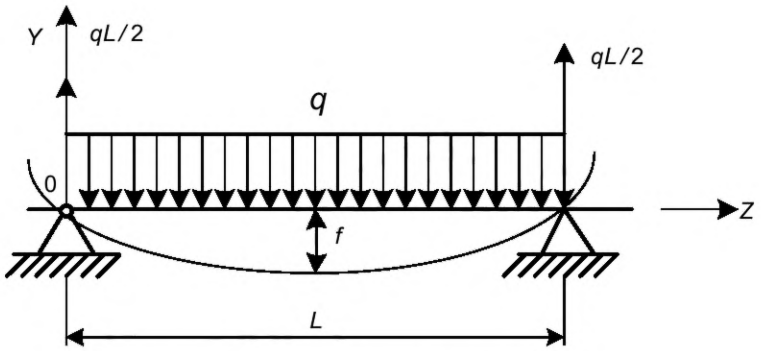
I — момент инерции сечения относительно оси, совпадающей с нейтральным слоем сечения.

Момент инерции сечения относительно оси, совпадающей с нейтральным слоем сечения, I вычисляют по формуле

$$I = \frac{(b_{пр} \cdot h_{пр}^3)}{12}, \quad (В.23)$$

где $b_{пр}$ — ширина сечения прогона, м;

$h_{пр}$ — высота сечения прогона, м.



q — нагрузка, кН/см; f — стрела прогиба, м; L — длина пролета, м

Рисунок В.3 — Расчетная схема для определения стрелы прогиба

В.1.12 Таким образом, выбранные размеры поперечного сечения прогона не обеспечивают требуемой жесткости. В связи с этим сечение увеличивают до 26 × 28 см (изменение веса 1 пог. м прогона незначительно, и его допускается не учитывать) и рассчитывают по формулам (В.25), (В.26).

$$I = \frac{0{,}26 \cdot 0{,}28^3}{12} = 0{,}000476 \text{ м}^4, \tag{В.24}$$

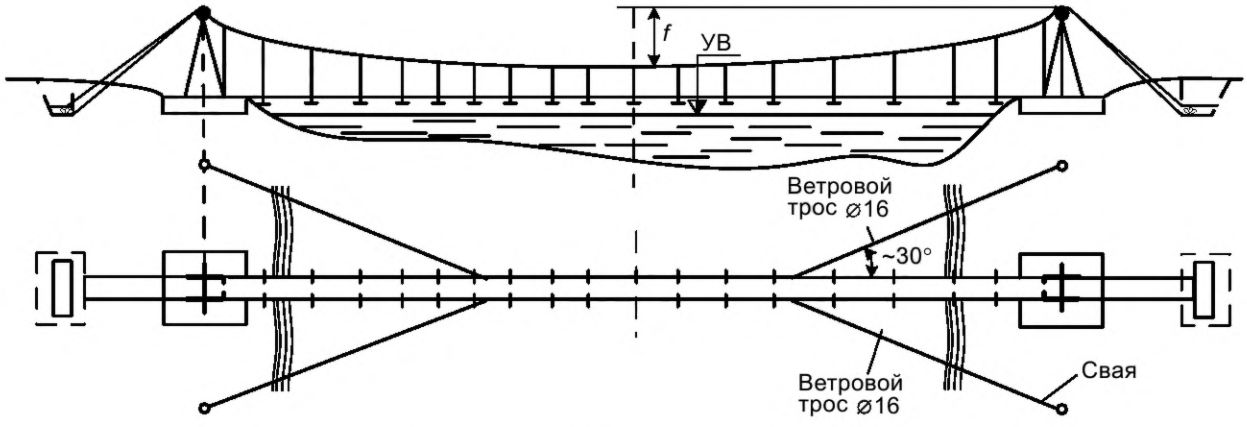
$$f = \frac{5 \cdot 0{,}002384 \cdot 7{,}2^4}{384 \cdot 0{,}1 \cdot 10^5 \cdot 0{,}000476} = 0{,}0176 \text{ м}, \tag{В.25}$$

$$\frac{f}{L} = \frac{0{,}0176}{7{,}2} = \frac{1}{450}. \tag{В.26}$$

Таким образом, прогон считают подобранным.

В.2 Пример расчета подвесного гидрометрического мостика

В.2.1 После определения отметки низа пролетного строения моста назначают высоту каната a над настилом в середине мостика. Обычно a лежит в пределах 0,8—1,2 м. Затем выбирают стрелу провеса каната (см. рисунок В.4) и в зависимости от этого, а также от намеченного на поперечном профиле местоположения опор определяют высоту опор и назначают места для закладки якорей. Далее задают ширину моста и расстояние между подвесками.



УВ — уровень воды, м; f — стрела прогиба, м

Рисунок В.4 — Продольный разрез и план подвесного гидрометрического мостика

Длину подвески y вычисляют по формуле

$$y = a + \frac{4x^2 \cdot f}{L^2} + l_3, \tag{В.27}$$

где x — расстояние от середины пролета (т. е. от точки наибольшего провисания троса) до рассчитываемой подвески;

l_3 — длина, необходимая для закрепления концов подвески к канату и к поперечине.

Расчет настила и поперечин подвесного мостика выполняют так же, как балочного. Опорная реакция поперечины N используется для определения площади сечения (диаметра) металлической подвески, работающей на осевое растяжение. Площадь сечения (диаметра) металлической подвески F рассчитывают по формуле

$$F = \frac{N}{R_р}. \quad (В.28)$$

Усилие, передаваемое подвеской на канат, $q_п$ рассчитывают по формуле

$$q_п = N + q_{подв}. \quad (В.29)$$

Усилие $q_п$ приводят к равномерно распределенной нагрузке по длине каната по формуле

$$q_{равн} = \frac{q_п}{l}. \quad (В.30)$$

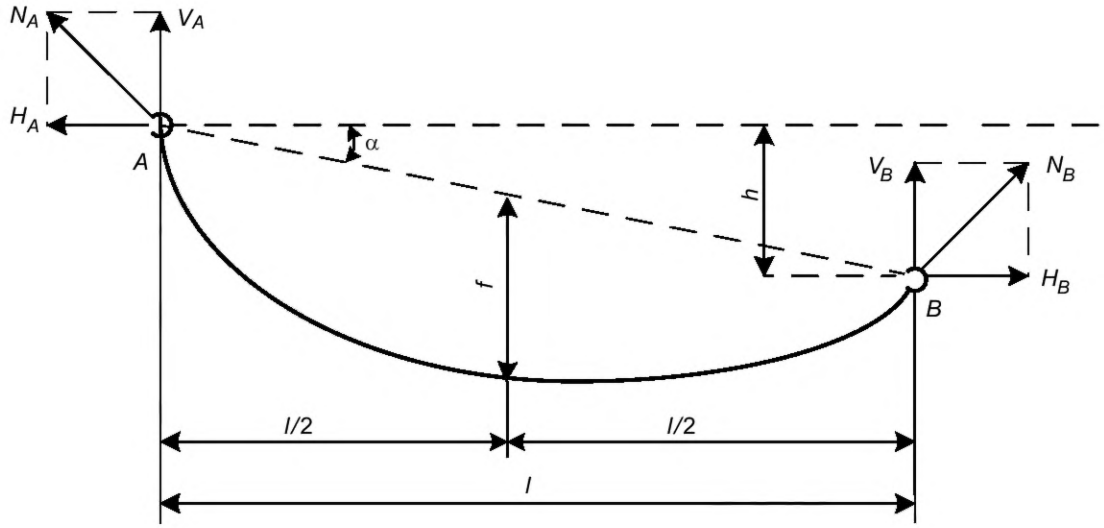
Предварительно задают диаметр каната, определяют вес его 1 пог. м $q_{кан}$ и вычисляют полную нагрузку на 1 пог. м каната по формуле

$$q_К = q_{равн} + q_{кан.} \quad (В.31)$$

Горизонтальную H_A и вертикальную V_A составляющие опорных реакций рассчитывают по формулам:

$$H_A = \frac{q_к \cdot l^2}{8f \cdot \cos a}, \quad (В.32)$$

$$V_A = \frac{q}{2 \cdot \cos a}. \quad (В.33)$$



f — стрела прогиба, м; l — длина прогиба, м; h — разница между опорами подвесного мостика, м; H_A — горизонтальное усилие на левой опоре, кН; V_A — вертикальное усилие на левой опоре, кН; H_B — горизонтальное усилие на правой опоре, кН; V_B — вертикальное усилие на правой опоре, кН

Рисунок В.5 — Схема к определению усилий в несущем канате

Определяют усилие в канате H и вычисляют его диаметр по формуле

$$N_A = (H_A^2 + V_A^2)^{0,5}. \quad (В.34)$$

В.2.2 Для расчета опоры необходимо знать давление, оказываемое канатом на уравнительный ролик. Это давление равно равнодействующей от усилий в двух ветвях каната, одна из которых направлена к реке, другая — к якорю. Усилия в обеих ветвях принимают одинаковыми по величине и равными $N_{расч}$, определяемому по формуле

$$N_{расч} = k_3 \cdot N, \quad (В.35)$$

где k_3 — коэффициент запаса (для гидротехнических сооружений $k_3 \geq 2$);

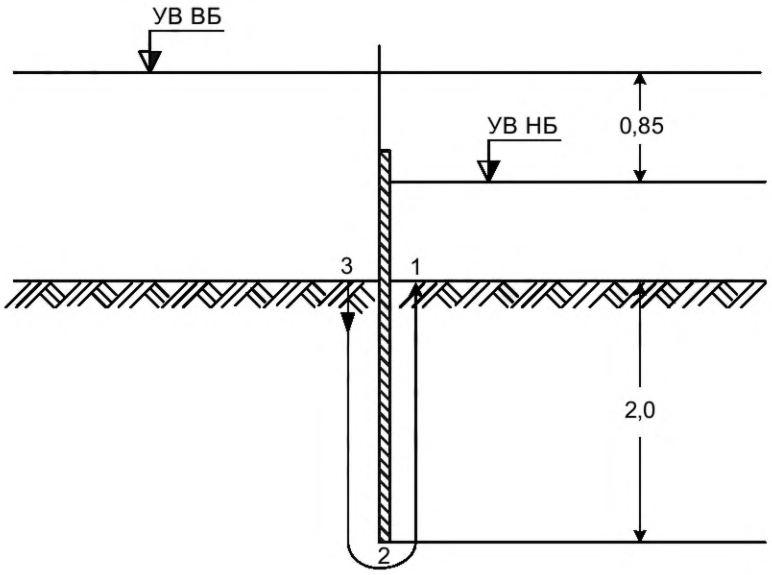
N — усилие в канате.

Определив по схеме мостика направление ветвей каната у опоры, величину и направление равнодействующей находят графически по правилу параллелограмма. Затем, в зависимости от принятой конструкции опоры, определяют вид деформации, испытываемой каждым элементом опоры, вычисляют действующие на элементы усилия и по формулам для расчета напряжений при соответствующих деформациях рассчитывают размеры поперечных сечений элементов опоры.

В.3 Пример проектирования подземного контура водослива

В.3.1 Проектируют подземный контур водослива с тонкой стенкой, строительство которого осуществляют затем в деревянной несущей конструкции. Глубина забивки шпунтовой стенки не может быть более 2 м в связи с тем, что ниже имеются валуны. Грунт в створе строительства — мелкий песок ($C_0 = 7$).

Схема проектируемого сооружения со всеми необходимыми для гидротехнического расчета размерами изображена на рисунке В.6.



УВ ВБ — уровень воды в верхнем бьефе, м; УВ НБ — уровень воды в нижнем бьефе, м

Рисунок В.6 — Схема к примеру расчета длины подземного контура водослива

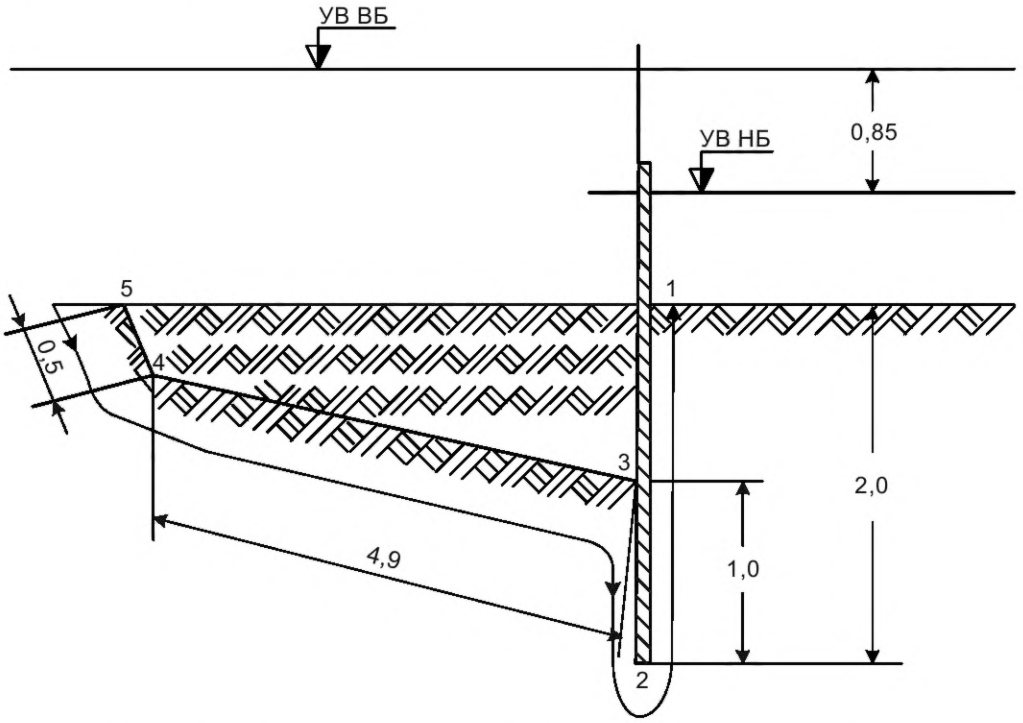
Подземный контур представлен шпунтом. Точки перегиба подземного контура обозначены цифрами на концах участков. Выделяют два участка (две стороны шпунтовой стенки): (1—2) и (2—3), каждый длиной по 2 м. По формуле (14) (см. 7.30) вычисляют $L_{пр} = 4$ м. По формуле (13) определяют $L_{про} = C_0 \cdot Z = 7{,}0 \cdot 0{,}85 = 5{,}95$ м. Так как $L_{пр} < L_{про}$, то имеющегося шпунта недостаточно для предотвращения суффозии, и подземный контур необходимо удлинить. Это возможно осуществить за счет строительства глиняного понура. Глиняному понуру задают такие размеры (см. рисунок В.7), чтобы $L_{про} \geq 5{,}95$ м. Расчет длины нового подземного контура осуществляют по таблице В.2.

Таблица В.2 — Расчет длины подземного контура расходомера

В метрах

Участок	Длина			
	$l_В$	$l_Г$	$l_Г/2$	$\Sigma l_В + 1/2 \cdot \Sigma l_Г$
1—2	2,00	—	—	2,00
2—3	1,00	—	—	3,00
3—4	—	4,90	2,45	5,45
4—5	0,50	—	—	5,95

Таким образом $L_{пр}$ = 5,95 м.



УВ ВБ — уровень воды в верхнем бьефе; УВ НБ — уровень воды в нижнем бьефе

Рисунок В.7 — Схема к примеру расчета размеров противофильтрационных элементов

Приложение Г
(рекомендуемое)

Примеры водосливов

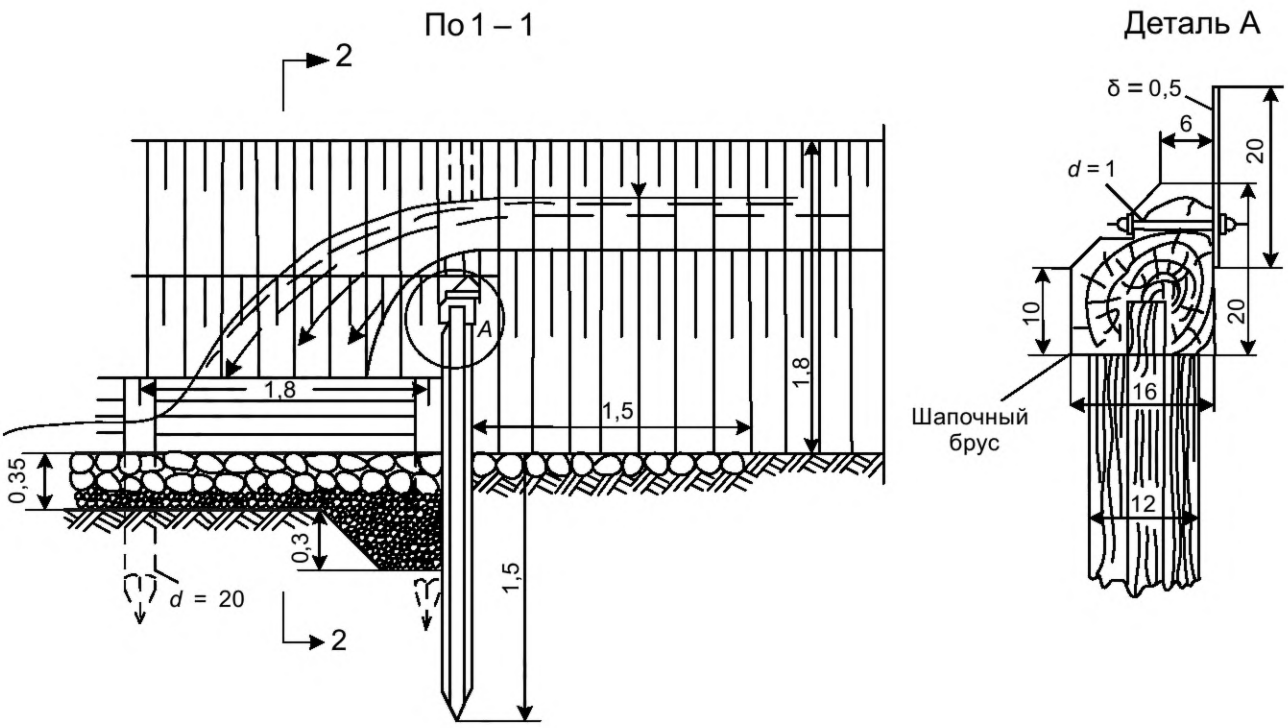


Рисунок Г.1 — Пример водослива с тонкой стенкой в деревянной несущей конструкции

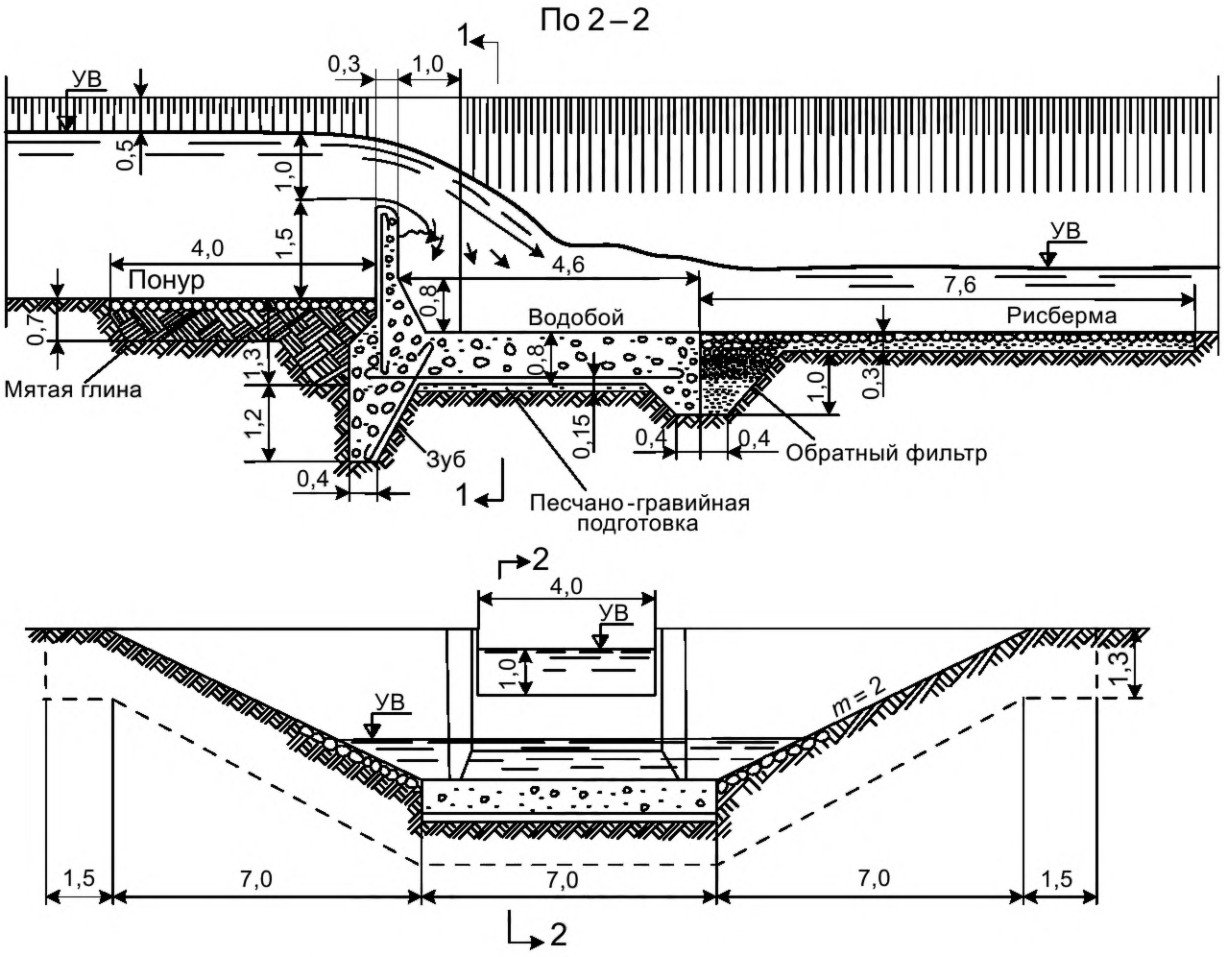


Рисунок Г.2 — Пример водослива с тонкой стенкой с прямоугольной формой выреза в железобетонной несущей конструкции

Библиография

[1] Постановление Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию»

[2] МИ 1759-87 Государственная система обеспечения единства измерений. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость — площадь»

[3] МИ 2406-97 Государственная система обеспечения единства измерений. Расход жидкости в открытых каналах систем водоснабжения и канализации. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков

УДК 626.82/83:628.17:006.354

ОКС 65.060.35
17.120.20

Ключевые слова: водоучет, водоизмерение, пункты водоучета, средства измерений, гидрометрические сооружения, поверка, гидротехнические сооружения, метрологическое обеспечение

Редактор *М.В. Митрофанова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 20.01.2025. Подписано в печать 07.02.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 3,47.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru