

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Гидротехническое и энергетическое строительство,
водный транспорт и гидравлика»

М. И. Богданович
В. А. Евдокимов

ВОДОЗАБОРНЫЙ ГИДРОУЗЕЛ

Пособие
для студентов специальности 1-70 04 01
«Водохозяйственное строительство»

В 3 частях

Часть 1

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области строительства и архитектуры*

Минск
БНТУ
2019

УДК 627.83:378.147.091.313(075.8)

ББК 38.774я7

Б73

Рецензенты:

заведующий кафедрой «Гидравлика и гидравлические машины»
БГАТУ, кандидат технических наук, доцент *А. М. Кравцов*;
начальник отдела Водного мониторинга и кадастра РУП
ЦНИИКИВР *В. Н. Корнеев*

Богданович, М. И.

Б73 Водозаборный гидроузел: пособие для студентов специальности
1-70 04 01 «Водохозяйственное строительство»: в 3 ч. Ч. 1 / М. И. Богданович, В. А. Евдокимов. – Минск: БНТУ. – 2019. – 66 с.
ISBN 978-985-550-954-8 (Ч. 1).

В пособии содержатся пояснения по выполнению курсового проекта.

В объеме, соответствующем учебной программе учреждения высшего образования, для специальности 1-70 04 01 «Водохозяйственное строительство» по учебной дисциплине «Гидротехнические сооружения» даны рекомендации по определению состава сооружений водозаборного гидроузла и расчету отстойников, предназначенных для очистки воды от наносов. Также приведены необходимые справочные материалы.

УДК 627.83:378.147.091.313(075.8)

ББК 38.774я7

ISBN 978-985-550-954-8 (Ч. 1)

ISBN 978-985-583-397-1

© Богданович М. И.,
Евдокимов В. А., 2019

© Белорусский национальный
технический университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект по дисциплине «Гидротехнические сооружения», выполняемый в девятом семестре, посвящен проектированию водозаборного гидроузла. Проект позволяет закрепить знания и умения, полученные студентами в седьмом и восьмом семестрах при выполнении первых двух проектов по дисциплине и их дальнейшее расширение за счет решения новых задач, связанных с проектированием сооружений, обеспечивающих подачу воды с заданными количественными и качественными характеристиками водопользователям и (или) водопотребителям. В проекте решаются задачи конструирования и расчета сооружений гидроузла и их элементов (земляная плотина, щитовые и водосбросные пролеты бетонной плотины, водоприемник, донные, промывные и наносоперехватывающие галереи, подводящее и отводящее устойчивое русло), приплотинной части канала, отводящего воду от водоприемника, отстойника, рыбозащитного сооружения, компоновки гидроузла.

Данное пособие призвано облегчить работу студентов при определении состава гидроузла и проектировании его сооружений, предназначенных для снижения содержания наносов в воде до приемлемого уровня. В нем даны сведения из нормативных документов, справочной и учебной литературы, необходимые для решения названных задач [1–8].

Раздел 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Задание на курсовое проектирование, основные термины и определения, используемые в нем

Проект выполняется в соответствии с заданием, в котором представлены исходные данные для проектирования и вопросы, подлежащие проработке, отраженные в виде содержания расчетно-пояснительной записки курсового проекта, а также график его выполнения. Следует отметить, что некоторые гидрологические, инженерно-геологические и топографические данные для проектирования сооружений гидроузла, типы гидроузла и отстойника, которые в реальных проектах определяются в результате выполнения соответствующих разделов, в задании представлены как исходные данные. Они подобраны таким образом, чтобы максимально соответствовать реальным условиям функционирования водозаборных гидроузлов. Пример задания на курсовое проектирование представлен в приложении 1. Ниже приводятся термины и определения, необходимые для полного понимания и исключения разночтения пунктов задания. Они взяты из действующих нормативных документов, справочников или заново сформулированы.

Гидротехническое сооружение (гидросооружение) – сооружение для использования водных ресурсов, а также для борьбы с вредным воздействием вод [1].

Гидроузел (ГУ) – комплекс гидротехнических сооружений, объединенных по расположению и целям их работы [1].

Водозаборный гидроузел – гидроузел, обеспечивающий забор воды из водоемов и водотоков для различных хозяйственных нужд: орошения земель, энергетики, водоснабжения и др. [2].

Речной водозаборный гидроузел – водозаборный гидроузел, обеспечивающий гарантированный водозабор из реки без регулирования стока [2].

Регулирование речного стока – перераспределение во времени объема речного стока в замыкающем створе, выражающееся в его увеличении или уменьшении в отдельные периоды по сравнению с ходом поступления воды на поверхность водосбора [3].

Вид речного водозаборного гидроузла – классификационная единица в систематике гидроузлов, объединяющая их по способу забора воды из водоисточника.

Различают два вида гидроузлов: бесплотинный и плотинный [2].

Бесплотинный речной водозаборный гидроузел – гидроузел, на котором забор воды из водотока осуществляется без сооружения плотины на нем при бытовом режиме течения воды [2].

Тип речного бесплотинного водозаборного гидроузла – классификационная единица в систематике бесплотинных речных водозаборных гидроузлов, объединяющая их по способу защиты водоприемника от захвата наносов.

Различают следующие типы бесплотинных водозаборных гидроузлов: боковой (одноголовый и многоголовый, регулируемый и нерегулируемый) и фронтальный (шпорный) [2] (приложение 2).

Водоприемник (водозаборное сооружение) – гидротехническое сооружение для забора воды в водовод из водоема, водотока или подземного водоисточника [1].

Плотинный речной водозаборный гидроузел – гидроузел, имеющий в комплексе гидротехнических сооружений водоприемник и сооружения, обеспечивающие создание в водотоке командного уровня воды, требуемого для ее подачи водопользователям и (или) водопотребителям [2].

Тип речного плотинного водозаборного гидроузла – классификационная единица в систематике плотинных речных водозаборных гидроузлов, объединяющая их по способу защиты водоприемника от захвата наносов.

Различают следующие типы плотинных водозаборных гидроузлов: с карманом; наносоперехватывающими промывными галереями; решетчатые; с криволинейным подводящим руслом (ферганский) и др. [2] (приложение 3).

Наносы – твердые частицы, образованные в результате эрозии водосборов и русел, а также абразии берегов водоемов, переносимые водотоками, течениями в озерах, морях и водохранилищах, и формирующие их ложе [3].

Взвешенные наносы – наносы, переносимые водным потоком во взвешенном состоянии [3].

Влекомые наносы – наносы, перемещаемые водным потоком в придонном слое и движущиеся путем скольжения, перекачивания или сальтации [3].

Сальтация – перебрасывание наносов на короткие расстояния в придонном слое водного потока [3].

Донные наносы – наносы, формирующие речное русло, пойму или ложе водоема и находящиеся во взаимодействии с водными массами [3].

Наиболее важные **характеристики наносов**:

крупность геометрическая d – размер диаметра частиц наносов (мм, см, м);

крупность гидравлическая w – скорость равномерного падения твердых частиц в неподвижной воде [3] (мм/с, мм/мин, м/с).

Плотинный речной водозаборный гидроузел с карманом – гидроузел, в состав сооружений которого входят карманы-отстойники для задержания в верхнем бьефе влекомых наносов и последующего их смыва в нижний бьеф через промывные водосбросные отверстия, расположенные в конце карманов-отстойников.

Плотинный речной водозаборный гидроузел с наносоперехватывающими галереями – гидроузел, элементом сооружений которого являются галереи, обеспечивающие перехват влекомых наносов перед водоприемником и их непрерывный транспорт в нижний бьеф.

Плотинный речной водозаборный гидроузел донно-решетчатый – гидроузел, в состав сооружений которого входит водосливная плотина, на гребне которой имеется поперечная донная галерея, перекрытая решеткой и размещенная по всему водосливному фронту или его части. Одна часть воды вместе с мелкими наносами отводится через галерею в аванкамеру водоприемника, а другая вместе с крупными наносами переливается через гребень в нижний бьеф.

Плотинный речной водозаборный гидроузел с криволинейным подводным руслом (ферганский тип) – гидроузел, в состав сооружений которого входит водоприемник, расположенный на вогнутом берегу криволинейного подводного русла, забирающий слабо насыщенные наносами верхние слои воды, отклоняемые к нему поперечной циркуляцией.

Зарегулированное русло реки – искусственное русло прямолинейной или криволинейной формы в плане, обеспечивающее требуемую гидравлическую структуру потока и благоприятный режим перемещения наносов, сформированное струенаправляющими дамбами или дамбами и берегами реки.

Основным расчетным параметром зарегулированного русла является его ширина по урезу воды $B_{уст}$ при руслоформирующем расходе 5–10%-й обеспеченности.

Подводящее русло – часть зарегулированного русла реки, расположенная в верхнем бьефе гидроузла.

Криволинейное подводящее русло – подводящее русло, ось которого очерчена по кривой определенного радиуса, предназначенное для генерирования поперечной циркуляции в потоке близ створа водоприемника.

Отводящее русло – часть зарегулированного русла реки, расположенная в нижнем бьефе гидроузла.

Отстойник – гидротехническое сооружение для осаждения взвешенных наносов [1].

Тип отстойника – классификационная единица в систематике отстойников, объединяющая их по способу удаления наносов.

Различают отстойники с непрерывным или периодическим промывом, с механизированной или комбинированной очисткой [2].

Отстойник с непрерывным промывом – отстойник, в котором наносы удаляются без прекращения подачи воды из камер в магистральный канал [2].

Отстойник с периодическим промывом – отстойник, в котором наносы удаляются из камер поочередно с прекращением подачи воды из промываемой камеры в магистральный канал [2].

Подпорный уровень (ПУ, подпертый уровень, подпертый горизонт) – уровень воды, образующийся в водотоке или водохранилище в результате подпора [1].

Нормальный подпорный уровень (НПУ, нормальный подпорный горизонт) – наивысший проектный подпорный уровень верхнего бьефа, который может поддерживаться в нормальных условиях эксплуатации гидротехнических сооружений [1].

Форсированный подпорный уровень (ФПУ, форсированный уровень) – подпорный уровень выше нормального, временно допускаемый в верхнем бьефе в чрезвычайных условиях эксплуатации гидротехнических сооружений [1].

Кривая расходов $Q = f(H)$ – кривая связи между расходами и уровнями воды для данного сечения водотока [3].

Максимальный расчетный расход – расход воды в реке, принимаемый в зависимости от класса сооружений гидроузла для вероятного расчетного случая сооружений ГУ при ФПУ.

Минимальный расход – наименьший расход в реке в период максимального отбора воды водоприемником.

Мутность воды – весовое содержание взвешенных наносов в единице объема смеси воды с наносами [3].

Фракционный состав наносов – содержание частиц грунта определенных размеров, выраженное в процентах от общего веса всех грунтовых частиц, содержащихся в смеси воды с наносами.

Транспортирующая способность потока – предельный расход наносов определенной гидравлической крупности, отвечающий условию равновесия процессов размыва и осаждения при данном гидравлическом режиме потока [3].

Максимальный расход воды в начале магистральной части канала – часть расхода воды, забираемой водоприемником, за вычетом расходов, возвращаемых в реку при обеспечении функционирования рыбозащитного сооружения и промыва наносов в отстойниках с непрерывным промывом, расположенных в приплотинной части канала.

Рыбозащитное устройство – устройство для предотвращения попадания рыбы в водоприемник [2] (в курсовом проекте – в магистральный канал).

При выполнении курсового проекта на начальном этапе важно определиться с составом сооружений гидроузла, которые необходимо запроектировать в соответствии с заданием на курсовое проектирование.

1.2 Состав сооружений проектируемого гидроузла, их краткая характеристика и компоновка

Состав сооружений гидроузла, подлежащего проектированию в рамках курсового проекта, определяется путем изучения литературных источников [2, 4–8] и приложений 2, 3 настоящего пособия.

В результате изучения в первом приближении должен быть выполнен п. 4.1 задания на курсовое проектирование. В нем для вида и типа гидроузла, предложенного в задании, по таблице 1.1 необходимо составить характеристику участка реки, для которого подходит заданный гидроузел. По таблице 1.2 необходимо описать область и условия применения плотинного гидроузла. При этом может быть уточнен по согласованию с руководителем проекта уклон реки, заданный в задании. По приложению 3 для плотинных и по приложению 2 для бесплотинных гидроузлов следует составить пере-

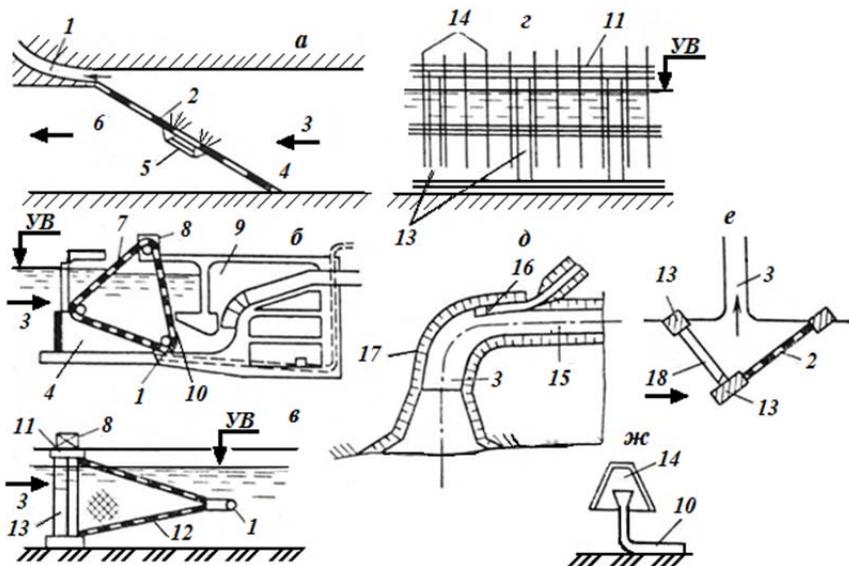
чень сооружений, входящих в гидроузел и подлежащих проектированию в рамках курсового проекта, и описать их функциональное назначение и расположение относительно друг друга и реки. Требуется также представить распределение по сооружениям расхода воды, поступающего в створ гидроузла при его нормальной работе (при НПУ) и при работе в чрезвычайных условиях эксплуатации (при ФПУ). С учетом данных приложений 1, 2 необходимо описать последовательность очистки воды от наносов на пути от подводящего русла в верхнем бьефе ГУ до магистрального канала и выбрать с помощью рисунка 1.1 способ защиты магистрального канала от попадания рыб. После выполнения всех разделов курсового проекта параграф дополняется проектными размерами сооружений и описанием размещения гидроузла в пределах заданного топографического плана местности.

Таблица 1.1 – Характеристика основных участков рек

Уклон реки, i	Донные наносы	Зимний режим	Особые условия
Горный ($i > 0,05$)	Валунно-галечниковые гравелистые (более 50 мм)	На мелких реках возможно промерзание до дна. На больших и средних – шуга, забереги	Возможно временное прекращение поверхностного стока. Ливневые, селевые потоки
Предгорный ($i = 0,05-0,001$)	Гравелисто-галечниковые, песчаные (1–30 мм)	Шуга, забереги. Возможен ледостав	Широкая гравелисто-галечниковая пойма, неустойчивость потока
Равнинный ($i < 0,001$)	Мелкопесчаные и пылеватые (менее 1 мм)	Шуга и длительный ледостав, интенсивный ледоход с заторами	Меандрирующее, легко размываемое русло

10 Таблица 1.2 – Область и условия применения речных плотинных водозаборных гидроузлов

Типы водозаборного гидроузла	Область применения	Подводящее русло	Коэффициент водозабора k_c ; расход	Особые условия
С фронтальным промывом наносов; с полоком; с наносоперехватывающими галереями; бычковый	Предгорные и равнинные участки рек, реже – горные. Одно- и двухсторонняя подача воды	Криволинейное при одностороннем водозаборе, прямолинейное при двухстороннем водозаборе	$k_c \leq 0,5$; расходы без ограничений; расход одного водоприемника до $5 \text{ м}^3/\text{с}$	При $k_c > 0,5$ необходима аккумуляция донных наносов и периодический промыв. Неселеносные участки рек. Отсутствие плавника
С карманами; двухъярусный; с отстойником; с наносоперехватывающими галереями	Преимущественно равнинные, допускаются предгорные участки рек, как правило, двухсторонняя подача воды	Прямолинейное	$k_c \leq 0,7$; расходы без ограничений	Не рекомендуется для рек с большим количеством корчей и плавника
Ферганский	Предгорные участки с односторонней подачей воды	Криволинейное	$k_c \leq 0,8$; расходы – без ограничений	Допускается переброска части расхода воды (до 30 %) на другой берег
Донно-решетчатый; тирольский; с наклонной решеткой; с косонаправленным порогом или наносоперехватывающей траншеей	Участки рек: горные; горные селеносные; горные не селеносные	Прямолинейное Криволинейное Криволинейное	$k_c \leq 0,4$; расход до $20 \text{ м}^3/\text{с}$ $k_c \leq 0,7$; расход до $20 \text{ м}^3/\text{с}$	Максимальный расчетный расход реки до $300 \text{ м}^3/\text{с}$
Послойно-решетчатый	Горные не селеносные	Прямолинейное	$k_c \leq 0,4$; расход до $20 \text{ м}^3/\text{с}$	Расход тот же и отсутствие обильного плавника



а – плоские сетки с рыбоотводом; *б* – ленточные вращающиеся сетки с рыбоотводом; *в* – конусные сетки с рыбоотводом; *г* – электрические рыбозаградители; *д* – обходные тракты (каналы); *е* – перемещающиеся зонные ограждения; *жс* – зонтичные оголовки водозаборов; 1, 16 – рыбоотводящий тракт и его оголовок; 2 – рыбозаградительный экран; 3, 15, 17 – водозаборный, магистральный, криволинейный каналы; 4 – аванкамера; 5 – промывное устройство; 6 – арьеркамера; 7 – вращающаяся сетка; 8 – привод; 9 – насосная станция; 10 – водозабор насосной станции; 11 – мост; 12 – конусный рыбозаградитель; 13 – опорные быки; 14 – зонтичный оголовок

Рисунок 1.1 – Схемы рыбозащитных сооружений

1.3 Регулирование русла реки у створа гидроузла

Важным вопросом при проектировании как плотинных, так и бесплотинных гидроузлов является регулирование русла. Основной задачей при этом является изменение русловых процессов при помощи различных сооружений и устройств таким образом, чтобы в результате образовалось более устойчивое русло, сохраняющее приданную ему форму и размеры в течение длительного времени при минимальных эксплуатационных затратах. В плотинных гидроузлах подводящему руслу в верхнем бьефе придается прямолинейная или криволинейная в плане форма в зависимости от типа гидроузла, обеспечивающая требуемую гидравлическую структуру потока,

благоприятный режим наносов и предупреждающая опасные преформирования. В нижнем бьефе отводящему руслу всегда придается прямолинейная форма, которая должна обеспечивать плавное сопряжение водосбросной плотины с естественным руслом реки, предотвращение сбойных течений, устойчивость русла против размыва и транспортировку наносов, поступающих из верхнего бьефа. В бесплотинных гидроузлах зарегулированное русло всегда имеет криволинейную форму в плане, так как они располагаются на вогнутых берегах рек, что позволяет отбирать из потока слои воды с меньшей концентрацией наносов. При этом если бытовое состояние русла реки не соответствует требованиям, предъявляемым к зарегулированным руслам, то проводятся необходимые выправительные работы. Проектирование оптимальных плановых очертаний зарегулированных русел ведется применительно к заданному типу гидроузла в зависимости от устойчивой ширины русла. Ее величина определяется в соответствии с [8].

Устойчивая ширина прямолинейного русла $B_{уст}$ на участке водозабора определяется по формулам:

при $I < 0,01$

$$B_{уст} = \frac{1}{\sqrt{v_p}} \frac{Q_p^{0,5}}{I^{0,2}}, \text{ м};$$

при $I \geq 0,01$

$$B_{уст} = \frac{2,8}{v_p} \cdot \frac{Q_p^{0,5}}{I^{0,2}}, \text{ м}$$

или

$$B_{уст} = \frac{2,6}{I^{0,2}} \left(\frac{Q_p}{\sqrt{g}} \right)^{0,4}, \text{ м},$$

где Q_p – руслоформирующий расход реки 5–10%-й обеспеченностью, $\text{м}^3/\text{с}$ (в курсовом проекте $Q_{p.п}$);

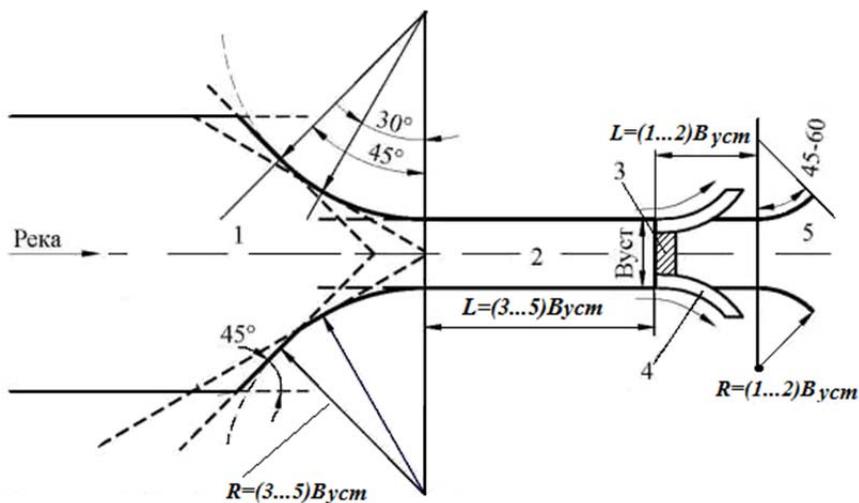
I – бытовой уклон реки;

v_p – критическая неразмывающая скорость для грунта, слагающего русло, $\text{м}/\text{с}$ (в курсовом проекте принимается по приложению 4);

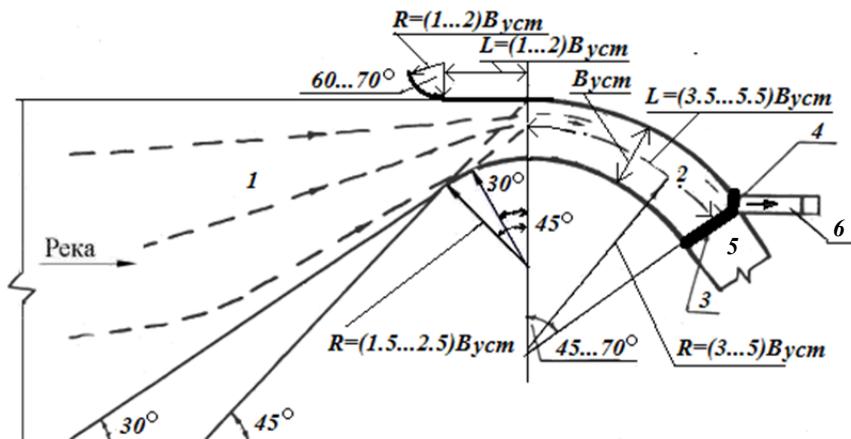
g – ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$.

Устойчивая ширина криволинейного русла принимается $0,8B_{уст}$ для прямолинейного участка.

Прямолинейное зарегулированное русло в верхнем бьефе гидроузла состоит (рисунок 1.2) из сопрягающего участка (для широких многорукавных пойм) и прямолинейного участка. Сопрягающая часть служит для соединения прямолинейного зарегулированного участка с естественным руслом и устраивается в необходимых случаях. Элементы прямолинейного зарегулированного русла с относительными линейными размерами представлены на рисунке 1.2. Длина прямолинейного зарегулированного участка должна составлять $(3-5)B_{уст}$. Криволинейное зарегулированное русло рекомендуется назначать длиной $(3,5-5,5)B_{уст}$. При проектировании водозаборного гидроузла в широкой многорукавной пойме реки сопряжение криволинейного зарегулированного с естественным руслом осуществляется с помощью сопрягающей части. При значительном блуждании потока между сопрягающей и криволинейной частями рекомендуется прямолинейная вставка длиной $2B_{уст}$. Схематически элементы криволинейного зарегулированного русла изображены на рисунке 1.3.



1 – сопрягающая часть; 2 – прямолинейный зарегулированный участок (подводящее русло); 3 – водозаборный гидроузел; 4 – канал; 5 – отводящее русло
Рисунок 1.2 – Элементы прямолинейного зарегулированного русла



1 – сопрягающая часть; 2 – криволинейный зарегулированный участок (подводящее русло); 3 – подпорные сооружения гидроузла; 4 – водоприемник; 5 – отводящее русло; 6 – канал
Рисунок 1.3 – Элементы криволинейного зарегулированного русла

Русло формируется продольными струенаправляющими земляными дамбами с креплением напорного откоса каменной наброской, бентонитами, бетоном, сборными железобетонными плитами и т. д. Конструкция крепления напорного откосов дамб должна учитывать возможность местного и общего (в нижнем бьефе) размывов русла у подошвы дамб.

Схему зарегулированного русла в курсовом проекте следует полностью изобразить в масштабе на миллиметровой бумаге формата А4 или А3 и поместить в пояснительную записку.

При выполнении в графической части курсового проекта компоновки гидроузла, в зависимости от ее масштаба, подводящее русло может изображаться не на полную длину, а только в части, прилегающей к подпорным сооружениям.

Раздел 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОТСТОЙНИКА

2.1 Классификация, требования к проектированию

Регулирование режима наносов при заборе воды из рек, обильных наносами, отличается многоступенчатостью [2]. Первая ступень – сооружения и элементы сооружений водозаборного гидроузла, задерживающие в верхнем бьефе и переправляющие в нижний бьеф гидроузла основную массу донных наносов (карманы-отстойники, пескогравелиловки, пороги, перехватывающие галереи и т. д.). Вторая ступень – головные отстойники, расположенные в начале магистрального канала для удаления прошедших водозабор части донных и избытка взвешенных наносов. При подаче воды на оросительные системы скорость потока по мере разветвления каналов уменьшается, соответственно снижается транспортирующая способность и появляется избыток взвешенных наносов. Для их удаления требуется третья, а иногда и четвертая ступень осветления воды – внутрисистемные отстойники на распределительных каналах и каналах младшего порядка.

Класс отстойника должен соответствовать классу комплекса (гидроузла или канала), в состав которого его устраивают.

При заборе воды из рек для орошения на первой и второй ступенях очистки осаждается примерно 30–35 % поступивших в створ гидроузла наносов, в основном песчаных фракций с $d \geq 0,05$ мм. На внутрисистемных отстойниках и на оросительной сети откладывается 40–50 % поступивших наносов, в основном мелкопесчаных и пылеватых фракций с $d \geq 0,5–0,015$ мм. На орошаемые земли выносятся 15–30 % (оптимально 25 %) пылеватых и илистых частиц с $d \leq 0,015$ мм [2]. Строительство отстойника не обязательно при мутности потока воды менее $0,5 \text{ кг/м}^3$. Необходимость его устройства обосновывают технико-экономическим расчетом.

Основные требования, предъявляемые к отстойникам оросительных систем:

- не допускать в каналы наносы, крупность и содержание которых превышают транспортирующую способность потока;
- обеспечить пропуск на поля мелких (плодородных) фракций наносов;

– максимально использовать энергию водного потока для очистки от осажденных наносов;

– создать условия для высокопроизводительной работы механизмов, удобного размещения и утилизации извлеченных наносов при механической очистке.

Классификация отстойников по различным признакам дана в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Классификация и конструктивные особенности отстойников

Признак классификации	Тип отстойника	Область применения, отличительные признаки
1	2	3
По назначению	Энергетический (для задержки песчаных и гравелистых наносов)	Водозаборные гидроузлы, особенно на горных предгорных участках рек; деривационные каналы ГЭС. Расчет по d_{\min} удаляемых наносов
	Ирригационный (для отстоя мелкопесчаных и илистых наносов)	Оросительные системы равнинных рек. Расчет по допустимой мутности на выходе из отстойника ρ
По местоположению в системе	Русловой	В русле реки в составе водозаборного гидроузла
	Головной	В начале магистрального канала
	Внутрисистемный	В распределительных каналах и их ветвях
По конструкции	Многокамерный	Несколько камер для осаждения наносов с $d \geq 0,1 - 0,25$ мм; устойчивое осветление потока; удобен и надежен в эксплуатации; поддается автоматизации и телеуправлению. Требуется большая площадь для размещения и значительного перепада уровней (до 6–7 м), для гидравлического смыва наносов

Окончание таблицы 2.1

1	2	3
По конструкции	Однокамерный	Расширенный и углубленный канал, в котором формируются малые скорости течения, обеспечивающие отстой наносов. Требуется повышенного промывного расхода
	Озерный	Используют естественное понижение вдоль трассы канала для отстоя наносов. После заполнения возвращается в сельскохозяйственное использование
По способу удаления наносов	С гидравлическим промывом: – непрерывным – периодическим	Удаление наносов напорным потоком воды: – без отключения камер при постоянных уровнях воды в них и слабом подпоре уровня воды в реке; требуют большого суммарного промывного расхода; – поочередный промыв камер отстойника – одна промывается, остальные подают воду в систему. Достигается экономия промывной воды. Лучшее управление процессом осветления
	С механизированной очисткой	Удаление наносов экскаваторами, землесосом на подвижной ферме, земснарядом на плаву. Очистка камер без отключения водоподачи. Ниже стоимость строительства, но больше эксплуатационные затраты
	С комбинированной очисткой	Очистка механизмами в сочетании с гидравлическим промывом. Применяют при большом содержании наносов, в том числе и мелких фракций, при недостатке воды для прямого промыва

2.2 Особенности проектирования отстойников

Исходные данные для проектирования:

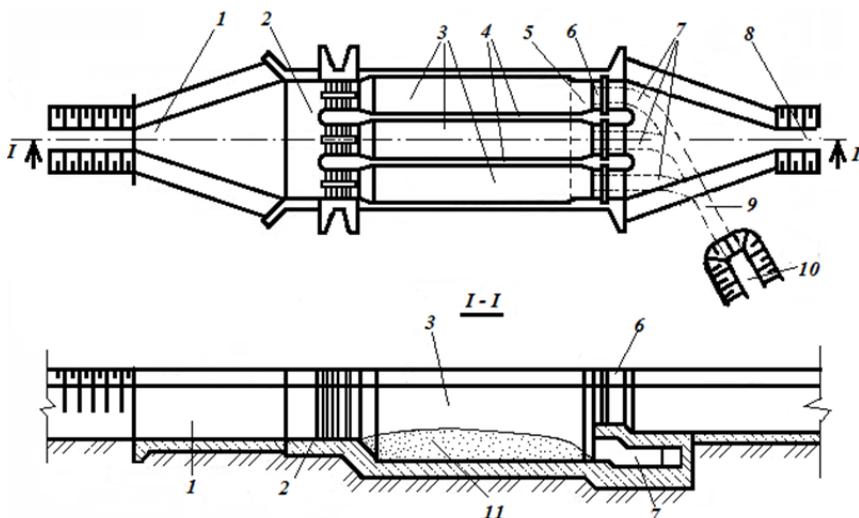
- инженерно-геологические и топографические условия местности;
- кривые связи расходов и уровней в реке;
- гидрологическая характеристика водотока с учетом отбора воды;
- характеристика твердого стока реки и наносный режим канала на участке отстойника (мутность, фракционный состав наносов);
- требуемая мутность на выходе из отстойника, или предельный минимальный диаметр наносов, подлежащих задержанию;
- график водоподачи;
- транспортирующая способность отводящего канала.

Расположение отстойника зависит от условий сопряжения его с подводящим и отводящим каналами. Рекомендуется проектировать отстойник соосным с подводящим каналом. Отстойник с гидравлическим промывом обычно включают в единый узел с головным водозаборным сооружением. Соединительный канал от водоприемника до отстойника проектируют с условием полного транзита наносов, поступающих при водозаборе.

Отстойник состоит: из аванкамеры, входного оголовка, камеры для осаждения наносов (одной или нескольких), промывных устройств и выходного оголовка (рисунки 2.1, 2.2).

Аванкамеру перед входным оголовком устраивают для обеспечения при необходимости перехода от ширины соединительного канала к ширине отстойника. Центральный угол расширения – не более $40\text{--}45^\circ$ [2]. Входной оголовок с помощью бычков делится на отверстия, число которых чаще всего равно числу камер отстойника. Для уменьшения общей стоимости затворов, перекрывающих эти отверстия, иногда каждое отверстие дополнительно разбивается на два отверстия. В однокамерных отстойниках (см. рисунок 2.1) и несоосных отстойниках для улучшения растекания на входном оголовке может устанавливаться грубая решетка из вертикальных труб диаметром 55–83 мм, расположенных в два-три ряда, с расстоянием между ними 2–2,5 м.

Расстояние между стержнями в среднем принимают 0,1–0,3 м.



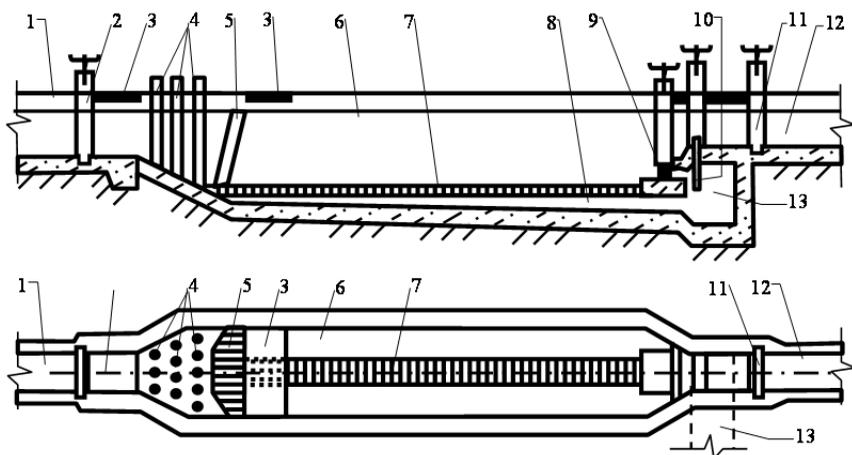
1 – подводящий канал (аванкамера); 2 – входной оголовок; 3 – камеры; 4 – раздельные стенки; 5 – низовой переходной участок; 6 – выходной оголовок; 7 – промывные галереи; 8, 10 – магистральный, сбросной каналы; 9 – пульповод;

11 – отложение наносов

Рисунок 2.1 – Схема отстойника с периодическим промывом

Число камер в отстойниках определяется технико-экономическим сравнением вариантов с разным числом камер. С увеличением их числа уменьшается промывной расход и улучшается регулирование мутности, но растут объемы работ по устройству раздельных стенок, водосливов, промывных устройств и т. д.

Ширина камер в отстойниках с гидравлическим промывом не должна превышать $0,8B_{уст}$, где $B_{уст}$ – устойчивая ширина потока, соответствующего расходу при промыве камеры. Чем меньше глубина воды (обычно 3–6 м), тем лучше осаждаются наносы, но ухудшаются условия промыва, увеличивается ширина отстойника. Длину камер определяют расчетом исходя из условия обеспечения требуемой степени осветления потока, равной отношению мутностей потока на выходе ρ_t и на входе ρ_u в отстойник ρ_t/ρ_u . Ориентировочно степень осветления потока принимают: для водозабора с расходом более $100 \text{ м}^3/\text{с}$ – до 25 %; менее $100 \text{ м}^3/\text{с}$ – до 50 %.



a – продольный разрез; *b* – план; 1 – подводящий канал; 2 – затвор на входном оголовке отстойника; 3 – служебный мостик; 4 – распределительные решетки; 5 – мелкая сороудерживающая решетка; 6 – камера отстойника; 7 – решетка сборно-промывной галереи; 8 – донная промывная галерея; 9 – затвор отверстия для сброса шуги; 10 – затвор промывной галереи; 11 – затвор на выходном оголовке отстойника; 12 – магистральный канал; 13 – пульповод

Рисунок 2.2 – Схема отстойника с непрерывным промывом

Гидравлический промыв отстойников осуществляется с помощью промывных галерей, расположенных в пороге выходного оголовка при прямом промыве или в пороге выходного оголовка при обратном промыве. Размеры входного отверстия и промывных галерей устанавливают расчетом и проверяют по условиям обеспечения осмотра и ремонта. При недостаточной транспортирующей способности реки и завале ее наносами, поступающими из промывных галерей или сбросных трактов для наносов, предусматривают их механическое удаление (перемещение, разравнивание и др.) или переходят к устройству отстойника с механической очисткой.

2.3 Уточнение нормального подпорожного уровня для обеспечения гидравлического промыва отстойника

Отметка НПУ водозаборного гидроузла мелиоративного назначения при реальном проектировании определяется по зависимости [2]

$$\nabla \text{НПУ} = \nabla_{\text{дна}} + h_{\text{max}} + \sum h_w,$$

где $\nabla_{\text{дна}}$ – максимальная отметка дна в каналах оросительных систем;
 h_{max} – максимальная глубина воды в канале с максимальной отметкой дна;

$\sum h_w$ – гидравлические потери на пути воды из верхнего бьефа ГУ к каналу с максимальной отметкой дна.

При этом должна так же обеспечиваться возможность промыва отстойников с гидравлическим промывом наносов, если они входят в состав сооружений гидроузла. В задании на курсовое проектирование не задаются $\nabla_{\text{дна}}$ и h_{max} . Вместе с тем результаты расчета отстойника позволяют оценить значение заданного НПУ с точки зрения возможности промыва наносов при уровне воды в реке, соответствующем максимальному расчетному расходу $Q_{\text{р.п.}}$, с учетом того, что конец пульповода у отстойников с периодическим промывом должен располагаться не ниже этого уровня, а у отстойников с непрерывным промывом – не выше его [4].

При движении воды из верхнего бьефа ГУ в камеру отстойника и из нее через пульповод в реку имеет место сосредоточенное падение уровня воды (потери напора) на водоприемнике $Z_{\text{в}}$, сетке рыбозащитного сооружения $Z_{\text{р}}$, входном оголовке отстойника Z_1 и потери на промыв наносов $Z_{\text{пр}}$.

Значения $Z_{\text{в}}$ для водоприемника могут быть заданы в первом приближении в пределах 0,1–0,5 м [7], $Z_{\text{р}}$ – 0,05–0,15 м [2], Z_1 может быть определено при расчете оголовка или принято в пределах 0,05–0,2 м [4, 5]. Потери напора в отстойниках при промыве $Z_{\text{пр}}$ определяются при их гидравлическом расчете. Тогда для определения возможности промыва отстойников необходимо по кривой $H = f(Q)$ определить уровень воды в реке, соответствующий максимальному расчетному расходу $Q_{\text{р.п.}}$, и добавить к нему указанные выше потери напора. Если в результате будет получено значение, равное или меньшее НПУ, заданного в задании на курсовое проектирование, то возможность промыва наносов будет обеспечена. В противном случае, необходимо откорректировать НПУ и согласовать его значение с руководителем проекта.

2.4 Отстойники с периодическим гидравлическим промывом

Наименьшее число камер в отстойниках с периодическим промывом – 2. При этом рабочий расход воды в одной камере принимают, как правило, равным $5\text{--}10\text{ м}^3/\text{с}$, промывной расход – $0,5\text{--}1$ от рабочего расхода воды в камере. Скорость потока воды в камере принимается в пределах $0,2\text{--}0,5\text{ м/с}$. Заиление камер допускается на $25\text{--}30\%$ средней глубины или объема. Скорость воды при промыве принимают более 2 м/с . Уклон дна для обеспечения смыва ориентировочно равен $0,005\text{--}0,02$; глубина промывного потока воды – $10\text{--}30\%$ глубины при осаждении наносов.

Промыв камеры производится не более двух раз в сутки, но не реже одного раза за $2\text{--}3$ суток при интенсивном движении наносов. Длительность промывок – не более $0,5\text{--}1$ часа [2].

При конструировании камеры отстойника можно воспользоваться рекомендациями, изложенными в [5].

Камера имеет прямоугольное сечение. Береговые устои и раздельные стенки, формирующие камеры, при высоте до 5 м проектируют бетонными, а при высоте более 5 м – железобетонными. Запас в высоте стенок над уровнем воды в камере $0,6\text{--}0,7\text{ м}$. Бетонные раздельные стенки выполняют шириной поверху $0,5\text{ м}$, понизу – $0,4$ ее высоты, с глубиной фундамента, равной около $0,25\text{--}0,33$ высоты стенки, и шириной, равной высоте стенки. По верху стенки по всей длине располагают железобетонную плиту шириной $1\text{--}1,5\text{ м}$ и толщиной, изменяющейся от $0,1$ до $0,15\text{ м}$, вдоль которой с двух сторон устанавливают металлические перила.

Ширина по верху бетонных стен устоев – $0,7\text{ м}$, по обрезу фундамента – $0,5$ от высоты стены. Глубина заложения фундамента – $0,33$ высоты, ширина фундамента – $0,7\text{--}1$ высоты (первая цифра относится к стенкам, установленным на гравелисто-песчаных грунтах, вторая – на суглинистых). Бетонный пол толщиной $0,7\text{ м}$ отделяют от стенок швами. По длине камеру через $20\text{--}25\text{ м}$ разрезают поперечными швами.

Железобетонные раздельные стенки принимают шириной поверху $0,4\text{ м}$, понизу примерно $0,2$ ее высоты, с фундаментной плитой шириной, равной ширине камеры, и толщиной в свободном конце $0,6\text{--}1\text{ м}$. По верху стенки также располагают железобетонную плиту.

Горизонтальность пола по ширине камеры обеспечивается укладкой плит толщиной 0,10–0,15 м. Пространство под плитой заполняют гравелистым грунтом. При ширине камеры более 10 м на дне по всей ее длине устраивают направляющую стенку высотой 0,5–0,6 м, толщиной 0,2–0,3 м. Выходной оголовок представляет собой водослив с порогом на отметке, совпадающей с отметкой дна отводящего канала.

Водослив делят на стандартные отверстия, число которых равно числу камер или их удвоенному числу, с быками толщиной 1–1,5 м. Отверстия перекрывают сегментными или плоскими затворами. В каждой камере перед водосливным порогом устанавливают плоский донный затвор, перекрывающий входное отверстие пульповода. На участке, соединяющем отстойник с магистральным каналом, устраивают водобойную стенку сквозной конструкции или смесительный колодец глубиной 0,5 м и длиной $l_k = 3,5(h_k + 0,5)$ м. Выходные открылки принимают по типу косых плоскостей или ныряющих стенок.

Промывные галереи с безнапорным потоком постоянного сечения размещают под водосливным порогом. Их размеры, а также размеры пульповода и уклон его дна назначают из условия получения промывной скорости 3–5 м/с. Желательно, чтобы ширина галереи была не больше половины ширины камеры. Пульповод, соединяющий промывные галереи с рекой, выполняют в виде железобетонной трубы или открытого лотка. Его длина зависит от топографических условий. Для предварительных расчетов длину пульповода ориентировочно можно принимать: для горных водозаборов с головным отстойником от 0,5 до 1,5 длины камеры L_p ; для предгорных водозаборов – около $2,5L_p$. Для создания в потоке винтового движения, способствующего лучшему продвижению наносов, пульповоду в плане придают 2–3 излома с внутренними углами в 120–140°. Угол отвода потока для горных водозаборов чаще всего колеблется в пределах 30–45°, а у предгорных доходит до 80–90°.

Расчетные формулы и методика, используемые при расчете отстойников с периодическим промывом наносов, представлены в [2, 4, 5, 7]. Ниже приводится пример расчета запроектированного с использованием вышеприведенных рекомендаций отстойника.

Пример расчета отстойника с периодическим гидравлическим промывом

Исходные данные:

Расход воды в начале магистральной части отводящего канала, пропускаемый в магистральный канал: $Q_{\text{м.к}} = Q_{\text{р}} = 6,08 \text{ м}^3/\text{с}$.

Фракционный состав наносов приведен ниже.

d , мм	> 0,5	0,5–0,4	0,4–0,3	0,3–0,2	0,2–0,1	< 0,1
По весу, %	15	13	22	15	17	18

Крупность наносов, задерживаемых в отстойнике, $d \geq 0,2 \text{ мм}$. Мутность потока воды в реке $\rho_0 = 2,4 \text{ кг/м}^3$, температура воды – $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Принимается число камер $n = 2$ для обеспечения бесперебойности работы водозабора при промыве отстойника, не смотря на то, что расход одной камеры меньше рекомендуемого. Расход воды одной камеры составляет

$$Q_{\text{к}} = \frac{Q_{\text{р}}}{2} = \frac{6,08}{2} = 3,04 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Принимается средняя глубина воды в камере в пределах рекомендуемого диапазона 4–6 м: $H_{\text{ср}} = 4 \text{ м}$, средняя скорость потока $v_{\text{ср}} = 0,3 \text{ м/с}$.

Определяются основные размеры отстойника (рисунок 2.3) [4].

Ширина камеры

$$B_{\text{к}} = \frac{Q_{\text{к}}}{v_{\text{ср}} H_{\text{ср}}} = \frac{3,04}{0,3 \cdot 4} = 2,53 \text{ м}.$$

Принимается $B_{\text{к}} = 2,6 \text{ м}$. Тогда средняя глубина равна

$$H_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{к}}}{B_{\text{к}} v_{\text{ср}}} = \frac{3,04}{2,6 \cdot 0,3} = 3,9 \text{ м}.$$

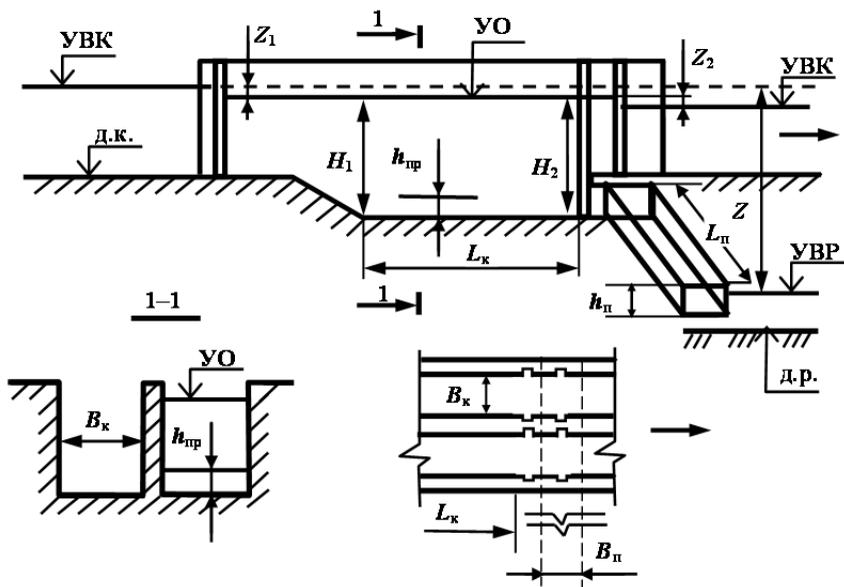


Рисунок 2.3 – Схемы к определению размеров отстойника

Гидравлическая крупность расчетной фракции $w_p = 0,0171$ м/с для частиц наносов с крупностью 0,2 мм (приложение 5).

Определяется длина камеры

$$L_k = kH_{cp} \frac{v_{cp}}{w_p} = 1,5 \cdot 3,9 \cdot \frac{0,3}{0,0171} = 102,6 \text{ м,}$$

где $k = 1,5$ – принятый коэффициент запаса.

Принимается $L_k = 100,0$ м; промывной расход $Q_{пр} = Q_k = 3,04$ м³/с; промывная скорость принимается $v_{пр} = 3,0$ м³/с.

Вычисляется глубина промыва

$$h_{пр} = \frac{Q_{пр}}{B_k v_{пр}} = \frac{3,04}{2,6 \cdot 3,0} = 0,39 \text{ м.}$$

Транспортирующая способность потока по весу определяется по формуле Шкундина:

$$p_{\text{тр}} = 0,107 \cdot \left(\frac{0,2}{h_{\text{пр}}} \right)^2 \left(\frac{v_{\text{пр}}}{0,35} - 1 \right)^3 = 0,107 \cdot \left(\frac{0,2}{0,39} \right)^2 \left(\frac{3,0}{0,35} - 1 \right)^3 = 12,2 \%$$

Гидравлические характеристики живого сечения промывного потока определяются по известным формулам:

$$\omega = B_{\text{к}} h_{\text{пр}} = 2,6 \cdot 0,39 = 1,014 \text{ м}^2 \text{ (площадь живого сечения);}$$

$$\chi = B_{\text{к}} + 2h_{\text{пр}} = 2,6 + 2 \cdot 0,39 = 3,38 \text{ м (смоченный периметр);}$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{1,014}{3,38} = 0,3 \text{ м (гидравлический радиус);}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{1}{0,012} \cdot 0,3^{1/6} = 68,2 \text{ м}^{0,5}/\text{с (коэффициент Шези, где при-}$$

нятый коэффициент шероховатости для бетона $n = 0,012$).

Определяется уклон дна отстойника:

$$i_0 = \frac{v_{\text{пр}}^2}{C^2 \cdot R} = \frac{3,0^2}{68,2^2 \cdot 0,3} = 0,00645.$$

Глубины в начале H_1 и в конце H_2 камеры отстойника определяются следующим образом:

$$H_1 = H_{\text{ср}} - \frac{i_0 L_{\text{к}}}{2} = 3,9 - \frac{0,00645 \cdot 100}{2} = 3,58 \text{ м; ,}$$

$$H_2 = H_{\text{ср}} + \frac{i_0 L_{\text{к}}}{2} = 3,9 + \frac{0,00645 \cdot 100}{2} = 4,22 \text{ м.}$$

Определяется скорость движения воды в начале v_1 и в конце v_2 камеры отстойника:

$$v_1 = \frac{Q_k}{B_k H_1} = \frac{3,04}{2,6 \cdot 3,58} = 0,327 \text{ м/с};$$

$$v_2 = \frac{Q_k}{B_k H_2} = \frac{3,04}{2,6 \cdot 4,22} = 0,277 \text{ м/с}.$$

Расчет заиления отстойника

Массовая ρ_i и объемная μ_i мутность определяется по следующим формулам:

$$\rho_i = \frac{p_i \rho_0}{100};$$

$$\mu_i = \frac{\rho_i}{\gamma_n},$$

где $\gamma_n = 1,4 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$ – плотность наносных отложений.

Значение гидравлической крупности для каждой фракции берется из приложения 5.

Расчет сводится в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Фракционный состав, мутность и гидравлическая крупность взвешенных наносов

d , мм	p_i , %	Мутность потока		w , м/с
		ρ_i , кг/м ³	μ_i , л/м ³	
> 0,5	15	0,36	0,26	0,0507
0,5–0,4	13	0,31	0,22	0,0395
0,4–0,3	22	0,53	0,38	0,0283
0,3–0,2	15	0,36	0,26	0,0171
0,2–0,1	17	0,41	0,29	0,0051
< 0,1	18	0,43	0,31	0
Σ	100	2,4	1,71	

Расчет заилиenia отстойника ведется в табличной форме.

Таблицы 2.3 и 2.4 заполняются одновременно в нижеприведенном порядке:

Задаются интервалом времени $\Delta t = 4$ ч.

Для первого интервала принимаются:

$$H_1 = 3,58 \text{ м}; \quad H_2 = 4,22 \text{ м}; \quad v_1 = 0,327 \text{ м/с}; \quad v_2 = 0,277 \text{ м/с}.$$

Глубины в начале и конце отстойника определяются по следующим формулам:

$$h_1 = h_2 - (H_2 - H_1),$$

$$\text{где } h_2 = \frac{w_{\text{м.р.}}}{v_1 + v_2} 2L_{\text{к}};$$

$w_{\text{м.р.}} = 0,0051 \text{ м/с}$ – гидравлическая крупность рассматриваемой фракции (для фракций меньше расчетной).

Определяется дальность отлета частиц L для каждой фракции наносов для всех интервалов времени:

$$L = \frac{q_{\text{к}}}{w - \frac{(H_2 - H_1)v_1}{2L_{\text{к}}}},$$

где w – гидравлическая крупность каждой фракции (для фракций крупнее расчетной);

$$q_{\text{к}} = \frac{Q_{\text{к}}}{B_{\text{к}}} = \frac{3,04}{2,6} = 1,17 \text{ м}^2/\text{с} \text{ – удельный расход воды в камере.}$$

Результат записывают в таблицу 2.4 для первого интервала времени.

Для фракций наносов с диаметром менее 0,2 мм – $L = 100$ м.

Определяется толщина слоя каждой фракции δ , образующегося в рассматриваемый интервал времени:

$$\delta = \frac{3,6\Delta t \mu q_{\text{к}}}{L} \text{ – для фракций крупнее } 0,2 \text{ мм};$$

$$\delta_{\text{м.р.}} = \frac{3,6\Delta t \mu q_{\text{к}} h_1}{L_{\text{к}} H_1} \text{ – для фракций меньше } 0,2 \text{ мм}.$$

Определяются H_1 , H_2 , v_1 , v_2 для второго интервала времени:

$$\begin{cases} H_1^{\text{II}} = H_1^{\text{I}} - \Sigma\delta^{\text{I}}; \\ H_2^{\text{II}} = H_2^{\text{I}} - \Sigma\delta_{\text{м.р.}}^{\text{I}}; \\ v_1^{\text{II}} = \frac{q_{\text{к}}}{H_1^{\text{II}}}; \\ v_2^{\text{II}} = \frac{q_{\text{к}}}{H_2^{\text{II}}}. \end{cases}$$

Результаты расчетов заносят в таблицы 2.3 и 2.4, а цикл повторяется. Из этих же таблиц видно, что расчет следует прекратить на четвертом интервале, так как скорость движения воды в начале отстойника становится больше не размывающей для наносных отложений ($V_{\text{нр}} = 0,5$ м/с), и наносы расчетных фракций начинают попадать в магистральный канал, что недопустимо.

Определяется длительность меж промывного периода:

$$t = N\Delta t = 3 \cdot 4 = 12 \text{ ч},$$

где $N = 3$ – число интервалов;

$\Delta t = 4$ ч – продолжительность одного интервала.

Окончательно принимается рабочая длина камеры отстойника $L_{\text{к}} = 100$ м, а ширина $B_{\text{к}} = 2,6$ м. Камеры запроектированного отстойника необходимо промывать два раза в сутки.

Расчет промыва камеры отстойника

Определяется общий объем наносных отложений в камере к концу межпромывного периода:

$$W_0 = B_{\text{к}}\Sigma(\delta L_i) = 2,6 \cdot (20,19 + 19,37 + 18,84) = 151,84 \text{ м}^3.$$

За это же время в камеру поступило и частично ее покинуло следующее количество наносов:

$$W_t = \mu_0 Q_{\text{к}} t \cdot 3,6 = 1,71 \cdot 3,04 \cdot 12 \cdot 3,6 = 224,6 \text{ м}^3.$$

Определяется процент задержания наносов в камере отстойника:

$$A = \frac{W_0 \cdot 100}{\mu_0 Q_k t \cdot 3,6} = \frac{151,84 \cdot 100}{1,71 \cdot 3,04 \cdot 12 \cdot 3,6} = 67,6 \%$$

Следовательно, в канал поступит $100 - 67,6 = 32,4 \%$ наносов.

Определяется мутность воды в канале:

$$\rho_{0к} = \frac{\rho_0(100 - A)}{100} = \frac{2,4 \cdot (100 - 67,6)}{100} = 0,78 \text{ кг/м}^3.$$

Продолжительность промыва камеры отстойника принимается равной

$$t_{\text{пр}} = 20 \text{ мин} = 1200 \text{ с.}$$

Определяется мутность потока в камере и в пульповоде во время промыва:

$$\rho_{\text{п}} = \rho_0 + \frac{W_t \gamma_{\text{п}}}{Q_{\text{пр}} t_{\text{пр}}} = 2,4 + \frac{224,6 \cdot 1400}{3,04 \cdot 1200} = 88,6 \text{ кг/м}^3.$$

Так как транспортирующая способность потока в камере и пульповоде $\rho_{\text{тр}}$ больше мутности потока ρ_n (т. е. $\rho_{\text{тр}} = 122 \text{ кг/м}^3 > \rho_{\text{п}} = 88,6 \text{ кг/м}^3$), то обеспечивается нормальный смыв наносов и беспрепятственное их возвращение в реку.

Расчет пульповода

Пульповод проектируется в виде закрытого лотка прямоугольного сечения шириной $B_{\text{п}} = 2 \text{ м}$ и состоит из монолитных железобетонных секций длиной $L_c = 15 \text{ м}$. Толщина стены пульповода $t = 1,0 \text{ м}$. По длине пульповода устраиваются смотровые колодцы через 45 м.

Определяется удельный расход воды в пульповоде:

$$q_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{B_{\text{п}}} = \frac{3,04}{2,0} = 1,52 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Принятая промывная скорость в лотке $v_{\text{пр}} = 3,0 \text{ м/с}$. Глубина воды в лотке при этой скорости равна

$$h_{\text{п}} = \frac{q_{\text{п}}}{v_{\text{пр}}} = \frac{1,52}{3} = 0,51 \text{ м}.$$

Гидравлические характеристики живого сечения пульповода:

$$\omega = B_{\text{п}} h_{\text{п}} = 2,0 \cdot 0,51 = 1,02 \text{ м}^2 \text{ (площадь живого сечения);}$$

$$\chi = B_{\text{п}} + 2h_{\text{п}} = 2,0 + 2 \cdot 0,51 = 3,02 \text{ м (смоченный периметр);}$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{1,02}{3,02} = 0,34 \text{ м (гидравлический радиус);}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{1}{0,012} \cdot 0,34^{1/6} = 69,62 \text{ м}^{0,5}/\text{с} \text{ (коэффициент Шези),}$$

где $n = 0,012$ – принятый коэффициент шероховатости для бетона.

Определяется уклон дна пульповода из формулы Шези:

$$i_0 = \frac{v^2}{C^2 R} = \frac{3,0^2}{69,62^2 \cdot 0,34} = 0,0055.$$

Уточнение нормального подпорного уровня

Для обеспечения нормальной работы пульповода отметка его конца должна быть не ниже паводкового уровня воды в реке (УВР) 5%-й обеспеченности. В курсовом проекте в качестве такого уровня принят уровень воды, соответствующий максимальному расчетному

расходу $Q_{p.п.}$, заданному в задании на проектирование. По графику $H = f(Q)$ (из задания) определяем $\nabla УВР = 175,6$ м. При этом НПУ гидроузла должен быть таким, чтобы компенсировать потери напора на пути воды от ВБ ГУ через отстойник и пульповод в реку, т. е. должно соблюдаться следующее неравенство:

$$\nabla НПУ \geq \nabla УВР + \Sigma h_w,$$

где Σh_w – потери напора: $\Sigma h_w = Z_{пр} + Z_1 + Z_p + Z_b$.

Рабочий уровень воды в камерах отстойника должен располагаться на отметке, превышающей УВР на величину $Z_{пр}$, определяемую по формуле

$$Z_{пр} = H_2 - h_{пр} + a + i_{п} L_{п} = 4,22 - 0,39 + 0,1 + 0,0055 \cdot 150 = 4,76 \text{ м},$$

где $L_{п}$ – длина пульповода; принята от 0,5 до 1,5 длины камеры как для горных водозаборов с головным отстойником: $L_{п} = 150$ м;

$a = 0,1$ м – принятое значение потерь напора при выходе потока из камеры в промывные галереи и пульповод.

Величина потерь напора составит

$$\Sigma h_w = Z_{пр} + Z_1 + Z_p + Z_b = 4,76 + 0,1 + 0,08 + 0,5 = 5,44 \text{ м},$$

где Z_1, Z_p, Z_b приняты по рекомендациям п. 2.2.

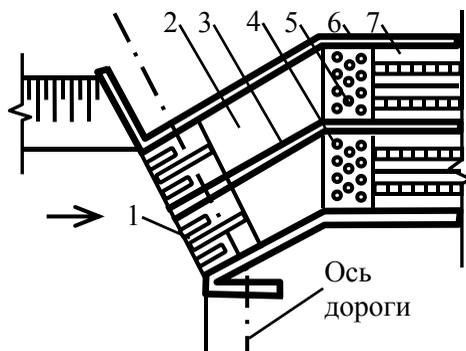
Тогда $\nabla УВР + \Sigma h_w = 176,5 + 5,44 = 181,94$ м.

Полученное значение больше приведенной в задании на КП отметки НПУ = 179,0 м, поэтому для обеспечения промыва наносов в запроектированном отстойнике необходимо увеличить ее до 182,0 м.

2.5 Отстойник с непрерывным гидравлическим промывом наносов

Размеры основных элементов конструкции отстойника с непрерывным промывом наносов могут быть приняты по рекомендациям, изложенным в [5].

Вход в отстойник устраивают таким же, как и в отстойник с периодическим промывом, но расход в каждую камеру может подаваться через одно или несколько отверстий верхнего оголовка, количество которых зависит от ширины камеры отстойника и принятой стандартной ширины отверстий (рисунок 2.4).

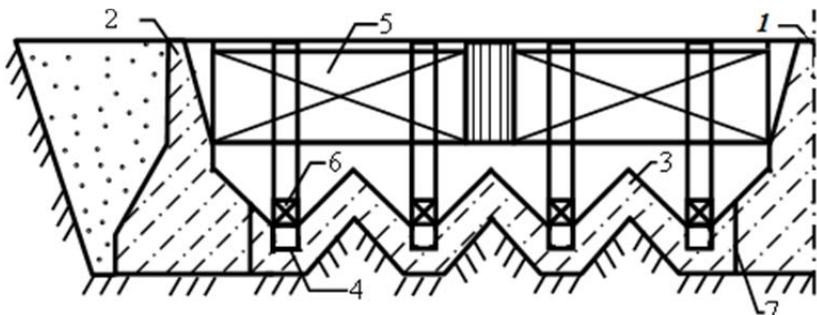


1 – водоприемник; 2 – подводящий участок (аванкамера); 3 – разделяющая стенка; 4 – переходной участок; 5 – решетка для выравнивания скоростей; 6 – береговой устой; 7 – камера

Рисунок 2.4 – Вход в двухкамерный отстойник с непрерывным промывом, с несоосным расположением относительно водоприемника

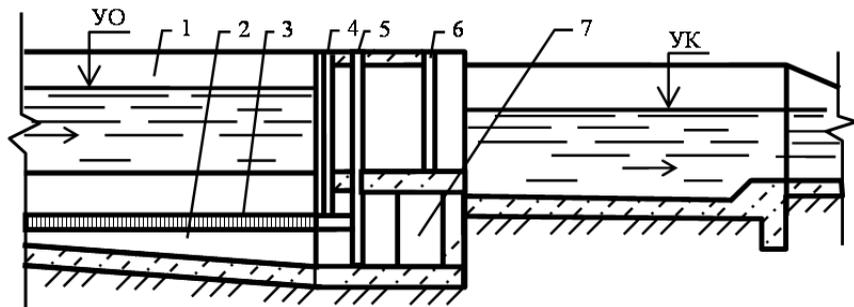
Поперечное сечение камеры в верхней части – прямоугольное, в нижней, в пределах ребер – трапецидальное. Глубину воды над решеткой сборно-промывной галереи назначают 3–5 м.

Дно камеры ребристое, из железобетонных плит толщиной 0,3–0,4 м, высота ребер – 1,5 м и угол наклона – 40–45°. На связных грунтах ребра устраивают на сплошной железобетонной плите, имеющей толщину 0,3–0,4 м, образующиеся при этом пустоты можно заполнять гравием. Камеру по длине разрезают поперечными швами через 30–40 м. На гравелисто-песчаных грунтах отдельные стенки и устои отрезают от донной плиты швами (рисунок 2.5). При уменьшенных зимних расходах канала во избежание переосветления потока, выходящего из отстойника, желательно принимать две камеры с одинаковым количеством секций.



1 – раздельная стенка; 2 – береговой устой; 3 – донная плита; 4 – сборно-промывные галереи; 5 – затвор на выходе из отстойника; 6 – затвор галереи; 7 – шов
Рисунок 2.5 – Конструкция камеры на гравелисто-песчаных грунтах

Промыв отстойника осуществляется через сборно-промывные галереи (рисунок 2.6), расположенные вдоль камеры в днище, и напорный пульповод, соединяющий отстойник с рекой в нижнем бьефе гидроузла.



1 – камера; 2 – сборно-промывная галерея; 3 – решетка; 4 – паз затвора камеры; 5 – паз затвора сборно-промывной галереи; 6 – паз для шандоров; 7 – пульповод
Рисунок 2.6 – Выход из камеры отстойника с непрерывным промывом

Сборно-промывные галереи проектируют постоянной ширины $b_r = 0,4-0,5$ м и переменной высоты, изменяющейся от 0,2 м в начале камеры до 0,8 м в конце, при этом скорость вдоль галереи должна возрастать и быть не менее 1,3 м/с в начале и 1,5–2 м/с в конце камеры. Галерею сверху перекрывают металлической решеткой шириной 0,5–0,6 м или дырчатой железобетонной плитой толщиной 5–6 см.

Пульповод проектируют переменного поперечного сечения в пределах отстойника и постоянного – на участке от отстойника до реки. Высоту пульповода на всей длине принимают постоянной, равной 1–1,5 м, а ширину назначают из условия получения в нем скорости не менее 1,5–2 м/с при расходе, изменяющемся от промывного расхода одной галереи до промывного расхода всего отстойника.

Для обеспечения напорного движения на всех участках промывного тракта верхняя кромка пульповода в конечном сечении должна быть ниже бытового уровня реки при паводковом расходе на 0,2–0,3 м.

Расчет таких отстойников обычно выполняют при следующих условиях:

- а) камера не имеет резервного объема для аккумуляции наносных отложений;
- б) камера устроена с горизонтальным дном;
- в) промыв наносов ведут под напором;
- г) промывной расход вдоль камеры линейно убывает;
- д) разность уровней в бьефах должна быть достаточной для создания в пульповоде необходимых скоростей, обеспечивающих бесперебойное транспортирование наносов.

При расчете известными являются следующие величины: Q_p – рабочий расход отстойника; ρ_0 – весовая мутность воды, поступающей в отстойник; ρ_1, ρ_2, ρ_i – весовая мутность по фракциям; P_1, P_2, P_i – процентное содержание наносов по фракциям; d, w – диаметр и гидравлическая крупность осаждаемых фракций.

Расчетные формулы и методика, используемые при расчете отстойников с непрерывным промывом наносов, представлены также в [2, 4, 5, 7]. Ниже приводится пример расчета запроектированного с использованием вышеприведенных рекомендаций отстойника.

Пример расчета отстойника с непрерывным гидравлическим промывом

Расчету подлежат: размеры отстойника, режим осаждения наносов и размеры элементов промывного тракта.

Исходные данные:

Расход воды в начале магистральной части отводящего канала:

$$Q_{\text{м.к.}} = Q_p = 45,7 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Фракционный состав наносов приведен ниже.

d , мм	> 0,5	0,5–0,4	0,4–0,3	0,3–0,2	0,2–0,1	< 0,1
По весу, %	10	10	12	18	28	22

Крупность наносов, осаждаемых в отстойнике $d \geq 0,2$ мм. Мутность потока воды в реке $\rho_0 = 2,46$ кг/м³, температура воды – 15 °С.

Определение размеров отстойника

Расчет производится в следующем порядке. Принимается величина промывного расхода $Q_{\text{пр}} = (0,1 - 0,2)Q_p$:

$$Q_{\text{пр}} = 0,16 \cdot 456,7 = 7,3 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Назначаются следующие размеры (рисунок 2.7, в):

- глубина воды в камере $H = 5$ м;
- высота ребра $c = 1,5$ м;
- угол наклона ребра $\alpha = 45^\circ$;
- ширина решетки $b_p = 0,5$ м;
- скорость воды в камере $V_0 = 0,3$ м/с.

Определяются основные размеры камеры:

- ширина одной секции

$$b_c = 2 \frac{c}{\text{tg}\alpha} + b_p = 2 \frac{1,5}{\text{tg}45} + 0,5 = 3,5 \text{ м};$$

- площадь живого сечения одной секции

$$\omega_c = b_c H - \frac{c^2}{\text{tg}\alpha} = 3,5 \cdot 5 - \frac{1,5^2}{\text{tg}45} = 15,25 \text{ м}^2;$$

- потребное число секций

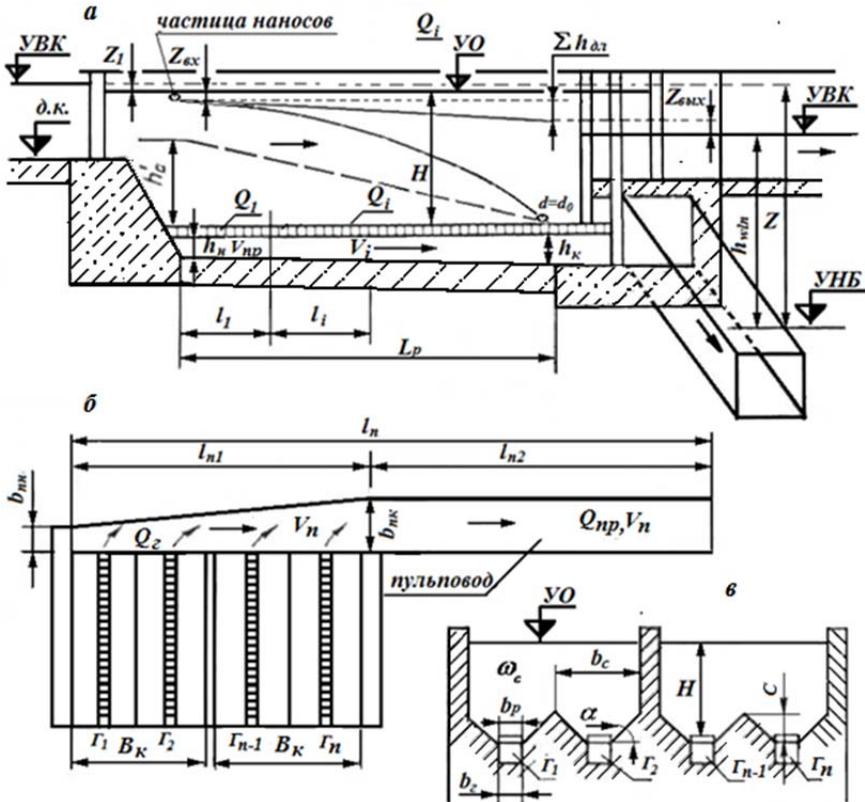
$$n_c = \frac{Q_p + 0,5Q_{\text{пр}}}{V_0 \omega_c} = \frac{45,7 + 0,5 \cdot 7,3}{0,3 \cdot 15,25} = 10,8,$$

так как число n_c получилось дробное, изменяем предварительно принятую глубину в камере. При $H = 4,56$ м:

$$\omega_c = b_c H - \frac{c^2}{\operatorname{tg} \alpha} = 3,5 \cdot 4,56 - \frac{1,5^2}{\operatorname{tg} 45} = 13,71 \text{ м}^2;$$

$$n_c = \frac{Q_p + 0,5Q_{\text{пр}}}{V_0 \omega_c} = \frac{45,7 + 0,5 \cdot 7,3}{0,3 \cdot 13,71} = 12;$$

– рабочая ширина отстойника $B_p = b_c n_c = 3,5 \cdot 12 = 42 \text{ м}$.



а – сборно-промывной галереи; *б* – пульповода; *в* – основных размеров камеры:
 1 – входной оголовок; 2 – выходной оголовок; 3 – сборно-промывная галерея;
 4 – ребро; 5 – решетка; 6 – пульповод

Рисунок 2.7 – Схемы к расчету отстойника с непрерывным промывом наносов

Объединяем по две секции в камеру с толщиной разделительных стенок 0,5 м. Получим шесть камер по 7 м. Тогда

$$B_0 = 6 \cdot 7 + 0,5 \cdot 5 = 44,5 \text{ м};$$

– средняя ширина отстойника

$$B_{\text{cp}} = \frac{\omega_c n_c}{H} = \frac{13,71 \cdot 12}{4,56} = 36,1 \text{ м};$$

– средняя глубина отстойника

$$H_{\text{cp}} = \frac{\omega_c n_c}{B_p} = \frac{13,71 \cdot 12}{42} = 3,9 \text{ м};$$

– средняя скорость в отстойнике

$$V_{\text{cp}} = \frac{Q_p + 0,5Q_{\text{пр}}}{n_c \omega_c} = \frac{45,7 + 0,5 \cdot 7,3}{12 \cdot 13,71} = 0,3 \text{ м/с};$$

– длина отстойника

$$L_p = \frac{H}{w_p} V_{\text{cp}} - \frac{Q_{\text{пр}}}{B_{\text{cp}} w_p} = \frac{4,56}{0,01876} \cdot 0,3 - \frac{7,3}{36,1 \cdot 0,01876} = 62 \text{ м},$$

где w_p – гидравлическая крупность, взятая по наименьшему диаметру осаждаемых фракций $d_0 = 0,2$ мм (приложение 5).

Расчет режима осаждения наносов

Крупные фракции наносов в отстойнике принятых размеров задерживаются полностью, наносы диаметра мельче расчетного ($d_0 = 0,2$ мм) частично. Необходимо определить, сколько мелких фракций задерживается в отстойнике и сколько попадает в канал. Для этого для каждой фракции мельче расчетной определяется высота, с которой мелкие частицы выпадают в пределах отстойника:

$$h_{0,1} = L_p \frac{w_{0,1}}{V_{cp}} + \frac{Q_{пр}}{B_{cp} V_{cp}} = 62 \frac{0,00588}{0,3} + \frac{7,3}{0,3 \cdot 36,1} = 1,89 \text{ м};$$

$$h_{0,07} = L_p \frac{w_{0,07}}{V_{cp}} + \frac{Q_{пр}}{B_{cp} V_{cp}} = 62 \frac{0,00288}{0,3} + \frac{7,3}{0,3 \cdot 36,1} = 1,27 \text{ м},$$

где w_i – гидравлическая крупность рассматриваемой фракции.

Процент задержанных наносов мелких фракций

$$\sum P_M = \sum \frac{h_i}{H_{cp}} \sum P_{iM} = \frac{1,89}{3,9} 28 + \frac{1,27}{3,9} 22 = 20,7 \%,$$

где $\sum P_{iM}$ – процентное содержание фракций наносов мельче расчетной.

Суммарный процент задержанных наносов

$$\sum P = \sum P_{kp} + \sum P_M = (10 + 10 + 12 + 18) + 20,7 = 70,7 \%,$$

где $\sum P_{kp}$ – процентное содержание фракций наносов, крупнее расчетной.

Мутность промывного потока

$$\rho_{пр} = \frac{(Q_H)_{вх} - (Q_H)_{вых}}{Q_{пр}},$$

где $(Q_H)_{вх}$ и $(Q_H)_{вых}$ – расход наносов соответственно на входе в отстойник и на выходе из него в отводящий канал:

$$(Q_H)_{вх} = (Q_p + Q_{пр}) \rho_0 = (45,7 + 7,3) 2,46 = 130,4 \text{ кг/с};$$

$$(Q_H)_{вых} = Q_p \rho_0 \left(1 - \frac{\sum P}{100}\right) = 45,7 \cdot 2,46 \left(1 - \frac{70,7}{100}\right) = 32,9 \text{ кг/с}.$$

Мутность промывного потока

$$\rho_{\text{пр}} = \frac{130,4 - 32,9}{7,3} = 13,4 \text{ кг/м}^3.$$

Мутность потока в отводящем канале

$$\rho_{\text{к}} = \frac{(Q_{\text{н}})_{\text{вых}}}{Q_{\text{р}}} = 32,9/45,7 = 0,72 \text{ кг/м}^3.$$

Расчетные параметры галереи

Скорость потока по длине галереи должна увеличиваться от начала к концу. Скорость вначале должна быть больше минимально допустимой, определяемой по уравнению

$$V_{\text{пр}} = \left(w_d \sqrt[6]{P} \sqrt[4]{\frac{4Q_{\Gamma}}{\pi d^2}} \right)^{0,8},$$

где d – диаметр частиц, подлежащих промыву наносов, мельче которых в данной смеси содержится 75 %. Он определяется по кривой гранулометрического состава (рисунок 2.8), строящейся по исходным данным, приведенным в задании на проектирование (приложение 1), и равен $d = 0,39$ мм;

$W = 0,03945$ – гидравлическая крупность, соответствующая этому диаметру;

P – процентное по весу содержание наносов в промывном потоке:

$$P = \frac{\rho_{\text{пр}}}{10} = \frac{13,4}{10} = 1,34 \%;$$

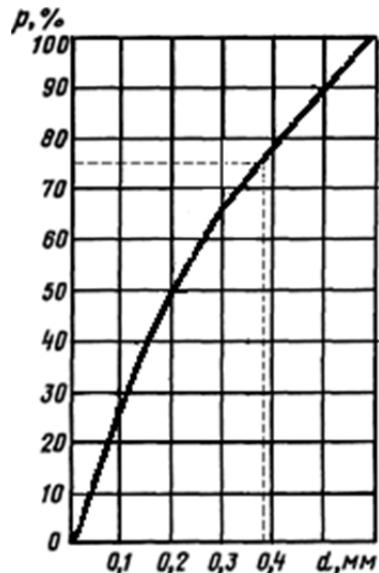


Рисунок 2.8 – Кривая гранулометрического состава наносов

Q_{Γ} – промывной расход одной галереи:

$$Q_{\Gamma} = \frac{Q_{\text{пр}}}{n_{\text{с}}} = 7,3/12 = 0,61 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V_{\text{пр}} = (0,03945 \cdot \sqrt[6]{1,34} \cdot 4 \sqrt{\frac{4 \cdot 0,61}{3,14 \cdot 0,00035^2}})^{0,8} = 1,80 \text{ м/с}.$$

Расход в начале галереи $Q_{\text{ГН}} = (0,1-0,2)Q_{\Gamma}$:

$$Q_{\text{ГН}} = Q_{\Gamma} \cdot 0,183 = 0,183 \cdot 0,61 = 0,112 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Удельный расход, поступающий из камеры в донную галерею:

$$q_{\Gamma} = \frac{Q_{\Gamma} - Q_{\text{ГН}}}{L_{\text{п}}} = \frac{0,61 - 0,112}{62} = 0,008 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Ширина галереи принимается постоянной по всей длине в размере 0,3–0,5 м. Высота галереи переменная по длине. В каждом сечении она определяется по зависимости

$$h_x = h_{\text{н}} + \frac{h_{\text{к}} - h_{\text{н}}}{S_{\text{п}}} l_x,$$

где $h_{\text{н}}$ и $h_{\text{к}}$ – высота галереи в начале и в конце:

$$h_{\text{н}} = \frac{\omega_{\text{н}}}{b_{\Gamma}} = 0,06/0,4 = 0,2 \text{ м}, \quad \omega_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{ГН}}}{V_{\text{н}}} = \frac{0,112}{1,8} = 0,06 \text{ м}^2;$$

$$h_{\text{к}} = \frac{\omega_{\text{к}}}{b_{\Gamma}} = 0,28/0,4 = 0,7 \text{ м}, \quad \omega_{\text{к}} = \frac{Q_{\Gamma}}{V_{\text{к}}} = \frac{0,61}{2,2} = 0,28 \text{ м}^2;$$

l_x – расстояние от начала галереи до рассматриваемого сечения.

Установив таким образом основные параметры галереи, следует определить потери напора в ней:

$$\Sigma h_w = Z_{\text{вх}} + Z_{\text{вых}} + \Sigma h_{\text{дл}}.$$

Значения $Z_{\text{вх}}$ и $Z_{\text{вых}}$ определяются из формул:

$$Q_H = \mu \omega_H \sqrt{2gZ_{\text{вх}}};$$

$$Q_G = \mu \omega_K \sqrt{2gZ_{\text{вых}}};$$

$$Z_{\text{вх}} = \frac{Q_H^2}{\mu^2 \omega_H^2 2g} = \left(\frac{0,112}{0,65 \cdot 0,4 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^2 = 0,24 \text{ м};$$

$$Z_{\text{вых}} = \frac{Q_G^2}{\mu^2 \omega_K^2 2g} = \left(\frac{0,61}{0,65 \cdot 0,4 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^2 = 0,57 \text{ м},$$

где μ – коэффициент расхода, равный 0,65;

$\Sigma h_{\text{дл}}$ – потери напора по длине.

Расчет потерь по длине выполняется в следующем порядке.

1. Галерея по длине разбивается на пять расчетных участков, в пределах которых движение потока считается равномерным.

2. Задаются скорости на каждом расчетном участке. На первом участке скорость принимается не менее $V_{\text{пр}}$ и не менее 1,5 м/с ($V_{\text{пр1}} = 1,8$ м/с). На последующих участках скорости постепенно увеличиваются.

3. Определяется расход на каждом участке по формуле

$$Q_i = Q_H + q_{\Gamma} l'_i = 0,112 + 0,008 \cdot 12,4 = 0,21 \text{ м}^3/\text{с},$$

где l'_i – расстояние от начала галереи до конца каждого расчетного участка.

4. Определяются гидравлические характеристики потока на каждом участке

– площадь живого сечения $\omega_i = \frac{Q_i}{V_i} = \frac{0,21}{1,80} = 0,116 \text{ м}^2;$

– глубина потока $h_i = \frac{w_i}{b_r} = \frac{0,116}{0,4} = 0,29$ м;

– смоченный периметр $\chi_1 = b_r + 2h_i = 0,4 + 2 \cdot 0,29 = 0,99$ м;

– гидравлический радиус $R_i = \frac{\omega_i}{\chi_i} = \frac{0,116}{0,99} = 0,12$ м;

– коэффициент Шези $c = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{1}{0,02} 0,12^{1/6} = 35,06$,

где $n = 0,02$, так как необходимо учесть дополнительные потери, вызываемые тем, что вода в сборно-промывные галереи поступает через решетки, перекрывающие их сверху [5].

5. Определяются потери напора по длине каждого участка:

$$h_{\text{дл},i} = \frac{V_i^2}{c_i^2 R_i} l_i = \frac{1,8^2}{35,06^2 \cdot 0,12} 12,4 = 0,27 \text{ м.}$$

Расчеты сводятся в таблицу.

№ уч.	V_i	Q	ω	h	χ	R	C	$h_{\text{дл}}$
1	1,80	0,21	0,12	0,29	0,99	0,12	35,06	0,27
2	1,90	0,31	0,16	0,41	1,22	0,13	35,78	0,26
3	2,00	0,41	0,20	0,51	1,42	0,14	36,19	0,26
4	2,10	0,51	0,24	0,61	1,61	0,15	36,46	0,27
5	2,20	0,61	0,28	0,69	1,78	0,16	36,65	0,29
								$\sum h_{\text{дл}} = 1,36$

Высота галереи:

$$h_x = h_n + \frac{h_k - h_n}{L_p} l_x;$$

$$h_1 = 0,2 + \frac{0,7 - 0,2}{62} 12,4 = 0,30 \text{ м;}$$

$$h_2 = 0,40; \quad h_3 = 0,50; \quad h_4 = 0,60; \quad h_5 = 0,70.$$

Расчет пульповода

Пульповод должен быть напорным. По длине он разделяется на два участка: первый участок в пределах ширины отстойника является сборным пульповодом длиной $l_{п1}$; второй участок длиной $l_{п2}$, располагаемый от отстойника до берега реки, является транзитным. Сборный пульповод принимается постоянной высоты, которая должна быть больше высоты сборно-промывной галереи, но не менее 1 м. Принимается $h_{п} = 1$ м и скорость в начале пульповода $v_{н} = 2,3$ м/с. Коэффициент шероховатости пульповода принимается как для хорошо отделанной бетонной облицовки: $n = 0,013$ [2]. По длине пульповод разбивается на шесть участков. Их длина будет $l_{уч i} = B_0/6 = 44,5/6 = 7,42$ м. Ширина сборного пульповода переменная и изменяется от начальной $b_{п1}$, вычисляемой последовательно:

$$\omega_{п1} = \frac{Q_{г}}{v_{г}} = \frac{0,61}{2,3} = 0,27 = 0,3 \text{ м}^2;$$

$$b_{п1} = \frac{\omega_{п1}}{h_{п}} = \frac{0,3}{1} = 0,3 \text{ м},$$

до конечной $b_{пк}$, вычисляемой последовательно:

$$\omega_{пк} = \frac{Q_{пр}}{v_{г}} = \frac{7,3}{2,3} = 3,2 \text{ м}^2;$$

$$b_{пк} = \frac{\omega_{к}}{h_{п}} = \frac{3,2}{1} = 3,2 \text{ м},$$

где $h_{п}$ – высота пульповода.

Принимается, что сопротивление движению потока на каждом участке пульповода переменной ширины и длиной $l_{уч} = 7,42$ м эквивалентно сопротивлению равномерного потока такой же длины, имеющего ширину, равную средней ширине потока на этом участке, тогда на первом участке ширина $b_{пс1}$ будет равна

$$b_{пс1} = b_{п1} + \frac{b_{к} - b_{п1}}{B_0} X,$$

где X – расстояние от начала до середины участка.

$$b_{\text{пк1}} = 0,3 + \frac{3,2 - 0,3}{44,5} 3,71 = 0,54 \text{ м};$$

$$\omega_{\text{пк1}} = b_{\text{пк1}} h_{\text{п}} = 0,54 \cdot 1 = 0,54 \text{ м}^2;$$

$$\chi_{x1} = 2b_{\text{пк1}} \cdot 2h_{\text{п}} = 2 \cdot 0,54 + 2 \cdot 1 = 3,08 \text{ м};$$

$$R_{x1} = \frac{\omega_{\text{пк1}}}{\chi_{x1}} = \frac{0,54}{3,08} = 0,18 \text{ м};$$

$$c = \frac{1}{0,013} 0,18^{1/6} = 57,58;$$

$$h_{w1} = \frac{v_{\text{п}}^2}{c_{x1}^2 R_{x1}} l_{\text{уч}} = \frac{2,3^2}{57,58^2 \cdot 0,18} \cdot 7,42 = 0,067 \text{ м}.$$

Расчеты сводятся в таблицу.

№ уч.	x	$b_{\text{пк}}$	$w_{\text{пк}}$	χ_x	R_x	C_x	h_{wi}
1	3,71	0,54	0,54	3,08	0,18	57,58	0,067
2	11,13	1,03	1,03	4,05	0,25	61,19	0,041
3	18,55	1,51	1,51	5,02	0,30	62,97	0,033
4	25,97	1,99	1,99	5,98	0,33	64,04	0,029
5	33,39	2,48	2,48	6,95	0,36	64,77	0,026
6	40,81	2,96	2,96	7,92	0,37	65,29	0,025
							0,221

$$h_{w1n1} = 0,221 \text{ м}.$$

Потери напора на втором участке пульповода h_{w1n2} определяются без разбивки на участки:

$$h_{w1n2} = \frac{v_{\text{п}}^2}{C^2 R} l_{\text{п2}};$$

$$\omega_{\text{п}} = b_{\text{пк}} h_{\text{п}} = 3,2 \cdot 1 = 3,2 \text{ м}^2;$$

$$\chi = 2b_{\text{пк}} \cdot 2h_{\text{п}} = 2 \cdot 3,2 + 2 \cdot 1 = 8,4 \text{ м};$$

$$R = \frac{\omega_{\text{п}}}{\chi} = \frac{3,2}{8,4} = 0,38 \text{ м};$$

$$c = \frac{1}{0,013} 0,38^{1/6} = 65,47;$$

$$h_{\text{дп.2}} = \frac{v_{\text{п}}^2}{c^2 R} l_{\text{уч}} = \frac{2,3^2}{65,47^2 \cdot 0,38} \cdot 62 = 0,20.$$

Потери напора на выход из пульповода в реку определяются по формуле

$$Z_{\text{вых.п}} = \frac{v_{\text{п}}^2}{2g} = \frac{2,3^2}{2 \cdot 9,81} = 0,27 \text{ м}.$$

Расчет входного оголовка отстойника

Оголовок представляет собой шлюз-регулятор, общая ширина которого равна ширине отстойника:

$$B = B_0 = 44,5 \text{ м}.$$

Принимаем количество пролетов шлюза регулятора кратное количеству камер: $n = 3$ по 13 метров шириной и толщиной быков по

$$t = \frac{44,5 - 3 \cdot 13}{2} = 2,75 \text{ м}.$$

Напор на пороге равен глубине воды в канале – $H = 2,5$ м.

Расчет производят по формуле водослива с широким порогом:

$$Q = \varepsilon \varphi b h \sqrt{2gz_1},$$

$$\text{где } \varepsilon = 1 - a \frac{H}{H + b_1} = 1 - 0,11 \frac{2,5}{2,5 + 39} = 0,993;$$

$\varphi = 0,84$ – коэффициент скорости;

$h = H - z_1$ – глубина на пороге.

Расход через голову $Q = Q_p + Q_{пр} = 45,7 + 7,3 = 53 \text{ м}^3/\text{с}$.

Методом подбора получим $Z_1 = 0,08 \text{ м}$.

Уточнение нормального подпорного уровня

Для обеспечения нормальной работы пульповода отметка конца пульповода должна быть не выше паводкового уровня воды в реке (УВР) 5%-й обеспеченности. В курсовом проекте в качестве такого уровня принят уровень воды, соответствующий максимальному расчетному расходу $Q_{р.п.}$, заданному в задании на проектирование. По графику $H = f(Q)$ (из задания) определяем $\nabla\text{УВР} = 75,9 \text{ м}$. При этом НПУ гидроузла должен быть таким, чтобы компенсировать потери напора на пути воды от ВБ ГУ через отстойник и пульповод в реку, т. е. должно соблюдаться неравенство:

$$\nabla\text{НПУ} \geq \nabla\text{УВР} + \Sigma h_w,$$

где Σh_w – потери напора: $\Sigma h_w = Z_{пр} + Z_1 + Z_p + Z_B$.

Величина потерь напора при промыве отстойника составит

$$\begin{aligned} Z_{пр} &= Z_{вх} + Z_{вых} + \Sigma h_{дл} + h_{длн1} + h_{длн2} + Z_{вых.п} = \\ &= 0,24 + 0,57 + 1,36 + 0,22 + 0,20 + 0,27 = 2,86 \text{ м}. \end{aligned}$$

Величина потерь напора составит:

$$\Sigma h_w = Z_{пр} + Z_1 + Z_p + Z_B = 2,86 + 0,08 + 0,09 + 0,5 = 3,53 \text{ м},$$

где Z_p, Z_B – приняты по рекомендациям из п. 2.2.

Тогда $\nabla\text{УВР} + \Sigma h_w = 75,9 + 3,53 = 79,43 \text{ м}$.

Полученное значение меньше приведенной в задании на КП отметки НПУ = 79,7 м, поэтому корректировка НПУ не требуется.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения : ГОСТ 19185–73 / Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР. – Москва: Изд-во стандартов, 1973. – 22 с.
2. Мелиорация и водное хозяйство. 4. Сооружения : справочник / П. А. Полад-заде [и др.]; под ред. П. А. Полад-заде. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 464 с.
3. Гидрология суши. Термины и определения: ГОСТ 19179–73 / Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР. – Москва: Изд-во стандартов, 1988. – 34 с.
4. Курсовое и дипломное проектирование по гидротехническим сооружениям : учебное пособие / В. С. Лапшенков [и др.]; под ред. В. С. Лапшенкова. – Москва: Агропромиздат, 1989. – 448 с.
5. Проектирование гидротехнических сооружений : учебное пособие / И. М. Волков [и др.] – Москва: Колос, 1977. – 384 с.
6. Кириенко, И. И. Гидротехнические сооружения. Проектирование и расчет : учебное пособие / И. И. Кириенко, Ю. А. Химерик. – Киев: Вища школа, 1987. – 253 с.
7. Богославчик, П. М. Проектирование и расчет гидротехнических сооружений : учебное пособие / П. М. Богославчик, Г. Г. Круглов. – Минск: БНТУ, 2003. – 363 с.
8. Инструкция по проектированию низконапорных плотинных речных водозаборов оросительных систем : ВСН – II – 14–76 / Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР; сост. К. Ф. Артамонов [и др.]. – Москва: Редакционно-издательский отдел В/О «Союзводпроект», 1977. – 56 с.

Пример задания на курсовое проектирование
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Факультет энергетического строительства.

Утверждаю
Зав. кафедрой ГТиЭС _____ (_____)
«__» сентября 20__ г.

**Задание на курсовой проект по дисциплине
«Гидротехнические сооружения»**

Обучающемуся _____ группа _____.

1. Тема курсового проекта: «Водозаборный гидроузел».

2. Срок сдачи законченного проекта __ декабря 20__ г.

3. Исходные данные к курсовому проекту:

3.1. Вид гидроузла: плотинный;

3.2. Тип гидроузла: с наносоперехватывающими галереями;

3.3. Тип отстойника: с непрерывным промывом;

3.4. Крупность наносов, задерживаемых в отстойнике, $d_0 \geq 0,02$ мм;

3.5. Нормальный подпорный уровень (НПУ): 124,3 м;

3.6. Топографические, геологические, гидрологические характеристики участка реки:

3.6.1. План стройплощадки: схема № 2 (приложение к заданию);

3.6.2. Основание сооружений гидроузла: однородное с грунтами, указанными в приложении к заданию;

3.6.3. Уклон реки $I = 0,0021$;

3.6.4. Кривая $Q = f(H)$ в створе гидроузла: дана в приложении к заданию;

3.6.5. *Максимальный расчетный расход $Q_{p.п} = 690 \text{ м}^3/\text{с}$;

3.6.6. *Минимальный расход $Q_{\min} = 150 \text{ м}^3/\text{с}$;

3.6.7. Мутность потока $\rho = 3,6 \text{ кг/м}^3$;

3.6.8. Фракционный состав взвешенных наносов в реке:

d , мм	> 0,5	0,5–0,4	0,4–0,3	0,3–0,2	0,2–0,1	< 0,1
По весу, %	4	12	25	20	18	21

3.7. Данные по отводящему каналу:

3.7.1. ******Расход воды в начале магистральной части $Q_{м.к.} = 54 \text{ м}^3/\text{с}$;

3.7.2. Уклон дна $i_k = 0,00042$.

4. Содержание пояснительной записки:

Введение

1. Состав сооружений гидроузла, их характеристика и компоновка;

2. Конструирование и расчет отстойника;

3. Гидравлический расчет и конструирование приплотинной части отводящего канала;

4. Конструирование сооружений гидроузла и их элементов (водоприемник, земляная, щитовая и водосбросная плотины, донные, промывные, наносоперехватывающие галереи, устойчивое русло);

5. Гидравлический расчет водоприемника;

6. Конструирование и расчет рыбозащитного сооружения.

Заключение

5. Перечень графического материала:

5.1. Компоновка гидроузла М 1 : 1000–1 : 5000;

5.2. План гидроузла, продольный разрез по осям водоприемника и отстойника М 1 : 100–1 : 500;

5.3. Поперечные разрезы, узлы и детали М 1 : 100–1 : 400.

6. Дата выдачи задания ___ сентября 20__ г.

7. Примерный календарный график выполнения курсового проекта:

Готовность материалов по пунктам	% выполнения	Дата
П. 4.1; 4.2; 4.3	30	24.10.20__ г.
П. 4.4; 4.5; 4.6	70	21.11.20__ г.
П. 4.1(уточнение); 5.1–5.3	100	19.12.20__ г.

Руководитель курсового проекта _____()

Подпись обучающегося _____()

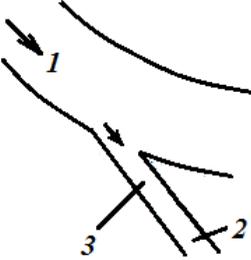
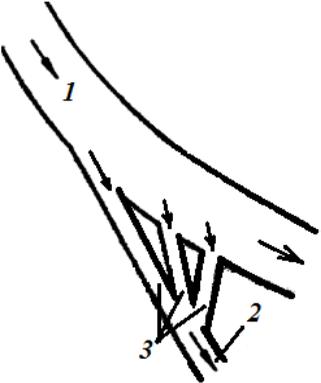
Дата _____

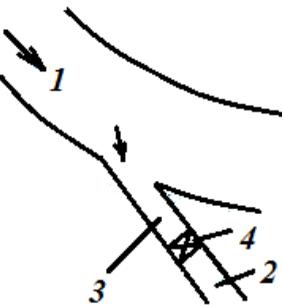
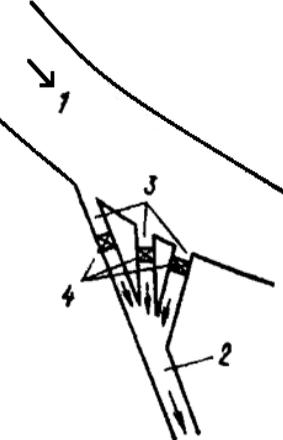
* – для бесплотинных гидроузлов в табличном виде задается гидрограф реки за поливной сезон для расходов 75%-й обеспеченности.

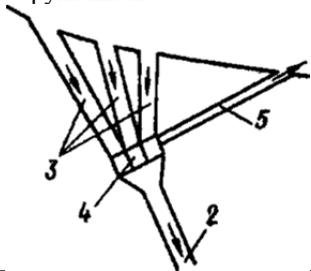
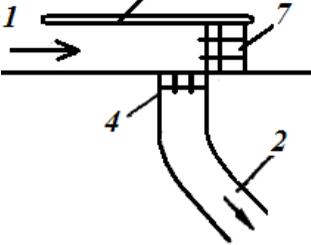
** – для бесплотинных гидроузлов в табличном виде задается гидрограф магистрального канала за поливной сезон.

БЕСПЛОТИННЫЕ ГИДРОУЗЛЫ

Схемы и конструктивные особенности бесплотинных водозаборных гидроузлов

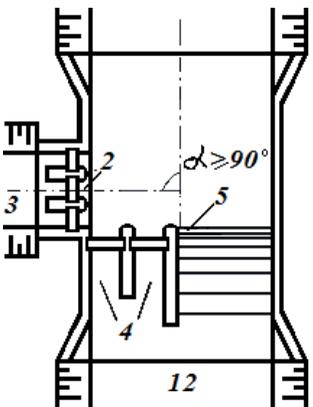
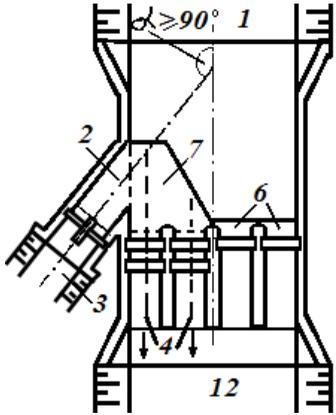
Тип и схемы бесплотинных гидроузлов	Особенности	Достоинства и недостатки
1	2	3
<p>С боковым водозабором: – одноголовый нерегулируемый</p> 	<p>Открытый канал, отходящий от реки под некоторым углом к ее оси. Чаще всего используют как временный водозабор</p>	<p>Простота исполнения. Быстрое занесение наносами, непрерывное изменение очертаний головы канала, нерегулируемость забираемого расхода</p>
<p>– многоголовый нерегулируемый</p> 	<p>Несколько подводящих каналов-прокопов, используемых и в качестве отстойников. Позволяет регулировать водозабор при колебаниях уровня воды в реке, расщелочить очистку каналов, использовать площадь между прокопами для размещения отвалов наносов, извлекаемых при очистке</p>	<p>Большие объемы очистки от наносов; смещение голов каналов на реках с неустойчивыми руслами, требующее берегоукрепительных и регулировочных работ</p>

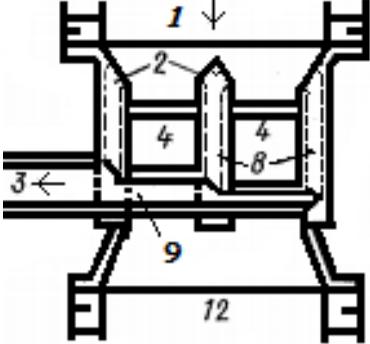
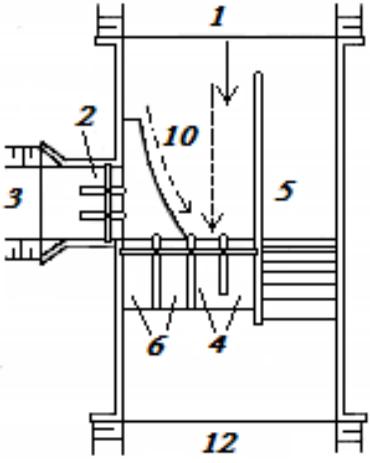
1	2	3
<p>– одноголовый регулируемый</p> 	<p>В голове бокового отвода или на некотором удалении устраивают водозаборное сооружение. Первую схему используют при неразмываемых берегах, вторую – при размываемых. Канал-прокоп при этом служит отстойником с периодической очисткой. Пропускная способность регулятора определяется режимом реки</p>	<p>Достоинства регулируемых водозаборов: обеспечение непрерывной подачи осветленной воды, гидравлический промыв наносов без нарушения подачи воды; малая потребность в средствах очистки и равномерность их загрузки. Недостатки: затрудненный промыв прокопов в паводковый период; занесение тракта наносами при пропуске малых расходов; сложность размещения отвалов наносов</p>
<p>– многоголовый регулируемый</p> 	<p>На реках с неустойчивым руслом и большим содержанием наносов устраивают 2–4 прокопа-отстойника длиной по 2–2,5 м с водозаборными сооружениями (с централизованным управлением). Обеспечивает более надежный водозабор и дифференцированное регулирование водопдачи</p>	<p>То же</p>

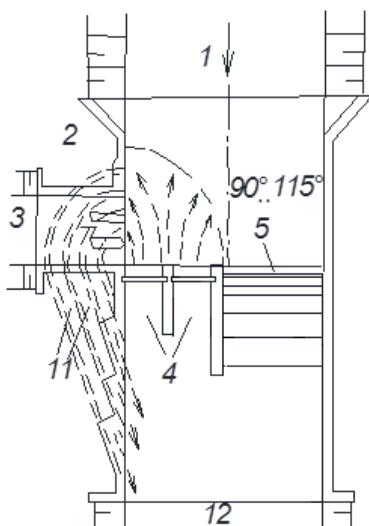
1	2	3
<p>– многоголовый с двухъярусным водозаборным сооружением</p> 	<p>Верхний ярус используют как водоприемник, нижний – как промывные галереи с отводом в промывной канал</p>	<p>Дифференцированно регулируют расход воды, поступающей из каждого канала, Облегчается промыв наносов в прокопах</p>
<p>С фронтальным водозабором – шпорный</p> 	<p>Для увеличения ширины захвата воды устраивают дамбу из местных материалов (шпору) часто с промывным отверстием. С регуляторами и без них. Для усиления отклонения донных наносов устанавливают направляющие донные пороги, лотки или поверхностные струнаправляющие системы</p>	<p>Более высокий коэффициент водозабора. Улучшают условия борьбы с наносами и командования; увеличивают надежность водозабора. Нельзя применять при низких бытовых уровнях, недостаточных для самотечного водозабора; водоотводе из реки более 15–20 % межennaleго расхода; при значительном уменьшении захвата донных наносов; опасен подмыв шпор. Целесообразны на реках с неустойчивым руслом, резким падением уровней в реке при прохождении небольших расходов</p>
<p><i>Примечание:</i> 1 – подводящее русло; 2 – магистральный канал; 3 – канал-прокоп; 4 – водозаборное сооружение; 5 – промывной канал; 6 – продольная дамба-шпора; 7 – промывные отверстия</p>		

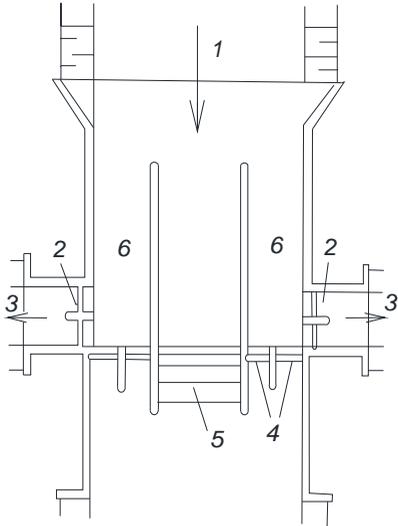
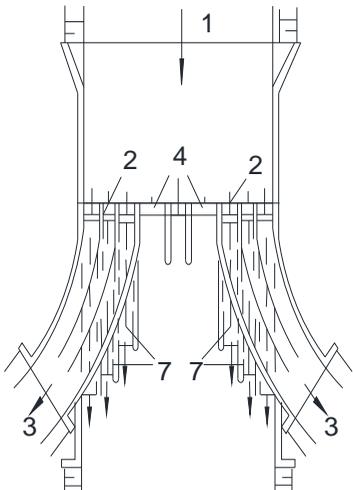
ПЛОТИННЫЕ ГИДРОУЗЛЫ

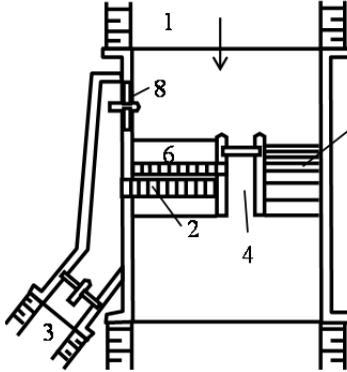
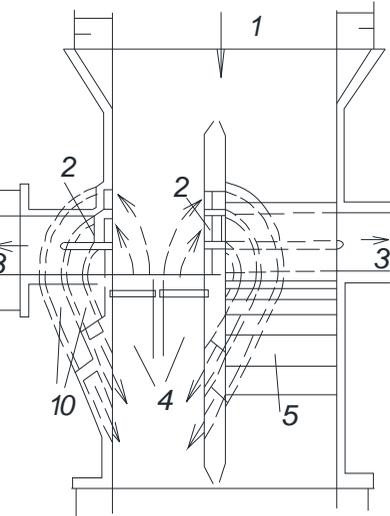
Схемы и конструктивные особенности речных плотинных водозаборных гидроузлов

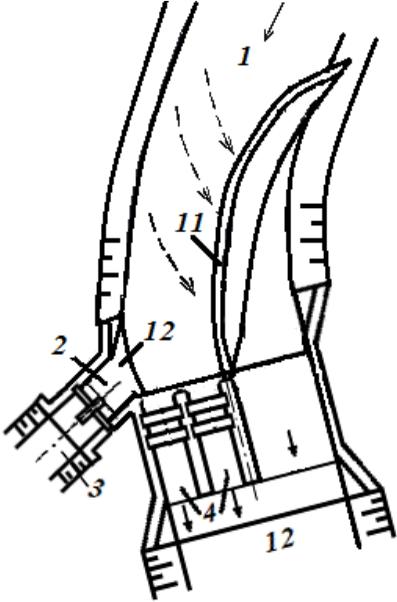
Тип и схемы плотинных гидроузлов	Конструктивные особенности
<p style="text-align: center;"><i>1</i></p> <p>С фронтальным промывом</p> 	<p>Водоприемник с входным порогом; плотина с промывными отверстиями для смыва наносов, накопившихся в ВБ, и водосливом практического профиля для пропуска паводка. Затруднителен полный промыв ВБ</p>
<p>С горизонтальным полоком</p> 	<p>Перед водоприемником устроен полок – горизонтальная плита на отметке порога водозаборного сооружения. Полок опирается на быки промывных отверстий и делит водный поток по глубине на два слоя. Донные наносы с избытком воды сбрасывают в НБ под полоком. Варианты – решетчатый, прорезной полоки. Возможны засорение и завал наносами пространства под плитой</p>

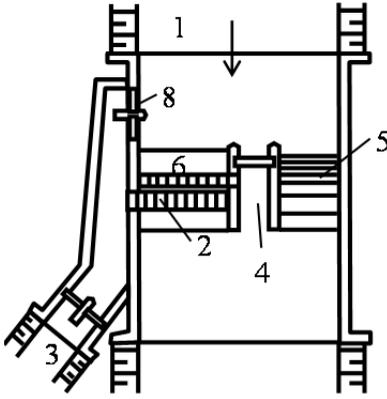
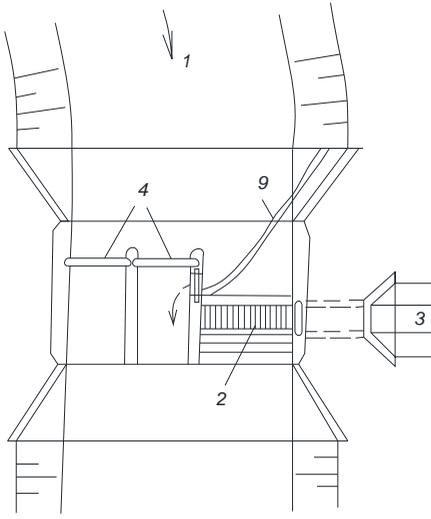
1	2
<p>Бычковый</p> 	<p>Односторонние или двухсторонние галереи – водоприемники с решетками размещены в береговых устоях и быках плотины на отметках, обеспечивающих забор только верхних слоев потока. Нижние слои с наносами пропускают через сбросные отверстия плотины. Не применяют на реках селеносных и транспортирующих плавник, забивающий решетки</p>
<p>С удаленными промывными отверстиями</p> 	<p>Прилегающая к водоприемнику часть водосбросной плотины имеет повышенный порог (более эффективен криволинейный), что приводит к перераспределению расходов воды в створе плотины и возникновению поперечной циркуляции водного потока. Через промывные отверстия второй части плотины, расположенные на уровне понура, сбрасывают донные наносы. Третья часть плотины – водосливная. Требуется больших сбросных расходов для поддержания интенсивной поперечной циркуляции; значительных размеров регулятора из-за относительно малых напоров перед ним; затруднена борьба с плавником</p>

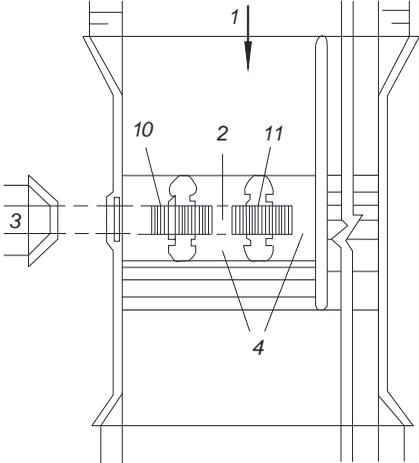
1	2
<p>С наносоперехватывающими галереями</p> 	<p>При закрытых промывных отверстиях крайних пролетов плотины в водном потоке образуется устойчивая циркуляция, при которой донные токи направляются к входу наносоперехватывающих галерей, располагаемому в зоне встречи гряды наносов с обратным донным течением. Вынос одной из галерей перед водоприемником способствует поступлению в нее основной массы наносов. Широко применяют в гидротехническом строительстве, хотя и требуют периодических промывок ВБ через отверстия плотины, примыкающие к водоприемнику, и отключения водозабора на этот период</p>
<p><i>Примечание:</i> 1 – подводящий канал; 2 – водоприемник; 3 – магистральный канал; 4 – промывные отверстия; 5 – автоматический водослив; 6 – сбросные отверстия; 7 – горизонтальный полок; 8 – водопроводящие галереи; 9 – лоток; 10 – криволинейный порог; 11 – наносоперехватывающие галереи; 12 – отводящее русло</p>	

1	2
<p>С карманами (индийский)</p> 	<p>Водоприемники располагают, как правило, по обоим берегам. Карманы в составе перегораживающей плотины служат речными отстойниками, в которых осаждаются донные и крупные фракции взвешенных наносов. Аккумуляция наносов обеспечивается закрытием промывных отверстий в конце карманов-отстойников. После заполнения аккумулялирующей емкости кармана проводят промыв наносов через промывные отверстия. Недостатки: плохая промываемость карманов, отключение канала на период промыва; тяжелое крепление НБ</p>
<p>Двухъярусный</p> 	<p>Расслоения потока воды достигают горизонтальной плитой. Нижние слои с донными наносами через промывные галереи под водоприемником сбрасывают в НБ, верхние поступают в канал по криволинейным лоткам. Существует много конструктивных вариантов. Недостатки: взмучивание воды и завлечение части наносов в канал, сложность конструктивного исполнения, засорение галерей донным плавником и эксплуатационные затруднения по промывкам ВБ ввиду суженного фронта отверстий плотины</p>

1	2
<p>С боковым промывом наносов – с донными промывными галереями</p> 	<p>Перед водоприемником устраивают многокамерный отстойник с промывными галереями: через галерею на входе наносы непрерывно сбрасывают в НБ, галереи в камере служат для периодической промывки камер отстойника при непрерывной подаче воды в магистральный канал. Недостаток: уменьшение фронта промывных отверстий плотины, непроизводительные сбросы воды</p>
<p>С наносоперехватывающими галереями</p> 	<p>Перед водосливной плотиной устраивают карман, примыкающий к одному из берегов. При закрытых затворах плотины возникают обратные донные токи и мощное винтовое движение с пониженной зоной давления при встрече его с основным течением. В этой зоне располагают входные отверстия наносоперехватывающих галерей ниже отверстий водоприемника. Осветленную воду подают на оба берега шлюзом-регулятором и дюкером (или двумя дюкерами). Через промывные отверстия плотин осуществляют периодические промывы отложений наносов в кармане. Не рекомендуется для селеопасных участков рек</p>

1	2
<p>С криволинейным подводящим руслом (ферганский)</p> 	<p>Водоприемник на вогнутом берегу, куда верхние осветленные слои воды отклоняются поперечной циркуляцией, генерируемой криволинейным подводящим руслом. Нижние слои с донными наносами направляются к выпуклому берегу и сбрасываются в НБ через промывные отверстия в плотине. Водозабор односторонний, на другой берег воду можно подавать дюкером. Сокращение водосливного фронта плотины компенсируется криволинейным автоматическим водосливом, выдвинутым в ВБ. Варианты: вертикальный или Г-образный порог перед водоприемником. Недостатки: плохая промываемость узкого и криволинейного ВБ; неудовлетворительная гидравлика сброса воды через плотину. Получил большое распространение благодаря простоте конструкции и надежности эксплуатации</p>
<p><i>Примечание:</i> 1 – подводящее русло; 2 – водоприемник; 3 – магистральный канал; 4 – промывные отверстия; 5 – автоматический водослив; 6 – карман-отстойник; 7 – промывные галереи; 8 – многокамерный отстойник; 9 – открытое промывное отверстие; 10 – наносоперехватывающие галереи; 11 – криволинейный автоматический водослив; 12 – криволинейный порог</p>	

1	2
<p>С донным водоотбором и водоотводом донно-решетчатый</p> 	<p>Донная галерея водосливной плотины, перекрытая решеткой, размещаемая по всему водосливному фронту или его части. Крупные наносы задерживаются решеткой, мелкие фракции пропускаются в канал, где устраивают отстойники, промывные камеры и др. Варианты: с наносоперехватывающей траншеей перед водозаборной галереей; с промывным отверстием на отметке дна реки; с наклонной решеткой водоприемника; с криволинейным порогом перед решеткой, отклоняющим наносы к промывному отверстию плотины</p>
<p>С поверхностным водоотбором и донным водоотводом с косонаправленным ступенчатым циркуляционным порогом (КЦП)</p> 	<p>Общая поперечная циркуляция водного потока, генерируемая криволинейным подводящим руслом, усиливается устройством КЦП, который отклоняет донные струи в сторону реки и направляет их в промывник в теле быка для сброса в НБ. Водоприемная галерея, расположенная на один-два метра выше сбросного отверстия плотин, принимает воду, переливающуюся через КЦП</p>

1	2
<p data-bbox="132 236 396 264">Послойно-решетчатый</p> 	<p data-bbox="582 236 987 820">Над водоприемной галереей, установленной в теле плотины, размещают небольшие полые быки. При их обтекании в потоке возникает обратное донное течение, при встрече которого с основным потоком на некотором расстоянии от преграды образуется вращательное движение донных слоев с наносами, приостанавливающее их и направляющее в обход преграды. В результате у самой преграды образуется полоса осветленной воды, поступающей в галерею. Насыщенные наносами слои воды сбрасываются в НБ через промежутки между быками. При повышенных уровнях вода забирается и через решетки в затопляемых быках</p>
<p data-bbox="132 849 987 984"><i>Примечание:</i> 1 – подводящее русло; 2 – водозаборная галерея; 3 – магистральный канал; 4 – промывные отверстия; 5 – автоматический водослив; 6 – наносоперехватывающая плотина; 7 – криволинейные порог; 8 – зимний водоприемник; 9 – косо направленный ступенчатый порог; 10,11 – решетки нижнего и верхнего ярусов</p>	

Допускаемые (неразмывающие) средние скорости течения для несвязных грунтов

Грунты и их характеристики	Размеры частиц грунта, мм	Средние глубины погога, м					
		0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	
Наименование	Разновидность	Средние скорости течения, м/с					
1	2	3	4	5	6	7	8
Пыль и ил	Пыль и ил с мелким песком; растительная земля	0,005–0,05	0,15–0,2	0,2–0,3	0,25–0,4	0,3–0,45	0,4–0,55
Песок мелкий	Песок мелкий с примесью среднего	0,05–0,25	0,2–0,35	0,3–0,45	0,4–0,55	0,45–0,6	0,55–0,7
Песок средний	Песок мелкий с глиной; песок средний с примесью крупного	0,25–1	0,35–0,5	0,45–0,6	0,55–0,7	0,6–0,75	0,7–0,85
Песок крупный	Песок крупный с примесью гравия; средний незернистый песок с глиной	1–2,5	0,5–0,65	0,6–0,75	0,7–0,8	0,75–0,9	0,85–1
Гравий мелкий	Гравий мелкий с примесью среднего	2,5–5	0,65–0,8	0,75–0,85	0,8–1	0,9–1,1	1,1–1,2
Гравий средний	Гравий крупный с песком и мелким гравием	5–10	0,8–0,9	0,85–1,05	1–1,15	1,1–1,3	1,2–1,45
Гравий крупный	Галька мелкая с песком и гравием	10–15	0,9–1,1	1,05–1,2	1,15–1,35	1,3–1,5	1,45–1,65

1	2	3	4	5	6	7	8
Галька мелкая	Галька средняя с песком и гравием	15–25	1,1–1,25	1,2–1,45	1,35–1,65	1,5–1,85	1,65–2
Галька средняя	Галька крупная с примесью гравия	25–40	1,25–1,5	1,45–1,85	1,65–2,1	1,85–2,3	2–2,45
Галька крупная	Булыжник мелкий с галькой и гравием	40–75	1,5–2	1,85–2,2	2–2,4	2,1–2,6	2,2–2,7
Булыжник мелкий	Булыжник средний с галькой	75–100	2–2,3	2,2–2,5	2,4–2,8	2,6–3	2,7–3,2
Булыжник средний	Булыжник средний с примесью крупного; булыжник крупный с мелкими примесями	100–150	2,3–2,5	2,5–2,8	2,8–3,1	3–3,5	3,2–3,6
Булыжник крупный	Булыжник крупный с примесью мелких валунов и гальки	150–200	2,5–3	2,8–3,1	3,1–3,5	3,5–3,9	3,6–4,1
Валун мелкий	Валуны средние с примесью гальки	200–300	–	3,1–3,7	3,5–4,1	3,9–4,3	4,1–4
Валун средний	Валуны с примесью булыжника	300–400	–	–	4,1–4,5	4,3–4,7	4,6–5
Валун особо крупный	–	400–500 и более	–	–	–	4,7–5,1	5–5,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Значения гидравлические крупности в зависимости
от диаметра частиц и температуры воды

Диаметр частиц d , мм	Гидравлическая крупность w (м/с) при температуре t (°C)				
	10	15	20	25	30
0,001	0,00000068	0,00000079	0,000009	0,000001	0,0000011
0,01	0,000068	0,000079	0,00009	0,0001	0,00011
0,015	0,000154	0,000178	0,00021	0,000225	0,000253
0,02	0,000274	0,000316	0,00036	0,0004	0,00045
0,03	0,000618	0,00071	0,00081	0,0009	0,001012
0,04	0,001099	0,001263	0,00144	0,0016	0,0018
0,05	0,001717	0,001973	0,00227	0,0025	0,002812
0,07	0,00251	0,00288	0,00325	0,00365	0,0041
0,1	0,00512	0,00588	0,00663	0,00744	0,00837
0,15	0,0115	0,01325	0,0149	0,01675	0,01884
0,2	0,01711	0,01876	0,02042	0,02206	0,02372
0,25	0,02267	0,02439	0,02602	0,02766	0,02932
0,3	0,02831	0,02996	0,03162	0,03326	0,03492
0,4	0,03951	0,04116	0,04292	0,04446	0,04641
0,5	0,05071	0,05236	0,05402	0,05566	0,05732
0,6	0,06191	0,06356	0,06522	0,06686	0,06852
0,7	0,07371	0,07476	0,07642	0,07806	0,07972
0,8	0,08431	0,08596	0,08762	0,08926	0,09092
0,9	0,09571	0,09736	0,09902	0,10046	0,10212
1	0,10671	0,10836	0,11002	0,11166	0,11332
1,2	0,12911	0,13076	0,13242	0,13406	0,13572
1,5	0,16271	0,16436	0,16602	0,16766	0,16932

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Раздел 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	4
1.1 Задание на курсовое проектирование, основные термины и определения, используемые в нем	4
1.2 Состав сооружений проектируемого гидроузла, их краткая характеристика и компоновка	8
1.3 Регулирование русла реки у створа гидроузла	11
Раздел 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОТСТОЙНИКА	15
2.1 Классификация, требования к проектированию	15
2.2 Особенности проектирования отстойников	18
2.3 Уточнение нормального подпорного уровня для обеспечения гидравлического промыва отстойника	20
2.4 Отстойники с периодическим гидравлическим промывом	22
2.5 Отстойник с непрерывным гидравлическим промывом наносов	33
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	49
ПРИЛОЖЕНИЯ	50
Приложение 1. Пример задания на курсовое проектирование	50
Приложение 2. Бесплотинные гидроузлы	52
Приложение 3. Плотинные гидроузлы	55
Приложение 4. Допускаемые (неразмывающие) средние скорости течения для несвязных грунтов	63
Приложение 5. Значения гидравлические крупности в зависимости от диаметра частиц и температуры воды	65

Учебное издание

БОГДАНОВИЧ Михаил Иванович
ЕВДОКИМОВ Владимир Александрович

ВОДОЗАБОРНЫЙ ГИДРОУЗЕЛ

Пособие
для студентов специальности 1-70 04 01
«Водохозяйственное строительство»

В 3 частях

Часть 1

Редактор *Т. В. Грищенко*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 25.07.2019. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,89. Уч.-изд. л. 3,05. Тираж 100. Заказ 1040.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.