Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации

Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и технической оценки соответствия в строительстве»

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ МЕЛИОРАТИВНЫХ ВОДОСБРОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ С БЫСТРОТОЧНО-ПЕРЕПАДНЫМ ТИПОМ СОПРЯЖЕНИЯ БЬЕФОВ

Москва 2019

gost.e-ecolog.ru

Содержание

1 Область применения 1

2 Нормативные ссылки 1

3 Термины и определения 3

4 Общие положения 3

5 Конструкции водосбросных сооружений, оборудованных цилиндрическими гасителями со струеотклоняющими плитами и краткая характеристика их элементов 9

6 Расчеты водосбросных сооружений и указания по проектированию 13

6.1 Гидравлические и водохозяйственные расчеты 13

6.2 Расчет водопроводящей части 19

6.3 Расчет лотка быстротока 22

6.4 Расчет цилиндрического гасителя 23

6.5 Расчет участка сопряжения гасителя с отводящим каналом 29

6.6 Расчет отводящего канала 34

6.7 Фильтрационные расчеты и проектирование подземного контура 37

6.8 Статические расчеты 43

6.9 Вопросы привязки водосбросных сооружений к местным условиям 49

Приложение А Конструктивная схема панельного водосбросного сооружения с одним цилиндрическим гасителем с делителем потока треугольной формы на расход воды 25–50 $м^3/с$ 51

Приложение Б Конструктивная схема панельного водосбросного сооружения с одним цилиндрическим гасителем с делителем потока треугольной формы, установленным на быстротечном лотке перед гасителем и с одним (или двумя) горизонтальным лотком, переходящим в быстроточный на расход воды 50–75 $м^3/с$ 52

Библиография 53

Введение

Настоящее методическое пособие разработано с целью развития положений СП 100.13330.2016 «СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения».

Методическое пособие разработано для реализации задач повышения качества выполняемых проектных работ, сокращения сроков и снижения стоимости проектирования за счет использования типовых единых практических подходов к выполнению работ на основе унифицированных методик и технологий, а также для проведения независимых экспертных оценок выполненных работ, что приведет к снижению рисков возникновения аварийных ситуаций и повышению безопасной эксплуатации мелиоративных объектов.

Методическое пособие может использоваться специалистами проектных, научных и образовательных организаций.

Разработка методического пособия базировалась на исследованиях П. Г. Киселева [4], Р. Р. Чугаева [5], Ю. Ф. Буртыс, Ю. Ф. Филипович, П. К. Черник [6], В. Н. Щедрина и др.

Методическое пособие разрабатывалось ФГБНУ «РосНИИПМ» (д-р техн. наук, доц. *С. М. Васильев* (разделы 1–6), д-р техн. наук, проф., акад. РАН *В. Н. Щедрин* (разделы 1–6), канд. техн. наук *В. В. Слабунов* (разделы 1–6), канд. с.-х. наук *О. В. Воеводин* (разделы 1–6), канд. техн. наук *А. Л. Кожанов* (разделы 1–6), канд. техн. наук *А. В. Слабунова* (разделы 1–6), канд. техн. наук *С. Л. Жук* (разделы 1–6)).

1 Область применения

1.1 Настоящее методическое пособие разработано в развитие положений раздела 8 и подраздела 12.10 СП 100.13330.2016 при проектировании водосбросных сооружений мелиоративного назначения, с целью пояснения порядка расчета водосбросных сооружений с быстроточно-перепадным типом сопряжения бьефов.

1.2 Настоящее методическое пособие распространяется на вновь проектируемые, строящиеся, эксплуатируемые, реконструируемые мелиоративные водосбросные сооружения (далее – МВС) с быстроточно-перепадным типом сопряжения бьефов.

1.3 МВС могут быть использованы в качестве паводковых водосбросных сооружений низконапорных водохранилищных гидроузлов на местном стоке, устраиваемых для орошения, обводнения земель, рыборазведения, сельхозводоснабжения, борьбы с эрозией, а также на каналах в качестве аварийных водосбросов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом пособии приведены ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 33391–2015 Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Габариты приближения конструкций

ГОСТ Р 52398–2005 Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования

СП 15.13330.2012 «СНиП II-22-81* Каменные и армокаменные конструкции» (с изменениями № 1, № 2, № 3)

СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85*Нагрузки и воздействия» (с изменениями № 1, № 2)

СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01-83*Основания зданий и сооружений» (с изменениями № 1, № 2, № 3)

СП 23.13330.2018 «СНиП 2.02.02-85 Основания гидротехнических сооружений» (с изменением № 1)

СП 38.13330.2018 «СНиП 2.06.04–82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов»

СП 39.13330.2012 «СНиП 2.06.05-84* Плотины из грунтовых материалов» (с изменениями № 1, № 2, № 3)

СП 40.13330.2012 «СНиП 2.06.06-85 Плотины бетонные и железобетонные» (с изменениями № 1, № 2)

СП 41.13330.2012 «СНиП 2.06.08-87 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений» (с изменением № 1)

СП 58.13330.2019 «СНиП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения»

СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения (с изменением № 1)

СП 80.13330.2016 «СНиП 3.07.01-85 Гидротехнические сооружения речные»

СП 100.13330.2016 «СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения» (с изменением № 1)

СП 101.13330.2016 «СНиП 2.06.07-87 Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения» (с изменением № 1)

СП 126.13330.2017 «СНиП 3.01.03-84 Геодезические работы в строительстве»

СП 290.1325800.2016 Водопропускные гидротехнические сооружения (водосбросные, водоспускные и водовыпускные). Правила проектирования

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных документов 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 методическом пособии применены термины и определения в соответствии с [1], [2], [3], СП 58.13330, СП 81.13330, СП 100.13330, СП 290.1325800.

4 Общие положения

4.1 При проектировании МВС следует учитывать требования СП 15.13330, СП 20.13330, СП 22.13330, СП 23.13330, СП 38.13330, СП 39.13330, СП 40.13330, СП 41.13330, СП 63.13330, СП 80.13330, СП 100.13330, СП 101.13330, СП 126.13330, СП 290.1325800 и [7].

4.2 Конструкция МВС выбирается на основании анализа технико-экономических показателей различных сооружений и условий пропуска расчетных максимальных расходов весеннего половодья и дождевых паводков, исходя из требований уменьшения ущерба от затопления прилегающих территорий, с учетом природных условий района и места возведения водосброса, заиления наносами и переформирования русла водотока и берегов в верхнем и нижнем бьефах плотины, интересов рыбоводства, создания зон отдыха населения, требований санитарной безопасности, условий и методов производства работ, наличия в строительной организации машин и механизмов, обеспеченности сборными унифицированными элементами, местными и привозными строительными материалами.

4.3 Мелиоративные водосбросные сооружения с быстроточно-перепадным типом сопряжения бьефов работают на принципе гашения избыточной кинетической энергии потоков при их соударении, имеют закрепленный нижний бьеф и не образуют воронок размыва.

4.4 Мелиоративные водосбросные сооружения с быстроточно-перепадным типом сопряжения бьефов используются для автоматического сброса избыточных паводковых вод из водохранилища при подъеме уровня воды в нем выше входного порога, располагаемого на отметке нормального подпорного уровня (НПУ). Сброс максимального расчетного расхода производится при подъеме уровня воды в водохранилище до форсированного подпорного уровня (ФПУ) – при необходимости сооружения могут быть оборудованы затворами.

4.5 Мелиоративные водосбросные сооружения с быстроточно-перепадным типом сопряжения бьефов следует относить к IV классу сооружений, в соответствии с СП 58.13330 и [8]. Допустимые основания – глинистые и песчаные грунты, имеющие условное расчетное давление, но не менее 0,1 МПа. Сейсмичность района строительства должна быть не более 6 баллов. Сооружения не должны устраиваться на подверженных оползневым явлениям территориях.

4.6 Величину максимального расчетного расхода воды, подлежащего в процессе эксплуатации пропуску через водопропускные сооружения гидроузла, следует определять по [7] с учетом основных положений проектирования гидротехнических сооружений, предусмотренных СП 58.13330. Расчетный максимальный расход воды через водопропускные сооружения следует определять, исходя из расчетного максимального расхода воды в естественном незарегулированном состоянии, с учетом трансформации его проектируемыми и действующими водохранилищами и трансформации паводка, вызываемой хозяйственной деятельностью на водосборных площадях.

4.7 Количество и размеры отверстий МВС следует определять, исходя из условий пропуска максимального расчетного расхода воды при полном открытии всех водосбросных и водоспускных отверстий, с учетом возможности фор-

сирования уровня верхнего бьефа, максимальных допустимых удельных расходов воды и скорости течения в нижнем бьефе и др.

4.8 Назначение удельного расхода воды в нижнем бьефе при пропуске через МВС необходимо обосновывать сравнением технико-экономических показателей вариантов конструкций креплений водобоя, рисбермы, берегов с учетом геологического строения русла, скорости течения воды, глубины нижнего бьефа, допустимой величины размыва русла, условий гашения энергии и недопустимости завала нижнего бьефа наносами. В связи с применением МВС на низконапорных гидроузлах, явление кавитации на них отсутствует.

4.9 Расчетная высота волн, воздействующих на сооружение должна быть не более 0,8 м. За расчетную высоту волн принимают высоту волн 1 %-ной обеспеченности (в системе волн), образующихся в подводящем канале при максимальной скорости ветра расчетного направления 50 % обеспеченности в период стояния ФПУ. Расчет высоты волн следует проводить в каждом конкретном случае, в соответствии с СП 38.13330.

4.10 Для полного опорожнения водохранилища с целью проведения ремонтных работ по плотине, кроме МВС, необходимо устраивать донный водовыпуск.

4.11 Допускается устройство МВС при расчетной глубине промерзания грунта до 2 м.

4.12 В случае наличия ледоходов на водохранилище при проектировании МВС следует предусматривать ледозащитные устройства.

4.13 Сооружения МВС, ввиду применения развитой в плане криволинейной входной части, позволяют снижать напор на водосливном пороге до 0,5–0,8 м (при отсутствии затворов).

4.14 Сооружения возводят из сборно-монолитного железобетона. В качестве сборных элементов рекомендуется использование унифицированных железобетонных изделий: стеновых панелей (ПСП-10-36-2, ПСП-30-36-2а, ПСП 1,36 б2 ш1, ПС1-48-Б3), блоков (ПТУ-25-20), Г-образных блоков (СБ-30, СБ-40, Г 10.30-2-1, Г 15.30-21-2).

4.15 Для проезда автомобильного транспорта через водосбросные сооружения необходимо предусматривать автодорожный мост габаритами в соответствии с требованиями ГОСТ 33391. По гребню плотин рекомендуется предусматривать дорогу пятой категории согласно ГОСТ Р 52398. Транспортные нагрузки – Н-30 и НГ-60; равномерно распределенная нагрузка от группы людей $g = 400$ кг/см^2.

4.16 Засыпку обратных стенок входной части и дамб подводящего канала в пределах укрепляемого раструба рекомендуется выполнять из местного грунта с коэффициентом фильтрации близким к коэффициенту фильтрации грунта основания сооружения.

4.17 Для строительства монолитных элементов сооружений следует применять гидротехнический бетон марки 200 W6, согласно СП 41.13330. Марку бетона по морозостойкости назначают в каждом конкретном случае с учетом климатических условий района строительства.

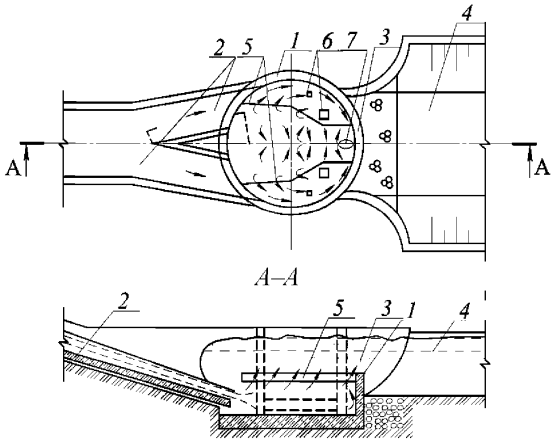
4.18 Бетонные вертикальные поверхности, соприкасающиеся с грунтом следует покрывать гидроизоляцией.

4.19 Бермы, откосы дамб и выемок рекомендуется закреплять засевом трав по слою растительного грунта.

4.20 Принцип работы гасителя энергии потока и основные составные части водосбросного сооружения

4.20.1 Принципиальная схема гасителя МВС приведен на рисунке 1.

Гаситель сооружения содержит цилиндрический колодец *1*, водопроводящие лотки *2* для подвода потока касательно стенкам колодца (в частности расходящиеся) и прорезь *3* для примыкания отводящего русла 4 к гасителю. Цилиндрический колодец *1* оборудован заглубленным под уровень воды струеотклоняющим устройством, состоящим из двух горизонтальных или наклонных плит *5*, расположенных по бокам колодца *1*. Причем плиты *5* могут быть снабжены отверстиями 6 по длине и расширяться в сторону нижнего бьефа. Между плитами *5* со стороны нижнего бьефа оставляют щель *7*. Успокоенный поток через прорезь *3* выходит в отводящее русло *4*.



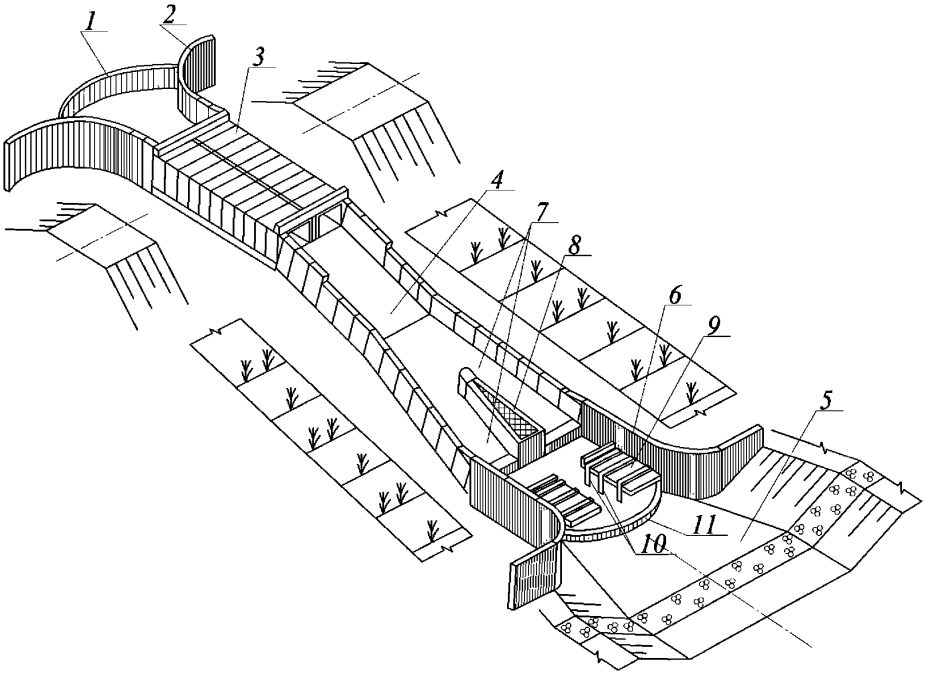
1 – цилиндрический колодец; *2* – водопроводящие лотки; *3* – прорезь; *4* – отводящее русло; *5* – струеотклоняющие плиты; *6* – отверстия в плитах; *7* – щель между плитами

***Рисунок 1* – План и разрез цилиндрического гасителя энергии потока, оборудованного струеотклоняющим устройством (принципиальная схема)**

4.20.2 Общий вид МВС приведен на рисунке 2.

Головная часть конструкции состоит из цилиндрического (или ломаного) в плане водосливного порога *1* в виде тонкой стенки и криволинейных (или плоских) направляющих открылков *2* (при необходимости головная часть оборудуется затвором). Транзитная часть включает в себя горизонтальный участок *3*, совмещенный с мостовым переездом и лоток быстротока *4*. Концевая часть снабжена гасителем.

4.20.3 Гаситель энергии потока выполнен в виде цилиндрического колодца 6, касательно стенок которого обеспечен подвод потока по расходящимся лоткам *7*, образованным расширяющимися к концу стенками лотка быстротока *4* и установленным по средине делителем потока *8*. По бокам колодца *6* смонтированы две горизонтальные плиты *9* струеотклоняющего устройства, которые установлены на стойках *10* выше порога *11*, расположенного на выходе из гасителя.



1 – водосливной порог; *2* – открылки; *3* – горизонтальный участок; *4* – лоток быстротока; *5* – отводящее русло; *6* – цилиндрический колодец; *7* – расходящиеся лотки; *8* – делитель потока; *9* – горизонтальные щиты; *10* – стойки; *11* – порог

***Рисунок 2* – Водосбросное сооружение с цилиндрическим гасителем, снабженным струеотклоняющей системой (с быстротечной транзитной частью)**

5 Конструкции водосбросных сооружений, оборудованных цилиндрическими гасителями со струеотклоняющими плитами и краткая характеристика их элементов

5.1 Схема водосбросного сооружения с быстроточно-перепадным типом сопряжения бьефов, оборудованного цилиндрическим гасителем с установленными по бокам струеотклоняющими плитами, приведен на рисунке 3.

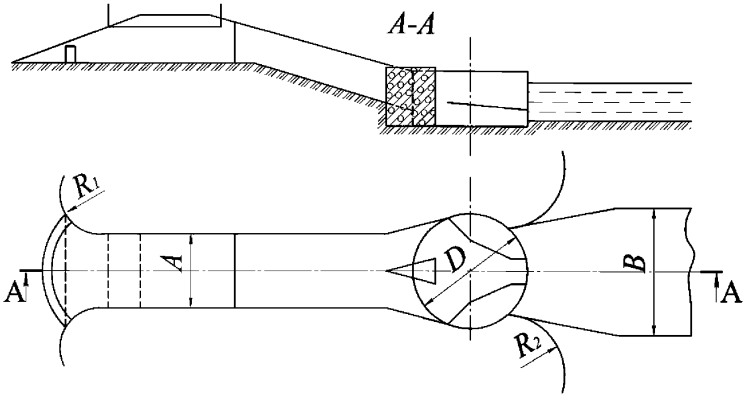


Рисунок 3 **– Водосбросное сооружение с быстроточно-перепадным типом сопряжения бьефов, оборудованное цилиндрическим гасителем с установленными по бокам струеотклоняющими плитами**

5.2 Рекомендуемые конструкции МВС:

- при расчетном расходе воды 25–50 м^3/с, рекомендуется конструкция с одним цилиндрическим гасителем (приложение А) внутренним диаметром, равным 10 м, с делителем потока треугольной формы, установленным на быстроточном лотке перед гасителем и с одним горизонтальным водопроводящим лотком, переходящим в быстроточный. Отношение ширины водопроводящей части к диаметру цилиндрического гасителя может достигать значений 0,65 – 0,55. По бокам гасителя над водобойной плитой установлены струеотклоняющие плиты;

- при расчетном расходе воды 50–75 м^3/с, рекомендуется конструкция с одним цилиндрическим гасителем (приложение Б) внутренним диаметром, равным 13 м, с делителем потока треугольной формы, установленным на быстротечном лотке перед гасителем и с одним (или двумя) горизонтальным лотком, переходящим в быстроточный. Отношение ширины водопроводящей части к диаметру цилиндрического гасителя может достигать значений 0,65 – 0,55. По бокам гасителя над водобойной плитой установлены струеотклоняющие плиты.

5.3 Сопрягаемый водосбросами перепад должен быть не более 10–15 м, при этом скорость потока в конце лотка быстротока должна быть не больше, допускаемой неразмывающей скорости для принятого вида крепления лотка.

5.4 Входной оголовок сооружения может состоять:

- из ковша полигональной в плане формы с порогом в виде тонкой стенки, головной части флютбета и устоев,

- из цилиндрического в плане порога в виде тонкой стенки, головной части флютбета и криволинейных входных направляющих открылков,

- из затвора механического или гидравлического действия, головной части флютбета и устоев.

5.5 Головную часть флютбета, устои (направляющие открылки) и пролетное строение моста необходимо объединять в рамную конструкцию.

5.6 Сопряжение устоев оголовка с откосами канала следует осуществлять с помощью обратных стенок (или направляющих криволинейных открылков). Обратные стенки (или направляющие открылки), устои входного оголовка рекомендуется выполнять из унифицированных железобетонных стеновых панелей ПСП–30–36–2а; стенки ковша (порог) – из Г-образных блоков (СБ-30, СБ-40, Г 10.30-2-1, Г 15.30-21-2); пролетное строение моста – из блоков ПТУ–25–20 (или железобетонных ребристых плит).

5.7 Днище ковша рекомендуется выполнять из монолитного железобетона толщиной 30 см с антикоррозионной гидроизоляцией, укладываемого на бетонную подготовку толщиной 10 см или из сборного железобетона, укладываемого на песчано-гравийную подготовку слоем 10 см. Во втором случае для вос-

приятия противодавления, передающегося на днище ковша, под ним рекомендуется укладывать полиэтиленовую пленку (геомембрану), пригруженную сверху слоем грунта, толщину которого следует назначать, исходя из необходимого веса пригрузки, а также из требования расположения пленки (геомембраны) ниже глубины промерзания грунта.

5.8 Часть флютбета, используемую в качестве мостового переезда, рекомендуется выполнять из монолитного железобетона толщиной 20 см, укладываемого на бетонную подготовку толщиной 10 см (с последующим монтажом блоков ПТУ–25–20) или из монолитного железобетона толщиной 50 см (в случае использования для пролетного строения моста железобетонных ребристых плит).

5.9 Лоток быстротока рекомендуется выполнять в виде сборно-монолитной конструкции: днище его толщиной 30 см – из монолитного железобетона, стенки из Г-образных блоков (СБ-30, СБ-40, Г 10.30-2-1, Г 15.30-21-2). Уклон лотка следует принимать в пределах i=0,25 – 0,10. При длине лотка более 25 м следует разделять его деформационными швами.

5.10 Делитель потока рекомендуется выполнять из Г-образных блоков (СБ-30, СБ-40, Г 10.30-2-1, Г 15.30-21-2). Его внутренняя полость должна быть заполнена грунтовым материалом и закрыта сверху сборной или монолитной бетонной плитой.

5.11 Гаситель энергии потока рекомендуется выполнять из сборно-монолитного железобетона: плита днища – монолитная, боковые стенки и выходные открылки – из блоков (ПСП–30-36-2а и ПСП–10-36-2), порог на выходе – из блоков (СБ-30, СБ-40, Г 10.30-2-1, Г 15.30-21-2), струеотклоняющие плиты (в сооружениях с расходом до 50 м^3/с) – из блоков ПСП–30-48-1, установленных на стойках. Стойки, установленные в гасителе, рекомендуется выполнять в виде хризотилцементных труб (с размещенным внутри арматурным каркасом), заполненных бетоном или в виде стальных труб, заполненных бетоном. Все стойки (или заложенная в них арматура) должны быть надежно сварены с арма-

турой днища гасителя, а плиты струеотклоняющего устройства необходимо прикреплять к каждой стойке и к смежным боковым стенкам колодца.

5.12 В месте сопряжения лотка быстротока с цилиндрическим гасителем и в местах устройства деформационных швов следует предусматривать устройство обратного фильтра.

5.13 Для защиты сооружений от воздействия сил морозного пучения грунта основания (при строительстве на пучинистых грунтах), необходимо предусматривать укладку подушки из песка средней крупности (или крупного) под днище входного оголовка и лотка быстротока на 2/3 глубины сезонного промерзания, а также засыпку песка за устои и обратные стенки. В районах, где расчетная глубина промерзания менее 0,5 м, песок за стенки и под днище сооружения не укладывают.

5.14 Для предохранения от размыва поверхностными водами наклонных плоскостей, расположенных вдоль лотка сооружения, необходимо предусматривать устройство водоотвода в виде открытых кюветов с закреплением откосов и дна плитами (рекомендуемая марка – ПКУ) или в виде поверхностных дрен глубиной 0,3–0,5 м, заполненных мелким камнем.

5.15 В случае отсутствия в строительных организациях сборных унифицированных элементов для возведения водосбросов, монтаж сооружений можно выполнить из блоков, изготовленных с использованием опалубки плит перекрытий, с изменением армирования изделий и их длины.

6 Расчеты водосбросных сооружений и указания по проектированию

6.1 Гидравлические и водохозяйственные расчеты

6.1.1 Мелиоративные водосбросные сооружения с быстроточно-перепадным типом сопряжения бьефов относятся к открытым водосбросам и содержат в своем составе: головную часть; водопроводящую часть, совмещенную с мостовым переездом; лоток быстротока, преимущественно прямоугольного сечения, разделяющийся с помощью делителя потока в нижней части на два рукава (совместно водопроводящая часть и лоток быстротока образуют транзитную часть); концевую часть, состоящую из гасителя энергии потока и закрепленного участка сопряжения гасителя с отводящим руслом, выполняемая совместно с переходным устройством к незакрепленному грунту функции рисбермы.

6.1.2 Подвод воды к водосливным порогам – фронтальный и осуществляется посредством подводящего русла или прямо из водохранилища. Сопряжение сбрасываемых через криволинейные пороги потоков с водопроводящей частью набрасываемых с водопроводящей части потоков с цилиндрическими гасителями носит пространственный характер.

6.1.3 Гашение водной энергии в гасителях осуществляется за счет соударения потоков при обтекании струеотклоняющих плит, в результате чего гидравлический прыжок затапливается в цилиндрических гасителях во всем диапазоне пропускаемых расходов воды и при всех допустимых по условиям применения сооружений уровнях воды в нижнем бьефе, что позволяет применять МВС в различных геологических условиях, при различных допускаемых неразмывающих скоростях в отводящем русле и глубинах воды в нижнем бьефе при максимальном расчетном расходе.

6.1.4 Гидравлический расчет включает в себя расчет входной и водопроводящей частей сооружений, лотка быстротока, гасителя энергии потока,

участка сопряжения гасителя с отводящим руслом, концевого устройства для перехода к незакрепленному грунту отводящего русла. Расчет выполняется на паводковый расход 1 %-ной обеспеченности с учетом трансформации паводка.

6.1.5 Гидравлический расчет входной части выполняется для определения пропускной способности сооружения. При применении ковша полигональной формы его размеры и пропускную способность рекомендуется принимать в соответствии с [9].

6.1.6 Для сооружений с одним водопроводящим лотком, входная часть которых состоит из установленного на горизонтальной плите цилиндрического водосливного порога с тонкой стенкой и двух вертикальных цилиндрических в плане направляющих открылков (рисунок 4), пропускная способность определяется по формуле водослива с тонкой стенкой

$$Q = m_0 \cdot B \cdot H_0^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{2 \cdot g}\,, \qquad (1)$$

где m_0 – коэффициент расхода водослива, учитывающий его форму, полноту напора, боковое сжатие потока перед водосливом и после него и влияние подтопления со стороны водопроводящей части сооружения;

B – длина криволинейного водосливного порога, м;

H_0 – напор на водосливе с учетом скорости подхода, м, в соответствии с СП 290.1325800;

g – ускорение силы тяжести, g = 9,81 м/с^2.

6.1.7 Геометрическую связь между элементами, из которых состоит головная часть, характеризуют следующие зависимости:

$$R_0 = \frac{B_0 \cdot \left(3 \cdot k^2 + 1\right)}{8 \cdot \sqrt{3 \cdot \left(k^2 - 1\right)}};$$

$$R_2 = \frac{B_0 / 4 + L^2 + 225 - 15 \cdot B}{B_0 - 30}, \qquad (2)$$

где R_0 – радиус входного водосливного порога, м;

B_0 – длина хорды, заменяющей криволинейный водослив, м;

$k = \frac{B}{B_0}$ – отношение длины криволинейного водослива к длине хорды, его заменяющей;

R_2 – радиус входного направляющего открылка, м;

L – расстояние от хорды, заменяющей криволинейный водослив, до нулевого створа, м (рисунок 4).

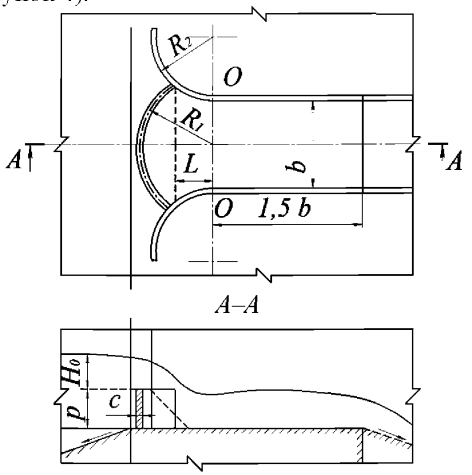


Рисунок 4 **– План и разрез входной части водосбросного сооружения с криволинейным в плане водосливным порогом**

6.1.8 Коэффициент расхода m_0 определяют из уравнения

$$m_0 = 0,59 + 0,0998 \cdot \frac{Q}{b^{2,5} \cdot g^{0,5}} - 0,2734 \cdot \frac{P}{b} - 0,0667 \cdot \frac{B_0}{b} - 0,1352 \cdot \frac{B}{B_0} - \\ -0,4891 \cdot \frac{Q \cdot P}{b^{3,5} \cdot g^{0,5}} - 0,3521 \cdot \frac{Q \cdot B_0}{b^{3,5} \cdot g^{0,5}} + 0,4747 \cdot \frac{P \cdot B_0}{b^2} + 0,483 \frac{Q^2}{b^5 \cdot g}, \quad (3)$$

где Q – расход, пропускаемый через водосливной порог, м^3/с;

b – ширина водопроводящего лотка, м;

P – высота водосливного, порога, м.

Формула (3) применима при следующих условиях:

$$0,0325 \le \frac{Q}{b^{2,5} \cdot g^{0,5}} \le 0,5505;$$

$$0,0567 \le \frac{P}{b} \le 0,6567;$$

$$1,0 \le \frac{B_0}{b} \le 2,0;$$

$$0,5 \le \frac{L}{b} \le 1,0;$$

$$1,000 \le \frac{B}{B_0} \le 1,571. \qquad (4)$$

Доверительный интервал, при уровне значимости α=0,05 для вычисленного с помощью формулы (3) коэффициента расхода, находится в пределах $\hat{m}_0 \pm 0,0066$.

При расчетах пропускной способности водосбросов и при выборе оптимальных вариантов входной части (по минимуму суммарной стоимости водосброса с плотиной) коэффициент расхода следует принимать в пределах $0,22 \le m_0 \le 0,48$.

6.1.9 Допускается расчет коэффициента расхода криволинейных водосливных порогов и анализ его изменения от влияющих факторов производить с помощью номограмм (рисунок 5), построенных на основании уравнения (3):
где

$$\pi_1 = \frac{Q}{b^{2,5} \cdot g^{0,5}};\ \pi_2 = \frac{P}{b};\ \pi_3 = \frac{B_0}{b};\ \pi_5 = \frac{B}{B_0}. \qquad (5)$$

Интерполяция номограмм за пределы построенных областей определения не допускается.

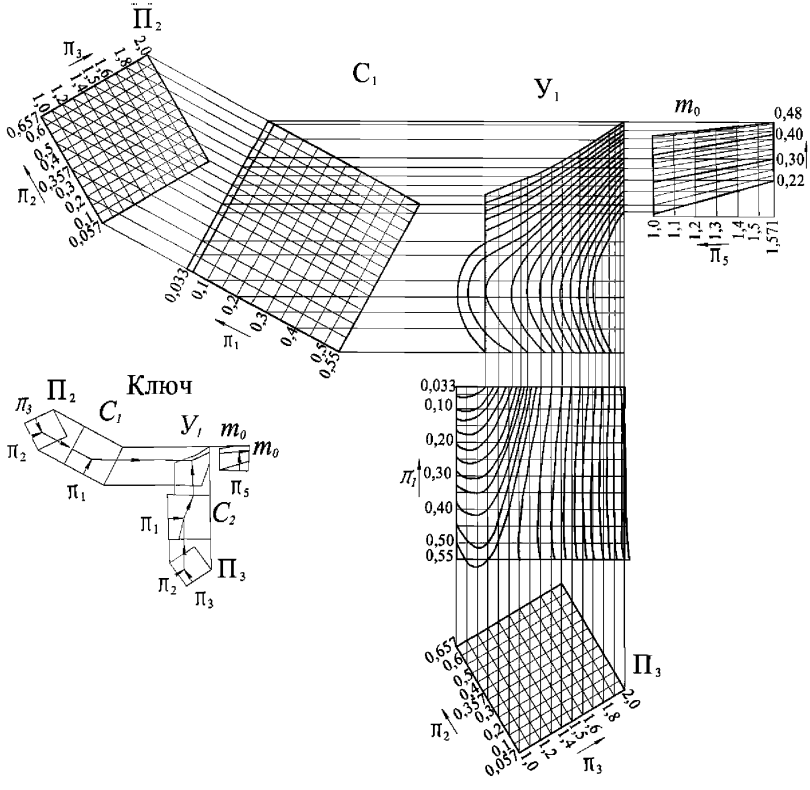


Рисунок 5 **– Номограммы для расчета коэффициента расхода криволинейных водосливных порогов открытых сопрягающих сооружений**

6.1.10 После определения напора на водосливе H_0 по формуле (1), необходимо проверять соответствие рассчитываемого конкретного водослива условию, при котором толщина его стенки C не влияет на характер движения потока (то есть – соответствие реального водослива критерию водослива с тонкой стенкой)

$$C \le 0{,}67 \cdot H_0. \qquad (6)$$

Форма входной части сооружения с криволинейным водосливным порогом принимается на основании технико-экономического анализа путем сравне-

ния возрастания затрат, вызванных увеличением длины, на возведение сооружения высоты и изменением местоположения водосливного порога с одной стороны и уменьшения затрат на возведение плотины и вертикальных элементов водосброса, вызванного снижением (при увеличении размеров водосливного порога) напора на пороге водослива (а значит ФПУ), с другой стороны, добиваясь оптимального их соотношения.

При принятии решения о выполнении головной части горизонтальной призматической формы без порога, входное отверстие работает как незаполненный водослив с широким порогом. Расчет в этом случае сводится к определению его требуемой ширины $b_{вх}$ по формуле

$$Q = \varepsilon \cdot m \cdot b_{вх} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H_0^{\frac{3}{2}}, \qquad (7)$$

где ε – коэффициент бокового сжатия, зависящий от формы и размеров подводящего канала и входной части, определяемой по [4];

H_0 – напор на пороге с учетом скорости подвода, м;

$m = 0,33 - 0,35$ – коэффициент расхода водослива с широким порогом при отсутствии порога у сооружения.

При такой компоновке сопрягающего сооружения его ширину рекомендуется принимать равной ширине входной части. В случае принятия решения об оборудовании входной части затворами, необходимо в каждом конкретном варианте иметь данные о пропускной способности и особенностях работы устанавливаемых затворов.

Размеры поперечного сечения подводящего канала назначаются с учетом допускаемых неразмывающих скоростей. Для устранения возможности образования в подводящем канале кривой спада, перед входной частью сооружения каналу придается форма сужающегося раструба, который закрепляют сборными железобетонными плитами.

6.2 Расчет водопроводящей части

6.2.1 На водопроводящей части сооружений с криволинейными порогами движение потока носит пространственный характер, при этом отношения максимальной глубины потока к минимальной в поперечных сечениях могут достигать значений 1,5 – 1,9. Определять максимальные отметки кривой свободной поверхности потока в водопроводящих лотках при максимальных расчетных расходах рекомендуется путем умножением полученных по формулам гидравлики для плоских потоков значений ординат кривой свободной поверхности на коэффициент, учитывающий пространственность движения потоков и равный 1,15 – 1,25. Средние значения ординат кривой свободной поверхности потока близки к значениям, определяемым по формулам гидравлики для плоских потоков.

6.2.2 В быстротоках, с входной частью в виде сужающего переходного участка с горизонтальным дном, переходящим в горизонтальный лоток с постоянной шириной по дну, глубина в начале быстротока равна критической, определяется по формуле

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot b^2}}, \qquad (8)$$

где $q = \frac{Q}{b}$ – удельный расход, м^2/с.

6.2.3 В быстротоках с криволинейным водосливным порогом глубина в начале быстротока равна $0{,}9 \cdot h_k$.

6.2.4 В случае выпуска на горизонтальный лоток головной части (водосливной порог отсутствует) или на водослив с широким порогом воды из-под щита (затвора), на их поверхности, в зависимости от высоты открытия затвора – a, м, значения выпускаемого расхода Q, напора перед затвором относительно

порога H_0 и коэффициента вертикального сжатия $\varepsilon_{\text{гш}} = \dfrac{h_0}{a}$, получится глубина в сжатом сечении h_c, которая может быть меньше или больше критической глубины h_k в данном отверстии.

При $h_c > h_k$ за затвором на входном участке будет иметь место вогнутая кривая подпора и в начале лотка быстротока установится некоторая глубина $h_1 > h_c$.

Глубину в сжатом сечении приближенно рекомендуется вычислять по формуле

$$h_c = \varepsilon_{\text{гш}} \cdot a, \qquad (9)$$

где $\varepsilon_{\text{гш}}$ – коэффициент вертикального сжатия, в зависимости от типа и конструкции затвора, рекомендуется принимать равным:

- при металлических плоских затворах $\varepsilon_{\text{гш}} = 0,65$,
- при деревянных щитах из досок $\varepsilon_{\text{гш}} = 0,63$,
- при сегментных металлических затворах $\varepsilon_{\text{гш}} = 0,70$.

6.2.5 Для определения глубины h_1, в конце кривой спада или подпора используют основное уравнение плавно изменяющегося неравномерного движения при горизонтальном дне потока и известной длине кривой l_0

$$h_1 + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot \omega_1^2} = \left(h_c + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot \omega_c^2} \right) + \frac{Q^2 \cdot l_0}{C_{ср}^2 \cdot \omega_{ср}^2 \cdot R_{ср}}, \qquad (10)$$

Искомую глубину h_1, определяют подбором. При всех условиях глубины $h_1 < h_k$ (при малой длине входной части) для определения глубины в конце горизонтального участка рекомендуется использовать уравнение кривой для $i = 0$ [4];

$$h_k = \frac{l_{1-2} \cdot i_k}{\left[j_{\text{кср}} \cdot (\xi_2 - \xi_1) - \frac{\xi_2^{\chi+1} - \xi_1^{\chi+1}}{\chi + 1} \right]}, \qquad (11)$$

где l_{1-2} – длина заданного участка, м;

i_k – критический уклон;

χ – гидравлический показатель русла, м;

ξ_1, ξ_2 – относительные глубины, м:

$$\xi_1 = \frac{h_1}{h_{кр}}; \ \xi_2 = \frac{h_2}{h_{кр}};$$

$j_{\text{кср}}$ – величина, учитывающая изменение живой силы вдоль потока, определяемая по формуле

$$j_{\text{кср}} = \frac{a \cdot C^2 \cdot i_k \cdot B}{g \cdot \chi},$$

где a – коэффициент Кориолиса;

C – коэффициент в формуле Шези $v = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$;

B – ширина по верху, м.

6.2.6 По найденной h_k и при заданном расходе Q определяют соответствующие значения ω_k, R_k, C_k и находят критический уклон по формуле

$$i_k = \frac{Q^2}{\omega_k^2 \cdot C_k^2 \cdot R_k} = \frac{Q^2}{K_k^2}, \qquad (12)$$

где $K_k = \omega_k \cdot C_k \cdot \sqrt{R_k}$.

6.2.7 Вычисления гидравлического показателя русла – χ проводят по формуле [4]

$$\chi = \frac{2 \cdot \lg \frac{K_1}{K_2}}{\lg \frac{h_1}{h_2}} = \frac{2 \cdot (\lg K_1 - \lg K_2)}{\lg h_1 - \lg h_2}, \qquad (13)$$

где глубины h_1 и h_2 произвольные:

$$K_1 = \omega_1 \cdot C_1 \cdot \sqrt{R_1} \text{ при } h_1,$$
$$K_2 = \omega_2 \cdot C_2 \cdot \sqrt{R_2} \text{ при } h_2.$$

6.2.8 Гидравлический расчет горизонтального лотка, при наличии водосливного порога практического профиля или с тонкой стенкой, в общем случае сводится к определению сжатой глубины h_c за ним.

Последовательность дальнейших расчетов по определению глубины воды в начале быстротока h_e аналогична вышеописанному.

6.3 Расчет лотка быстротока

6.3.1 Лоток быстротока – элемент сооружения в виде лотка прямоугольного или трапецеидального сечения с уклоном больше критического и с бурным движением воды в нем. В МВС преимущественно применяют лотки прямоугольного сечения.

6.3.2 Для назначения высоты боковых стенок лотка и расчета гасителя, вычисляют глубины в лотке и в его конце по формуле

$$\frac{i \cdot l}{h_0} = \eta_2 - \eta_1 - (1 - j_{cp}) \cdot [\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)], \qquad (14)$$

где i – уклон лотка быстротока;

h_0 – нормальная глубина в лотке быстротока, м;

η_1 и η_2 – относительные глубины в соответствующих створах 1–1 и 2–2;

$$\eta_1 = \frac{h_1}{h_0};\ \eta_2 = \frac{h_2}{h_0},$$

где h_1 и h_2 – глубина в створах соответственно 1–1 и 2–2, м;

l – расстояние между створами, м;

$j_{ср} = \frac{2 \cdot C_{ср} \cdot i \cdot b}{g \cdot \chi_{ср}}$ – член, учитывающий изменение живой силы вдоль потока;

$\varphi(\eta)$ – функции, определяемые по таблицам [4] в зависимости от гидравлического показателя χ

$$\chi = \frac{2 \cdot \left(\lg K_{ср} - \lg K_0\right)}{\lg h_{ср} - \lg h_0}, \qquad (15)$$

где $K_{ср} = \omega_{ср} \cdot C_{ср} \cdot \sqrt{R_{ср}}$ – средний модуль расхода, м^3/с;

$K_0 = \omega_0 \cdot C_0 \cdot \sqrt{R_0}$ – модуль расхода при нормальной глубине, м^3/с;

$h_{ср} = \frac{h_1 + h_2}{2}$ – средняя глубина потока между двумя сечениями, м.

Скорость в конце лотка быстротока определяется по формуле

$$V_в = \frac{q_в}{h_в}. \qquad (16)$$

6.4 Расчет цилиндрического гасителя

6.4.1 Траектория полета струи при быстроточно-перепадном типе сопряжения бьефов приведена на рисунке 6.

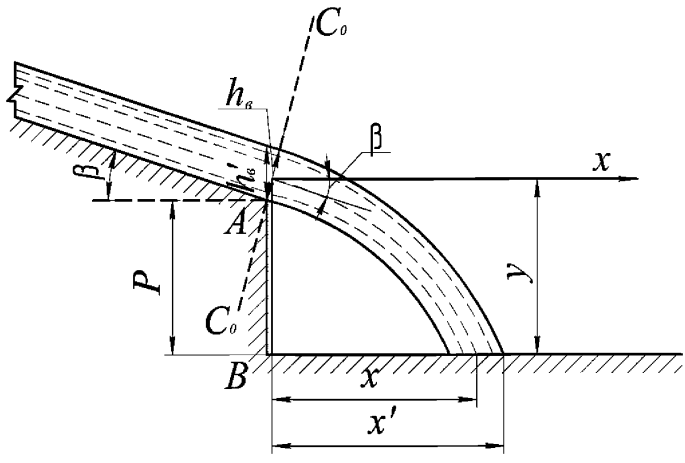


***Рисунок 6* – Полет струи при быстроточно-перепадном типе сопряжения бьефов**

Для определения дальности полета струи при быстроточно-перападном типе сопряжения бьефов задают прямоугольную систему координат, ось y которой проходит через центр начального сечения (C_0–C_0). вертикально, а ось x через тот же центр горизонтально (при определении траектории полета точек потока, лежащих на его поверхности принимают, что ось x проходит через верхнюю точку начального сечения) и, зная среднюю скорость потока в начальном сечении V и угол наклона β быстроточного участка к горизонту, составляется уравнение свободно падающей частицы жидкости (рисунок 6):

$$\begin{cases} x = V \cdot \cos\beta \cdot t \\ y = V \cdot \sin\beta \cdot t + \dfrac{g \cdot t^2}{2} \cdot \end{cases} \qquad (17)$$

В результате преобразований из уравнения (17) исключается время t. Тогда траектория падения струи находится по формуле

$$y = \frac{g \cdot x^2}{2 \cdot V^2 \cdot \cos^2\beta} + x \cdot tg\beta . \qquad (18)$$

Поскольку, угол наклона быстротечного участка к горизонту небольшой и глубина потока в конце лотка быстротока $h_в$ мало отличается от $h'_в$, принимаются, допущение, что $h_в = h'_в$, а ось координат y проходит через вертикальную границу уступа АВ. Тогда дальность полета точки потока по оси струи и на поверхности струи после подстановки значений y определяется из уравнений:

- для точки потока на оси струи:

$$\frac{g \cdot x^2}{2 \cdot V^2 \cdot \cos^2 \beta} + x \cdot tg\beta = P + \frac{h_в}{2}; \qquad (19)$$

- для точки потока на поверхности струи:

$$\frac{g \cdot x^2}{2 \cdot V^2 \cdot \cos^2 \beta} + x \cdot tg\beta = P + h_в. \qquad (20)$$

Значения скорости в конце лотка быстротока определяют согласно 6.3.2.

Пользуясь уравнением (20), задаются значения y для оси струи от 0 до $P + \frac{h_в}{2}$ и для верха струи от 0 до $P + h_в$ и строятся траектории их движения.

6.4.2 Давление, действующее снизу на плиту струеотклоняющей системы при пропуске сбросного потока, рекомендуется определять по следующей расчетной схеме.

Движение потока под плитой рассматривают как движение потока на повороте «напорного трубопровода». Ширину «напорного трубопровода» принимают равной ширине одного рукава водопроводящего лотка $b_{рл}$, высоту – расстоянию от дна до низа плиты струеотклоняющей системы $h_{пп}$. Давление на стенку колодца на повороте рассматривается как сумма составляющих гидростатического и кинетического давлений. Последнее обусловлено действием нормальных ускорений. Поскольку плита струеотклоняющей системы находит-

ся под слоем воды, гидростатическое давление снизу будет уравновешиваться действием гидростатического давления сверху, так как в нашем случае «напорный трубопровод» не имеет с внутренней стороны стенки. Принимается, что кинетическое давление потока на стенку «напорного трубопровода» в верхней его части (у плиты), равно кинетическому давлению на плиту. В действительности давление уменьшается от стенок гасителя к внутренним краям плиты. Для упрощения расчетов принимается (с запасом), что на всю плиту действует кинетическое давление, равное давлению на плиту у стен гасителя.

При входе сходящего с водопроводящего лотка потока под плиту струеотклоняющей системы его скорость изменяется от максимальной в сжатом сечении (у дна можно принять равной $V_{лк}$) до средней скорости в сечении «напорного трубопровода», обусловленной заполнением потоком всего пространства под плитой. Распределение потока по всему сечению вызвано местными сопротивлениями, возникающими при выходе потоков из-под плит (вследствие их соударения, перемешивания и искривления струй) и повышением при этом давления в потоках под плитами, поскольку, при определении давления на полки, скоростью потока у плит считают, что скорость равна средней скорости в сечении рассматриваемого «напорного трубопровода».

Принимается, что радиус внешней стенки «напорного трубопровода» равен радиусу стенок гасителя R_2, радиус мнимой внутренней стенки равен осредненному радиусу R_1, проведенному по наружным краям полок, расстояние между криволинейными поверхностями рассматриваемого сечения равно $l_{кп}$, а средняя скорость в сечении равна V_0. Тогда, согласно [4], давление $\frac{P}{j}$ на наружную стенку радиусом R_2 при несовпадении радиусов кривизны R_1 и R_2 определяется по формуле

$$\frac{P}{j}=\frac{V_0^2}{g\cdot\left[1+\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)\cdot\frac{l_{кп}}{24}\right]^2}\times$$
$$\times\left[\left(\frac{1}{R_1}+\frac{3}{R_2}\right)\cdot\frac{l_{кп}}{8}-\left(\frac{1}{R_1^2}-\frac{1}{R_2^2}\right)\cdot\frac{5\cdot l_{кп}^{\ 2}}{64}-\frac{3\cdot l_{кп}^{\ 2}}{32\cdot R_1\cdot R_2}+\left(\frac{1}{R_1^2}-\frac{1}{R_2^2}\right)\cdot\frac{l_{кп}^{\ 2}}{16}\right]. \quad (21)$$

Для рассматриваемого МВС принимается, что центры кривизны R_1 и R_2 совпадают, тогда кинетическое давление на наружную стенку «напорного трубопровода» определяется по формуле [4]

$$\frac{P}{j}=\frac{V_0^2}{2\cdot g}\cdot\left[1-\left(\frac{r_0}{r_0-y}\right)^2\right], \quad (22)$$

где V_0 – скорость по оси «напорного трубопровода», м/с, определяется по формуле

$$V_0=\frac{Q}{2\cdot\omega},$$

где ω – площадь сечения «напорного трубопровода», м^2;

r_0 – радиус кривизны оси «напорного трубопровода», м, определяемый по формуле

$$r_0=\frac{R_2-R_1}{2},$$

y – расстояние от оси «напорного трубопровода» до рассматриваемой точки, м, $y=R_2$.

Аналогичные результаты можно получить при расчете давления как результат действия центробежной силы от единичной массы потока, движущейся со средней скоростью V_0 вдоль стенок колодца радиуса R_2.

Несмотря на большие размахи «точечной» пульсации, для плит больших плановых размеров (как это имеет место в нашем случае) вследствие осреднения, фактическое осредненное пульсационное давление не превышает 5 % – 10 % осредненного гидродинамического давления.

6.4.3 При проектировании струеотклоняющих плит рекомендуется выполнение следующих условий:

$$\begin{aligned} h_{\text{нп}} &= (0{,}45-0{,}65)h_{\text{кол}}; \\ \sum S_n &= (0{,}15-0{,}35)S_к; \\ b_{\text{щ}} &= (0{,}25-0{,}45)D_к, \end{aligned} \qquad (23)$$

где $h_{\text{нп}}$ – от дна гасителя до низа струеотклоняющей плиты при условии их горизонтального положения, м;

$h_{\text{кол}}$ – глубина воды в гасителе при пропуске максимального расчетного расхода, м;

$\sum S_n$ – суммарная площадь двух струеотклоняющих плит, м^2;

S_k – площадь гасителя, м;

$b_{\text{щ}}$ – ширина щели между струеотклоняющими плитами (на выходе из гасителя) при условии расположения граней плит параллельно продольной оси гасителя, м;

D_k – диаметр гасителя, м.

На выходе из гасителя рекомендуется устройство порога, возвышающегося над рисбермой сооружения на 0,4 – 0,8 м. Для создания благоприятных условий сопряжения гасителя с отводящим руслом при пропуске малых расходов воды рекомендуется низ струеотклоняющих плит приподнять относительно

порога на выходе на 0,4 – 0,7 м. Для исключения не участвующих в работе струеотклоняющих плит, они должны начинаться на расстоянии от оси гасителя в сторону верхнего бьефа не превышающем 0,4 радиуса гасителя и оканчиваться на выходе из колодца. Падающая со сбросной части струя должна заходить под струеотклоняющие плиты с запасом, составляющим 0,4 – 0,6 м.

6.5 Расчет участка сопряжения гасителя с отводящим каналом

6.5.1 При работе сооружений обеспечивается удовлетворительная картина сопряжения бьефов, равномерное распределение скоростей по живому сечению отводящего русла и исключение сбоя течений в нем при выполнении условия

$$h_{\text{рис.}} \geq \frac{4}{3} h_{\text{кр}}, \tag{24}$$

где $h_{\text{рис.}}$ – глубина воды в начальном сечении участка сопряжения гасителя с отводящим руслом на рисберме, м;

$h_{\text{кр}}$ – критическая глубина в том же сечении, м.

6.5.2 Глубину воды в начальном сечении участка сопряжения определяют по формуле

$$h_{\text{рис.}} = h_{\text{отв.р.}} + t, \tag{25}$$

где $h_{\text{отв.р.}}$ – глубина воды в отводящем русле, м;

t – заглубление участка сопряжения относительно дна отводящего русла, м.

6.5.3 За гасителем энергии потока необходимо устройство рисбермы – закрепленного участка, проницаемого для фильтрационного потока и служащего

как для разгрузки фильтрационного давления, так и для гашения остаточной после водобоя кинетической энергии потока, перераспределения и выравнивания скоростей в нем как по вертикали, так и в плане. Равномерность распределения скоростей в эпюре в конце рисбермы – критерий эффективности ее работы.

6.5.4 Скорость на рисберме принимают не более 2,5 – 3,0 м/с, причем большие значения соответствуют слабо поддающимся размыву грунтам.

6.5.5 Длину рисбермы назначают, пользуясь зависимостью

$$l_{\text{рис.}} = (1...2) \cdot l_{\text{гас.}}, \qquad (26)$$

где $l_{\text{гас.}}$ – длина водобоя (гасителя), м.

6.5.6 В плане участок сопряжения гасителя с отводящим каналом принимается раструбным с углом расхождения 8–10°. В случае необходимости увеличения угла расхождения, на раструбном участке рекомендуется устройство рассекателей и усиленной шероховатости.

6.5.7 Верх крепления рисбермы должен находиться на отметке дна отводящего русла. При необходимости уменьшения скоростей на рисберме, верх крепления рекомендуется заглублять ниже отметки дна отводящего русла. Вопросы о методе снижения скоростей воды на рисберме (заглублением или ее удлинением и расширением в плане) решается на основании технико-экономического сравнения вариантов, в том числе с учетом условий выполнения работ.

6.5.8 Конструктивно рисберму выполняют следующими схемами:

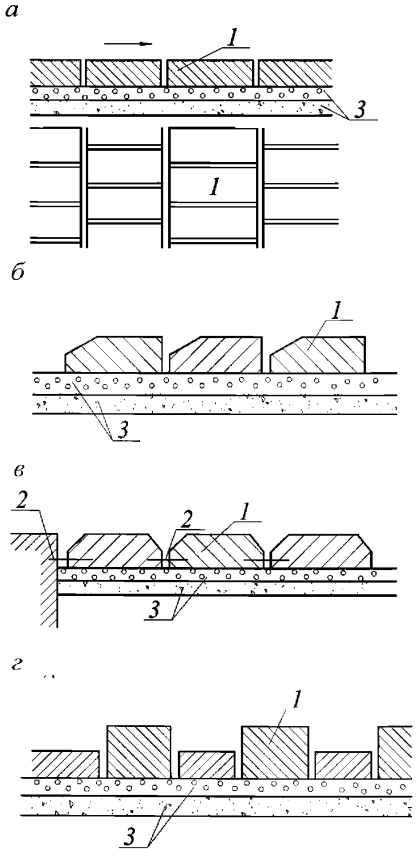
- из гладких плит. В прямоугольных плитах длинную сторону располагают по течению, швы между плитами делают в разбежку, сквозные швы по течению не допускаются (рисунок 7а). Плиты рекомендуется выполнять с небольшим скосом по верховой грани (рисунок 7б). Тонкие плиты (до 20 см) необходимо между собой соединять гибкой арматурой для образования устой-

чивого против деформаций эластичного ковра (рисунок 7в). Для повышения устойчивости ковра первые плиты необходимо шарнирно крепить к водобою;

- из бетонных блоков с выступами (рисунок 7г) – при сравнительно больших скоростях на рисберме, для обеспечения гашения энергии, для увеличения угла роспуска раструба;

- из обычной каменной наброски – при небольших сопрягаемых перепадах высот;

- из габионов, представляющих собой сетчатые ящики, каркас которых выполнен из стальных прутьев и обтянут оцинкованной проволокой.



1 – плиты; *2* – анкерные связи; *3* – слои обратного фильтра

***Рисунок 7* – Крепление рисбермы**

6.5.9 Рисберму, независимо от того, из чего она выполнена, укладывают на слой обратного фильтра. Стыки между плитами рисбермы необходимо оставлять открытыми для выпуска фильтрационного потока. В плитах больших плановых размеров необходимо устраивать отверстия и заполнять их грунтовым материалом по типу обратного фильтра.

6.5.10 Поток воды, сходящей с рисбермы, как правило, имеет скорости, превосходящие допускаемые на размыв для незакрепленного русла, что вызывает размыв отводящего канала за рисбермой. Глубина размыва определяется по формуле

$$h_{\text{раз.}} = 1{,}05 \cdot 1{,}2 \sqrt[3]{\frac{q_{\text{рис.}}}{V_{\text{нр.}}}}, \qquad (27)$$

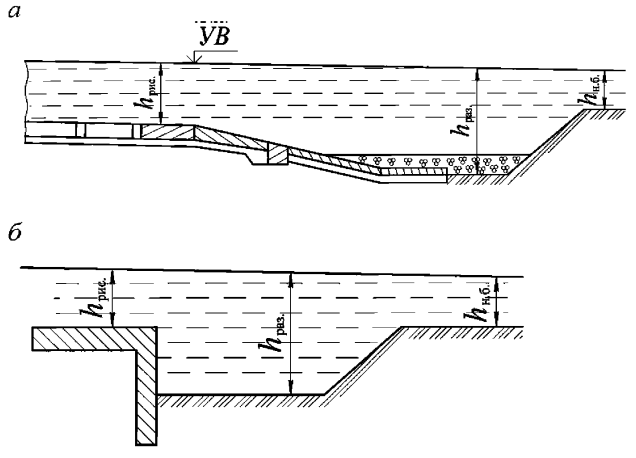
где $q_{\text{рис.}}$ – удельный расход на сходе потока с рисбермы, м^2/с;

$V_{\text{нр.}}$ – допускаемая скорость на размыв незакрепленного грунта в месте размыва при глубине воды 1 м, м/с, принимается согласно СП 100.13330.2016 (приложение С).

6.5.11 В зависимости от грунтов за рисбермой, длины рисбермы и скоростей в концевой части, могут быть применены различного типа переходные устройства от рисбермы к неукрепленному грунту. Основными из них являются:

- предохранительный откос в конце рисбермы (рисунок 8а), образующий ковш в виде широкой и достаточно глубокой траншеи вдоль крепления, в пределах которого происходит гашение энергии. Заложение откоса принимают не круче $m = 4 - 5$ (для исключения отрыва потока, сходящего с рисбермы). Крепление предохранительного откоса выполняют из бетонных или железобетонных плит, гибко соединенных между собой и уложенных на подготовку. Конец крепления опускают ниже возможной глубины размыва, а дно ковша заполняют каменной наброской;

- бетонный зуб (рисунок 8б), устраиваемый при небольших удельных расходах и мало поддающихся размыву грунтах. Подошву зуба закладывают ниже возможной глубины размыва, а за ним делают каменную наброску.



а – предохранительный откос; *б* – бетонный зуб

***Рисунок 8* – Концевые устройства**

6.5.12 Размер камня крепления принимается в зависимости от значения донной скорости $V_д$, определяемой по формуле

$$V_д = \frac{2{,}16 \cdot V_{ср}}{\left(\frac{l}{h_{н.б.}}\right)^{\frac{1}{6}}}, \qquad (28)$$

где l – расстояние от гасителя до расчетного поперечного сечения, м;

$V_{ср}$ – средняя скорость в поперечном сечении, м/с;

$h_{н.б.}$ – глубина воды в нижнем бьефе, м.

Размер камня, в зависимости от донной скорости, определяется по таблице 1.

Таблица 1 – Размер камня крепления в зависимости от донной скорости

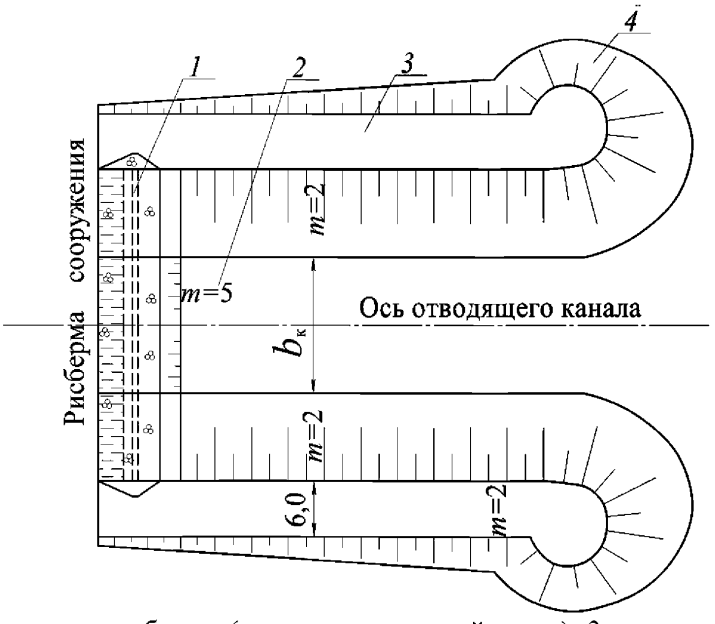
Донная скорость, м/с	1,0	2,0	3,0
Диаметр камня, см	3	10 – 12	25 – 30
Вес камня, кг	0,04	1,4 – 2,5	22 – 37

Расчетные значения диаметра камня принимаются с запасом в 1,5–2,0 раза больше табличных.

6.6 Расчет отводящего канала

6.6.1 Отводящий канал необходимо прокладывать от водосбросного сооружения (от концевой части рисбермы) до наиболее пониженной отметки отводящего русла. Дно канала рекомендуется назначать на отметке дна отводящего русла.

6.6.2 При отсутствии отводящего канала или при малой его длине, в конце открытого русла по обоим берегам рекомендуется выполнять насыпи в виде конусов (рисунок 9). Плоскости конусов, затапливаемые водой, могут быть покрыты защитной одеждой, а в основании крепления для предохранения его от подмыва рекомендуется проектировать зуб.



1 – концевая часть рисбермы (предохранительный откос); *2* – отводящий канал; *3* – берма канала; *4* – конус сопряжения насыпи отводящего канала с руслом водотока

***Рисунок 9* – Сопряжение короткого отводящего канала с руслом водотока**

6.6.3 Сопряжение отводящего канала с отводящим руслом (и с концевой частью рисбермы) необходимо осуществлять переходами, в пределах которых требуется обеспечивать плавное и постепенное изменение заложения откосов, ширины по дну и по верху, а при необходимости и отметки дна.

6.6.4 Поперечное сечение принимается трапецеидальным или криволинейного очертания в зависимости от способа производства работ. Рекомендуется принимать трапецеидальную форму канала. В этом случае площадь его поперечного сечения ω_k, м^2, определяется по формуле

$$\omega_к = \left(b_к + m_к \cdot h_к\right) \cdot h_к, \tag{29}$$

где $b_к$ – ширина канала по дну, м,

$m_к$ – коэффициент заложения откоса;

$h_к$ – глубина воды в канале, м.

Ширина канала поверху, м:

$$B_к = b_к + 2 \cdot m_к \cdot h_к. \tag{30}$$

Длина смоченного периметра, м:

$$\chi_к = B_к + 2 \cdot h_к \cdot \sqrt{1 + m_к^2}. \tag{31}$$

Гидравлический радиус, м:

$$R_к = \frac{\omega_к}{\chi_к}. \tag{32}$$

6.6.5 Коэффициент заложения откоса $m_к$ определяется согласно СП 100.13330.2016 (таблица П.1). Размеры поперечного сечения канала должны быть назначены так, чтобы в нем было соблюдено условие

$$V_{\text{ср.к}} \le V_{\text{нр.к}}, \tag{33}$$

где $V_{\text{ср.к}}$ – средняя скорость движения воды в канале, м/с;

$V_{\text{нр.к}}$ – неразмывающая скорость неукрепленного русла канала (принимают согласно СП 100.13330.2016 (приложение С), м/с.

Зная коэффициент откоса $m_{\text{к}}$, неразмывающую скорость на дне канала $V_{\text{нр.к}}$, глубину воды в канале $h_{\text{к}}$, обычно равную глубине воды в отводящем русле $h_{\text{р}}$, определяется минимальная допустимая ширина канала по дну $b_{\text{к}}$ методом подбора с использованием формулы

$$I = \frac{V_{\text{нр.к}}^2}{C_{\text{к}}^2 \cdot R_{\text{к}}}, \tag{34}$$

где I – уклон канала, принимаемый равным уклону дна отводящего русла;

$C_{\text{к}}$ – коэффициент Шези для канала, м^{0,5}/с.

Коэффициент Шези для канала определяется по формуле Г. В. Железнякова

$$C_k = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{1}{n_k} - \frac{\sqrt{g}}{0{,}13} \cdot (1 - \lg R_k) \right] + \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \left[\frac{1}{n_k} - \frac{\sqrt{g}}{0{,}13} \cdot (1 - \lg R_k) \right]^2 + \frac{\sqrt{g}}{0{,}13} \cdot \left(\frac{1}{n_k} + \sqrt{g} \cdot \lg R_k \right)}, \tag{35}$$

где n_k – коэффициент шероховатости русла канала, принимаемый согласно СП 100.13330.2016 (приложение М (М.1–М.4));

g – ускорение силы тяжести, $g = 9{,}81$ м/с^2.

6.6.6 Ширина отводящего канала по дну назначается равной или больше найденной, после чего уточняется средняя скорость воды в канале $V_{\text{ср.к}}$, прове-

ряется выполнение условия (33), определяется ширина канала поверху $B_к$ и, согласно СП 100.13330.2016 (таблица 8), определяют требуемое превышение гребня дамб канала над максимальным уровнем воды в нем.

6.6.7 Расчетная отметка дна отводящего русла определяется путем нивелирования его в естественном состоянии в наиболее пониженных участках непосредственно за рисбермой сооружения (в случае допуска размыва за концевым устройством, его необходимо учитывать).

6.6.8 Максимальная глубина воды в отводящем русле $h_{отв.р}$ определяется по кривой связи расходов и уровней в водотоке при максимальном расходе (при необходимости – с учетом допустимой глубины размыва дна канала).

6.7 Фильтрационные расчеты и проектирование подземного контура

6.7.1 Фильтрационные расчеты водосбросных сооружений выполняют для определения:

- эпюры фильтрационного давления на подошву водосброса (флютбет – понур, подошву транзитной части, водобой, рисберму – для последующего выполнения статических и прочностных расчетов сооружении, а также для назначения мероприятий по снижению влияния найденного давления на устойчивость сооружений и для уточнения подземного контура флютбета;

- положения депрессионной поверхности фильтрационного тока на участках безнапорной фильтрации под сооружением (под транзитной частью – в конце мостового переезда и под лотком быстротока), а также кривой депрессии на участках примыкания водосброса к берегам (вдоль стенок лотка быстротока, вдоль стенок гасителя и открылков – для определения эпюры действующего на них фильтрационного давления, используемой при выполнении статических и прочностных расчетов данных элементов);

- градиентов и скоростей фильтрационного потока на поверхности дна нижнего бьефа и у дренажных устройств – для расчетов местной фильтрационной прочности грунта основания (выпор, суффозия, контактный размыв) и подбора обратных фильтров дренажа;

- фильтрационного расхода из верхнего бьефа в нижний – для определения возможных потерь воды из водохранилища и назначения мероприятий по их снижению.

В результате фильтрационного расчета необходимо назначать рациональный подземный и обходной контур сооружения – одновременно сочетающий простоту производства работ, максимальное использование местных строительных материалов, удобство эксплуатации водосброса, его экономичность (при обеспечении требуемой прочности и устойчивости сооружения).

6.7.2 Прежде, чем приступить к фильтрационному расчету, необходимо:

- провести выбор принципиальной схемы сооружения;

- определить нормальный подпорный уровень (при отсутствии воды в нижнем бьефе), форсированный подпорный уровень (при пропуске максимального расхода) и соответствующую ему глубину в отводящем русле, отметки дна в верхнем и нижнем бьефе);

- предварительно назначить основные размеры конструктивных элементов сооружения, в т. ч. подземного контура;

- получить данные изысканий по гидрогеологическим условиям в основании сооружения и в береговых склонах в месте его примыкания (строение грунтов, их водонепроницаемость, режим грунтовых вод в естественных условиях), нанести гидрогеологические условия на расчетные схемы.

6.7.3 Рассматриваемые сооружения, вследствие их небольшой ширины, обтекает, в большинстве случаев, пространственный фильтрационный поток. Для определения условий его движения служит критерий [4]

$$\xi_{\text{ф}} = \frac{b_{\text{ф}}}{l_{\text{ф}}}, \qquad (36)$$

где $b_ф$ – ширина флютбета, м;

$l_ф$ – длина флютбета, м.

При $\xi_ф > 2,5$ считается, что сооружения работают в условиях плоской задачи фильтрации, при $\xi_ф < 2,5$ – в условиях пространственной задачи, при $\xi_ф \le 0,56$ – что растекание фильтрационного потока, вызывавшее изменение формы и площади эпюры противодавления в перпендикулярном к оси сооружения направлении, не сказывается на условия движения фильтрационного потока и что при расчетах прочности и устойчивости эпюры противодавления в этом направлении могут быть приняты прямоугольными.

Определять параметры фильтрационного потока и расчет подземного контура сооружения при $\xi_ф < 2,5$ следует с учетом пространственной фильтрации, при этом, с целью упрощения расчетов, грунтовый поток делят на два плоских – под флютбетом и в обход сооружения.

6.7.4 В рассматриваемых низконапорных водосбросах (при сопрягаемых перепадах до 15 м) рекомендуется принимать «гибкие» грунтовые маловодопроницаемые понуры (из тяжелых суглинков, глины). В случае глинистого основания устройство малопроницаемого понура нецелесообразно (такие понуры следует устраивать только при наличии песчаного основания). Коэффициент фильтрации грунтов понура должен быть более чем в 50 раз меньше, чем коэффициент |фильтрации грунтов основания, иначе его устройство теряет смысл.

Понур укрепляет подводящее русло от размыва поверхностным потоком и удлиняет путь фильтрации под сооружением. Его толщина в любом сечении должна удовлетворять условию:

$$t \ge \frac{1}{I_g} \cdot h_n, \qquad (37)$$

где h_n – потери напора по длине понура от его начала до рассматриваемого сечения, м;

I_g – допустимый пьезометрический уклон для грунтов понура, принимаемый 6 – 8 для глин и 4 – 5 для суглинков.

Минимальную толщину глинистого грунта (по конструктивным соображениям) в начальном сечении рекомендуется принимать равной 0,5 и, в конечном – 0,5 – 0,75 м.

6.7.5 Определять параметры фильтрационного потока в основании флютбета рекомендуется на основании метода коэффициентов сопротивления [4], заключающегося в оценке соответствующими коэффициентами эффективности элементов подземного контура в гашении фильтрационного напора.

Ввиду того, что под подошвой транзитной части существует безнапорная фильтрация, необходимо при расчетах кривую депрессии заменять условной водонепроницаемой линией, проведенной заведомо ниже и задачу фильтрации решать, как напорную. Следует учитывать, что коэффициент заложения напорного откоса (частично защищенного у сооружения понуром) мало влияет на положение кривой депрессии.

6.7.6 В зоне примыкания водосброса к водопроницаемому грунтовому материалу берегов и плотины возникает обходная фильтрация. Значение напора в любой точке кривой депрессии вдоль транзитной чисти и гасителя определяется на основании любого решения плоской задачи фильтрации в обход сооружения в т. ч. может быть применен метод коэффициентов сопротивления [4].

После построения кривой депрессии вдоль транзитной части, гасителя и открылков, выполняются все статические и прочностные расчеты элементов сооружения.

6.7.7 Расчет фильтрации под флютбетом сооружения с учетом пространственного растекания (при $\xi \le 2,5$) рекомендуется выполнять по методике [6].

6.7.8 При проектировании подземного контура водосброса необходимо предусматривать мероприятия по борьбе с контактной фильтрацией – фильтрацией в области контакта водонепроницаемых частей сооружения и грунта ос-

нования. Она возникает, если на контакте водонепроницаемых частей сооружения с грунтовым основанием образуются щели или есть зоны разрыхленного грунта, что может быть вызвано некачественным выполнением строительно-монтажных работ, осадками частей сооружения, ошибками в конструировании и т. п.

Если флютбет сооружения плотно прижат (силами веса конструкции) к грунту основания по всей площади, возникновения контактной фильтрации не следует опасаться, в этом случае фильтрационную прочность контактного слоя следует принимать такой же, как и прочность грунта в толще основания.

Для предотвращения контактной фильтрации необходимо:

- качественно выполнять работы по возведению элементов подземного контура водосброса, осуществлять их тщательный контроль;

- выполнять подготовку основания транзитной части в соответствии с условием более полного водонепроницаемого сопряжения бетонных частей сооружения с основанием;

- не допускать устройство подготовки под бетонирование дна транзитной части в виде щебня или гравия (допускается использовать тощий бетон или плотный глинобетон);

- не допускать опирания днища транзитной части на шпунт или сваи;

- следить, чтобы в процессе эксплуатации вдоль подземного контура сооружения не образовались ходы сосредоточенной фильтрации вследствие деформаций водосброса и его основания;

- тщательным образом устраивать сопряжения понура, шпунтов, шпор с бетонными частями сооружения;

- предусматривать обратный фильтр при устройстве деформационных швов, добиваться, чтобы при осадке двух смежных частей сооружения не возникало опасной контактной фильтрации в месте расположения шва.

6.7.9 Гаситель энергии потока воспринимает воздействия как от поверхностного потока, так и от фильтрационного. В месте сопряжения лотка быстротока с гасителем должен быть выполнен дренаж. В последней 1/3 части гасите-

ля (по оси) для разгрузки фильтрационного давления должны быть выполнены в донной железобетонной плите сквозные отверстия (например, путем установки до бетонирования кусков асбоцементных труб), которые должны быть заполнены фильтрующим материалом по типу обратного фильтра. Толщину плиты водобоя определяют на основании статического расчета устойчивости сооружения с корректировкой прочностными расчетами днища.

6.7.10 Рисберма совместно с переходным устройством к незакрепленному руслу проектируется согласно подразделу 6.5. Крепление рисбермы укладывается на гравелисто-песчаную подготовку. Обратный фильтр необходимо проектировать в соответствии с [10].

6.7.11 Грунты в области фильтрации и в нижнем бьефе сооружений должны удовлетворять условиям фильтрационной прочности и устойчивости.

Необходимо проверять соблюдение трех условий для обеспечения фильтрационной прочности и устойчивости грунта:

– условия местной прочности – максимальные выходные градиенты фильтрации в плоскости контакта грунта и фильтра (по оси сооружения) $J_{\text{вых.пр.}}$ должны быть меньше или равны их допускаемым величинам

$$J_{\text{вых.пр.}} \le J_g , \qquad (38)$$

где J_g – допускаемый градиент фильтрации для рассматриваемого грунта, устанавливаемый из расчета недопущения появлений деформаций суффозии и контактного выпора в контактной области;

- условия местной устойчивости – объем грунта, слагающего основание в выходном фрагменте подземного контура, должен быть устойчив к возникновению местного выпора (к потере устойчивости);

- условия общей прочности – средний градиент фильтрации по контакту водонепроницаемой части подземного контура $J_{\text{ср}}$ не должен превышать допу-

стимых значений величин (осредненного расчетного критического градиента фильтрации $J_{ср.к}$), по формуле

$$J_{ср} \leq \frac{J_{ср.к}}{K_н}, \quad (39)$$

где $K_н$ – коэффициент надежности, принимаемый, согласно класса капитальности (IV), равный 1,1.

Расчет общей фильтрационной прочности грунта засыпки пазух сооружения производится согласно [5].

6.7.12 Фильтрационные расчеты должны быть выполнены для двух расчетных случаев:

- при напоре на водоносном пороге и уровне воды в нижнем бьефе, соответствующем пропускаемому максимальному сбросному расходу;

- при условии поддержания в верхнем бьефе нормального подпорного уровня и отсутствия воды в нижнем бьефе.

6.8 Статические расчеты

6.8.1 Расчеты водосбросных сооружений необходимо выполнять по методу предельных состояний, согласно которому не допускается наступление предельных состояний в элементах сооружения и в его основании как в период возведения, так и в период эксплуатации. Возможность наступления предельного состояния оценивается путем сопоставления вызываемых действием внешних и внутренних значений усилий, напряжений, деформаций, перемещений, раскрытия трещин и т. п. с их предельными значениями, установленными СП 58.13330, СП 23.13330, СП 41.13330.

Различают две группы предельных состояний:

- по потере несущей способности (непригодности к эксплуатации – потеря устойчивости; разрушение сооружения, обусловленное хрупким, пластичным или усталостным разрушением материала конструкции или основания от действия сил и неблагоприятных влияний внешних факторов);

- по непригодности к нормальной эксплуатации – затруднения в нормальной эксплуатации сооружений, требующие проведения ремонтных работ (недопустимые раскрытия трещин и т. п.).

6.8.2 При проектировании водосбросов, согласно СП 58.13330, необходимо учитывать следующие нагрузки и воздействия:

- постоянные – гидростатическое и фильтрационное давление воды, противодавление в расчетных сечениях и строительных швах при нормальном подпорном уровне и нормальной работе противофильтрационных дренажных устройств;

– временные длительные – дополнительное давление грунта (сверх основного давления), возникающее вследствие деформаций сооружения и его основания или от температурных воздействий;

- кратковременные - ледовые, волновые, от плавающих предметов, пульсационные, от транспортных средств, от строительных механизмов, от людей;

- особые – дополнительное гидростатическое давление и проявление в расчетных сечениях и строительных швах при форсированном подпорном уровне; температурно-влажностные воздействия; дополнительное фильтрационное давление, вызванное нарушениями нормальной работы противофильтрационных и дренажных устройств; ледовые нагрузки при зимних паводках.

6.8.3 При расчетах водосбросов, согласно СП 58.13330, различают сочетания нагрузок и воздействий:

- основные сочетания включают постоянные, временные длительные и кратковременные нагрузки и воздействия;

- особые сочетания включают постоянные, временные длительные, кратковременные и одну (одно) из особых нагрузок и воздействий.

Нагрузки и воздействия следует принимать в наиболее неблагоприятных, но возможных сочетаниях отдельно для строительного и эксплуатационного периодов.

6.8.4 Значения коэффициентов надежности по нагрузке, используемых при расчетах сооружений, следует принимать согласно СП 58.13330.

6.8.5 Расчеты прочности и устойчивости водосбросов, их элементов и оснований необходимо выполнять по предельным состояниям, заключающимся в потере несущей способности; расчеты перемещений, раскрытия трещин, местной прочности оснований – по непригодности к нормальной эксплуатации.

6.8.6 Для обеспечения устойчивости и прочности сооружений, их элементов и оснований, необходимо соблюдение условия

$$n_c \cdot N_p \le \frac{m}{K_н} \cdot R, \qquad (40)$$

где n_c – коэффициент сочетания нагрузок, принимаемый для основного сочетания нагрузок равным – 1,0 для особого сочетания – 0,9, для сочетания нагрузок в период строительства – 0,95;

N_p – расчетное значение обобщенного силового воздействия, определяемое с учетом коэффициента надежности по нагрузке (определяется по СП 58.13330);

m – коэффициент условий работы, принимаемый для бетонных и железобетонных сооружений на полускальных и нескальных основаниях равным 1;

$K_н$ – коэффициент надежности, учитывающий степень ответственности, капитальность и значимость последствий при наступлении предельных состояний, принимаемый для сооружений IV класса равным 1,1;

R – расчетное значение обобщенной несущей способности сооружения, его составных частей или основания, определяемое с учетом коэффициента безопасности по материалам или грунтам K, который вводят в виде делителя к

нормативным значениям; при расчетах несущей способности для материалов $K \geq 1{,}1$.

Расчеты общей устойчивости водосбросных сооружений следует выполнять, согласно СП 23.13330.2018 (приложение К) (в зависимости от грунтов основания и их состояния) по схеме плоского сдвига или по схеме смешанного сдвига. Следует рассматривать два расчетных случая, отмеченных в 6.7.12.

Расчет рекомендуется выполнять с учетом совместной работы транзитной части (водопроводящей части, совмещенной с мостовым переездом, и лотка быстротока), гасителя и открылков. Бетонные и железобетонные элементы водосброса следует рассчитывать с учетом требований СП 41.13330.

Сооружения, представленные в приложениях А, Б обладают общей устойчивостью при уклоне лотка $i \leq 0{,}25$, сопрягаемом перепаде ≤ 10 м, основаниях, сложенных суглинком и при характеристиках грунта, указанных в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики грунтов основания, обратных засыпок и тела плотины, принятые в расчетах МВС

Характеристика грунта	Грунт	
	суглинок	песок
Объемная масса грунта в состоянии естественной влажности, j, т/м^3	1,8	1,8
Объемная масса взвешенного грунта, $j_{взв.}$, т/м^3	1,0	1,0
Угол внутреннего трения, φ	18°	30°
Удельное сцепление, C, МПа	0,005	–
Модуль деформации, $E_{гр}$, МПа	200	40
Показатель консистенции, $J_n \leq 0{,}5$	0,5	–

При большем сопрягаемом перепаде и прочностных характеристиках глинистого основания меньших, чем принятые в расчетах ($\varphi < 18^0, C < 0{,}005$ МПа), необходимо в каждом конкретном случае проверять общую устойчивость сооружения с последующей корректировкой уклона лотка быстротока.

6.8.7 Обратные стенки входного оголовка должны быть рассчитаны на воздействие давления грунта засыпки с учетом временных нагрузок от строительных механизмов на призме обрушения и гидростатического давления воды.

6.8.8 Входные оголовки и водоподводящая часть должны быть рассчитаны как рамная конструкция на упругом основании. Водосливной порог цилиндрической формы – как арка.

6.8.9 Лоток быстротока должен быть рассчитан как доковая конструкция на упругом основании на воздействие грунта засыпки, гидростатического давления и противодавления.

6.8.10 Гаситель энергии потока должен быть рассчитан в поперечном и продольном направлениях как рамная конструкция на упругом основании с учетом давления грунта засыпки, гидростатического и гидродинамического давления воды. При этом днище должно рассматриваться как плита на упругом основании с учетом взвешивающего давления, собственного веса (совместно со струеотклоняющими плитами) и гидродинамического давления на днище, плиты струеотклоняющего устройства, стенки гасителя и порог на выходе. При этом пульсация давления должна быть учтена путем ввода коэффициента равного 1,2 в значение дефицита давления.

При расчете цилиндрического гасителя необходимо учитывать, что в случае возвышения струеотклоняющих плит над уровнем воды в гасителе (при отсутствии воды в последнем), действие веса плит и их совместная работа со стойками и днищем (как рамной конструкции) снижает напряжения, возникающие под влиянием внешних и внутренних сил в водобойной плите гасителя. В процессе гидравлической работы струеотклоняющих плит (6.4.2) за счет воздействия на них кинетических сил потока направленных вертикально вверх, происходит разгрузка водобойной плиты колодца. При расчете гасителя разгрузочное действие рамных систем, образованных струеотклоняющими плитами, стенками гасителя, водобойной плитой и стойками (плиты струеотклоняющей системы крепятся к стенкам гасителя), необходимо учитывать, как при отсутствии воды в колодце, так и при пропуске максимального сбросного расхода.

6.8.11 Плиты струеотклоняющего устройства должны быть рассчитаны на прочность и устойчивость под действием кинетических сил потока, определенных в 6.4.2, а также должно быть рассчитано на прочность крепление плит к стойкам и стоек к днищу при действии тех же сил (отрывающих, направленных вертикально вверх),

6.8.12 Делитель потока, установленный в конце лотка быстротока, должен быть рассчитан на прочность и устойчивость (на сдвиг и опрокидывание, с учетом совместной его работы с грунтом основания и днищем лотка быстротока) от действия давления сбросного потока при пропуске максимального расхода.

Давление потока на делитель, действующее вдоль лотка быстротока, определяется по формуле

$$R_{\text{давл.}} = C_{\text{д}} \cdot \omega \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2}, \qquad (41)$$

где $R_{\text{давл.}}$ – давление потока на делитель, Н;

$C_{\text{д}}$ – коэффициент сопротивления давления, который для делителя обтекаемой формы может быть принят равным 0,1;

ω – площадь миделевого сечения (проекция делителя на плоскость, перпендикулярную направлению движения потока), м^2;

ρ – плотность воды, кг/м^3;

V – средняя скорость потока в конце лотка быстротока (6.3.2), м/с.

6.8.13 Армирование при возведении водосбросных сооружений выполняется с использованием следующих схем:

- конструктивной, устанавливаемой без расчета на основании опыта проектирования построенных сооружений;

- расчетной, закладываемой на основании выполненных расчетов;

- монтажной, используемой для объединения сеток, закладных деталей блоков и панелей в единый каркас.

Пригодность сборных унифицированных элементов для возведения элементов сооружений, армирование которых задано соответствующими нормативными документами, следует определять на основании прочностных расчетов с учетом конкретных условий их работы в конструкции.

Армирование водосброса следует выполнять в соответствии с требованиями СП 41.13330.

6.9 Вопросы привязки водосбросных сооружений к местным условиям

6.9.1 Для привязки водосбросных сооружений с цилиндрическими гасителями к местным условиям должны быть следующие данные:

- план участка строительства земляной плотины и водосброса в горизонталях;
- отметки расчетных уровней воды в водохранилище НПУ и ФПУ;
- кривую связи расходов и уровней воды в нижнем бьефе;
- топографическая характеристика водохранилища;
- значение максимального расчетного расхода водотока $Q_{макс}$ и расчетный гидрограф паводка;
- геологические условия в створе плотины;
- расчетное значение глубины промерзания грунта;
- проект земляной плотины;

6.9.2 Привязку проводят следующим образом.

По максимальному расчетному расходу воды выбирается рекомендуемая конструкция сооружения, согласно 5.2, при этом максимальную пропускную способность сооружения принимают равной или несколько большей, чем максимальный расчетный расход водотока. В случае, если в пределах аккумулирующей призмы водохранилища возможна некоторая трансформация паводочных расходов, пропускная способность сооружения принимается соответственно с учетом трансформации меньшей, чем максимальный расход водотока.

На плане участка земляной плотины выбирается место расположения водосбросного сооружения. Ось моста водосброса совмещается с осью дороги, проходящей по гребню плотины. Сооружение располагается в плече земляной плотины, его смещение в сторону берега определяется с учетом возведения головной части с понуром на материковом грунте с врезкой в него не менее чем 0,5 м. Трассу сооружения следует назначать короткой и прямолинейной в плане, наиболее экономичный вариант (за счет сокращения длины транзитной части) получается обычно при расположении плотины вблизи излучины водотока. Выемки по трассе сооружения не должны превышать 3 м над дном водосброса.

Концевое сечение сооружения должно быть удалено от подошвы низового откоса плотины не менее чем на 25 м.

Водосливной порог устанавливают на уровне НПУ.

По максимальному сбросному расходу и коэффициенту расхода водослива (подраздел 6.1) определяют напор на водосливе и отметку ФПУ. Дальнейшую высотную привязку выполняют с учетом ранее приведенных положений (раздел 6).

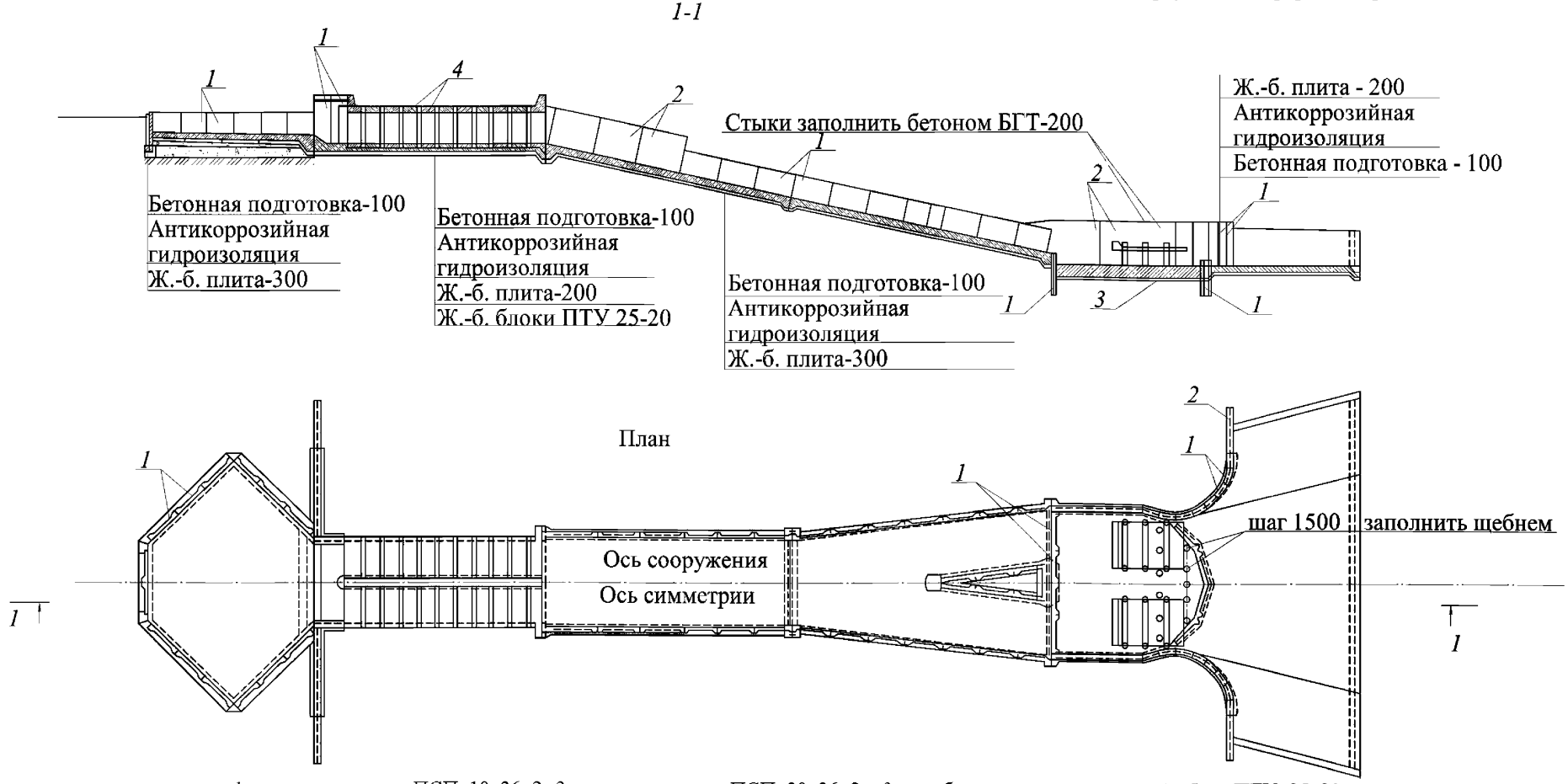
В сооружениях с быстротечной частью высота цилиндрического гасителя оставляется постоянной. Изменяется (в зависимости от сопрягаемого перепада и с учетом укладки целого числа блоков) длина быстротечного участка.

По кривой связи расходов и уровней воды в нижнем бьефе определяется минимальная глубина в отводящем русле.

В зависимости от рода грунтов принимается средняя допускаемая скорость воды в отводящем русле и, с учетом глубины наполнения, а также максимального сбросного расхода, определяется ширина отводящего русла по дну (подраздел 6.6).

Приложение А

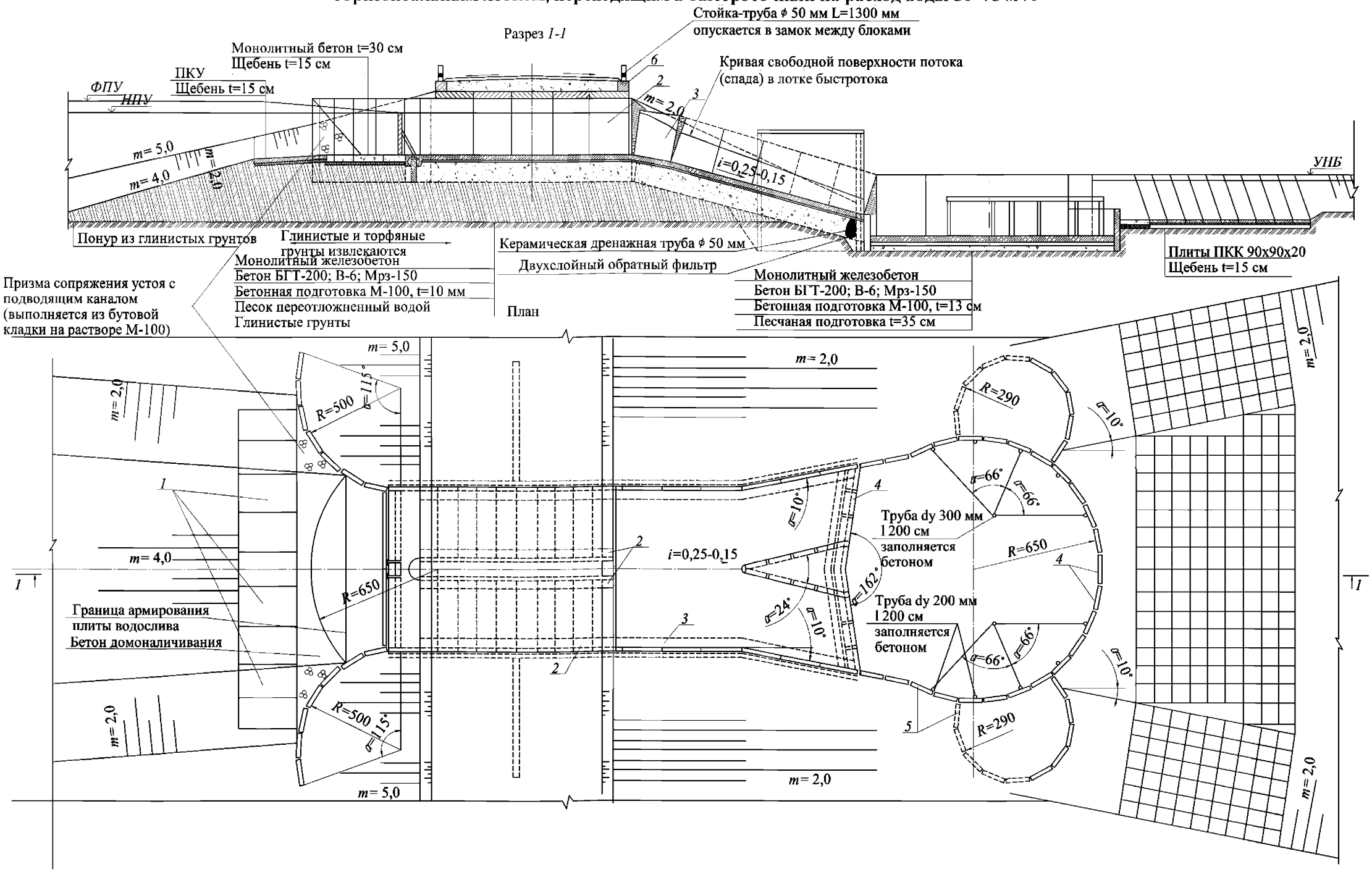
Конструктивная схема панельного водосбросного сооружения с одним цилиндрическим гасителем с делителем потока треугольной формы на расход воды 25–50 м³/с



1 – стеновая панель ПСП–10–36–2; *2* –стеновая панель ПСП–30–36–2а; *3* – труба хризотилцементная; *4* – блок ПТУ–25–20

Приложение Б

Конструктивная схема панельного водосбросного сооружения с одним цилиндрическим гасителем с делителем потока треугольной формы, установленным на быстротечном лотке перед гасителем и с одним (или двумя) горизонтальным лотком, переходящим в быстроточный на расход воды 50–75 м³/с



1 – плита ПКУ; *2* – блок Г–30; *3* – блок Г–25; *4* – плита ПС 1–36; *5* – плита ПС 1–54; *6* – СП 5А–50

Библиография

[1] Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ «О мелиорации земель»

[2] Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений»

[3] Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации»

[4] Справочник по гидравлическим расчетам под редакцией П. Г Киселева – М.: ЭКОЛИТ, 2013 – 312 с.

[5] П 69-77 Руководство по проектированию и расчету подземного контура плотин на нескальном основании и их сопрягающих устоев / Р. Р. Чугаев: ВНИИ гидротехники. – Л., 1978. – 102 с.

[6] Руководство по проектированию и гидротехническому расчету регулирующих мелиоративных сооружений / Ю. Ф. Буртыс, Ю. Ф. Филлипович, П. К. Черник и др. // БелНИИМиВХ. – Минск: Ураджай, 1984 – 96 с.

[7] СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик

[8] Постановление Правительства Российской Федерации от 2 ноября 2013 г. № 986 «О классификации гидротехнических сооружений»

[9] ТП 820-4-030.88 Водосбросы открытого типа автоматического действия на грунтовом основании на расход воды от 20 до 50 м.куб/с при перепадах от 5 до 15 м

[10] П 56-90/ВНИИГ Рекомендации по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений

Ключевые слова: мелиорация, гидротехнические сооружения, водосбросные сооружения, сельское хозяйство

gost.e-ecolog.ru