

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ -
МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

В.И. Волков, Н.В. Ханов

**ВОДОСЛИВНЫЕ ПЛОТИНЫ
НА НЕСКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ**



Москва, 2019

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

В.И. Волков, Н.В. Ханов

**ВОДОСЛИВНЫЕ ПЛОТИНЫ
НА НЕСКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ**

Учебное пособие

Москва 2019

УДК 626/627

ББК 38.37

В 47

Волков В.И., Ханов Н.В. Водосливные плотины на нескальном основании: учеб. пособие. – М.: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. 2019. – 123 с.

ISBN

В учебном пособии изложена логическая последовательность проектирования и оценки безопасности отдельных элементов и комплекса сооружений гидроузлов с водосливными плотинами. В нем содержатся рекомендации по конструированию элементов водосливных плотин и рассмотрены примеры комплекса гидравлических и статических расчетов водосливных плотин на нескальном основании. Даны краткие рекомендации по использованию программ расчета.

Учебное пособие содержит сведения, необходимые для формирования профессиональных компетенций при подготовке бакалавров по направлению подготовки 08.03.01 Строительство и рекомендуется учебно-методической комиссией Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова для использования в учебном процессе.

Учебное пособие может быть использовано студентами при выполнении курсовых и дипломных проектов, курсовых и выпускных работ бакалаврами и магистрами других направлений подготовки и специальностей институтов и факультетов РГАУ-МСХА, студентами сельскохозяйственных и строительных вузов, выполняющих домашние задания и расчётно-графические работы.

УДК 626/627

ББК 38.37

Рецензент: канд. техн. наук, проф. В.И. Грозав

© Волков В.И., Ханов Н.В., 2019

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2019

© Издательство ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	7
Основные термины, определения и сокращения	7
2. ГИДРОУЗЛЫ С ВОДОСБРОСНЫМИ ПЛОТИНАМИ	21
2.1. Состав сооружений гидроузла с водосбросной плотиной	21
2.2. Конструкции водосбросных плотин на нескальном основании	30
2.2.1. Водосливные пороги плотин	30
2.2.2. Основные схемы затворов водопропускных отверстий гидроузлов и условия их применения	35
2.2.3. Быки и устои плотин. Разрезка плотин температурно-осадочными швами ..	36
2.2.4. Конструкции водобоя, рисбермы и концевого устройства крепления нижнего бьефа.....	44
3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПЛОТИНЫ	54
3.1. Задачи расчета.....	54
3.2. Определение ширины водосливного фронта и установление отметки порога водослива	54
3.3. Расчет сопряжения с нижним бьефом	57
3.3.1. Расчет сопряжения с нижним бьефом при пропуске расчетного и поверочного расходов.....	57
3.3.2. Расчет сопряжения с нижним бьефом с учетом маневрирования затворами	58
3.4. Определение вероятной глубины размыва в нижнем бьефе.....	59
3.5. Пропуск строительных расходов	60
3.5.1. Существующие схемы пропуска строительных расходов.....	60
3.5.2. Расчет высоты перемычек и глубины размыва русла при пропуске строительных расходов первой очереди	61
3.5.3. Перекрытие русла.....	63
3.5.4. Пропуск строительных расходов второй очереди	65
4. ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ И СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТЫ ВОДОСЛИВНОЙ ПЛОТИНЫ	65
4.1. Фильтрационный расчет флютбета по методу удлиненной контурной линии	65
4.2. Статический расчет водосливной плотины	69
4.2.1. Выбор расчетной схемы и определение расчетных нагрузок	69
4.2.2. Определение контактных напряжений по подошве плотины	74
4.2.3. Расчет устойчивости секций плотины.....	77
5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	79
5.1. Структура выполнения курсового проекта.....	79
5.2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ	80
5.2.1. Исходные данные для проектирования и объем проекта.....	80
5.2.2. Расчетные расходы и уровни воды в бьефах	83
6. ПРИМЕР РАСЧЕТА.....	84

6.1. Гидравлический расчет.....	85
6.1.1. Определение ширины водосливного фронта и отметки порога плотины.....	85
6.1.2. Расчет сопряжения с нижним бьефом	88
6.1.3. Расчет сопряжения с нижним бьефом при маневрировании затворами	90
6.1.4. Глубина размыва за рисбермой	91
6.2. Фильтрационный расчет плотины	92
6.3. Статический расчет водосливной плотины	94
6.3.1. Сбор нагрузок.....	94
6.3.2. Определение контактных напряжений по подошве плотины	97
6.3.3. Расчет устойчивости секции плотины на сдвиг	98
7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	99
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	100
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ГИДРОУЗЛЫ НА Р. ВОЛГЕ	102
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ФОТОРЕФЕРЕНЦ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛОТИН	116

ВВЕДЕНИЕ

Основной целью курса «Водосбросные плотины на нескальном основании» являются получение практических навыков гидротехнических и гидравлических расчётов при решении основных задач проектирования и конструирования ГТС на реках. Полученные в результате изучения дисциплины и выполнения курсового проекта (КП) знания используются в дальнейшем при выполнении выпускных квалификационных работ и магистерских диссертаций.

Данное пособие продолжает рассмотрение комплекса вопросов по обеспечению безопасной эксплуатации речных гидроузлов комплексного назначения. Целью учебного пособия является получение обучающимися теоретических и практических знаний и приобретение умений и навыков, касающихся основных принципов проектирования и обеспечения безопасной эксплуатации водосливных плотин на не скальных основаниях.

В результате студент должен научиться уметь пользоваться нормативно-справочной, научно-технической литературой и комплексом расчётных программ при проектировании водосливных плотин, читать и выполнять технические чертежи этих сооружений. Методика проектирования и оценки безопасности вариантов водосливных плотин базируется на созданных ранее методиках гидравлических и статических расчетов и на комплексе программ для ПК, специально разработанных проф., к.т.н. В.И. Волковым и установленных на компьютерах кафедры гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Авторы учебного пособия надеются, что каждый обучающийся или специалист производства, связанного с эксплуатацией, проектированием или строительством водосливных плотин смогут применить полученные в процессе изучения материала пособия знания при решении практических задач в области инженерного обустройства водных объектов и прилегающих к ним территорий, при оценке технической и экологической безопасности этого типа сооружений.

ОБОЗНАЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ ВЕЛИЧИН

a –	конструктивный запас; коэффициент формы входной грани быков;	$Q_{расч}$ – расчетный расход водосброса;
B –	ширина водосливного фронта; ширина;	$Q_{нов}$ – поверочный расход водосброса;
$B_{реж}$ –	ширина регулятора;	Q_{max} – максимальный расход;
b_{np} –	ширина водосливного пролёта;	Q_{min} – расход межени;
b_k –	ширина канала по дну;	q – удельный расход;
C –	коэффициент Шези;	$q_{расч}$ – удельный расход в конце рисбермы;
$d_{кол}$ (d) –	глубина водобойного колодца;	R – гидравлический радиус;
Fr –	число Фруда;	t (t_b) – толщина быка;
H –	напор геометрический, высота, напор на пороге водослива;	V – средняя по сечению (по вертикали) скорость;
H_o –	напор на пороге водослива с учётом скорости подхода;	V_k – скорость воды в канале; в концевом сечении быстротока;
h –	глубина потока;	V_o – скорость подхода к сооружению, к отверстию;
h_o –	глубина нормального режима потока;	V_c – скорость в сжатом сечении;
h_a –	глубина аэрированного потока;	V_{don} (V_{np}) – допустимая неразмывающая скорость потока;
h_b –	бытовая глубина в естественном русле;	V_{don1} – допустимая неразмывающая скорость при глубине потока 1м;
$h_{вор}$ –	глубина воды в воронке размыва;	y – показатель степени в формуле для определения коэффициента Шези; координата (по вертикали);
h_3 –	высота затвора;	z – перепад уровней; разница отметок точек;
h_c –	глубина в сжатом сечении;	α – корректив кинетической энергии (коэффициент Кориолиса); степень затопления прыжка; угол растекания струи в потоке;
$h_{нач}$ –	глубина в начале быстротока (или его участка);	β – угол расширения (растекания) потока;
h_{kp} –	критическая глубина;	Δ – эквивалентная абсолютная шероховатость;
h_k ($h_{кон}$) –	глубина в конце быстротока (или его участка);	δ_c – толщина стенок;
$h_{разм, гр}$ –	глубина размыва грунта основания, счи-тая от отметки дна русла;	ε – коэффициент бокового сжатия; коэффициент сжатия струи;
$h_{расч}$ –	глубина потока на рисберме;	φ – коэффициент скорости; угол внутреннего трения грунта;
h_{yc} –	высота боковых устоев, стен лотка быстротока;	γ – угол схода потока с консоли; коэффициент в формуле длины растекания потока;
$h_{yc,б}$ –	высота боковых устоев водобоя;	θ – угол наклона лотка быстротока к горизонту; угол входа струи в месте падения в нижний бьеф;
$h'(h_1, h_c)$ –	первая сопряженная глубина;	ρ_w – плотность воды;
$h''(h_2)$ –	вторая сопряженная глубина;	σ_n – коэффициент подтопления водослива;
h''_{eac} –	вторая сопряженная глубина при наличии гасителей;	ω – площадь живого сечения потока;
L, l –	длина;	ω_k – площадь живого сечения канала;
$l_{омл}$ –	длина отлёта струи;	χ – смоченный периметр;
l_{np} –	длина прыжка;	∇, \downarrow и $\not\downarrow$ – знаки, обозначающие отметки уровней воды и элементов сооружений в тексте и на рисунках;
$l_{кол}$ –	длина водобойного колодца;	ГТС – гидротехническое сооружение;
$l_{вод}$ –	длина водобоя;	НПУ – нормальный подпорный уровень;
$l_{рис}$ –	длина рисбермы;	ФПУ – форсированный подпорный уровень.
m –	коэффициент расхода водослива;	
m_k –	коэффициент заложения откосов канала;	
$m_{расч}$ –	коэффициент заложения откоса рисбермы;	
n –	число пролетов; коэффициент шероховатости;	
i –	уклон;	
i_{kp} –	критический уклон;	
P –	обеспеченность (вероятность наступления события)	
p –	высота порога, высота стенки падения, пре-вышение верха трамплинов (при их отсутствии – плиты консоли) над уровнем нижнего бьефа;	
Q –	расход потока;	

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

С целью исключения разнотений и обеспечения однозначных толкований, применяемых в пособии терминов и формулировок, используются общепринятые термины и определения в области проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений [1, 2, 5, 6, 10, 11].

Аварийная ситуация – возможная ситуация на ГТС во время его эксплуатации, при которой вследствие развития опасных процессов его дальнейшая эксплуатация в проектном режиме недопустима, а промедление с реализацией противоаварийных мероприятий неизбежно приводит к аварии.

Аварийно-ремонтный затвор: затвор, опускаемый в текущую воду при аварийных ситуациях и способный совмещать функции аварийных и ремонтных затворов.

Акватория: водная поверхность в пределах естественных, искусственных или условных границ (всего водоёма или его части: залива, бухты).

Безопасность ГТС – свойство ГТС, позволяющее обеспечивать защиту жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов.

Берегозащита: система мероприятий и ГТС, обеспечивающих устойчивость берегов рек, каналов, водоёмов и др. водных объектов.

Берегоукрепительное сооружение: ГТС для защиты берега от обрушения и размыва потоком или волнобоем водотоков и водоёмов.

Бетонная (железобетонная) облицовка: крепление (монолитное, сборное), выполняемое из бетона (железобетона) на слое подготовки из крупнозернистого песка, гравия или щебня.

Быки (бычки): обтекаемые потоком опорные конструкции затворов или подкрановых путей, устанавливаемых на водоприемниках и зданиях ГЭС, промежуточные опоры в мостах и водопропускных отверстиях ГТС.

Бытовая глубина: глубина потока в неестественном, естественном или искусственном русле водотока, вне пределов влияния сооружения.

Бьеф: водное пространство, прилегающее к подпорному сооружению с верховой (верхний бьеф) или низовой (нижний бьеф) стороны.

Вероятный вред – оценка в рублях размера максимального вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии ГТС.

Водобой: начальный массивный участок крепления дна нижнего бьефа за водопропускным сооружением, на котором происходит гашение основной части избыточной кинетической энергии потока и которое воспринимает его динамическое воздействие, а также защищает русло от опасных размывов.

Водобойный колодец: углубление водобоя, выполняемое в виде бассейна и предназначено для затопления гидравлического прыжка, в котором кинетическая энергия превращается в энергию турбулентного перемешивания.

Водобойная стенка: поперечная стенка, располагаемая в пределах водобоя и служащая для гашения энергии воды, сбрасываемой через сооружение из верхнего бьефа.

Водоподпорное сооружение (плотина): сооружение на водотоке для подъёма уровня воды, концентрации напора в одном месте или создания водохранилища.

Водопропускные сооружения: ГТС, обеспечивающие пропуск расхода воды в заданном направлении: все водопроводящие сооружения, включая водосбросы, водовыпуски, водоспуски, водоводы различного назначения, водозаборные сооружения и каналы оросительных систем и систем водоснабжения, судоходные шлюзы, рыбопропускные сооружения и резервные водосбросы.

Водосброс: сооружение, служащее для сброса излишков воды из водохранилища в нижний бьеф.

Водосброс нерегулируемый: водосброс без затворов (автоматический).

Водосброс регулируемый: водосброс с затворами.

Водосбросная плотина: плотина с отверстиями для сброса воды.

Водоскат (сливная поверхность): часть водосброса, простирающаяся от регулирующего элемента сооружения до нижнего конца водосброса или гасителя энергии.

Водослив: устройство в гидротехническом сооружении, в котором сброс воды осуществляется через отверстие со свободной поверхностью потока. Водосливы могут быть с регулирующими затворами или без них.

Водосливная плотина: плотина, предназначенная для пропуска воды путём перелива через её гребень. Может быть с регулирующими затворами или без них.

Водослив практического профиля: водослив, условия перелива воды через который определяются очертаниями его верховой грани и водосливной поверхности.

Водослив с широким порогом: водослив, условия перелива воды через который определяются течением по его горизонтальной поверхности. Как правило, размер горизонтальной поверхности водослива в направлении течения больше двух и меньше восьми напоров над гребнем.

Водохранилище: искусственный водоём, образованный водоподпорным сооружением на водотоке для накопления воды в период её избытка с последующим расходованием на нужды народного хозяйства и с целью регулирования стока.

Водохранилище комплексного назначения: водохранилище, предусмотренное для удовлетворения потребностей нескольких отраслей хозяйства.

Волнистый гидравлический прыжок (прыжок-волна): гидравлический прыжок, характеризующийся отсутствием поверхностного водоворота (вальца) и наличием ряда волн на свободной поверхности потока ниже прыжка.

Волна прорыва – волна перемещения, образующаяся в нижнем бьефе плотины в результате прорыва напорного фронта, представляющая собой неустановившееся движение потока воды, при котором глубина, ширина,

гидравлический уклон, скорость течения в любом створе изменяются во времени.

Вред окружающей среде – негативное изменение окружающей среды в результате ее загрязнения, повлекшее за собой деградацию естественных экологических систем и истощение природных ресурсов.

Габион: гибкие сетчатые конструкции, заполненные камнем, щебнем или галькой (коробчатые, габионы Джамбо, матрасы или матрацы Рено, цилиндрические).

Гасители избыточной энергии потока: элементы конструкции (устройства), располагаемые в пределах водосбросного тракта или в его нижнем бьефе, предназначенные для преобразования параметров движения потока и способствующие интенсификации гашения основной части избыточной кинетической энергии потока. Наиболее распространенные типы гасителей, располагаемые в нижнем бьефе: сплошная водобойная стенка, прорезная водобойная стенка, водобойный колодец, комбинированные гасители (водобойная стенка с неглубоким колодцем за ней, сочетание пирсов и шашек с водобойными стенками и др.).

Гидравлический прыжок: переход потока от движения с глубиной ниже критической к глубине больше критической. В пределах гидравлического прыжка (кроме прыжка-волны) поверх транзитного потока образуется водоворотная область (валец) с горизонтальной осью вращения.

Гидравлическое сопротивление: сопротивление, появляющееся в движущейся жидкости за счет действия сил внешнего или внутреннего трения, и проявляющееся в потерях напора.

Гидродинамическая авария – авария на ГТС, связанная с распространением с большой скоростью воды и создающая угрозу возникновения техногенной чрезвычайной ситуации.

Гидросистема: комплекс ГТС, объединённых в несколько гидроузлов, которые могут располагаться на значительном удалении друг от друга, но служат для выполнения общих задач.

Гидротехнические сооружения (ГТС): сооружения, подвергающиеся воздействию водной среды, предназначенные для использования, охраны и управления водными ресурсами, предотвращения вредного воздействия воды на окружающую природу.

Гидроузел: совокупность ГТС, возводимых на водотоке, объединённых условиями совместной работы и местоположения, решающих единую водохозяйственную задачу.

Глубина потока: расстояние от дна потока до его верхней границы (как правило, свободной поверхности), измеряемое в вертикальной продольной плоскости по нормали к линии дна.

Глубинный водосброс: водосброс, в котором сброс воды осуществляется через глубинные (донные) отверстия.

Государственный надзор за безопасностью ГТС – организация и проведение уполномоченными государственными органами исполнительной власти периодических инспекций (проверок) ГТС с целью установления соответствия их состояния и уровня эксплуатации требованиям безопасности, включая правила техники безопасности, требованиям норм и правил технической эксплуатации, экологическим нормативам, а также с целью проверки деятельности собственников (эксплуатационных организаций) ГТС по обеспечению и поддержанию их безопасности, в том числе исполнения предписаний предыдущих инспекций в установленном Законом Российской Федерации «О безопасности гидротехнических сооружений» порядке.

Гребень водосливной плотины: верх тела плотины, через которую переливается вода.

Дамба – ГТС в виде насыпи для защиты территории от наводнений, для ограждения искусственных водоемов и водотоков, для направленного отклонения потока воды.

Декларация безопасности ГТС – документ, в котором обосновывается безопасность ГТС и определяются меры по обеспечению безопасности ГТС с учетом его класса.

Длина напорного фронта – протяженность напорного фронта, измеряемая по гребню водоподпорных сооружений.

Донный валец: зона вращательного движения воды, возникающая в придонной части потока.

Донный водосброс: глубинный водосброс, расположенный у дна водоема.

Допустимый уровень риска аварии ГТС – значение риска аварии ГТС, установленное нормативными документами.

Запань: плавучее устройство для отклонения шуги, плавника или задержания сплавляемого леса.

Затвор: подвижная конструкция (устройство), служащее для перекрытия отверстий ГТС, водоводов и регулирования пропускаемого расхода воды. Различают: глубинные, поверхностные, основные (рабочие), аварийно-ремонтные, ремонтные и др.

Затопленный гидравлический прыжок: гидравлический прыжок, характеризующийся тем, что поверхностная водоворотная область (валец) находится непосредственно над сжатым сечением донного транзитного потока.

Земляная плотина – плотина из грунтовых материалов, тело которой возведено из глинистых, песчаных, гравелисто-галечных грунтов.

Зона затопления – территория в нижнем бьефе, в пределах которой происходит движение потока, образующегося при разрушении дамбы (плотины).

Зона подтопления – территория, подвергающаяся подтоплению в результате строительства водохранилищ, других водных объектов и застройки или в результате воздействия любой другой народнохозяйственной деятельности.

Катастрофический паводок – выдающийся по величине и редкий по повторяемости паводок, могущий вызвать жертвы и разрушения.

Класс ГТС – регламентируемая действующими нормами проектирования качественно-количественная характеристика, определяющая степень

социально-экономической значимости и ответственности ГТС, назначаемая с учетом последствий его аварии и/или нарушений эксплуатации и подразделяющая ГТС (плотины) по ответственности, высоте и типу плотин, их основаниям и т.д.

Концевое устройство (концевая часть) крепления нижнего бьефа: устраивается за рисбермой для недопущения подмыва элементов водосбросного сооружения, чаще всего выполняется в виде зуба, ковша, свайного ряда или каменной отсыпки.

Крепление дна нижнего бьефа: элементы водопропускного сооружения, расположенные на дне с низовой стороны и предназначенные для защиты его от подмыва, гашения избыточной кинетической энергии сбросного потока и обеспечения сопряжения его с отводящим руслом (естественным или искусственным). Крепление обычно включает в себя: водобой, рисберму и концевое (переходное) крепление.

Крепление русла водотока: совокупность мероприятий, осуществляемых с целью повышения сопротивления русла водотока размыву и разрушению водой, наносами, климатическими, биологическими и другими воздействиями.

Максимальный расход воды: наибольший расход воды в данном створе в течение определённого периода времени.

Маневрирование затворами водосбросов: последовательность открытия и закрытия пролетов водосброса с целью получения наиболее благоприятных гидравлических условий в нижнем бьефе.

Межень: фаза водного режима водотока, характеризуемая малой водностью, длительным стоянием низкого уровня и возникающая вследствие уменьшения питания водотока.

Механическое оборудование гидротехнических сооружений: Совокупность устройств, необходимых для эксплуатации водопропускных ГТС, включающая затворы с закладными деталями, сороудерживающие

решетки, подъемные механизмы и захватные балки, приспособления для маневрирования затворами и очистки решеток.

Минимальный расход: наименьший расход реки, наблюдающийся в межень.

Мониторинг безопасности ГТС – совокупность постоянных (непрерывных) наблюдений за состоянием безопасности ГТС и характером воздействия опасных факторов на окружающую среду.

Наводнение – затопление территории водой, являющееся стихийным бедствием. Наводнение может происходить в результате подъема уровня воды во время половодья или паводка, при заторе, зажоре, вследствие нагона в устье реки, а также при прорыве ГТС.

Надежное (работоспособное) эксплуатационное состояние ГТС – состояние, при котором сооружение соответствует всем требованиям нормативных документов и проекта при действии нагрузок основного сочетания, значения контролируемых показателей состояния сооружений не превышают (не менее) соответствующих критериев безопасности 1-го уровня, сооружение можно эксплуатировать без разработки каких-либо мероприятий, повышающих безопасность его эксплуатации.

Напорный фронт – совокупность водоподпорных сооружений, воспринимающих напор.

Неисправное состояние – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неработоспособное состояние – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неудовлетворительный уровень безопасности – снижение механической или фильтрационной прочности, превышение предельно допустимых значений критериев безопасности для работоспособного

состояния, другие отклонения от проектного состояния, способные привести к развитию аварии.

Нормальный подпорный уровень (НПУ) – наивысший проектный подпорный уровень верхнего бьефа, который может поддерживаться в нормальных условиях эксплуатации ГТС.

Нормальный уровень безопасности – ГТС соответствуют проекту, действующим нормам и правилам, значения критериев безопасности не превышают предельно допустимых для работоспособного состояния сооружений и оснований, эксплуатация осуществляется без нарушений действующих законодательных актов, норм и правил, предписания органов государственного контроля и надзора выполняются.

Носок-уступ: применяется в начале гладкого водобоя для гашения энергии при донном (с отогнанным или затопленным прыжком), поверхностном (с затопленной и незатопленной струёй) и при поверхностно-донном режимах сопряжения.

Обследование технического состояния сооружения – комплекс мероприятий по определению и оценке фактических значений контролируемых параметров, характеризующих работоспособность объекта обследования и определяющих возможность его дальнейшей эксплуатации, реконструкции или необходимость восстановления, усиления, ремонта, и включающий в себя обследование грунтов основания и строительных конструкций на предмет выявления изменения свойств грунтов, деформационных повреждений, дефектов несущих конструкций и определения их фактической несущей способности.

Опасный уровень безопасности – вследствие развивающихся процессов снижения прочности и устойчивости элементов ГТС и их оснований, превышения предельно допустимых значений критериев безопасности, характеризующих переход от частично неработоспособного к неработоспособному состоянию сооружений и оснований.

Опорожнение водохранилища – снижение уровня воды в водохранилище для создания условий выполнения ремонтных работ, приема паводковых расходов и других целей.

Отогнанный гидравлический прыжок: отогнанный прыжок, характеризующийся тем, что начало поверхностного водоворота (вальца) располагается ниже по течению сжатого сечения за сооружением.

Оценка безопасности ГТС – определение соответствия состояний ГТС и окружающей среды установленным критериям безопасности, принятым с соблюдением действующих норм проектирования, соответствия квалификации эксплуатационного персонала и действий собственника (эксплуатирующей организации) требованиям правил технической эксплуатации и законодательства по техногенной и экологической безопасности, определение на этой основе уровня безопасности ГТС и формулирование окончательных выводов о безопасности ГТС с учетом его класса.

Оценка технического состояния – установление степени повреждения и категории технического состояния строительных конструкций или зданий и сооружений в целом, включая состояние грунтов основания, на основе сопоставления фактических значений количественно оцениваемых признаков со значениями этих же признаков, установленных проектом или нормативным документом.

Паводок – фаза водного режима реки, которая может многократно повторяться в различные сезоны года, характеризуется интенсивным обычно кратковременным увеличением расходов и уровней воды и вызывается дождями или снеготаянием во время оттепелей.

Паз: углубление в быках и устоях ГТС для перемещения и установки затворов.

Поверхностный водосброс: водосброс с незамкнутым поперечным сечением, расположенный на поверхности плотины или берегового склона. В зависимости от места его размещения может быть русловым, береговым, пойменным.

Поверхностный затвор: затвор ГТС, предназначенный для перекрытия водного сечения со свободной поверхностью.

Повреждение ГТС – авария на ГТС, характеризуемая опасным отклонением показателей состояния объекта от проектно-эксплуатационных требований в виде осадок, трещин, увеличения фильтрационных расходов, повышения противодавления, нарушения сплошности креплений, работы дренажей и т.п. – всего того, что требует осуществления неотложных ремонтных мероприятий, непринятие которых может привести к выходу ГТС из строя (отказу) либо к его разрушению.

Пойма – часть дна речной долины, сложенная наносами и периодически заливаемая в половодье и паводки.

Показатели безопасности ГТС – количественные показатели, характеризующие вероятности реализации, либо нарушения установленных критериев безопасности ГТС.

Половодье (весенне, весенне-летнее и летнее) – фаза водного режима реки, ежегодно повторяющаяся в данных климатических условиях в один и тот же сезон, характеризующаяся наибольшей водностью, высоким и длительным подъемом уровня воды, и вызываемая снеготаянием или совместным таянием снега и ледников.

Пониженный уровень безопасности – невыполнение первоочередных мероприятий или неполное выполнение предписаний органов государственного контроля и надзора по обеспечению безопасности ГТС и другие нарушения правил эксплуатации при прочих условиях, соответствующих нормальному уровню безопасности.

Понур: водонепроницаемое или малопроницаемое покрытие основания водоподпорного сооружения со стороны верхнего бьефа.

Потенциально опасное состояние плотины – частично работоспособное состояние плотины, при котором имеют место значительные повреждения конструктивных элементов, при которых значение хотя бы одного диагностического показателя становится больше (меньше) значения критериев

безопасности, характеризующих наступление второго предельного состояния; требует проведения капитального ремонта, при необходимости внепланового; невозможность нормальной эксплуатации в проектном режиме не влечёт за собой немедленного возникновения ЧС и прорыва напорного фронта.

Проран – возникшая в результате аварии брешь (отверстие, узкий проход, промоина) в теле (насыпи) плотины, через которую происходит непроектный излив воды из водохранилища, образующий волну прорыва.

Прорыв напорного фронта – разрушение либо повреждение одного из ГТС, формирующих напорный фронт, в результате которых происходит неконтролируемый сброс воды или жидких стоков из ВБ в НБ.

Работоспособное состояние – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Растекатель: устройство, обеспечивающее растекание потока воды в сооружении для обеспечения равномерного распределения скоростей этого потока в плане.

Расчетный расход воды – расход воды заданной вероятности превышения, принимаемый в качестве исходного значения для определения размеров проектируемых сооружений.

Река – водоток значительных размеров, питающийся атмосферными осадками со своего водосбора и имеющий четко выраженное русло.

Рисберма: гибкая и менее массивная часть крепления нижнего бьефа, располагаемая за водобоем, предназначенная для защиты водобоя от подмыва, а дна от размыва, обеспечения гашения оставшейся части избыточной энергии потока, выравнивания удельных расходов и скоростей по поперечному сечению потока, обеспечения организованного выпуска фильтрационного потока в нижний бьеф.

Русло водотока: наиболее пониженная часть долины, выработанная водотоком, или искусственно созданное ложе, по которому осуществляется сток воды без затопления поймы.

Сбойность потока: движение сбрасываемого потока в нижнем бьефе, возникающее при взаимодействии транзитного потока и водоворотных областей, характеризуемое неустойчивым во времени изменением направления (сбойность) практически не расширяющейся струи. В ряде случаев при этом может происходить увеличение удельных расходов вдоль оси потока.

Сегментный затвор: затвор, подвижная часть которого выполнена в виде сегментообразного пролетного строения, опирающегося через фермы (“ноги”) на опорные шарниры.

Скоростной напор: высота, на которую может подняться жидкость над данной точкой пространства под действием скорости потока в этой точке.

Смоченный периметр: длина линии контакта воды с ограничивающими твёрдыми поверхностями в поперечном сечении русла водотока.

Собственник ГТС – Российская Федерация, субъект РФ, муниципальное образование, физическое лицо или юридическое лицо независимо от его организационно-правовой формы, имеющие права владения, пользования и распоряжения ГТС.

Сопряженные глубины гидравлического прыжка: две глубины потока (сопряжённые), из которых меньшая расположена непосредственно перед гидравлическим прыжком («первая сопряжённая») и большая («вторая сопряжённая»)- непосредственно за ним.

Соразмеривающая решетка: устройство, предназначенное для защиты водоприемных отверстий ГТС от попадания в них несомых водой предметов.

Струя: поток воды, выходящий с большой скоростью из отверстия или насадка или же из другого отверстия аналогичного типа.

Сценарий аварии на ГТС – последовательность событий, состояний, явлений, процессов, действий собственника и эксплуатационного персонала на

ГТС и в окружающей среде, которые определяют причины возникновения и возможную аварию на ГТС (сценарий возникновения аварии), характер развития и последствия аварии (сценарий развития аварии) в пространстве и во времени.

Техническое состояние – совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств объекта, характеризуемая в определенный момент времени признаками, установленными технической документацией на этот объект. Видами технического состояния являются исправность, работоспособность, неработоспособность, предельное состояние и др.

Тюфяк: плоское гибкое покрытие для крепления русла водотока, выполняемое из хвороста, камня, габионов (матрацы Рено, Джамбо), бетона и др. материалов.

Укреплённый берег (русло) водотока: берег (русло) защищенный биологическим или вегетационным покрытием, одеждой из строительных материалов от размыва потоком, разрушения льдом, волновых и других явлений.

Уровень безопасности ГТС – степень соответствия состояний ГТС и окружающей среды установленным критериям безопасности, принятым с соблюдением действующих норм проектирования, а квалификации эксплуатационного персонала и действий собственника (эксплуатирующей организации) – требованиям правил технической эксплуатации и действующего законодательства по техногенной и экологической безопасности.

Ущерб – потери некоторого субъекта или группы субъектов, части или всех своих ценностей.

Форсированный подпорный уровень (ФПУ) – подпорный уровень выше нормального, допускаемый в верхнем бьефе в особых условиях эксплуатации ГТС при сбросе паводков малой обеспеченности.

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии ГТС, которая может повлечь или

повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Шандоры (шандорный затвор): конструкции в виде горизонтальных балок или арок, закладываемых в пазы водопропускных отверстий ГТС. Они используются, как правило, как строительные или ремонтные.

Шероховатость русла: неровность поверхности русла, зависящая от характера грунтов, степени развития русловых образований, характера растительности в русле и на пойме. Численно выражается коэффициентом шероховатости, который устанавливается по специальным таблицам.

Щиты: плоские затворы для перекрытия отверстий ГТС и регулирования расхода воды.

Эксплуатирующая организация – государственное или муниципальное унитарное предприятие, либо организация любой другой организационно-правовой формы, на балансе которой находится ГТС.

ГТС – гидротехническое сооружение.

НПУ – нормальный подпорный уровень.

ФПУ – форсированный подпорный уровень.

ЧС – чрезвычайная ситуация. ЧС классифицируются по характеру источника – природные, техногенные, биологово-социальные и военные.

2. ГИДРОУЗЛЫ С ВОДОСБРОСНЫМИ ПЛОТИНАМИ

2.1. СОСТАВ СООРУЖЕНИЙ ГИДРОУЗЛА С ВОДОСБРОСНОЙ ПЛОТИНОЙ

Важнейшими сооружениями в составе речных водохранилищных гидроузлов являются водосбросные сооружения, назначением которых является сброс избыточных вод из верхнего бьефа во избежание переполнения водохранилища и недопущения возникновения связанных с этим аварийных ситуаций.

В состав речного низко или средненапорного гидроузла с водосливной плотиной чаще всего входят следующие основные сооружения (рис. 2.1, 2.2):

1. Плотина из грунтовых материалов.
2. Водосбросная плотина, выполняющая роль водосброса.
3. ГЭС.
4. Судоходный шлюз.
5. Рыбопропускное сооружение.

Водосбросные сооружения по условиям пропуска потока воды через бетонное тело плотины подразделяют на два вида:

1. Водосливные плотины, в которых пропуск расходов осуществляется через поверхностные водосливные отверстия.
2. Водосбросные плотины, в которых пропуск расходов производится через глубинные (или донные) водопропускные отверстия. Этот тип плотин может также иметь и поверхностные водопропускные отверстия.

Примеры водосливных плотин приведены на рис. 2.3 и 2.4, на которых даны поперечные разрезы (вдоль потока) двух крупнейших в России плотин на р. Волга. В качестве примера водосбросной плотины на рис. 2.5 приведен разрез плотины Угличской ГЭС.

В настоящем пособии рассматриваются водосливные плотины на нескальном основании.

Расчётная вероятность максимального расхода паводка Q_{max} назначается для двух расчётных случаев (основного и поверочного) в зависимости от класса сооружения [6].

Таблица 2.1

Ежегодная вероятность превышения расчётных максимальных расходов водосбросных сооружений, %

Расчётные случаи	Классы сооружений			
	I	II	III	IV
Основной	0,1	1,0	3,0	5,0
Поверочный	0,01	0,1	0,5	1,0

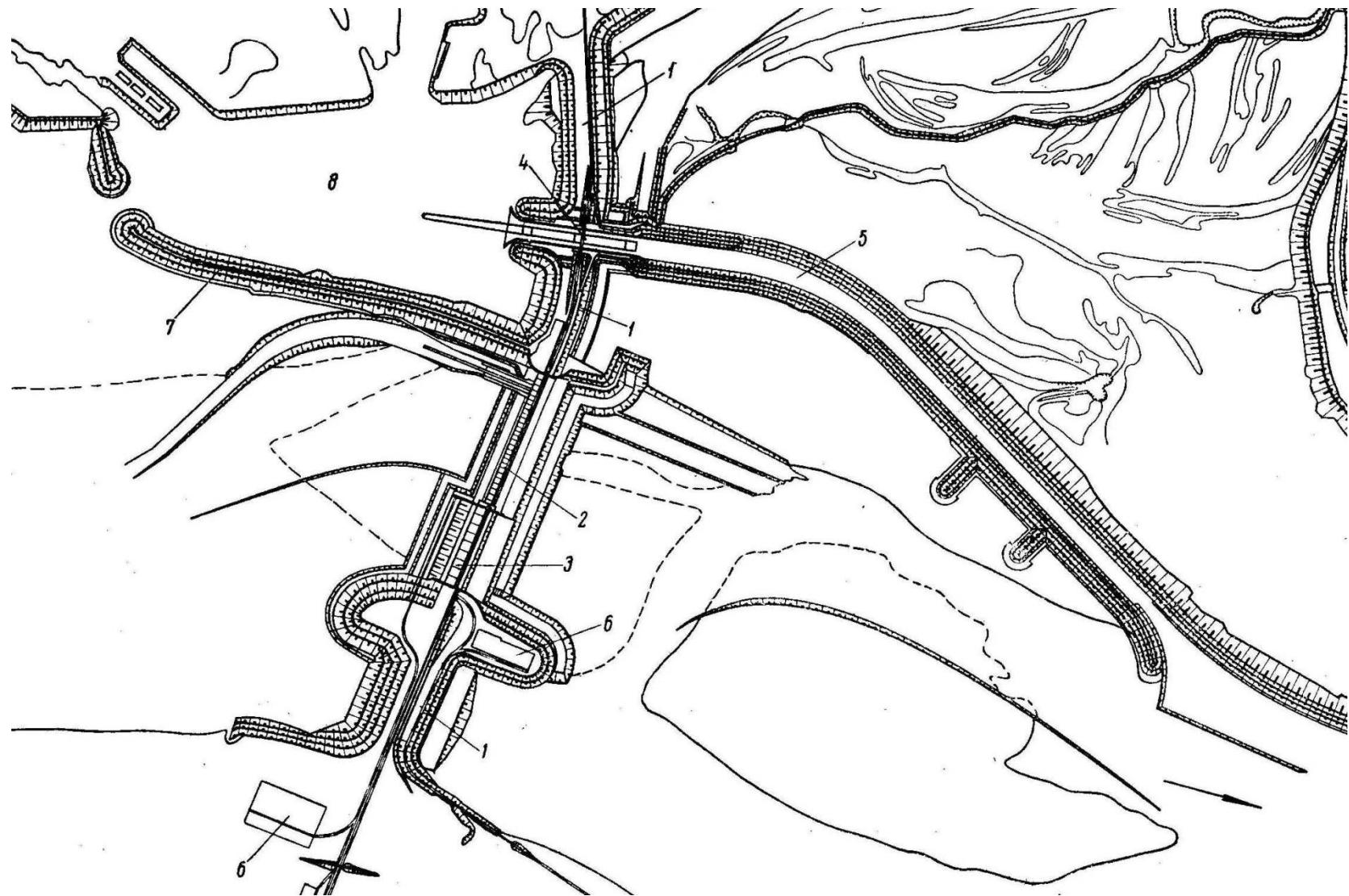


Рис. 2.1. Генплан Волжского гидроузла: 1 – земляная плотина; 2 – водосливная плотина; 3 – здание ГЭС; 4 – судоходный шлюз; 5 – судоходный канал; 6 – подстанция; 7 – ограждающая дамба; 8 – аванпорт



Рис. 2.2. **Общий вид Краснодарского гидроузла:** 1 – земляная плотина; 2 – водоотводная плотина (два крайних водопропускных пролета; центральный пролет – рыбоподъемник); 3 – аванпорт; 4 – судоходный шлюз; 5 – низовой подходной канал судоходного шлюза; 6 – отводящее русло водоотводной плотины

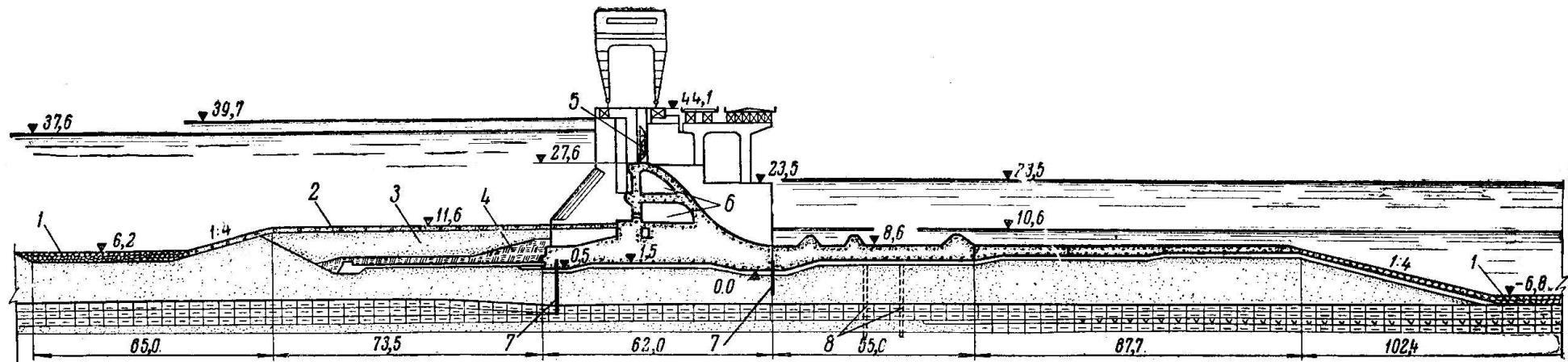


Рис. 2.3. Водосливная плотина Волжского гидроузла: 1 – каменная наброска; 2 – бетонные плиты; 3 – песок; 4 – уплотненная глина; 5 – основной затвор; 6 – полости; 7 – металлический шпунт; 8 – разгрузочные скважины

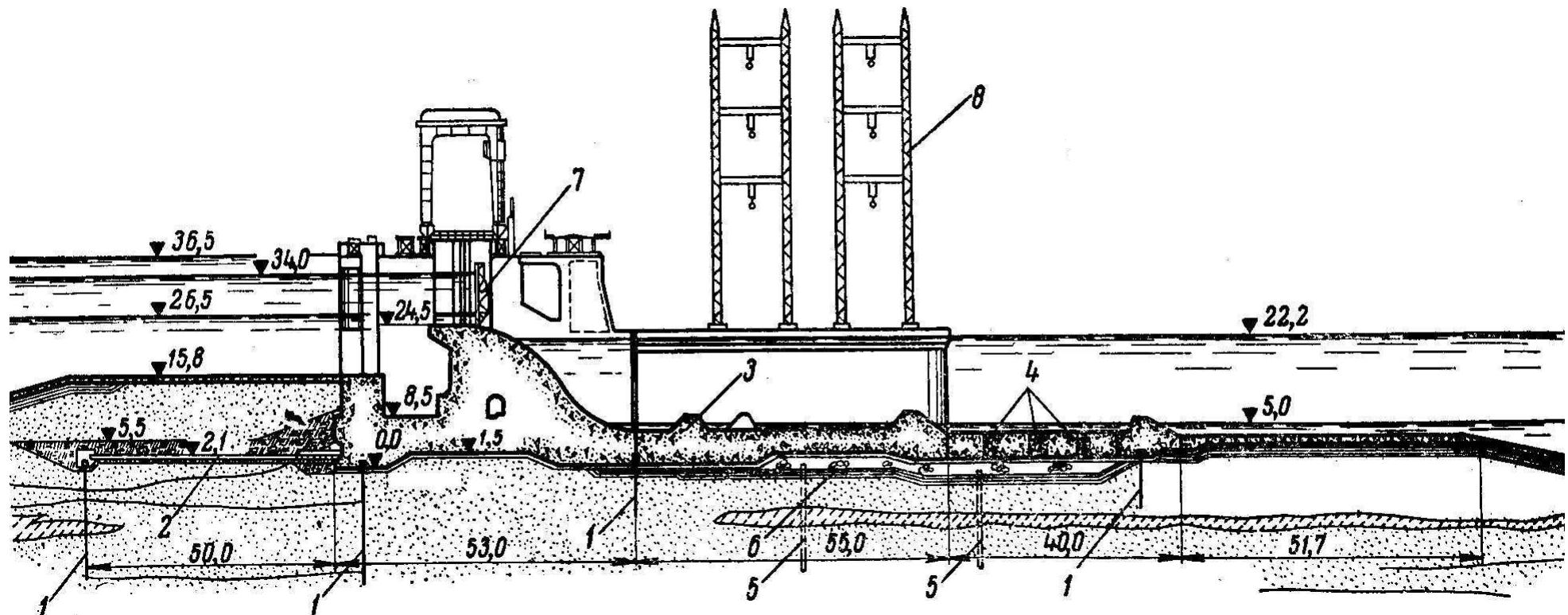


Рис. 2.4. Водосливная плотина Жигулевской ГЭС (ранее Волжская ГЭС им. В.И. Ленина): 1 – металлический шпунт; 2 – анкерный понур; 3 – гасители; 4 – дренажные колодцы; 5 – глубинный дренаж; 6 – обратный фильтр; 7 – основной затвор; 8 – опоры ЛЭП

Основными элементами, входящими в состав флютбета водосливной плотины (рис. 2.6), являются следующие (элементы приводятся сверху вниз по течению):

1. Понур, предназначенный для снижения фильтрационного давления на тело бетонной плотины и уменьшения градиентов фильтрационного потока в основании плотины.
2. Тело плотины совместно с верхним пролетным строением и затворами, предназначенное для создания необходимого подпора в верхнем бьефе и обеспечивающего устойчивость всего сооружения в целом.
3. Водобой, назначением которого является гашение избыточной энергии поверхностного потока, обеспечение требуемого вида гидравлического прыжка и восприятие гидродинамических нагрузок потока.
4. Рисберма, предназначенная для выравнивания скоростей и удельных расходов по поперечному сечению сходящего с водобоя поверхностного потока и частичному гашению избыточной кинетической энергии.
5. Концевое устройство, например, в виде ковша, предназначенное для исключения подмыва основных элементов крепления нижнего бьефа водосливных плотин.

В подземном контуре водосливной плотины (подземный контур – линия контакта флютбета плотины с основанием) в дополнение к вышеуказанным составляющим флютбета могут присутствовать вертикальные противофильтрационные элементы в виде зубьев или шпунтов и дренажные устройства, предназначенные, в основном, для снижения фильтрационных давлений на элементы сооружения.

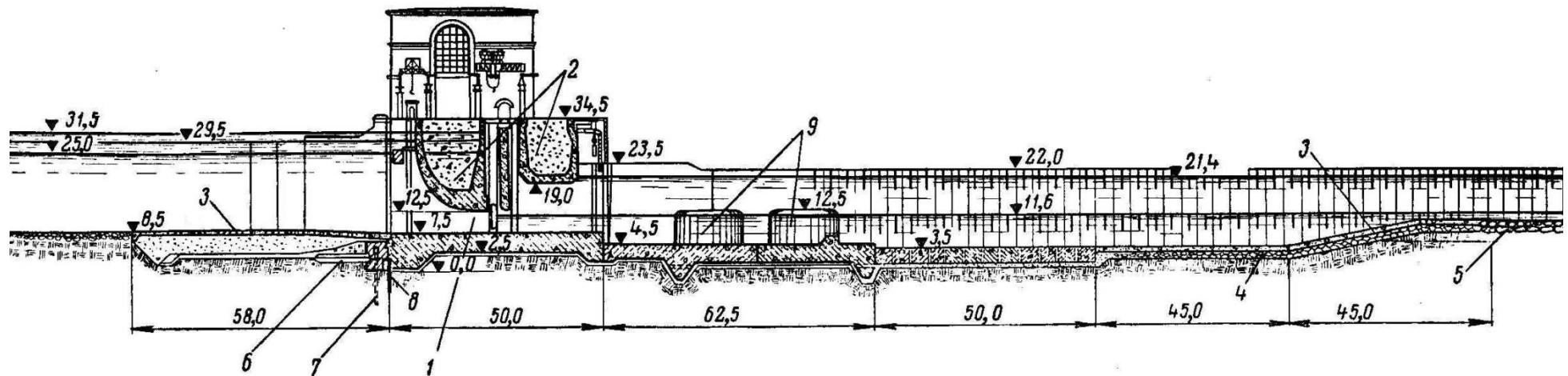


Рис. 2.5. Водосбросная плотина Рыбинского гидроузла: 1 – донные отверстия; 2 – полости, заполненные песком; 3 – бетонные плиты; 4 – обратный фильтр; 5 – фашиинный тюфяк с пригрузкой камнем; 6 – асфальтобетонный компенсатор; 7 – дренажные скважины; 8 – металлический шпунт; 9 – гасители

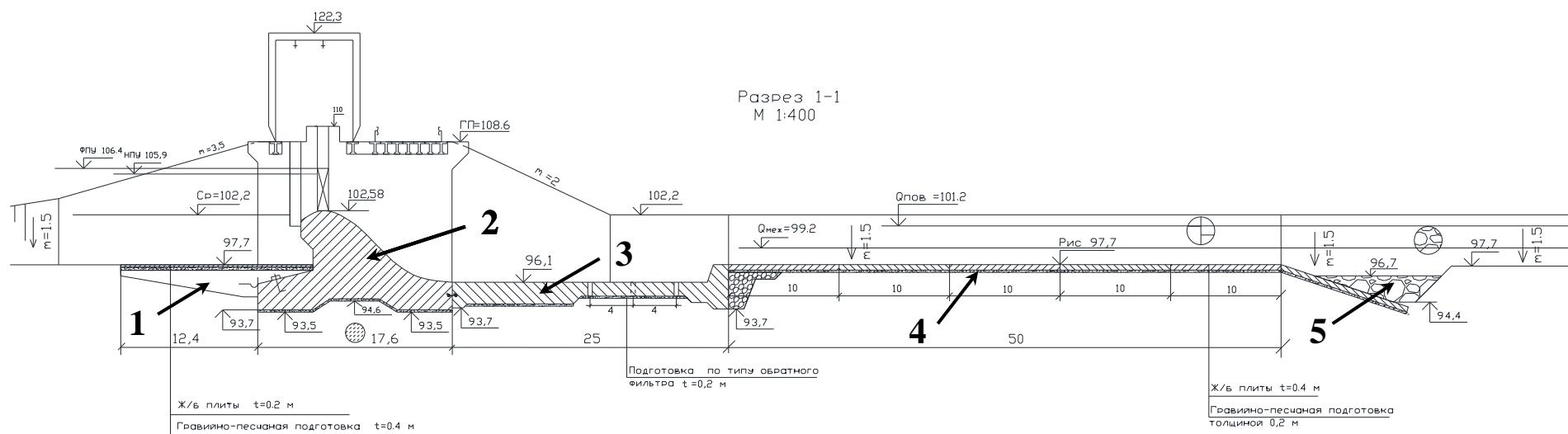


Рис. 2.6. Поперечный разрез водосливной плотины:
 1 – понур; 2 – тело плотины; 3 – водобой; 4 – рисбэрма; 5 – ковш

2.2. КОНСТРУКЦИИ ВОДОСБРОСНЫХ ПЛОТИН НА НЕСКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ

2.2.1. Водосливные пороги плотин

Основным типом водосбросной плотины на несkalьном основании является водосливная плотина с фундаментной плотиной, несущей на себе бычки и водосливные пролеты.

Водосливы водосбросных плотин бывают с высоким, средним и низким порогом (рис. 2.7).

Плотины с высоким порогом проектируются по типу водосливов практического профиля криволинейного очертания с безвакуумным рис. 2.7 а, б и реже с вакуумным оголовком. Построение профилей таких плотин осуществляется в соответствии с указаниями, приведенными в курсах гидравлики [11, 12].

Для размещения затворов на пороге водосливных плотин часто устраивают горизонтальную площадку (рис. 2.7 б). В этом случае коэффициент расхода водослива может рассчитываться при $0,3 < \delta/H < 2$ и $P/H > 0,5$ по формуле:

$$m = 0,36 + 0,1 \frac{2,5 - \frac{\delta}{H}}{1 + 2 \frac{\delta}{H}}. \quad (2.1)$$

Плотины со средним порогом проектируются с водосливом практического полигонального профиля (рис. 2.7 г, д). Коэффициенты расхода таких водосливов могут быть приняты по таблице 2.2.

При скруглении углов профиля коэффициенты расхода, приведенные в таблице 2.2, увеличиваются для профиля а на 3 %, для профиля б на 5 %. Если обе грани профиля наклонены, то коэффициент расхода принимают на 6% больше табличных значений.

Таблица 2.2

Коэффициент расхода водосливов полигонального профиля

Тип профиля		а				б			
Высота профиля		H/d				H/d			
		0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
Средней высоты	1	0,33	0,37	0,42	0,46	0,36	0,39	0,43	0,46
	2	0,33	0,36	0,40	0,42	0,37	0,40	0,44	0,47
Низкий	3	0,34	0,36	0,40	0,42	0,37	0,40	0,44	0,47
	4	0,34	0,35	0,37	0,38	0,37	0,40	0,44	0,46

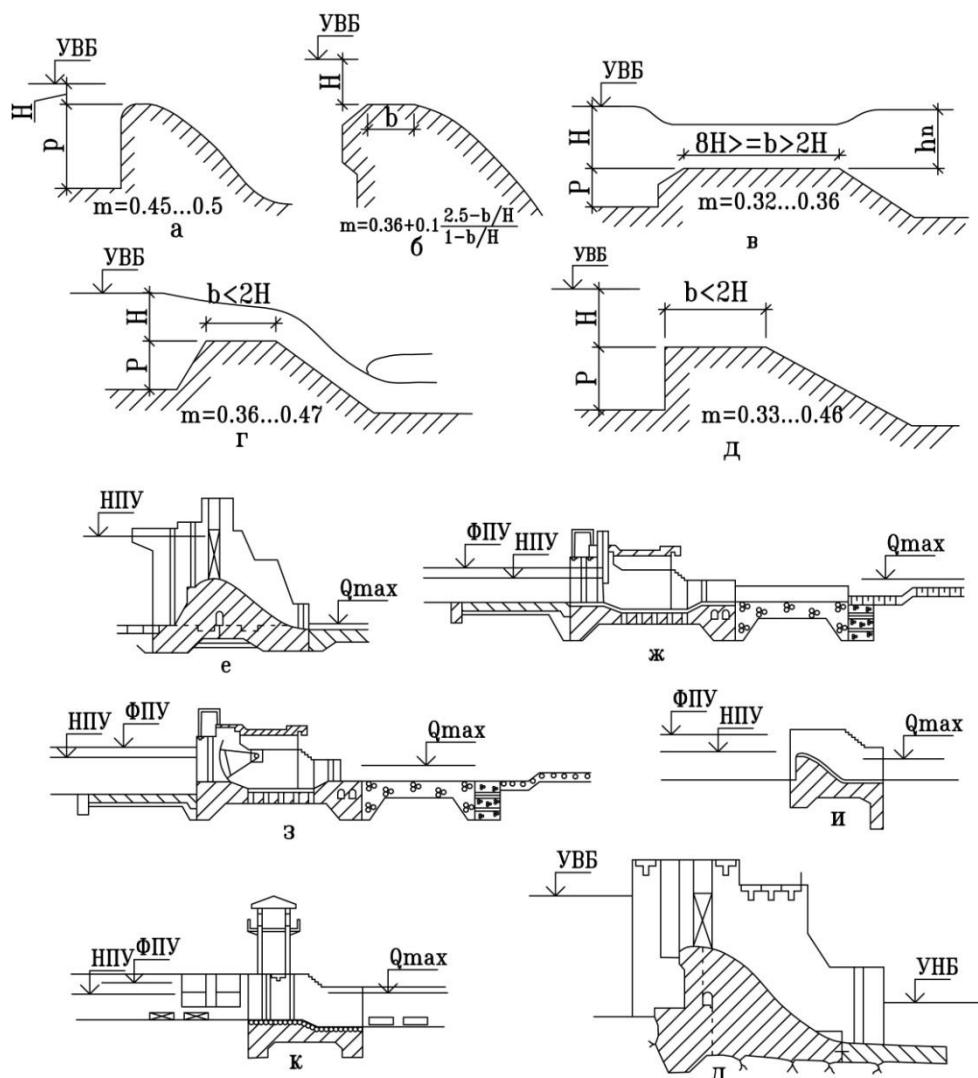


Рис. 2.7. Водосливные пороги плотин: а...д – схемы водосливов водосливных плотин; а – криволинейного очертания; б – тоже с горизонтальной площадкой на гребне; в – с широким порогом; г и д – полигонального очертания; е...з – схемы водосливов построенных сооружений: е...з – на нескальном основании; и...л – на скальном основании.

Коэффициент расхода водосливов с широким порогом можно установить по следующей таблице 2.3.

Таблица 2.3

Коэффициент расхода водосливов с широким порогом

№ п.п.	Тип входной грани порога	Параметры	m
1			0,32
2		Ctg Θ	0,5 1,0 1,5
		r/H	0,025 0,05 0,1
		f/H	0,025 0,0345 0,10
3			0,34 0,346 0,351
4			0,337 0,345 0,352

В соответствии со СП [8] ширина водопропускных отверстий, перекрываемых затворами, может быть принята следующей: 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,50; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5; 5,5; 6,0; 7; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 24; 30, а высота затворов: 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 7; 8; 9; 10; 12; 14; 16; 20.

Ширина водопропускных отверстий, предназначенных для пропуска льда должна быть не менее 10...12 м.

Расстояние между сквозными деформационными швами, т.е. размеры секций плотины, зависят от размеров пролетов, типа разрезки (рис. 2.9), деформативности и степени однородности грунтов основания и принимается до 20...40 и более метров.

Вдоль потока ширина водосливной плотины по ее подошве (ширина фундаментной плиты) должна обеспечивать:

1. Необходимую устойчивость плотины на сдвиг и распределение напряжений в основании, не вызывающего недопустимых кренов сооружения из-за неравномерных деформаций основания.

2. Рациональное размещение всех элементов плотины: рабочих, ремонтных и строительных затворов, подкрановых путей, служебных мостов, автодорожного моста (а при необходимости и железнодорожного).

Из условия обеспечения устойчивости плотины на сдвиг ее ширина по подошве в первом приближении может быть определена по зависимости:

$$B_{osn} = kH_{max}, \quad (2.2)$$

где H_{max} – максимальный напор на плотине (разность между уровнями воды в верхнем и нижнем бьефах); принимается наибольшая величина из двух напоров:

$$\begin{aligned} H_1 &= \nabla \text{НПУ} - \nabla Q_{\text{МЕЖ}} \\ H_2 &= \nabla \Phi \text{ПУ} - \nabla Q_{\text{ПОВ}} \end{aligned} \quad (2.3)$$

k – коэффициент, зависящий от типа грунтов в основании плотины: для глин $k = 2,5...3$; для суглинков $k = 2,5...2,75$; для супесей $k = 2,0...2,5$; для песков $k = 2,0...2,25$; для галечников и гравелистых грунтов $k = 1,75...2$.

Полученная таким образом ширина B_{osn} для низконапорных гидроузлов часто получается меньше, чем это требуется из условия обеспечения эксплуатации плотины, поэтому ширина плотины по основанию должна быть откорректирована с учетом размещения затворов и мостов в соответствии с п. 2.2 и рис. 2.12.

С точки зрения неравномерности нагрузок, передаваемых телом плотины на основание, ширина по подошве фундаментной плиты и тела водослива, размещение гидромеханического оборудования и мостов принимаются таким образом, чтобы коэффициент неравномерности нагрузок на основание ($k_{h.p.}$), представляющий собой отношение максимального сжимающего напряжения к минимальному, т.е.

$$k_{h.p.} = \frac{|\sigma_{\max}|}{|\sigma_{\min}|}, \quad (2.4)$$

был: для глинистых оснований $k_{h.p.} \leq 1,5...2$,
для песчаных оснований $k_{h.p.} \leq 2...3$.

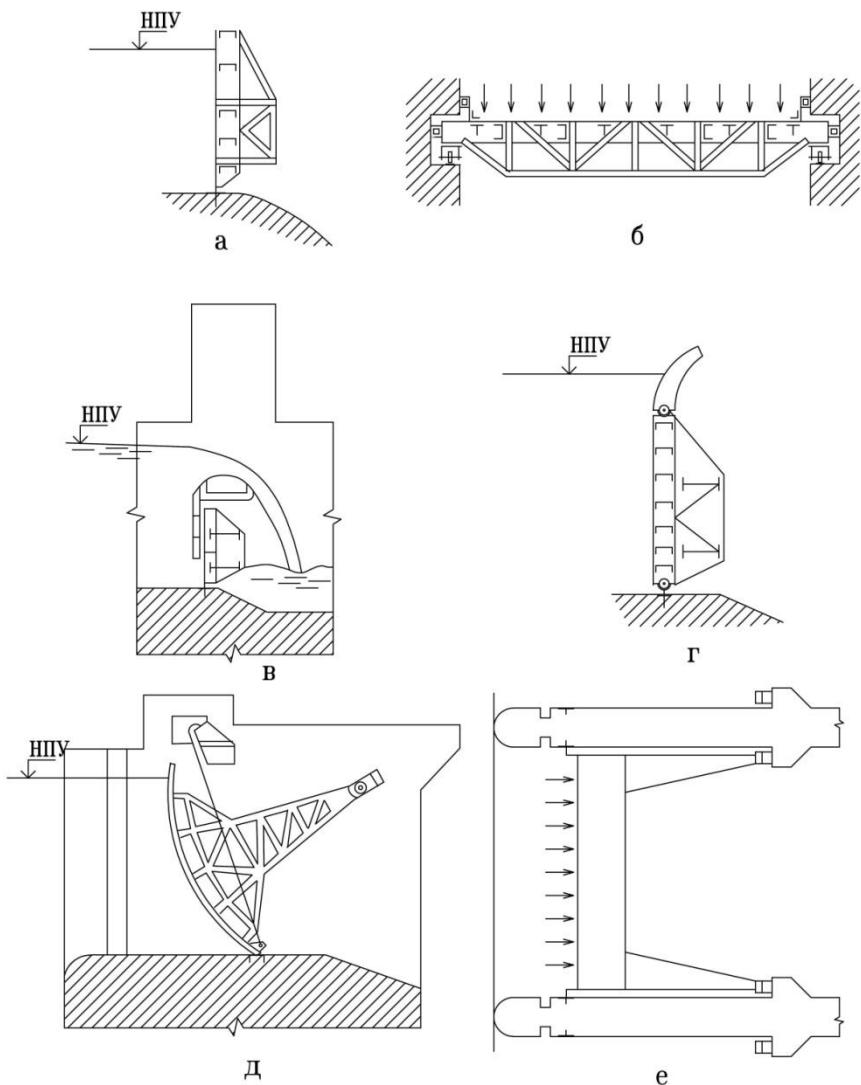


Рис. 2.8. Схемы наиболее часто применяемых затворов: а, б – поперечный разрез и план плоского затвора; в – сдвоенный плоский затвор с криволинейной водосливной поверхностью верхнего полотнища; г – плоский затвор с клапаном; д, е – поперечный разрез и план сегментного затвора

Торец фундаментной плиты со стороны верхнего бьефа рекомендуется выполнять ступенчатым или наклонным для обеспечения лучшего сопряжения с пластичным понуром. Вместе с тем достаточно часто торец выполняют вертикальным (рис. 2.7 ж, з). Для обеспечения водонепроницаемости на контакте бетон – понур устраивают противофильтрационный фартук. Глубина заложения верхового зуба фундаментной плиты от поверхности подводящего русла принимается от 0,3 до 0,6 максимального напора; ширина верхового зуба по подошве принимается $0,4 H_{max}$, а заглубление от подошвы фундаментной плиты $0,2 H_{max}$, но не менее 1 м. Размеры концевого зуба определяются

сопряжением фундаментной плиты с водобоем. Обычно отметки подошвы верхового и низового зубьев принимаются одинаковыми или подошва низового зуба ниже, чем верхового. Иногда, например, когда верховой зуб прорезает водопроницаемый слой грунтов основания, глубина его заложения больше, чем низового. Минимальная толщина фундаментной плиты принимается 1,5...2 м.

С другой стороны толщина фундаментной плиты принимается равной 0,25... 0,33 от высоты водосливного порога, отсчитываемой от подошвы фундаментной плиты.

2.2.2. Основные схемы затворов водопропускных отверстий гидроузлов и условия их применения

В низконапорных гидроузлах в большинстве случаев применяются плоские и сегментные затворы (рис. 2.7 е, ж, з, к, л).

Плоские затворы применяются как основные (рабочие), ремонтные, аварийные (аварийно-ремонтные) и строительные. Сегментные затворы применяются только как основные. В зависимости от ширины перекрываемого пролета (п. 2.1) и глубины на пороге применяются плоские затворы с опорами скольжения и качения.

Для перекрытия пролетов водосбросной плотины чаще применяются плоские одиночные затворы (рис. 2.8 а, б; рис. 2.7 е, л).

Для обеспечения сброса в нижний бьеф плавающих тел, шуги и льда часть пролетов в водосбросной плотине могут оснащаться плоскими затворами с клапанами (рис. 2.8 г). Напорная поверхность клапана, а также верхняя часть верхнего полотнища сдвоенного затвора (рис. 2.8 в) выполняются криволинейного очертания. Эти затворы позволяют удалять из верхнего бьефа плавающие тела, лед и шугу при минимальных потерях воды.

В качестве ремонтных затворов применяются в основном шандорные затворы. Шандоры – доски, брусья, балки, укладываемые в пазах, бывают деревянными (при пролетах до 4...5 м), металлические (при пролетах до 20 м и высотах до 12 м), из прокатных двутавровых балок, сварных балок, металлических ферм или железобетонных профилей. Пазы для ремонтных

затворов размещают как со стороны верхнего бьефа от основных затворов, так и со стороны нижнего бьефа (рис. 2.7 е, ж, з, к, л).

Строительные затворы применяются при необходимости возведения водосливной части плотины очередями. Пазы для строительных затворов размещаются выше по течению по отношению к пазам ремонтных затворов (рис. 2.11 б; 2.7 е) или совмещаются с пазами ремонтных затворов (рис. 2.7 л), в том числе и со стороны нижнего бьефа.

Сегментные затворы (рис. 2.8 д, е) применяют только в качестве основных. Они бывают одиночными и значительно реже сдвоенными. Радиус обшивки сегментных затворов принимается в пределах (1,5...2,0) Н.

Размеры затворов устанавливаются в зависимости от перекрываемых пролетов. Верх затворов должен превышать нормальный подпорный уровень не менее, чем на 0,3...0,5 м.

Для маневрирования затворами применяются стационарные и передвижные подъемники. Стационарные подъемные механизмы применяются при малом количестве пролетов плотины. При этом синхронность подъема затвора за две точки подвеса обеспечивается синхронизирующим валом. При значительном количестве пролетов (больше 3...4) применяются передвижные подъемники, среди которых для водосливных плотин наибольшее распространение получили козловые краны.

2.2.3. Быки и устои плотин. Разрезка плотин температурно-осадочными швами

Для исключения произвольного трещинообразования в бетоне из-за неравномерной осадки плотины, происходящей вследствие неоднородности грунтов и неравномерности напряжений в основании, а также из-за температурных деформаций, устраивают постоянные сквозные и несквозные швы. Сквозные температурно-осадочные швы обеспечивают независимые перемещения отдельных секций плотины. Несквозные температурные швы (швы-надрезы) снижают температурные напряжения в бетоне в пределах секции плотины.

Схемы разрезки водоотводных плотин приведены на рис. 2.9. В случае скального основания деформационные швы устраивают вне быков с целью уменьшения площади шва и соответственно для снижения затрат на уплотнения (рис. 2.9 а, б, в). В плотинах на нескальных основаниях во избежание заклинивания затворов при неравномерных деформациях элементов плотины сквозные деформационные швы устраивают в быках плотины, причем в зависимости от размеров пролетов и расстояния между швами швы выполняют в каждом быке (рис. 2.9 г), через бык (рис. 2.9 д, е; рис. 2.11 а) или через два быка (рис. 2.9 ж). В соответствии с этим различают три системы разрезки плотины на секции: однопролетная, двух- и трехпролетная.

Расстояние между сквозными швами принимается до 20 - 40 м, а иногда и больше. В этом случае для избежания значительных температурных напряжений в теле плотины устраивают швы-надрезы, располагая их обычно у бычков (рис. 2.9 д, е, ж) и доводя их до фундаментной плиты.

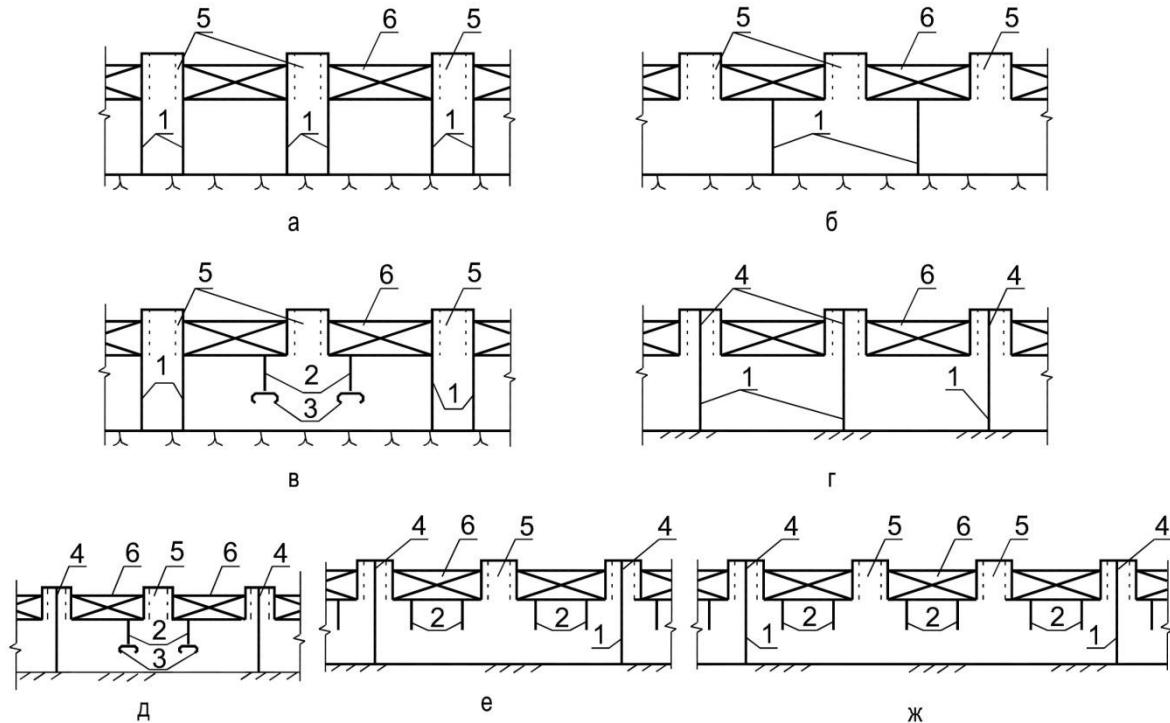


Рис. 2.9. Схемы разрезки водоотводных плотин деформационными швами:
а...в – на скальном основании; г...ж – на нескальном основании; 1 – сквозные деформационные швы; 2 – несквозные температурные швы-надрезы; 3 – арматура; 4 – разрезные быки; 5 – неразрезные быки; 6 – затворы

Для обеспечения водонепроницаемости деформационных швов в них устраиваются уплотнения, размещение и некоторые конструкции которых приведены на рис. 2.10.

Длина быков назначается из условия размещения ремонтных и рабочих затворов с обеспечением необходимого расстояния между ними, служебных мостов, подъемных механизмов затворов и транспортного моста. Рабочие затворы на криволинейных водосливах размещаются чаще всего таким образом, чтобы линия опирания затворов проходила по наивысшим отметкам водосливной поверхности (рис. 2.7 е, л; 2.10 а). Рабочие затворы на водосливах полигонального очертания размещаются на расстоянии не менее 1 м от начала низовой сливной грани (рис. 2.12 а). Расстояние между основным и ремонтным затвором из условия производства работ в межзатворном пространстве l_1 (рис. 2.12 а) не должно быть менее 1,5...2 м. При необходимости возведения тела водослива методом гребенки пазы строительного затвора размещаются на расстоянии $l_2 = 1,5 \dots 2$ м от пазов ремонтного затвора (рис. 2.12 а).

Для увеличения длины опорной поверхности быки могут снабжаться консолями со стороны верхнего (рис. 2.1 е; 2.4 а) и нижнего (рис. 2.12 а) бьефов. При размещении мостов на быках следует предусматривать укладку балок на некотором расстоянии от края быков (обычно не менее половины толщины быка).

По своей длине быки могут иметь постоянную или переменную высоту (рис. 2.7 е, ж; 2.12 а). Наибольшую высоту быков предусматривают в месте размещения основных затворов, причем при стационарных подъемных механизмах высота быков (h_δ) определяется по зависимости:

$$h_\delta = H + h_3 + (1 \dots 2) \text{ м}, \quad (2.5)$$

а при передвижном кране

$$h_\delta = H + 0,6 h_3 \quad (2.6)$$

где H – глубина воды на пороге; h_3 – высота затвора.

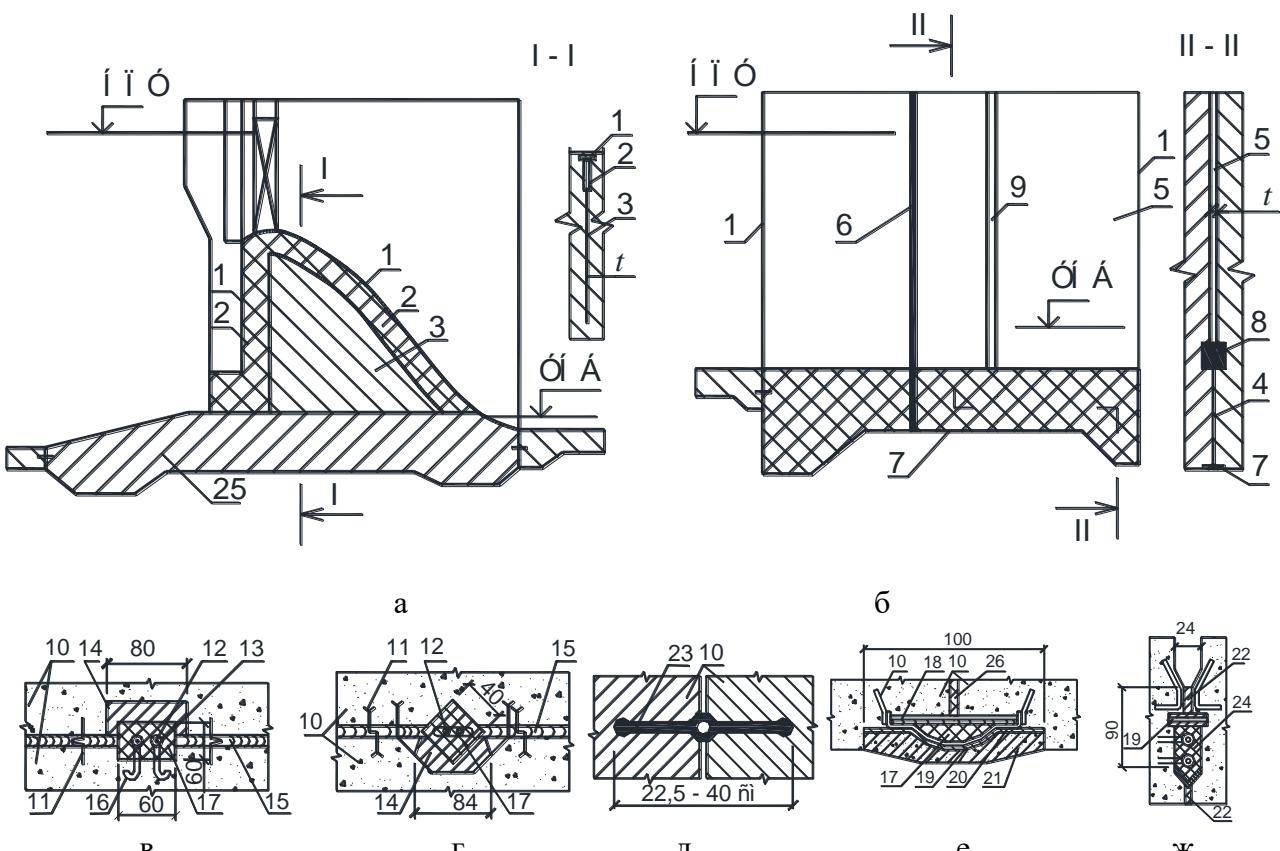


Рис. 2.10. Конструкции уплотнений и их размещение в постоянных деформационных швах плотин на нескальном основании: а – разрез по температурному шву-надрезу; б – разрез по сквозному деформационному шву; в...е – главные вертикальные уплотнения; ж – главное горизонтальное донное уплотнение; з – горизонтальное уплотнение; 1 – контурное уплотнение; 2 – шов, $t = 0,5 \dots 1,0$ см; 5 – шов, $t = 5$ см; 6 – главное вертикальное уплотнение; 7 – горизонтальное донное уплотнение; 8 – горизонтальное уплотнение; 9 – смотровой колодец; 10 – смежные секции плотины; 11 – ограждающая диафрагма с компенсатором; 12 – стержни электропрогрева; 13 – изолятор; 14 – железобетонный блок; 15 – просмоленный войлок; 16 – держатель; 17 – деревянный брус; 18 – железобетонные плиты; 19 – просмоленная пакля; 20 – асфальтовая мастика; 21 – арматура; 22 – доски; 23 – стальной лист; 24 – битумные маты; 25 – железобетонный блок; 26 – холодная асфальтовая штукатурка; 27 – резиновая профильная лента; 28 – шлаковата; 29 – бетон фундаментной плиты.

Толщина быков зависит от типа применяемых затворов и ширины пролетов. При плоских рабочих затворах толщина быков определяется параметрами пазов затворов, которые предварительно можно принять следующими (рис. 2.12 б, в): $m = (1/7 \dots 1/10) b_{np}$; $n = 0,5m$.

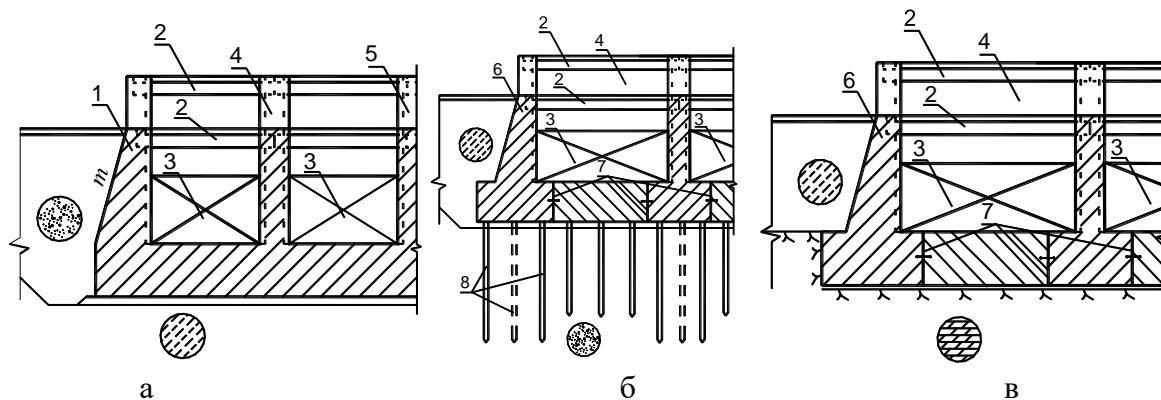


Рис. 2.11. Конструкции береговых устоев водосливных плотин:

а – с неотрезным устоем; б – с отрезным устоем на нескальном основании с низкой несущей способностью; в – с отрезным устоем на скальном основании;
1 – неотрезной устой; 2 – железобетонные балки; 3 – затворы; 4 – неразрезной бык; 5 – разрезной бык; 6 – отрезной устой; 7 – деформационные сквозные швы; 8 – сваи

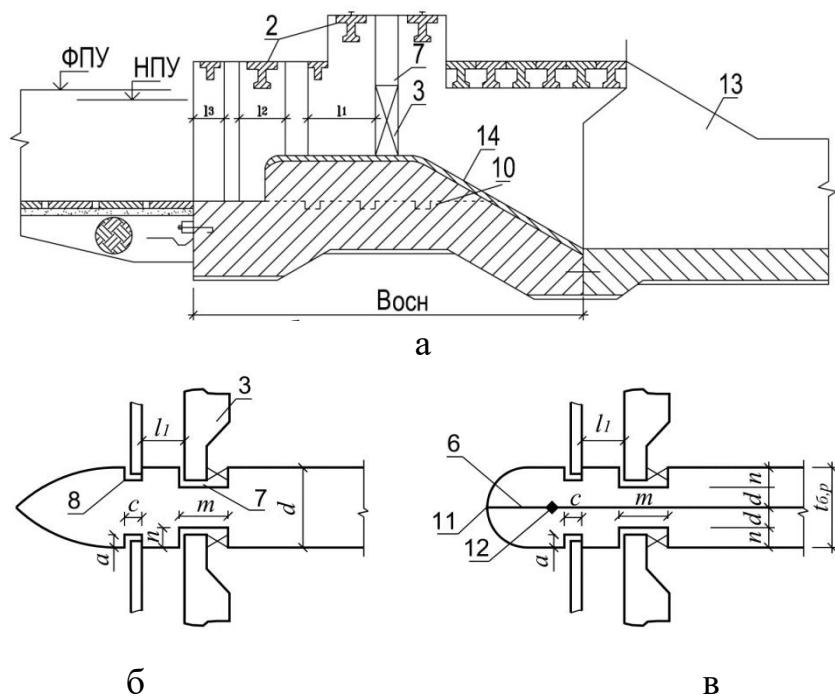


Рис. 2.12. Конструкции быков и устоев: а – разрез по водосливной плотине;

б – вид в плане неразрезного быка; в – вид в плане разрезного быка;

1 – береговой устой тела плотины; 2 – железобетонная балка; 3 – затворы водосбросной плотины; 4 – неразрезной бык; 6 – деформационные швы между секциями водосбросной плотины; 7 – паз основного (рабочего) затвора; 8 – паз ремонтного затвора; 9 – паз строительного затвора; 10 – строительный штрабной шов тела плотины; 11 – контурное уплотнение; 12 – главное вертикальное уплотнение; 13 – сопрягающий устой в нижнем бьефе; 14 – облицовка.

Толщина быков в их самом узком месте $d_o \geq 1\dots1,5$ м. Таким образом, толщина d неразрезного быка (рис. 2.12 б) составляет $2n+d_o$, а толщина разрезного быка (рис. 2.12 в) $d' = 2(n + d_o)$. Размеры пазов ремонтных затворов зависят от их типа, ширины пролета, условий эксплуатации и могут быть приняты для водосливных плотин $a \approx 8 > 0,5$ м.

С другой стороны толщина быков зависит от их высоты: для неразрезного быка $d \geq h_\delta/3$, для разрезного – $d' \geq 0,4 h_\delta$

Сопряжение бетонной плотины с грунтовыми сооружениями осуществляется с помощью сопрягающих устоев. В плотинах на нескальных основаниях устой в пределах тела бетонной плотины выполняется чаще всего неотрезным, т.е. представляет собой единое целое с телом водослива (рис. 2.12 а). Ширина устоя по верху принимается равной не менее половины толщины разрезного быка. Поверхность, находящаяся в контакте с грунтом обратной засыпки выполняется наклонной с заложением откоса $m = 0,1\dots 0,15$. Толщина устоя определяется из условия прочности и зависит от его высоты и степени армирования.

Устой тела плотины отделяется от сопрягающих устоев в верхнем и нижнем бьефах деформационными швами, снабженными уплотнениями. Устои, сопрягающие бетонную плотину с верхним и нижним бьефами, выполняются в виде подпорных стенок, различной конструкции. Некоторые конструкции сопрягающих устоев приведены на рис. 2.13. Поперечные сечения трех типов устоев: железобетонные устои уголкового типа (рис. 2.13 а, в) и бетонный устой гравитационного типа являются устоями, сопрягающими плотину с нижним бьефом. Те же типы устоев, но без дренажных устройств, могут использоваться для сопряжения плотины с верхним бьефом.

Предварительные размеры устоя уголкового типа и гравитационного устоя могут быть приняты в соответствии с зависимостями: $d_1 = (0,1\dots 0,12)h_{cm}$, но не менее $0,4\dots 0,5$ м; $d_2 = (0,2\dots 0,25) h_{cm}$; $d_3 = (0,2\dots 0,25) h_{cm}$; $d_4 = (0,1\dots 0,12) h_{cm}$; $d_5 \geq 0,33 h_{cm}$; $l_1 = 1\dots 2$ м; $b_y = (0,7\dots 1) h_{cm}$; $l_3 = (0,47\dots 0,66) h_{cm}$; $l_4 = 0,5\dots 2$ м.

Запас верха устоя над максимальным уровнем воды принимается с учетом волнообразования, но не менее 0,5 м.

Отметка заложения подошвы устоев в верхнем бьефе обуславливается конструкцией понура, а в нижнем бьефе – конструкцией водобоя.

В дальнейшем необходимо проверить устойчивость устоя и распределение напряжений в его основании.

Температурно-осадочные швы в устоях устраивают по длине через 15...40 м и снабжают уплотнениями.

Бетонные гравитационные устои обычно возводятся высотой, не превышающей 10 м.

В устое, примыкающем к грунтовой плотине или к берегу, устраивается противофильтрационная диафрагма, размеры которой должны обеспечивать фильтрационную прочность грунта тела плотины или грунта обратной засыпки в береговом примыкании. Устои, сопрягающие бетонную плотину с верхним бьефом, должны обеспечить плавный подвод к водосливу и защитить берег, грунтовую плотину от подмыва поверхностным потоком (рис. 2. 14). Они часто выполняются в виде ныряющих обратных стенок прямолинейного или криволинейного очертания.

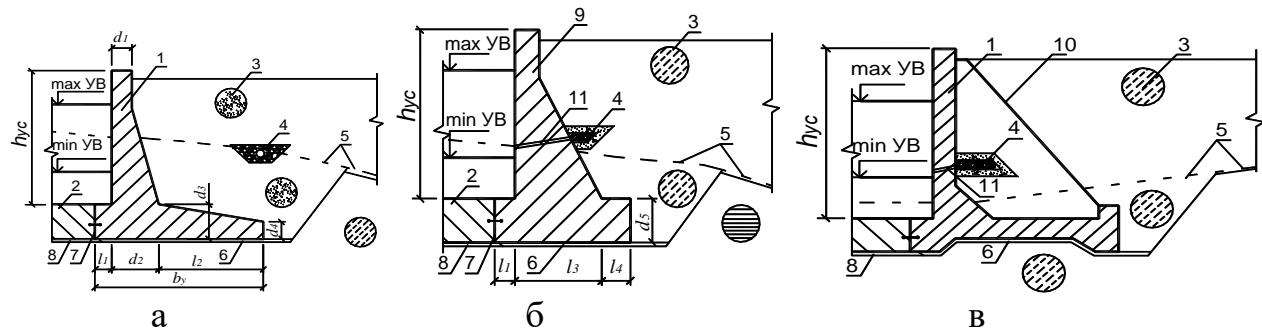
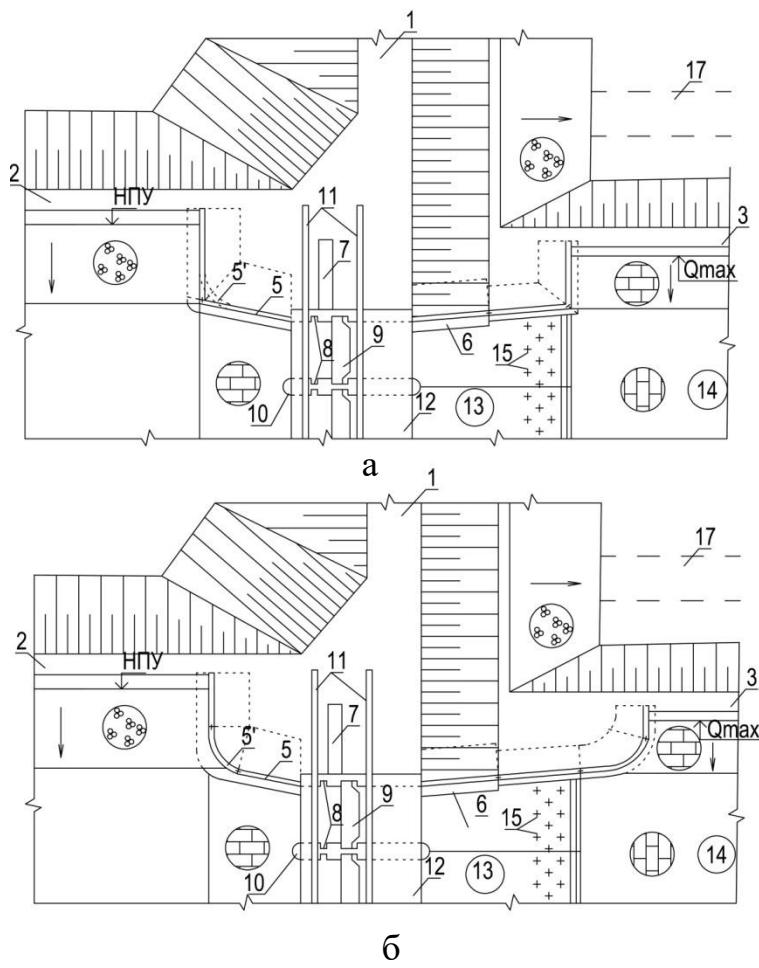


Рис. 2.13. Поперечные сечения сопрягающих устоев бетонных плотин: а, б – поперечные сечения железобетонных сопрягающих устоев; в – поперечное сечение бетонного устоя; 1 – железобетонный устой уголкового типа; 2 – плита водобоя; 3 – обратная засыпка; 4 – дренаж; 5 – естественная поверхность грунта; 6 – подготовка; 7 – деформационный шов с уплотнением; 8 – обратный фильтр водобоя; 9 – бетонный гравитационный устой; 10 – контрфорсы.



б

Рис. 2.14. Некоторые типы сопряжения бетонной плотины с грунтовой при наличии в верхнем бьефе струенаправляющих дамб:

- 1 – грунтовая плотина; 2 – струенаправляющая дамба верхнего бьефа;
- 3 – струенаправляющая дамба нижнего бьефа; 4 – устой бетонной плотины;
- 5 – сопрягающий устой верхнего бьефа; 5' – тоже (вариант); 6 – сопрягающий устой нижнего бьефа; 7 – шандорохранилище; 8 – пазы ремонтных затворов;
- 9 – рабочий затвор; 10 – бык; 11 – подкрановые пути; 12 – мост; 13 – водобой;
- 14 – рисберма; 15 – дренажные отверстия водобоя; 16 – сопрягающий устой нижнего бьефа; 17 – старое русло

Устои, сопрягающие бетонную плотину с нижним бьефом, выполняются в пределах водобойного колодца (рис. 2.14 а), а иногда и на части рисбермы (рис. 2.14 б). По конструкции чаще всего представляют собой обратные стенки прямолинейного или криволинейного очертания. В пределах контакта с грунтом откоса грунтовой плотины устой нижнего бьефа имеет переменную высоту с заложением поверхности равным заложению низового откоса плотины.

Сопрягающие устои нижнего и верхнего бьефов выполняются с распуском в плане: верхнем бьефе до $10\ldots20^\circ$, в нижнем бьефе при отсутствии гасителей-растекателей – до $10\ldots12^\circ$.

2.2.4. Конструкции водобоя, рисбермы и концевого устройства крепления нижнего бьефа

Крепление нижнего бьефа водосбросных плотин включает в общем случае водобой, рисберму и концевое устройство.

Водобой выполняется в виде массивной бетонной или железобетонной плиты. Водобойная часть сооружения может быть в виде гладкого водобоя (рис. 2.15 а), что является характерным для низконапорных гидроузлов, водобойного колодца (рис. 2.15 б), водобойного колодца с водобойной стенкой (рис. 2.15 в), водобойной плиты с размещенными на ней гасителями энергии потока. Возможны различные совмещения вышеуказанных типов водобоев, например, в водобойном колодце могут быть установлены гасители. Кроме того, водобой может быть горизонтальным и наклонным. Достоинством водобойных устройств по рис. 2.15 а, г является меньшая высота бетонной плотины и меньший объем выемок.

Отметка дна водобоя, необходимость водобойного колодца, водобойной стенки или гасителей определяются, исходя из условия обеспечения сопряжения с надвинутым прыжком при всех возможных режимах работы водосливной плотины, в частности, при пропуске основного и поверочного расходов и при различном маневрировании затворами.

Длина водобоя ($l_{\text{вод}}$) устанавливается по зависимостям:

$$\text{при гладком водобое} \quad l_{\text{вод}} = (1\ldots1,25) l_{\text{пр}}, \quad (2.7)$$

$$\text{при наличии гасителей} \quad l_{\text{вод}} = (0,75\ldots1) l_{\text{пр}}, \quad (2.8)$$

где $l_{\text{пр}}$ – длина надвинутого прыжка, которая определяется по формулам из курса гидравлики.

Плита водобоя отделяется от тела водосливной плотины деформационным швом, который снабжается уплотнением.

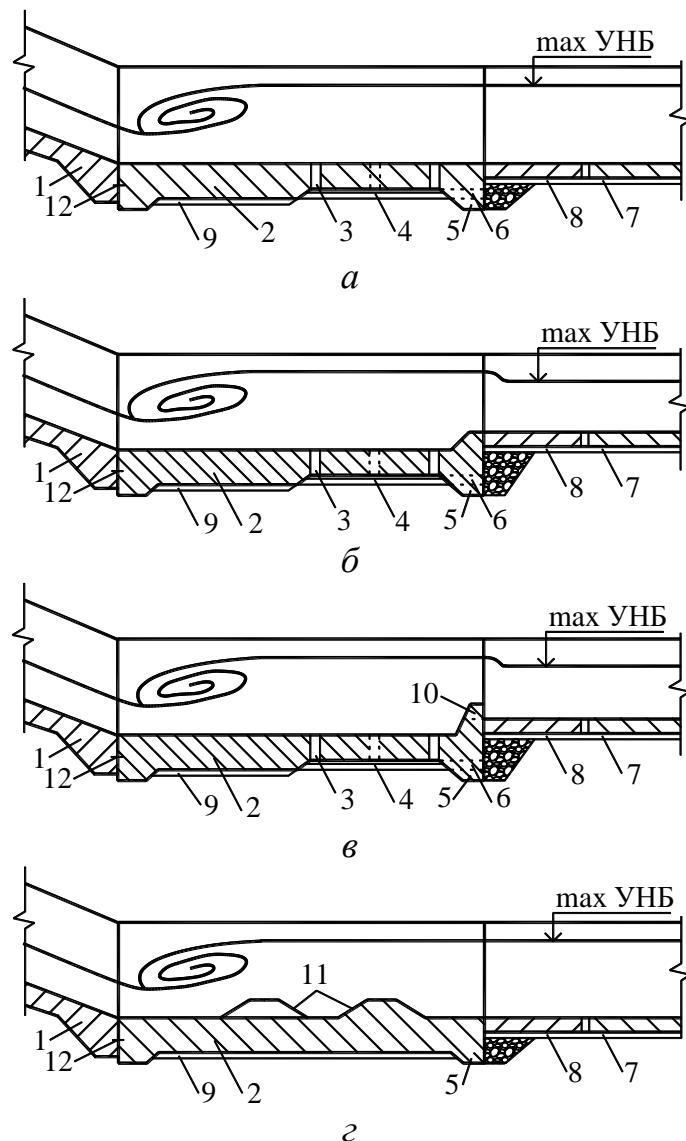


Рис. 2.15. Типы водобойных устройств: а – гладкий водобой; б – водобойный колодец; в – водобойный колодец с водобойной стенкой; г – гладкий водобой с гасителями; 1 – тело водосбросной плотины; 2 – плита водобойная; 3 – дренажные отверстия; 4 – обратный фильтр водобоя; 5 – концевой зуб водобоя; 6 – дренажная перепускная труба; 7 – плиты водобоя; 8 – обратный фильтр рисбермы; 9 – подготовка; 10 – водобойная стенка; 11 – гасители; 12 – уплотнение деформационного шва.

При большой ширине водобоя, во избежание появления трещин, необходимо предусмотреть продольные (вдоль потока) деформационные швы. Их обычно устраивают через 15...20 и более метров, совмещая их с продолжением осей быков.

Толщину водобоя окончательно устанавливают из расчета его прочности и устойчивости на вскрытие.

Предварительно среднюю толщину ($t_{вод}$) армированного водобоя можно назначить по зависимостям:

$$t_{вод} \geq (0,1...0,125) l_{вод}, \quad (2.9)$$

$$t_{вод} = 0,15 V_c \sqrt{h_c}, \quad (2.10)$$

где V_c и h_c – скорость и глубина в сжатом сечении за водосбросной плотиной.

Средняя толщина плиты неармированного водобоя принимается по зависимости

$$t_{вод} \geq (1/6...1/7)l_{вод}. \quad (2.11)$$

Из условия устойчивости на всплытие толщина плиты в начале водобоя ($t_{нач}$) должна быть

$$t_{нач} \geq 0,4 h'', \quad (2.12)$$

где h'' – вторая сопряженная глубина в прыжке.

Под водобойной плитой (обычно на длине не более 2/3 от его конца) устраивают дренаж в виде обратного фильтра. Отвод воды из дренажа осуществляют с помощью дренажных отверстий размером 0,2...0,4 м в водобойной плите, располагаемых в шахматном порядке на расстоянии 2...5 м друг от друга. Дополнительно предусматривают дренажную трубу в концевом зубе водобоя.

Водобой часто выполняется с расширением в плане. При отсутствии гасителей угол бокового расширения (θ) стенок устоя в пределах водобоя может быть определен из формулы:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{1}{\sqrt{Fr}}, \quad (2.13)$$

где Fr – число Фруда в сжатом сечении.

$$Fr = \frac{V_c^2}{gh_c}. \quad (2.14)$$

Гасители, установленные на водобое, обеспечивают значительное снижение величины второй сопряженной глубины в прыжке, что позволяет обеспечить затопление прыжка при меньших глубинах нижнего бьефа, что в конечном итоге способствует уменьшению высоты плотины и длины водобоя.

$$h''_{c\ gac} / h''_{без\ gac} = 0,7...0,8 \quad (2.15)$$

Конструкции гасителей весьма разнообразны. Некоторые из них приведены на рис. 2.16 и 2.17. На этих рисунках указаны габаритные размеры гасителей, место и принцип их установки.

Сплошная водобойная стенка (рис. 2.6 а) устанавливается на расстоянии $0,8 l_{np}$ от сжатого сечения или на расстоянии $3 h''$ для случая

$$\varepsilon_o = \frac{T_o}{h_{kp}} = 0,2...0,12, \quad (2.16)$$

где T_o – удельная энергия потока перед сооружением, определяется относительно поверхности дна водобоя; h_{kp} – критическая глубина потока. Высота стенки (С) определяется по формуле

$$C = 0,12 h_{kp} \sqrt{\frac{8T_o}{h_{kp}} + 2}. \quad (2.17)$$

Прорезная водобойная стенка (рис. 2.16 б) устраивается на расстоянии $3 h''$ от сжатого сечения при $\varepsilon_o = 2...6$.

Шашки или пирсы (пирсы отличаются от шашек тем, что их высота превышает длину и ширину) устанавливаются в шахматном порядке. Для кубических шашек (рис. 2.16 в) размер ребра (С) определяется в зависимости от глубины в сжатом сечении

$$C = (0,75...1,0) h_c. \quad (2.18)$$

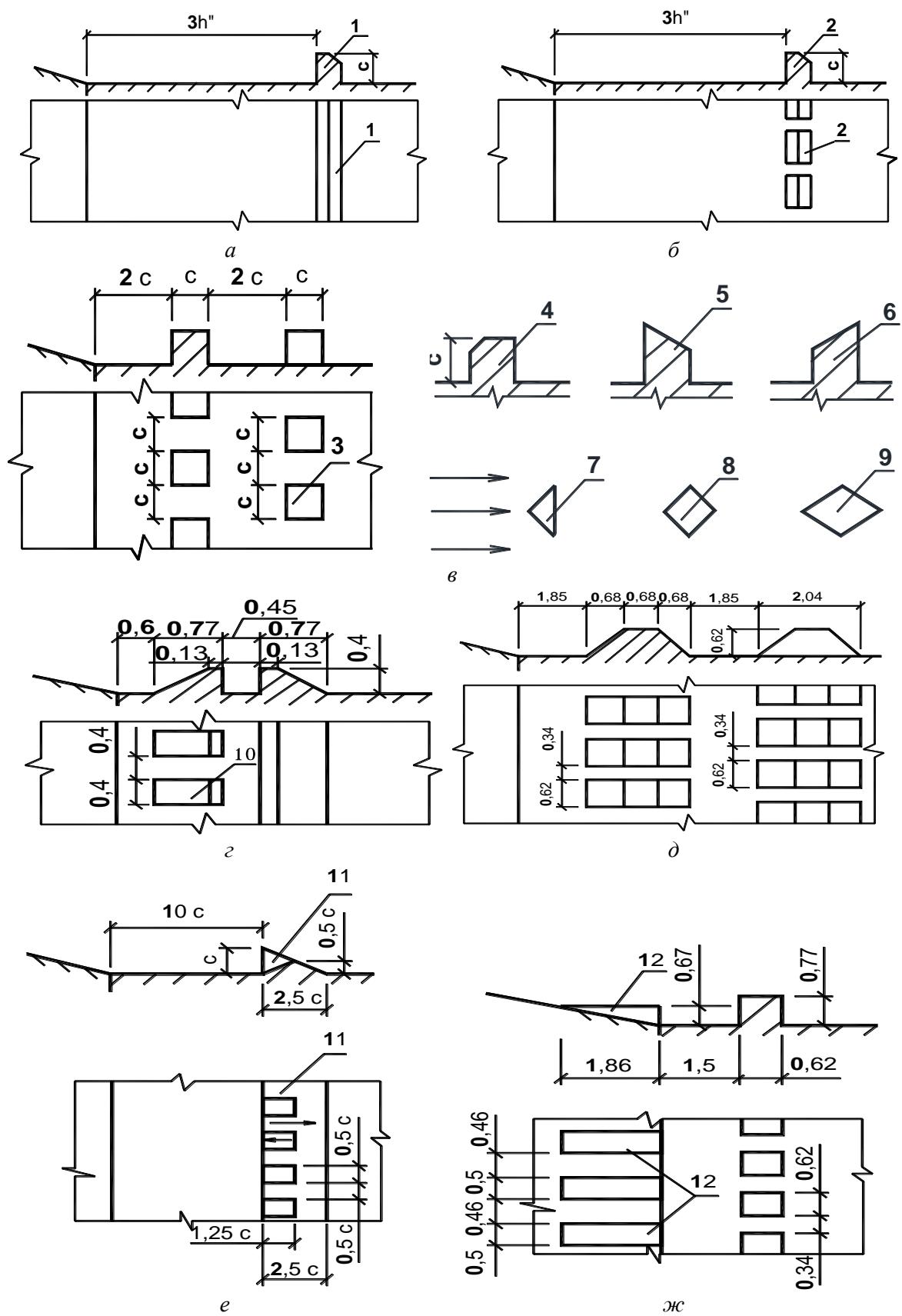


Рис. 2.16. Некоторые типы гасителей на водобое:

- 1 – сплошная водобойная стенка (*а*); 2 – прорезная водобойная стенка (*б*);
- 3 – шашки (*в*) (4, 5, 6 – поперечное сечение шашек; 7, 8, 9 – вид шашек в плане);
- 10 – пирсы в гасителе А.С. Образовского (*д*); 11 – зубчатый порог Ребока (*е*);
- 12 – расщепители с зубчатым порогом (*жс*)

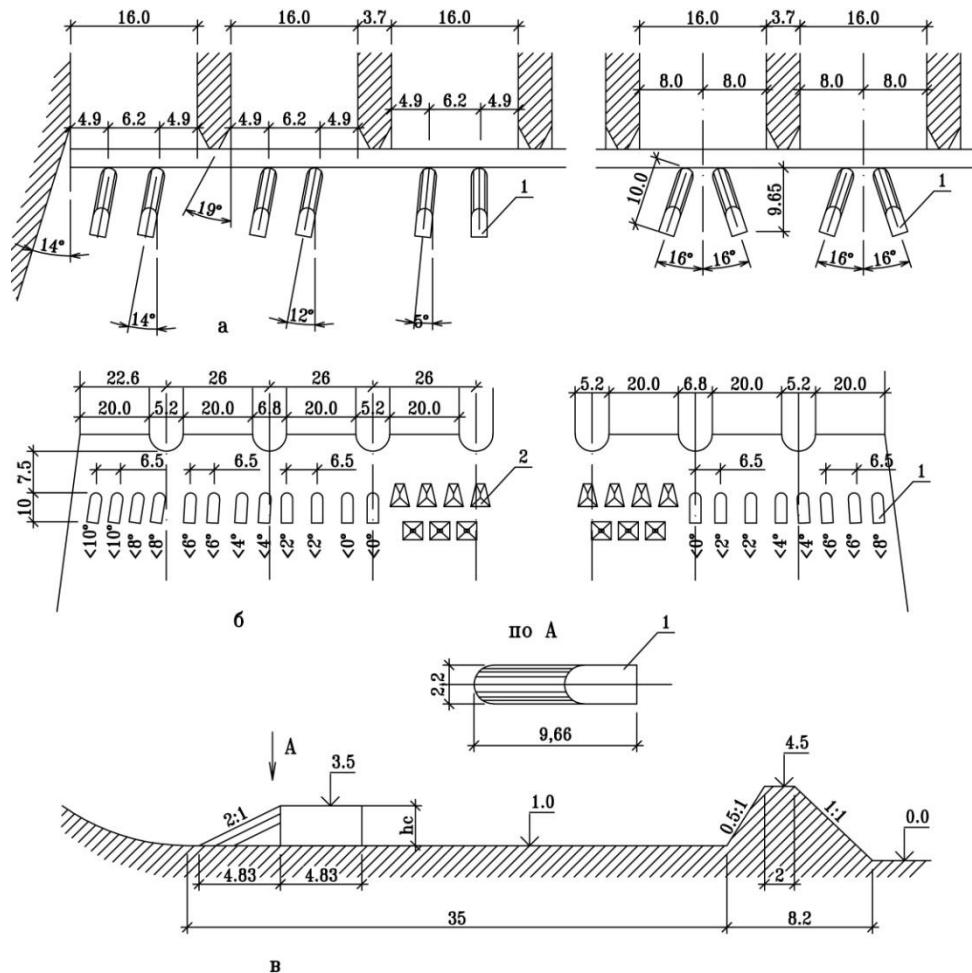


Рис. 2.17. Примеры установки гасителей и растекателей. 1 – растекатели;
2 – пирсы; I – правобережные пролеты; II – левобережные пролеты
Примечание: размеры даны в м.

Для гасителей, приведенных на рис. 2.16 г, д, е, и, размещение гасителей и их параметры даны волях от критической глубины. Зубчатый порог Ребока (рис. 2.16 ж) устраивается на расстоянии $10 C$ от сжатого сечения. Величина C определяется из выражения

$$C = (0,15\dots 0,2) \frac{q}{\sqrt{p}}, \quad (2.19)$$

где q – удельный расход; p – разность отметок порога водослива и дна водобоя.

На рис. 2.17 приведен пример расстановки растекателей и гасителей.

Рисберма, как и водобой, устраивается общей для всех пролетов плотины.

Рисберма может выполняться из бетонных или железобетонных плит (рис. 2.15; 2.17), из каменной наброски с укреплением ее деревянными сваями или без них

(рис. 2.7 ж, з), из деревянных или железобетонных ряжей, заполненных крупнообломочным грунтом и из габионов (при отсутствии крупного камня). Конструкция рисбермы может меняться по ее длине: более массивная у водобоя и облегченная в конце рисбермы. Рисберма выполняется проницаемой для фильтрационного потока и укладывается на обратный фильтр.

Толщина плит рисбермы (t_{puc}) назначается: для бетонных $t_{puc} = (1/6 \dots 1/7) l_{nl}$, для железобетонных $t_{puc} = (1/8 \dots 1/10) l_{nl}$ где l_{nl} – размер плиты.

Плиты рисбермы в плане делают квадратными или прямоугольными с размерами до 10...20 м. Плиты укладываются в разбежку, чтобы не совпадали продольные швы.

Тонкие железобетонные плиты объединяют между собой путем сварки выпусков арматуры. Швы между плитами не снабжаются уплотнением. Толщина плит вдоль потока может уменьшаться от 1...3 м у водобоя до 0,5... 0,8 м в конце рисбермы. Уменьшение толщины плит производят уступами. Рисбермы могут выполняться горизонтальными или наклонными.

Предварительная длина рисбермы (l_{puc}) может быть назначена по зависимости

$$l_{puc} = (1 \dots 2) l_{vod} \text{ или} \quad (2.20)$$

$$l_{puc} \geq 8h_{kp}. \quad (2.30)$$

В дальнейшем длина рисбермы должна быть откорректирована с учетом размывов нижнего бьефа.

Во избежание подмыва рисбермы за ней устраивают ковш, каменный зуб или вертикальную стенку, уральский пол и другие концевые устройства.

Возможную глубину в воронке размыва (h_p) грунта за рисбермой (рис. 2.18 а, е) можно определить по формуле

$$h_p = K_p \chi^{0,8} \sqrt[1,25]{\frac{q}{V_{h,h=1m}}}, \quad (2.31)$$

где K_p – коэффициент увеличения размывающей способности потока. Для ковша с $m = 6,4$; $K_p = 1,05$; при $m = 3...4$, $K_p = 1,1$. Если рисберма заканчивается уступом, т.е. $m = 0$, то $K_p = 1,7$;

χ – коэффициент неравномерности распределения удельных расходов, равный отношению максимального удельного расхода к среднему. Обычно принимают $\chi = 1,1...1,3$;

q – удельный расход на сходе с рисбормы

$$q = \frac{Q}{B_{puс}}; \quad (2.32)$$

Q – расчетный расход (основной или поверочный); $B_{puс}$ – ширина рисбормы в ее конце; $V_{h,h=1\text{ м}}$ – не размывающая скорость для грунта за рисбормой при глубине потока 1 м. $V_{h,h=1\text{ м}}$ определяется для связных грунтов в зависимости от сцепления; а для несвязных – в зависимости от среднего размера частиц [4, 10].

Концевой участок рисбормы выполняют чаще всего в виде ковша (рис. 2.18 а, б) с заложением крепленного верхового откоса не круче 1:3...1:5. Низовой откос ковша является размываемым и его крутизна устанавливается из условия недопущения обрушения в строительный период (заложение откоса обычно принимают не более 1:1,5). Крепление верхового откоса ковша выполняется проницаемым (например, с незаделанными швами). Под плитами укладывается обратный фильтр. Плиты крепления заводятся ниже глубины возможного размыва.

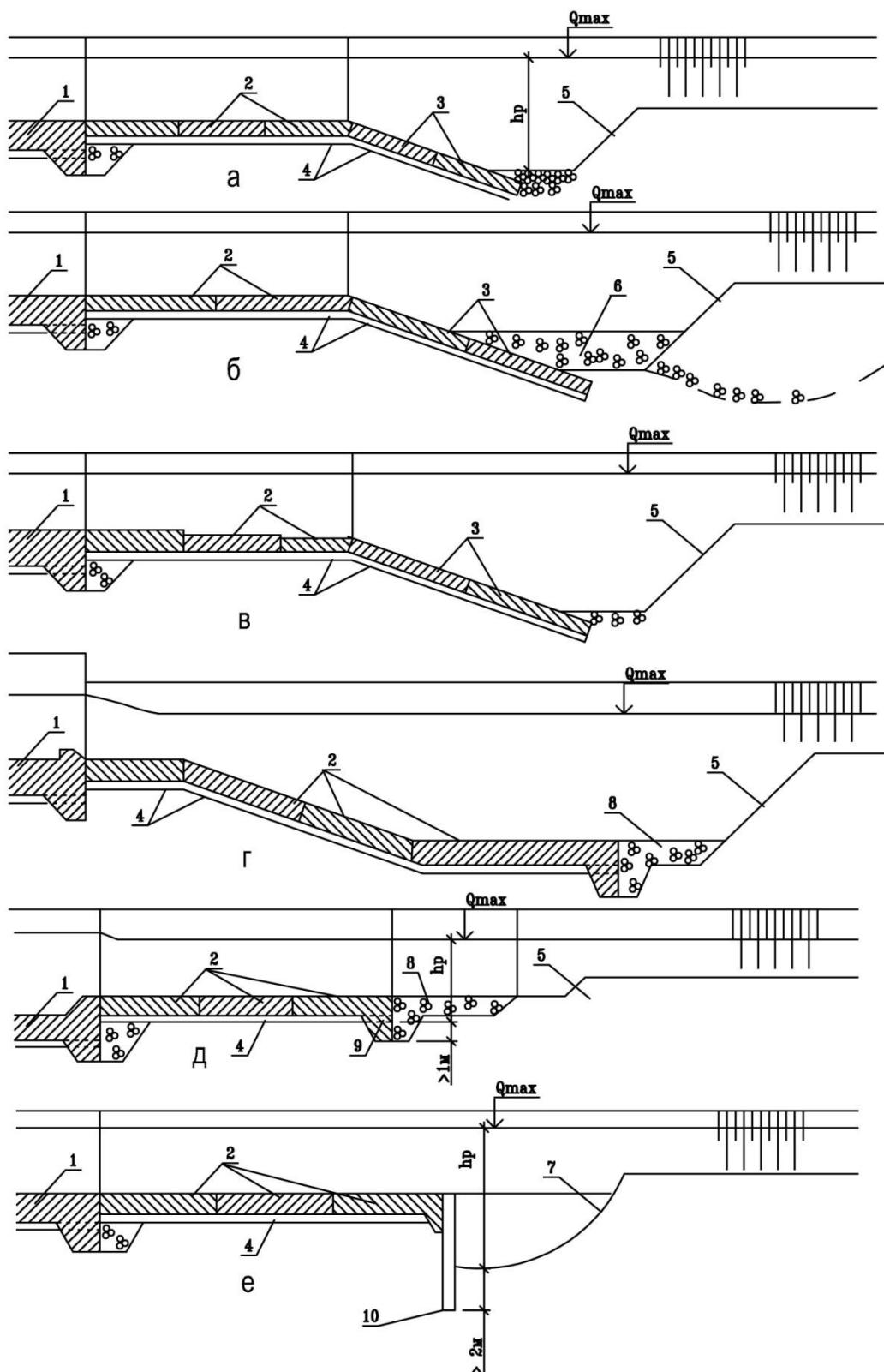


Рис. 2.18. Конструкции рисбермы и концевого участка: 1 – водобой; 2 – плиты рисбермы; 3 – плиты крепления верхового откоса ковша; 4 – обратный фильтр; 5 – незакрепленный откос; 6 – заполнение ковша крупнообломочным грунтом; 7 – граница возможного размыва грунта; 8 – крепление камнем; 9 – бетонный концевой зуб рисбермы; 10 – шпунтовый ряд, буробетонная стенка и т.п.

Для уменьшения глубины ковша может применяться отсыпка в ковш гравия, щебенки и камня (рис. 2.18 б), которые при размыве низового откоса ковша и грунта за ним перемещаются потоком в образующуюся яму разрыва и образуют отмостку, приостанавливая дальнейший размыв и предохраняя крепление нижнего бьефа от подмытия. Толщину отсыпки в ковше принимают 1...4 м, но не менее трех диаметров камня расчетного размера. При этом глубину ковша определяют в соответствии с формулой (2.31), принимая допустимой на размыв скоростью $V_{h,h=1\text{ м}}$ для материала заполнения ковша.

Каменный зуб рекомендуется устраивать, если глубина размыва грунта не превышает 2...3 м. Отметка заложения подошвы зуба должна быть ниже границы возможного размыва не менее чем на 1 м. При глубине размыва более 3 м рисберма может заканчиваться, кроме ковша, шпунтовым рядом (при песчаных грунтах рис. 2.18 е), заглубленным ниже дна ожидаемой воронки размыва не менее чем на 2 м, или при гравелисто-галечниковых грунтах – бетонной стенкой в виде зуба, диафрагмы или подпорной стенки, железобетонными или деревянными ряжами.

3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПЛОТИНЫ

3.1. ЗАДАЧИ РАСЧЕТА

В задачу гидравлического расчета входят определение ширины водосливного фронта, количества пролетов, установление отметки порога и профиля водосливной поверхности, выявление режима сопряжения в нижнем бьефе и назначение размеров крепления и гасителей энергии.

3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ВОДОСЛИВНОГО ФРОНТА И УСТАНОВЛЕНИЕ ОТМЕТКИ ПОРОГА ВОДОСЛИВА

Предварительная ширина водосливного фронта может быть определена по зависимости:

$$B = \frac{Q_{\text{в.п.}}}{q}, \quad B_{\text{нл}} = \frac{Q_{\text{в.п.}}}{q_{\text{в}}} \quad (3.1)$$

где B – общая ширина водосливного фронта, м;

$Q_{\text{в.п.}}$ – расход, сбрасываемый через водосливную плотину, $\text{м}^3/\text{с}$;

$$Q_{\text{в.п.}} = Q_p - Q_{\text{coop}} \quad (3.2)$$

где Q_p – расчетный максимальный основной паводковый расход заданной обеспеченности, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_{coop} – расход воды через другие сооружения гидроузла (ГЭС, рыбоход, судоходный шлюз и др.), $\text{м}^3/\text{с}$;

q – удельный расход, т.е. расход воды на 1 п.м. плотины ($\text{м}^2/\text{с}$), принимаемый в зависимости от грунтов основания плотины: 10...20 $\text{м}^2/\text{с}$ для песчаных оснований, 15...30 $\text{м}^2/\text{с}$ для глинистых, 30...70 $\text{м}^2/\text{с}$ для скальных.

Удельные расходы могут быть ориентировочно также определены по выражению

$$q = 1,7 V_{h, h=1\text{м}} \cdot h_{\text{pus}}^{1,2}, \quad (3.3)$$

где $V_{h, h=1\text{м}}$ – неразмывающая скорость грунта основания в нижнем бьефе при глубине равной 1 м, $\text{м}/\text{с}$;

h_{pus} – глубина потока на рисберме, м.

Назначают ширину пролета b (см. п. 2.1) и их количество n . Для этого можно использовать приближенное соотношение: $b n \approx B$.

Уточняют удельные расходы на водосливе

$$q = \frac{Q_{\text{в.н.}}}{b \cdot n}, \quad q_e = \frac{Q_{\text{в.н.}}}{b \cdot n}. \quad (3.4)$$

Для уточненных значений удельных расходов в первом приближении определяют напор на гребне водослива из формулы

$$q = \sigma_n \cdot \varepsilon m \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (3.5)$$

где σ_n – коэффициент подтопления, зависящий от соотношения Δ/H_0 (где Δ – превышение уровня нижнего бьефа над порогом водосливной плотины; величина σ_n устанавливается по таблицам [10,12]); для неподтопленных плотин $\sigma_n = 1$;

m – коэффициент расхода, зависящий от формы профиля, принимается в соответствии с п. 2.1;

ε – коэффициент бокового сжатия, для первого приближения можно принять: $\varepsilon = 1$.

В первом приближении принимают $H_0 = H$ и определяют величину H :

$$H = \sqrt[3]{\frac{q^2}{m^2 \cdot 2g}} \quad (3.6)$$

Во втором приближении уточняют значение σ , ε и m

$$\varepsilon = 1 - a \frac{H_0}{b + H_0}, \quad (3.7)$$

где a – коэффициент, учитывающий влияние формы устоев и входной кромки быков: $a = 0,20$ – прямоугольное очертание, $a = 0,11$ – полуциркульное очертание, $a = 0,06$ – заостренная форма;

b – ширина водосливного отверстия (пролета).

Значение m уточняется по принятой геометрии водосливного порога.

Уточненное значение H_0 определится как

$$H_0 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{\varepsilon^2 \cdot \sigma_n^2 \cdot m^2 \cdot 2g}}. \quad (3.8)$$

H_0 – напор на гребне водослива с учетом скорости подхода.

$$H_0 = H + \frac{V_0^2}{2g}. \quad (3.9)$$

V_0 – скорость подхода воды к плотине, приближенно определяемая по выражению:

$$V_0 = \frac{Q_{e.n.}}{B_{n.l}(H + P)}, \quad (3.10)$$

где P – высота порога плотины ;

$B_{n.l}$ – ширина плотины с учетом быков;

$$B_{n.l} = n \cdot b + \sum t_{\delta,i} \quad (3.11)$$

t_{δ} – толщина быка, принимаемая в соответствии с п. 2.3.

Отметка порога плотины:

$$\begin{aligned} \nabla_{\text{пор. пл.}} &= \nabla_{\text{НПУ}} - H \\ &\text{при НПУ} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Гидравлический расчет проводят также для поверочного расхода

$$Q_{\text{в.п.нов}} = Q_{p, \text{нов.}} - Q_{\text{coop}} \quad (3.13)$$

где $Q_{p, \text{нов.}}$ – расчетный максимальный поверочный расход, $\text{м}^3/\text{с}$.

Расчет выполняется при принятых размерах и количестве водосливных пролетов.

Отметка порога плотины в этом случае составит

$$\nabla_{\text{пор.пл.}} = \nabla_{\Phi\text{ПУ}} - H_{\text{при } Q_{\text{в.п. нов.}}} \quad (3.14)$$

при $\Phi\text{ПУ}$.

Из двух рассматриваемых случаев принимается наименьшая отметка порога.

В случае если принятая наименьшая отметка порога будет соответствовать пропуску основного расчетного расхода, то необходимо определить новое, более низкое положение $\Phi\text{ПУ}$ ¹

$$\nabla_{\Phi\text{ПУ}} = \nabla_{\text{пор.пл.}} + H_{\text{при } Q_{\text{в.п. нов.}}} \quad (3.15)$$

Построение очертания водослива практического профиля выполняется по рекомендациям [11, 12].

¹ в курсовом проекте допускается не учитывать изменение коэффициента расхода m при изменении профилирующего напора.

3.3. РАСЧЕТ СОПРЯЖЕНИЯ С НИЖНИМ БЬЕФОМ

Расчеты выполняются для следующих случаев:

- пропуск расчетного расхода;
- пропуск поверочного расхода;
- при маневрировании затворами.

3.3.1. Расчет сопряжения с нижним бьефом при пропуске расчетного и поверочного расходов

Для определения режима сопряжения потока в нижнем бьефе необходимо определить сжатую глубину h_c и сопряженную ей h'' .

Определение сжатой и сопряженной с ней глубины может выполняться по методу В.И. Агроскина [12] с использованием вспомогательной функции

$$\Phi(\tau_c) = \frac{q}{\varphi \cdot E_0^{3/2}}, \quad (3.16)$$

где $E_0 = E + (V_0)^2/2g$; E – превышение уровня верхнего бьефа над отметкой дна водобоя; в первом приближении отметка дна водобоя может быть принята на 0,0...1,0 м ниже отметки дна отводящего русла реки; φ – коэффициент, учитывающий потери энергии на водосливе, для расчета в курсовом проекте может быть принят равным 0,95.

По соответствующей таблице [12] определяются значения вспомогательных функций τ_c и τ''_c , а затем величины первой и второй сопряженных глубин:

$$h_c = \tau_c \cdot E_0 \quad (3.17)$$

$$h'' = \tau''_c \cdot E_0 \quad (3.17')$$

Полученное значение h'' сравнивается с бытовой глубиной (h_δ), определяемой по кривой связи $Q = f(h_\delta)$. Условие надвинутого прыжка, который должен быть обеспечен на водобое для снижения длины крепления нижнего бьефа, выражается следующим неравенством:

$$\alpha h'' \leq h_{pric} + d, \quad (3.18)$$

где α – коэффициент затопления прыжка, принимаемый равным 1,05 - 1,1; h_{puc} – глубина потока на рисберме (предварительно отметка дна рисбери может быть принята на 0 - 0,5 м ниже отметки дна отводящего русла); d – глубина водобойного колодца.

Если условие (3.18) выполняется, то прыжок затоплен и расчет для данного расчетного случая можно считать законченным (если правая часть неравенства значительно превышает левую, то, с целью получения более экономичного решения, необходимо повысить отметку водобоя и повторить расчет. При этом принимать отметку водобоя выше отметки дна не рекомендуется. Если условие (3.18) не выполняется, то прыжок отогнан; в этом случае необходимо либо понизить отметку плиты водобоя до величины $d > \alpha h'' - h_{puc}$, либо предусмотреть гасители энергии.

Расчет сопряжения бьефов проверяется при пропуске поверочного расхода. При этом сохраняются отметки и размеры водобоя, полученные при пропуске расчетных расходов. В случае отогнанного прыжка предусматриваются гасители энергии и/или заглубление водобоя.

Длина гидравлического прыжка может быть определена по одной из зависимостей

$$l_{np} = (5.5 - 5.2) h'' \quad (3.19)$$

или

$$l_{np} = 6 (h'' - h_c) \quad (3.20)$$

Длина водобоя принимается по рекомендациям п. 2.4.

3.3.2. Расчет сопряжения с нижним бьефом с учетом маневрирования затворами

Расчет выполняется для одной из возможных схем пропуска расходов (рис. 3.1). Уровень воды в верхнем бьефе – НПУ. Все водосливные пролеты открыты на некоторую величину a , например $a = 0,2H$.

Расход через один пролет при частичном открытии затвора составит

$$q_3 = \varphi \cdot \varepsilon a b \sqrt{2g(H_0 - \varepsilon a)}, \quad (3.21)$$

где φ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние потерь напора; ε – коэффициент вертикального сжатия струи при истечении из-под затвора [3,12].

Общий расход через водосливную плотину составит:

$$Q_{нб} = q_3 n. \quad (3.22)$$

Уровень воды в нижнем бьефе определяется по кривой связи $Q = f(h)$ для расхода $Q_{нб}$.

Расчет сопряжения бьефов проводится по аналогии с предыдущими расчетами. Подбор гасителей энергии и расщепителей потока осуществляется в соответствии с гл. 2.

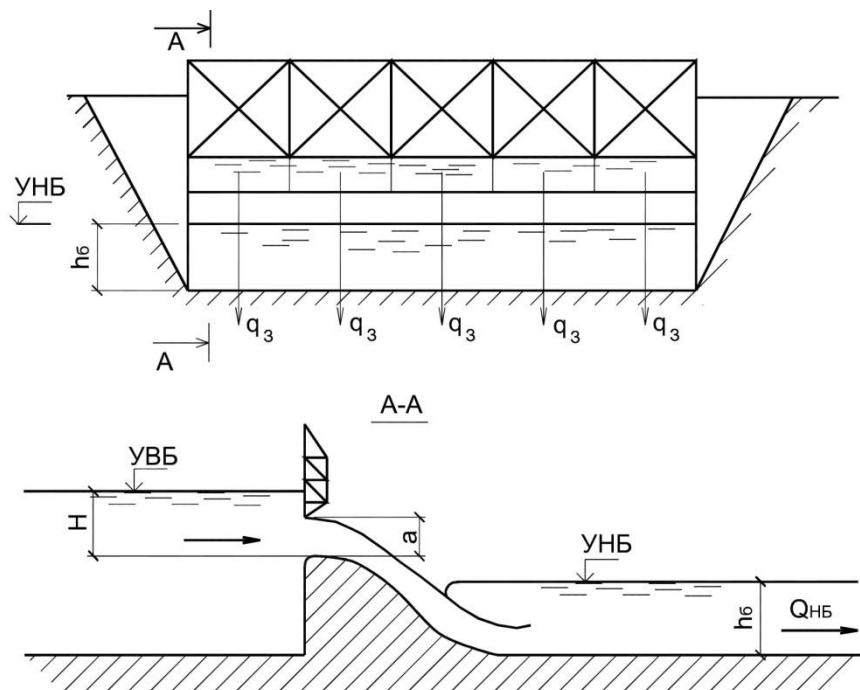


Рис. 3.1. Схема к расчету сопряжения с нижним бьефом при маневрировании затворами

3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОЙ ГЛУБИНЫ РАЗМЫВА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ

Определение вероятной глубины размыва в нижнем бьефе выполняется в соответствии с рекомендациями гл. 2.

3.5. ПРОПУСК СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ

3.5.1. Существующие схемы пропуска строительных расходов

Организация производства работ и пропуск строительных расходов зависят от схемы компоновки гидроузла. Применяют следующие схемы компоновки: пойменная, русловая и полупойменная (рис. 3.2).

При пойменной компоновке в первую очередь строят бетонные сооружения на пойме, при необходимости предусматривают перемычки (которые, как правило, значительно меньшей высоты, чем при русловой или полупойменной компоновке). Строительные расходы проходят по основному руслу. Водосливная плотина подготавливается для пропуска расхода воды при перекрытии русла. Возводятся быки на полную высоту, а тело водослива плотины до отметки равной или незначительно превышающей отметку подводящего русла. Отметка подводящего русла принимается равной отметке дна реки при русловой или полупойменной компоновках и, чаще всего, с незначительным превышением (0…1.0 м) над дном – при пойменной компоновке.

Во вторую очередь строительства устраивают подводящий и отводящий каналы (руслы), разбирают перемычки первой очереди, а затем приступают к перекрытию русла. Строительные расходы пропускают через недостроенную плотину первой очереди.

При русловой компоновке в первую очередь строительства отгораживают перемычками часть пролетов водосливной плотины и ГЭС. Строительный расход пропускают через стесненное перемычками русло реки.

Во вторую очередь строительные расходы пропускают через частично недостроенные сооружения первой очереди, как и при пойменной компоновке, а оставшиеся сооружения достраивают за перемычками второй очереди. После окончания работы второй очереди достраивают водосливную плотину. При полупойменной компоновке гидроузла стеснение русла может быть меньше, чем при русловой компоновке.

Наращивание тела плотины в недостроенных пролетах первой очереди производится методом гребенки.

Выбор схемы компоновки гидроузла и пропуска строительных расходов зависит от исходных данных и определяется технико-экономическими сравнениями вариантов.

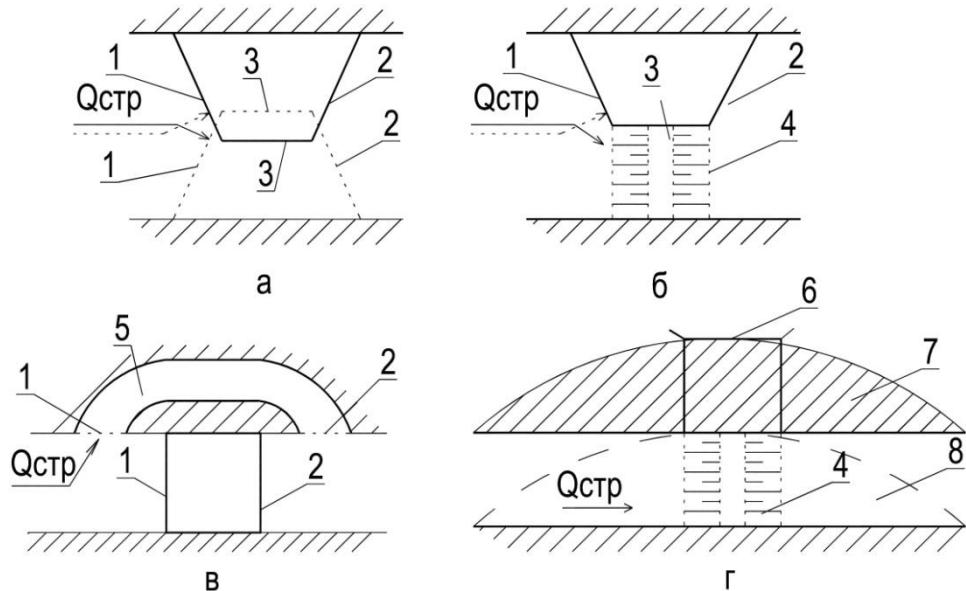


Рис. 3.2. Схемы к расчету пропуска строительных расходов:
а, б – русловая компоновка, в – пропуск строительных расходов по отводящему каналу, г – пойменная компоновка.

— I очередь строительства

- - - II очередь строительства

1 – верховая поперечная перемычка, 2 – низовая поперечная перемычка, 3 – продольная перемычка, 4 – грунтовая плотина, 5 – обводной канал, 6 – бетонные сооружения, возводимые на пойме (без перемычек), 7 – земляные работы II очереди строительства, 8 – струенаправляющие дамбы.

3.5.2. Расчет высоты перемычек и глубины размыва русла при пропуске строительных расходов первой очереди

При русловой и полупойменной компоновке пропуск расходов первой очереди строительства осуществляется либо по стесненному руслу, либо по обводному каналу. При этом определяют высоту перемычек и вероятную глубину размыва.

В результате стеснения реки перемычками ширина реки B_p уменьшается до величины B_c (в створе $C-C$) и, соответственно, средняя скорость реки V_p в сжатом сечении увеличивается до V_c (рис. 3.3).

Стеснение реки перемычками иногда достигает 60% площади живого сечения. При этом скорости в сжатом сечении и его ширина должны учитывать характер использования реки.

При использовании реки для судоходства скорость в сжатом сечении должна быть $V_c \leq 2$ м/с, для лесосплава $V_c \leq 2,5 \dots 3,0$ м/с.

Ширина сжатого сечения должна обеспечить пропуск льда, глубина размыва должна быть приемлемой.

Отметка гребня верховой перемычки определяется как (рис.3.3):

$$\nabla \text{Гр.верх.пер.} = \nabla \text{УВ при } Q_{cmp} + z + a, \quad (3.23)$$

где $\nabla \text{УВ}$ при Q_{cmp} – уровень воды при расчетном максимальном строительном расходе, принимается при Q_{cmp} по кривой $Q=f(h)$;

a – конструктивный запас, $a = 1$ м;

z – превышение уровня воды над бытовым уровнем, м;

$$z = \frac{1}{\varphi^2} \left(\frac{V_c^2 - V_p^2}{2g} \right), \quad (3.24)$$

где φ – коэффициент скорости ($\varphi = 0,70 \dots 0,90$);

g – ускорение свободного падения ($g=9,81 \text{ м/с}^2$).

$$V_p = \frac{Q_{cmp}}{\omega_{npuQ_{cmp}}} \quad (3.25)$$

$$V_c = \frac{Q_{cmp}}{\omega_{cж.}} \quad (3.26)$$

где V_p , V_c , $\omega_{npuQ_{cmp}}$, $\omega_{cж.}$ – соответственно скорости и площади живого сечения русла до строительства и после устройства перемычек (м/с; м²).

Отметки гребня низовой перемычки:

$$\nabla \text{Гр.низ.пер.} = \nabla \text{УВ при } Q_{cmp} + a_1, \quad (3.27)$$

где $a_1 = 0.5 \dots 1.0$ м.

Глубина размыва в створе $C-C$:

$$h_{pa3} = \frac{A_{pa3}}{B_C}, \quad (3.28)$$

где A – площадь размыва, м²;

$$A_{pa3} = A_{nped.} - A_C \quad (3.29)$$

$$A_{nped.} = \frac{Q_{cmp.}}{V_{max}}, \quad (3.30)$$

где $A_{nped.}$ – предполагаемая площадь живого сечения в створе $C-C$, которая будет после размыва, м^2 ;

A_C – площадь живого сечения в створе $C - C$ до размыва при уровнях соответствующих пропуску строительного расхода, м^2 ;

V_{max} – максимально допустимая скорость потока для данного грунта.

3.5.3. Перекрытие русла

После завершения работ первой очереди строительства выполняется перекрытие русла. При этом до начала перекрытия разбираются поперечные перемычки первой очереди.

Расчет выполняется для строительного расхода при перекрытии русла $Q_{nep. ryc.}$. При этом, во избежание проблем, связанных с закрытием прорана при пионерном способе перекрытия русла, нельзя допускать больших перепадов уровней верхнего и нижнего бьефов (поэтому недостроенные водосливные пролеты плотины устраиваются на отметках (∇ пор н. пр.) близких к отметке дна подводящего русла или незначительно выше).

Общая ширина недостроенных пролетов определяется из формулы подтопленного водослива с широким порогом (величина H_0 может быть определена без учета скорости подхода, принимая отметку верхнего бьефа ∇ ВБ при $Q_{nep. ryc.} = \nabla$ НБ при $Q_{nep. ryc.} + z$, где перепад уровней z может быть принят в первом приближении равным 0.8 - 1.0 м; в этом случае $H_0 \approx H = \nabla$ ВБ при $Q_{nep. ryc.} - \nabla$ пор н. пр.):

$$Q_{nep. ryc.} = \varepsilon \sigma_n m B_{n.np.} \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (3.31)$$

где ε – коэффициент бокового сжатия;

σ_n – коэффициент подтопления;

m – коэффициент расхода, m зависит от параметров недостроенного водосливного оголовка и может быть принят равным 0,34;

$B_{n.np.}$ – общая ширина недостроенных пролетов.

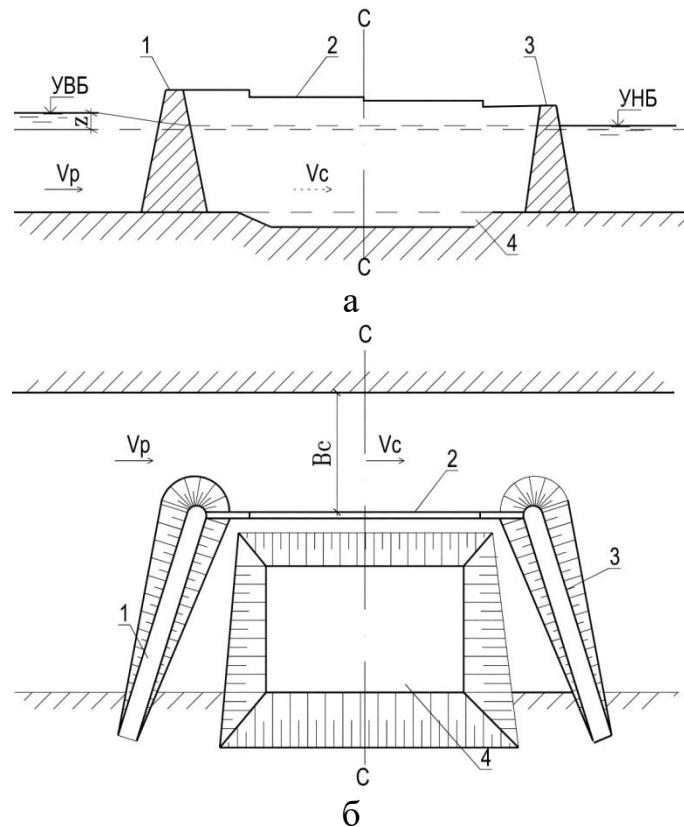


Рис. 3.3. Пропуск строительных расходов первой очереди строительства:
а – продольная схема, б – план.

1 – верховая перемычка, 2 – продольная перемычка, 3 – низовая перемычка,
4 – котлован под бетонные сооружения 1-ой очереди

Определяем количество недостроенных пролетов:

$$n_{h,np.} = \frac{B_{h,np.}}{b}, \quad (3.32)$$

где b – ширина пролета водосливной плотины.

Округляем $n_{h,np.}$ до ближайшего большего целого числа.

Если полученное значение оказывается меньше, чем количество пролетов возводимых в первую очередь строительства, необходимо увеличить их число, либо увеличить напор на пороге водослива. Для пропуска расходов при перекрытии русла могут быть также использованы другие водопропускные сооружения, построенные в составе сооружений первой очереди и находящиеся на низких отметках.

3.5.4. Пропуск строительных расходов второй очереди

Строительные расходы второй очереди пропускаются через недостроенные пролеты водосливной плотины (могут также использоваться отсасывающие трубы ГЭС и другие сооружения).

Расчет выполняем для максимального расчетного строительного расхода Q_{cpr} . Отметка гребня верховой перемычки устанавливается [в зависимости от уровня верхнего бьефа (∇ УВ при Q_{cpr}) при пропуске максимального расчетного строительного расхода Q_{cpr} через недостроенные пролеты суммарной шириной $n_{h,np} \cdot b$ с учетом требуемого напора на пороге H и конструктивного запаса a] по формуле:

$$\nabla\Gamma_{\text{р.верх.пер.}} = \nabla\text{УВ при } Q_{cpr.} + H + a,$$

где H определяется (принимая $H \approx H_0$) из формулы:

$$Q_{cpr} = \varepsilon \sigma_n m_{h,np} \cdot b \sqrt{2g} H_0^{3/2}$$

Отметка гребня низовой перемычки второй очереди устанавливается также как и для перемычки первой очереди (см. формулу 3.27).

4. ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ И СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТЫ ВОДОСЛИВНОЙ ПЛОТИНЫ

4.1. ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ ФЛЮТБЕТА ПО МЕТОДУ УДЛИНЕННОЙ КОНТУРНОЙ ЛИНИИ

Основными задачами фильтрационного расчета являются: определение распределения напоров фильтрационного потока по длине подземного контура и построение эпюры напоров, определение скорости фильтрации и фильтрационного расхода, оценка фильтрационной прочности грунтов основания.

Фильтрационный расчет выполняется для выбранной схемы рационального подземного контура плотины. При этом рассматривается расчетный случай, соответствующий наиболее продолжительному стоянию уровней воды в бьефах. В верхнем бьефе за расчетный принимается НПУ, в нижнем – минимальный уровень воды.

В соответствии с [9] для плотин IV класса и при предварительных расчетах плотин I, II, и III классов характеристики фильтрационного потока допускается определять приближенными аналитическими методами (коэффициентами сопротивлений, фрагментов и т.д.). Одним из таких методов является метод удлиненной контурной линии (УКЛ).

Фильтрационный расчет методом УКЛ выполняется в следующей последовательности: определяется активная зона фильтрации и расчетное положение водоупора. Различают три активные зоны: по фильтрационному напору (H_f), по выходному градиенту (J), по расходу (q). Глубину активной зоны фильтрации по напору определяем по таблице 4.1 в зависимости от отношения l_0/S_0 (рис. 4.1), где: l_0 и S_0 соответственно горизонтальная и вертикальная проекции подземного контура.

Таблица 4.1

Глубина активной зоны фильтрации по напору

l_0/S_0	≥ 5	$5,0 \dots 3,4$	$3,4 \dots 1,0$	$1,0 \dots 0$
$T'_{акт}$	$0,5 l_0$	$2,5 S_0$	$0,8 S_0 + 0,5 l_0$	$S_0 + 0,3 l_0$

Глубина активной зоны по выходному градиенту составит

$$T''_{акт} = 2 T'_{акт} \quad (4.1)$$

Так как действительная мощность водопроницаемого основания может быть как больше, так и меньше мощности активной зоны фильтрации, находят расчетное положение водоупора.

При определении напоров фильтрационного потока расчетное положение водоупора ($T'_{расч}$) определится следующим образом: если $T'_{акт} > T_d$, то $T'_{расч} = T_d$, при значениях $T'_{акт} < T_d$, $T'_{расч} = T'_{акт}$.

Расчетное положение водоупора по выходному градиенту $T''_{расч}$ находят также, как и по напору.

Фильтрационный расход определяют при $T'''_{расч} = T_d$; при $T_d = \infty$, $T'''_{расч} \approx 0,5 l_0$.

При построении эпюры фильтрационных напоров длину развернутого подземного контура (l) увеличивают со стороны входного и выходного

участков на величину, равную потерям напора на данном участке подземного контура $0,44 T'_{\text{расч,ср}}$.

Принимая линейный характер изменения напора по длине подземного контура, эпюру напоров исправляют в пределах действительных длин входного и выходного вертикальных участков.

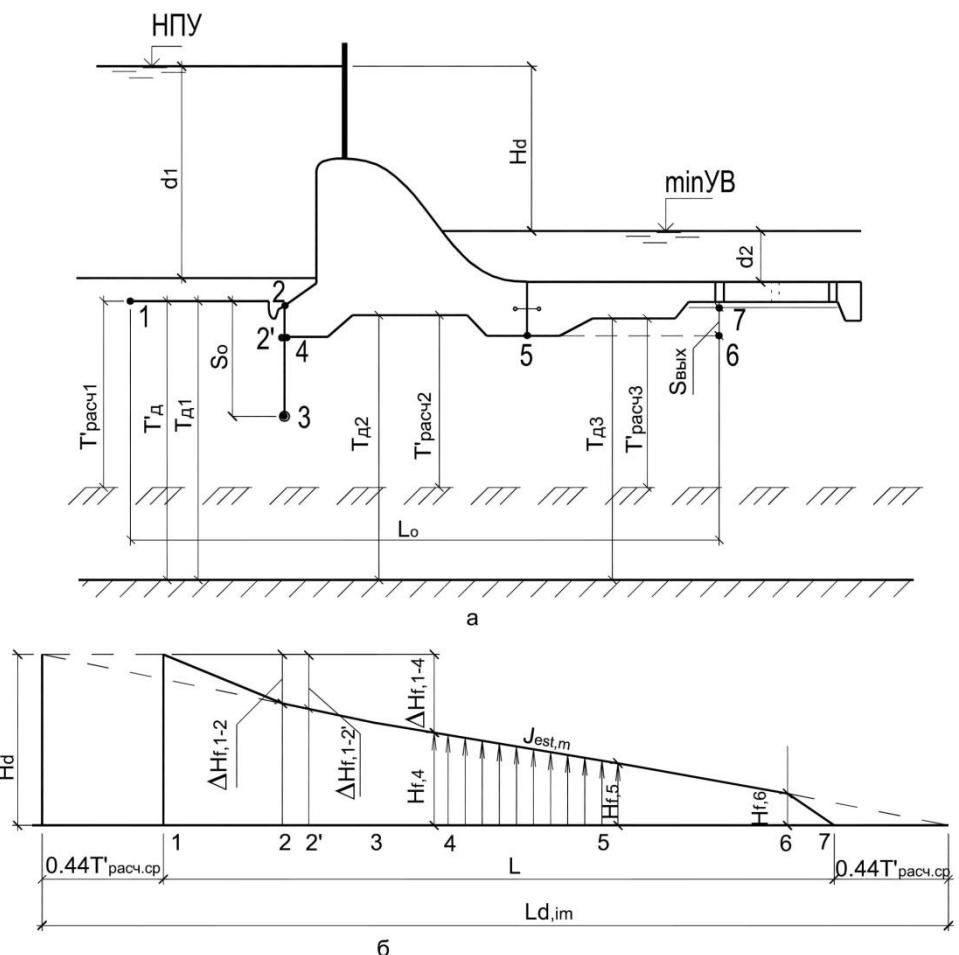


Рис. 4.1. Схемы к фильтрационному расчету флютбета по методу удлиненной контурной линии: а – схема сооружения; б – распределение фильтрационного давления на подземный контур (в точках 1...7)

Ординаты эпюор фильтрационного давления могут быть сняты с графика (рис. 4.1 б), построенного в масштабе.

Для проверки общей фильтрационной прочности грунтов основания определяют действующий средний градиент напора $J_{est,m}$

$$J_{est,m} = H_{\Delta} / l_{d,im} \quad (4.2)$$

где H_{Δ} – действующий напор;

$l_{d,im} = l + 0,88 T'_{\text{расч,ср}}$ – виртуальная (условная) длина подземного контура;

$$T'_{pac\gamma, cp.} = \frac{T'_{pac\gamma,1.} + T'_{pac\gamma,2.} + T'_{pac\gamma,3.}}{3}$$

Критерием обеспечения общей фильтрационной прочности несkalьного основания служит условие:

$$J_{est,m} \leq J_{cr,m}/\gamma_n \quad (4.3)$$

где $J_{cr,m}$ – осредненный критический градиент напора, принимаемый в соответствии с [7] для песков мелких, средней крупности, крупных соответственно 0.32, 0.42, 0.48, супеси – 0.60, суглинка – 0.80, глины – 1.35;

γ_n – коэффициент надежности, принимаемый в зависимости от класса сооружения [8] для плотин I класса – 1.25, II – 1.2, III – 1.15, IV – 1.10.

При невыполнении условия (4.3) увеличивают длину подземного контура за счет изменения протяженности понура, устройства шпунта, изменения места выхода фильтрационного потока.

Местная фильтрационная прочность основания может быть нарушена в местах выхода фильтрационного потока в нижний бьеф, на участках контакта грунтов с различными фильтрационными характеристиками и т.д.

Расчетный местный градиент напора в местах выхода потока определяется по зависимости:

$$J_{est} = H_{f,ex}/S_{вых} \quad (4.4)$$

где $S_{вых}$ – длина концевого вертикального участка контура, или расстояние до дренажа;

$H_{f,ex}$ – потери напора на этой длине.

Критерием обеспечения местной фильтрационной прочности основания служит условие:

$$J_{est} \leq J_{cr}/\gamma_n, \quad (4.5)$$

где J_{est} – местный градиент напора в рассматриваемой области фильтрации.

J_{cr} – расчетное значение местного критического градиента напора, для суффозионных грунтов определяется путем испытания грунтов в лабораторных или натурных условиях. Для несуффозионных песчаных грунтов J_{cr} принимается при выходе потока в дренаж равным 1, за

дренажем – 0,3; для глинистых грунтов при выходе в дренаж или при наличии жесткой пригрузки (плита рисбермы) – 1,5, а при деформируемой пригрузке (каменная наброска) – 2,0. При несоблюдении критерия обеспечения местной фильтрационной прочности возможно возникновение фильтрационных деформаций. Для повышения фильтрационной прочности основания в местах выхода потока (за счет уменьшения выходных градиентов) предусматривают устройство выходных шпунтов, увеличивают длину низового зуба, а также предусматривают дренаж.

Фильтрационный расход определяют по формуле:

$$q = k \cdot T_{cp} \cdot H_d / l_{d,im}, \quad (4.6)$$

где k – коэффициент фильтрации; T_{cp} – глубина водопроницаемого основания под флютбетом, равная среднеарифметической величине для расчетного водоупора T_δ ; $L_{d,im} = l + 0,88 \cdot T_\delta$.

4.2. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОСЛИВНОЙ ПЛОТИНЫ

4.2.1. Выбор расчетной схемы и определение расчетных нагрузок

Статические расчеты плотин включают расчеты прочности и устойчивости. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения подразделяют на постоянные и временные (длительные, кратковременные и особые) [8]. Расчет плотин производят при основных и особых сочетаниях нагрузок и воздействий. Основные сочетания включают постоянные, временные длительные и кратковременные нагрузки и воздействия. Особые сочетания включают постоянные, временные длительные, кратковременные и одну из особых нагрузок и воздействий.

В основном сочетании нагрузок постоянными являются [8]: собственный вес сооружения, включая вес мостов, затворов, подъемного оборудования и др., месторасположение которых в период эксплуатации не меняется. Гидростатическое давление $P_{\omega 1}$ и $P_{\omega 2}$ соответственно со стороны верхнего и нижнего бьефов, фильтрационное P_f и взвешивающее P_v противодавление,

вертикальные составляющие гидростатического давления (пригрузка) $P_{\omega 3}$, $P_{\omega 4}$, давление грунта E_a , E_p .

К времененным длительным нагрузкам и воздействиям относятся: давление наносов $P_{\omega s}$, дополнительное давление грунта, возникающее вследствие деформации основания или конструкции.

Кратковременными нагрузками и воздействиями являются: давление льда $F_{b,\omega}$, определяемое при его среднемноголетней толщине, давление волны, определяемое при средней многолетней скорости ветра, сугробовые и ветровые нагрузки, нагрузки от плавающих тел, нагрузки от транспортных и перегрузочных средств, связанные с эксплуатацией сооружения.

Особое сочетание нагрузок и воздействий включает нагрузки основного сочетания и одну из особых нагрузок, в качестве которой принимают: дополнительное гидростатическое давление воды, противодавление при форсированном подпорном уровне, дополнительное фильтрационное давление воды, возникающее в результате нарушения нормальной работы противофильтрационных и дренажных устройств, ледовые нагрузки, определяемые при максимальной расчетной скорости ветра, сейсмические воздействия.

Нагрузки и воздействия принимаются в наиболее неблагоприятных, но реальных для рассматриваемого расчетного случая сочетаниях отдельно для строительного и эксплуатационного периодов и расчетного ремонтного случая.

При расчетах общей прочности и устойчивости используют коэффициент сочетания нагрузок γ_c , который для основного сочетания нагрузок принимают $\gamma_c = 1$, особого – $\gamma_c = 0,9$, для строительного $\gamma_c = 0,95$ [8].

Расчетную схему принимают в зависимости от конструкции сооружения, обусловленной геологическими, гидрологическими условиями и особенностями использования. Бетонные плотины на нескальном основании рассчитывают по секционно, т.е. нагрузки и общую устойчивость определяют для одной секции сооружения.

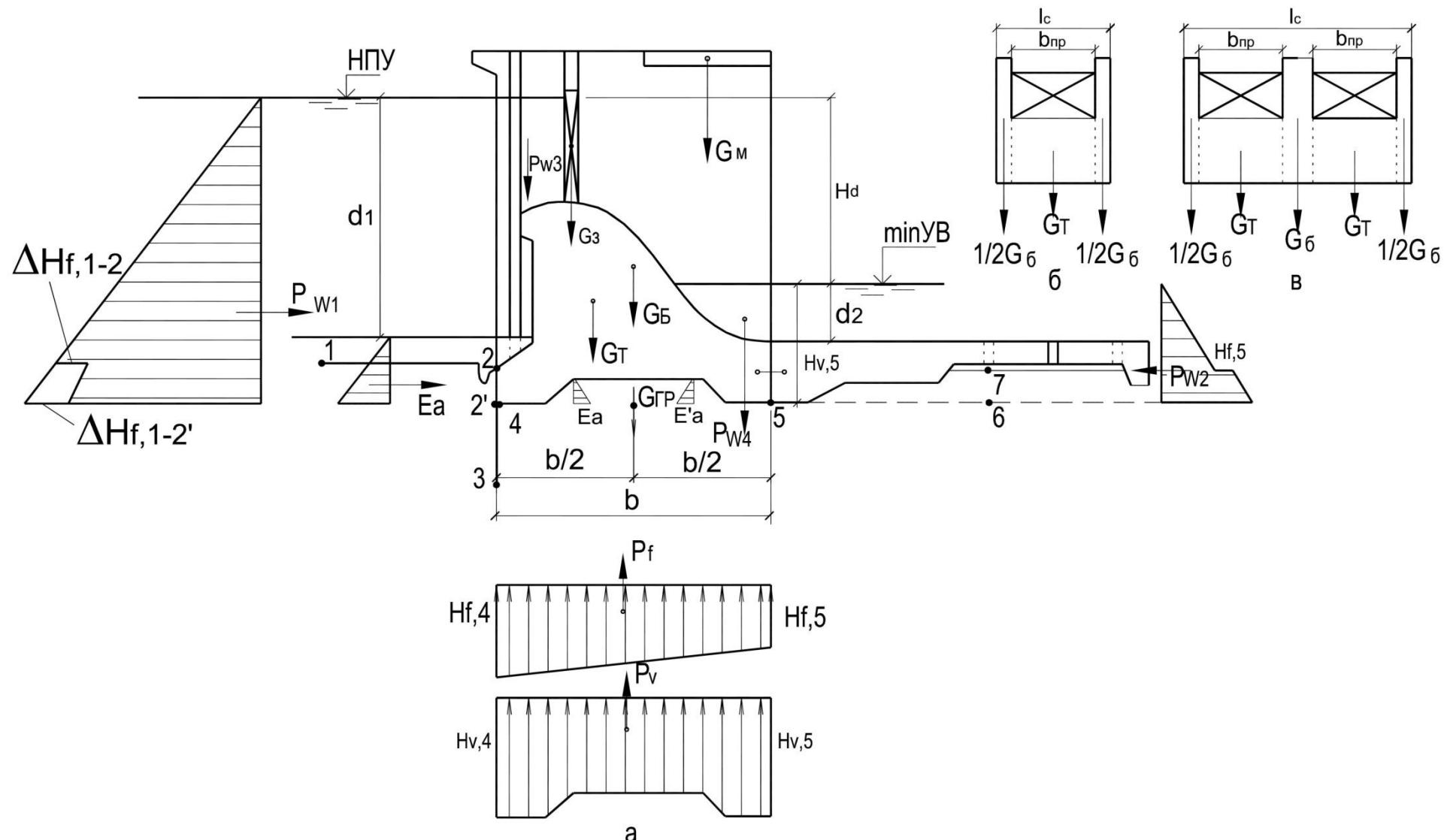


Рис. 4.2. Схема к статическому расчету плотины: а – сбор нагрузок, действующих на плотину;
б, в – возможные варианты секций плотин

Рассмотрим основное сочетание нагрузок для эксплуатационного расчетного случая (рис. 4.2). Для данного случая уровень воды в верхнем бьефе соответствует НПУ, в нижнем – минимальному бытовому.

4.2.1.1. Вертикальные нагрузки

Собственный вес сооружения и находящегося на нем оборудования:

Собственный вес сооружения:

$$G_{nl} = V_{nl} \cdot \gamma_b \quad (4.7)$$

где V_b – объем бетона, включающий все элементы конструкции (тело плотины G_t , быки G_b , полубыки $1/2G'_b$ с учетом разрезки на секции); γ_b – объемный вес бетона ($\gamma_b = \rho_b \cdot g$), кН/м³, принимаемый равным 23,5...24,5 кН/м³.

Вес мостов:

$$G_m = V_m \cdot \gamma_b, \quad (4.8)$$

где V_m – объем бетона мостов, м³.

Вес затворов:

$$G_z = g(P_e \cdot b_{np} \cdot a^{-1})^e, \quad (4.9)$$

где G_z – вес затвора, кН; g – ускорение свободного падения, м²/с; P_e – нагрузка на затвор; b_{np} – ширина пролета в свету, м; e и a – коэффициенты: $e = 0,7$; для плоских поверхностных колесных и скользящих затворов соответственно $a=20$ и 27 ; для сегментных с прямыми и наклонными ногами соответственно $a = 25$ и 15 .

Пригрузка водой со стороны верхнего и нижнего бьефов, соответственно:

$$P_{\omega 3} = \rho_\omega \cdot g \cdot A_{\omega 3} \cdot b_{np} \quad (4.10)$$

$$P_{\omega 4} = \rho_\omega \cdot g \cdot A_{\omega 4} \cdot b_{np} \quad (4.11)$$

где $P_{\omega 3}$, $P_{\omega 4}$ – вес воды со стороны верхнего и нижнего бьефов, кН; g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ_ω – плотность воды, т/м³; $A_{\omega 3}$ и $A_{\omega 4}$ – площади, занятые водой, м²; b_{np} – ширина пролета в свету.

Фильтрационное и взвешивающее противодавление определяют по формулам:

$$P_f = \rho_\omega \cdot g \cdot A_f \cdot l_c \quad (4.12)$$

$$P_v = \rho_\omega \cdot g \cdot A_v \cdot l_c, \quad (4.13)$$

где P_f и P_v – соответственно фильтрационное и взвешивающее противодавление, кН;

A_f , A_v – площади эпюр соответственно фильтрационного и взвешивающего противодавления, l_c – длина секции (расстояние между смежными температурно-осадочными швами).

Ординаты эпюры взвешивающего давления определяются как разность отметок расчетного уровня в нижнем бьефе и соответствующей точкой подошвы сооружения.

Вес грунта, заключенный между подошвой и плоскостью сдвига:

$$G_{ep} = V_{ep} \cdot \rho_{os} \cdot g, \quad (4.14)$$

где V_{ep} – объем грунта; ρ_{os} – плотность во взвешенном состоянии:

$$\rho_{os} = \rho_d - \rho_\omega (1-n), \quad (4.15)$$

где ρ_d и ρ_ω – плотность сухого грунта, кг/м³, и воды, кг/м³, n – пористость грунта.

4.2.1.2. Горизонтальные нагрузки

Гидростатическое давление со стороны верхнего и нижнего бьефов равно:

$$P_{\omega 1} = \rho_\omega \cdot g \cdot A_{\omega 1} \cdot l_c, \text{ кН} \quad (4.16)$$

$$P_{\omega 2} = \rho_\omega \cdot g \cdot A_{\omega 2} \cdot l_c, \text{ кН} \quad (4.17)$$

где $A_{\omega 1}$, $A_{\omega 2}$ – площадь эпюры гидростатического давления с учетом фильтрационного давления.

Давление грунта.

Активное давление E_a со стороны верхнего бьефа определяется по зависимости:

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \rho_{os} \cdot g \cdot h_a^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_I}{2} \right) \cdot l_c.$$

Пассивное давление E_p :

$$E_{\Pi} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{as} \cdot g \cdot h_n^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_I}{2} \right) \cdot l_c$$

Значения E' а и E' п ввиду малости величин могут быть опущены.

При наличии наносов в верхнем бьефе действующая сила определяется с учетом объемного веса наносов во взвешенном состоянии (в этом случае, необходимо также учитывать пригрузку плотины наносами).

Давление льда и волновое давление при необходимости может быть определено в соответствии с рекомендациями и требованиями СП (в курсовом проекте эти воздействия не рассматриваются).

При устройстве анкерного понура (рис. 4.3), наряду с вышеуказанными нагрузками, учитывают вес понура и пригрузку его водой P_{ω} , взвешивающее и фильтрационное противодавление на понур. При устройстве дренажа под понуром действие фильтрационного противодавления на подошву плотины полностью снимается.

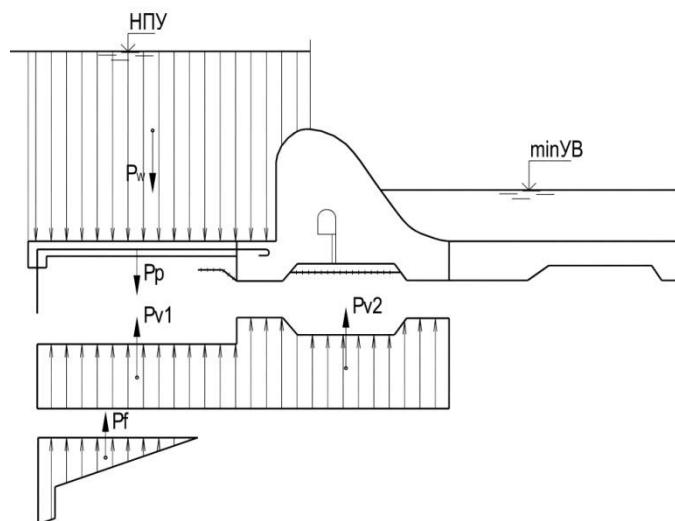


Рис. 4.3. Схема к расчету устойчивости плотины с анкерным понуром

4.2.2. Определение контактных напряжений по подошве плотины

Величины нормальных контактных напряжений плотин на нескальном основании определяют методами сопротивления материалов. Контактные краевые напряжения в основании фундаментной плиты секции плотины (рис. 4.4) следует определять по формуле:

$$\sigma_{A,B,C,D} = -\frac{P}{A} \pm \frac{M_x}{W_x^i} \pm \frac{M_y}{W_y^i} \quad (4.18)$$

где P – нормальная сила (с учетом противодавления), МН; A – площадь секции плотины, м^2 ; M_x, M_y – изгибающие моменты относительно главных осей инерции подошвы плотины, МН·м; W_x^i, W_y^i – моменты сопротивления подошвы плотины для соответствующих угловых точек А, В, С, Д относительно главных осей инерции, м^3 .

При разбивке на секции, как правило, получается симметричная относительно оси X конструкция и, следовательно, моменты $M_x = 0$.

Тогда расчетная формула (4.18) приобретает вид:

$$\sigma_{A,B,C,D} = -\frac{P}{A} \pm \frac{M_y}{W_y}, \quad (4.19)$$

где $A = b \cdot l_c$; b – ширина плотины по основанию в направлении потока воды.

$$W = \frac{l_c \cdot b^2}{6}. \quad (4.20)$$

Моменты сил принимают относительно центра тяжести плоскости подошвы плотины (точка O , рис. 4.2).

Моменты сил, приложенных к плотине, действующие по часовой стрелке, принимаются со знаком плюс, против часовой стрелки – со знаком минус. Растягивающие напряжения принимают со знаком плюс, а сжимающие – со знаком минус.

Полученные по формуле (4.19) напряжения являются напряжениями в точках 4 и 5 (рис. 4.2).

Напряжения в основании определяют для двух расчетных случаев:

- эксплуатационного, соответствующего нормальному режиму эксплуатации;
- строительного, при отсутствии воды в верхнем бьефе.

В курсовом проекте можно ограничиться эксплуатационным случаем.

Подсчет моментов сил для удобства может быть сведен в таблицу.

Название сил	Формула	Значение, MH	Значение коэф. надежности по нагрузке γ_f	$(3)x(4)$	Плечо силы $l, \text{м}$	Момент $MH \cdot \text{м}$
1	2	3	4	5	6	7

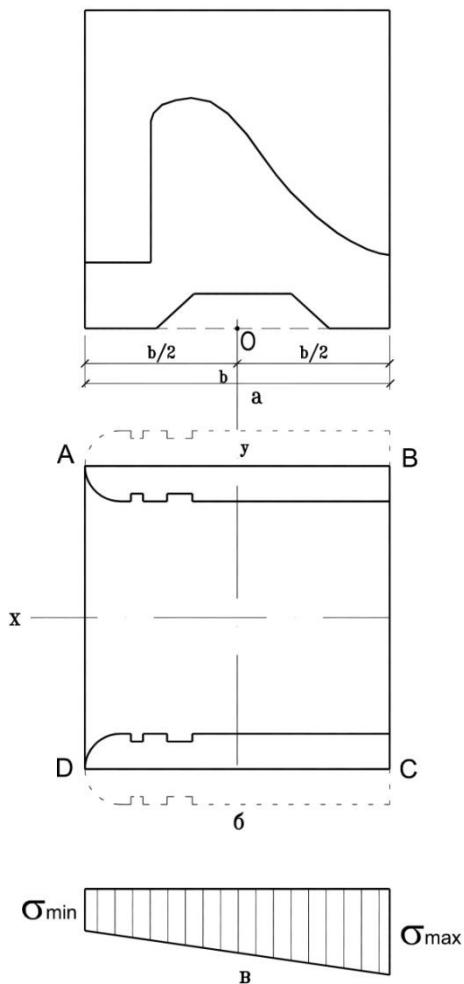


Рис. 4.4. Схема к определению контактных напряжений в основании сооружений: а – разрез; б – план; в – эпюра напряжений

Значение коэффициентов надежности по нагрузке принимается в соответствии с [8]. В частности, для гидростатического давления, противодавления $\gamma_f = 1$; для собственного веса сооружения $\gamma_f = 1.05$, бокового давления грунта $\gamma_f = 1.2$ и т.д.

Полученные краевые напряжения σ_{\min} и σ_{\max} должны удовлетворять следующим условиям:

$$\sigma_{\min} < 0 \quad (4.21)$$

$$\gamma_{l_c} |\sigma_{\max}| \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} [\sigma], \quad (4.22)$$

где γ_{l_c} – коэффициент сочетания нагрузок; γ_c – коэффициент условий работы;

γ_n – коэффициент надежности, $[\sigma]$ – допустимые напряжения грунта основания на сжатие.

$$K_{np} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}}, \quad (4.23)$$

где K_{np} – коэффициент неравномерности нагрузок.

Допустимые значения коэффициента неравномерности нагрузок для оснований: из связных грунтов составляют 1,5...2,0; из несвязных – 2,0...3,0.

4.2.3. Расчет устойчивости секции плотины

Расчеты устойчивости плотины на нескальном основании выполняются для секции плотины по методу предельных состояний. Условием, обеспечивающим недопущение предельного состояния, является выражение:

$$\gamma_{lc} \cdot F \leq R \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_n}, \quad (4.24)$$

где F и R – соответственно, расчетные значения обобщенного силового воздействия и обобщенной несущей способности сооружения; γ_c – коэффициент условий работы, принимаемый для бетонных и железобетонных сооружений на нескальном основании равным 1,0.

Необходимо учитывать возможность возникновения трех форм сдвига: плоского (по контакту с основанием), смешанного (с частью основания), и глубинного (поверхность сдвига располагается полностью в основании).

Расчет устойчивости бетонных плотин, основания которых сложены песчаными, крупнообломочными твердыми и полутвердыми, пылевато-глинистыми грунтами, производится по схеме плоского сдвига при выполнении условия:

$$N_\sigma = \frac{\sigma_{\max}}{b \cdot \gamma_I} \leq N_0 \quad (4.25)$$

При основаниях, сложенных пластичными, туго- и мягкопластичными пылевато-глинистыми грунтами, плоский сдвиг будет иметь место при выполнении, кроме условия (4.25), также условия:

$$\operatorname{tg} \psi_I = \operatorname{tg} \varphi_I + \frac{C_I}{\sigma_m} \geq 0,45 \quad (4.26)$$

В формулах (4.25)...(4.26):

N_σ – число моделирования;

σ_{max} – максимальное (по модулю) нормальное контактное напряжение под подошвой плотины;

b – ширина подошвы тела плотины;

γ_I – объемный вес грунта во взвешенном состоянии;

N_0 – безразмерный критерий, принимаемый для плотных песков равным 1,0, для остальных грунтов равным 3,0;

$\operatorname{tg} \psi_I$ – расчетное значение коэффициента сдвига;

$\operatorname{tg} \varphi_I, C_I$ – расчетное значение, соответственно, угла внутреннего трения и сцепления; (принимаются в соответствии с характеристиками грунта основания).

σ_m – среднее напряжение (по модулю) по подошве:

$$\sigma_m = \frac{|\sigma_{min} + \sigma_{max}|}{2}.$$

В этом случае, если условия плоского сдвига не выполняются, имеет место смешанный и глубинный сдвиг.

При расчете устойчивости плотины по схеме плоского сдвига по горизонтальной плоскости величины F и R , входящие в выражение (4.24), определяются по формулам:

$$R = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_I + \gamma_c^I \cdot Ep, tw + A \cdot C_I \quad (4.27)$$

$$F = Thw + Ea, hw - Ttw \quad (4.28)$$

где F, R – соответственно расчетные значения обобщенного силового воздействия и обобщенной несущей способности;

P – сумма вертикальных составляющих расчетных нагрузок (включая противодавление);

$\operatorname{tg} \varphi_I, c_I$ – характеристики грунта;

γ'_e – коэффициент условий работы, принимаемый равным 0,7.

$Ep, tw; Ea, hw$ – соответственно расчетные значения горизонтальных составляющих силы пассивного давления грунта с низовой стороны сооружения и активного давления грунта с верховой стороны;

$A=b \cdot l_c$ – площадь горизонтальной проекции подошвы сооружения;

$T_{h\omega}$, $T_{t\omega}$ – суммы горизонтальных составляющих расчетных значений активных сил, действующих соответственно со стороны верховой и низовой грани сооружения, за исключением активного давления грунта.

При несоблюдении неравенства необходимо предусмотреть мероприятия по уменьшению фильтрационного давления, а на связных грунтах устройство анкерного понура. Только после этого может рассматриваться вопрос о повышении устойчивости плотины за счет изменения размеров ее тела.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

5.1. СТРУКТУРА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Целью КП является получение обучающимися теоретических и практических знаний и приобретение умений и навыков, касающихся основных принципов проектирования и обеспечения безопасной эксплуатации водосливных плотин на нескользких основаниях.

Структура КП по проектированию водосливной плотины, перечень разделов и их нумерация, приведенные далее в примере оглавления пояснительной записки, с целью удобства использования даны в той последовательности, которая является предпочтительной при проектировании сооружений гидроузла в процессе выполнения курсовых проектов, курсовых работ и выпускных квалификационных работ. Кроме того, указана литература, которой необходимо воспользоваться при изучении и написании соответствующих разделов КП.

Варианты исходных данных выдаются в начале изучения курса и выполнения курсового проекта.

При оформлении пояснительной записки следует придерживаться действующих нормативных правил, приведённых в учебной и методической литературе.

5.2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

5.2.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОБЪЕМ ПРОЕКТА

Курсовой проект выполняется студентами на основе индивидуального задания, выдаваемого ведущим преподавателем в сроки, указанные учебной частью.

В задании на проектирование приводятся:

1. План речной долины в районе створа гидроузла.
2. Расчетные расходы воды в бытовых условиях.
3. Зависимость между уровнями воды и расходами в бытовых условиях в виде графика Q , $\text{м}^3/\text{с} = f(h, m)$.
4. Расходы воды в период строительства.
5. Геологический разрез по створу плотины.
6. Геотехнические и фильтрационные характеристики грунтов в створе.
7. Отметка нормального подпорного уровня (∇ НПУ).
8. Наивысшая отметка уровня воды в верхнем бьефе (∇ ФПУ).
9. Класс основных сооружений гидроузла.

Курсовой проект включает пояснительную записку объемом 20...25 страниц машинописного текста, сопровождающую расчетными схемами и графическую часть на одном листе ватмана размером 594x841 мм.

Пояснительная записка должна содержать задание на проектирование и следующие разделы:

1. Описание компоновки и выбор створа гидроузла.
2. Расчет и конструирование водосливной плотины.
 - 2.1. Составление плановой схемы размещения сооружений гидроузла. Определение числа и ширины пролетов водосливной плотины.
 - 2.2. Определение расхода водосливной плотины.
 - 2.3. Определение отметки порога водосливной плотины и конструирование тела плотины.

- 2.4. Выбор типа и назначение размеров понура.
- 2.5. Расчет сопряжения бьефов и конструирование водобойных устройств нижнего бьефа.
 - 2.5.1. Расчет сопряжения бьефов при пропуске расчетного расхода (при НПУ в верхнем бьефе).
 - 2.5.2. Расчет сопряжения бьефов при пропуска поверочного расхода (при ФПУ в верхнем бьефе).
 - 2.5.3. Расчет сопряжения бьефов при маневрировании затворами.
 - 2.5.4. Окончательный выбор отметки дна водобоя и определение размеров плиты водобоя.
 - 2.5.5. Расчет водобоя на всплытие (выполнить после установления параметров подземного контура плотины).

3. Расчет и конструирование рисбермы и концевых устройств нижнего бьефа.

- 3.1. Назначение размеров и конструирование рисбермы.
- 3.2. Конструирование концевого устройства с учетом возможной глубины размыва грунта основания.

После назначения размеров всех элементов флютбета плотины и его подземного контура необходимо вычертить:

- A. Поперечный профиль водосбросной плотины вдоль потока (на миллиметровке в масштабе 1:200...1:500).
- B. Схемы плотины для определения нагрузок (в том же масштабе):
 - а) поперечное сечение плотины (вдоль потока) без рисбермы и концевого устройства;
 - б) сечение одной секции плотины (в направлении перпендикулярном потоку).

4. Расчет устойчивости плотины на сдвиг и определение напряжений в основании плотины. (Расчет провести для случая: НПУ в верхнем бьефе, уровень в нижнем бьефе – на отметке меженного расхода.)

4.1. Определение нагрузок, действующих на плотину.

4.1.1. Фильтрационные расчеты плотины.

4.1.1.1. Определение фильтрационных давлений на элементы подземного контура методом УКЛ. Построение эпюор фильтрационного и взвешивающего давлений на подошву плотины.

4.1.1.2. Проверка фильтрационной прочности основания плотины.

4.1.2. Построение эпюор давления на плотину со стороны верхнего и нижнего бьефов (с учетом эпюры фильтрационных давлений в подземном контуре).

4.1.3. Построение эпюор давления грунта на элементы тела плотины.

4.1.4. Определение величины пригрузки тела плотины водой со стороны верхнего и нижнего бьефов с учетом размеров секции плотины.

4.1.5. Определение нагрузок от собственного веса элементов тела плотины (водосливная часть, бычки, полубычки).

4.1.6. Определение веса затвора и других элементов плотины (весом моста, подкрановых балок и механизмов для маневрирования затворами можно пренебречь).

4.2. Оценка несущей способности основания тела плотины.

4.2.1. Определение краевых напряжений в основании тела плотины и построение эпюры напряжений.

4.2.2. Оценку, несущей способности основания.

4.3. Проверку устойчивости плотины на сдвиг.

4.3.1. Определение вида возможного сдвига плотины.

4.3.2. Проверку условия устойчивости плотины на сдвиг.

4.3.3. Выводы.

5. Очередность возведения сооружений гидроузла и вопросы пропуска строительных расходов.

5.1. Очередность возведения сооружений гидроузла.

5.2. Расчет пропуска строительных расходов.

5.2.1. Определение отметок перемычек первой очереди строительства при пропуске расчетного строительного расхода.

5.2.2. Определение числа недостроенных пролетов плотины.

5.2.3. Определение отметок перемычек второй очереди строительства при пропуске расчетного строительного расхода.

6. Библиографический список.

Графическая часть проекта должна включать:

1. План гидроузла в масштабе 1:500; 1:1000 или 1:2000.

2. Поперечный разрез по водосливной плотине, включая понур и устройства нижнего бьефа в масштабе 1:200...1:500.

3. План примыкания бетонной плотины (с показом 1...2 пролетов) к грунтовой в масштабе 1:200... 1:500.

4. Поперечный разрез по глухой грунтовой плотине в масштабе 1:400 или 1:500.

5. Профиль по створу гидроузла. Вертикальный (M_B) и горизонтальный (M_T) масштабы могут быть приняты не одинаковыми:

$$M_B = 1:200 \dots 1:500, M_T = 1:500 \dots 1:2000.$$

6. Продольный разрез по водосливной плотине в масштабе 1:200...1:500.

7. Размещение уплотнений и конструкции уплотнений: главного вертикального, горизонтального и контурного.

5.2.2. РАСЧЕТНЫЕ РАСХОДЫ И УРОВНИ ВОДЫ В БЬЕФАХ

При проектировании водопропускных сооружений речных гидроузлов расчетные максимальные расходы воды надлежит принимать, исходя из ежегодной вероятности превышения (обеспеченности), устанавливаемой по СП [8] в зависимости от класса сооружений для двух расчетных случаев – основного и поверочного (см. табл. 2.1).

Пропуск основного расчетного расхода воды $Q_{расч}$ должен обеспечиваться, как правило, при отметке НПУ через все водосбросные пролеты плотины при полном их открытии.

Пропуск поверочного расхода воды $Q_{нов}$ должен обеспечиваться при уровне верхнего бьефа, не превышающем отметку форсированного подпорного уровня.

При значительном количестве водопропускных пролетов (более 6) необходимо рассмотреть возможность работы гидроузла при одном неоткрытом пролете [8].

6. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Исходные данные:

1. Расчетные расходы воды, $\text{м}^3/\text{с}$. Соответствующие уровни воды: по кривой связи $Q = f(h)$.

Наименование расхода	Величина	Отметка уровня
– максимальный основной (Q_p)	1380	106,2
– максимальный поверочный ($Q_{p,нов}$)	1540	106,5
– максимальный строительного периода	350	103,1
– максимальный при перекрытии русла	260	102,8
– минимальный	180	102,5

2. Расчетные отметки уровней воды в верхнем бьефе:

- Нормальный подпорный уровень (НПУ) 111,8
- Форсированный подпорный уровень (ФПУ) 112,5
- Уровень сработки (УМО) 106,5

3. Грунты в основании гравелистые, водоупор на отметке 80,0

4. Отметка дна реки в створе 100,0

5. Толщина льда 0,4 м

6. Сейсмичность, баллы 6

7. Состав сооружений гидроузла: водосливная плотина, плотина из грунтовых материалов, русловая ГЭС, судоходный шлюз.

8. Класс сооружений III.

9. Гидроэлектростанция: 4 агрегата (n_{aep}), расход воды через каждый агрегат $Q_{aep} = 50 \text{ м}^3/\text{с}$.

ПОРЯДОК РАСЧЕТА

6.1. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

6.1.1. Определение ширины водосливного фронта и отметки порога плотины

Расход через водосливную плотину при максимальном основном расходе Q_p составит:

$$\begin{aligned} Q_{\text{в.п.}} &= Q_p - Q_{coop} \\ Q_{coop} &= Q_{ГЭС} = Q_{aep} \cdot n_{aep} = 50 \times 4 = 200 \text{ м}^3/\text{с} \\ Q_{\text{в.п.}} &= 1380 - 200 = 1180 \text{ м}^3/\text{с} \end{aligned}$$

Удельные расходы для данных грунтов основания (гравелистых) могут быть приняты $q = 15 \dots 25 \text{ м}^2/\text{с}$.

Удельные расходы могут быть также определены по выражению (3.3).

$$\begin{aligned} q &= 1.7 \cdot V_{h,h=1\text{м}} \cdot h^{1.2} \\ q &= 1.7 \cdot 0.96 \cdot 7.2^{1.2} = 17.4 \text{ м}^2/\text{с}. \end{aligned}$$

Принимаем значение удельных расходов

$$q = 20 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Определяем ширину водосливного фронта:

$$B_{nл} = \frac{Q_{\text{в.п.}}}{q} = \frac{1180}{20} = 59 \text{ м.}$$

Принимаем 5 стандартных пролётов по 12 м каждый.

В соответствии с рекомендациями раздела 2.3 назначаем размеры быков и предусматриваем разрезку плотины сквозными деформационными швами. Выделяем центральную однопролётную секцию и две крайние – двухпролётные (рис. 6.1).

В зависимости от ширины пролета (равной 12 м) принимаем толщину неразрезных быков равной $d = 2,5 \text{ м}$, разрезных – $d' = 3,5 \text{ м}$. Общая ширина плотины с учетом толщины быков равна:

$$B'_{nл} = 12 \cdot 5 + 2,5 \cdot 2 + 3,5 \cdot 2 = 72 \text{ м.}$$

Ширина водосливного фронта составит:

$$B_{nл} = b \cdot n = 12 \times 5 = 60 \text{ м.}$$

Уточненное значение удельного расхода:

$$q_e = \frac{Q_{e,n}}{B_{n,n}} = \frac{1180}{60} = 19,7 \text{ м}^2/\text{с.}$$

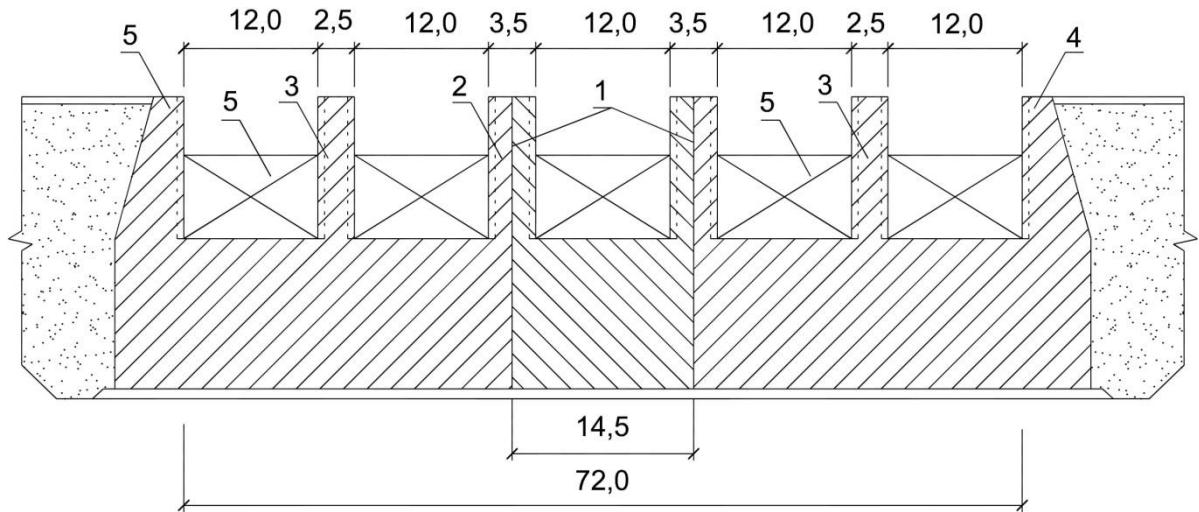


Рис. 6.1. Схема разрезки водосливной плотины деформационными швами: 1 – сквозные деформационные швы; 2 – разрезные быки; 3 – неразрезные быки; 4 – устои; 5 – затворы

Для уточненных значений удельных расходов определяем напор на пороге водослива (рис. 6.2) (первое приближение); для данного расчетного случая принимаем значения $\sigma_n = 1$, $\varepsilon = 1$, $m = 0,49$ (коэффициент расхода m принимает в данном случае равным 0,49 предполагая, что водосливной оголовок плотины будет выполняться практического профиля, криволинейным, безвакуумным) [12]:

$$q_e = \sigma_n \cdot \varepsilon \cdot m \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2}$$

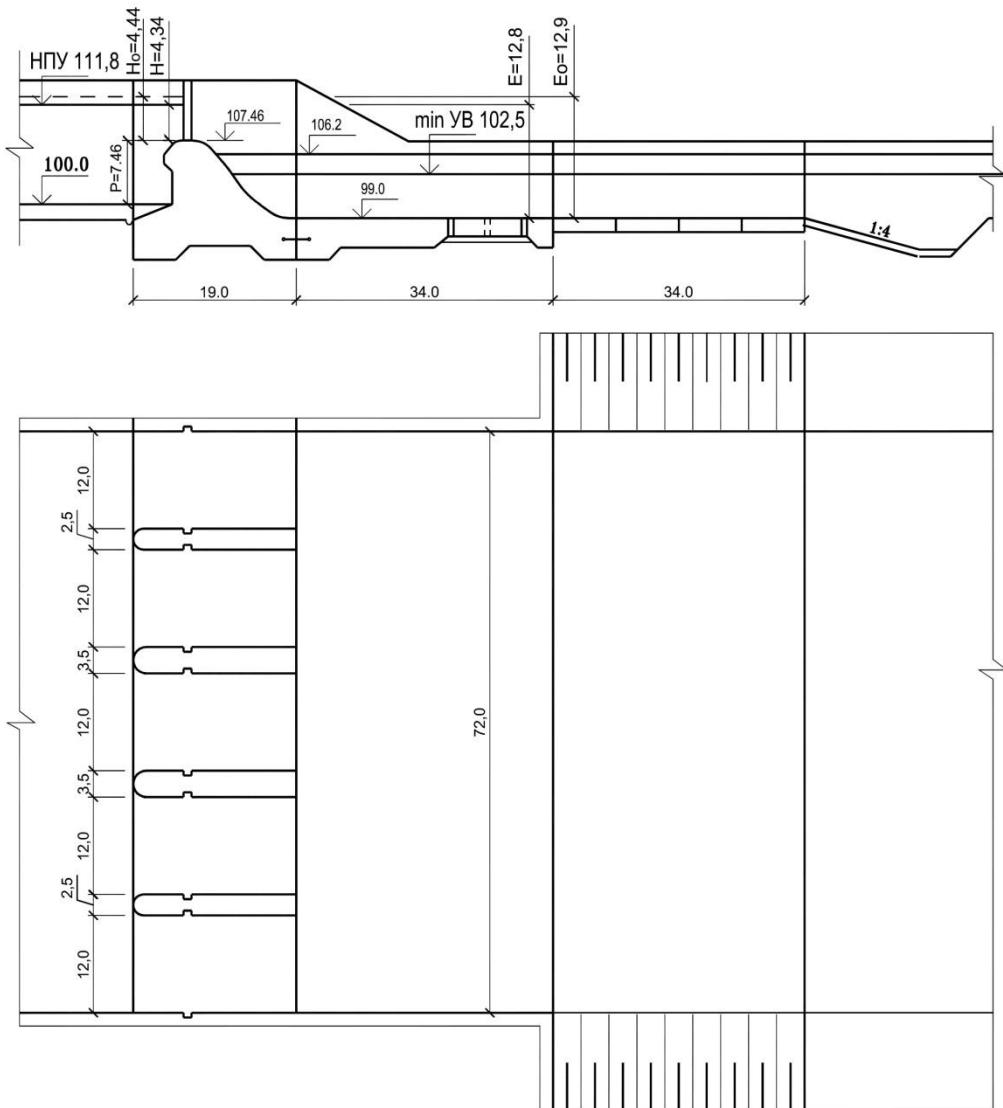
$$H_0 = \sqrt[3]{\frac{19,7^2}{1^2 \cdot 1^2 \cdot 0,49^2 \cdot 2 \cdot 9,81}} = 4,35 \text{ м.}$$

$$H \approx H_0 = 4,35 \text{ м.}$$

По 3.7 находим значение ε

$$\varepsilon = 1 - a \frac{H_0}{b + H_0} = 1 - 0,11 \frac{4,35}{12 + 4,35} = 0,97.$$

Уточняем значение коэффициента подтопления. Сравнение глубин на пороге водослива $H = 4,35$ м (отметка порога = НПУ – 4,35 м = 107,45) и величины подтопления равной разности отметок воды в нижнем бьефе при пропуске максимального основного расхода (106,2) и отметки порога (107,45) показывает, что водослив не подтоплен, т.е. $\sigma_n = 1$.



**Рис. 6.2. Схема к гидравлическому расчету водосливной плотины
(пропуск максимального основного расхода)**

$$H_0 = \sqrt[3]{\frac{19,7^2}{1 \cdot 0,97^2 \cdot 0,49^2 \cdot 2 \cdot 9,81}} = 4,44 \text{ m.}$$

Скорость подхода

$$V_0 = \frac{Q_{e.n.}}{B'_{n_l}(H+P)} = \frac{1180}{72(4,44 + 7,46)} = 1,4 \text{ m/c},$$

где $B'_{\text{пл}} = 72$ м.

$$H = H_0 - \frac{V_0^2}{2g} = 4,44 - \frac{1,4^2}{2 \cdot 9,81} = 4,34 \text{ m.}$$

Отметка порога плотины

$$\nabla_{\text{пор. пл.}} = 111,8 - 4,34 = 107,46 \text{ м.}$$

при НПУ

Пропуск поверочного расхода

$$Q_{\text{в.п.нов.}} = Q_{\text{р.нов.}} - Q_{\text{coop.}} = 1540 - 200 = 1340 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Напор на пороге составит (коэффициент бокового сжатия ε принимаем таким же, как и в предыдущем расчете, а водослив не подтопленным, т.е. $\sigma_{\text{n}} = 1$, условие подтопления уточняется после определения напора при пропуске максимального поверочного расхода):

$$H_0 = \sqrt[3]{\frac{Q_{\text{в.п.нов.}}}{\sigma^2 \cdot \varepsilon^2 \cdot m^2 \cdot \epsilon_{np}^2 \cdot n^2 \cdot 2g}} = \sqrt[3]{\frac{1340^2}{1^2 \cdot 0,97^2 \cdot 0,49^2 \cdot 12^2 \cdot 2 \cdot 9,81}} = 4,83 \text{ м},$$

скорость подхода

$$V_0 = \frac{Q_{\text{в.п.нов.}}}{B_{\text{нл.}}(H + P)} = \frac{1340}{72(4,83 + 7,46)} = 1,53 \text{ м/с.}$$

$$H = H_0 - \frac{V_0^2}{2g} = 4,83 - \frac{1,53^2}{2 \cdot 9,81} = 4,71 \text{ м.}$$

Отметка порога плотины по расчету при пропуске $Q_{\text{в.п.нов.}}$:

$$\nabla_{\text{пор. пл.}} = \nabla_{\Phi\text{ПУ}} - H_{\text{при } \Phi\text{ПУ}} = 112,5 - 4,71 = 107,79 \text{ м.}$$

Т.к. отметка порога получилась выше, чем при пропуске расчетного расхода в качестве расчетной принимается отметка, полученная при пропуске расчетного расхода, т.е. 107,46, а отметка ФПУ может быть понижена.

Новое значение ФПУ составит:

$$\nabla_{\Phi\text{ПУ}} = 107,46 + 4,71 = 112,17 \text{ м.}$$

В последующих расчетах в качестве форсированного подпорного уровня принимается отметка 112,17 м.

Если при пропуске максимальных поверочных расходов окажется, что водослив подтоплен, расчет необходимо повторить при новых значениях σ_{n} .

6.1.2. Расчет сопряжения с нижним бьефом

Определение сопряженных глубин в примере выполнено по методу Агроскина И.И.

Пропуск расчетного расхода.

$$\Phi(\tau_c) = \frac{q}{\varphi \cdot E_0^{3/2}} = \frac{19,7}{0,95 \cdot 12,9^{3/2}} = 0,425.$$

Первоначально принимаем отметку верха плиты водобоя равной 99,0 (предварительно она может быть назначена на 0...1,5 м ниже отметки дна).

$$E_0 = HPU - 99,0 + \frac{V^2}{2g} = 111,8 - 99,0 + \frac{1,4^2}{19,62} = 12,9.$$

По значению $\Phi(\tau_c) = 0,425$

$$\begin{aligned}\tau_c &= 0,10; \quad \tau''_c = 0,49 \\ h' &= \tau_c \cdot E_0 = 0,1 \times 12,9 = 1,29 \text{ м} \\ h'' &= \tau''_c \cdot E_0 = 0,49 \times 12,9 = 6,32 \text{ м.}\end{aligned}$$

Надвинутый прыжок обеспечивается при выполнении условия

$$\alpha h'' \leq h_{puc} + d,$$

где h_{puc} – глубина потока на рисберме (отметка дна рисбермы предварительно принимается на 0...1,0 м ниже отметки дна реки; в данном примере отметка рисбермы принята на 1 метр ниже отметки дна, т.е. в данном случае $h_{puc} = h_\delta + 1$, где h_δ – глубина воды в отводящем русле реки);

α – коэффициент затопления прыжка, который принимается равным 1,05...1,1.

d – глубина водобойного колодца, равная разнице отметок рисбермы и водобойной плиты; в данном примере предварительно принято $d = 0$.

Так как $h'' = 6,32$, то $1,05 \cdot 6,32 = 6,64 < h_{puc} = 7,2$, следовательно, прыжок надвинутый.

Длина гидравлического прыжка составит:

$$l_{\text{пр.}} = (5,5 \dots 5,2) \quad h'' = (5,5 \dots 5,2) \cdot 6,32 = 33,5 \text{ м.}$$

Длина водобоя (гладкий водобой без гасителей) может быть принята

$$l_{\text{в.}} = (1 \dots 1,25) \quad l_{\text{пр.}} = 34,0 \text{ м.}$$

Длина рисбермы

$$L_p = (1 \dots 2) \quad l_{\text{в.}}$$

Принимаем $L_p = 34,0 \text{ м.}$

Проверка сопряжения при пропуске поверочного расхода

$$\Phi(\tau_c) = \frac{q}{\varphi \cdot E_0^{3/2}} = \frac{22,33}{0,95 \cdot 13,3^{3/2}} = 0,48,$$

где $q = \frac{1340}{5 \cdot 12} = 22,33 \text{ м}^2/\text{с}$

$$E_0 = 112,17 - 99,0 + \frac{1,53^2}{19,62} = 13,3 \text{ м.}$$

По значениям $\Phi(\tau_c)$ находим:

$$\tau_c = 0,115 \quad \tau''_c = 0,514$$

$$h' = \tau_c \cdot E = 0,115 \cdot 13,3 = 1,53 \text{ м}$$

$$h'' = \tau_c \cdot E = 0,514 \cdot 13,3 = 6,84 \text{ м.}$$

Проверяем сопряжение бьефов при пропуске поверочного расхода по условию (при $d = 0$)

$$\alpha h'' \leq h_{puc} + d,$$

Так как $h'' = 6,84 \text{ м}$, то $1,05 \cdot 6,84 = 7,18 \text{ м} < h_{puc} = 7,5 \text{ м}$, следовательно, прыжок надвинутый.

6.1.3. Расчет сопряжения с нижним бьефом при маневрировании затворами

Расчет проводим для случая НПУ в верхнем бьефе.

Открытие затворов (*a*) принимаем равным $0,2 \cdot H = 0,2 \cdot 4,34 = 0,87 \text{ м}$.

Расход через один пролет составит [3, 12, 13]

$$q_3 = \varphi \cdot \varepsilon a b \sqrt{2g(H_0 - \varepsilon a)} = \\ 0,95 \cdot 0,62 \cdot 0,87 \cdot 12 \sqrt{2 \cdot 9,81(4,44 - 0,62 \cdot 0,87)} = 54,8 \approx 55 \text{ м}^3/\text{с},$$

где ε – коэффициент вертикального сжатия, принимаемый в зависимости от отношения a/H : при $a/H = 0,2$, $\varepsilon = 0,62$ [3,12];

b – ширина пролета.

$$Q_{man.} = q_3 n = 55 \cdot 5 = 275 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Удельные расходы на водобое составят:

$$q_{M,3am.} = \frac{275}{72} = 3,82 \text{ м}^2/\text{с.}$$

Скорость подхода

$$V_0 = \frac{Q_{man.}}{B'_{n1}(H+P)} = \frac{275}{72(4,44+7,45)} = 0,32 \text{ м/с.}$$

$$E_0 = HPU - 99,0 + \frac{V^2}{2g} = 111,8 - 99,0 + \frac{0,32^2}{19,62} = 12,8$$

$$\Phi(\tau_c) = \frac{q_{M.zam}}{\varphi \cdot E_0^{3/2}} = \frac{3,82}{0,95 \cdot 12,8^{3/2}} = 0,088.$$

$$\tau_c = 0,0196 \quad \tau''_c = 0,242,$$

$$h' = \tau_c \cdot E_0 = 0,0196 \cdot 12,8 = 0,22 \text{ м},$$

$$h'' = \tau''_c \cdot E_0 = 0,242 \cdot 12,8 = 3,10 \text{ м}.$$

Отметка в отводящем русле при пропуске расхода 275 м³/с составляет – 102,7 м, соответственно $h_{puс} = 3,7$ м.

Так как $h'' = 3,10$, то $1,05 \cdot 3,10 = 3,26 < h_{puс} = 3,7$, следовательно, прыжок надвинутый.

Учитывая, что для всех проверенных режимов сопряжения обеспечивается надвинутый прыжок с надлежащим коэффициентом затопления, в качестве окончательного конструктивного решения оставляем гладкий водобой с отметкой плиты водобоя равной 99,0 и рисбермой с отметкой дна равной 99,0.

6.1.4. Глубина размыва за рисбермой

Принимаем рисберму нерасширяющейся в плане, ширина ее будет равна общей ширине водосливного фронта с быками, т.е. 72 м.

Расчет размывов ведем для случая пропуска максимального основного расхода. Определяем вероятную глубину размыва за рисбермой по формуле (2.31)

$$h_p = K_p \cdot \chi^{0,8} \sqrt[1,25]{\frac{q}{V_{H,h=1m}}} = 1,1 \cdot 1,2^{0,8} \sqrt[1,25]{\frac{16,4}{0,9}} = 12,9 \text{ м},$$

где q – удельный расход на выходе с рисбермы равный $q = \frac{1180}{72} = 16,4 \text{ м}^2/\text{с}$;

$V_{H, h=1m}$ – неразмывающая скорость для грунта за рисбермой, при глубине потока 1м.

Отметка дна воронки размыва составит:

$$106,2 - 12,9 = 93,3 \text{ м.}$$

Глубина размыва непосредственно грунта за рисбермой составит

$$99,0 - 93,3 = 5,7 \text{ м.}$$

Полученная глубина размыва не превышает величину разумно допускаемого размыва, поэтому дополнительные конструктивные мероприятия по снижению глубины размыва (например, выполнение рисбермы с расширением в плане и возможным ее удлинением) не предусматриваются.

6.2. ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ ПЛОТИНЫ

Для выбранной схемы (рис. 6.3) подземного контура расчет выполняем методом УКЛ для расчетного случая соответствующего уровням: в верхнем бьефе – НПУ, а в нижнем – минимальный уровень воды.

Действующий напор составит

$$H_o = \nabla \text{НПУ} - \nabla \text{min УВ} = 111,8 - 102,5 = 9,3 \text{ м.}$$

Размеры и конструкцию элементов подземного контура предварительно назначаем в соответствии с действующим напором и видом грунтов основания (см. рис. 6.3).

Активная зона фильтрации по напору $T'_{\text{акт}}$ принятая в зависимости от соотношения $\frac{l_0}{S_0} = \frac{55,0}{13,5} = 4$ составит 33,8 м ($2,5 S_0$). Так как $T'_{\text{акт}} > T_d$ принимаем $T'_p = T_d$.

Активная зона по выходному градиенту $T''_{\text{акт}} = 2T'_{\text{акт}} = 2 \cdot 33,8 = 67,6 \text{ м} > T_d$.

Принимаем $T''_p = T_d$.

Определяем $T_{cp} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} = \frac{19 + 16 + 16}{3} = 17,0 \text{ м.}$

Потери на вход и выход составят

$$\lambda = 0,44 \quad T_{cp} = 0,44 \cdot 17,0 = 7,60 \text{ м.}$$

Строим удлиненную контурную линию и определяем фильтрационное давление на плотину (значение $H_{f4} = 4,84 \text{ м}, H_{f5} = 2,98 \text{ м}$).

Проверка фильтрационной прочности грунтов основания.

Общая фильтрационная прочность

$$J_{est,m} = \frac{H_d}{l_{d,im}} = \frac{9,3}{95,0} = 0,098$$

$$J_{est,m} = 0,1 < \frac{J_{cr}}{\gamma_n} = \frac{0,48}{1,15} = 0,42$$

Следовательно, общая фильтрационная прочность грунтов основания обеспечена.

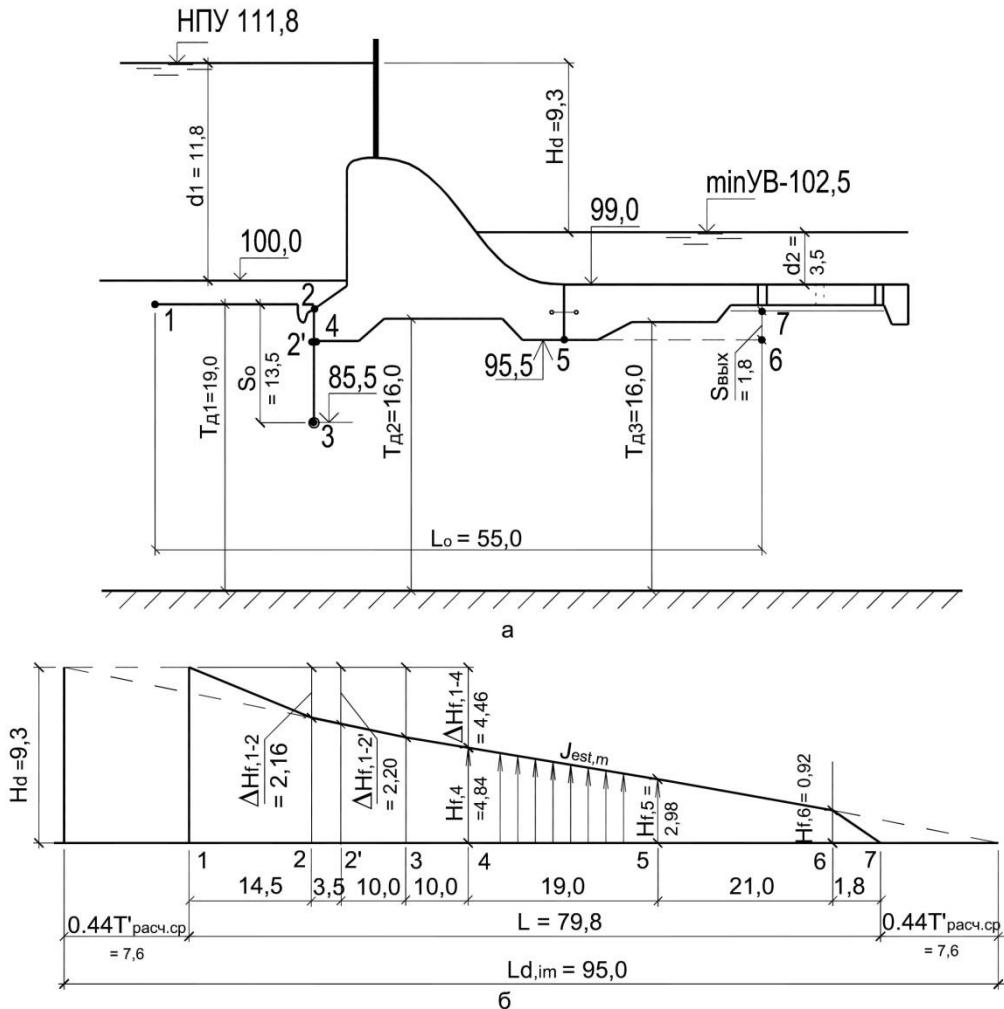


Рис. 6.3. Фильтрационный расчет флютбета:
а – схема флютбета; б – вспомогательный график для определения
фильтрационных напоров в подземном контуре.

Местная фильтрационная прочность проверяется в местах выхода фильтрационного потока на участке 6 – 7.

$$J_{est} = \frac{H_{f,6-7}}{S_{вых}} = \frac{0,92}{1,5} = 0,61$$

Так как

$$J_{est} = 0,61 < \frac{J_{cr}}{\gamma_n} = \frac{1,0}{1,15} = 0,87,$$

то фильтрационная прочность грунтов на выходе фильтрационного потока в нижнем бьефе обеспечена.

Удельный фильтрационный расход составит

$$q = \kappa \cdot T_{\text{ср}} \cdot \frac{H_d}{l_{d,im}} = 18,0 \cdot 17,0 \frac{9,3}{95} = 30,0 \text{ м}^2/\text{сут},$$

где $k = 18 \text{ м}/\text{сут}$ – коэффициент фильтрации грунта основания.

6.3. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОСЛИВНОЙ ПЛОТИНЫ

6.3.1. Сбор нагрузок

Расчетная схема приведена на рис. 6.4 а; расчет выполняем для однопролетной секции (рис. 6.4 б).

Вертикальные нагрузки

Собственный вес сооружения

$$G_\delta = G_t + \frac{1}{2}G_\delta + \frac{1}{2}G_\delta = (V_t + V_\delta) \cdot \gamma_\delta,$$

где V_t, V_δ – объем соответственно тела плотины и двух полубыков;

γ_δ – объемный вес бетона равный 23,5...24,5 кН/м³.

Вес тела плотины

$$G_t = V_t \cdot \gamma_\delta = 1620 \cdot 24 = 38880 \text{ кН.}$$

Вес двух полубыков

$$G_\delta = V_\delta \cdot \gamma_\delta = 1296 \cdot 24 = 31100 \text{ кН.}$$

Вес моста

$$G_m = V_m \cdot \gamma_\delta = 50 \cdot 24 = 1200 \text{ кН,}$$

где V_m – объем бетона моста.

Вес затвора

$$G_3 = g(P \cdot b_{np} a^{-1})^b$$

$$G_3 = g \left(\frac{4,71^2 \cdot 12}{2} \cdot 12 \frac{1}{20} \right)^{0,7} = 210,5 \text{ кН.}$$

Пригрузка водой со стороны верхнего и нижнего бьефов соответственно

$$P_{w3} = \rho_w \cdot g \cdot A_{w3} \cdot b_{np} = 1 \cdot 9,81 \cdot 48 \cdot 12 = 5650 \text{ кН,}$$

$$P_{w4} = \rho_w \cdot g \cdot A_{w4} \cdot b_{np} = 1 \cdot 9,81 \cdot 8 \cdot 12 = 942 \text{ кН,}$$

где P_{w3}, P_{w4} – вес воды со стороны верхнего и нижнего бьефа, кН;

ρ_w – плотность воды, т/м³;

A_{w3}, A_{w4} – площади, занятые водой, м²;

b_{np} – ширина пролета в свету.

Фильтрационное и взвешивающее противодавление.

Фильтрационное давление

$$P_f = \rho_w \cdot g \cdot A_f \cdot l_c = 1 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{4,84 + 2,98}{2} \cdot 19 \right) \cdot 15,5 = 11296 \text{ кН},$$

Взвешивающее давление

$$P_v = \rho \cdot g \cdot A_v \cdot l_c = 1 \cdot 9,81 \cdot 133 \cdot 15,5 = 20223 \text{ кН}.$$

P_f и P_v – соответственно, фильтрационное и взвешивающее противодавление;

A_f и A_v – площади эпюр соответственно фильтрационного и взвешивающего противодавления;

l_c – длина секции плотины.

Горизонтальные нагрузки

Гидростатическое давление воды со стороны верхнего и нижнего бьефов.

$$P_{w1} = \rho_w \cdot g \cdot A_{w1} \cdot l_c = 1 \cdot 9,81 \cdot 119,1 \cdot 15,5 = 19174 \text{ кН},$$

$$P_{w2} = \rho_w \cdot g \cdot A_{w2} \cdot l_c = 1 \cdot 9,81 \cdot 30,5 \cdot 15,5 = 4638 \text{ кН}.$$

Активное давление грунта со стороны верхнего бьефа

$$E_a = \frac{1}{2} \rho_{ws} \cdot g \cdot h^2 \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_1}{2} \right) l_c = \frac{1}{2} \cdot 1,10 \cdot 9,81 \cdot 4,5^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{38^\circ}{2} \right) 15,5 = 389,5 \text{ кН},$$

где $\rho_{ws} = \rho_d - \rho_w (1 - n) = 1,76 - 1(1 - 0,34) = 1,10 \text{ т/м}^3$.

Значения E_p , E'_a и E'_n ввиду малости могут не учитываться.

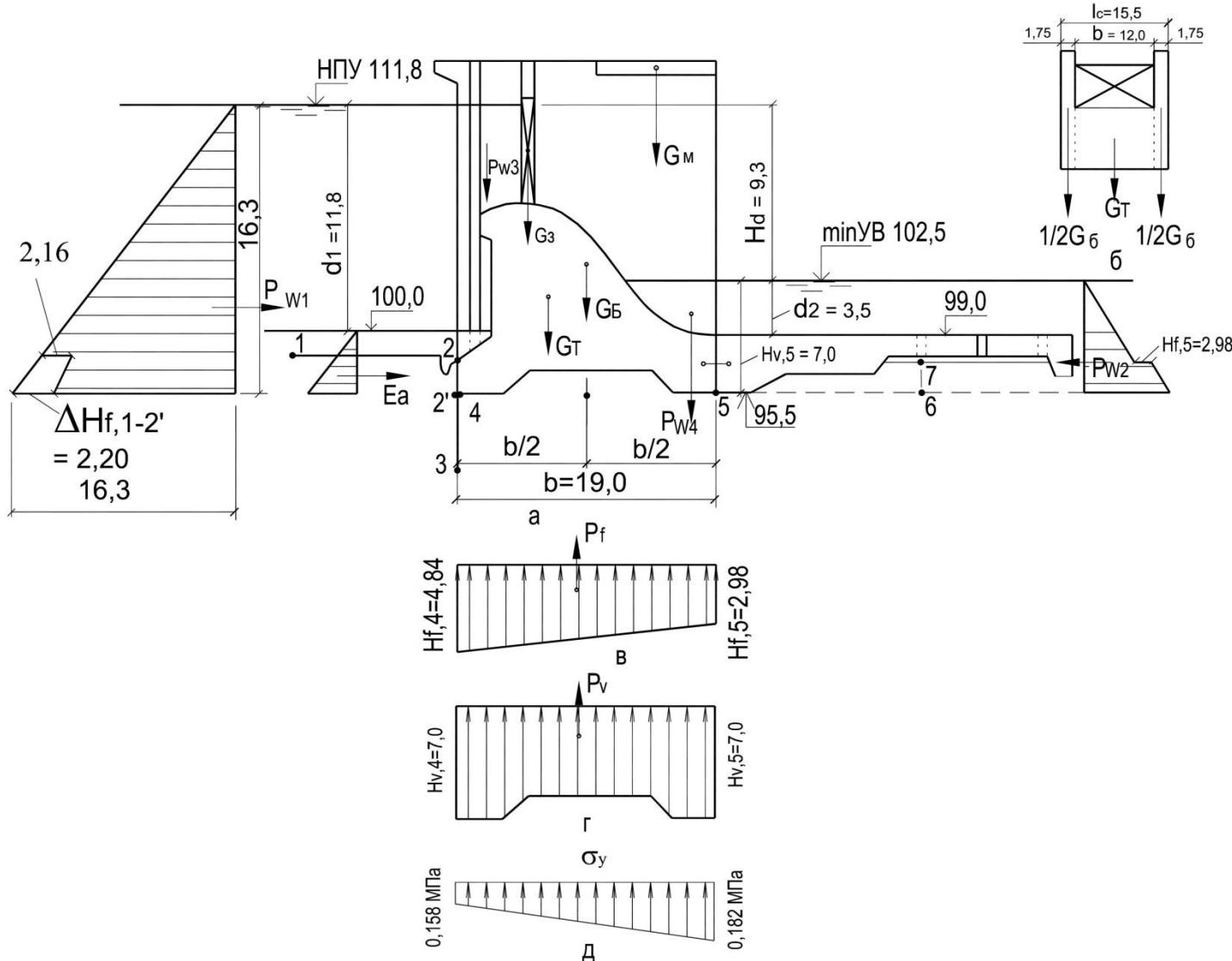


Рис. 6.4. Схемы к статическому расчету плотины: а – поперечный разрез плотины (вдоль потока); б – разрез принятой для расчета секции плотины; в – эпюра фильтрационного давления на подошву тела плотины; г – эпюра взвешивающего давления; д – эпюра распределения сжимающих напряжений в основании плотины

6.3.2. Определение контактных напряжений по подошве плотины

Для полученных значений сил, действующих на секцию водосливной плотины для расчетного случая, соответствующего нормальному режиму эксплуатации, определяем моменты сил.

Силы			Значение коэффициента надежности по нагрузке γ_f	(3)x(4)	Плечо силы l , м	Момент, МН·м
Название сил	Формула	Значение, МН				
1	2	3	4	5	6	7
Вес тела плотины	$G_T = V_T \cdot \gamma_b$	38,88	1,05	40,82	1,7	-69,401
Вес быка (быков)	$G_b = V_b \cdot \gamma_b$	31,10	1,05	32,65	0	0
Вес моста (мостов)	$G_M = V_m \cdot \gamma_b$	1,2	1,05	1,26	5,0	+6,3
Вес затвора (затворов)	$G_3 = g(P \cdot b_{\text{пр}} \cdot a^{-1})^b$	0,210	1,05	0,221	3,5	-0,774
Пригрузка водой, в.б.	$P_{w3} = \rho_w A_{w3} \cdot b_{\text{пр}}$	5,65	1,0	5,65	7,5	-42,375
Пригрузка водой, н.б.	$P_{w4} = \rho_w A_{w4} \cdot b_{\text{пр}}$	0,94	1,0	0,94	7,4	+6,956
Фильтрационное давление	$P_f = \rho_w \cdot A_f \cdot l_c$	11,296	1,0	11,296	1,2	+13555
Взвешивающее давление	$P_v = \rho_w A_v \cdot l_c$	20,223	1,0	20,223	0	0
Гидростатич. давление, В.Б.	$P_{w1} = \rho_w A_{w1} \cdot l_c$	19,17	1,0	19,17	5,2	+99,684
Гидростатич. давление, Н.Б.	$P_{w2} = \rho_w A_{w2} \cdot l_c$	4,64	1,0	4,64	2,1	-9,744
Активное давление грунта	$E_a = \frac{1}{2} \rho_{ws} g h^2 \lg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2} \right)$	0,4	,2	0,48	1,5	+0,72
				Сумма моментов		+11,324

Напряжения под подошвой тела плотины в краевых точках составят:

$$\sigma_{y(4,5)} = -\frac{P}{A} \pm \frac{M_y}{W_y}$$

$$W = \frac{l_c \cdot b^2}{6} = \frac{15,5 \cdot 19^2}{6} = 932,58 \text{ М}^3$$

$$A = b \cdot l_c = 19 \cdot 15,5 = 294,5 \text{ м}^2$$

$$P = 40,82 + 32,655 + 1,26 + 0,221 + 5,65 + 0,94 - 11,296 - 20,223 = 50,03 \text{ МН.}$$

$$\sigma_{y(4,5)} = -\frac{50,03}{294,5} \pm \frac{11,324}{932,6}$$

$$\sigma_{y(4,5)} = -0,1577 \pm 0,012$$

$$\sigma_{\max} = -0,182 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\min} = -0,158 \text{ МПа.}$$

$$K = \frac{0,182}{0,158} = 1,15 < [K] = 2\dots3.$$

Распределение напряжений достаточно равномерное.

6.3.3. Расчет устойчивости секции плотины на сдвиг

Условие плоского сдвига для бетонных плотин, расположенных на основаниях, сложенных несвязанными грунтами, будет выполняться при соблюдении условия (4.25):

$$N_{\sigma} = \frac{\sigma_{\max}}{b \cdot \gamma_I} \leq N_0$$

Объемный вес грунта во взвешенном состоянии

$$\gamma_I = \gamma_{ws} = \gamma_d - \gamma_w (1-n)$$

где $\gamma_d = 1,76 \text{ т/м}^3$, $\gamma_w = 1,0 \text{ т/м}^3$ – объемный вес, соответственно, сухого грунта и воды;

$n = 0,34$ – пористость грунта.

$$\gamma_I = 1,76 - 1(1-0,34) = 1,1 \text{ т/м}^3$$

$$N_{\sigma} = \frac{18,2}{19 \cdot 1,1} = 0,87 < 1.$$

Таким образом, условие плоского сдвига обеспечено.

Условием, обеспечивающим недопущение предельного состояния (отсутствие сдвига), является выражение (4.24):

$$\gamma_{lc} F \leq R \frac{\gamma_c}{\gamma_n}$$

где $R = P \operatorname{tg} \varphi_I + \gamma^I c \cdot E_{ptw} + A \cdot C_I$

$$P = 40,82 + 32,65 + 1,26 + 0,221 + 5,65 + 0,94 - 11,296 - 20,223 = 50,03 \text{ МН}$$

$\operatorname{tg} \varphi_I = 0,781$ (для гравелистых грунтов)

$$R = 50,03 \cdot 0,781 = 39,07 \text{ МН.}$$

Величина сдвигающей силы (F) равна сумме горизонтальных сил, действующих на плотину

$$F = T_{hw} + E_{ahw} - T_{tw}$$

$$F = 19,17 - 4,64 + 0,48 = 15,01 \text{ МН}$$

С учетом выше приведенных значений получаем

$$1 \cdot 15,01 < 39,07 \frac{1}{1,15} \text{ или}$$

$$15,01 < 33,98.$$

Следовательно, устойчивость плотины обеспечена. Однако, ввиду значительного превышения сил, обеспечивающих устойчивость над силовым сдвигающим воздействием на плотину, она может быть облегчена в целях снижения стоимости, например, путем устройства галереи в теле, отказа от шпунтовой завесы и т.д. Также могут быть уменьшены размеры плотины по подошве, если они не обусловлены эксплуатационными требованиями.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Привести пример компоновки гидроузла комплексного назначения с реализацией основных требований и принципов.
2. Основные типы и конструкции бетонных водосбросных плотин.
3. Основные схемы затворов водопропускных отверстий гидроузлов и условия их применения.
4. Типы водосливных оголовков плотин.
5. Конструкции поперечного сечения водосливных плотин. Назначение отдельных элементов.
6. Конструкции водобоеv водосливных плотин.
7. Конструкции гасителей энергии.
8. Конструкции рисберм водосливных плотин.
9. Конструкции концевых элементов водосливных плотин.
10. Типы понуров водосбросных плотин.
11. Определение ширины водосливного фронта и установление отметки порога водослива.
12. Сопряжение с нижним бьефом. Расчетные случаи. Условие обеспечения надвинутого прыжка.
13. Расчет устойчивости водосливной плотины на сдвиг.
14. Определение нагрузок и воздействий.

15. Определение параметров фильтрационного потока в основании плотины
16. Оценка фильтрационной прочности основания плотины.
17. Определение краевых напряжений в основании.
18. Оценка неравномерности распределения напряжений в основании плотины.
19. Оценка несущей способности основания плотины.
20. Проверка устойчивости плотины на сдвиг.
21. Виды устоев бетонных водосливных плотин.
22. Разрезка водосливных плотин деформационными швами. Типы разрезки
23. Типы и конструкции уплотнений деформационных швов.
24. Очередность работ по возведению гидроузла.
25. Пропуск строительных расходов первой очереди строительства.
26. Пропуск строительных расходов второй очереди строительства.
27. Провести сравнение пропускной способности различных типов водосливных оголовков.
28. Дать анализ применения различных конструктивных мероприятий по обеспечению надвинутого прыжка на водобое.
29. Оценить влияние элементов подземного контура водосливной плотины на фильтрационное давление на тело плотины.
30. Провести анализ конструктивных мероприятий, повышающих устойчивость плотины на сдвиг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гидротехнические сооружения: учебное пособие для вузов / под ред. Н.П. Розанова. - М.: Агропромиздат, 1985. 432 с.
2. Каганов, Г.М., Румянцев И.С. Гидротехнические сооружения: учебник для техникумов / Г.М. Каганов, И.С. Румянцев. кн. 1, 2. - М.: Энергоатомиздат, 1994. 303 с. и 272 с.
3. Киселев, П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам: / П.Г. Киселев. -М.: Энергия, 1972, 312 с.

4. Курсовое и дипломное проектирование по гидротехническим сооружениям: уч. пособие / под ред. Лапшенкова В.С. -М.: Агропромиздат, 1989, 448 с.
5. Проектирование речных гидроузлов на несkalьных основаниях: уч. пособие/ под. ред. Гришина М.М., Михайлова А.В. -М.: Энергия, 1967, 264 с.
6. Гидротехнические сооружения: учебник для вузов. Часть 1 / Л.Н. Рассказов [и др.]; под ред. Л.Н. Рассказова. -М.: Из-во Ассоциация строительных вузов, 2008. - 581 с.
7. СП 23.13330.2011 Основания гидротехнических сооружений (актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85*). 2012.
8. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения: (актуализированная редакция СНиП 33-01-2003). 2012.
9. СП 40.13330.2012. Плотины бетонные и железобетонные (актуализированная редакция СНиП 2.06.06-85). 2012.
10. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика / Г.В. Железняков и [др.]; под ред. Недриги В.П. М.: Стройиздат, 1983, 544 с.
11. Чугаев, Р.Р. Гидротехнические сооружения. Водосливные плотины: учебник для вузов / Р.Р. Чугаев. - М.: Высшая школа, 1978, 352 с.
12. Штеренлихт, Д.В. Гидравлика: учебник для вузов /Д.В. Штеренлихт. - М.: КолоСС, 2008.
13. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: Справочное пособие. - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 624 с.
14. Большие плотины СССР. - М-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 272 с.
15. Устройства нижнего бьефа водосбросов / Н.Т. Кавешников, Е.И. Китов, О.Н. Черных и др. // под ред. Н.П.Розанова. М.: Колос, 1984.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

ГИДРОУЗЛЫ НА Р. ВОЛГЕ

1. Волжский гидроузел

Одним из крупнейших гидроузлов России и планеты является построенный в 1958 г. Волжский гидроузел [14]. Генплан гидроузла и продольный разрез по водосливной плотине приведены на рис. 2.1 и 2.3.

Волгоградский гидроузел с гидроэлектростанцией 2 563 тыс. квт построен на Волге у г. Волгограда, вырабатывает в среднем 11 млрд. квт·ч электроэнергии в год.

Уровень воды на Волге поднят на 27 м; при этом образовано водохранилище площадью 3 387 км² и емкостью 33,5 км³. Наибольшая ширина водохранилища достигает 14 км.

В состав основных гидротехнических сооружений гидроузла входят: здание гидроэлектростанции совмещенного типа, водосливная бетонная плотина, земляная плотина, судоходные сооружения и рыбоподъемные устройства.

Общая длина сооружений по подпорному фронту составляет 4 900 м, в том числе бетонных сооружений – около 1 600 м. Гидротехнические сооружения возведены в основном на мелкозернистых песчаных и суглинистых грунтах. Они рассчитаны на пропуск весенних половодий Волги с расчетными расходами воды до 59 500 м³/сек.

Геология

Основной особенностью геологического строения района расположения сооружений является значительное тектоническое нарушение (сброс) коренных пород у левого берега долины Волги.

Западный приподнятый участок долины (правобережье, русло реки и часть поймы) сложен из переслаивающихся слабо сцементированных алевролитов, аргиллитов и песчано-алевритовых пород.

Восточный опущенный участок сложен с поверхности преимущественно песками и глинами четвертичных отложений общей протяженностью 15...20 м.

Ложем отложений здесь служит кровля мощной толщи майкопских глин и ергенинских песков.

Водосливная плотина

Водосливная плотина расположена на левом берегу русла Волги между зданием гидроэлектростанции и пойменным участком земляной плотины. Основанием ее служат аллювиальные отложения мощностью от 6 до 10 м, покоящиеся на коренных породах третичных отложений. Профиль плотины распластанный с выдвинутой в верхний и нижний бьефы фундаментной плитой. Кроме того, перед плотиной устроен анкерный понур с пригрузкой его грунтом.

Плотина имеет длину около 725 м и наибольшую высоту 44 м. Водосливной фронт образуется 27 пролетами по 20 м при напоре на гребне 9 м. По длине плотина разбита на 14 секций длиной по 52 м, из которых 40 м занимают два водосливных пролета, 5,2 м – средний бычок и 6,8 м – два полубычка по краям секции. Во втором пролете от гидроэлектростанции устроен рыбоподъемник. Отверстия плотины закрываются плоскими скользящими и колесными затворами.

Расчетный расход повторяемостью 1 раз в 1 000 лет составляет 59 500 м³/сек, из которых 30 800 м³/сек проходят через водосливную плотину. Катастрофический расход повторяемостью 1 раз в 10 000 лет 71 500 м³/сек. Через плотину пропускается 37 600 м³/сек при форсировке подпорного уровня на 1,3 м.

Водосливная плотина имеет удельный расход на водобое 44 м³/сек.

Особенностью конструкции плотины является устройство пустотелых водосливов из сборно-монолитного железобетона.

Фундаментная плита бетонировалась с инвентарных мостиков самосвалами при монтаже арматуры и опалубки гусеничными 15...20-тонными кранами. Все остальные элементы плотины выполнялись с металлической строительной эстакады при подаче бетонной смеси виброхоботами и 3-м³

бадьями и монтаже арматуры, опалубки и сборных железобетонных элементов стреловыми 7,5...10-тонными кранами.

Пропуск последнего весеннего половодья в строительный период производился через недостроенную плотину, поэтому пустотельные водосливы имеют двухъярусную конструкцию.

Общая длина крепления в нижнем бьефе плотины составляет 245 м, из которых 55 м занимает водобой, 83 м – горизонтальный участок рисбермы, 61 м – наклонный ее участок или верховой откос ковша и 45 м – дно ковша. Система гасителей на водобое состоит из двух рядов шашек и водобойной стенки.

Подземный фильтрационный контур состоит из двух рядов металлического шпунта, расположенных один в начале понура, а второй под передним краем фундамента водослива; расстояние между шпунтовыми рядами 57 м. Шпунты прорезают слой аллювиальных песков и своими нижними концами входят в менее проницаемые песчано-алевритовые породы (коэффициент фильтрации их примерно в 70 раз меньше, чем песка). Для снятия напора под плотиной в упомянутых выше песках в нижнем бьефе под водобоем сделаны вертикальные разгрузочные дренажные скважины, расположенные двумя рядами, с расстоянием между рядами 10 м и между скважинами в рядах 20 м.

Земляная плотина

В створе гидроузла имеются три участка земляной плотины общей протяженностью 3 249 м: один – в русле реки между правым берегом и зданием ГЭС длиной 1 193 м и два – на пойме между водосливной плотиной и судоходными шлюзами длиной 803 м и между швами и левым берегом длиной 1 253 м. Наибольшая высота плотины в русле составляет 47 м, а на пойме – 24 и 35 м.

Основанием земляной плотины являются: в русловой части – аллювиальные пески и алевролиты, а на пойменных участках – мощная толща мелкозернистых песков.

На всех участках плотина выполнена песчаной однородного профиля, исходя из наличия достаточного количества мелкозернистых песков, пригодных для намыва, и эффективности как по стоимости, так и по срокам возведения.

Дренаж плотины состоит из двух дренажных призм (верхней и нижней) и наклонной части между ними, уложенной по принципу обратного фильтра по земляному откосу.

На пойменных участках плотины для организованного приема и отвода фильтрационных вод внутри нижней дренажной призмы уложен проходной дренажный коллектор из сборных железобетонных труб прямоугольного сечения с уклоном 0,005.

На русловом участке плотины дренажные трубы не укладываются, так как выход фильтрационных вод из дренажа происходит непосредственно в русло реки.

Для предотвращения возможной опасности прорыва напорными пролейскими водами грунтов, слагающих русло, к каменной призме (банкету) плотины на длине 100 м примыта песчаная призма высотой 13 м, а за нею сделаны вертикальные дренажные скважины, заглубленные ниже уровня пролейских вод.

По данным исследований на значительной длине пойменной плотины продолжает действовать остаточный напор и за пределами профиля плотины, так как в верхней части ее основания залегают грунты с меньшей водопроницаемостью, чем расположенные ниже. Исходя из этого, в целях недопущения выхода фильтрационных вод за плотиной и заболачивания ими территории здесь устроены две траншеи, прорезающие покровные суглинки. Кроме того, для дренирования более глубоких слоев основания сделан один ряд вертикальных дренажных скважин глубиной до 25 м на расстоянии 20...40 м одна от другой.

Для наблюдения за работой дренажа на плотине устроены 16 смотровых колодцев, расположенных над дренажными трубами через 100...200 м. Пять

смотровых колодцев оборудованы водомерными устройствами для замера фильтрационных расходов. Для наблюдения за осадками основания и тела плотины, а также за положением кривой депрессии в различных ее частях произведена установка 78 высотных марок и 90 пьезометров.

Верховой откос плотины в пределах колебания уровней водохранилища закреплен железобетонными плитами толщиной от 0,35 до 0,5 м на слое щебня 0,12—0,15 м при водонепроницаемом уплотнении швов с помощью резиновой прокладки (вместо обычных ленточных фильтров) в зависимости от величины элементов волны (расчетная высота волны достигает 3,9 м). В пределах колебания уровня воды в строительный период толщина плит крепления откоса изменяется от 0,12 до 0,25 м; здесь специального уплотнения швов не предусмотрено (в данном случае роль уплотнения выполняют опалубочные доски); при этом на верховом откосе в нижней его части по высоте около 18 м на русской и 10 м на пойменной плотине крепление заменено примывом из местных песков со свободным откосом 1 : 20 (без закрепления).

Очередность возведения

Возведение основных сооружений гидроузла и пропуск строительных расходов осуществлены в следующей последовательности: в первую очередь были возведены за перемычками бетонные сооружения и пойменная земляная плотина, а пропуск строительных расходов и судоходство осуществлялись через русло, стесненное перемычками; во вторую очередь было перекрыто русло Волги с помощью каменного банкета с переводом потока на бетонную плотину с недостроенным водосливом и гидроэлектростанцию, а судоходства — на шлюзы.

2. Горьковский гидроузел (современное название Нижегородская ГЭС)

Горьковский гидроузел (рис. А.1) мощностью 520 тыс. квт при подпоре 17,0 м создает водохранилище емкостью 8,7 км³, которое используется для энергетических и судоходных целей.

В состав сооружений гидроузла [14] при общей длине напорного фронта 13 км входят: здание ГЭС длиной 265,0 м, бетонная водосливная плотина длиной 290 м, земляные плотины общей длиной 12 350 м, судоходные сооружения, состоящие из двухступенчатых парных шлюзов с раздельным бьефом, дамб аванпорта и канала со стороны нижнего бьефа.

Водосливная бетонная плотина (рис. А.2) предназначена для сброса паводка повторяемостью 1 раз в 10 000 лет 17 280 м³/сек с учетом трансформации в водохранилище при форсировке НПУ на 1,5 м.

Под основанием тела плотины залегают сарминские отложения, представленные слабоцементированными песками, мергелями, глинами, алевритами и алевролитами, под водобоем и рисбермой – аллювиальные пески. Перед водосливом имеется противофильтрационная завеса – бетонный зуб, прорезающий водопроницаемые породы сарминских отложений до водоупорных глин и мергелей.

Водосливной фронт плотины длиной 240 м состоит из 12 отверстий шириной по 20,0 м и высотой 9,0 м, считая от гребня водослива до подпорного уровня. Высота плотины от подошвы до верха бычков 32,5 м и ширина по основанию 39,0 м. Температурно-осадочными швами водослив разрезан на шесть блоков по два отверстия в каждом блоке. Толщина бычков с температурно-осадочными швами равна 2,25 м, а в пределах блока – 3,5 м.

Отверстия водослива перекрываются плоскими затворами 20 x 9,8 м. Два отверстия, расположенные у ГЭС, перекрыты сдвоенными затворами, что дает возможность сбрасывать плавающие предметы при минимальных расходах. Затворы обслуживаются четырьмя козловыми 100-тонными кранами; затвор поднимается и опускается двумя кранами.

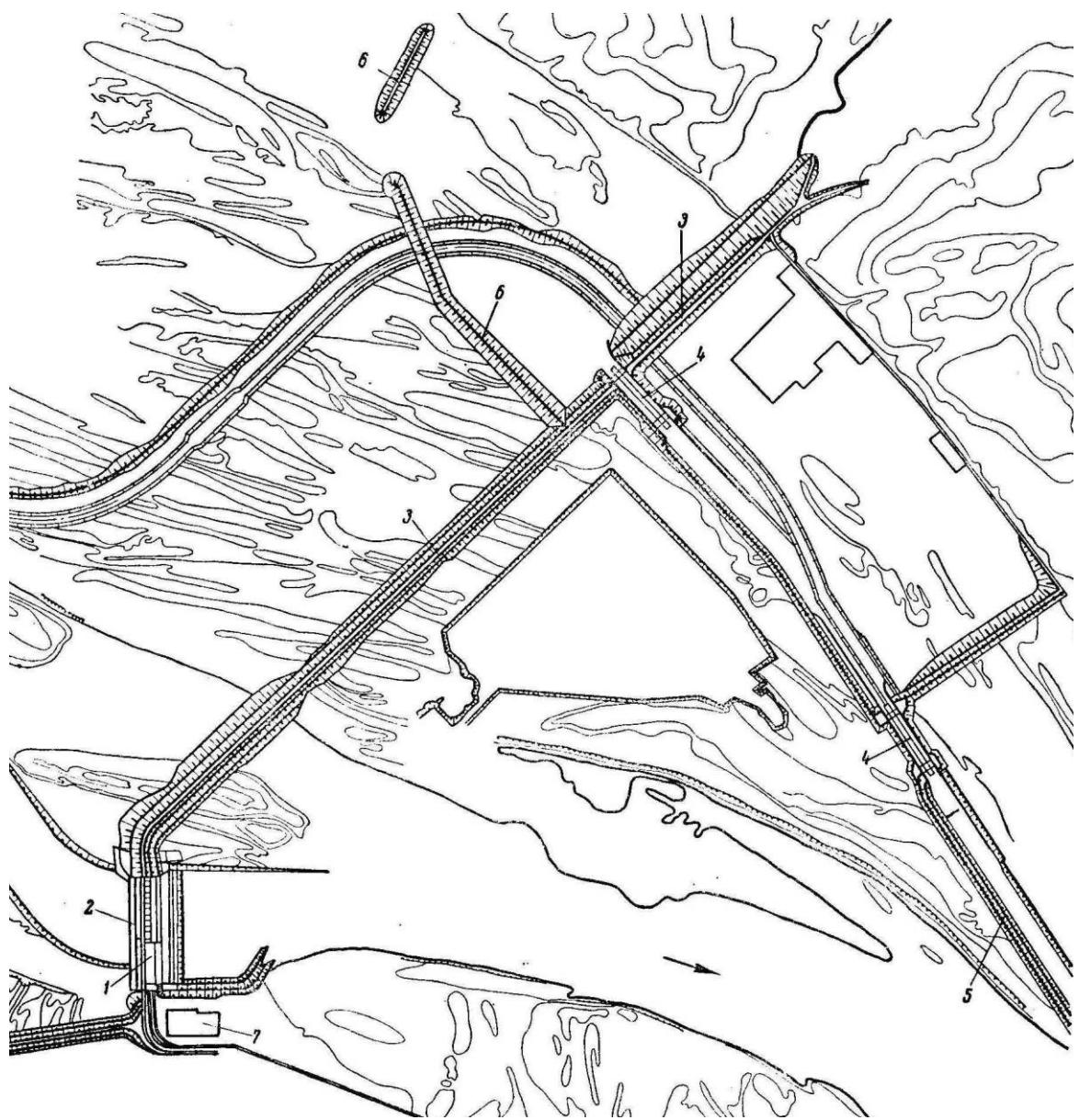


Рис. А.1. Генплан Горьковского гидроузла (современное название Нижегородская ГЭС): 1 – здание ГЭС;
2 – водосливная плотина; 3 – земляные плотины; 4 – судоходный шлюз;
5 – канал; 6 – дамбы аванпорта; 7 – ОРУ 220 и 110 кВ

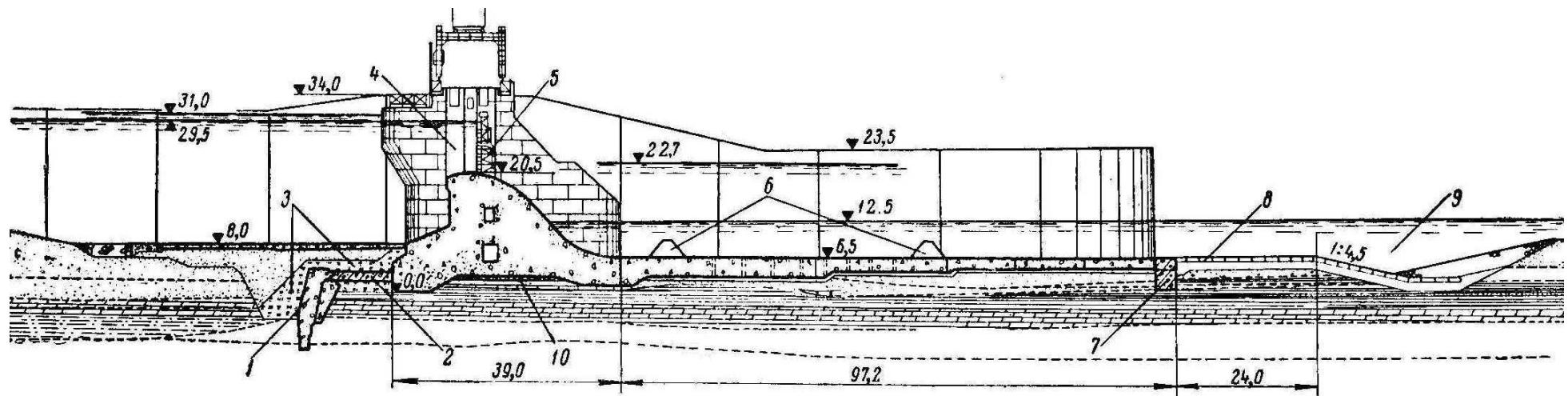


Рис. А.2. Водосливная плотина Горьковского гидроузла (современное название Нижегородская ГЭС):

1 – противофильтрационная завеса; 2 – железобетонная плита; 3 – суглинок; 4 – паз ремонтного затвора; 5 – основной затвор; 6 – гасители; 7 – железобетонный анкерный зуб; 8 – гибкая рисберма; 9 – ковш; 10 – обратный фильтр

Водобой состоит из армобетонной плиты толщиной 3,5 – 2,5 м. На водобое расположены два ряда пирамид-пирсов для выравнивания потока по фронту. Жесткая часть рисбермы выполнена из бетонных плит 12x12 м длиной 36,0 м, а гибкая часть – из плит 2x2,2 м в два слоя длиной 54,0 м. Верхний слой состоит из железобетонных плит, нижний слой – из бетонных плит. Плиты шарнирно связаны между собой, за исключением швов, расположенных вдоль потока через 8 м. Плиты по всему фронту шарнирно присоединены к массиву – зубу высотой 4,5 м.

Гибкая часть рисбермы в концевой части имеет уклон в сторону нижнего бьефа, образуя ковш глубиной 8 м при минимальном уровне воды. Плиты гибкой части рисбермы в пределах ковша выстилаются фашинным тюфяком, на остальном протяжении – каменной наброской.

Гашение фильтрационного напора по подземному контуру сооружения осуществлено железобетонной вертикальной завесой, располагаемой вдоль всего напорного фронта плотины.

Горизонтальный участок завесы, состоящий из железобетонной плиты и слоя асфальтобетона, а также зуб перекрыты слоем суглинка, что вместе со шпонками в швах сопряжения плиты обеспечивает водонепроницаемость конструкции. Осуществление завесы происходило в условиях уже возведенной первой очереди водослива, что потребовало специальных мероприятий – замораживания грунтов для предотвращения выноса водонасыщенных песков основания плотины при выемке котлована для завесы.

Под основанием плотины уложен обратный двухслойный фильтр, соединенный через потерну и трубами в бычках с нижним бьефом. Для наблюдений за сооружением в период эксплуатации установлена измерительная аппаратура: пьезометры, высотные реперы и щелемеры. Наблюдения за режимом фильтрации в толще грунтов основания сооружений показали, что уровни воды в песчаной прослойке повторяют уровни нижнего бьефа с превышением последних на 2 – 3 м. Пьезометры, установленные непосредственно под подошвой сооружения, показывают незначительные

отклонения уровней от проектных. Осадки водосливной плотины за первые 5 лет эксплуатации не превысили 78 мм. Объем бетона и железобетона водосливной плотины 320 тыс. м³ при содержании арматуры в среднем 33 кг/м³.

Сооружение плотины выполнено в две очереди. Первая очередь – в общем со зданием ГЭС котловане за перемычками и вторая очередь – способом гребенки после перекрытия русла банкетом земляной плотины.

В период первой очереди строительства гидроузла расходы реки пропускались в основном русле и частично в период весенних расходов через пойменные участки долины. Во вторую очередь расходы пропускались через недостроенные водосливные отверстия.

Вначале были выполнены водобой, рисберма, понур и частично водослив. Укладка бетона в рисберму, водобой и нижние блоки плиты водосливной плотины производилась гусеничными стреловыми кранами, а также автосамосвалами с инвентарных мостиков, перемещаемых из блока в блок по мере бетонирования. Подача бетона осуществлялась автотранспортом в 1,6- и 3,0-м³ бадьях. При бетонировании водосливной грани применялась вакуум-опалубка.

Бетонирование бычков производилось 10-тонными башенными кранами, 10-тонным кабель-краном пролетом 900 м и бетононасосами, установленными на водобойной плите. Арматура бычков устанавливалась в армокаркасах с бесштрабной установкой закладных частей затворов. Бычки возводились в плитах-оболочках.

Вначале были возведены два пролета водослива полностью и 10 пролетов на высоту 10 – 12 м. До проектной отметки 10 отверстий водослива возводились способом гребенки после перекрытия земляной плотиной основного русла реки. Водослив был разделен швом поперек потока. В первую очередь бетонировался участок водослива со стороны нижнего бьефа под защитой эксплуатационных затворов. Участок гребня водослива со стороны верхнего бьефа бетонировался подводным способом с установкой облегченного типа шандор, опускаемых в ремонтные пазы.

Русловая земляная плотина протяженностью 1 300 м с объемом 4,4 млн. м³ грунта возведена из мелкозернистых песков намывом. Наибольшая строительная высота плотины 28 м. Плотина воспринимает напор 17,0 м. Основанием плотины являются разнозернистые пески, содержащие у водоупора гравий и гальку. Низовой откос плотины дренируется каменным банкетом шириной поверху 5,0 м и высотой от 3 до 11,0 м. На островном участке банкет имеет продольные уклоны и сбрасывает дренажные воды двумя дренажными выпусками. В пределах возможного выхода депрессионной кривой на низовой откос последний закреплен каменной мостовой на двухслойном обратном фильтре. Верхняя часть низового откоса закреплена сплошной дерновкой на почвенно-растительном слое 0,10 м.

Напорный откос плотины на высоту 8,5 м закреплен армированными бетонными плитами 10x10x0,4 – 0,2 м и 10x15x0,4 – 0,2 м,ложенными на гравийную подготовку и имеющими ленточный обратный фильтр, расположенный под швами плит. Ниже бетонного крепления откоса плотины намыт с пологим заложением, что позволило осуществить промежуточный подъем уровня воды в водохранилище без закрепления откоса. Плотина сопряжена с левобережным устоем водослива железобетонной диафрагмой длиной 48 м, заканчивающейся металлическим шпунтом. У сопряжения с водосливом гребень уширен; здесь размещена площадка для ремонта затворов водослива.

Перекрытие русла осуществлено в две очереди с наплавного моста сбрасыванием камня в текущую воду на ранее отсыпанную в зимний период гравийную подготовку. В первую очередь был перекрыт правобережный участок русла длиной 300 м. Оставшийся проран длиной около 300 м закрыт за 33 часа в летний период с помощью «ежей», 5-тонных бетонных кубов и крупного камня при скоростях воды на отдельных участках до 4,5 – 5,0 м/сек.

Конструкция крепления напорного откоса, как показывают эксплуатационные данные, обеспечивает необходимый экранирующий эффект, а крепление верховой части низового откоса сплошной одерновкой – сохранность откоса, создавая привлекательный внешний вид.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

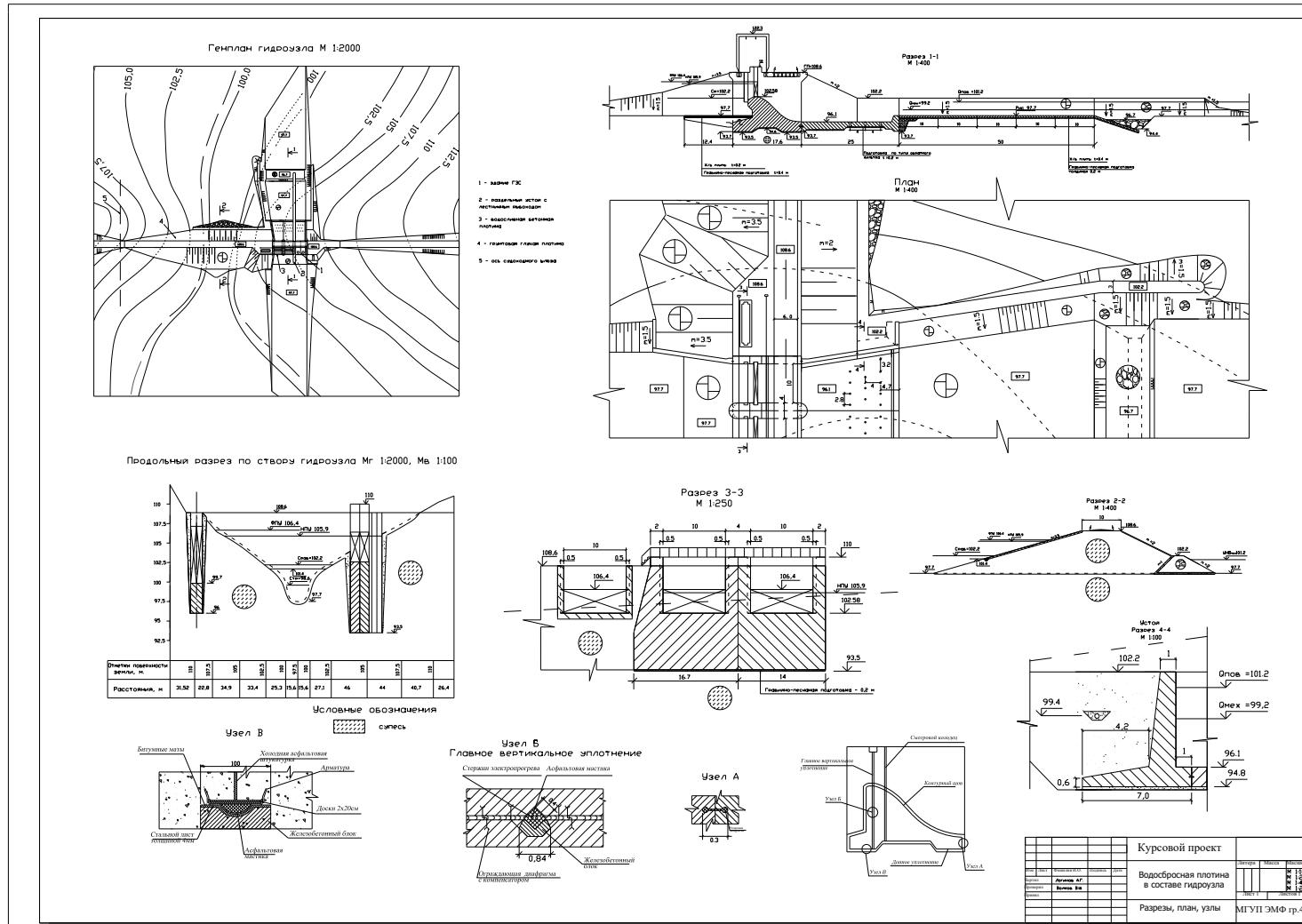


Рис. Б.1. Пример №1 выполнения графической части курсовых проектов

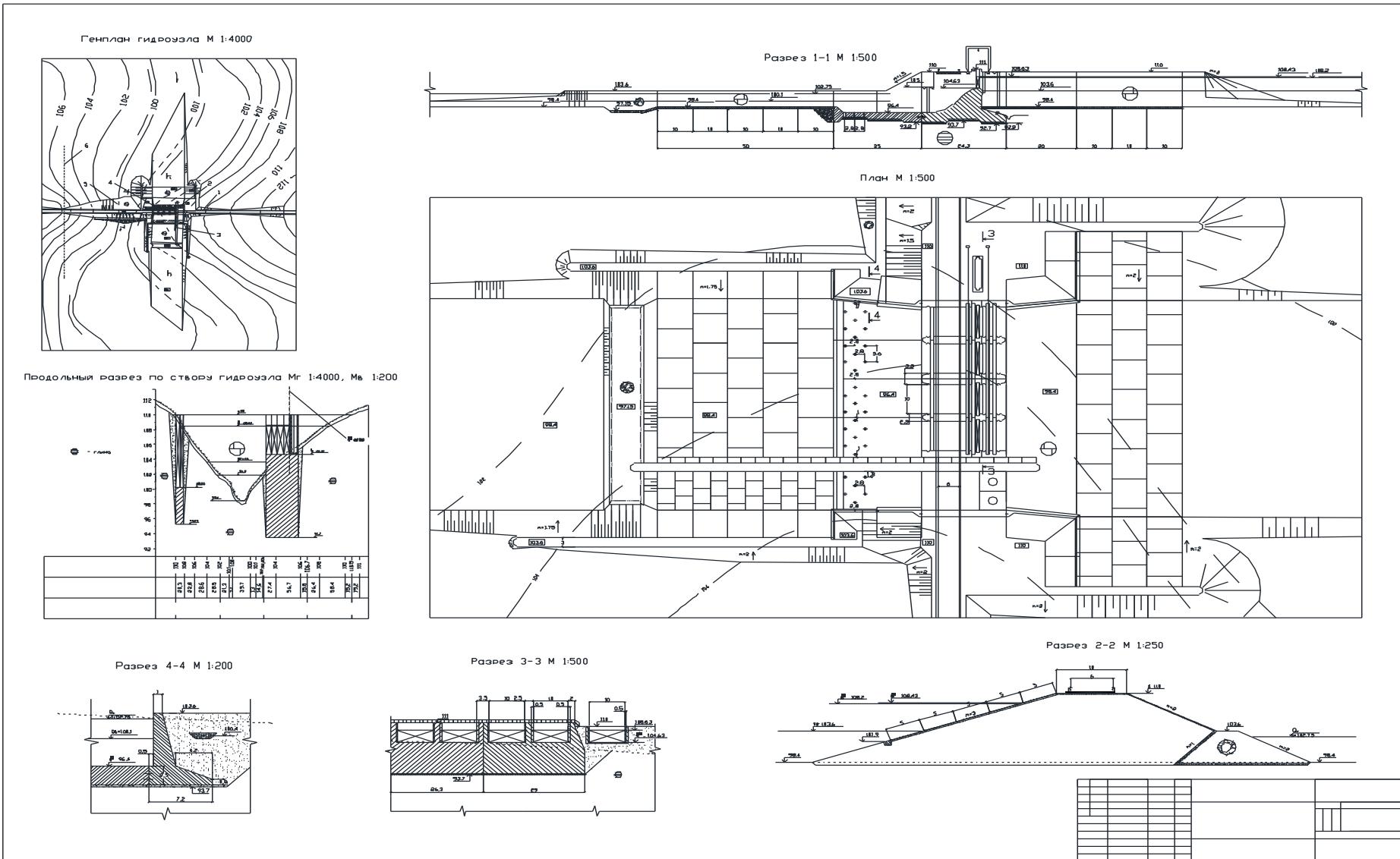


Рис. Б.2. Пример №2 выполнения графической части курсовых проектов

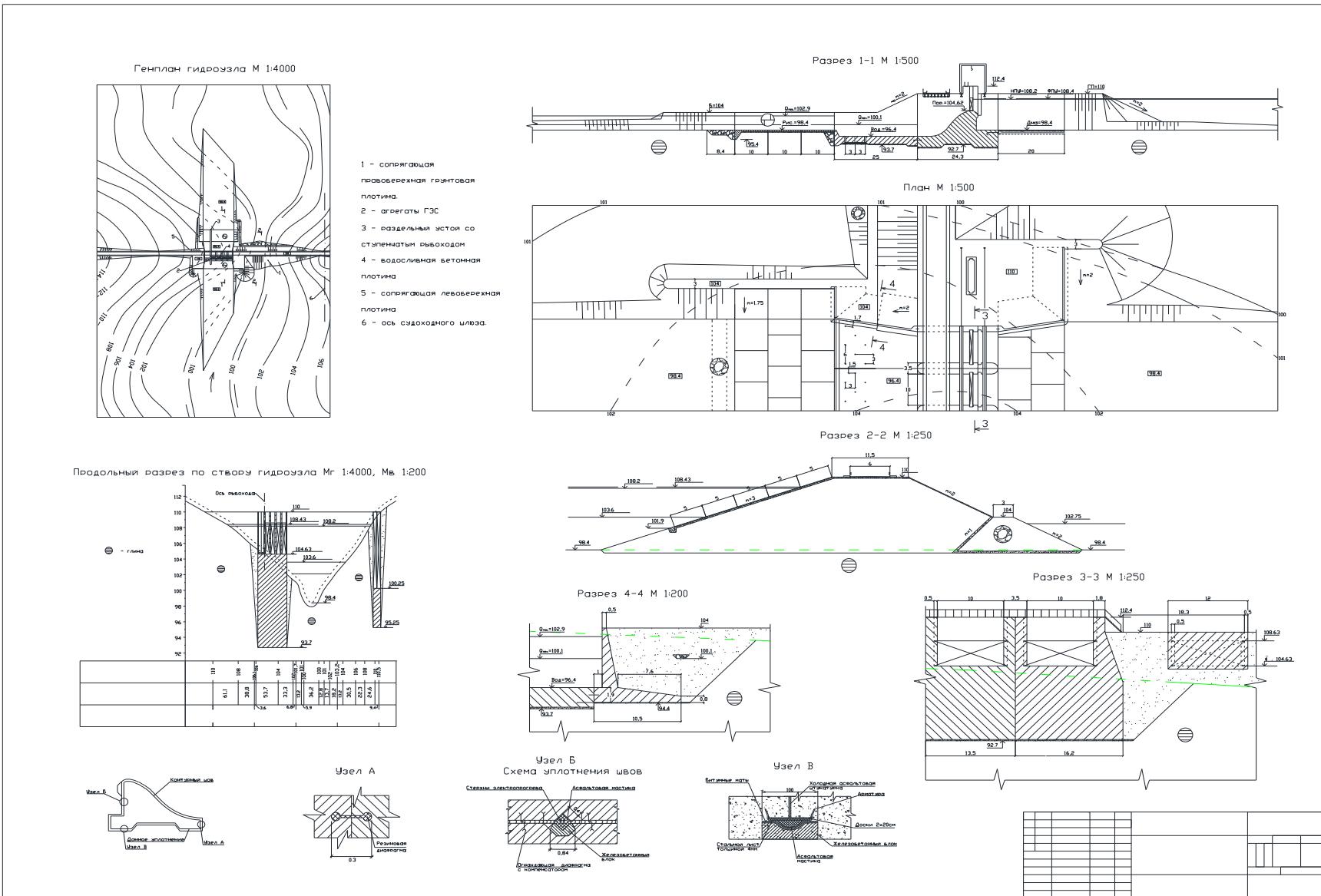


Рис. Б.3. Пример №3 выполнения графической части курсовых проектов

ПРИЛОЖЕНИЕ В. ФОТОРЕФЕРЕНЦ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛОТИН

В.1 Подводящие русла



Рис. В.1.1. Подводящее русло плотины на р. Десне



Рис. В.1.2. Подводящее русло плотины на р. Ламе

В.2. Вид водосливных плотин с верхнего бьефа



Рис. В.2.1. Водосбросная плотина Новленского водохранилища на р. Пахре



Рис. В.2.2. Водосбросная плотина на р. Шерне



Рис. В.2.3. Водосбросная плотина Успенского водохранилища на р. Клязьме



Рис. В.2.4. Водосбросная плотина на р. Осетр



Рис. В.2.5. Водосбросная плотина на р. Осетр



Рис. В.2.6. Водосбросная плотина на р. Лопасне

B.3. Водосливные оголовки плотин без затворов



Рис. В.3.1. Криволинейный в плане водосливной оголовок плотины на р. Ламе



Рис. В.3.2. Прямолинейный в плане водосливной оголовок плотины на р. Осетр



Рис. В.3.3. Криволинейный в плане водосливной оголовок плотины на р. Ламе (вид с нижнего бьефа)



Рис. В.3.4. Прямолинейный в плане водосливной оголовок плотины на р. Наре (водослив с острой стенкой)



Рис. В.3.5. Лабиринтный водосливной порог плотины на р. Нерль



Рис. В.3.6. Прямоугольный в плане водосливной оголовок плотины на р. Наре (водослив практического профиля)

В.4. Затворы водосливных плотин и устройства для маневрирования



Рис. В.4.1. Эстакада с индивидуальными электродвигателями для маневрирования основными затворами



Рис. В.4.2. Монорельсы с кранбалками для маневрирования основными и ремонтными затворами



Рис. В.4.3. Электропривод для маневрирования плоским клапанным затвором плотины на р. Лопасне



Рис. В.4.4. Ручные подъемники с синхронизирующим валом плотины на р. Клязьме

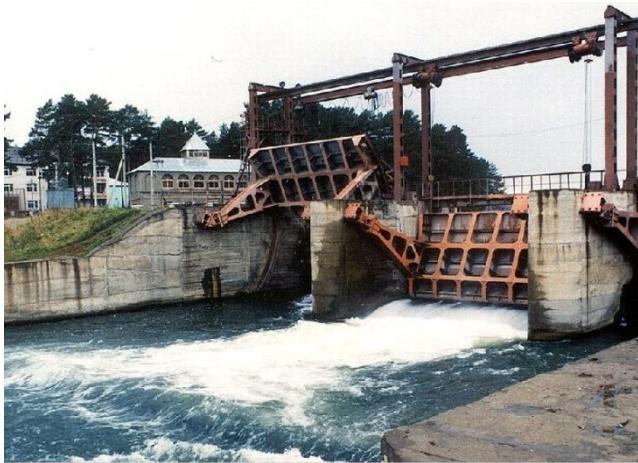


Рис. В.4.5. Сегментные затворы



Рис. В.4.6. Линии основных (слева) и ремонтных (справа) затворов плотины на р. Клязьме



Рис. В.4.7. Плоский затвор плотины Новленского водохранилища на р. Пахре



Рис. В.4.8. Плотина с поворотными фермами на р. Осетр



Рис. В.4.9. Пазы для ремонтных затворов плотины на р. Лопасне



Рис. В.4.10. Металлические шандоры плотины на р. Лопасне



Рис. В. 4.11. Пазы для основных затворов плотины Новленского водохранилища на р. Пахре



Рис. В. 4.12. Пазы для ремонтных затворов плотины на р. Клязьме

В.5. Вид водосливных плотин с нижнего бьефа

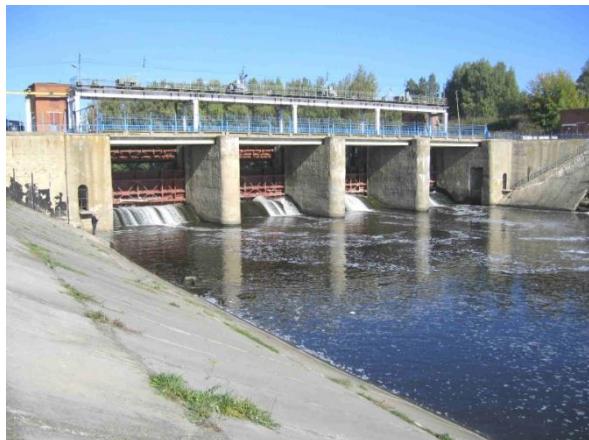


Рис. В.5.1. Водосбросная плотина Новленского водохранилища на р. Пахре



Рис. В.5.2. Успенская плотина на р. Клязьме

В.6. Водобои и рисбермы водосливных плотин



Рис. В.6.1. Водобой и рисберма плотины на р. Пахре



Рис. В.6.2. Водобой и рисберма Успенской плотины на р. Клязьме



Рис. В.6.3. Водобой, рисберма и отводящее русло плотины на р. Десне



Рис. В.6.4. Гасители на водобое плотины на р. Десне

B.7. Отводящие русла водосливных плотин



Рис. В.7.1. Отводящее русло плотины на р. Пахре



Рис. В.7.2. Продукты размыва рисбермы и отводящего русла плотины на р. Пахре



Рис. В.7.3. Отводящее русло плотины на р. Шерне (размыв левобережной дамбы и формирование острова из продуктов размыва)



Рис. В.7.4. Отводящее русло плотины на р. Десне

В.8. Сопрягающие устои водосливных плотин



**Рис. В.8.1. Низовой ныряющий устой
плотины на р. Жиздра**



**Рис. В.8.2. Сопрягающий верховой устой
плотины на р. Шерне**



**Рис. В.8.3. Низовой ныряющий устой
плотины на р. Кунова**



**Рис. В.8.4. Левобережный сопрягающий
устой плотины на р. Клязьме**

Учебное издание

**Волков Владимир Иванович
Ханов Нартмир Владимирович**

**ВОДОСЛИВНЫЕ ПЛОТИНЫ
НА НЕСКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ**

Учебное пособие

Издано в авторской редакции
Корректура авторов
Обложка – В.И. Волков

Подписано в печать . . 2019 г. Формат 60x84/16
Усл. печ. л. Тираж экз. Заказ

Издательство РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
127550, Москва, Тимирязевская ул., 44
Тел.: (499) 977-00-12, 977-26-90, 977-40-64