

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

О.Н. Черных, А.В. Бурлаченко

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
МЕЛИОРАТИВНОГО ГИДРОУЗЛА С ГРУНТОВОЙ
ПЛОТИНОЙ**



Москва 2022

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

О.Н. Черных, А.В. Бурлаченко

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
МЕЛИОРАТИВНОГО ГИДРОУЗЛА С ГРУНТОВОЙ
ПЛОТИНОЙ**

Учебное пособие

Под общей редакцией О.Н. Черных

Москва
2022

УДК 626. 627

ББК 38.37

Ч 45

DOI 10.26897/978-5-9675-1936-9-2022-172

Рецензенты:

Т.А. Суэтина, д-р техн. наук, проф. зав. кафедрой гидравлики МАДИ ГТУ;

А.О. Щербаков, канд. техн. наук, зав. отделом гидротехники и гидравлики ФГБНУ

ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова

Черных, О.Н. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного гидроузла с грунтовой плотиной: учебное пособие / О. Н. Черных, А. В. Бурлаченко. Под общей редакцией О. Н. Черных ; Российский государственный аграрный университет имени К. А. Тимирязева. – Москва : РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. – 172 с

ISBN 978-5-9675-1936-9

В учебном пособии изложены сведения по обеспечению безопасности и повышению надёжности работы основных сооружений мелиоративного гидроузла с грунтовой плотиной и открытым береговым водосбросом. Содержатся методологические основы оценки обеспечения безопасности низконапорных и средненапорных гидроузлов по диагностическим показателям. Приведены с учётом мониторинговой информации рекомендации по их расчётам, проектированию дополнительных аварийных водосбросов, эксплуатации и реконструкции. Учебное пособие предназначено для освоения теоретического материала и выполнения курсовых, расчётно-графических и выпускных работ бакалаврами по направлению 20.03.02 Природообустройство и водопользование направленность Управление водными ресурсами и природоохранные гидротехнические сооружения ФГОС ВО, рекомендуется Научно-методическим советом по природообустройству и водопользованию для использования в учебном процессе.

Chernykh, O.N. Ensuring the safety of hydraulic structures of a meliorative hydroelectric complex with an earth dam: a study guide / O. N. Chernykh, A. V. Burlachenko. Under the general editorship of O. N. Chernykh; Russian State Agrarian University named after K. A. Timiryazev. - Moscow: RGAU-MSHA named after K. A. Timiryazev, 2022. - 175 p.

The training manual contains information on ensuring safety and improving the reliability of the operation of the main structures of the reclamation hydroelectric complex with an earth dam and an open coastal spillway. It contains methodological bases for assessing the safety of low-pressure and medium-pressure waterworks according to diagnostic indicators. Given the monitoring information, recommendations are given for their calculations, design of additional emergency spillways, operation and reconstruction. The textbook is intended for the development of theoretical material and the implementation of term papers, settlement-graphic and final works by bachelors in the direction of 20.03.02 Environmental management and water use focus Water resources management and environmental hydraulic structures of the Federal State Educational Standard of Higher Education, recommended by the Scientific and Methodological Council for Environmental Management and Water Use for use in the educational process.

УДК 626/627

ББК 38.37

© Черных О.Н., Бурлаченко А.В., 2022

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА

имени К.А. Тимирязева, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	6
1.1. Дефиниции.....	6
1.2. Краткие сведения о гидротехнических сооружениях гидроузлов, поднадзорных Центральному управлению Ростехнадзора	10
1.3. Обследование и оценка технического состояния гидротехнических сооружений мелиоративных гидроузлов	19
2. МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНОГО ГИДРОУЗЛА.....	27
2.1. Расчётные уровни верхнего бьефа гидроузла.....	33
2.2. Оценка критериев безопасности подпорного грунтового сооружения гидроузла по количественным показателям.....	36
2.3. Оценка безопасности регулируемого водосбросного сооружения по количественным показателям.....	61
2.4. Общая оценка состояния и уровня безопасности мелиоративного гидроузла с грунтовой плотиной и открытым береговым водосбросом.....	70
3. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНОГО ГИДРОУЗЛА С ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНОЙ.....	72
4. ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	83
4.1. Повышение отметки гребня плотины/дамбы.....	84
4.2. Уширение гребня и тела подпорного сооружения.....	97
4.3. Некоторые предложения по реконструкции откосов грунтовых плотин.....	106

5. МЕРОПРИЯТИЯ ПО РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНОГО ГИДРОУЗЛА.....	121
5.1. Классификация резервных водосбросов гидроузлов с грунтовой плотинной.....	124
5.2. Проектирование резервного водосброса.....	138
6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДИКЕ, СТРУКТУРЕ, ПОРЯДКУ ОФОРМЛЕНИЯ И СДАЧИ ОТЧЁТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	144
6.1 Выбор темы КР/РГР и структура выполнения оценочных расчётов.....	144
6.2. Контрольные вопросы для самопроверки.....	147
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	151
Приложение 1. Оценка технического состояния и уровня безопасности ГТС по основным диагностическим показателям.....	157
Приложение 2. Ремонтно-восстановительные операции по досыпке гребня плотины/дамбы и её тела.....	166
Приложение 3. План, продольный разрез и детали некоторых типов резервных водосбросов подпорных сооружений малых водоёмов.....	168

ВВЕДЕНИЕ

Целью издания данного учебного пособия является обеспечение более полных знаний студентов по актуальным для современной гидротехники вопросам оценки состояния гидротехнических сооружений (ГТС) и гидроузлов разного назначения, условий их эксплуатации, формирования банка данных ГТС по степени их безопасности для урбанизированных территорий и сельских ландшафтов АПК с учётом специфики объектов, надзор за которыми осуществляется Федеральной службе по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор) и Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), заключающуюся в наличии значительного количества небольших ГТС IV-го (частично III-го) класса, многие из которых не имеют проектной документации и служб эксплуатации, большинство собственников являются фактически банкротами, а также предложений по конструктивным мероприятиям, повышающим безопасность ГТС. Материалы базируются на Федеральном законе «О безопасности гидротехнических сооружений» и учитывают опыт применения стандартов отдельных ведомств, апробированный при оценке состояния ГТС [1-8].

С учетом вышесказанного максимально упрощены отдельные понятия и терминология, которые были указаны и в предыдущих учебных пособиях, выпущенных на кафедре гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева по данной тематике [9, 12-14, 18, 19, 23, 43]. Методика проектирования ГТС, обеспечивающих безопасность и надёжность работы низконапорных гидроузлов, основана на применении комплекса программ, разработанных к.т.н. Волковым, и используемых студентами при выполнении КР, КП, РГР и ВКР по дисциплинам, преподаваемым на кафедре ГТС РГАУ-МСХА

им. К.А. Тимирязева по направлениям Природообустройство и водопользование (20.03.02 для бакалавров и 20.04.02 для магистров), Строительство (08.03.01 для бакалавров и 08.04.01 для магистров), 20.03.01 Техносферная безопасность и 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В описании состояния ГТС используется понятие первого и второго предельного состояния, нашедшем широкое применение в практике проектирования и являющегося основополагающим для описания расчетных критериев безопасности.

1.1. Дефиниции

Аварийная ситуация: возможная ситуация на гидротехническом сооружении (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.

Авария на ГТС: характерная для ГТС и условий его эксплуатации потенциально возможная авария: разрушение либо повреждение ГТС, реализуемые в виде потери устойчивости, избыточных деформаций, потери прочности сооружения, конструкции, конструктивных элементов либо основания, в том числе и вследствие избыточного накопления повреждений и износа, прорыва напорного фронта либо неконтролируемого сброса воды или жидких стоков из хранилища, перелива воды через гребень подпорного сооружения, размывов и подмывов ГТС и/или его основания.

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

Водохозяйственная система – комплекс водных объектов и предназначенных для обеспечения рационального использования и охраны водных ресурсов ГТС.

Вторая группа предельных состояний – состояние ГТС или их конструктивных элементов, соответствующее непригодности к нормальной эксплуатации.

Гидротехническое сооружение (ГТС) - сооружение, предназначенное для использования и охраны водных ресурсов и предотвращения (уменьшения) вредного воздействия вод.

Диагностические показатели – совокупность всех показателей ГТС, количественных (измеряемых с помощью технических средств или вычисляемых по ним количественных показателей), а также качественных (получаемых на основе наблюдений), позволяющих на основе сравнения с критериями безопасности оценить состояние ГТС и их элементов, а также их безопасность. **Значимые диагностические показатели** – количественные или качественные диагностические показатели, которые при достижении ими определенных значений могут привести к аварии или аварийной ситуации.

Критерии безопасности ГТС: предельные значения количественных и качественных показателей состояния ГТС и условий его эксплуатации, соответствующие допустимому уровню риска аварии ГТС и утвержденные в установленном порядке федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими государственный надзор за безопасностью 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.

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 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.

Обеспечение безопасности ГТС: планирование и осуществление комплекса научно-методических и организационно-технических мероприятий по предупреждению опасных состояний ГТС и окружающей среды, повышению отказоустойчивости ГТС и его живучести при неисправностях, отказах и авариях, недопущению и уменьшению отрицательных последствий неисправностей, отказов, аварий и чрезвычайных ситуаций для эксплуатационного персонала, населения и окружающей среды.

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.

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.

Первая группа предельных состояний – состояние гидротехнических сооружений, соответствующее полной непригодности к эксплуатации сооружений или их конструктивных элементов, при котором создается аварийная ситуация, угрожающая прорывом водосбросного фронта.

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.

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.

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

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

Состояние ГТС – характеристика ГТС по совокупности его количественных и качественных показателей.

Степень опасности гидротехнического сооружения – категория опасности гидротехнического сооружения, зависящая от состояния (техническое состояние и качество эксплуатации) и масштаба возможных последствий аварии и аварийных ситуаций.

Техническое состояние - (исправность, работоспособность, неработоспособность, предельное состояние и др.) – совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств объекта, характеризующаяся в определенный момент времени признаками, установленными технической документацией на этот объект.

Уровень безопасности ГТС – обобщенная качественная и/или количественная характеристика, определяющая соответствие состояния ГТС принятой классификации состояний: нормальному, удовлетворительному, потенциально опасному, аварийному.

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 ущерб окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

1.2. Краткие сведения о гидротехнических сооружениях гидроузлов, поднадзорных Центральному управлению Ростехнадзора

Федеральный государственный надзор в области безопасности ГТС на территории Московской и ещё 5 областей (Владимирская, Ивановская, Костромская, Тверская, Ярославская) осуществляет Центральное управление Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) [41]. В настоящее время на поднадзорной ему территории расположено 1962 ГТС (табл. 1.1), что соответствует материалам инвентаризации, проведенной в 2019 году по поручению Президента Российской Федерации.

Таблица 1.1

Гидротехнические объекты, поднадзорные Ростехнадзору [41]

№	Распределение по зателям	Наименование субъекта, область						Итого
		Влади- мирская	Ивано- вская	Костро- мская	Москов- ская	Тверс- кая	Ярослав- ская	
1	По классам ГТС							
2	I	0	0	0	6	2	1	9
3	II	1	3	0	3	2	3	9
4	III	6	11	7	9	3	3	39
5	IV	10	1	13	37	1	15	77
6	Неустановлен	107	60	32	1526	73	30	1828
7	По отраслям (назначение)							
8	энергетика	0	3	4	11	7	4	29
9	промышленность	1	0	2	8	1	4	16
10	Водохозяйственный флекс	123	72	46	1560	72	44	1917
11	ИТОГО	124	75	52	1579	80	52	1962

Общее число ГТС постоянно обновляется сотрудниками Ростехнадзора за счет выявления на поднадзорных территориях бесхозных, а также самовольно возведенных ГТС, причём по ряду причин не все ГТС, из представленных на рисунке 1.1 и ранжированные по классам и назначению, до настоящего времени внесены в Российский регистр ГТС. Хотя, согласно статьи 7 Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» [3], сведения о гидротехнических сооружениях должны быть внесены собственниками в Российский регистр ГТС. Внесение ГТС в Регистр - процедура, которая четко определена действующими нормативно-правовыми актами, обновленными в 2020 году [4]. Процедура не сложная, но на практике растягивается на период, продолжительностью до одного года.

Собственник ГТС обязан:

- сформировать акт регулярного обследования ГТС;

- определить в денежном выражении ущерб, который может быть причинен в результате вероятной аварии ГТС;

- разработать и утвердить в Ростехнадзоре декларацию безопасности ГТС и только после этого ГТС вносится в Регистр.

Только примерно пятая часть ГТС, от их общего количества, на сегодня внесено в Регистр ГТС (рис. 1.2). Для активизации этой работы в рамках надзорной деятельности Центральное управление Ростехнадзора проводит как плановые, так и внеплановые проверки юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, собственников ГТС. Например, на протяжении 2017-2019 годов было примерно 300...350 проверок в год, а в 2020 г. за счёт эпидемии ковида и постановления Правительства Российской Федерации от 3 апреля 2020 года № 440 поменьше.

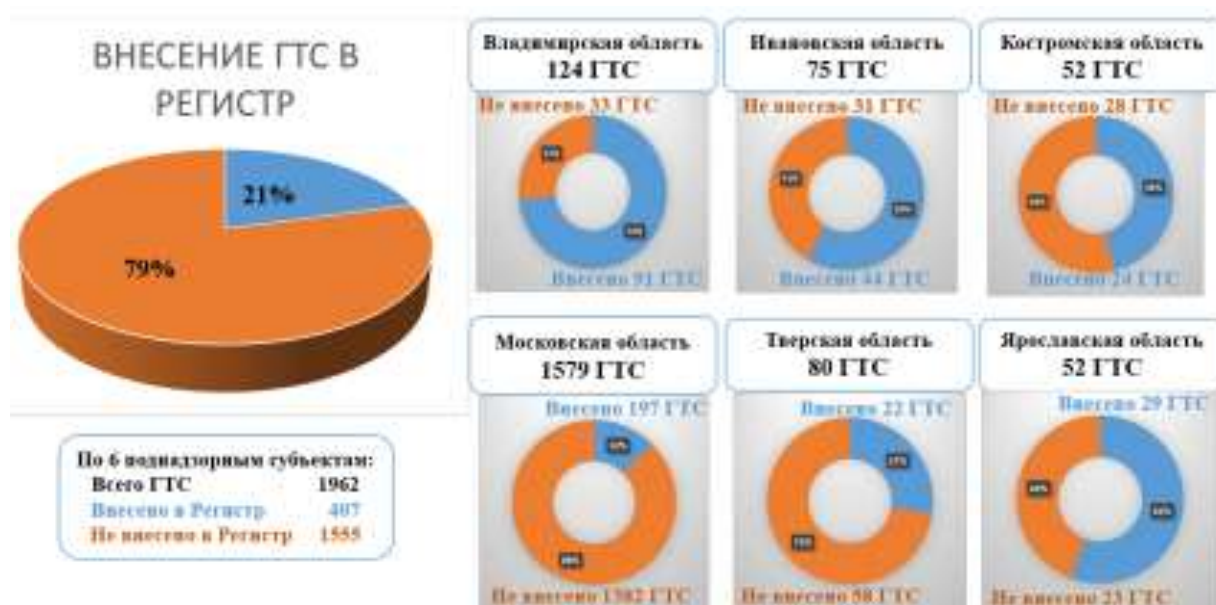


Рис. 1.2. Наличие не внесённых в Регистр и бесхозных ГТС, поднадзорных Ростехнадзору [41]

При этом был существенно увеличен объем работы по профилактике правонарушений, путем направления собственникам ГТС предостережений требований в области безопасности ГТС в соответствии со статьёй 5 Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» [3], в частности неприятия мер по разработке и реализации региональных программ обеспечения безопасности ГТС.

Анализ подсчета количества нарушений, выявляемых Ростехнадзором в ходе проведения плановых проверок и приходящихся на одно ГТС, показывает, что наибольшее количество нарушений выявляется при проведении проверок ГТС, расположенных на территории Московской области, наименьшее – на территории Тверской области. Наиболее часто встречающиеся основные нарушения это:

- собственником не осуществляется разработка и уточнение критериев безопасности ГТС;
- отсутствие утверждённой в установленном порядке декларации безопасности и правил эксплуатации ГТС, согласованных с Ростехнадзором;
- отсутствие обученного и аттестованного персонала, либо не обеспечена необходимая квалификация работников, обслуживающих ГТС;
- неудовлетворительное техническое состояние ГТС;
- не произведён и не согласован в установленном порядке расчёт размера вероятного вреда, который может быть причинён жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии ГТС;
- отсутствует полис обязательного страхования гражданской ответственности за причинение вреда в результате аварии на ГТС;
- не определена величина финансового обеспечения гражданской ответственности за вред, который может быть причинён жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии ГТС;
- сведения о ГТС не внесены в Российский регистр ГТС.

На поднадзорных территориях в настоящий момент находятся 9 ГТС первого класса (рис. 1.3). В отношении этих объектов инспекторами Ростехнадзора проводятся регулярные проверки, периодичностью 1 раз в квартал. Это ГТС Акуловского, Зубцовского и Можайского гидроузлов, Рузского и Озернинского водохранилищ, Калининской АЭС, Загорской ГАЭС, Рыбинской ГЭС, ТЭЦ-22. Техническое состояние всех ГТС 1 класса находится в удовлетворительном состоянии. Этому способствуют наличие эксплуатирующего персонала,

проведения регулярных ремонтов, надлежащего ведения технической документации.



Рис. 1.3. ГТС I класса опасности, поднадзорные Ростехнадзору [41]

Существует резкий контраст, каким выглядят на фоне масштабных ГТС первого класса бесхозные и не эксплуатируемые ГТС (рис. 1.4). Вероятность аварий на таких ГТС высока и может привести к чрезвычайной ситуации.



Рис. 1.4. Поднадзорные Ростехнадзору объекты по субъектам РФ [41]

Снижение количества бесхозных ГТС – важное направление работы центрального управления Ростехнадзора. На рисунке 1.5. показана динамика изменения количества бесхозных ГТС в каждом поднадзорном субъекте федерации в разрезе 4 лет.

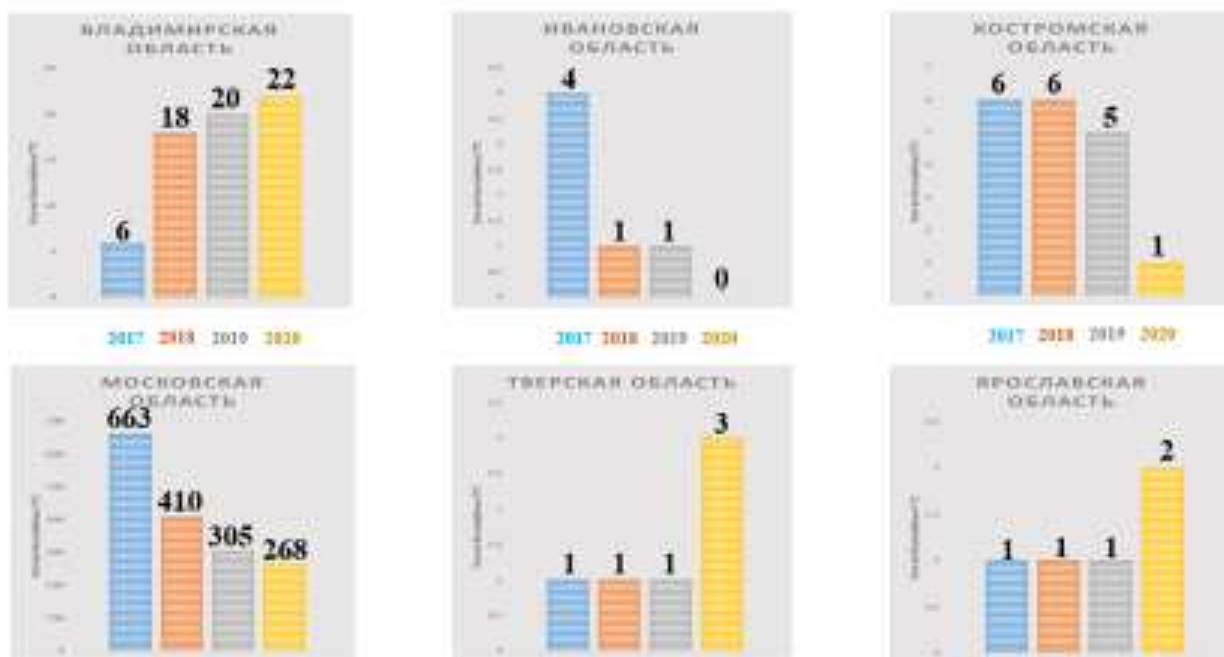


Рис. 1.5. Динамика изменения количества бесхозных ГТС по областям РФ [41]

Наибольшее количество бесхозных ГТС находится в Московской области, при этом, Московская область показывает устойчивую тенденцию снижения их количества. Динамику снижения количества бесхозных ГТС также показывают Ивановская и Костромская области. При этом во Владимирской, Тверской и Ярославской областях происходит незначительный рост количества бесхозных ГТС за счет обнаружения «новых». Всего за четырехлетний период с 2017 по 2020 гг. общее количество бесхозных ГТС на территориях, поднадзорных Ростехнадзору, снизилось более чем в два раза: с 681 до 297. Несчастных случаев на объектах ГТС, поднадзорных Ростехнадзору, в 2016-2020 гг. зафиксировано не было.

При паводке или штормовой погоде на водоёме может быть перелив воды через гребень плотины, если при назначении его отметки не были в должной мере учтены большие волны и нагон. При этом может разрушиться как гребень, так и низовой откос грунтового сооружения [22, 25, 27, 33]. Одной из причин возникновения аварийной ситуации на мелиоративном гидроузле может быть

значительная фильтрация и фильтрационные деформации, вызывающие отказы сооружения в целом или его отдельных элементов [11, 22, 24].

Очень важной составляющей при эксплуатации ГТС является соблюдение правил эксплуатации ГТС, а также наличие обученного и аттестованного персонала. Так дождливое лето 2020 года позволило выявить положительные и отрицательные факты при эксплуатации ГТС. В связи с продолжительными, обильными осадками на реке Синичка городского округа Красногорск в подмосковной деревне Марьино 30 мая 2020 г. возникла угроза размыва тела плотины (рис. 1.6). Грамотные, своевременные действия обученного персонала позволили избежать аварии на ГТС: был своевременно укреплен гребень плотины мешками с песком; создан водоотводной канал на берегоукреплении, в стороне от тела плотины; во избежание гидродинамического размыва стенки водоотводного канала укрепили геотекстилем.



Рис. 1.6. Восстановленные ГТС плотины на р. Синичка, М.О., 2019 г.

Анализ причин аварии, произошедшей 8 июля 2020 г. на ГТС р. Городянка в подмосковной Рузе, показывает, к чему приводит отсутствие обученного, аттестованного персонала (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Авария на подмосковной р. Городянка в Рузе, 2020г.

Дренажный канал в теле дамбы забился. Во избежание перелива воды через гребень дамбы, прямо в теле дамбы был сделан проран. Поток воды, устремившийся в проран, быстро размыл участок дамбы и бесконтрольно устремился вниз по течению. Так из-за ошибочных решений и действий возникла угроза возникновения чрезвычайной ситуации - подтопление жилых домов. В результате подтопило 29 приусадебных участков с 29 домами. Поток воды смыло два частных дома и одну хозяйственную постройку. Из-за инцидента были эвакуированы 52 человека.





Рис. 1.8. Фотореференц с места аварии на р. Городнянка в подмосковной Рузе, 8 июля 2020г.

В целом можно отметить, что к минимизации аварий на ГТС может привести реализация трех ключевых направлений, указанных ниже:

Первое направление: декларирование ГТС, внесение ГТС в Регистр с присвоением класса. Итогом станет учет всех ГТС и объективная, профессиональная оценка рисков, и соответственно, планомерной работы по их минимизации в зависимости от класса ГТС.

Второе направление: снижение количества бесхозных, неэксплуатируемых ГТС. Итог – приведение в большей части аварийных сооружений в исправное техническое состояние. Как следствие – минимизация рисков аварий ГТС.

Третье направление: разработка и утверждение правил эксплуатации ГТС, наличие обученного, аттестованного персонала у эксплуатирующей организации. Практика показала, что даже при наличии в общем-то исправного ГТС, непрофессиональные действия персонала могут привести к авариям и чрезвычайным ситуациям.

Реализация этих трех направлений невозможна без разработки региональных программ обеспечения безопасности ГТС, в том числе сооружений, которые не

имеют собственника, собственник которых неизвестен, либо ГТС, от прав собственности на которые собственник отказался. Наличие региональных программ, содержащих, в том числе, комиссионные обследования и периодическую инвентаризацию ГТС, а также, при необходимости, периоды разработки и утверждения деклараций безопасности ГТС, позволят существенно сократить риски возникновения чрезвычайных ситуаций.

1.3. Обследование и оценка технического состояния гидротехнических сооружений мелиоративных гидроузлов

Оценка состояния и уровня безопасности гидротехнических сооружений и водохозяйственных систем комплексного назначения представляет собой сложную задачу, решаемую на основе детальных обследований квалифицированными экспертами, а при необходимости группой экспертов, максимально использующих количественную и качественную информацию о работе существующих эксплуатирующихся гидротехнических сооружений. В соответствии с Российским регистром ГТС для обобщенной оценки состояния сооружений с точки зрения уровня их безопасности принята следующая классификации в соответствии с Российским Регистром ГТС выделяют 4 *уровня безопасности* (см. табл. 2.3): *нормальный, пониженный, неудовлетворительный и опасный*.

Контроль за надёжностью и безопасностью работы отдельных ГТС и гидроузлов выполняют по оценке результатов *визуальных и инструментальных наблюдений*, проводимых в период строительства и эксплуатации гидроузла [14]. Визуальные наблюдения проводятся для ГТС всех классов опасности. Инструментальные наблюдения с размещением контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) проводятся обязательно на сооружениях I – III классов, а для сооружений IV класса и их оснований состав и объём состав и объём инструментальных натуральных наблюдений и исследований определяется на основе соответствующего обоснования в каждом конкретном случае [24, 25]. Приобретение и установку КИА на ГТС осуществляет строительная организация. Подготовку приборов к измерениям и отладку в режимах измерения осуществляет научно-исследовательская организация, проводящая исследования. Наблюдения и

исследования в период эксплуатации ГТС выполняются службой натуральных наблюдений в соответствии с инструкциями научно-исследовательской и проектной организаций.

На основании *визуальных* наблюдений получают информацию, которая фиксируется в журналах и используется в дальнейшем при оценке безопасности гидроузла с грунтовой плотиной [22].

Для грунтовых подпорных сооружений это:

- состояние гребня и откосов плотины (просадки, подвижки, оползни, трещины и пр. [14, 22, 23, 35]);

- состояние креплений низовых откосов, в том числе травяного покрова, повреждения землероями, поверхностными водами и пр.;

- состояние крепления верхового откоса (разрушение плит, просадки, оползания, раскрытие швов, наличие каверн, трещин, разрушение уплотнений, вытекание уплотняющей массы и т.д.);

- состояние водоотводных кюветов, проложенных по бермам и откосам плотины;

- появление на низовом откосе плотины и в береговых примыканиях выходов фильтрационных вод или мокрых пятен;

- возникновение высачивания воды в примыкании грунтовой плотины к бетонным сооружениям;

- появление выходов воды в основании в нижнем бьефе плотины;

- возникновение наледей у подошвы низового откоса грунтовой плотины и на дренажных линиях;

- размывы откосов берегов;

- выпор грунта из-под основания;

- состояние элементов КИА (реперов, марок, пьезометров, створных знаков, указателей и пр.);

- состояние прилегающей к гидроузлу территории (берегов, балок, оврагов).

Для водопропускных сооружений гидроузла это оценка:

- на подводящих и отводящих каналах и участках - состояние берегов и откосов (оползней, осыпей, просадок, трещин), креплений откосов, заиление и степень зарастания, состояние и наличие ледо- и мусорозадерживающих устройств, состояние конструкций в зоне примыкания каналов к бетонным элементам сооружений;

- на транзитной части - деформации облицовки и крепления, смещение элементов облицовки, возникновение промоин под облицовками, вымыв песчано-гравийной подготовки или грунта из-под облицовки через швы или щели, вымыв уплотняющих материалов из швов;

- появление в бьефах крупных плавающих предметов;

- появление в водобойных колодцах крупных камней, бетонных/железобетонных или металлических предметов, способных истирать бетон при движении их в водоворотных зонах;

- на массивных бетонных элементах водосбросных сооружений - появление очагов фильтрации через бетон (влажных и мокрых пятен, течей, свищей и т.п.), наличие раковин и пустот в бетоне, отслаивание, выкрашивание бетона, обнажение арматуры, появление потёков и налётов, возникновение трещин и раскрытие швов.

Для механического оборудования гидроузлов это:

- появление трещин, механических повреждений;

- состояние подъёмных механизмов, тросов, реек, штанг;

- наличие смазки на трущихся частях и т.д.

При проведении визуальных обследований очень важно определить относительную отметку нормального подпорного уровня (НПУ) на водном объекте (см. п. 2.1).

Для всех грунтовых плотин I, II и III классов опасности помимо визуальных наблюдений выполняют следующие обязательные *инструментальные* наблюдения, результаты которых предоставляются эксплуатирующей организацией и используются при составлении декларации безопасности ГТС:

- геотехнический контроль качества и укладки грунтов, отсыпаемых в тело плотины, противofильтрационные элементы и дренажные устройства;
- наблюдения за осадками гребня и берм плотины;
- фильтрационные наблюдения в теле и основании плотины, береговых примыканиях;
- исследования процессов консолидации противofильтрационных элементов.

Для плотин IV класса и их оснований необходимыми являются следующие инструментальные наблюдения: за смещениями, осадкой, положением депрессионной кривой и фильтрационными расходами. Инструментальные наблюдения проводят с целью определения характеристики деформаций, напряжённо-деформированного состояния ГТС [14, 23].

Наблюдения за *фильтрацией* осуществляют с помощью сети пьезометров, показывающих уровень депрессионной поверхности фильтрационных вод в ГТС или в основании [23], и с помощью устройств, позволяющих определить расход фильтрационного потока через дренажные устройства, а иногда и его мутность. Для наблюдений за положением поверхности депрессии в теле фильтрующей плотины и в берегах применяются различного типа трубные пьезометры или телеметрические преобразователи (датчики) давления воды струнные (типа ПДС). Датчики размещаются в сечениях, перпендикулярных оси плотины, а также вдоль линий примыкания плотины к бетонным сооружениям и к берегам.

Первый по линии тока измерительный прибор устанавливается на гребне плотины вблизи бровки напорного откоса. Последний - у входа фильтрационного потока в дренаж, а промежуточные делят расстояние между крайними приборами на несколько частей (рис.1.9, 1.10). По показаниям пьезометров строят гидроизогипсы (линии равных напоров), эпюры давлений и противо давлений на бетонные элементы ГТС, эпюры приведённых напоров, кривые фильтрации, вертикальных и горизонтальных перемещений, свободной поверхности и т.д. Измерение расхода фильтрационных вод осуществляют объёмным способом, при помощи мерных водосливов и с помощью поплавков. Время наполнения мерного сосуда и время движения поплавков должно быть не менее 20 сек.

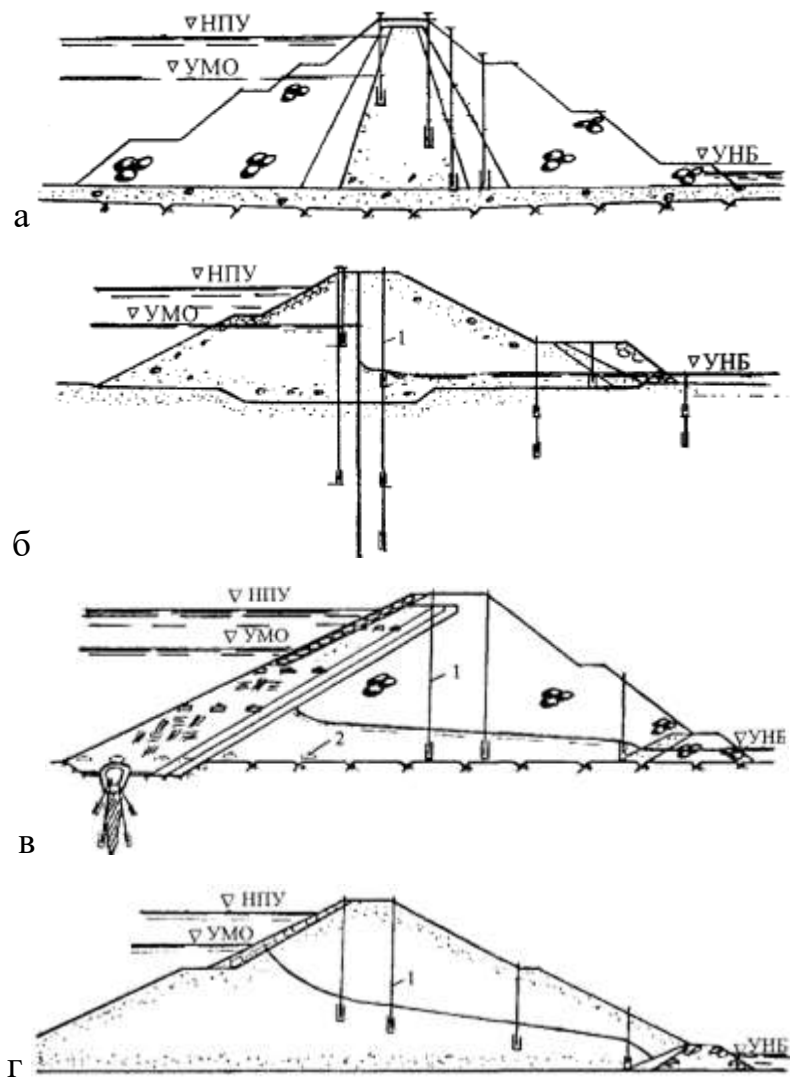
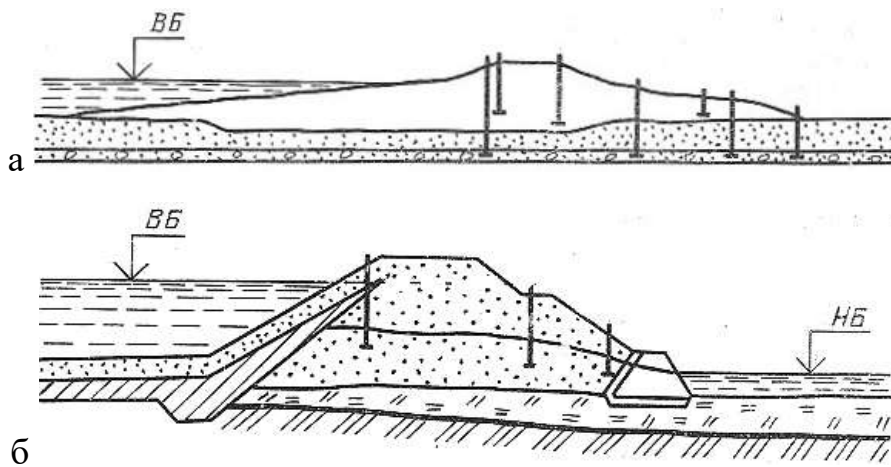


Рис. 1.9. Принципиальные схемы размещения пьезометров в грунтовых плотинах: а - каменнонабросная плотина с ядром; б - однородная плотина с диафрагмой и с дренажной призмой; в - каменнонабросная плотина с экраном; г - однородная плотина с дренажной призмой; 1 - пьезометр; 2 - датчик давления воды (ПДС)



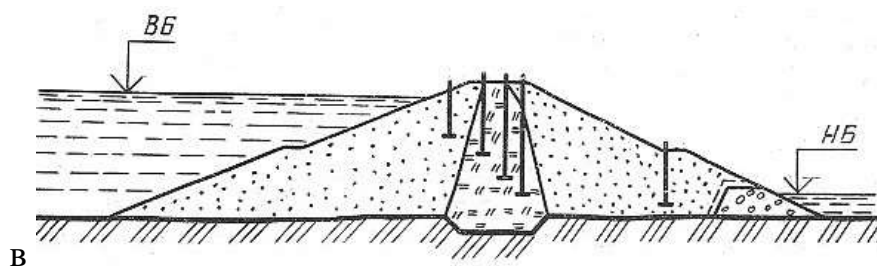


Рис. 1.10. Схемы размещения пьезометров в низконапорных земляных плотинах [23]: а – в однородной плотине; б и в – в плотинах с экраном и ядром

При устройстве пьезометров в качестве фильтрового материала сегодня широко применяют геотекстиль. В скальных основаниях фильтровым материалом может быть слой гравия толщиной 8...10 мм. Если по трещинам возможен вынос продуктов их заполнения, то устанавливают сетку из винипласта, стеклоткани и т.п. с отсыпкой фильтрового материала. Пьезометры требуют систематического ухода и наблюдений. При необходимости их очищают от ила желонками, промывают под давлением 0,2...0,4 МПа или путём откачки воды из пьезометра, заменяют на новые [23].

Скорость фильтрации потока устанавливают путём пуска в пьезометры или в верхнем бьефе, перед понуром, индикаторов и замера времени их появления в нижерасположенном пьезометре. Расход вычисляют обычными гидрометрическими способами. Профильтровавшиеся воды подвергают химическому анализу и определяют состав их твёрдой фазы (мутность воды). Наблюдения за поровым давлением в маловодопроницаемых грунтах (противофильтрационных устройств, оснований и т.п.) в плотинах высотой более 25 м осуществляют с помощью пьезодинамометров струнного типа, двухтрубного точечного типа, гидравлического действия и др. [23].

Наблюдения за *перемещениями* невысоких ГТС проводят с помощью геодезических приборов: реперов, марок и створных знаков (рис. 1.11, 1.12), знаков-указателей [14]. При измерении осадок оснований или отдельных слоёв используют глубинные и телескопические марки [14, 23].

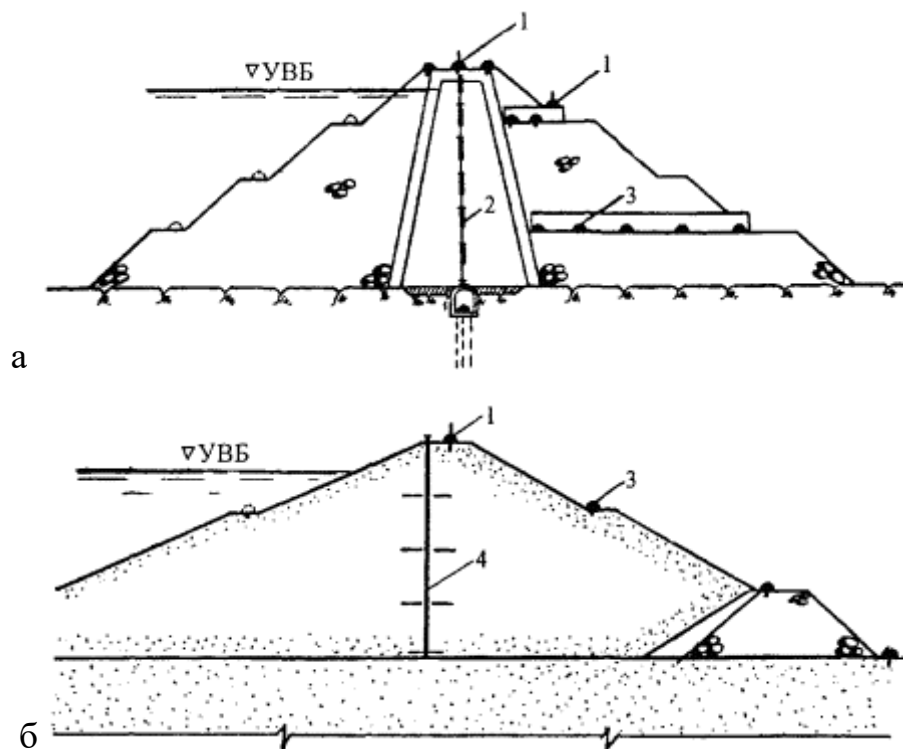


Рис. 1.11. Принципиальные схемы размещения геодезических марок на грунтовых плотинах: а - каменнонабросная плотина с ядром; б - однородная плотина; 1 - планово-высотная марка; 2 - система деформометров (типа ПЛПС-320); 3 - поверхностная марка; 4 - глубинная многоярусная марка

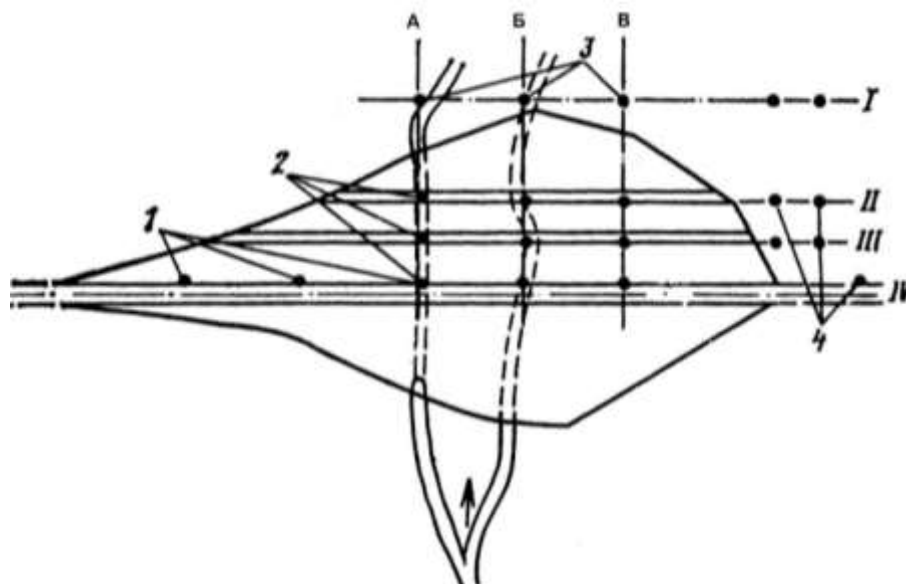


Рис. 1.12. Схемы размещения марок и створных знаков на грунтовой плотине: 1 и 2 – для определения продольной и поперечной осадки; 3 – для фиксирования появления выпора; 4 – створные знаки; I...IV – продольные створы; А, Б, В – поперечные створы

При эксплуатации водопропускных сооружений ежегодно проводят обследование нижнего бьефа ГТС с обязательным снятием рельефа воронки местного размыва. За водосбросными ГТС следят не только визуально, но и с помощью КИА. При этом натурные исследования проводят комплексно, то есть оценивают процесс взаимодействия потока с элементами водосброса и ГТС в целом, обращая большое внимание на гидравлику, гидродинамику, кавитацию, вибрацию и др. Для этой цели разработан комплекс соответствующих преобразователей и аппаратуры, позволяющей вести автоматизированный процесс [49].

При выходе из строя закладной КИА совместно с научно-исследовательской организацией решается вопрос об её восстановлении или установке новой. Надлежащий уход за ГТС частично определяет их долговечность. Выявленные службой эксплуатации дефекты и повреждения немедленно устраняют. Например, в процессе ухода за грунтовыми ГТС: ремонтируют крепления откосов; очищают от мусора ливнеотводные лотки и кюветы; поддерживают зелёный покров откосов в хорошем состоянии; ведут борьбу с землеройными грызунами, разрушая их ходы и уплотняя грунт в этих местах; своевременно окрашивают лестницы и ограждения; следят за освещением и т.д. [14, 23, 30, 50].

2. МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНОГО ГИДРОУЗЛА

Оценка состояния ГТС основана на сопоставлении отдельных *количественных* и *качественных* диагностических показателей, определяемых по результатам инструментальных и/или визуальных наблюдений, с *критериальными значениями* диагностических показателей (критериями безопасности).

Для каждого ГТС определяют свой набор значимых диагностических показателей состояния и их критериев безопасности в зависимости от сценариев возможной аварии или аварийной ситуации, от типа сооружения, класса, технического состояния, качества эксплуатации и других факторов.

При оценке состояния ГТС и назначении диагностических показателей следует руководствоваться также понятиями о предельных состояниях ГТС, используемых в практике проектирования: первой группе предельных состояний соответствует полная непригодность к эксплуатации; второй группе предельных состояний соответствует непригодность к нормальной эксплуатации.

Оценка состояния ГТС базируется на анализе: **технического состояния** ГТС и **качества их эксплуатации**. Оценка **технического состояния** ГТС производится на основе обобщения оценок соответствия критериям безопасности следующих групп диагностических показателей:

- количественных диагностических показателей состояния сооружения;
- качественных диагностических показателей состояния сооружения.

При анализе безопасности и назначении критериев безопасности ГТС учитывается специфика получения информации об их техническом состоянии:

- имеется проектная документация (в том числе расчетное обоснование, результаты исследований), результаты инструментальных и визуальных наблюдений, материалы обследований и т.п.

- отсутствуют проектная и исполнительная документация, расчетное обоснование;
- не проводилось инструментальных и визуальных наблюдений; отсутствуют материалы обследований.

При оценке безопасности ГТС различают следующие их **4 состояния: нормальное, удовлетворительное, потенциально опасное и аварийное** (см. также таблицу 2.1).

Нормальное состояние – работоспособное состояние, при котором все диагностические показатели ГТС соответствует критериям безопасности, регламентированным утвержденными национальными или ведомственными стандартами; эксплуатация осуществляется без ограничений в соответствии с предусмотренными в нормах и в проекте технологическими или иными условиями.

Удовлетворительное состояние – состояние, при котором имеют место незначительные отдельные локальные повреждения ГТС и их конструктивных элементов; устранение повреждений осуществляется выполнением текущего ремонта; возможны незначительные затруднения в эксплуатации при реализации отдельных проектных режимов.

Потенциально опасное состояние – частично работоспособное состояние ГТС, при котором имеют место значительные повреждения ГТС, их конструктивных элементов, при которых хотя бы один из диагностических показателей 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 влечет за собой немедленного возникновения чрезвычайной ситуации и прорыва напорного фронта.

Аварийное состояние – состояние ГТС или его конструктивных элементов, при котором имеет место их частичное, полное разрушение или

значительные повреждения, приводящие к полной непригодности к эксплуатации, в том числе к угрозе прорыва напорного фронта; при этом хотя бы один из диагностических показателей становится больше (меньше) соответствующих критериев безопасности, характеризующих наступление первого предельного состояния; аварийное состояние требует безотлагательного выполнения комплекса мероприятий для предотвращения прорыва напорного фронта и/или восстановления управления.

Таблица 2.1

Состояние (уровень безопасности) ГТС

Состояние гидротехнических сооружений	Код состояния	Цвет	Уровень* безопасности гидротехнических сооружений	Примечание
1	2	3		4
Нормальное	4	зеленый	Нормальный	
Удовлетворительное	3	синий	Пониженный	локальные повреждения, устраняемые текущим ремонтом
Потенциально опасное	2	оранжевый	Неудовлетворительный	II предельное состояние; значительные повреждения, устраняемые капитальным ремонтом
Аварийное	1	красный	Опасный	I предельное состояние

* Уровни безопасности приводятся в соответствии с Российским Регистром ГТС

Оценка состояния существующего, эксплуатируемого ГТС осуществляется в следующем порядке:

- проводится детальное обследование ГТС и его конструктивных элементов;
- устанавливаются и анализируются количественные и/или качественные диагностические показатели с учетом их взаимовлияния;
- выделяют значимые для данного ГТС диагностические показатели, а также отклонения от проектных, отклонения от нормируемых условий эксплуатации;
- на основе результатов обследований и сравнения диагностических показателей с их предельными значениями (с критериями безопасности) оценивается уровень безопасности ГТС (его конструктивных элементов);

- дается оценка состояния ГТС;
- рассматриваются различные возможные сценарии возникновения аварии или аварийной ситуации.

Рекомендуется устанавливать соответствие уровня безопасности [4] состоянию ГТС на основе таблицы 2.1. В зависимости от масштаба возможных последствий аварий ГТС и аварийных ситуаций в зоне территории водохранилища и нижнего бьефа ГТС по **степени опасности** подразделяются на категории I, II, III и IV (см. таблицу 2.2).

Таблица 2.2

Степень опасности ГТС

Степень опасности	Код опасности	Объем водохранилища, млн. м ³	Число пострадавших, чел.	Нарушение условий жизнедеятельности, чел.	Материальный ущерб, млн. руб.	Масштаб возможной ЧС	Зона распространения ЧС	Силы и средства, привлекаемые для ликвидации ЧС по решению
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	4	>1000	>500	>1000	>500	федеральный и/или трансграничный	пределы и/или за пределами РФ	Правительства РФ/ в соответствии с международным правом
II	3	1000-200	500 - 50	1000-500	500-50	региональный или территориальный	пределы 2-х и более субъектов федерации	Правительства РФ, исполнительной власти в зоне ЧС
III	2	200-50	50 - 10	500-300	50-5	местный	пределы города, района	Органов местного самоуправления
IV	1	до 50	до 10	300 - 100	5 - 1		пределы города, района	Собственника или эксплуатирующей организации

Оценка условий эксплуатации ГТС заключается в определении соответствия условий эксплуатации действующим нормам и правилам и принимается на основе анализа и оценки соответствия нормативным (проектным) требованиям следующих групп факторов безопасности:

- наличие или отсутствие служб эксплуатации;
- условий эксплуатации сооружения, включая вопросы финансирования;

- квалификации работников и материальной базы эксплуатирующей организации.

Определение предельных значений диагностических показателей (критериев безопасности), оценка уровней безопасности и состояния ГТС кратко приведены для грунтовых подпорных сооружений в разделе 2.1 данного учебного пособия и более подробно в разделе 3 учебного пособия [22], для водопропускных сооружений - в разделе 2.2 данного учебного пособия и подробнее в разделе 3 учебного пособия [16]. Перечни диагностических качественных и количественных показателей состояния ГТС гидроузла с плотиной из грунтовых материалов приведены в приложении 3.

В данном учебном пособии основное внимание уделено оценке безопасности ГТС мелиоративного гидроузла по **основным количественным диагностическим показателям**. В РГР, КР и КП можно не выполнять оценку состояния и уровня безопасности подпорного грунтового ГТС по: допустимым горизонтальным перемещениям, осадкам грунтовой плотины, ПФУ и основания (п. 2.2.6); температурному режиму тела и основания плотины, поровому давлению в противофильтрационных элементах и в основании грунтовых подпорных ГТС (п. 2.2.7). Определение фактических параметров качественных диагностических показателей и их критериальных значений для оценки технического состояния ГТС мелиоративного гидроузла с грунтовой плотиной или дамбой в данном учебном пособии не рассмотрены.

Окончательное заключение о состоянии ГТС составляется на основе экспертных оценок профессионально подготовленными специалистами. В процессе всего периода строительства и эксплуатации критериальные значения диагностических показателей (критерии безопасности) могут уточняться на основании данных инструментальных и визуальных наблюдений, расчетов, а также анализа условий эксплуатации.

Следует также учитывать, что при оценке безопасности реально существующего гидроузла условия эксплуатации ГТС оценивать очень важно,

поскольку факторы безопасности разделены на 2 группы: первая группа характеризует состояние ГТС, вторая условия его эксплуатации. Таким образом, уровень безопасности более корректно определять в зависимости от оценок как состояния ГТС, так и условий его эксплуатации, что желательно сделать в ВКР. Перечень *диагностических показателей, характеризующих условия эксплуатации*, который может быть дополнен и уточнён в зависимости от конструктивных особенностей ГТС и требований по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, приведен в приложении 1 (табл. П1.3).

Осмотры силами эксплуатирующих организаций или экспертов должны проводиться при подготовке сооружения к пропуску паводков, после прохождения паводков, сработки водохранилища и полного его опорожнения, при подготовке к зиме. Внеочередное обследование ГТС выполняется специализированными комиссиями после землетрясения, пропуска высоких паводков. Централизованные регулярные обследования специализированными комиссиями в соответствии с графиком обследований ГТС (в том числе предшествующие составлению декларации безопасности) проводятся не реже одного раза в 5 лет (но не более чем за 1 год до составления или обновления декларации безопасности).

В соответствии с «Инструкцией о порядке ведения Российского регистра ГТС» [4] оценки уровня безопасности ранжируются в диапазоне от «нормального» до «опасного» (табл.2.3)

Таблица 2.3

Оценка уровня безопасности ГТС по техническому состоянию ГТС и условиям его эксплуатации

Состояние ГТС	Соответствие условий эксплуатации ГТС нормативным и проектным требованиям	Уровень безопасности ГТС
Нормальное	Соответствуют или условно соответствуют	Нормальный
	Не соответствуют	Пониженный
Удовлетворительное	Соответствуют или условно	Пониженный

	соответствуют	
	Не соответствуют	
Потенциально опасное	Соответствуют или условно соответствуют	Неудовлетворительны
	Не соответствуют	
Аварийное	Соответствуют или условно соответствуют	Опасный
	Не соответствуют	

2.1. Расчётные уровни верхнего бьефа гидроузла

Для корректного выполнения оценки безопасности всех ГТС гидроузла необходимо знать фактическое значение *расчетного уровня верхнего бьефа*. При наличии водомерных реек или шкал на неподвижных элементах входных оголовков водопропускных сооружений **отметка НПУ** может устанавливаться с учетом зафиксированных на них указателей [14, 23, 33]. При отсутствии инструментальных данных фактическая отметка НПУ ($\nabla_{НПУ,факт}$) устанавливается при проведении обследований следующим образом:

- для случая нерегулируемых водосбросов (т.е. водосбросов без затворов) за отметку НПУ принимается отметка водосливного порога во входных оголовках;
- для случая водосбросов с обводными водосбросными каналами за отметку НПУ принимается отметка водосливного порога на входе в обводной канал или при отсутствии водосливного порога – отметка дна на входе в канал;
- при наличии затворов во входном оголовке открытых водосбросов за отметку НПУ принимается отметка уровня верхнего бьефа ($\nabla_{УВБ}$), устанавливаемая по зависимости:

$$\nabla_{УВБ} = \nabla_{затв} - d_3, \quad (2.1)$$

где: $\nabla_{затв}$ – отметка верхней кромки обшивки затвора, посаженного на порог; d_3 – превышение верхней кромкой обшивки затвора над НПУ.

Превышение верхней кромкой обшивки затвора над НПУ устанавливается следующим образом:

- при наличии проектной документации – по чертежам;
- при отсутствии проектной документации – превышение верхней кромки обшивки затвора над НПУ принимается равным 0,2...0,3 м.

В случае отсутствия проектной документации и при наличии в составе гидроузла водосбросов с шандорами, используемых в качестве основных затворов, остается значительная неопределенность установления отметки НПУ в натуральных условиях (при отсутствии водомерных реек или других указателей с отметкой НПУ). В этом случае допускается определять запас гребня плотины над наивысшим уровнем воды в верхнем бьефе в межпаводковый период, устанавливаемый по данным эксплуатирующей организации, или при отсутствии службы эксплуатации – по отношению к отметке верхнего шандора (при многопролетных сооружениях принимается самая низкая отметка верха шандор).

Отметка ФПУ ($\nabla_{ФПУ,расч}$) должна устанавливаться расчетным путем при пропуске поверочного расхода в случае изменения отметки и типа водосливного порога, ширины водосливного фронта, гидрологических характеристик водотока, класса сооружения. При наличии проектной документации для сооружений IV класса при повышении отметки НПУ (например, за счет наращивания нерегулируемого водосливного порога по высоте) допускается устанавливать отметку ФПУ путем прибавления к новой отметке НПУ форсировки уровня, приведенной в проектных материалах.

В случае отсутствия проектной документации для сооружений IV класса отметка ФПУ, как количественный диагностический показатель, не используется.

Определение критериальных значений отметки расчетных УВБ выполняется следующим образом:

- при наличии проектной документации предельно допустимые отметки расчетных УВБ устанавливаются в соответствии с величинами, указанными в

проекте. Предельно допустимой отметкой УВБ для нормального состояния ГТС является отметка ФПУ, установленная в проекте;

- при отсутствии проектной документации или при изменении требований к разработке проектной документации и уровня внешних воздействий (скорости ветра, гидрологических характеристик водотока), изменении класса сооружения, произошедших со времени разработки проекта, предельно допустимой отметкой УВБ для нормального состояния ГТС является отметка, установленная в соответствии с СП 38.13330.2012 «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)» [8].

Предельное значение максимального УВБ, соответствующее границе перехода сооружения в аварийное состояние, определяется как:

$$\nabla_{УВБ} = \Phi ПУ + a, \quad (2.2)$$

где: a – конструктивный запас гребня плотины, м.

При оценке состояния и уровня безопасности по расчетным уровням верхнего бьефа измеренные или полученные расчетным путем отметки НПУ и ФПУ сравниваются с проектными отметками. Оценка состояния и уровня безопасности по расчетным уровням верхнего бьефа осуществляется по таблице 2.4.

Таблица 2.4

**Оценка состояния и уровня безопасности по расчётным уровням
верхнего бьефа**

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС
			Уровень безопасности
1	Отметки НПУ и ФПУ <i>не превышают</i> проектное значение или определенное расчетом	$\nabla НПУ_{факт} \leq \nabla НПУ_{проект}$ $\nabla ФПУ_{расч} \leq \nabla ФПУ_{проект}$	Нормальное
			Нормальный
2	Отметки НПУ или ФПУ <i>превышают</i> проектное значение или определенное расчетом не более чем на величину 0,02 м	$0 < \nabla НПУ_{факт} - \nabla НПУ_{проект} \leq 0,02$ $0 < \nabla ФПУ_{расч} - \nabla ФПУ_{проект} \leq 0,02$	Удовлетворительное
			Пониженный

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС
			Уровень безопасности
3	Отметки НПУ или ФПУ <i>превышают</i> проектное значение или определенное расчетом более чем на 0,02 м, но не более чем на величину конструктивного запаса гребня плотины	$\nabla \text{НПУ}_{\text{проект}} + 0,02 \leq \nabla \text{НПУ}_{\text{факт}} \leq \nabla \text{НПУ}_{\text{проект}} + a$ $\nabla \text{ФПУ}_{\text{проект}} + 0,02 \leq \nabla \text{ФПУ}_{\text{расч}} \leq \nabla \text{ФПУ}_{\text{проект}} + a$	Потенциально опасное
			Неудовлетворительный
4	Отметки НПУ или ФПУ <i>превышают</i> проектное значение или определенное расчетом на величину конструктивного запаса гребня плотины	$\nabla \text{НПУ}_{\text{факт}} > \nabla \text{НПУ}_{\text{проект}} + a$ $\nabla \text{ФПУ}_{\text{расч}} > \nabla \text{ФПУ}_{\text{проект}} + a$	Аварийное
			Опасный

2.2. Оценка критериев безопасности подпорного грунтового сооружения гидроузла по количественным показателям

В курсовых, расчётно-графических и выпускных работах безопасность грунтовой плотины или защитной дамбы должна быть рассмотрена по следующим диагностическим показателям [11, 17]:

- проверка достаточности превышения гребня подпорного сооружения над расчётными уровнями верхнего бьефа гидроузла;

- оценка состояния и уровня безопасности грунтовой плотины/дамбы по ширине гребня;

- проверка достаточности толщины крепления верхового откоса плотины/дамбы и оценка устойчивости верхового и низового откосов подпорного грунтового ГТС [9, 11, 22, 33];

- оценка параметров фильтрационного потока в теле и основании плотины/дамбы и оценка состояния плотины/дамбы и уровня безопасности по величине фильтрационного расхода, по положению кривой депрессии [9, 10, 15, 17, 19];

- оценка состояния и уровня безопасности грунтовой плотины/дамбы по общей фильтрационной прочности тела и основания плотины/дамбы.

Подробное описание последовательности определения количественных диагностических показателей и критериев безопасности, как отдельных

элементов грунтовой плотины, так и всей плотины гидроузла в целом с расчётными примерами дано в учебном пособии «Оценка безопасности грунтовых подпорных сооружений» (Волков В.И., Черных О.Н., Алтунин В.И., М.: РГАУ-МСХА, 2016 г.) [22], а качественных – в учебном пособии «Проведение обследований при оценке безопасности гидротехнических сооружений» (Черных О.Н., Волков В.И., М.: Росинформагротех, 2017 г.) [14], также можно воспользоваться и рядом других материалов [11, 19, 24, 25, 26, 35]. Основное внимание при оценочных расчётах по программам лабораторного комплекса, специально созданного В.И. Волковым, установленного на компьютерах кафедры гидротехнических сооружений ИМВХиС и предоставляемых студентам также для персонального использования вне стен университета, надо обратить на то, что оценка безопасности элементов плотины из грунтовых материалов базируется на сопоставлении значения показателя, принятого по результатам обследований ГТС и приведённого в исходных данных, с его предельным значением – критерием безопасности, который определяется в соответствии с современными нормами [6, 7, 9, 17, 22, 26, 33].

Каждое сравнение диагностического показателя с критерием безопасности обычно сопровождается выводом об *уровне безопасности* плотины (*нормальный, пониженный, неудовлетворительный, опасный*) по этому показателю, а в конце раздела формируется сводная таблица по рассмотренным диагностическим показателям грунтового подпорного ГТС.

2.2.1 Оценка состояния и уровня безопасности грунтового подпорного ГТС по запасу гребня

Оценка безопасности грунтовой плотины/дамбы в РГР/КР и ВКР начинается с определения одного из наиболее значимого для безопасности плотины показателя – **превышения гребня плотины над расчетными уровнями верхнего бьефа** (НПУ и ФПУ) [7, 8, 15, 16, 17, 22]. Фактическая измеренная величина запаса ($h_{s,факт}$) гребня плотины сравнивается с предельно допустимой величиной запаса (h_s). Оценка состояния и уровня безопасности

грунтовой плотины по запасу гребня плотины над уровнем верхнего бьефа осуществляется по таблице 2.5 с учётом таблицы 2.6 [22].

Таблица 2.5

Оценка состояния и уровня безопасности грунтового подпорного ГТС по запасу гребня над уровнем верхнего бьефа

№	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности	Состояние ГТС	
		Уровень безопасности	
1	Фактический минимальный запас над НПУ и ФПУ <i>равен или превышает</i> проектное значение или определенное по СНиП	$h_{s,факт} \geq h_s$	Нормальное
			Нормальный
2	Фактический минимальный запас над НПУ и ФПУ <i>равен или превышает</i> проектное значение или определенное по СНиП, но имеют место локальные повреждения гребня, устранимые текущим ремонтом	$h_{s,факт} \geq h_s$	Удовлетворительное
			Пониженный
3	Фактический минимальный запас над НПУ или ФПУ <i>равен или превышает</i> проектное значение или определенное по СНиП, уменьшенное на величину конструктивного запаса	$h_{s,факт} > h_s - a$	Потенциально опасное
			Неудовлетворительный
4	Фактический минимальный запас над НПУ или ФПУ <i>меньше</i> проектного значения или определенного по СНиП, уменьшенного на величину конструктивного запаса	$h_{s,факт} \leq h_s - a$	Аварийное
			Опасный

Таблица 2.6

Оценка достаточности фактического запаса гребня грунтовой плотины

	Объем водоема, млн. м ³	Минимальный допустимый запас по отношению к отметке НПУ, м
1	>1...2	2,0...2,5
2	>0,5...1	1,8...2,0
3	>0,1...0,5	1,3...1,8
4	≤ 0,1	1...1,3

При наличии проектной документации предельно допустимый запас гребня плотины, соответствующий нормальному состоянию сооружения, устанавливается в соответствии с величиной, указанной в проекте (h_s). При

отсутствии проектной документации или при изменении требований к разработке проектной документации, произошедших со времени разработки проекта, определение h_s осуществляется в соответствии со СП [6] по зависимости:

$$h_s = \Delta h_{set} + h_{run\ 1\%} + a, \quad (2.3)$$

где: Δh_{set} – высота ветрового нагона воды, м; $h_{run\ 1\%}$ – высота наката ветровых волн обеспеченностью 1%, м; a – конструктивный запас гребня, м.

При расчетах предельно допустимого запаса гребня плотин IV класса в случае отсутствия проектной документации допускается:

- принимать $\Delta h_{set} = 0$;
- принимать длину разгона ветровой волны равной длине водохранилища, измеренной по перпендикуляру к оси плотины; при отсутствии крупномасштабных картографических материалов длина водохранилища может приниматься по данным глазомерной съемки в процессе проведения визуальных обследований;
- принимать скорость ветра (при расчетах при НПУ), характерную для данного региона, независимо от ориентации водохранилища в зависимости от класса плотины;
- принимать среднюю многолетнюю скорость ветра (при расчетах при ФПУ), характерную для данного региона, независимо от ориентации водохранилища;
- принимать $a = 0,5$ м;
- устанавливать коэффициент заложения верхового откоса, тип крепления и его шероховатость по результатам визуального обследования.

Предельное значение запаса гребня плотины, соответствующее границе перехода сооружения в аварийное состояние, определяется как: $h_s - a$, (м).

Фактический запас гребня плотины ($h_{s,факт}$) устанавливается в месте наименьшей его отметки, т.е. в месте максимального понижения гребня

плотины. Величина фактического запаса гребня определяется по отношению к отметкам НПУ и ФПУ.

Нахождение фактического запаса гребня плотины осуществляется при обследовании при помощи нивелира или тахеометра. При проведении только визуальных обследований фактический запас гребня плотины устанавливается путем приближенного глазомерного нивелирования с помощью лазерных и длиннобазовых стандартных уровней, лазерных рулеток с угломером (типа Disto A8). При отсутствии проектной документации и инструментальных наблюдений отметка НПУ устанавливается при проведении полевых обследований в соответствии с п. 2.1. Фактический запас гребня плотины над ФПУ должен определяться в процессе обследований только при наличии проектных материалов или зафиксированных указателей на водомерных рейках или шкалах на неподвижных элементах входных оголовков водопропускных сооружений.

За *высоту плотины* принимается её наибольшая высота в русловой части створа. При проведении обследований высота плотины определяется путём определения превышения гребня плотины над наиболее низкой отметкой в нижнем бьефе с помощью нивелира или тахеометра [14]. Допускается использование глазомерной съёмки с использованием лазерных и длиннобазовых стандартных уровней, снабжённых зеркалом для отображения положения пузырька уровня.

За *наиболее низкую отметку в нижнем бьефе* следует принимать отметку дна русла реки, а при засыпанном старом русле – отметку дна отводящего русла или канала за водобоем, консолью или рассеивающим порогом водосброса без учёта размывов. При водосбросных сооружениях, выполненных по типу обводного канала, по типу безбашенного нерегулируемого трубчатого или другого варианта водосброса с выпуском потока воды на отметки, превышающие дно нижнего бьефа, за наиболее низкую отметку в нижнем бьефе принимается отметка самого пониженного места подошвы низового откоса [33].

Для выполнения проверки достаточности превышения гребня плотины над расчетными уровнями верхнего бьефа необходимо установить: коэффициент заложения верхового откоса m_h в зоне отметок расчетных уровней ∇ НПУ и ∇ ФПУ; параметры волн в водохранилище на подходе к плотине; тип крепления верхового откоса, т.е. либо найти проект ГТС (например, взяв из предыдущего КП или РГР, или проект реального водного объекта) либо запроектировать его заново, используя соответствующую литературу [22, 33, 35, 43]. После ввода исходных данных процесс расчета на ПК по подобранной в зависимости от конструктивных особенностей плотины программе занимает секунды. Затем исходные данные и результаты расчета, включая промежуточные, переносятся в пояснительную записку в формате Word. Вставка данных и результатов расчета в Word производится в растровом формате после краткого описания в формате Word необходимых теоретических пояснений по соответствующему разделу.

Определение значения отметки гребня плотины (∇ Гр), параметры ветровых волн, величин нагона Δh_{set} и наката $h_{run1\%}$ волн и проверка глубоководности водоёма выполняется в соответствии с СП 39.13330.2012 [6] в табличной форме по программам на ПК, подробно описанных в учебных пособиях [9, 17, 22] и рабочих тетрадях [20]. После выбора из двух полученных отметок гребня плотины наибольшую с возможным округлением до 0,1 м в большую сторону, определяют высоту подпорного сооружения, а затем и класс ГТС с учётом типа грунта основания [2, 5].

Оценка уровня грунтовой плотины по показателю **«превышение гребня над расчётным уровнем»** осуществляется по таблице 3.5 [22]. В случае недостаточности фактического превышения гребня плотины/дамбы над расчётными отметками уровня воды в водоёме и высоты подпорных сооружений делается вывод о необходимости досыпки гребня до соответствующей отметки, и предлагаются конструктивные мероприятия, варианты которых приведены в разделе 3.1.1 данного пособия.

2.2.2. Оценка состояния и уровня безопасности подпорного ГТС по ширине гребня плотины

При оценке состояния и уровня безопасности ГТС по ширине гребня плотины/дамбы фактическая измеренная ширина гребня плотины ($b_{гр,факт}$) сравнивается с проектной ($b_{гр,пр}$), определенной по СП [6], по таблице 2.7, затем делается соответствующий вывод.

Таблица 2.7

Оценка состояния и уровня безопасности грунтовых подпорных ГТС по ширине гребня ($b_{гр}$)

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС
			Уровень безопасности
1	Фактическая минимальная ширина гребня плотины равна или превышает проектное значение или определенное по СНиП	$b_{гр,факт} \geq b_{гр,пр}$ $b_{гр,факт} \geq 4,5$ м	Нормальное
			Нормальный
2	Фактическая минимальная ширина гребня плотины равна или превышает проектное значение или определенное по СНиП, но имеют место локальные повреждения гребня, устранимые текущим ремонтом	$b_{гр,факт} \geq b_{гр,пр}$ $b_{гр,факт} \geq 4,5$ м	Удовлетворительное
			Пониженный
3	Фактическая минимальная ширина гребня плотины меньше проектного значения, но не менее 3 м	$b_{гр,факт} < b_{гр,пр}$ $b_{гр,факт} \geq 3$ м	Потенциально опасное
			Неудовлетворительный
4	Фактическая минимальная ширина гребня плотины меньше 3 м	$b_{гр,факт} < 3$ м	Аварийное
			Опасный

При отсутствии фактических данных в КР/РГР по реальным параметрам гребня плотины/дамбы (конструкции, ширине и пр.) оценку состояния и уровня безопасности плотины/дамбы по ширине её гребня можно не производить. При отсутствии проектной документации величина $b_{гр,пр}$ устанавливается в соответствии со СП [6] и принимается равной 4,5 м. Если ширина гребня подпорного ГТС недостаточна, то необходимо предложить способ его уширения с учётом состояния верхового и низового откосов плотины/дамбы. Возможные варианты решения проблемы приведены в разделе 3.1.2 данного учебного пособия.

2.2.3. Оценка состояния и уровня безопасности откосов грунтового подпорного ГТС

Показателем, характеризующим устойчивость откосов грунтового подпорного ГТС, являются коэффициенты заложения верхового (m_h) и низового (m_t) откосов в совокупности с такими параметрами как сдвиговые характеристики материала тела плотины/дамбы, положение кривой депрессии и др.

Фактический коэффициент заложения верхового ($m_{h,факт}$) и низового ($m_{t,факт}$) откосов плотины/дамбы устанавливается в месте их наибольшей крутизны в створах с максимальной или близкой к ней высотой плотины/дамбы. В процессе обследований для верхового откоса, как правило, удается установить только коэффициент заложения надводной части [22, 33]. При проведении инструментальных обследований коэффициент заложения верхового и низового откосов устанавливается геодезическими методами. При проведении визуальных обследований коэффициент заложения верхового и низового откосов устанавливается путем простейших измерений с помощью угломера, снабженного уровнем. Для уменьшения ошибки измерения количество определений не должно быть меньше 3. При креплении откосов крупнообломочными грунтами, залужением или при отсутствии крепления применение угломеров должно сопровождаться использованием длиннобазовой рейки для осреднения неровностей поверхности откосов.

При наличии проектной документации предельно допустимый коэффициент заложения верхового ($m_{h,np}$) и низового ($m_{t,np}$) откосов плотины (его наименьшее значение) устанавливается в соответствии с величиной, указанной в проекте. При отсутствии проектной документации приближенное значение величины предельно допустимого коэффициента заложения верхового и низового откосов плотин IV класса может устанавливаться в зависимости от типа грунтов, слагающих верховой и низовой клин плотины, и от высоты

плотины по таблицам, приведенным в технической литературе для осредненных характеристик грунтов [9, 10, 15, 17, 18, 36].

Фактические измеренные величины коэффициентов заложения верхового и низового откосов плотины сравниваются с проектными ($m_{h,np}$, $m_{t,np}$) или, при отсутствии проектных материалов, определенными по справочной литературе. Оценка состояния и уровня безопасности грунтовой плотины **по коэффициентам заложения верхового и низового откосов** плотины осуществляется по таблице 2.8.

Таблица 2.8

Оценка состояния и уровня безопасности грунтового подпорного ГТС по коэффициентам заложения верхового (m_h) и низового (m_t) откосов

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС
			Уровень безопасности
1	Фактические коэффициенты заложения верхового и низового откосов равны или превышают проектное значение или, при отсутствии проекта, определенное по таблице 3.2.3	$m_{h,факт} \geq m_{h,np}$ $m_{t,факт} \geq m_{t,np}$	Нормальное
			Нормальный
2	Фактические коэффициенты заложения верхового и низового откосов равны или превышают проектное значение или, при отсутствии проекта, определенное по таблице 3.2.3, но имеют место локальные повреждения откосов, устранимые текущим ремонтом	$m_{h,факт} \geq m_{h,np}$ $m_{t,факт} \geq m_{t,np}$	Удовлетворительное
			Пониженный
3	Фактический коэффициент заложения надводной части верхового откоса меньше проектного значения или, при отсутствии проекта, определенного по таблице 3.2.3	$m_{h,факт} < m_{h,np}$	Потенциально опасное
			Неудовлетворительный
4	Фактический коэффициент заложения части низового откоса меньше проектного значения или, при отсутствии проекта, определенного по таблице 3.2.3	$m_{h,факт} < m_{h,np}$	Потенциально опасное
			Неудовлетворительный
5	Фактический коэффициент заложения всего верхового откоса меньше проектного значения или, при отсутствии проекта, определенного по таблице 3.2.3	$m_{h,факт} < m_{h,np}$	Аварийное
			Опасный
6	Фактический коэффициент заложения низового откоса меньше проектного значения или, при отсутствии проекта, определенного по таблице 3.2.3	$m_{t,факт} < m_{t,np}$	Аварийное
			Опасный

Для оценки состояния и уровня безопасности подпорного грунтового ГТС по коэффициентам устойчивости верхового ($k_{уст,h}$) и низового ($k_{уст,t}$) откосов расчетные величины коэффициентов устойчивости верхового и низового откосов плотины сравниваются с предельно допустимыми значениями ($k_{уст,пр,h}$, $k_{уст,пр,t}$). Расчетное значение коэффициентов устойчивости верхового ($k_{уст,расч,h}$) и низового ($k_{уст,расч,t}$) откосов плотины, а также береговых примыканий устанавливается согласно СП 58.13330.2012 [5] по зависимости:

$$k_{уст,расч,i} = \frac{R}{F}, \quad (2.4)$$

где: F – расчетное значение обобщенного силового воздействия, определенное с учетом коэффициента надежности по нагрузке γ_f ; R – расчетное значение обобщенной несущей способности системы «сооружение–основание», определенное с учетом коэффициентов надежности по грунту γ_g .

При этом расчеты должны проводиться для расчетных случаев, определенных СП 39.13330.2012 [6] и реально возможных при эксплуатации плотины.

При отсутствии проектной документации или при изменении требований к разработке проектной документации, произошедших со времени разработки проекта, или характеристик грунтов, а также уровня внешних воздействий оценка устойчивости откосов плотин I...III классов и береговых склонов должна осуществляться в соответствии со СП [5, 6].

Минимальное предельно допустимое значение коэффициентов устойчивости верхового ($k_{уст,пр,h}$) и низового ($k_{уст,пр,t}$) откосов плотины, соответствующее нормальному состоянию сооружения, устанавливается по зависимости [5]:

$$k_{уст,пр,i} = \frac{\gamma_n \gamma_{lc}}{\gamma_c}, \quad (2.5)$$

где: γ_n, γ_c и γ_c – коэффициенты, принимаемые в соответствии с [5], γ_{lc} – коэффициент сочетания нагрузок; γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения (равный для ГТС I класса – 1,25, II – 1,2, III – 1,15, IV – 1,1); γ_c – коэффициент условий работы, для упрощенных методов расчета принимается равным 0,95.

Для основного сочетания нагрузок: $k_{уст, np, i} = 1,16$ для плотин IV класса и $k_{уст, np, i} = 1,21$ для плотин III класса.

Оценка состояния и уровня безопасности грунтовой плотины по коэффициентам устойчивости верхового и низового откосов плотины осуществляется по таблице 2.9.

Таблица 2.9

Оценка состояния и уровня безопасности грунтового подпорного ГТС по коэффициентам устойчивости верхового ($k_{уст, h}$) и низового ($k_{уст, t}$)

ОТКОСОВ

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС
			Уровень безопасности
1	Расчетные коэффициенты устойчивости верхового и низового откосов равны или превышают предельно допустимые	$k_{уст, расч, h} \geq k_{уст, np, h}$ $k_{уст, расч, t} \geq k_{уст, np, t}$	Нормальное
			Нормальный
2	Расчетные коэффициенты устойчивости верхового и низового откосов равны или превышают предельно допустимые, но имеют место локальные повреждения откосов, устранимые текущим ремонтом	$k_{уст, расч, h} \geq k_{уст, np, h}$ $k_{уст, расч, t} \geq k_{уст, np, t}$	Удовлетворительное
			Пониженный
3	Расчетный коэффициент устойчивости верхового откоса равен или превышает предельно допустимый, но имеют место значительные повреждения откосов, устранимые капитальным ремонтом	$k_{уст, расч, h} \geq k_{уст, np, h}$	Потенциально опасное
			Неудовлетворительный
4	Расчетный коэффициент устойчивости низового откоса равен или превышает предельно допустимый, но имеют место значительные повреждения откосов, устранимые капитальным ремонтом	$k_{уст, расч, t} \geq k_{уст, np, t}$	Потенциально опасное
			Неудовлетворительный
5	Расчетный коэффициент устойчивости верхового откоса меньше предельно допустимого	$k_{уст, расч, h} < k_{уст, np, h}$	Аварийное
			Опасный
6	Расчетный коэффициент устойчивости низового откоса меньше предельно допустимого	$k_{уст, расч, t} < k_{уст, np, t}$	Аварийное
			Опасный

Проверку *достаточности параметров/толщины крепления верхового откоса* подпорного ГТС проводят по соответствующим формулам с учётом параметров волнового воздействия и конструкции крепления, приведённым в справочной и учебной литературе [9, 10, 15, 17, 19, 22, 32, 36]. Для оценки достаточности параметров крепления **верхового откоса** грунтовой плотины в процессе обследований устанавливаются фактические размеры крепления, а критерии безопасности определяются в соответствии с действующими нормами. Если в результате оценки толщина существующего крепления при сравнении фактической толщины с требуемой по современным нормам окажется недостаточной, то с учётом состояния крепления можно предложить варианты его ремонта или реконструкции (см. возможные решения в разделе 3.1. или в специальной литературе [6, 15, 23, 25, 26, 31, 32, 37, 45]).

Для сооружений IV класса фактический коэффициент устойчивости, как количественный диагностический показатель, обычно не определяется. Оценка устойчивости откосов плотин в РГР/КР [7, 8, 14] производится путем сравнения фактических заложений верхового и низового откосов плотины (приводятся в исходных данных) с проектными значениями. В ВКР необходим расчёт коэффициентов запаса любым классическим способом желательно на ПК [8, 9, 10, 15, 16, 17, 36] для выполнения оценки состояния и уровня безопасности грунтового подпорного ГТС по коэффициентам заложения и коэффициентам устойчивости верхового и низового откосов. В РГР/КР эти расчёты выполнять не надо, достаточно проверки толщины существующего крепления откосов, которая должна быть не менее нормативной толщины для данной конструкции крепления.

2.2.4. Оценка состояния и уровня безопасности подпорного грунтового ГТС по величине фильтрационного расхода и положению кривой депрессии

Для оценки состояния и уровня безопасности ГТС *по положению кривой депрессии* в теле плотины/дамбы и в береговых примыканиях фактическое

положение кривой депрессии ($h_{i,факт}$) (по данным пьезометров) сравнивается с положением кривой депрессии, установленным в проекте или определенным расчетным путем с помощью известных приближённых гидравлических методов ($h_{i,пр}$) [7, 8, 13, 15], либо рассчитанным по программе на ПК, например, составленной и реализованной В.И. Волковым в Excel [20]. При отличии уровней верхнего и нижнего бьефов в момент регистрации фактического положения кривой депрессии от уровней, принятых в проекте, производится перерасчет положения кривой депрессии, зарегистрированного в процессе измерения. Для сооружений IV класса фактическое положение кривой депрессии, как количественный диагностический показатель, не определяется.

Оценка состояния и уровня безопасности грунтовой плотины по положению кривой депрессии осуществляется по таблице 2.10.

Таблица 2.10

Оценка состояния и уровня безопасности грунтовой плотины/дамбы по положению кривой депрессии

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС
			Уровень безопасности и
1	Фактическое положение кривой депрессии не превышает проектное положение	$h_{i,факт} \leq h_{i,пр}$	Нормальное Нормальный
2*	Фактическое положение кривой депрессии превышает проектное, но минимальное расстояние от поверхности низового откоса до кривой депрессии составляет не менее глубины промерзания грунта откоса	$h_{i,факт} > h_{i,пр}$	Удовлетворительное Пониженный
3*	Фактическое положение кривой депрессии превышает проектное, но фильтрационный поток не выходит на низовой откос	$h_{i,факт} > h_{i,пр}$	Потенциально опасное Неудовлетворительный
4*	Фактическое положение кривой депрессии превышает проектное с выходом фильтрационного потока на низовой откос	$h_{i,факт} > h_{i,пр}$	Аварийное Опасный

* во всех случаях выполняются расчеты устойчивости откоса и уточняются критерии безопасности.

Для оценки состояния и уровня безопасности подпорного ГТС выполняется проверка допустимости **величины фактических фильтрационных потерь** по сравнению с проектным значением (критерий безопасности – величина, полученная в результате расчета на ПК) [17, 19]. Фактический фильтрационный расход (суммарный $Q_{\text{общ,факт}}$ и по отдельным участкам $Q_{i,\text{факт}}$) для плотин, оборудованных КИА, устанавливается в процессе измерений с обязательной регистрацией уровней верхнего и нижнего бьефов. Для оценки состояния предпочтительными данными являются измерения, выполненные при НПУ в верхнем бьефе и наинизшем уровне нижнего бьефа. Фактический фильтрационный расход сравнивается с аналогичными расходами, установленными в проекте или определенными расчетным путем ($Q_{\text{общ,пр}}$ и $Q_{i,\text{пр}}$).

В РГР/КР расчёты допускается выполнять только в пределах русловой части плотины. Для сооружений IV класса фактический фильтрационный расход, как количественный диагностический показатель, не определяется. Оценка состояния и уровня безопасности грунтовой плотины/дамбы по величине фильтрационного расхода осуществляется по таблице 2.11.

Таблица 2.11

Оценка состояния и уровня безопасности грунтового подпорного ГТС по величине фильтрационного расхода

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС
			Уровень безопасности
1	Фактический фильтрационный расход не превышает проектный	$Q_{\text{общ,факт}} \leq Q_{\text{общ,пр}}$ $Q_{i,\text{факт}} \leq Q_{i,\text{пр}}$	Нормальное
			Нормальный
2	Фактический фильтрационный расход не превышает проектный, но имеет тенденции к увеличению	$Q_{\text{общ,факт}} \leq Q_{\text{общ,пр}}$ $Q_{i,\text{факт}} \leq Q_{i,\text{пр}}$	Удовлетворительное
			Пониженный
3	Фактический фильтрационный расход превышает проектный, но не имеет тенденции к увеличению	$Q_{i,\text{факт}} > Q_{i,\text{пр}}$	Потенциально опасное
			Неудовлетворительный

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности	Состояние ГТС
		Уровень безопасности
4	Фактический фильтрационный расход <i>превышает</i> проектный и имеет тенденции к увеличению	$Q_{i,факт} > Q_{i,пр}$
		Аварийное Опасный

При несоответствии диагностических показателей критериям безопасности необходимо привести рекомендации по её обеспечению для оцениваемого ГТС: изменение конструкции плотины, элементов ГТС и пр., некоторые из которых отмечены в разделе 3. Кроме оценки безопасности плотины на промерзание живого сечения фильтрационного потока, следует дать оценку соответствия/несоответствия положения кривой депрессии с показаниями пьезометров и предложить соответствующие мероприятия службе эксплуатации.

2.2.5. Оценка состояния и уровня безопасности по общей фильтрационной прочности тела и основания грунтового подпорного ГТС

Оценка состояния и уровня безопасности подпорных ГТС по *общей фильтрационной прочности тела* плотины/дамбы осуществляется путем сравнения фактических градиентов фильтрационного потока ($I_{est,m}$) и ($I_{est,o}$), устанавливаемым по показаниям пьезометров с осреднением его величины в створе при установившихся уровнях верхнего и нижнего бьефов, с допустимыми значениями (критериями безопасности) ($I_{cr,m}$), приведённых в технической литературе [7, 8, 14, 15, 16], по таблице 2.12.

Таблица 2.12

Оценка состояния и уровня безопасности грунтовой плотины/дамбы по общей фильтрационной прочности тела плотины

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности	Состояние ГТС
		Уровень безопасности
1	Фактический средний градиент напора в теле плотины <i>не превышает</i> предельно допустимый градиент с учетом коэффициента надежности	$I_{est,m} \leq I_{cr,max,m}$
		Нормальное Нормальный

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС
			Уровень безопасности
2	Фактический средний градиент напора в теле плотины равен или превышает критический средний градиент	$I_{est,m} \geq I_{cr,m}$	Аварийное
			Опасный

При наличии проектной документации и отсутствии пьезометров наибольший действующий осредненный градиент напора ($I_{est,m}$) в русловом сечении тела плотины может определяться по зависимости

$$I_{est,m} = \frac{H}{L + 0,4H_1 + 0,4H_2}, \quad (2.6)$$

где H – наибольший напор на плотине (при отсутствии воды в нижнем бьефе H определяется как разность отметок НПУ и дна отводящего канала водосброса); L – расстояние между урезом воды в верхнем бьефе и началом дренажа (при наличии дренажа) или между урезом воды в верхнем бьефе и урезом воды в нижнем бьефе (при отсутствии дренажа или наклонном дренаже); H_1 – глубина в верхнем бьефе; H_2 – глубина в нижнем бьефе.

При отсутствии проектной документации допускается устанавливать осредненное значение ($I_{est,m}$) с приближенным определением длины L и наибольшего напора H в процессе визуальных обследований.

Значение критического среднего градиента напора $I_{cr,max} = \frac{I_{cr}}{\gamma_n}$ для материала (грунта) тела плотины/дамбы, основания или противофильтрационного элемента устанавливается по таблице 2.13 с учётом коэффициента надёжности по ответственности сооружений γ_n [5].

Таблица 2.13

Величина критического осредненного градиента, I_{cr}

Тип материала (грунта) тела плотины или противофильтрационного устройства и основания	Элементы поперечного сечения плотины, I_{cr}			Основание $I_{cr.o}$
	понур	экран и ядро	тело и призмы плотины, $I_{cr,m}$	

1	2	3	4	5
Глина, глинобетон	15	12	8...2	1,35
Суглинок	10	8	4...1,5	0,8
Супесь	3	2	2...1	0,6
Песок крупный	-	-	1,25	0,48
Песок средний	-	-	1	0,42
Песок мелкий	-	-	0,75	0,32

При наличии проектной документации осреднённый градиент напора в основании плотины в ее русловом сечении ($I_{est,o}$) определяется по зависимости

$$I_{est,o} = \frac{H_1 - H_2}{L1 + 0,88T_{расч}}, \quad (2.7)$$

где $L1$ – ширина плотины по основанию, которая измеряется от подошвы верхового откоса до начала дренажа; H_1 и H_2 – глубины соответственно в верхнем и нижнем бьефе; $T_{расч}$ – заглубление расчетного водоупора (при отсутствии данных о положении реального водоупора в проекте принимается $T_{расч} = 0,5L1$). При отсутствии проектной документации допускается устанавливать осредненный градиент напора $I_{est,o}$ по зависимости (2.7) с приближенным определением длины $L1$ и наибольшего напора $H = H_1 - H_2$ в процессе визуальных обследований.

Для оценки состояния и уровня безопасности грунтовой плотины/дамбы **по общей фильтрационной прочности основания** фактическая величина среднего градиента напора в основании плотины/дамбы сравнивается в таблице 2.14 с предельно допустимым средним градиентом напора ($I_{max,o}$), определенным по СП [5].

Таблица 2.14

Оценка состояния и уровня безопасности грунтового подпорного ГТС по общей фильтрационной прочности основания плотины/дамбы

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности	Состояние ГТС
		Уровень безопасности
1	Фактический средний градиент напора в основании плотины не превышает предельно допустимый градиент с	$I_{est,o} \leq I_{cr,max,o}$
		Нормальный

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС
			Уровень безопасности
	учетом коэффициента надежности		Неудовлетворительный
2	Фактический средний градиент напора в основании плотины равен или превышает критический средний градиент	$I_{est,o} \geq I_{cr,o}$	Аварийное
			Опасный

При наличии противофильтрационных устройств (ПФУ) в теле и основании грунтовой плотины оценка состояния и уровня безопасности ГТС **по фильтрационной прочности ПФУ** выполняется аналогичным образом [6, 9, 11, 14, 17]. Фактический градиент фильтрации в ПФУ ($I_{est,ПФУ,t}$) в теле плотины/дамбы устанавливается по показаниям пьезометров с осреднением его величины в створе при установившихся уровнях верхнего и нижнего бьефов. Полученный градиент фильтрации пересчитывается для расчетного случая: НПУ – в верхнем бьефе; минимальный уровень – в нижнем бьефе.

При наличии проектной документации и отсутствии пьезометров градиент фильтрации ($I_{est,ПФУ,t}$) может определяться по зависимости:

$$I_{est,ПФУ,t} = \frac{\Delta H}{t_{\text{я}}}, \quad (2.8)$$

где: ΔH – падение напора на противофильтрационном устройстве (ядре или экране) в теле плотины; величина ΔH устанавливается при наибольшем напоре для плотин IV класса упрощенными методами, а для плотин остальных классов – численными методами расчета фильтрации или методом ЭГДА; $t_{\text{я}}$ – толщина противофильтрационного устройства в месте начала кривой депрессии за ПФУ.

Предельно допустимый градиент фильтрации в ПФУ в теле ($I_{max,ПФУ,t}$) плотины в соответствии со СП [5, 6] устанавливается по зависимости:

$$I_{max,ПФУ,t} = I_{cr,m} / \gamma_n, \quad (2.9)$$

где: $I_{cr,m}$ – критический градиент напора, устанавливаемый по СП [5].

При отсутствии проектной документации проверка не производится. При наличии проектной документации наибольший градиент фильтрации ($I_{est, ПФУ,з}$) в ПФУ в основании определяется метод ЭГДА или численными методами расчета по зависимости:

$$I_{est, \text{ЭГДА}} = \frac{\Delta H}{t_\zeta}, \quad (2.10)$$

где: ΔH – потери напора на ПФУ при наибольшем напоре на плотине; при отсутствии воды в нижнем бьефе напор на плотине определяется как разность отметок НПУ и дна отводящего канала водосброса; t_ζ – толщина ПФУ в основании в месте определения ΔH .

При наличии совершенных ПФУ в основании (замок; ПФУ, возведенные методом "стена в грунте" и т.п.) для плотин IV класса $I_{est, ПФУ,з}$ может определяться по зависимости:

$$I_{est, \text{ЭГДА}} = \frac{k_o H}{L + t_\zeta (k_o / k_\zeta - 1) + 0,88 \delta_{\text{дн}}} k_1, \quad (2.11)$$

где: H – наибольший напор на плотине; при отсутствии воды в нижнем бьефе напор на плотине определяется как разность отметок НПУ и дна отводящего канала водосброса; L – длина плотины по основанию; t_ζ – средняя толщина ПФУ в основании; k_o – коэффициент фильтрации основания; k_ζ – коэффициент фильтрации ПФУ в основании; $T_{расч}$ – заглубление расчетного водоупора.

При отсутствии проектной документации определение фактического градиента фильтрации в ПФУ в основании не производится.

Предельно допустимый градиент фильтрации в ПФУ в основании ($I_{max,з}$) плотины устанавливается в зависимости от типа применяемого противofiltrационного устройства и вида используемого материала. Например, при выполнении совершенного зуба предельно допустимый градиент фильтрации может устанавливаться как для материала тела плотины по зависимости:

$$I_{\max \text{ПФУ},z} = I_{cr,m} / \gamma_n, \quad (2.12)$$

где: $I_{cr,m}$ – критический градиент напора, устанавливаемый в зависимости от типа материала ПФУ, например для грунтового ПФУ в виде замка по СП [6, 7] (см. таблицу 3.2.6).

Оценка состояния и уровня безопасности грунтовых подпорных ГТС по фильтрационной прочности ПФУ в их теле и основании осуществляется по таблицам, аналогичным таблицам 2.11 и 2.13, с внесением соответствующих критериев.

2.2.6. Оценка состояния и уровня безопасности по допустимым горизонтальным перемещениям, осадкам грунтовой плотины/дамбы, ПФУ и основания

Фактические осадки плотины, ПФУ и основания ($\Delta S_{i, \text{факт}}$) и горизонтальные перемещения ($\Delta H_{i, \text{факт}}$) для плотин, оборудованных поверхностными и глубинными марками, устанавливаются в процессе измерений с обязательной регистрацией уровней верхнего и нижнего бьефов. Для оценки безопасности предпочтительными данными являются измерения, выполненные при наибольшем уровне верхнего бьефа. Для сооружений IV класса фактические осадки и горизонтальные перемещения, как количественные диагностические показатели, не определяются. Предельно допустимые осадки плотины, ПФУ и основания ($\Delta S_{i, \text{нр}}$) и горизонтальные перемещения ($\Delta H_{i, \text{нр}}$) являются расчетным показателем и устанавливаются в проекте.

Фактические осадки плотины, ПФУ и основания ($\Delta S_{i, \text{факт}}$) и горизонтальные перемещения ($\Delta H_{i, \text{факт}}$) сравниваются с установленными в проекте ($\Delta S_{i, \text{нр}}$, $\Delta H_{i, \text{нр}}$). Оценка состояния и уровня безопасности грунтовой плотины по допустимым осадкам и горизонтальным перемещениям осуществляется по таблице 2.15.

**Оценка состояния и уровня безопасности грунтового подпорного ГТС
по допустимым осадкам и горизонтальным перемещениям**

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС
			Уровень безопасности
1	Фактические осадки плотины, ПФУ и основания и горизонтальные перемещения <i>не превышают</i> проектные значения	$\Delta S_{i,факт} \leq \Delta S_{i,пр}$ $\Delta H_{i,факт} \leq \Delta H_{i,пр}$	Нормальное
			Нормальный
2	Фактические осадки плотины, ПФУ и основания и горизонтальные перемещения <i>не превышают</i> проектные значения, но имеет место появление локальных несквозных трещин	$\Delta S_{i,факт} \leq \Delta S_{i,пр}$ $\Delta H_{i,факт} \leq \Delta H_{i,пр}$	Удовлетворительное
			Пониженный
3	Фактические осадки плотины, ПФУ и основания и горизонтальные перемещения <i>превышают</i> проектные значения и вызывают появление локальных несквозных трещин	$\Delta S_{i,факт} > \Delta S_{i,пр}$ $\Delta H_{i,факт} > \Delta H_{i,пр}$	Потенциально опасное
			Неудовлетворительный
4	Фактические осадки плотины, ПФУ и основания и горизонтальные перемещения <i>превышают</i> проектные значения и вызывают появление сквозных трещин	$\Delta S_{i,факт} > \Delta S_{i,пр}$ $\Delta H_{i,факт} > \Delta H_{i,пр}$	Аварийное
			Опасный

**2.2.7. Оценка состояния и уровня безопасности грунтовой
плотины/дамбы по температурному режиму и поровому давлению в
противофильтрационных элементах и в основании**

Фактический температурный режим тела и основания ($T_{i,факт}$) для плотин/дамб из грунтовых материалов, расположенных в суровых климатических условиях и оборудованных датчиками температуры, устанавливается в процессе измерений с одновременной регистрацией температуры воды верхнего и нижнего бьефов и окружающего воздуха. При этом по показаниям датчиков температуры устанавливается положение нулевой изотермы (границы раздела талых и мерзлых грунтов) – глубины оттаивания со стороны верхнего бьефа в теле плотины и основании ($h_{i,факт,0}$). Для сооружений IV класса температурный режим тела и основания, как количественный диагностический показатель для грунтовых плотин/дамб, не определяется.

Предельно допустимый температурный режим тела и основания ($T_{i,np}$) с предельным положением нулевой изотермы – глубиной оттаивания ($h_{i,np,0^\circ}$) являются расчетными показателями и устанавливаются в проекте в зависимости от длительности эксплуатации грунтового ГТС при проведении теплотехнических расчетов. При оценке состояния и уровня безопасности грунтовой плотины/дамбы **по положению нулевой изотермы** фактические величины положения нулевой изотермы (глубины оттаивания) в теле и основании ГТС ($h_{i,факт,0^\circ}$) сравниваются с установленными в проекте ($h_{i,np,0^\circ}$) на момент проведения измерений (см. таблицу 2.16).

Таблица 2.16

**Оценка состояния и уровня безопасности грунтовой плотины/дамбы
по положению нулевой изотермы**

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС
			Уровень безопасности
1	Фактическое положение нулевой изотермы в теле и основании (глубина оттаивания) не превышает проектное	$h_{i,факт,0^\circ} \leq h_{i,np,0^\circ}$	Нормальное
			Нормальный
2	Фактическое положение нулевой изотермы в теле и основании (глубина оттаивания) превышает проектное положение, но положение нулевой изотермы стабилизировалось, а осадки не превышают допустимых величин	$h_{i,факт,0^\circ} > h_{i,np,0^\circ}$ $\Delta S_{i,факт} \leq \Delta S_{i,np}$	Удовлетворительное
			Пониженный
3	Фактическое положение нулевой изотермы в теле и основании (глубина оттаивания) превышает проектное положение, глубина оттаивания имеет тенденцию к увеличению, но дополнительное оттаивание грунтов не привело к недопустимым осадкам и смене типа плотины (от мерзлого к талому)	$h_{i,факт,0^\circ} > h_{i,np,0^\circ}$	Потенциально опасное
			Неудовлетворительный
4	Фактическое положение нулевой изотермы в теле и основании (глубина оттаивания) превышает проектное положение и дополнительное оттаивание грунтов приводит к недопустимым осадкам и/или смене типа плотины (от мерзлого к талому)	$h_{i,факт,0^\circ} > h_{i,np,0^\circ}$	Аварийное
			Опасный

Фактическое поровое давление в противофильтрационных элементах и в основании ($p_{i,h,факт}$) для грунтовых плотин/дамб, оборудованных датчиками давления, устанавливается в процессе измерений с регистрацией уровней

верхнего и нижнего бьефов. Для грунтовых ГТС IV класса поровое давление в противофильтрационных элементах и в основании, как количественные диагностические показатели, не определяются.

При оценке состояния и уровня безопасности *по поровому давлению в противофильтрационных элементах и в основании грунтовых ГТС* предельно допустимые значения порового давления в противофильтрационных элементах и в основании ($p_{i,h,np}$) являются расчетными показателями и устанавливаются в проекте в зависимости от времени. Фактические величины порового давления в противофильтрационных элементах и в основании ($p_{i,h,факт}$) сравниваются с установленными в проекте ($p_{i,h,np}$) и рассчитанными для истекшего периода времени. Оценка состояния и уровня безопасности грунтовой плотины/дамбы по величине порового давления осуществляется по таблице 2.17.

Таблица 2.17

Оценка состояния и уровня безопасности грунтовой плотины/дамбы по величине порового давления

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС
			Уровень безопасности
1	Фактические величины порового давления <i>не превышают</i> проектные значения	$p_{i,h,факт} \leq p_{i,h,np}$	Нормальное Нормальный
2	Фактические величины порового давления <i>превышают</i> проектные значения, но замедление процесса его рассеивания не вызывает недопустимого снижения коэффициента устойчивости плотины	$p_{i,h,факт} > p_{i,h,np}$	Потенциально опасное
			Пониженный
3	Фактические величины порового давления <i>превышают</i> проектные значения и замедление процесса консолидации вызывает недопустимое снижение коэффициента устойчивости плотины	$p_{i,h,факт} > p_{i,h,np}$	Аварийное
			Опасный

2.2.8. Общая оценка безопасности грунтового подпорного ГТС гидроузла

Общая оценка безопасности грунтовой плотины/дамбы, осуществляется на основании анализа результатов всех расчётов, рассмотренных выше в п. 2.2.1 – 2.2.7. Общая оценка безопасности всего комплексного гидроузла в целом, а также степени готовности гидроузла к пропуску половодья осуществляется на основании совокупной оценки технического состояния грунтовой плотины/дамбы с учетом достаточности запаса гребня и готовности водопропускных и других сооружений гидроузла к пропуску паводковых расходов.

Систематизацию оценок по основным значимым показателям оценки безопасности относительно грунтовой плотины/дамбы целесообразно представить в табличной форме (см. табл. 2.18), приведённый в ней пример заимствован из [22].

Таблица 2.18
Оценка уровня безопасности грунтовой плотины (пример)

№	Наименование диагностического показателя	Ед. измерения	Фактическое значение диагностического показателя	Критерий безопасности (величина)	Вывод о безопасности и по показателю	Уровень безопасности по показателю
1.	Превышение гребня плотины над НПУ	м	2,10	2,36	не обеспечена	неудовлетворительный
2.	Превышение гребня плотины над ФПУ	м	1,40	1,50	не обеспечена	неудовлетворительный
3.	По достаточности ширины гребня плотины	м	8,0	4,50	обеспечена	нормальный
4.	Толщина крепления верхового откоса	м	0,15	0,07	обеспечена	нормальный
5.	Положение кривой депрессии по отношению к низовому откосу	м	5,8 (измерено по чертежу)	1,8 (заданный в исходных данных норматив)	обеспечена	нормальный
6.	Фильтрационный расход (в русле)	м ³ /сут.	5,50	5,56	обеспечена	нормальный
7.	Фильтрационная прочность тела плотины		0,35	2,61	обеспечена	нормальный
8.	Фильтрационная прочность основания плотины	-	0,17	0,7	обеспечена	нормальный
9.	Устойчивость верхового откоса (по заложению откоса)	-	3,1	3	обеспечена	нормальный

10.	Устойчивость низового откоса (по заложению откоса)	-	1,9	2	не обеспечена	пониженный
-----	--	---	-----	---	---------------	------------

Вывод: В соответствии с выполненными расчётами и вышеприведенной таблицей грунтовая плотина гидроузла в целом имеет **неудовлетворительный уровень безопасности.**

Полученные данные являются по сути дела сводным анализом технического состояния плотины/дамбы из грунтовых материалов, на основании которого могут приниматься решения на различных уровнях (субъекта федерации, района, населённого пункта и т.д.) о продолжении эксплуатации плотины, мероприятиях необходимых для её текущего или капитального ремонта и др. На основании полученных сведений частично можно судить о готовности гидротехнического комплекса к локализации и ликвидации опасных повреждений и аварийных ситуаций на ГТС.

2.3. Оценка безопасности регулируемого водосбросного сооружения по количественным показателям

Подробное описание последовательности определения количественных диагностических показателей и критериев безопасности, как отдельных элементов водосбросного сооружения, так и всего открытого берегового водосброса в целом с расчётными примерами дано в учебном пособии «Оценка безопасности водосбросных сооружений при грунтовых плотинах» (Волков В.И., Черных О.Н., М.: РГАУ-МСХА, 2019 г.) [16], а качественных – в учебном пособии «Проведение обследований при оценке безопасности гидротехнических сооружений» (Черных О.Н., Волков В.И., М.: Росинформагротех, 2017 г.) [14]. Где, как и в данном пособии, рассмотрены два основных количественных диагностических показателя для оценки технического состояния открытого берегового водопропускного ГТС (по пропускной способности на входе в водосбросное ГТС и по размыву в нижнем бьефе за ним) и ряд второстепенных, не указанных в перечне основных количественных показателей, но

определяемых в процессе расчёта по программному комплексу на КП [9, 16, 19, 43] и в учебнике [28]. При выполнении РГР/КР/ВКР можно воспользоваться также и рядом других материалов, содержащихся в [11, 15, 20, 23, 24, 25, 28, 29, 36, 38, 40].

2.3.1. Оценка состояния и уровня безопасности водосбросного ГТС по дополнительной форсировке уровня верхнего бьефа

Дополнительную форсировку уровня верхнего бьефа (ΔH_i) при пропуске расчётных расходов (основного и поверочного), необходимую для пропуска расчетных расходов, можно найти по зависимости:

$$\Delta H_i = H_{\text{треб},i} - H_{\text{пр},i}, \quad (2.13)$$

где: $H_{\text{треб},i}$ – напор на пороге или напор на водосбросе, работающем в напорном режиме, фактически необходимый для пропуска расчетного расхода Q_i ;

$H_{\text{пр},i}$ – напор на пороге или напор на водосбросе, работающем в напорном режиме, необходимый согласно проекта для пропуска расчетного расхода Q_i .

Значения напора на пороге ($H_{\text{треб},i}$), фактически необходимого для пропуска расчетного расхода Q_i устанавливаются в зависимости от типа водосброса расчетным путем с учетом реального состояния подводящих устройств (например, стеснение живого сечения потока на подходе к входному оголовку), входных оголовков (например, реальной длины водосливного фронта), транзитных частей (например, количество реально работающих ниток трубчатых водосбросов), выходных оголовков и отводящих каналов (например, избыточное подтопление со стороны нижнего бьефа трубчатых сооружений). Для сооружений IV класса, не имеющих проектной документации, дополнительная форсировка уровня верхнего бьефа, как количественный диагностический показатель, не определяется.

Предельно допустимая дополнительная форсировка уровня верхнего бьефа для нормальных условий эксплуатации принимается равной 0, а

соответствующая переходу водосброса в аварийное состояние, принимается равной конструктивному запасу гребня плотины a . Напор на пороге ($H_{np,i}$), необходимый для пропуска расчетного расхода Q_i , устанавливается согласно проекта или расчетом для изменившихся условий работы водопропускного сооружения. Определение состояния и уровня безопасности ГТС **по дополнительной форсировке уровня верхнего бьефа** осуществляется по таблице 2.19 сравнением полученной расчетным путем дополнительной форсировки уровня верхнего бьефа с предельно допустимой.

Таблица 2.19

Оценка состояния и уровня безопасности водосбросного ГТС по дополнительной форсировке/пропускной способности

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности	Состояние ГТС	
		Уровень безопасности	
1	Дополнительная форсировка уровня верхнего бьефа <i>не превышает 0</i>	$\Delta H_i \leq 0$ $\nabla \text{НПУ}_{\text{факт}} \leq \nabla \text{НПУ}_{\text{проект}}$ $\nabla \text{ФПУ}_{\text{расч}} \leq \nabla \text{ФПУ}_{\text{проект}}$	Нормальное
			Нормальный
2	Дополнительная форсировка уровня верхнего бьефа <i>превышает 0, но не более 0,02 м</i>	$0 < \Delta H_i \leq 0,02$	Удовлетворительное
			Пониженный
3	Дополнительная форсировка уровня верхнего бьефа <i>превышает 0,02 м, но менее</i> величины конструктивного запаса гребня плотины/дамбы	$0,02 < \Delta H_i \leq a$	Потенциально опасное
			Неудовлетворительный
4	Дополнительная форсировка уровня верхнего бьефа <i>превышает</i> величину конструктивного запаса гребня плотины/дамбы	$\Delta H_i > a$	Аварийное
			Опасный

В конце расчёта делается вывод, например: пропускная способность регулятора водосброса не обеспечивается/обеспечивается, уровень безопасности –

2.3.2. Оценка состояния и уровня безопасности водосбросного ГТС по глубине размыва в нижнем бьефе

Фактическая *глубина размывов в нижнем бьефе* ($h_{разм,факт}$) за водосбросом устанавливается в процессе инструментальных обследований путем промеров или при проведении водолазного обследования. В процессе визуальных обследований сооружений IV класса допускается определять глубины размывов упрощенными методами [14, 23, 29]. Для сооружений IV класса, не имеющих проектной документации, фактическая глубина размывов в нижнем бьефе, как количественный диагностический показатель, не определяется.

Предельно допустимая глубина размывов ($h_{разм,пр}$) в нижнем бьефе определяется расчетом и устанавливается в проекте. Критериальным значением глубины размыва в нижнем бьефе, соответствующим переходу к аварийному состоянию, является начало подмыва концевой участка крепления нижнего бьефа, т.е. глубина размыва превышает $h_{разм,пр} + a_3$, где a_3 – запас заглубления концевой устройства ниже проектной глубины размыва. При оценке состояния и уровня безопасности водопропускного ГТС *по глубине размывов в нижнем бьефе*, осуществляемого с помощью таблицы 3.4.2. фактическая глубина размывов в нижнем бьефе ($h_{разм,факт}$) сравнивается с проектной ($h_{разм,пр}$) и заглублением концевой крепления ниже проектной глубины размыва (a_3).

Таблица 2.20

Оценка состояния и уровня безопасности водосбросного ГТС по глубине размыва в нижнем бьефе

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС	
			Уровень безопасности	
1	Глубина размывов в нижнем бьефе <i>не превышает</i> проектную	$h_{разм,факт} \leq h_{разм,пр}$	Нормальное	Нормальный
2	Глубина размывов в нижнем бьефе <i>превышает</i> проектную, но <i>не вызывает</i> подмыва концевой крепления сооружения	$h_{разм,пр} < h_{разм,факт} \leq h_{разм,пр} + 0,5a_3$	Удовлетворительное	Пониженный

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС
			Уровень безопасности
3	Глубина размывов в нижнем бьефе <i>превышает</i> проектную, но <i>не вызывает</i> подмыва концевого крепления сооружения	$h_{разм,пр} + 0,5a_z < h_{разм,факт} \leq h_{разм,пр} + a_z$	Потенциально опасное
			Неудовлетворительный
4	Глубина размывов в нижнем бьефе <i>превышает</i> проектную и <i>вызывает</i> подмыв концевого крепления сооружения	$h_{разм,факт} > h_{разм,пр} + a_z$	Аварийное
			Опасный

В конце расчёта делается вывод, например: глубина размывов в нижнем бьефе за рисбермой не превышает/превышает проектную, уровень безопасности –

Сравнивают величину глубины размыва с бытовой глубиной. Желательно, чтобы их отношение не превышало 0,5. Если глубина размыва грунта основания, окажется равной нулю или получается отрицательной, то размывы непосредственно самого грунта будут отсутствовать. В этом случае за рисбермой закрепляют русло (дно и откосы) каменной наброской, галечниковой отсыпкой или устраивается небольшой каменный зуб глубиной 0,5...1,0 м, а отводящее русло закрепляется отсыпкой камня толщиной 0,2...0,3 м на длине $l_{кам} = 2...3$ м. При глубине размыва грунта основания за рисбермой, не превышающей 1...2 м, рисберма часто заканчивается зубом из каменной наброски или галечника. При глубине размыва, составляющей более 2 м, рисберма может быть выполнена расширяющейся в плане или устраивают ковш, гибкое крепление из габионов, камня, сборных блоков и т.п. В КР/ВКР надо выполнить после предлагаемых конструктивных изменений и повторный расчёт при неизменной длине рисбермы.

2.3.3. Общая оценка безопасности открытого водосбросного сооружения гидроузла с грунтовой плотиной

При общей оценке безопасности водосбросного сооружения в первую очередь обращают внимание на выполнение количественных диагностических показателей: обеспечение пропускной способности входной части водосброса (шлюза-регулятора, оголовка трубчатого водосброса и т.п.) и глубины размыва в нижнем бьефе. При этом в КР/РГР расчеты берегового регулируемого водосброса обычно проводятся на расчетный расход $Q_{осн}$ который приводится в

исходных данных (бланке задания) и пропускается при уровне верхнего бьефа, не превышающим отметки НПУ. В качестве расчетных расходов принимаются наибольшие расходы половодья или ливневого паводка. При этом для небольших водохранилищ при ограниченной водосборной площади расчётными расходами водосбросов часто оказываются расходы дождевых паводков, а для водохранилищ с большими водосборными площадями – от половодья. Расчётный сбросной расход Q для эксплуатационного водосброса определяется с учётом пропускной способности других водопроводящих сооружений гидроузла (водовыпусков, водоспуска, ГЭС, судоходного шлюза и др.). Точность определения Q_{max} часто бывает невелика, если сливная призма водохранилища (ёмкость между ФПУ и НПУ) незначительна по сравнению с общим объёмом паводка, тогда трансформацию паводка в проекте гидроузла можно не учитывать. Поэтому можно принимать $Q = Q_{max}$. Принятые размеры элементов водосброса проверяются на возможность пропуска поверочного расхода $Q_{пов}$, с обеспеченностью соответствующей классу ГТС гидроузла (табл. 2.21) [5].

Таблица 2.21

Ежегодная вероятность превышения расчётных максимальных расходов водосбросных сооружений, % [5]

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

Помимо этих оценок во время гидравлического расчёта выполняют и ряд других проверок:

- достаточности пропускной способности входного оголовка водосброса в условиях пропуска поверочного расхода;

- достаточности высоты боковых стенок водосброса на различных участках транзитной трассы при пропуске поверочного расхода, в том числе и с учётом аэрации потока (табл. 2.22);

Запас в высоте стенок над расчётным уровнем воды в быстротоке с учётом аэрации

Расходы, м ³ /с	1...10	10...30	30...50	50...100
Запасы над уровнем воды, м	0,3	0,4	0,5	0,6

- достаточности высоты боковых устоев водобоя водосброса, длины водобойного участка и отметки фундаментной плиты для обеспечения надвинутого прыжка при пропуске поверочного расхода. При этом возвышение верха выходных участков принимается в зависимости от принятого способа гашения энергии в нижнем бьефе и составляет от 0,5 до 1,5 м;

- величины размывов за рисбермой при пропуске поверочного расхода с допускаемыми значениями.

Принятые или существующие размеры элементов водосброса проверяются на возможность **пропуска поверочного расхода** $Q_{нов}$ при допущении форсировки уровня верхнего бьефа до отметки ФПУ [16]. Расчёт ведётся по известным зависимостям и методике, подробно описанной в учебных пособиях [9, 10, 15, 17, 28, 29, 40]. В результате делаются выводы, например, *пропускная способность регулятора водосброса не обеспечивается*. Поверочный расход будет пропущен при *дополнительной форсировке* уровня сверх ФПУ на м, т.е. примерно до отметки ... м (или необходимо изменить параметры регулятора, например, понизив отметку порога) или необходимо запроектировать дополнительный резервный водосброс; либо *пропускная способность регулятора водосброса обеспечена* и поверочный расход будет пропущен всеми открытыми пролётами водосброса при снижении уровня ФПУ на ... м, т.е. примерно до отметки ... м.

Полученные в результате расчёта глубины потока при пропуске поверочного расхода сравниваются с принятыми ранее по расчёту быстротока

высотой бортов лотка или замеренными в натуре при обследовании, и делается вывод *о достаточности высоты боковых стенок быстротока водосброса* на разных участках водоската: например, что принятая ранее высота стенок быстротока является достаточной (поток не выходит за пределы стен быстротока и стены имеют необходимый запас над уровнем свободной поверхности воды). Следовательно, изменение высоты стен на соответствующих участках быстротока не требуется или высоту стен можно понизить; либо – высота боковых стенок быстротока на ... участке является недостаточной и требуется их повышение до ... м.

При оценке состояния и уровня безопасности транзитной части водосброса в рамках гидравлического расчёта проверяется условие формирования катящихся волн и предлагаются при необходимости меры борьбы с их образованием [28].

В результате *проверки режимов сопряжения с нижним бьефом* в зависимости от типа концевых устройств водосброса (водобой с гасителями энергии, водобойный колодец, консоль или носок-трамплин) делается вывод о необходимости изменения параметров водобойного устройства или консоли и достаточности высоты стенок водобойного участка, принятого ранее или замеренного в натуре: например, надвинутый прыжок при пропуске поверочного расхода не обеспечивается. Необходимо изменить следующие параметры водобойного колодца: установить гасители энергии потока, принять отметку дна колодца – ... м вместо ... м; длина колодца – ... м вместо ... м; высота боковых устоев водобойного колодца является недостаточной и надо рассмотреть необходимость её изменения; либо – надвинутый прыжок при пропуске поверочного расхода обеспечивается, изменения параметров водобойного колодца не требуется, высота боковых устоев водобойного колодца является достаточной.

По результатам *оценки состояния и уровня безопасности концевых устройств* водосбросов производится анализ *глубины размыва* в конце

транзитной части и поиск оптимального варианта концевой устройства. При этом можно предложить установку гасителей на водобойном участке, расширение водобоя в плане, а иногда и рисбермы (угол роспуска не более $10^0 \dots 15^0$), специальную конструкцию концевой устройства и пр. [28]. После получения доказательства, что размывы находятся в разумных пределах, делается вывод о нецелесообразности дополнительных мероприятий по уменьшению размывов.

В конце раздела формируется сводная таблица по оценке безопасности водосбросного сооружения (см. табл. 2.23, заимствованную из [16]).

Таблица 5.23

Систематизация оценок безопасности водосброса по различным показателям (пример)

№	Наименование диагностического показателя	Ед. измерения	Фактическое значение диагностического показателя	Критерий безопасности (величина)	Вывод о безопасности и по показателю	Уровень безопасности по показателю
1.	Пропускная способность при неработающем одном пролёте	м	78,55	115	Не обеспечена	опасный
2.	Дополнительная форсировка верхнего бьефа (сверх ФПУ) при неработающем одно пролёте		1,14	0	Не обеспечена	опасный
3.	Пропускная способность при всех открытых пролётах	м	116,3	115	обеспечена	нормальный
4.	Дополнительная форсировка верхнего бьефа (сверх ФПУ) при всех открытых пролётах		- 0,03	0	обеспечена	нормальный
5.	Высота боковых стенок быстротока на первом участке	м	2,28 1,42 1,28	5,1 1,7 1,7	обеспечена	нормальный
6.	Высота боковых стенок быстротока на втором участке	м	1,28 0,81 0,76	1,4 1,4 1,4	обеспечена	нормальный
7.	Надвинутый прыжок на водобое (по	м	129,5	129,1	Не обеспечена	опасный

	отметке дна водобойного колодца)					
8.	Длина водобойного колодца	м	15	14,7	обеспечена	нормальный
9.	Размывы в нижнем бьефе (отношение глубины размыва к бытовой глубине)		0,52	0,5	Не обеспечена	неудовлетворительный
10	Размывы в нижнем бьефе (отношение глубины размыва к бытовой глубине) при расширении рисбермы без увеличения ее длины		0,25	0,5	обеспечена	нормальный

Вывод: *Водосброс гидроузла в целом имеет опасный уровень безопасности.*

2.4. Общая оценка состояния и уровня безопасности мелиоративного гидроузла с грунтовой плотиной и открытым береговым водосбросом

Оценка состояния комплекса ГТС должна приниматься по худшему состоянию хотя бы одного из основных ГТС (в данном учебном пособии плотина и водосброс) с учётом их взаимного влияния и влияния на их безопасность других факторов, таких, как, например, состояния эксплуатации гидроузла. В общем, оценку состояния и уровня безопасности в РГР/КР/ВКР можно оформить в виде сводной таблицы (табл. 2.24), где приводятся состояние и уровень безопасности отдельных ГТС и гидроузла в целом (*пример*).

Таблица 2.24

Сводная таблица примера оценки состояния и уровня безопасности ГТС и гидроузла

Состояние ГТС и уровень безопасности	Грунтовая плотина/дамба	Водосброс	Донный водовыпуск	Гидроузел в целом
Техническое состояние	<i>Потенциально опасное</i>	<i>Аварийное</i>	<i>Потенциально опасное</i>	<i>Аварийное</i>
Соответствие условий эксплуатации проекту и нормам	<i>Эксплуатация отсутствует</i>	<i>Эксплуатация отсутствует</i>	<i>Эксплуатация отсутствует</i>	<i>Эксплуатация отсутствует</i>
Уровень безопасности по Российскому регистру ГТС	<i>Неудовлетворительный</i>	<i>Опасный</i>	<i>Неудовлетворительный</i>	<i>Опасный</i>

Вывод: В целом состояние комплекса ГТС рассматриваемого мелиоративного гидроузла оценивается как **аварийное**, а уровень его безопасности, в соответствии с Российским регистром ГТС, как **опасный**.

На основании проведённой общей оценки собственнику ГТС должно быть рекомендовано выполнить ряд работ для повышения уровня безопасности и обеспечения надёжности работы ГТС гидроузла. Среди них можно указать такие **первоочередные ремонтные работы**, такие, как например: выполнить и верифицировать проверку достаточности запаса гребня плотины над уровнем верхнего бьефа, а при необходимости повысить отметку гребня плотины/дамбы; выполнить при необходимости уширение гребня и тела подпорного грунтового сооружения; оценить состояние имеющейся КИА и при необходимости прочистить, отремонтировать или заменить пьезометры; убрать мусор с элементов транзитного тракта водосбросного сооружения; при отсутствии установить или реанимировать ледозащитные и мусорозадерживающие устройства перед водосливным порогом водосбросного сооружения, а также боновые заграждения в нижнем бьефе; регулярно проводить окашивание травы на низовом откосе плотины/дамбы; выполнить ремонт крепления верхового откоса или сделать его реновацию (расчистить провальные воронки, если они имеются, и после осмотра её специалистом засыпать связным грунтом с послойным уплотнением, восстановить крепление откоса в зоне переработки, например, отсыпав крупнообломочный грунт в нужных местах и т.п.; провести ревизию водовыпускного сооружения (например, проверить состояние задвижек и при необходимости произвести их замену в донном водовыпуске, выполнить герметизацию фильтрующих стыков между звеньями железобетонных труб и т.п.); оценить необходимость устройства резервного нерегулируемого водосброса при капитальном ремонте гидроузла и при необходимости выполнить дополнительный резервный водосброс в теле грунтовой плотины или на береговых участках территории.

Другие возможные ремонтные работы, связанные с невыполнением качественных критериев ГТС: устранить протечки в межблочных стыках и швах открытых и закрытых ГТС; устранить наиболее существенные повреждения грунтовых (см. табл. П5.1 в [14]) и бетонных элементов ГТС (см. табл. П1 в [14]); провести ремонт гребня плотины и дорожного полотна на нём и пр.

Из-за отсутствия своевременно проведённых сравнительно небольших ремонтных работ подпорных ГТС гидроузлы могут быть разрушены, в том числе и за счёт интенсификации суффозионных процессов и промыва тела плотины вдоль бетонных элементов (лотка быстротока или труб водосброса) (рис. 2.1 – 2.4).



Рис. 2.1. Разрушение плотины и оползение на 80% г. Новый Орлеан (США) в результате урагана «Катрина», 2005 г.



Рис.2.2. Авария на открытом водосбросе плотины Оровил, США, Нпл= 235 м, 2017 г.



Рис. 2.3. Прорыв дамбы в г. Тянь Мэнь, Китай. 2016 г.



Рис. 2.4. Прорыв земляной плотины Сардобинского водохранилища в Узбекистане, 2020 г.

3. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНОГО ГИДРОУЗЛА С ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНОЙ

При наращивании плотин или строительстве их очередями встречается, как правило, три случая: *наращивание бетонных плотин* (Гафарса, Росейрес, Лоскоп, Чикамба и др.); *наращивание грунтовых плотин* (Желивка, Окава, Брайтенбах, Крэт-и-Пистил, Гайя и др.); *использование бетонных плотин в теле строящихся рядом более высоких грунтовых плотин* (Американ Фолс, Утард-2, Стеттинсклуф и др.) [11, 23, 26]. Нередко наращивание гребня грунтовых плотин и реновация их водопропускных сооружений выполняется в связи с подъёмом уровня существующего водохранилища, для повышения ёмкости водохранилища, для повышения выработки электроэнергии и покрытия возросших с годами потребностей в воде для целей водоснабжения растущих городов и пропуска расчётного паводка в условиях нестабильности климата в регионе, ирригации, борьбы с наводнениями, подтоплениями прибрежных территорий и пр. Например, в Ставропольском крае РФ спланирован комплекс превентивных противопаводковых мероприятий. Часть из них уже выполнена, часть находится в практическом выполнении. В частности, это приведение Отказненского водохранилища в безопасное состояние, введённого в эксплуатацию в 1966 г. (рис. 3.1). По первоначальному проекту высота грунтовой плотины составляла 27 м, протяжённость – 4,7 км, длина водохранилища 6,4 км, его ёмкость – 131,6 м³. В правобережной части плотины находился паводковый водосброс–водовыпуск башенного типа с двумя ярусами водосливных отверстий, рассчитанный на пропуск 120 м³/с. В 1984, 2002, 2005 и 2017 гг. плотина выстояла и спасла от затопления более 50 тысяч человек.



Рис. 3.1. Вид со стороны нижнего бьефа на реконструируемый (2019 г.) гидрокомплекс Отказненского водохранилища на р. Куме с волноотбойной стенкой в пригребневой части верхового откоса и новым резервным открытым береговым водосбросом

Несмотря на огромный запас воды, Отказненское водохранилище неглубокое. В среднем его глубина в период эксплуатации составляла 5,4 м. Заиление и загрязнение воды за первые 35 лет использования в водоеме отложилось 55×10^6 м³ иловых наносов. В связи со значительным заилением, неудовлетворительным экологическим состоянием (вода по международной классификации признавалась как «загрязнённая»), потерей рыбохозяйственного и ирригационного назначения в 2015 г. была разработана программа реконструкции Отказненского водохранилища. Общая сумма затрат составила более 1 млрд рублей. Только в рамках федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения на 2014-2020 годы» на эти цели с 2015 г. были выделены 456 млн рублей. Проект предусматривал: очистку ложа водохранилища от ила и растительности, создание открытого резервного водосброса, ремонт ГТС (реконструкция железобетонного крепления верхового откоса, установка волноотбойного парапета на гребне, ремонт механического оборудования и реновация башенного водовыпуска, строительство

эксплуатационных дорог по гребню плотины и низовому откосу и др.) подведение канала к водосбросу, выпрямление и укрепление русла на двух участках для увеличения скорости потока и транспортирующей способности. В результате осуществлённых комплексных мер при реконструкции Отказненского гидроузла ёмкость водохранилища была увеличена почти вдвое и в 1,5 раза увеличены возможности по сбросу воды (рис. 3.2 и 3.3).



Рис. 3.2. Вид с ВБ на строительство резервного открытого берегового водосброса (а) и волноотбойного парапета на гребне плотины (б)



Рис. 3.3. Правобережный участок Отказненской плотины

Характерным примером может служить гидроузел Смит, сооружённый в 1969 г. с земляной плотиной высотой 20 м (II класса опасности) для водоснабжения округа Стаффорд в США (рис. 3.4). Исследования, выполненные в 1980-х гг., выявили, что существующая плотина и водослив могут пропустить в безопасном режиме только 19 % от паводкового расхода, соответствующего I классу опасности, который получил гидроузел из-за потенциального ущерба, который может быть нанесён при гидрологической аварии на нём автострате и ряду населённых пунктов. Основным требованием проекта на 10 млн. долларов являлось условие увеличения пропускной способности водопропускных соору-

жений более чем в четыре раза для возможности пропуска всей величины расхода (рис. 3.5).

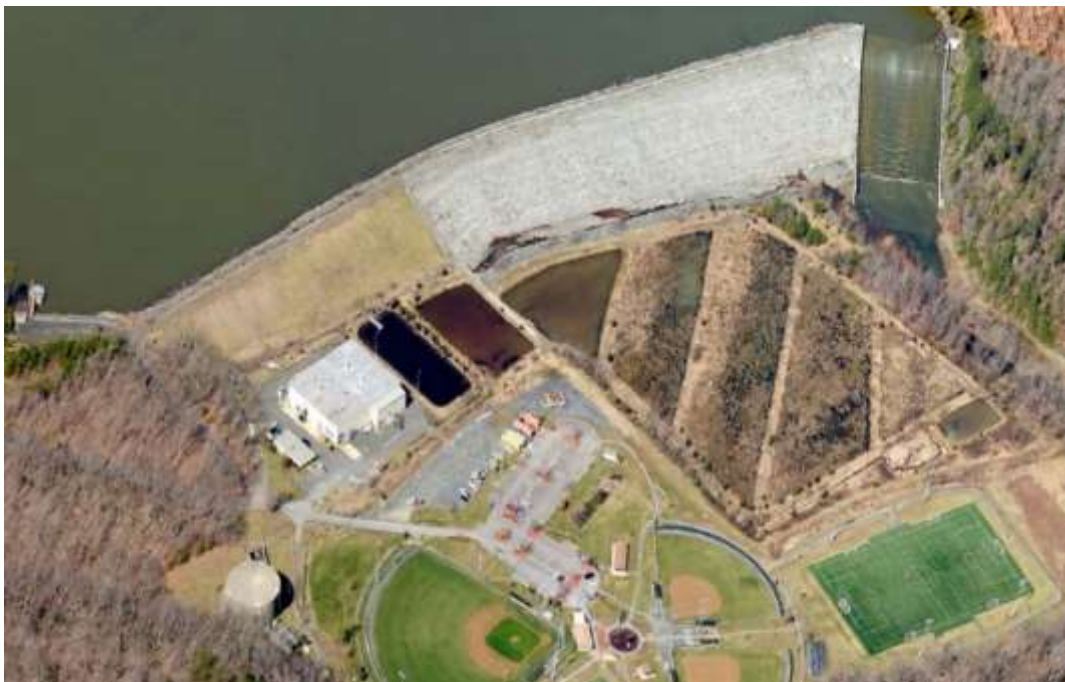


Рис. 3.4. Общий вид гидроузла Смит Лейк после реконструкции



Рис. 3.5. План проекта реконструкции гидроузла Смит Лейк

Первоначальная плотина состояла из насыпи с малопроницаемым ядром длиной по гребню около 500 м при отметке гребня 27,4 м. Верховой и низовой откосы были выполнены с уклоном 1:3. Вдоль основания низового откоса проложен дренаж из перфорированных гофрированных стальных труб диаметром 203 мм, заключенных в щебеночную обсыпку. Реконструкция плотины предусматривала повышение высоты плотины посредством устройства насыпи на

низовом откосе, и превращение участка плотины длиной 274 м в аварийный водосброс в виде покрытия на данном участке гребня и низового откоса слоем укатанного бетона. Глухой участок плотины поднимался на 3,6 м до абсолютной отметки 31,1 м, а участок аварийного водослива — до отметки 29 м. Поднятая таким образом плотина имела ширину гребня 4,57 м, заложение откосов 3, малопроницаемый глиняный экран и переходные зоны. Вдоль глухого участка плотины был выполнен парапет высотой 1,4 м, обеспечивающий дополнительный аккумулирующий объем и запас высоты на гребне до отметки 32 м (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Поперечный разрез по плотине

Для реконструкции старый водосброс, состоявший из прямоугольной железобетонной водоприемной башни и трубопроводов диаметром 1,5 м, проложенных через тело плотины, со сбросом у низовой подошвы плотины, были превращены в водоспуск (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Вид с правого берега на гидроузел Смит Лейк после реконструкции

Для безопасного управления расходами паводка были построены новые основной и аварийный водосбросы. Старый аварийный бетонный водосброс был снесен, и на его месте был сооружен новый основной бетонный водосброс, который представляет собой водослив с широким порогом шириной 48,8 м, отметкой порога 27,4 м, и бетонный быстроток (рис. 3.8). Под подошвой водосброса уложен дренаж для контроля и сбора фильтрационных вод, а также анкера для сопротивления противодавлению. Гашение энергии осуществлено посредством успокоительного колодца по типу III Бюро Мелиорации [28]. Основной водосброс был запроектирован для пропуска расхода повторяемостью 1 раз в 500 лет, без задействования аварийного водосброса. Старый основной водосброс был переделан в водоспуск, который мог сбрасывать расход около 10 м³/с, обеспечивая полезные попуски и возможность опорожнения водохранилища. В дополнение к затворам на башне был установлен сифон диаметром 25 см с входным отверстием на отметке 16,5 м. Он предназначен для пропуска воды при отметках воды в водохранилище, находящимся в пределах 17...21 м, без забора воды со дна водохранилища через запасной затвор. Сифон выполнен с 5 см стояком и запорным клапаном в верхней части, позволяющим останавливать работу сифона для осмотра башни. Сифон обеспечивает пропуск приблизительно 0,17...0,23 м³/с.



Рис. 3.8. Поперечный разрез по аварийному водосбросу

Основной и аварийный водосбросы запроектированы для пропуска расхода 2300 м³/с с достаточным запасом гребня сооружений. На гребне водосброса выполнена железобетонная водосливная стенка с отметкой перелива 30,5 м. Покрытие из укатанного бетона представляет собой ступени высотой 29 см и шириной 2,4 м, с наклоненной со стороны нижнего бьефа гранью (уклон 1:3). Толщина покрытия - 0,75 м. Поверхности ступеней были уплотнены с использованием ручным трамбуемым оборудованием под углом около 45°, без облицовки обычным бетоном. Для защиты от эрозии в нижней части водосброса была выполнена площадка длиной вдоль потока 12 м - из укатанного бетона и с порогом из армированного железобетона. На длине еще 9 м вниз по течению для дополнительной защиты была отсыпана каменная наброска. Для заболоченных территорий нижнего бьефа было сооружено несколько прудов, а вода для отстойников подавалась промывкой отстойника станции водоподготовки.

Иногда целесообразно для небольших ландшафтных водных объектов производить реконструкцию глухих земляных плотин в земляные водосливные плотины. Например, если основным видом повреждения является образование оврагов на месте боковых водосбросов (рис. 3.9). Тогда русло образовавшегося оврага перекрывают глухой земляной плотиной, а существующую глухую плотину реконструируют в земляную водосливную плотину. Реконструкцию можно произвести с повышением напора воды путем подсыпки двусторонних

дамб и низового откоса водосливной части плотины. Если же реконструкция производится без увеличения напора воды и объема водоема, то ниже гребня плотины (на 0,8... 1,0 м) устраивают выемку для водосливной части с подсыпкой низового откоса в пределах водосливной части.

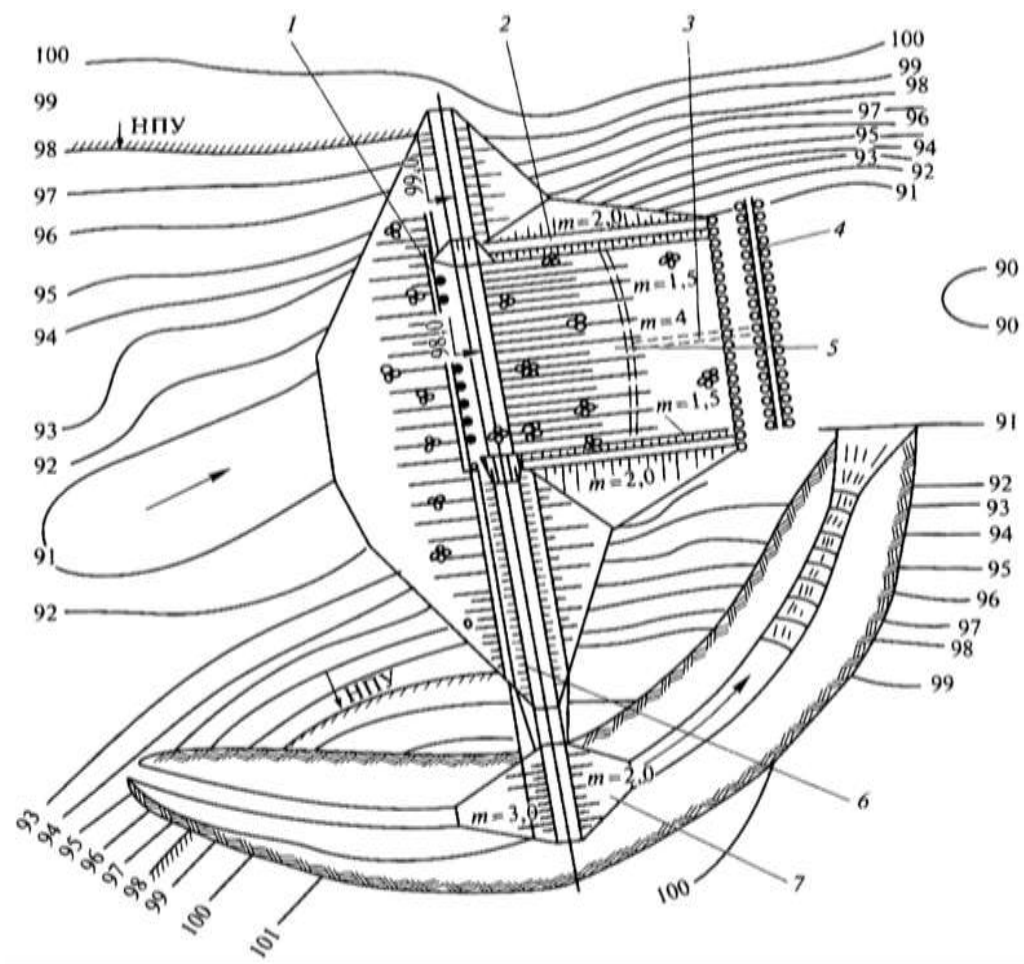


Рис. 3.9. План реновации грунтовых плотин (по И. М. Шармановскому): 1 — льдозащитная стенка; 2 — направляющие валики; 3 — дренаж трубчатый и труба для отвода фильтрационных вод; 4 — водобойная стенка; 5 — быстроток; 6 — подсыпка тела плотины; 7 — заделка промоин

Часто имеют место случаи, когда старые бетонные плотины при наращивании становятся частью тела новой грунтовой плотины. При этом надо обращать внимание на сопряжение грунтового противофильтрационного устройства со старой бетонной плотиной [23]. Не следует забывать, что при наращивании грунтовых плотин также особенно важно качественное сопряжений противофильтрационного устройства старой плотины с новой, обеспечение общей

и фильтрационной прочности плотин, связанное с их качественным сопряжением, а также фильтров и упорных призм. При этом желательно проводить проверку напряжённо-деформированного состояния нового сооружения в соответствии с заданными этапами его возведения и свойствами применяемых грунтов, определять осадки, смещения и пр. Обычно значительные осложнения для обеспечения фильтрационной прочности грунтовых плотин возникают при пересечении плотин в продольном и поперечном направлениях железобетонными конструкциями типа зубьев, стенок галерей и водоводов.

В случае использования бетонных плотин в теле более высоких грунтовых сооружений I - III классов опасности основной задачей является обеспечение общей и фильтрационной прочности на контакте противоплотинного устройства новой грунтовой плотины со старым бетонным сооружением, создание такого напряжённо-деформативного состояния в зоне контакта и во всей новой плотине, которое обеспечивало бы её надёжную эксплуатацию. Для этого применяются такие мероприятия, как подготовка бетонной поверхности, подбор грунтов для контактной зоны, качественное уплотнение грунтов, устройство высоконадёжных шпонок, системы фильтров и дренажей. В зоне контакта рекомендуется установка дополнительной контрольно-измерительной аппаратуры для контроля давления грунтов и режима фильтрации.

Водопрпускные сооружения гидроузла для обеспечения его безопасной и надёжной работы должны иметь габариты, допускающие пропуск расходов, вероятность прохождения которых за время эксплуатации сооружения невелика. Это необходимо, имея в виду последствия как для самой грунтовой плотины, так и для промышленных, сельскохозяйственных и жилых объектов, находящихся ниже по течению, в связи с недостаточной пропускной способностью водосбросных сооружений и возможным в связи с этим неорганизованным переливом через плотину [11, 12, 13, 16]. Для повышения степени достоверности целесообразно проверять долгосрочные и краткосрочные прогнозы паводков, используя для этого математические модели и данные гидрологических

измерений для того, чтобы заблаговременно сработать водохранилище для аккумуляции пиков паводков. При отсутствии достаточно надёжных долгосрочных прогнозов интенсивности паводка надо чтобы принятый расчётный расход водосбросных ГТС не ограничивался прогнозированным расходом. При этом следует иметь в виду возможность форсирования отметки уровня воды в верхнем бьефе и пропуск паводка через аварийные/резервные ГТС, которые можно будет отремонтировать после пропуска паводка, например, использовать водослив с размываемой вставкой и пр. (см. гл.5), которые вступят в строй при непредвиденно больших расходах и отведут воду в боковые менее населённые долины.

Величина суммарного расхода водопропускных сооружений гидроузла должна ограничиваться условиями обеспечения безопасности объектов в нижнем бьефе плотины при сбросе расходов. Расчётный сбросной расход должен выбираться и корректироваться с учётом хозяйственного освоения и плотности населения в долине реки ниже плотины. Важно наличие ряда гидропостов наблюдений за режимом расходов и уровней, как в основном водотоке, так и на его притоках.

Общее признание в последние годы находит решение, при котором комбинируются водосливы, оборудованные **затворами**, с открытыми водосливами, являющимися резервом пропускной способности гидроузла, наиболее современные решения которых приведены в главе 5. Такое решение сводит к минимуму последствия ошибочного маневрирования затворами для объектов в нижнем бьефе. Затворы водосбросов и водоспусков должны быть готовы к эксплуатации в любой момент, периодически опробываться и, учитывая возможные повреждения системы, иметь запасные источники питания электроэнергией всех механизмов. Если затворы ГТС имеют автоматическое (вододействующее) управление или управляются дистанционно, то автоматические установки и системы телеуправления должны дублироваться. Для гарантированного маневрирования затворами при любых неполадках

автоматической системы следует предусмотреть аварийную сигнализацию и ручное управление. При основном регулируемом открытом водосбросе наличие затвора обычно обеспечивает большую пропускную способность водосливов и снижение стоимости ГТС. Однако, если расчётный паводок принят малой обеспеченностью (например, повторяемостью один раз в 10000 лет), необходимо предусмотреть режим эксплуатации, не допускающий быстрого открытия всех затворов, и тем самым исключить возможность катастрофического паводка в нижнем бьефе.

Опасность возникновения катастроф от неправильной эксплуатации затворов должна быть уменьшена за счёт лучшего проектирования, усовершенствованного оборудования и надёжного прогноза паводков, более квалифицированного эксплуатационного персонала, улучшения автоматического оборудования для управления затворами, координации пропуска паводков по всему каскаду, применение размываемых предохранительных плавких вставок после лабораторных модельных и полевых исследований.

Весьма важны и вопросы, связанные с эксплуатацией водопропускных ГТС, отражённые в специальном разделе инструкции по эксплуатации ГТС гидроузла, составленной ещё при его проектировании. Службе эксплуатации помимо проведения систематических детальных обследований ГТС, квалифицированного надзора за сооружениями следует предусмотреть возможность проведения ремонта устройств, защищающих водосбросы и водоспуски от эрозии при прохождении больших паводков, в периоды прохождения малых расходов. Для своевременного выявления участков, требующих проведение ремонтных работ, необходимо проводить регулярные осмотры ГТС, используя для обследования находящихся под водой конструкций водолазов, дроны и телеаппаратуру

4. ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДПОРНОГО СООРУЖЕНИЯ ИЗ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

4.1. Повышение отметки гребня плотины/дамбы

Если топографическими изысканиями зафиксировано значительное отличие фактической отметки гребня плотины/дамбы от проектной, то для восстановления проектных габаритов и повышения надёжности работы всего гидроузла в целом, необходимо повысить отметку гребня подпорного сооружения (рис. 4.1).

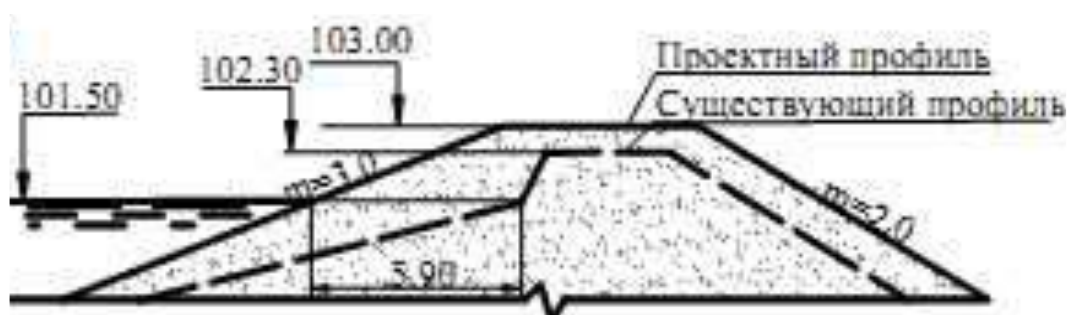


Рис. 4.1. Типизированное поперечное сечения плотин в Ростовской области после наращивания (на балке Глузская) [48]

Для оценки достаточности фактического запаса гребня грунтовой плотины определение отметки гребня плотины ($\nabla \Gamma_p$) выполняется в соответствии со СП 39.13330.2012 (рис. 4.2).

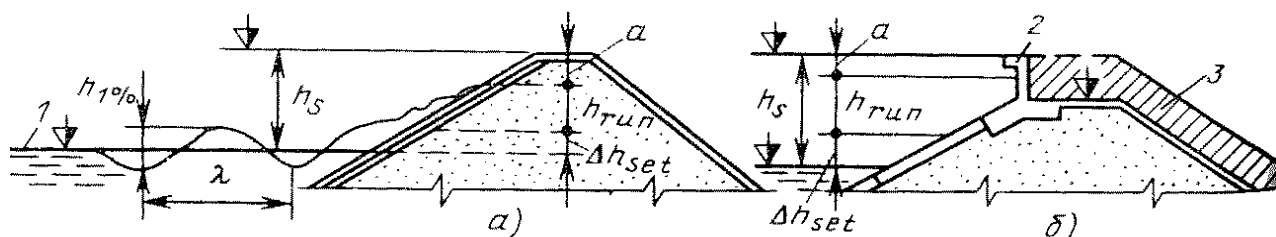


Рис. 4.2. Схема определения отметки гребня грунтовой плотины: а – без парапета; б – с парапетом; 1 – расчетный уровень при НПУ и ФПУ; 2 – парапет; 3 – объем экономии грунта при установке парапета (досыпки грунта до расчётной отметки)

Расчёт ведут для двух значений отметок расчетных уровней воды ($\nabla PУ$) в верхнем бьефе гидроузла: $\nabla НПУ$ и $\nabla ФПУ$ по формуле [9, 10, 17]

$$\nabla \Gamma_p = \nabla PУ + h_s. \quad (4.1)$$

Превышение отметки гребня плотины h_s над отметкой расчетного статического уровня воды в водохранилище определяется по формуле

$$h_s = \Delta h_{set} + h_{run 1\%} + a, \quad (4.2)$$

где: Δh_{set} – высота ветрового нагона воды, м;

$h_{run 1\%}$ – высота наката ветровых волн обеспеченностью 1%, м;

a – конструктивный запас гребня, принимаемый не менее 0,5 м.

Если $h_s \leq [h_s]$, то на разницу надо увеличить $\nabla \Gamma_p$ с учётом строительного модуля [9, 17]. Для IV класса минимальный запас по отношению к НПУ составляет не менее 1...1,3 м. Обычно для небольших земляных плотин, проектируемых для малых ГЭС, это превышение составляет 2...2,5 м. В сейсмических районах минимальное возвышение над уровнем воды в водохранилище обычно около 5 м. Для крупных плотин в проекте может предусматриваться возвышение гребня и на 10 м.

Для повышения отметки гребня плотины/дамбы до проектной возможны разные специальные конструктивные мероприятия: установка парапета на бровке верхового откоса; наращивание гребня плотины/дамбы; установка специальных элементов на гребне; изменение при реконструкции плотины очертания и укрепления верхового откоса и пр.

Самым простым при досыпке гребня плотины является обычный способ [23]: вначале рыхлят поверхность; перемещают материал крепления во временные отвалы; планируют и боронуют поверхность; до увлажняют грунты на гребне до оптимальной влажности; отсыпают карьерный материал с оптимальным увлажнением; разравнивают и уплотняют; по мере достижения проектной отметки устраивают дорожное полотно (рис. 4.3а). Так в Приморье после разрушительного тайфуна «Гони» был разработан план капитального ремонта, строительства, и реконструкции ГЭС для защиты от наводнений (рис. 4.3б).

Программа была рассчитана на шесть лет – с 2017 по 2022 гг. За это время планировалось построить 11 новых сооружений инженерной защиты от наводнений, реконструировать 2 и отремонтировать 7 противопаводковых ГТС в 13 муниципальных образованиях края.



Рис. 4.3. Ремонт водохранилищ Уссурийска после тайфуна Гони, 2015 г.

Если тело плотины выполнено из пучинистого грунта (суглинка или глины) необходимо устраивать морозозащитный слой из песчаных грунтов значительной толщины (не менее $2/3$ от глубины сезонного промерзания), зависящей от климатических условий района строительства [6, 9, 17]. Для условий средней полосы России эта величина составляет порядка 1,4...1,8 м. Для оптимизации затрат на строительные работы можно рекомендовать возведение дорожных конструкций на гребне грунтовых сооружений с геосинтетическими прослойками (рис. 4.4).

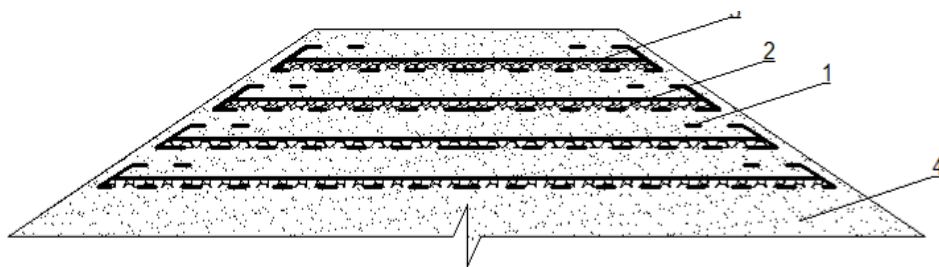


Рис. 4.4. Армированная гребневая часть грунтовой плотины: 1 - георешётка; 2 - местный грунт; 3 - геотекстиль, 4 – тело грунтовой плотины

Применение современных материалов позволяет поддерживать постоянной влажностью грунта в процессе эксплуатации дороги на гребне подпорного ГТС и

тем самым стабилизировать прочностные и деформативные характеристики грунта рабочего слоя земляного полотна гребня плотины. Во многих случаях это позволяет сократить количество дорогостоящих кондиционных песков, даёт возможность заменить большое количество слоев щебня различных фракций на прослойки из ГСМ с небольшим количеством щебня и расширить использование местных грунтов. Армирование гребневой части грунтовой плотины даёт существенное улучшение прочностных характеристик и несущей способности гребневой части грунтовой плотины, упрощает и ускоряет производство работ, делая процесс строительства более механизированным и технологичным. На сегодняшний день на российском рынке представлен широкий спектр геосинтетиков как российских, так и зарубежных производителей (Тефонд, Дорнит, Стабитекстм, «Terran», «Тураг», «Geolon», «Enkadrain», «Terradrain» и др.).

Для повышения прочности и долговечности насыпную часть гребня дамбы или целиком её тело, возводимого на слабых просадочных грунтах, можно выполнить с использованием двухслойной укладки геотекстиля на грунт с последующим заворотом концов геотекстиля с образованием замкнутой формы, заполняемой грунтом (рис. 4.5). На природный грунт укладывают сначала первый слой из мягкого геотекстиля с последующей засыпкой на него песка высотой слоя 20...30 см, а концы мягкого геотекстиля заворачивают поверх засыпки от боковых сторон ближе к середине ее открытой поверхности на равном расстоянии от боковых сторон засыпки. Длину заворотных концов от боковых сторон засыпки задают равной трехкратной высоте песочной засыпки. Вторым слоем накладывают жесткого геотекстиля сверху на открытую и закрытую поверхности засыпки. Свободно опускают концы жесткого геотекстиля по откосу засыпки с обхватом ее боковых сторон. После чего, сверху на слой жесткого геотекстиля, устанавливают георешетку с последующей засыпкой в ее ячейки слоя из песка, причем засыпку осуществляют на высоту, соответствующую высоте георешетки и выше ее на 5...10 см. Затем на георешетку укладывают дренажный слой из щебня фракции

40...70 мм, на последний укладывают дорожный слой из щебня фракции 20...40 мм, причем толщину засыпки дренажного слоя из щебня задают в зависимости от требуемой высоты возводимого насыпного сооружения.

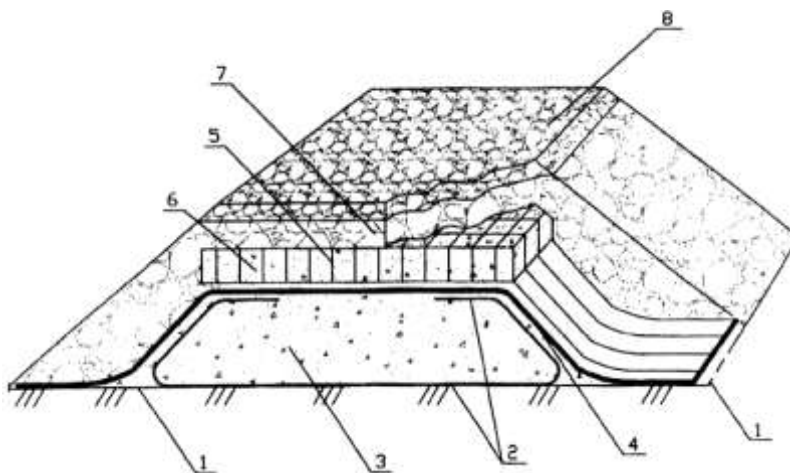


Рис. 4.5. Способ возведения насыпного ГТС с автодорогой с 2-х слойной укладкой геотекстиля: 1 – грунт основания/наращиваемая дамба; 2 – слой из мягкого геотекстиля; 3 – песок; 4 – жёсткий геотекстиль; 5 – георешётка; 6 – песок в ячейках георешётки; 7 – дренажный слой из щебня; 8 – дорожный слой из щебня

Для повышения безопасности грунтовой плотины часто бывает целесообразнее повысить отметку гребня, досыпая её со стороны низового откоса. При этом надо учитывать, что наращивание грунтовых плотин можно осуществлять:

- без опорожнения водохранилища (в том случае, когда крепление верхового откоса, уложенное до реконструкции плотины, выполняет свои функции и после реконструкции) (рис. 4.6а);
- с частичным опорожнением водохранилища, не нарушая нормальной эксплуатации гидроузла;
- с опорожнением водоёма.

При незначительной величине наращивания плотины на верховой бровке гребня можно делать на гребне бетонную расширяющуюся к низу стенку, как, например, на Кассансайской плотине, или волнозащитный парапет в виде секций, выполненных из монолитного или сборного железобетона (рис.4.6л). Гребень

Тедженской плотины подняли путем отсыпки дополнительного грунта с более крутым низовым откосом. При таком решении можно также устраивать парапет (рис. 4.7). Парапет уменьшает объем насыпи (рис. 4.6б), но появляются затраты на железобетон парапета. Высота стенки обычно составляет не более 0,8...1,2 м. Конфигурация волноотбойной стенки может иметь разное очертание и комплектацию с креплением верхового откоса плотины (рис. 4.7 - 4.9).

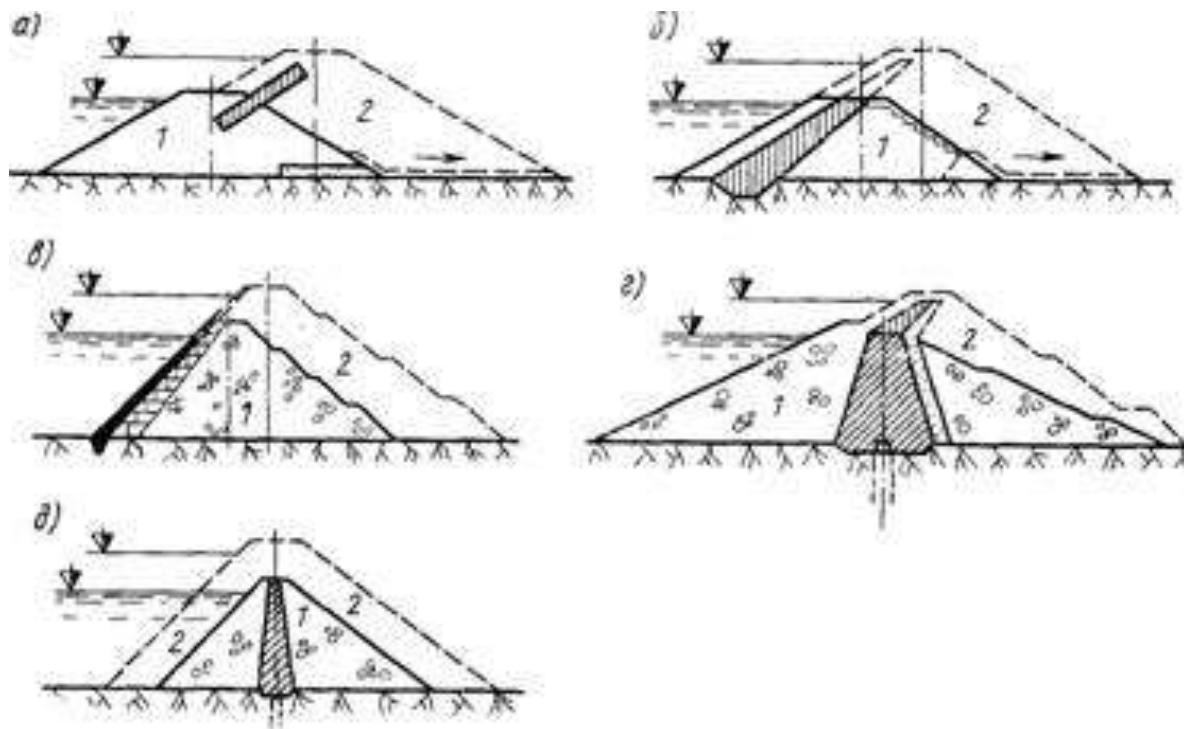


Рис. 4.6. Принципиальные схемы наращивания плотин из местных материалов [23]: а – однородная из глинистых грунтов; б – с экраном; в – с экраном из негрунтовых материалов (е); г – каменно-набросная с ядром из грунтовых материалов (в); д – с диафрагмой при отсыпке грунта с верхового и низового откосов (г); ж – с диафрагмой; з – однородная с пологим верховым откосом; и – однородная с уположенным низовым откосом; к – однородная из песчаного грунта; л – однородная, не требующая уположения откосов; м – однородная с большим коэффициентом запаса низового откоса: 1 – первоначальный профиль; 2 – досыпка для повышения плотин

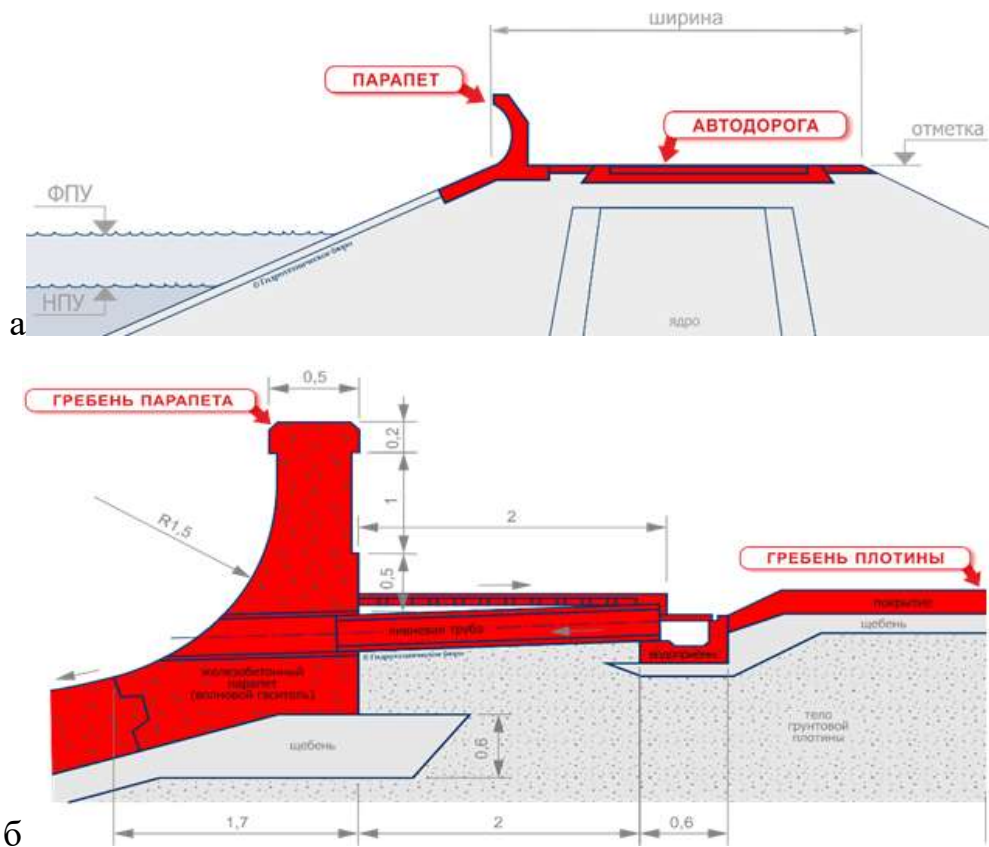


Рис. 4.7. Схема (а) гребня подпорного ГТС с парапетом (б)

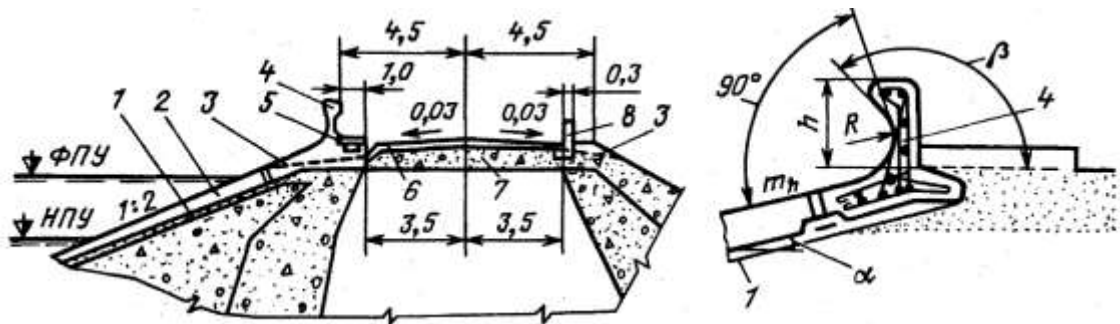


Рис. 4.8. Пример конструкции гребня плотины с волноотбойным парапетом: 1 – подготовка; 2 – железобетонное крепление; 3 – ливнесток; 4 – волноотбойный парапет; 5 – тротуар с каналом для кабеля; 6 – асфальтобетонное покрытие; 7 – подготовка из песчано-гравийного грунта; 8 – надолбы; $R \approx 0,5h$; $\beta = (130^\circ \dots 140^\circ) - \alpha$

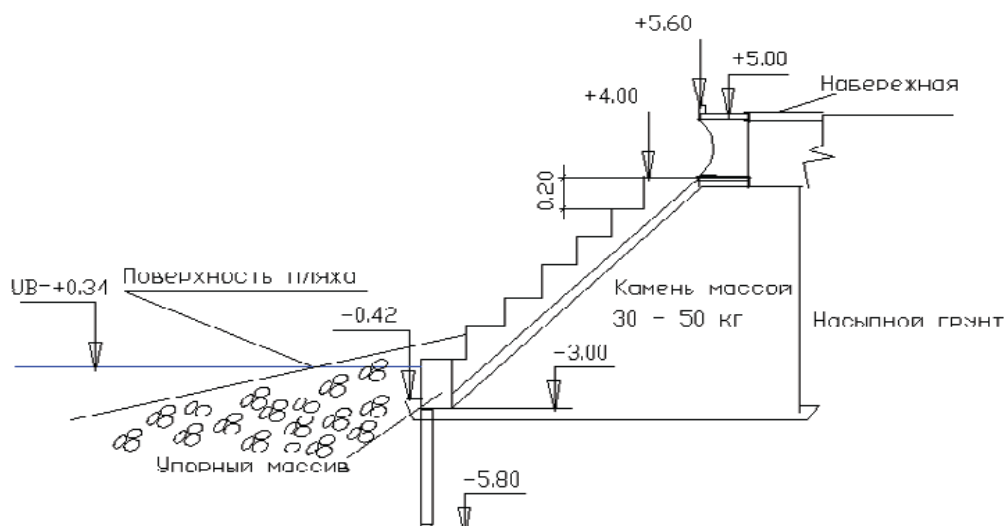


Рис. 4.9. Возможная конструкция волнозащитной стенки при формировании набережной с променадом

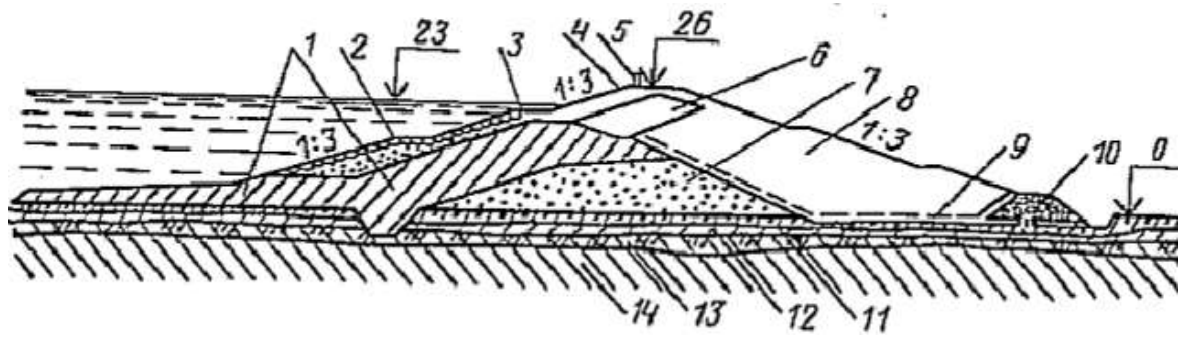
Гребень однородной плотины из глинистых грунтов повышают путем устройства вновь отсыпанной части плотины с грунтовым экраном [23]. Причем её можно отсыпать из грунта, например, с большим коэффициентом фильтрации. Полезно систему дренажа плотины оставлять без изменения, соединяя ее с нижним бьефом (рис. 4.6а). Для лучшего сопряжения вновь отсылаемого материала с телом плотины первой очереди поверхность контакта необходимо обработать уступами (рис.4.6б). Верховой откос плотины в надстроенной части желательно принять более крутым. Подсыпаемая с низовой стороны часть профиля плотины не должна создавать подпора фильтрационных вод и тем повышать их депрессионную поверхность. Плотины, имеющие противофильтрационные устройства в виде экрана или ядра из местных материалов, наращивают путем устройства дополнительного экрана, ядра, буронабивных стенок, шпунта, экрана с применением полиэтиленовой пленки или их комбинации. Если экраны и диафрагмы выполнены из негрунтовых материалов, то их обычно наращивают с применением асфальтобетона, железобетона, полиэтиленовой пленки и т. д. Последующая осадка надстроенной части плотины не должна расстраивать противофильтрационных элементов, при этом грунтовые экраны сопрягаются зубом или шпунтовой стенкой, жесткие

диафрагмы – шарнирным швом, а между новым и старым экраном устраиваются гибкие и водонепроницаемые швы. Для сохранения оси гребня плотины в створе сооружений первой очереди с верховой стороны в каменно-земляной плотине отсыпка может быть сделана и по верховому откосу (рис. 4.6д). Плотины с *уположенным верховым откосом* наращивают путем снижения уровня воды в водохранилище до отметки мертвого объема, отсыпки грунта на низовой и верховой откосы и устройством крепления последнего. Если реконструируемая плотина имеет *низовой уположенный откос*, то верховой откос отсыпают в продолжение имеющегося, а низовой откос устраивают более крутым. Однородные плотины из песчаных грунтов, дренаж которых не может быть использован в дальнейшем, наращивают с низового откоса с устройством нового дренажа. При наращивании грунтовых плотин с возведением низовой боковой призмы из-за изменения ширины плотины на уровне расположения дренажа, расположения кривой депрессии, условий и объемов поступления воды к дренажу и сброса из *дренажа* необходима и его *реконструкция*. Экономически целесообразно оставлять старый дренаж. К нему подсоединяют новую систему и уширяют грунтовую плотину со стороны низового откоса после удлинения водопрводящей части донного водовыпуска.

Характерным примером может являться наращивание водонапорного фронта при реконструкции в 1983 г. Чернореченского водохранилища (рис. 4.10), выполненное для увеличения объёма водохранилища, используемого для водоснабжения и орошения.



а



б

Рис. 4.10. Общий вид (а) и поперечное сечение (б) грунтовой плотины

Чернореченского водохранилища после реконструкции 1983г.: 1 – существующие

понур и экран; 2 – одиночное каменное мощение; 3 – гребень существующей плотины; 4 –

монолитные железобетонные плиты; 5 – парапет; 6 – наращенный экран; 7 – тело

существующей плотины; 8 – тело наращенной плотины; 9 – дренажный тюфяк; 10 – дренажная

призма из каменной наброски; 11 – суглинки и глины с щебнем и гравием; 12 – гравийно-

галечниковые грунты; 13 – трещиноватая аргиллитоподобная глина; 14 – аргиллитоподобная

глина

Наращивание максимальной высоты плотины с 28 до 36 м позволило увеличить объем водохранилища более чем в 2 раза. До реконструкции плотина с суглинистым экраном была отсыпана из гравийных, щебнистых и гравийно-галечниковых грунтов. В период реконструкции плотину досыпали с низовой стороны гравийными и галечниковыми грунтами, нарастив экран толщиной 7 м,

выполненный из суглинков, глин с галькой, гравием и дресвой. При этом обращалось особое внимание на обеспечение качественного соединения старой и новой частей экрана. Нарращиванию экрана предшествовало снятие его верхового слоя на 1 м.

У подножия низового откоса устроен дренажный туюфяк с дренажной призмой из каменной наброски. Низовой откос закреплен путем посева многолетних трав. Напорная дамба наращивания представляла собой плотину с центральной маловодопроницаемой призмой и противофильтрационным зубом. При этом гребень старой плотины превратили в берму. Крепление верхового откоса наращенной плотины выполнили монолитными железобетонными плитами. В месте сопряжения отсыпаемой части плотины с существующей сняли растительный слой на 0,5 м и удалили наклонный дренаж.

Водосброс до реконструкции представлял собой быстроток с подводным каналом. В головной части быстротока при реконструкции была возведена водосливная бетонная плотина высотой 7,7 м (рис. 4.11). Реконструирована входная часть водозабора.

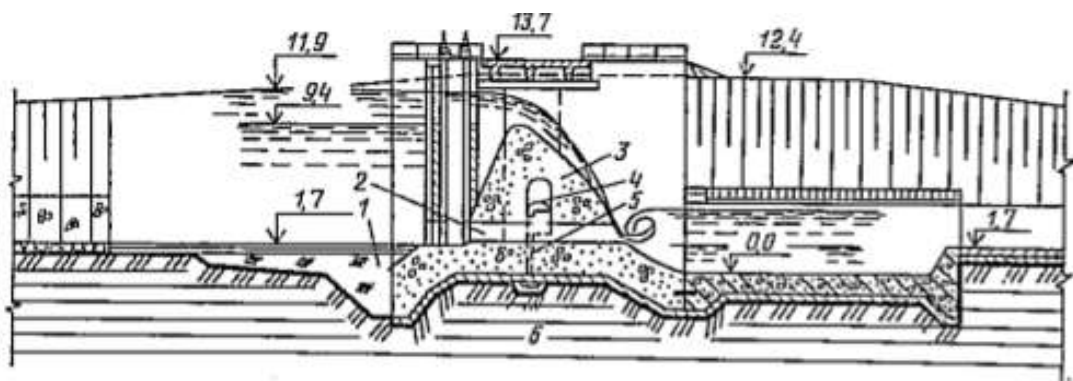


Рис. 4.11. Поперечное сечение водосливной бетонной плотины, устроенной при реконструкции в головной части быстротока Черненского водохранилища [23]: 1 – понур; 2 – донный водовыпуск; 3 – водослив; 4 – смотровая галерея; 5 – пьезометр; 6 – аргиллитоподобные глины

При наращивании плотины, выполняемой из грунтовых материалов с противофильтрационным элементом (ПФЭ), можно использовать способ наращивания, заключающийся в наращивании, как самого тела плотины, так и его ПФЭ с обеспечением сплошности существующего ПФЭ и его наращиваемой части [42]. В этом случае повышение надёжности плотины возможно за счёт снижения градиентов напора, действующих в основании плотины и в пределах существующего ПФЭ. Предварительно в низовой части тела плотины за существующим ПФЭ устраивается дополнительный ПФЭ на высоту, обеспечивающую подпор существующего ПФЭ со стороны нижнего бьефа с учётом допустимых градиентов фильтрационного потока в основании плотины (рис. 4.12).

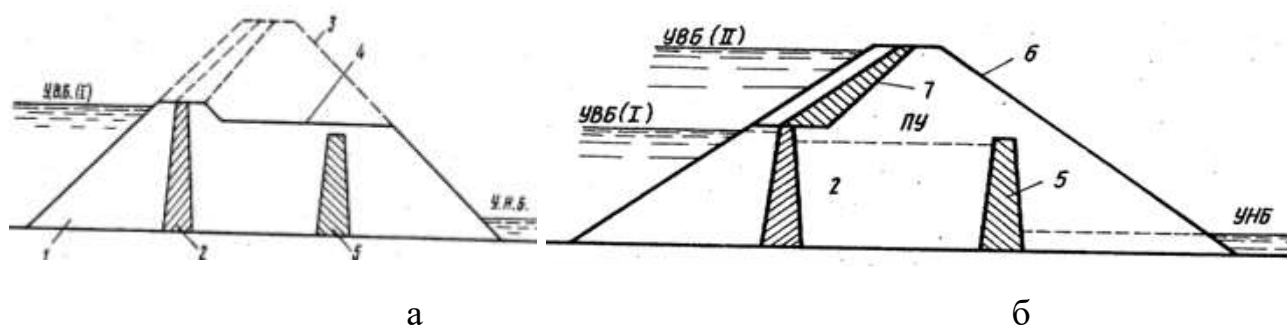


Рис. 4.12. Схема наращивания плотины с предварительным устройством дополнительного ПФЭ со стороны нижнего бьефа, а потом с одновременным поднятием ПФЭ до нужной высоты (примерно до 2 м) [42]: 1 – первоначальное тело плотины; 2 – ПФЭ плотины до реконструкции; 3 – очертание низового откоса плотины после реконструкции; 4 – граница между нижней и верхней частями тела плотины; 5 – дополнительное ПФЭ; 6 – очертание низового откоса после реконструкции; 7 – поднятие основного ПФЭ при реконструкции

С любой из вышерассмотренных схем наращивания плотины возможна комбинация парапета или шпунта. При наличии парапета производят его демонтаж, также демонтируют колесоотбойный брус и дорожное (бетонное, асфальтобетонное и пр.) покрытие на гребне плотины. После чего проводят основные работы по наращиванию отметки гребня плотины путем отсыпки, например, смесью песчано-гравийного грунта, как на Колымской ГЭС (рис. 4.13).

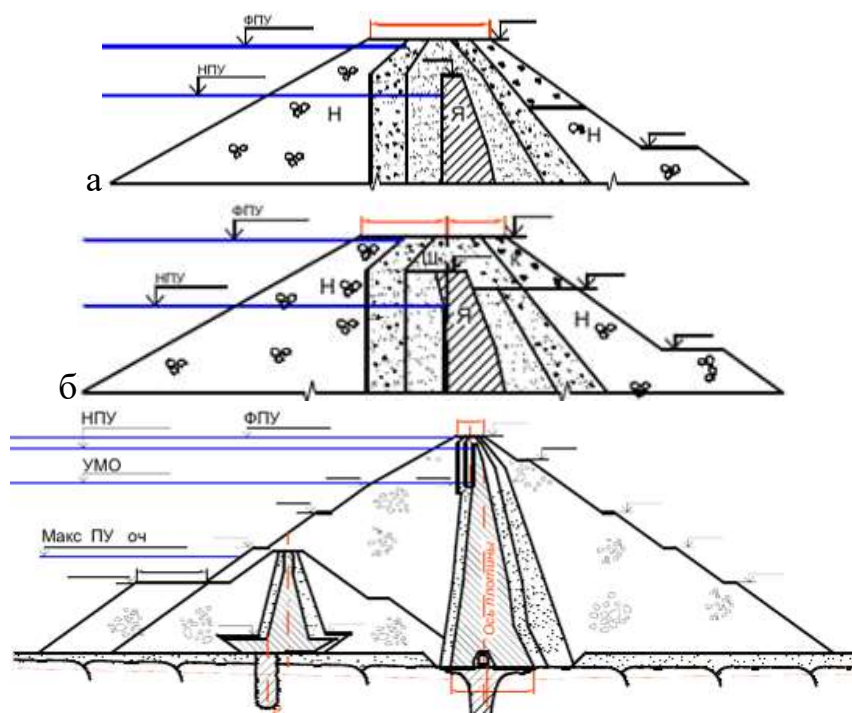


Рис. 4.13. Конструкция гребня плотины Колымской ГЭС [52]: а – по проекту; б – фактически построенной; Н - каменная наброска упорных призм; К – мелкий камень; I, II – слои фильтра; Я – ядро плотины; Ш – «шапка» плотины; в - поперечное сечение плотины

В процессе проектирования и строительства каменно-земляной плотины Колымской ГЭС, высотой около 130 м, возведённой в 1988 г. в Магаданской области РФ, был допущен ряд ошибок (уровень ФПУ был принят выше отметки кровли зауженного ядра, а вышележащий грунт оказался суффозионным; не было устроено 2-х слоёв переходных зон, предусмотренных в проекте; недостаточно тщательно был подобран состав грунта переходных зон, в результате возникла контактная фильтрация с ПФУ; недоуплотнены грунты при укладке и пр.), что вызвало трещинообразование, гидравлические разрывы в ядре и деформации гребня, потребовало реконструкции и ремонта пригребневой части плотины. По достижению проектной отметки на гребне плотины при реконструкции в 2014 г. было уложено дорожное полотно и установлены леерные ограждения, всё в целом значительно повысило уровень безопасности эксплуатации ГЭС.

Для тех случаев, когда при реконструкции грунтовых плотин и дамб наращивание гребня без устройства подпорной стенки на низовой грани

затруднительно, Крутовым Д.А. предлагается применить сборные железобетонные лотки, устанавливаемые после планировки и подготовки поверхности на гребневой части плотины (рис. 4.14) [46]. В них укладывается грунтовый материал, который затем утрамбовывается трамбовками и ручными катками (в местах примыкания к железобетонным стенкам). По достижении проектной отметки на гребне формируется проезжая часть с соответствующим дорожным покрытием, ограждением, ливнеотводящими устройствами, освещением и пр. Со стороны верхнего бьефа при ожидаемых значительных волновых воздействиях часть лотка может быть выполнена в виде волноотбойной стенки или парапета.



Рис. 4.14. Использование железобетонных лотков при наращивании гребня плотины Бугуль в Казахстане [46]

4.2. Уширение гребня и тела подпорного сооружения

Уширение гребня подпорного ГТС необходимо при *не выполнении критерия безопасности по ширине гребня*, т.е. недостаточности ширины гребня оцениваемой плотины/дамбы, которая должна быть не менее 4,5 м при отсутствии проезда по нему (ранее допускалось 2,5...3 м) [9]. В остальных случаях ширина гребня плотины (рис. 4.15) зависит от категории автодороги, прокладываемой по гребню в соответствии с требованиями нормативных документов (табл. 4.1).

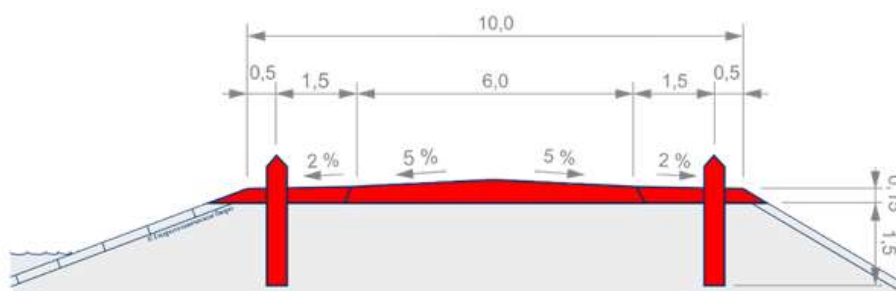


Рис. 4.15. Схема гребня грунтового подпорного ГТС с автодорогой IV категории

Таблица 4.1

Основные минимальные параметры гребня при устройстве на нём автомобильной дороги [24]

Категория дороги	Ширина, м		
	проезжей части	обочин	гребня
I	15,0	3,75	27,5
II	7,5	3,75	15,0
III	7,0	2,5	12,0
IV	6,0	2,0	10,0
V	4,5	1,75	8,0

При устройстве на гребне однопутной железной дороги — от 13 м, двухпутной железной дороги — от 15,5 м. Основные работы по уширению профиля производятся с низовой стороны плотины (рис. 4.16). Различают 2 схемы уширения гребня плотины: продольную и поперечную. По продольной схеме грунт укладывают горизонтальными слоями вдоль плотины. Для лучшего сопряжения нарезают уступы на глубину $\geq 0,5 \dots 1,0$ м с уклоном слоями сверху от гребня к подошве откоса. Также существуют особенности реконструкции однородных и неоднородных плотин [23]. Присыпаемая часть уширенного земляного полотна должна работать совместно с существующим, как единая конструкция, что возможно лишь при благоприятном водно-тепловом режиме. Оптимальным решением является применение при уширении тех же грунтов, которые использовались при ее возведении. Если это невозможно, необходимо

уширять насыпи только песчаными непылеватыми грунтами, строго соблюдая правила их расположения в теле насыпи. Хотя песчаные грунты из-за большой дальности перевозки обходятся в несколько раз дороже местных связных грунтов, первоначальные затраты всегда оправдываются в дальнейшем увеличением срока службы дорожных одежд и снижением расходов на эксплуатацию дороги. Поэтому стоимость реконструкции земляного полотна обычно на 30...50 % выше сооружения нового из-за необходимости применения высококачественных грунтов и усложнения технологии работ.

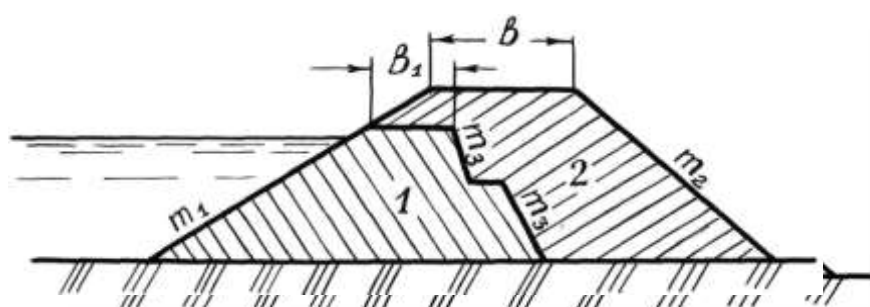


Рис. 4.16. Схема уширения плотины/дамбы досыпкой со стороны нижнего бьефа: 1 – тело плотины/дамбы до реконструкции; 2 – наращенное тело подпорного ГТС

При уширении тела подпорного сооружения, как и для любой насыпи, необходимо строго соблюдать правила расположения грунта в теле. Следует укладывать новые грунты в насыпь слоями, по возможности соблюдая их взаиморасположение и придавая им поперечный уклон в сторону откосов, чтобы предупредить застой воды на поверхности отсыпанных слоев (рис. 4.17). Фильтрующие грунты надо укладывать в верхнюю часть земляного полотна и в откосы, которые больше подвергаются воздействию погодных условий. При укладке фильтрующих грунтов в нижние слои толщину слоя следует принимать не меньше высоты капиллярного поднятия для этих грунтов. Степень уплотнения отсыпаемых слоев должна быть не меньше существующего земляного полотна. Для обеспечения прочности и устойчивости земляного полотна на гребне дамбы после реконструкции не рекомендуется применять крупнообломочные горные

породы, алевролиты, глинистые сланцы, мергели, оглеенные подзолистые, а также иловатые почвогрунты.

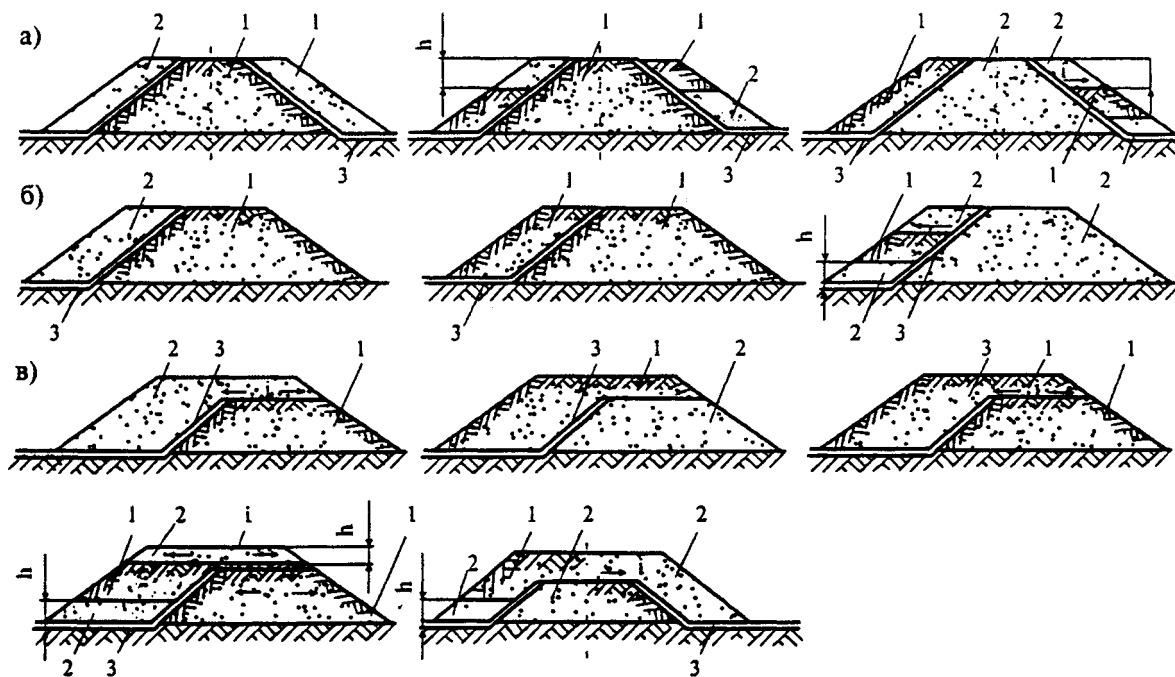


Рис. 4.17. Схемы допустимого взаиморасположения грунтов в теле надстраиваемых насыпей: а - симметричное уширение; б - несимметричное уширение; в - смягчение продольного профиля; 1 - связный грунт; 2 - песчаный грунт; 3 - снимаемый растительный грунт; h - минимальная толщина песчаного слоя, большая высоты капиллярного поднятия воды; i - поперечный уклон не менее 50 ‰

Различают двухстороннее (симметричное) и одностороннее (несимметричное) уширения гребня подпорного ГТС и соответственно автодороги, проходящей по нему. При выборе схемы уширения гребня плотины необходимо также учитывать неудобства, связанные с изменением оси дорожного полотна на гребне насыпи, например, устройство объезда во время реконструкции и пр.

Двухстороннее уширение - это уширение, при котором ось существующей дороги остается без изменения и совмещается с осью дороги на уширенном гребне плотины. Такое уширение может быть целесообразным при высоте насыпей и глубине выемок до 2 м при крутизне откоса 1:3 и положе при условии, что ширина проезжей части и укрепленных краевых полос после реконструкции

дороги будет меньше ширины земляного полотна существующей дороги. *Одностороннее* - это уширение, при котором ось реконструируемой дороги на гребне плотины смещается в сторону от оси старой дороги, а уширение происходит путем досыпки насыпи с одной стороны. Преимущество этого варианта в том, что все работы по уширению земляного полотна сосредоточены с одной стороны, а так же сокращаются объемы работ по снятию и установке инженерного оборудования, обустройству, переносу и переустройству коммуникаций, системы водоотвода, дренажа и т.д. Главный недостаток - в том, что часть ширины новой дорожной одежды располагается на старом земляном полотне, а часть на свежеложенном грунте, которому трудно придать такую же степень уплотнения и устойчивость, как у старого земляного полотна. В результате создается неравнопрочная дорожная конструкция (земляное полотно плюс дорожная одежда) и возникают продольные трещины в дорожной одежде по стыку старого и нового земляного полотна (рис. 4.18).

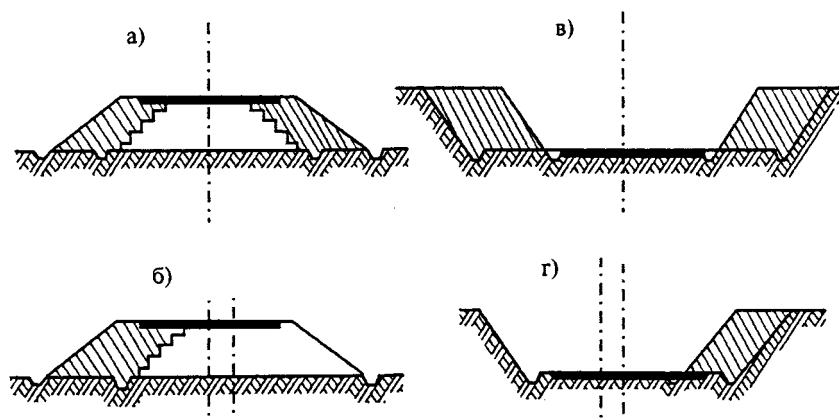


Рис. 4.18. Схемы уширения земляного полотна в насыпи при подъезде к ГТС: а, б) - двухстороннее и одностороннее в насыпях; в, г) - двухстороннее и одностороннее в выемках

При наличии большого числа дефектов или при не выполнении как качественных, так и количественных диагностических показателей и критериев безопасности грунтовых плотин, обусловленных, например, норами, ходами землеройных животных, трещинами при аварийном или предаварийном состоянии плотины/дамбы (просадка тела и основания плотины; разуплотнение,

размыв и обрушение откосов; суффозия и выпор грунта; разрушения креплений верховых и низовых откосов; фильтрация через основание и тело сооружения и пр.) следует предусматривать выполнение *комплексных* ремонтно-строительных работ, направленных на расширение всего профиля ГТС: досыпка до проектных отметок гребня и откосов; увеличение высоты плотин/дамб, т.е. увеличения объёма всего тела ГТС и ёмкости всего водоёма в целом (рис. 4.19) [37, 48].

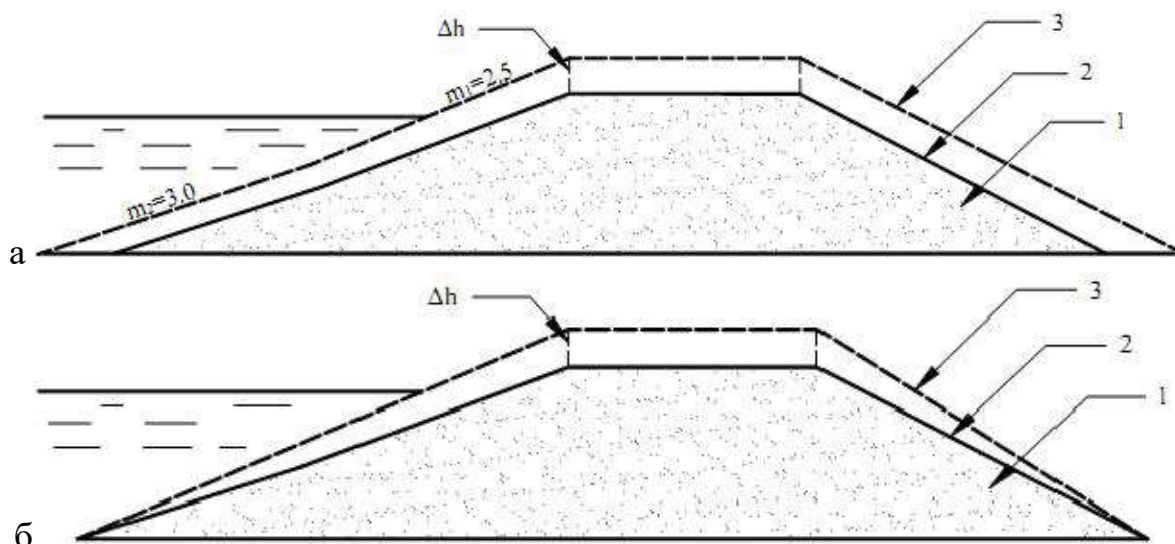


Рис. 4.19. Схема поперечного сечения плотины [37, 48]: а, б - для случаев, соответственно, подъёма высоты гребня плотины и ликвидации просадки гребня и откосов: 1 – первоначальное тело плотины; 2, 3 – очертание поперечного сечения плотины соответственно до и после проведения ремонтных работ

При этом технологические операции остаются приблизительно теми же, что отмечалось выше. В приложении П2 приведены схемы технологии ремонтно-строительных работ по восстановлению грунтовых плотин и дамб путём их досыпки до требуемых отметок и формирования необходимых очертаний, учитывающие известные решения [37, 48].

Уполаживание или восстановление обрушенных откосов осуществляют путём перемещения разрыхленного сползшего грунта [23], отсыпки и уплотнения его наклонными слоями по всей высоте откоса (поперечный способ) или горизонтальными слоями по всей длине откоса (продольный способ) (рис. 4.20). В качестве материала для отсыпки можно использовать тот же сползший грунт при

соблюдении технологии его отсыпки. Для повышения устойчивости отсыпаемого грунта выполняют ступенчатую подрезку низового откоса. При продольном способе минимальную ширину площадки принимают на 0,5...1 м больше ширины принятого катка для уплотнения, бульдозера или автосамосвала.

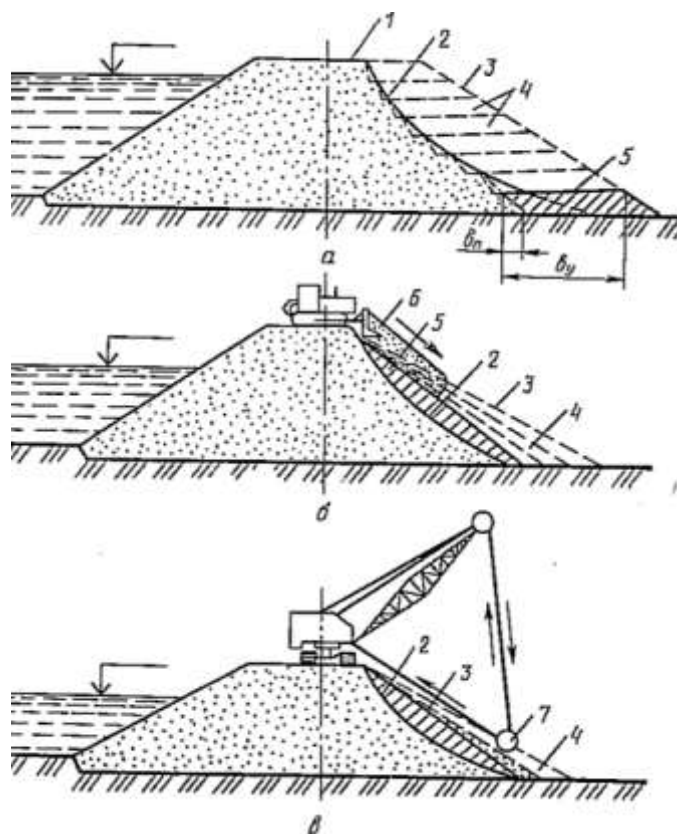


Рис. 4.20. Схема уширения и упрочивания откосов грунтовых плотин [23]: а и б – продольный и поперечный способы; в – уплотнение грунта катком; 1 – гребень плотины; 2 – низовой откос до ремонта; 3 – проектный откос; 4 – слой отсыпки и уплотнения грунта; 5 – уплотнённый грунт; 6 – грунт, разравниваемый бульдозером; 7 – каток

На рисунке 4.21 дана схема реконструкции плотины в урочище Медео с наращиванием её тела и гребня, где ёмкость селехранилища после схода селея в 1973 г. была исчерпана.

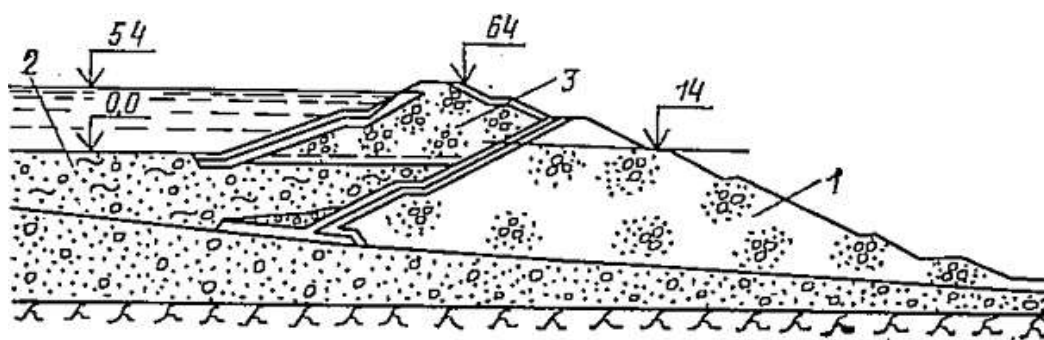


Рис. 4.21. *Схема наращивания тела набросной плотины в урочище Медео [23]:*

1 и 3 – тело старой и новой плотины; 2 – селевые отложения в водохранилище

Для более эффективного устранения дефектов на грунтовых плотинах и дамбах при реновации и ремонте Васильевой Е.В. предложено использовать при проведении работ вместо грунта грунтовосмесь оптимальной влажности (грунт+высевка+зола+цемент) [48]. Добавление к грунтоцементу золы и высевки в количестве соответственно 4...6% и 20...35% от общей массы составляющих грунтовосмеси обеспечивает повышение прочности на 25...30%, а морозостойкости – на 10...15%. Уменьшение количества золы ниже 4% (или увеличение доли цемента свыше 10%) не дает существенного прироста прочности и морозостойкости, а увеличение доли золы свыше 6% не обеспечивает превышения соответствующих показателей по прототипу. Связано это с тем, что восстановленные (досыпанные) грунтом элементы профиля (гребень, откосы) из-за низкой прочности, водо- и морозостойкости грунта не способны долговременно противостоять воздействию абразии, ливней, фильтрации, мороза и других факторов. При затвердевании грунтовосмесь со временем превращается в высокопрочный водо- и морозостойкий грунтобетон, надежно защищающий тело сооружений от воздействия агрессивных факторов [42]. Машины и механизмы подбирают с учётом природно – климатических условий, объёма работ, дальности транспортирования грунта (грунтовосмеси), формы и размеров сооружений (плотины, карьера, кавальера и др. После ремонтно-восстановительных работ по досыпке гребня плотины/дамбы и реконструкции откосов выполняют работы по их укреплению в соответствии с рабочим проектом [37, 48].

Для повышения прочности и устойчивости присыпанной части плотины (насыпи) при уширении целесообразно использовать прослойки из геосинтетических материалов (ГМ) (рис. 4.22).



Рис. 4.22. Конструктивные решения по уширению земляного полотна с применением ГМ: а, б - соответственно уширение насыпи на слабом основании и в стесненных условиях; ΔB - величина уширения земляного полотна; $\Delta B_{п.ч.}$ - величина уширения проезжей части; $b_{ф}$ - ширина обочины существующей дороги; $b_{п}$ - ширина проектируемой обочины; 1, 2 - существующая насыпь и дорожная одежда; 3 - уширение дорожной одежды; 4 - уширение насыпи; 5 - положение откоса существующей насыпи; 6 - уступ; 7 - прослойки ГМ; 8 - полубойма; 9 - слабое основание под сечением насыпи

Решения с применением геосинтетики при уширении земляного полотна наиболее эффективны в сложных условиях производства работ на слабых грунтах и основаниях, например, переувлажненные минеральные грунт или в стесненных условиях, когда традиционные решения не приносят требуемого эффекта с точки зрения прочности конструкции

4.3. Некоторые предложения по реконструкции откосов грунтовых плотин

ПЛОТИН

Ниже предложены способы повышения эксплуатационных качеств низконапорных грунтовых плотин, позволяющие одновременно предотвратить размыв, оползание и обрушение верховых откосов плотин/дамб и сохранить или увеличить объём воды в чаше пруда, тем самым эффективнее использовать местный сток для регулярного орошения имеющих сельскохозяйственных угодий. Железобетонное покрытие грунтовых откосов устраивается из сборных фигурных блоков (рис. 4.23) [51].

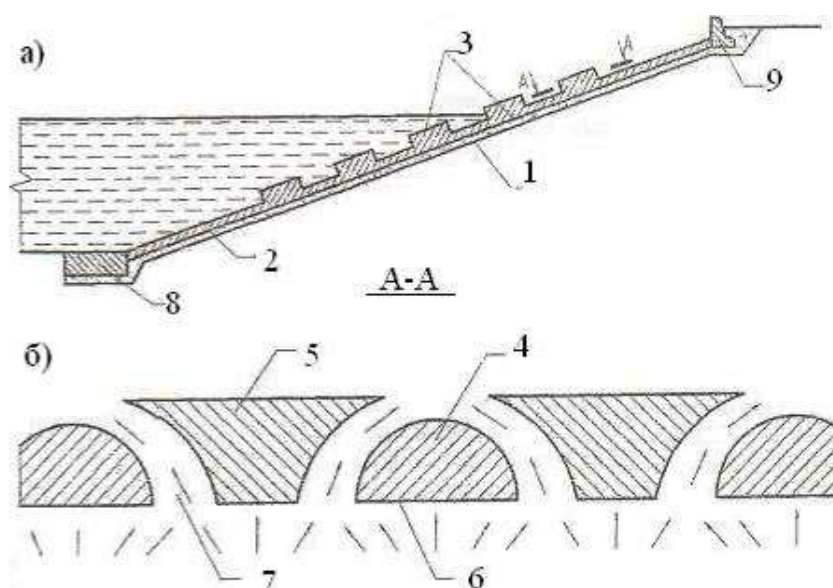


Рис. 4.23. Покрытие верхового откоса по патенту 2320808: а – профиль покрытия; б – сечение волногасящих элементов; 1 – верховой откос; 2 – монолитное железобетонное покрытие; 3 – ряды волногасящих элементов; 4 – полуовальные детали; 5 – клиновидные детали; 6 – основание полуовальных деталей; 7 – потокосоударяющие каналы; 8 – упорная плита; 9 – волнобойная стенка

Высокий волногасящий эффект в конструкции покрытия достигается тем, что, размещаемые в ряду волногасящие элементы выполнены из поочередно расположенных полукруглых (полуовальных) элементов, формирующих криволинейные в плане потокосоударяющие каналы. Однако, концентрация напряжения в остроугольных зонах клиновидных деталей, снижает качество и

надёжность последних. Для исключения этих недостатков можно использовать схему, приведённую на рисунке 4.24.

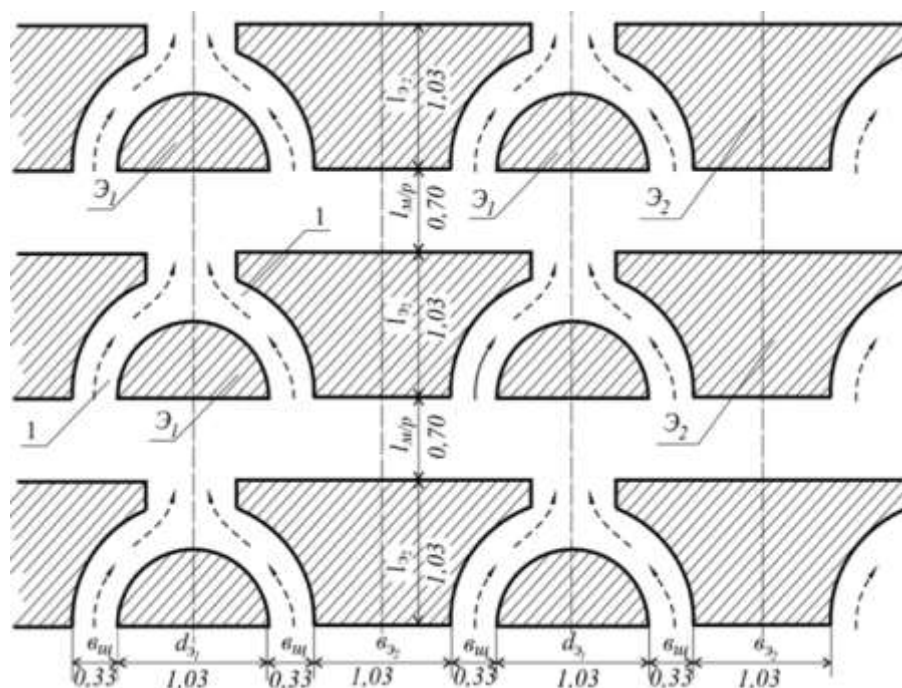


Рис. 4.24. Схема симметричного размещения криволинейных в плане и призматических по форме волногасящих элементов на креплении напорного откоса грунтовой плотины/дамбы [51]: Э₁ – (первый полукруглый (в плане) и призматический (по форме) волногасящий элемент крепления; Э₂ – профильный (в плане) и призматический (по форме) волногасящий элемент крепления; → – направление течения в потокоформирующих щелях; 1 – потокоформирующие щели; $b_{ш}/0,33$; $d_{э1}/1,03$ и др. – буквенные обозначения и размеры (b_m) элементов волногасящего крепления для высоты волны $h_e = 1,0$ м

В отличие от прямолинейных, расположенных перпендикулярно к направлению движения волны по откосу, балочных выступов в разработанной ранее (рис. 4.23) конструкции, где гасящий эффект проявляется только за счёт «лобового» удара волны о преграду, в конструкции на рисунке 4.24 используется эффект взаимного соударения, формируемых на покрытии водных потоков. Такое конструктивное решение снижает интенсивность «лобового» давления на выступающий над поверхностью покрытия волногасящий элемент при общем увеличении эффекта гашения кинетической энергии набегающего на откос

волнового течения. Предлагаемое решение может быть реализовано, как по симметричной (рис. 4.24), так и по асимметричной схемам их размещения (рис. 4.25).

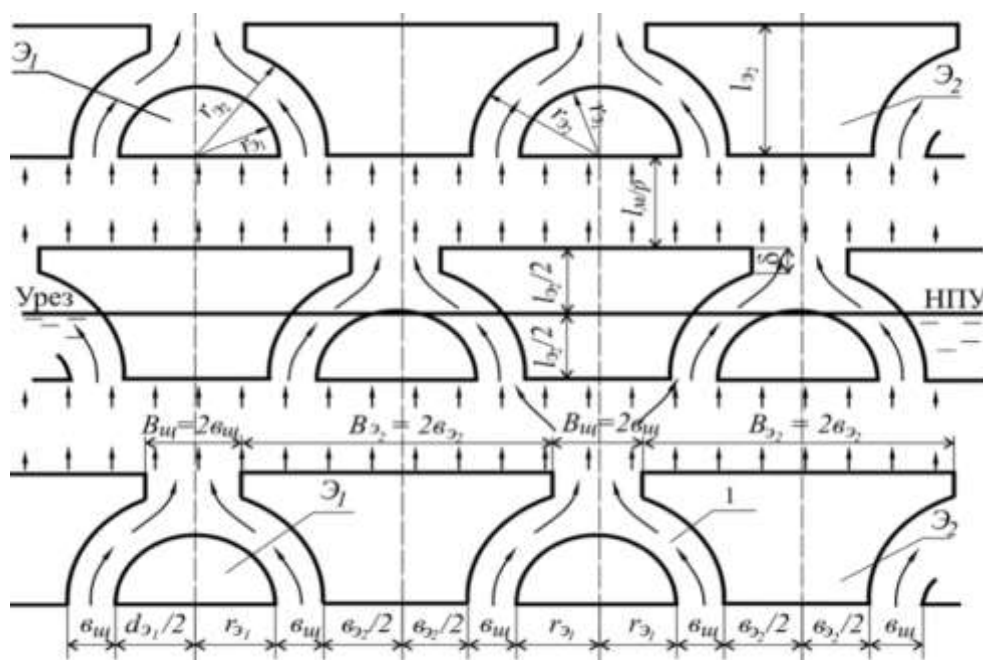


Рис. 4.25. Схема асимметричного размещения криволинейных в плане волногасящих призматических (по форме) элементов на креплении верхового откоса грунтовой плотины [51]: Э₁ – (первый полукруглый в плане и призматический по форме волногасящий элемент крепления; Э₂ – (второй) профильный волногасящий призматический элемент крепления; → - направление течений; 1 – криволинейные потокоформирующие щели

Рекомендуются следующие размеры волногасящих элементов [51]:

1. Высота волногасящих элементов, в форме криволинейных в плане призм, над поверхностью покрытия (h_3) принимается в пределах 25...30 % от расчётной высоты волны (h_6), то есть $h_3 = (0,25...0,30)h_6$.

2. Диаметр первого, полукруглого в плане (рис. 4.24), призматического волногасящего элемента ($d_{э1}$) - в пределах $d_3 = (3,5 \dots 4,0)h_3$, где h_3 - высота выступающей призмы – h_3).

3. Ширина лобовой или напорной, воспринимающей удар волны, грани второго (см. рисунок 4.24) сложнопрофильного (в плане) волногасящего элемента ($b_{э2}$) по аналогии с первым элементом назначается равной $b_{э2} = (3,5...4,0)h_3$.

4. Ширина, формируемой двумя смежными волногасящими элементами (1) и (2) (см. рисунки 4.22 и 4.25), щели ($b_{щ}$) с направленным течением в ней принимается равной $b_{щ} = (1,15 \dots 1,25)h_{\text{Э}}$.

5. Ширина тыловой (заволновой) части второго, сложнопрофильного в плане, волногасящего элемента равна $B_{\text{Э}2} = 2b_{\text{Э}2}$.

6. Длина второго элемента по направлению движения волны определяется из геометрических размеров конструкции – $l_{\text{Э}2} = r_{\text{Э}1} + b_{щ} + 0,2$.

7. Межрядовое расстояние (расстояние между соседствующими рядами волногасящих элементов) равно $l_{\text{М}}/p = (3,0 \dots 3,5)h_{\text{Э}}$.

Более простое конструктивное решение волногасящего устройства для железобетонного покрытия получается, если волногасящие элементы выполнить треугольной формы (рис. 4.26 и 4.27) и соответствующим образом разместить в ряду с параметрами, указанными в таблице 4.2. Ряды гасителей располагаются перпендикулярно направлению откоса в прибойной зоне. Рекомендуется устраивать 3...4 ряда волногасящих устройств. Из них один ряд располагается на откосе по линии НПУ, один ряд ниже линии НПУ и 1...2 ряда выше линии НПУ. Треугольные призмы-гасители можно выполнять с равносторонними треугольниками в плане (рис. 4.26) и с равнобедренными треугольниками в основании призмы (рис. 4.27). Схема на рисунке 4.26 рекомендуется при соотношении длины накатывающейся волны ($l_{\text{в}}$) к её глубине ($h_{\text{в}}$) равном $10 < l_{\text{в}}/h_{\text{в}} < 12$, а схема на рисунке 4.27 – при $l_{\text{в}}/h_{\text{в}} \geq 12$.

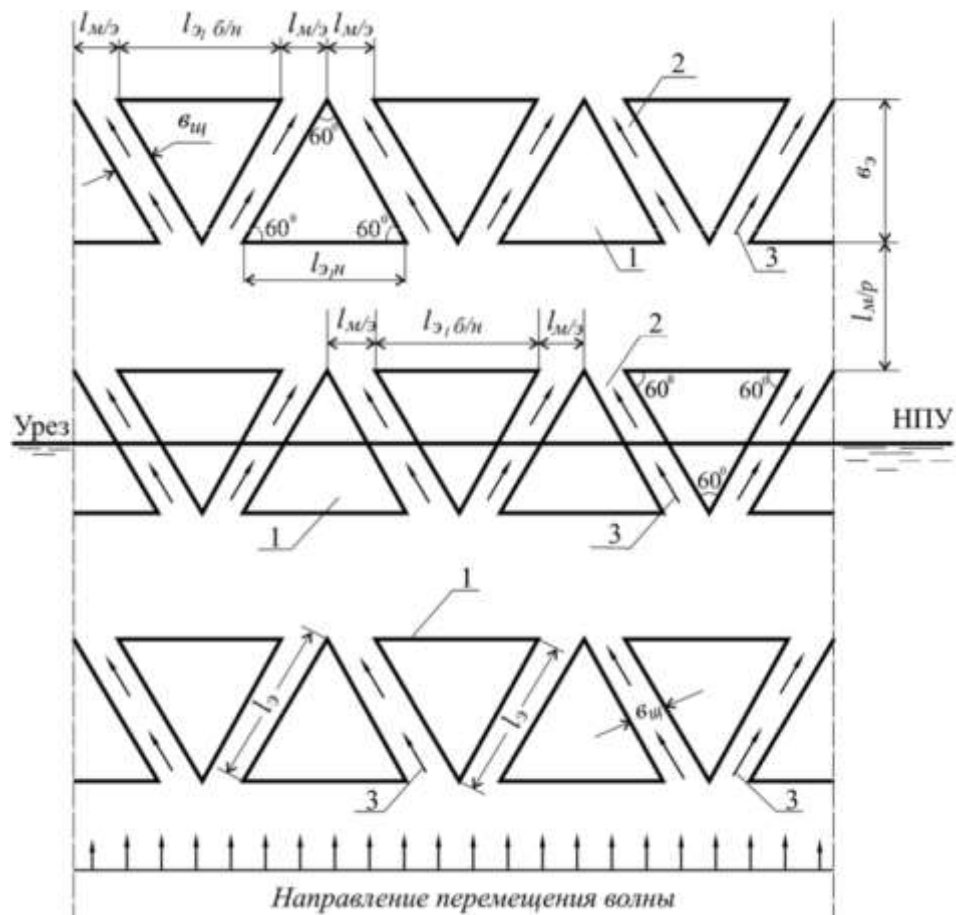


Рис. 4.26. – Схема планового размещения волногасящих элементов на основе шероховатости из треугольных равносторонних призм («шашек») на креплении верхнего откоса плотины [51]: 1 – волногасящие элементы из треугольных призм; 2 – межэлементные щели; 3 – направление течений в межэлементных щелях

Расчёты показывают, что при воздействии на крепление небольших волн (высотой до 1 м) эффективное гашение волновой энергии, прочностные показатели плиты крепления и защита откосов от размыва и обрушения при размещении их в зоне волнобоя обеспечиваются при высоте таких волногасящих элементов не более 0,25... 0,30 м и толщине плиты крепления 0,13...0,15 м.

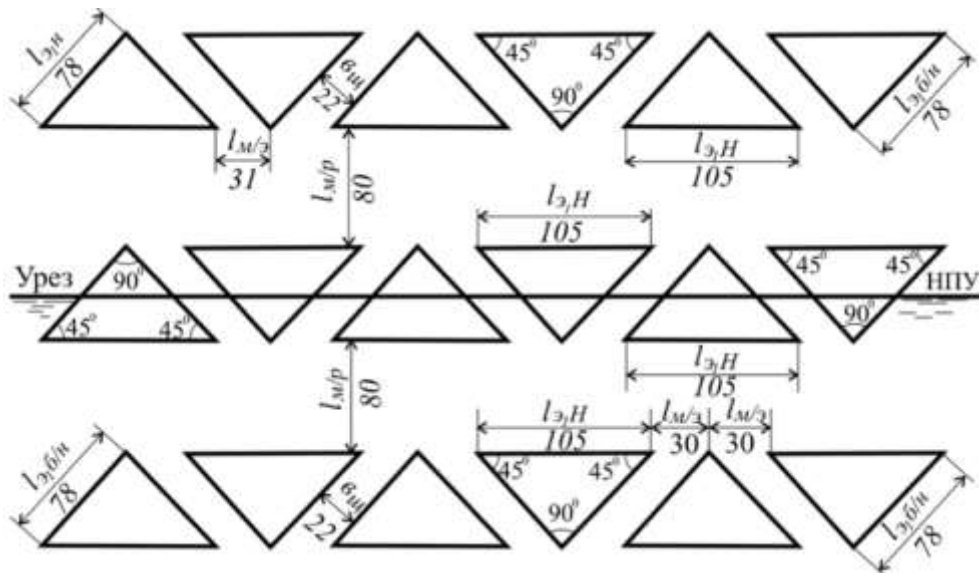


Рис.4.27. Схема планового размещения волногасящих элементов из равнобедренных треугольных призм на креплении верхового откоса плотины мелиоративного пруда [51]: 1 – волногасящие элементы из треугольных равнобедренных призм; 2 – потокоформирующие межэлементные щели

$$\frac{l_{3б/н}}{78}; \frac{v_{щ}}{22}; \frac{l_{3H}}{105} - \text{буквенные обозначения параметров}$$

размеры параметров в см для $h_8 = 1,0$ м

Таблица 4.2

Параметры треугольных волногасящих элементов [51]

№	Наименование параметров системы волногасящих элементов	Значения параметров элементов для схем	
		равносторонних треугольных элементов	равнобедренных треугольных элементов
1.	Высота треугольных призм (h_3)	$h_3 = (0,25 + 0,3)h_8$	$h_3 = (0,25 + 0,3)h_8$
2.	Длина напорной стороны треугольника (l_{3H})	$l_{3H} = (3,5 + 4,0)h_3$	$l_{3H} = (3,75 + 4,0)h_3$
3.	Длина безнапорной стороны треугольника ($l_{3б/н}$)	$l_{3б/н} = l_{3H}$	$1,41l_{3H}$
4.	Ширина межэлементной щели ($v_{щ}$)	$v_{щ} = h_3$	$v_{щ} = 0,8h_3$
5.	Расстояние между элементами по линии уреза ($l_{м/э}$)	$l_{м/э} = v_{щ} / \cos 30^\circ$	$l_{м/э} = 1,41v_{щ}$
6.	Расстояние между рядами элементов ($l_{м/р}$)	$l_{м/р} = (3,0 + 3,3)h_3$	$l_{м/р} = (2,8 + 3,0)h_3$

Для восстановления верхового откоса грунтовых плотин/дамб, покрытых до реконструкции бетонной облицовкой или каменной наброской, есть

предложения конструкций сборных или сборно-монолитных плит (замоноличенных в месте выхода на гребень), которые заанкериваются в гребень и облегают откос (рис. 4.28) [46]. В плите рекомендуется устраивать отверстия-прорези (рис. 4.28а), которые позволяют повысить шероховатость откоса и, следовательно, уменьшить параметры волнового воздействия на него, а при смене уровней – бороться с ледовым воздействием на покрытие и выпустить дренажные воды.

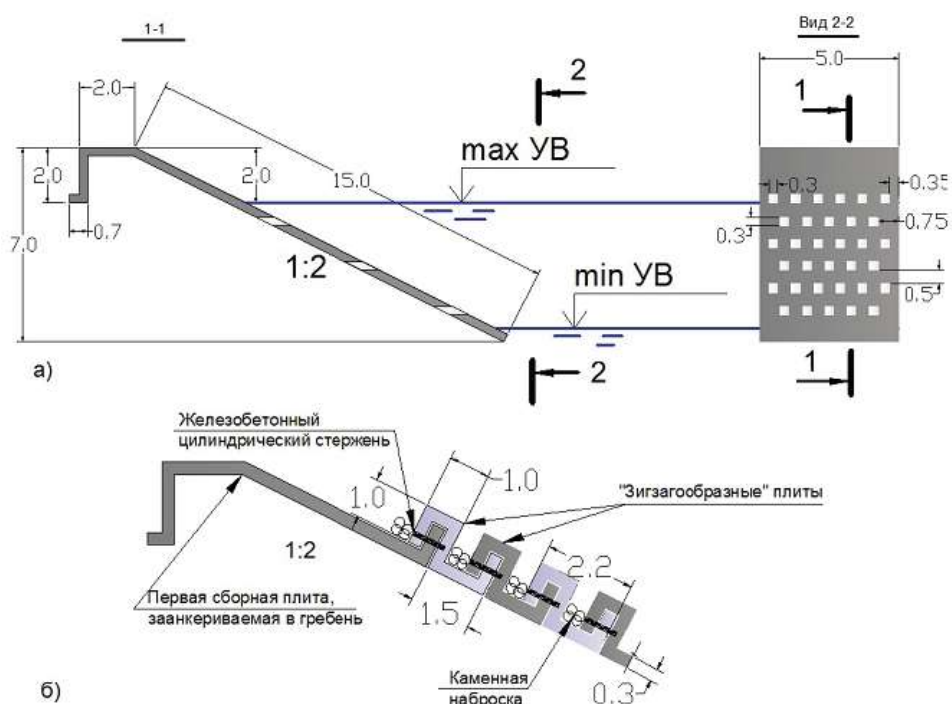


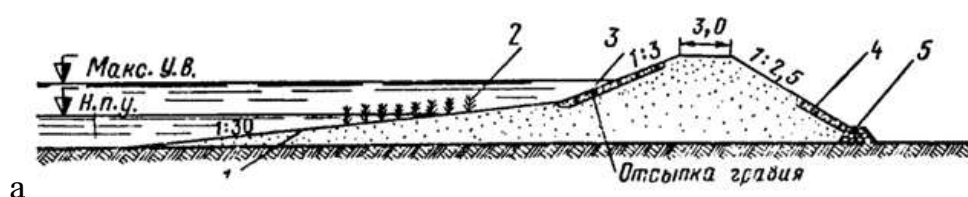
Рис. 4.28. Возможные варианты защиты верхового откоса грунтовых плотин и дамб сборными железобетонными плитами при значительных волновых и ледовых воздействиях (размеры в м) [46]: а – для относительно невысокого откоса; б – для высокого откоса

Для плотин Волжского каскада были предложены размеры плит примерно 15x5 м с прорезями 0,3x0,3 м, расположенными в шахматном порядке. Наличие «Г-образной» части сборной плиты, по мнению разработчиков, за счёт заанкеривания в гребень грунтовой плотины позволит повысить устойчивость реанимированного крепления, в том числе и на ледовые воздействия, а в дальнейшем скоррелировать его размеры. Для более пологих и высоких откосов

предлагается на защищаемый откос укладывать зигзагообразные плиты из железобетона (рис. 4.28б). Для большей надёжности замкового соединения в конструкциях предусмотрены три отверстия диаметром 10 см, в которые вставляются железобетонные стержни. Процесс укладки плит при реконструкции и ремонте ГТС требует водолазных работ.

В качестве дополнительной защиты пологих (1:40...1:100) и пляжных верховых откосов грунтовых плотин (рис. 4.29а) помимо типизированных схем крепления откосов, приведённых в учебных пособиях [31, 32], можно предложить возведение каменно-набросных конструкций (бун, волноломов, банкетов, искусственных рифов Риф Бол, струенаправляющих шпор и пр.) [10, 15, 27, 30, 37], возведённых из щебня, и других неоднородных материалов, уложенных на фильтровые подготовки, либо биологические и инженерно-биологические способы защиты.

Полосы биологической защиты откосов ГТС (рис. 4.29б,в) и отмелей берегов являются не только способом гашения энергии волн, но и создают условия для проживания плавающей птицы, биоочистки воды, озеленения и украшения местных ландшафтов. Биологическая защита устраивается двухъярусной камышево-тростниковой на глубинах 1...2 м при НПУ и ивово-кустарниковой на глубинах 0,2 м и выше НПУ по откосу. При интенсивном волнении с высотой волны в пределах 0,8...1,5 м биозащиту плотин, дамб и абардируемых берегов дополняют, начиная с глубин 0,6...0,7 м при НПУ защитными стенками, заборчиками или плетнями из живых кольев или прутьев ив, а также плетнями-траверсами и бунами. Каменно-вербовые и щебнево-вербовые бунны и рефлекторы рекомендуется применять при защите участков откосов при воздействии волн высотой 1,2...1,5 м.



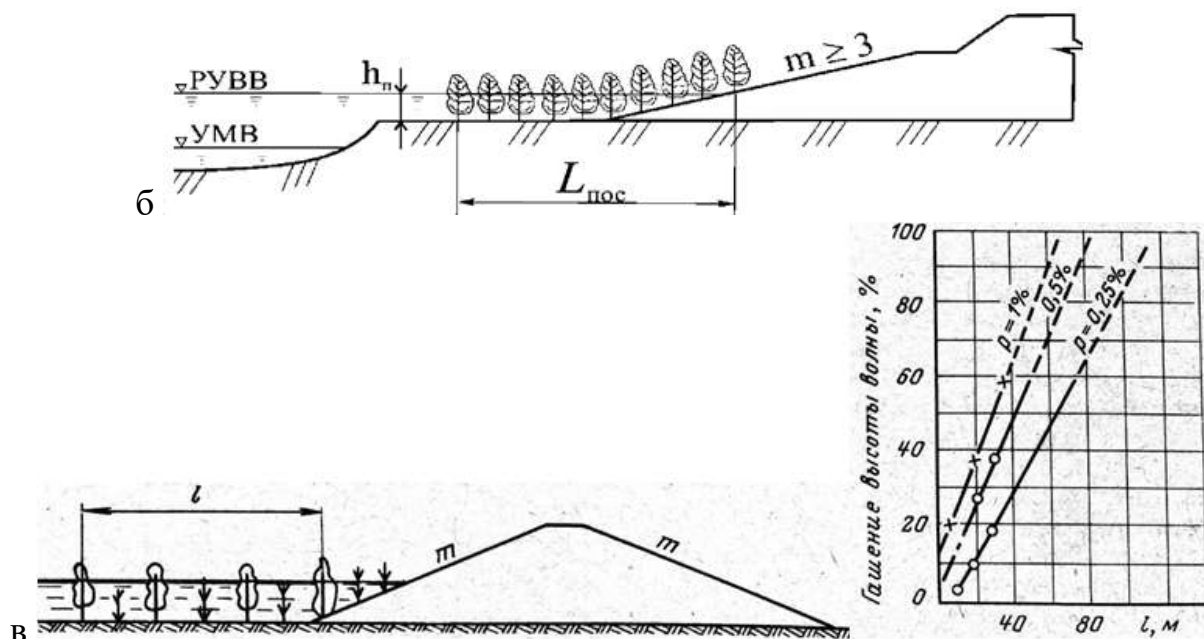


Рис. 4.29. Схема крепления мокрого откоса плотины полосой кустарников с волногасящим эффектом: а, б; 1 – «пляжный» откос; 2 – посадка кустарника; 3 – крепление гравием; 4 – наклонный дренаж; 5 – дренажная призма; в - схема и графики для определения оптимальных параметров ширины полосы и густоты посадок

Эти конструкции располагаются нормально к береговой линии, голова располагается на глубине 0,8...1,0 м при НПУ, а начало выводится на 0,5...0,8 м выше НПУ. Концы кольев выводятся на 0,4...0,5 м выше НПУ. Расстояние между бунами принимается от 1,3...1,7 их длины. Рефракторы с размерами в поперечнике 1,5...2 м размещаются вдоль берега в шахматном порядке. Пространство между бунами засаживается ивовыми и тростниковыми культурами. Наиболее рациональные схемы планировки гребня плотины, когда ливневый сток отводится по ливнесточным отверстиям в стенке ограничителя наката волн на верховой откос, закреплённый железобетонными плитами или на пляжный откос приведено на рисунке 4.30. При этом рекомендуется уклон гребня плотины и проезжей части выполнять в сторону верхового откоса.

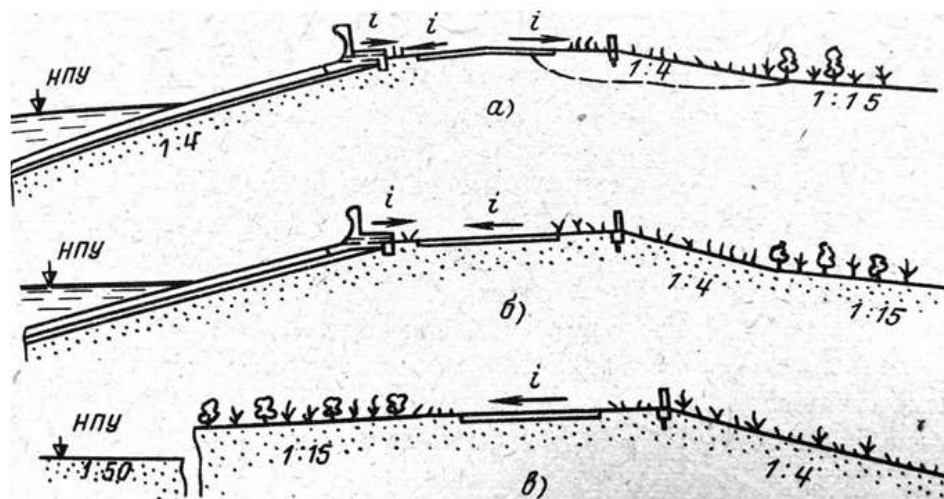


Рис. 4.30. Схемы планировки проезжей части автодороги и ливнеотводной сети на гребне плотины: а – не рекомендуемая; б, в – рекомендуемые схемы

Если при сравнении фактического положения кривой депрессии с проектным оказывается, что живое сечение фильтрационного потока попадает в зону промерзания со стороны нижнего бьефа, т.е. безопасность грунтовой плотины/дамбы по этому показателю не обеспечена, то при сильных морозах, особенно в малоснежные годы, может произойти стеснение живого сечения (рис. 4.31) в области низового откоса подпорного грунтового ГТС. Это приводит к повышению кривой депрессии и увеличению напора фильтрационных вод.

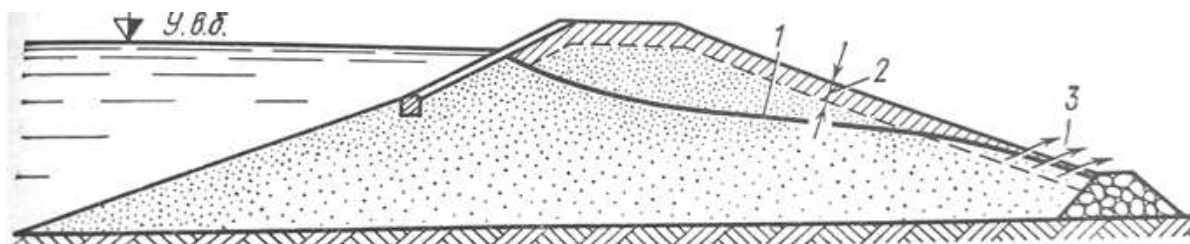


Рис. 4.31. Случай выклинивания кривой депрессии в зоне промерзания низового откоса плотины/дамбы: 1 – кривая депрессии; 2 – глубина промерзания; место возможного прорыва фильтрационной воды

Иногда фильтрационная вода прорывается через слой мёрзлого грунта и начинает вытекать на откос, образуя на нём наледи (рис. 4.32). Нижняя часть откоса при этом увлажняется и становится неустойчивой, что может привести к разрушению откоса в виде сдвига и оползания целых участков. Если

фильтрующая вода не выходит на поверхность, то в качестве временных мероприятий в этом случае можно предложить утепление низового откоса подручными материалами: соломой, торфом, мхом, навозом, снегом и нетеплопроводным грунтом. При первой возможности необходим ремонт, когда путём подсыпки грунта придаётся необходимый профиль, обеспечивающий достаточное заглубление кривой депрессии.



Рис. 4.32. Образование области высачивания на низовом откосе плотины (качественный диагностический показатель)

Если же поверхность низового откоса увлажняется или есть опасения, что и в дальнейшем кривая депрессии будет проходить в подсыпке, то следует применить дренирующие грунты – крупный песок или песчано-гравийную смесь (рис. 4.33).

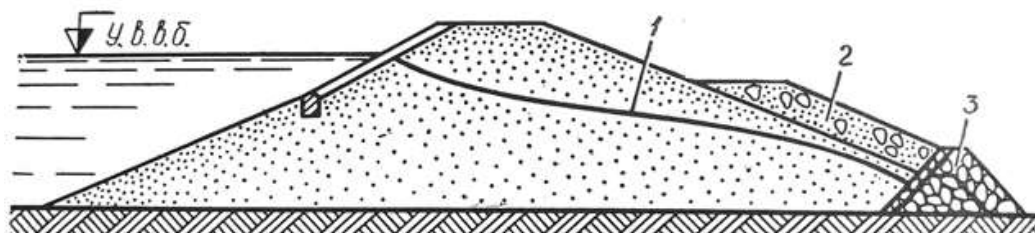


Рис. 4.33. Усиление профиля земляной плотины путём пригрузки низового откоса слоем песчано-гравийной смеси: 1 – кривая депрессии; 2 – пригрузка песчано-гравийной смесью; 3 – усиление дренажной призмы

Иногда к повышению кривой депрессии в грунтовых подпорных ГТС и выклиниванию её на низовой откос во время эксплуатации может привести нарушения технологии возведения плотин. Например, при некачественном намыве в насыпи могут появиться прослойки из материалов с малым коэффициентом фильтрации. При ремонте подпорного ГТС для устранения высачивания воды (рис. 4.34) на откосе плотины бурят скважины диаметром

250...400 мм на глубину заложения прослоек, которые заполняют гравелистым или гравелисто-песчаным материалом [23].

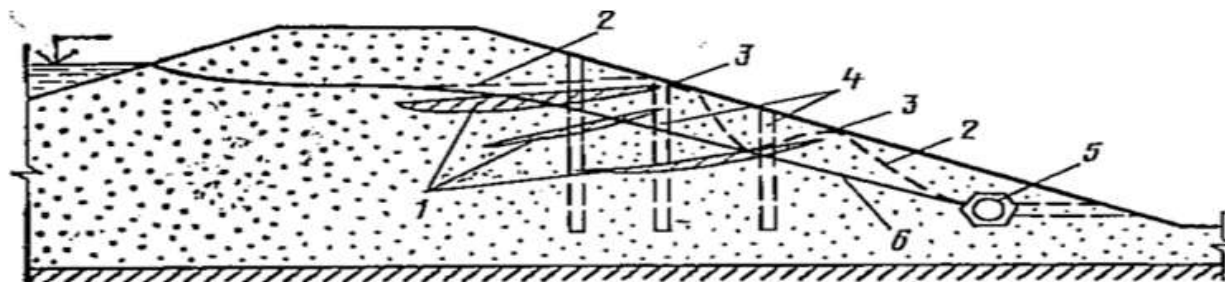


Рис. 4.34. Схема устранения высачивания воды на низовой откос: 1 – прослойка супеси и суглинка; 2 – положение кривой депрессии до ремонта; 3 – зоны высачивания воды на откос; 4 – водопоглощающие скважины; 5 – положение кривой депрессии после ремонта

Для устранения повышенной фильтрации через грунтовые плотины, основания и береговые примыкания следует рекомендовать ремонтные работы: устройство буронабивных свай; сплошной стены в грунте, шпунтов; выполнение инъекции грунта; укладка полимерной плёнки или геомембраны (PP - на основе полипропилена, HDPE - на основе полиэтилена высокой плотности, LDPE – на основе полиэтилена низкой плотности, битумные геомембраны, PVC – на основе поливинилхлорида) (рис. 4.35); делают шпонки в ПФУ; осуществляют замыв обнаруженных трещин; проводят ремонт путём вскрышных работ и пр. [23, 32]. Для устранения повышенной фильтрации через грунтовые плотины, основания и береговые примыкания и наличии негативного сейсмического воздействия при реконструкции однородных плотин иногда целесообразным бывает повысить надёжность её работы за счёт устройства ПФУ, например, из металлического шпунта.

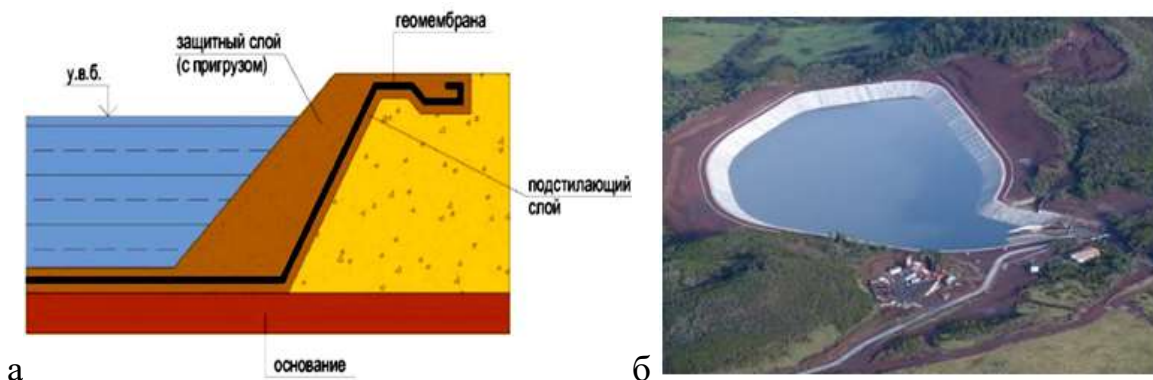


Рис. 4.35. Техническое решение с ПВХ-геомембраной: а – схема; б – на водном объекте по патенту компании Сагрі в Южной Африке

Так для однородной намывной плотины Кайракумской ГЭС (рис. 4.36), расположенной ниже по течению Токтогульской ГЭС в Киргизстане, регулирующей сток р. Нарын в Таджикистане. Земляная плотина, построенная в 1953-1957 гг., имела высоту 32 м, длину 1200 м и бетонную часть длиной 130 м.

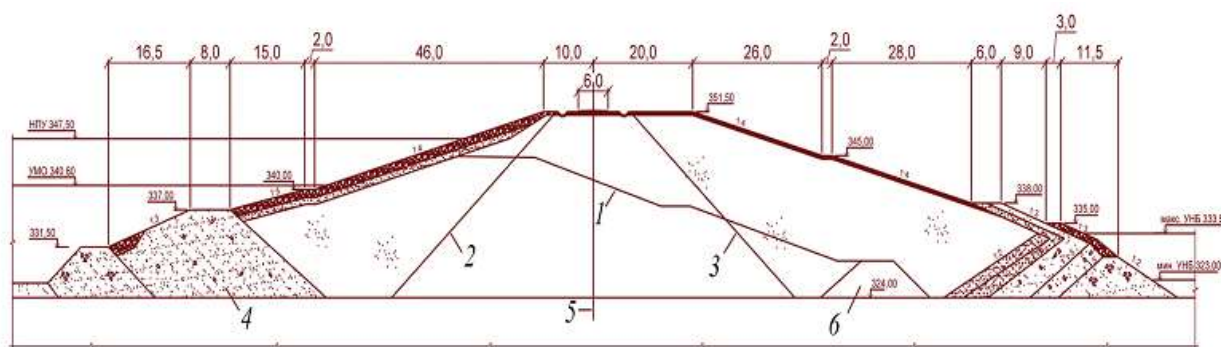


Рис. 4.36. Поперечный профиль Кайракумской насыпной плотины: 1 — граница намыва 1-й, 2-й очереди; 2, 3 — условная граница перехода от центральной части к боковой призме; 4 — верховая шагальная призма; 5 — ось плотины и автодороги; 6 — низовая ограждающая призма из шагала

В варианте № 1 для удлинения пути фильтрации через тело плотины и основание предлагалось устроить часто используемый метод, не требующий специального оборудования — стальное шпунтовое покрытие/ограждение по верховому откосу плотины (рис. 4.37). В варианте № 2 — «стена в грунте» со стороны ВБ плотины. Однако на время проведения работ необходимо будет частично сработать водохранилище. Кроме того, работы должны быть проведены в течение межлетнего периода, при этом пропускная способность водосбросов

должна минимизировать риск поднятия уровня воды выше отметки, на которой выполняются монтажные работы.

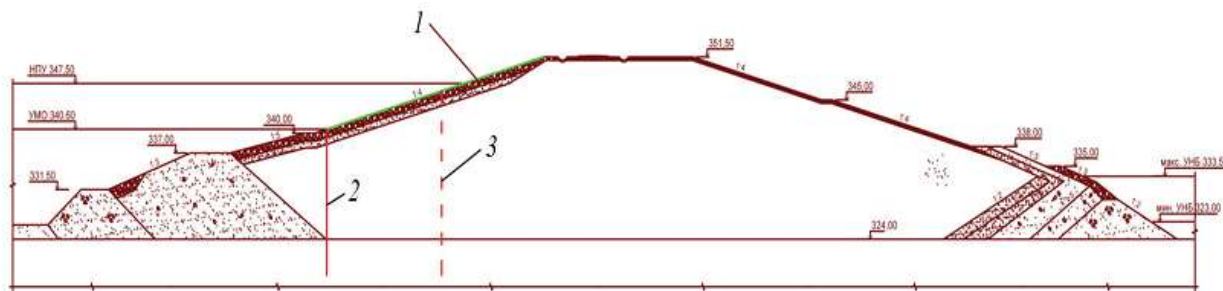
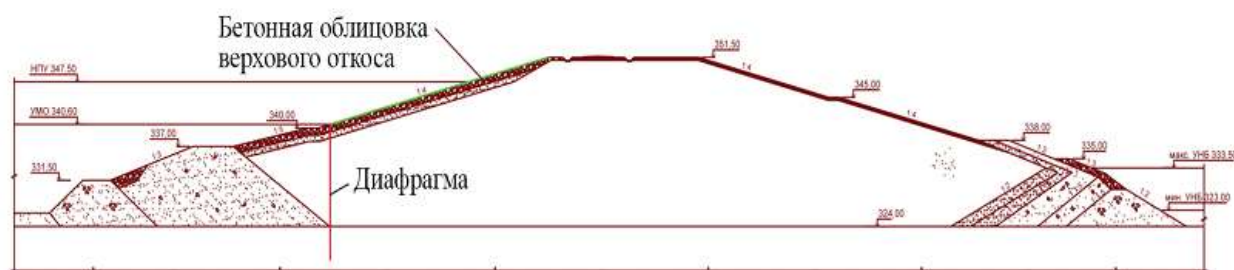


Рис. 4.37. Варианты 1 и 2 для уменьшения фильтрации в теле земляной плотины Караккумской ГЭС: 1— стальное шпунтовое ограждение по верхнему откосу плотины (вариант № 1); 2, 3 — вариант № 2 («стена в грунте» со стороны ВВ плотины)

В варианте № 3 предусмотрена установка *центральной диафрагмы из буросекущих свай* (рис. 4.38).



а



б

Рис. 4.38. Варианты 3 (а) и 4(б) для уменьшения фильтрации в теле земляной плотины Караккумской ГЭС

Это позволяет не только защитить плотину от фильтрации в основании, уменьшить напорный градиент, но и полностью обеспечить непроницаемость сооружения и основания. При этом для монтажа нет необходимости сбрасывать водохранилище, а устройство диафрагмы технологичнее «стены в грунте». При

устройстве диафрагма со стороны ВБ вкупе с бетонной облицовкой откоса (вариант №4) во время проведения работ по реконструкции водохранилища уровень воды в нем должен быть низким, время строительства удлиняется и существует опасность затопления строительной площадки в период паводков. С учётом вышесказанного был рекомендован как наиболее подходящий с точки зрения технологичности выполняемых работ и обеспечения непрерывного функционирования ГЭС вариант № 3.

При проведении реконструкции указано на необходимость увеличения количества КИА для автоматизированной оценки технического состояния и безопасности плотины и прилегающих к ней конструкций: водосливов, здания ГЭС. Для контроля порового давления и фильтрационного расхода рекомендовано: установить КИА (датчики давления и расходомеры с автоматической записью параметров в теле Караккумской плотины), заменить систему мониторинга землетрясений и систему оповещения в зданиях, установить специальное мониторинговое оборудование, а также рассмотреть возможность *строительства дополнительного водосброса.*

Особое внимание при выполнении эксплуатационных и ремонтных работ должно быть уделено *сохранности КИА* ГЭС. Поскольку в процессе эксплуатации ***трубчатых пьезометров***, установленных в земляных сооружениях, они часто выходят из строя, то это может быть причиной некорректного получения значений фактического диагностического показателя. В процессе эксплуатации пьезометры выходят из строя иногда после 3...4 лет работы в зависимости от конструкции и материалов, применяемых в водоприемниках, свойств грунтов, воды и др. Причинами этого могут быть: механические, температурные повреждения элементов пьезометров; окисление сеток перфораций, кольматаж их; механическая или химическая суффозия и вынос грунта при неправильно выбранном фильтровом материале; замусоривание трубы пьезометра грязью, камешками, посторонними предметами и т.п., которые попадают сверху. **Стабильные уровни** в них свидетельствуют о неработоспособности пьезометров.

При этом **низкие** уровни могут быть, например, из-за кольматации, а **высокие** – из-за засорения. Засорение пьезометра устанавливают путем опускания в него груза на гибкой связи. Если расстояние от устья до дна значительно уменьшилось, примерно на 50% его рабочей части, значит, пьезометр засорился.

Очищают пьезометр от илистых и песчаных частиц путем их извлечения с помощью желонки или других буровых ловильных инструментов для твердых предметов. При заилении водоприёмника можно рекомендовать промывку пьезометра водой под давлением 2...4 кгс/см². Иногда хороший эффект даёт откачка пьезометров, так как при этом в начальный момент после откачки вода проникает в пьезометр под большим напором и вымывает из фильтра водоприёмника илистые частицы. Воду из него откачивают желонкой или стальным стаканом. Для очистки пьезометров от камней, металлических, деревянных предметов и простого мусора можно рекомендовать комплект бурового оборудования (рис.4.39).

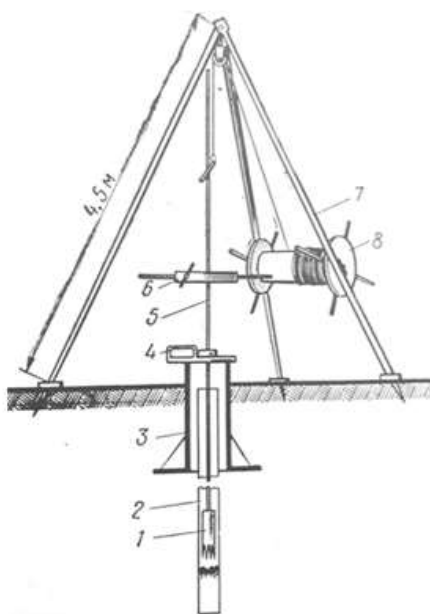


Рис. 4.39. Установка для очистки пьезометров: 1 – буровой снаряд; 2 – труба пьезометра; 3 – труба-люк; 4 – центровочная вилка; 5 – штанга; 6 – хомут-вороток; 7 – копер из труб; 8 - лебёдка

По окончании прочистки проверяют чувствительность пьезометра, которая оценивается временем, требующегося для установления в нём уровня воды. Пьезометры в среднем требуют замены примерно через 4 года.

5. МЕРОПРИЯТИЯ ПО РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНОГО ГИДРОУЗЛА

Пропуск максимальных расходов воды через гидроузлы является одним из основных факторов, определяющих безопасность и надежность водопропускных ГТС его напорного фронта (водосбросах, водосливах, каналах). В той или иной мере треть всех зарегистрированных аварийных ситуаций и инцидентов на гидроузлах комплексного назначения связана с различными нарушениями и отказами на водосбросных сооружениях [11, 12, 14, 16, 21, 25]. К факторам риска кроме стихийных можно отнести ещё и ряд антропогенных: ошибки проектирования; несоблюдение технических регламентов, СП и правил эксплуатации; непрофессионализм, некомпетентность и халатность обслуживающего персонала; отсутствие проектной документации и др. При аварийной ситуации, складывающейся в процессе эксплуатации, может возникнуть необходимость ремонта сооружений в верхнем бьефе, что может потребовать частичного или полного опорожнения водохранилища. В подобных случаях, а также для организованного и безопасного для основных ГТС гидроузла пропуска воды из бьефа в бьеф с эффективным гашением избыточной кинетической энергии потока предназначены такие водопропускные ГТС, как специальные отверстия, водосливы, лотки, трубы, туннели и пр.

При наличии благоприятных топографических и геологических условий целесообразно устройство на плотинном гидроузле нескольких водосливов для гашения энергии с разной обеспеченностью. В ряде случаев проработка предложений устройства трёх или хотя бы двух водосливов вполне возможна [11, 14, 25, 28, 29, 30, 38]. При этом первый основной водосброс, рассчитанный на паводок повторяемостью, например, раз в 100 или даже 50 лет, будет обеспечен в полной мере водобойным колодцем и другими устройствами для гашения энергии на водопропускном тракте. Другие же водосбросы/водосливы,

которые будут работать весьма редко или вообще не будут работать в период эксплуатации сооружения, будут обеспечены устройствами для гашения энергии, а также креплением в нижнем бьефе в минимальном объёме. Возможность применения такого решения должна в каждом конкретном случае определяться в результате проектных проработок.

5.1. Классификация резервных водосбросов гидроузлов с грунтовой плотиной

Недостаточная пропускная способность водосброса может быть причиной перелива воды через гребень глухой плотины и последующего её разрушения. Для исключения возникновения возможных аварийных ситуаций, например, подобных произошедшей в 2009 г. на Саяно-Шушенском гидроузле при выводе из работы ГЭС как водопропускного сооружения, в 2011 г. на этом самом высоконапорном гидроузле РФ (высота бетонной арочно-гравитационной плотины $H_{пл.} = 242$ м) был введён в эксплуатацию новый **резервный** береговой открытый многоступенчатый водосброс, рассчитанный на пропуск паводков редкой повторяемости (рис. 5.1).

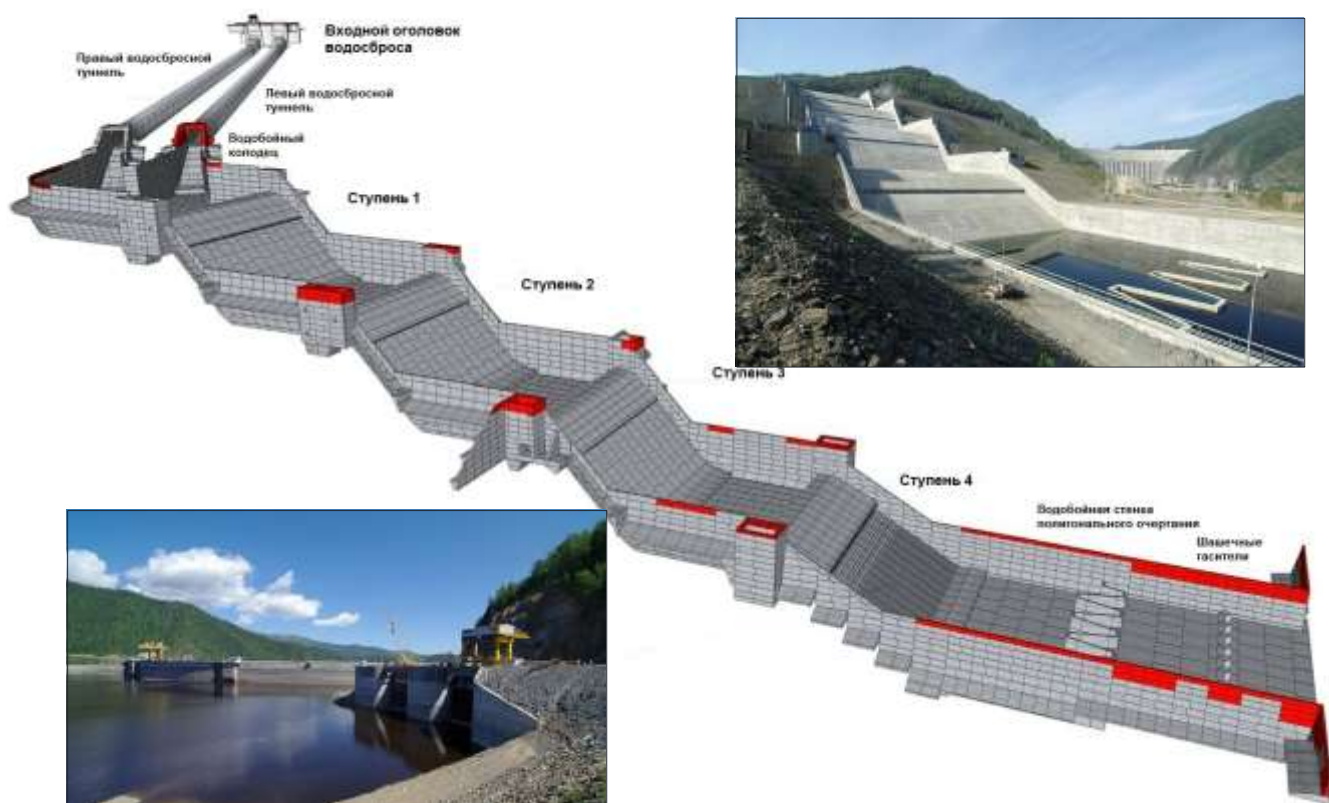


Рис. 5.1. Многоступенчатый береговой водосброс Саяно-Шушенской

ГЭС: а – входной оголовок водосброса; б – вид водобойного колодца и ступеней водосброса с нижнего бьефа; в – общая схема-макет водосброса

Классификация вспомогательных водосбросных сооружений на низконапорных гидроузлах, заимствованная в [29], приведена на рисунке 5.2.

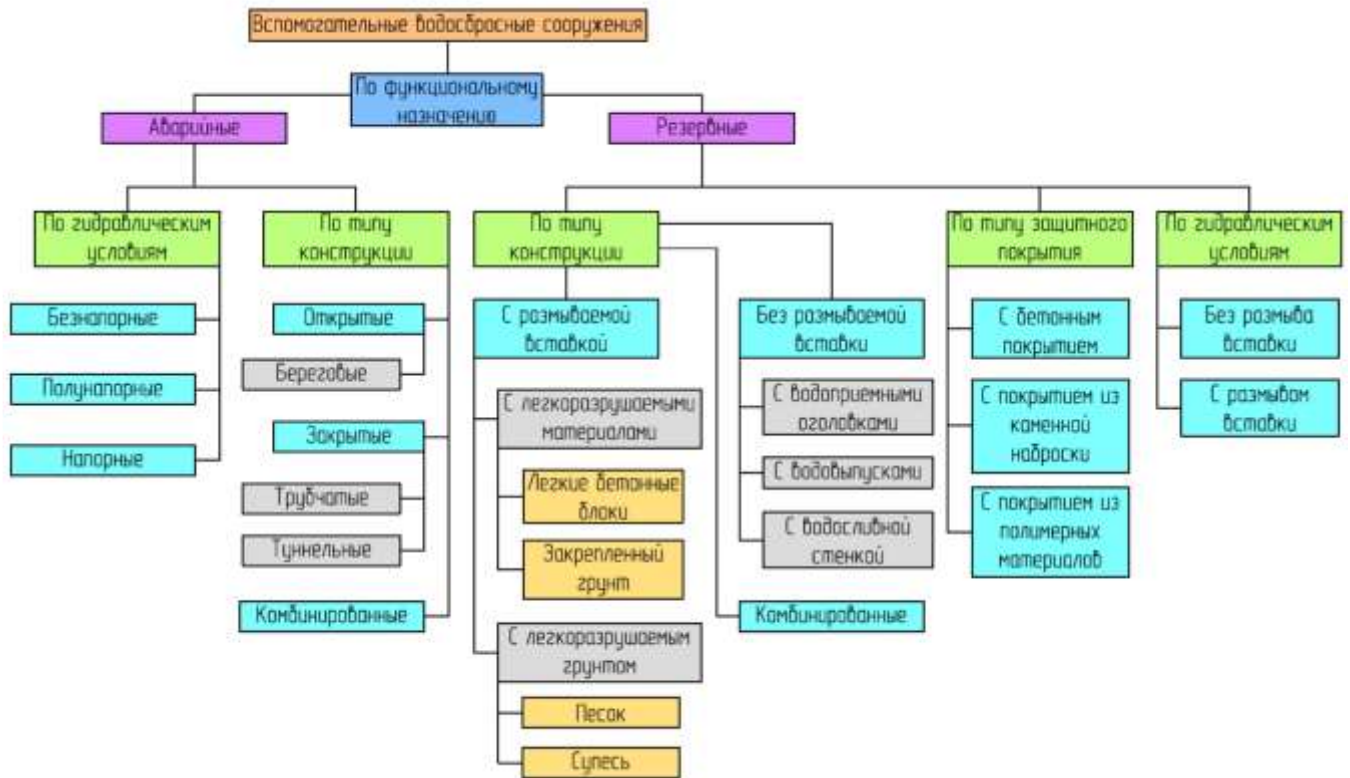


Рис. 5.2 – Классификация вспомогательных водосбросных сооружений на низконапорных гидроузлах [29]

Поскольку резервные водосбросы являются вспомогательными, то по сравнению с основным водосбросом, выполняемым обычно капитальным (чаще всего из железобетона), их делают по возможности дешёвыми и простыми по конструкции (с размываемыми грунтовыми вставками или перемычками, береговые каналы, используют понижения рельефа и т.п.). При благоприятных топографических и геологических условиях местности, простым и дешёвым является сброс излишков воды по обустроенному *естественному* водосбросу (траншея, ложбина, тальвег, береговой склон, седловина) в расположенную рядом с плотиной балкой (рис. 5.3а–в). Частично пропуск паводка редкой обеспеченности можно производить на низконапорных гидроузлах в обход плотины по пойменному участку реки (рис. 5.4 и 5.5). Путь движения воды в

этом случае следует укреплять, например, камнем, плетневыми заборами из свежего прорастающего хвороста, посадкой черенков, тальника, различными биоинженерными конструкциями или искусственными материалами [31, 32]. В ряде случаев в качестве фиксированного порога резервного водосброса используются соответствующим образом укрепленные автомобильные дороги с отметкой дорожного полотна ниже гребня плотины, но выше НПУ.

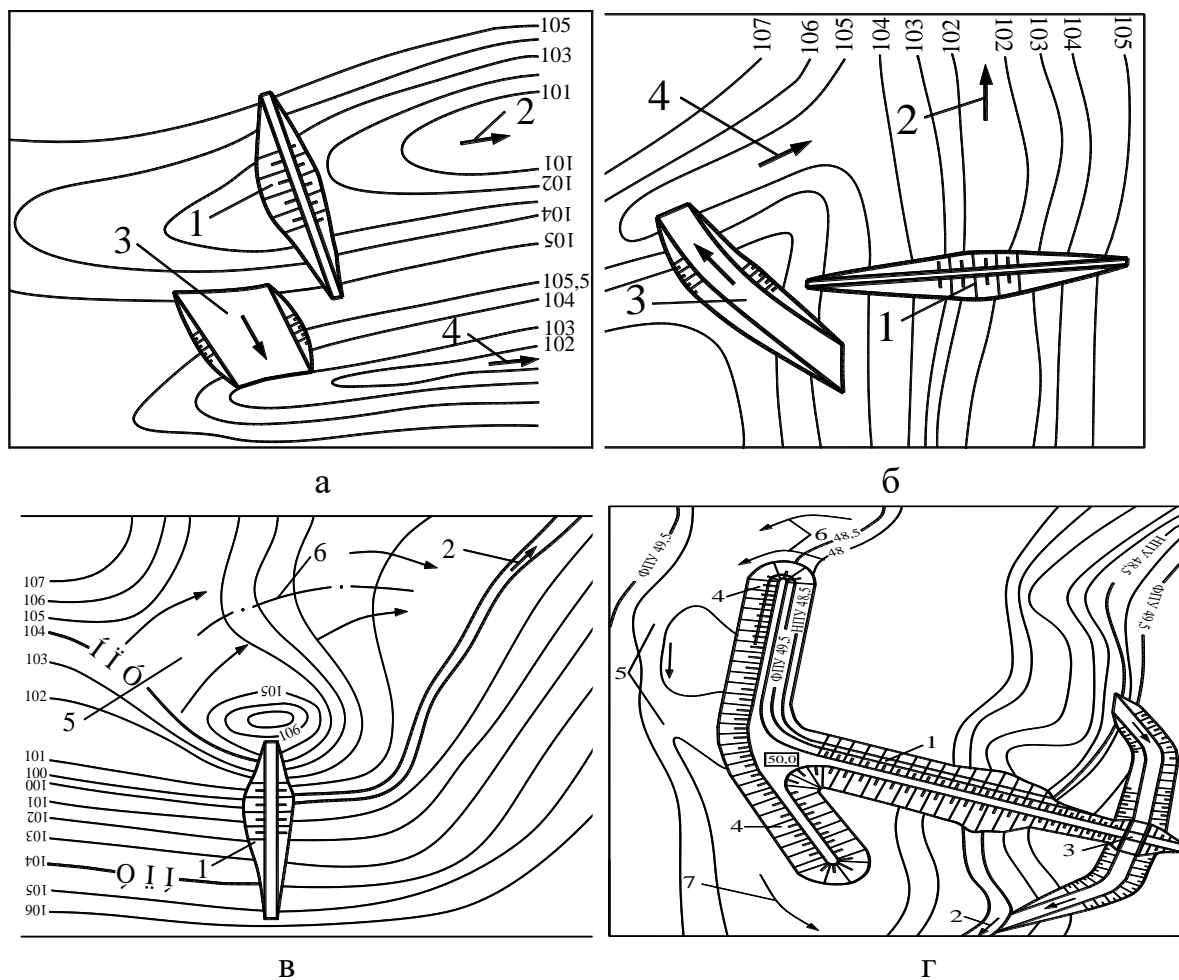


Рис. 5.3. Гидроузлы с естественными береговыми водосбросами со сбросом потока [28]: а, б – через траншею 3 в соседний водоток или приток основного водотока; в – через седловину по естественной ложбине или береговому склону основного водотока; 1 – грунтовая плотина; 2 – основной водоток; 3 – поверхностный открытый береговой водосброс; 4 – соседний водоток или приток основного водотока; 5 – седловина местности с наименьшей отметкой не ниже НПУ; 6 – ось естественной ложбины; г - с пропуском части расхода через пойму; 1 – грунтовая плотина; 2 – русло водотока; 3 – поверхностный открытый береговой водосброс; 4 – струенаправляющая дамба; 5 – пойма, по

которой пропускается часть паводков; 6 – выход потока на пойму при отметках верхнего бьефа выше НПУ; 7 – выход потока с поймы в основное русло

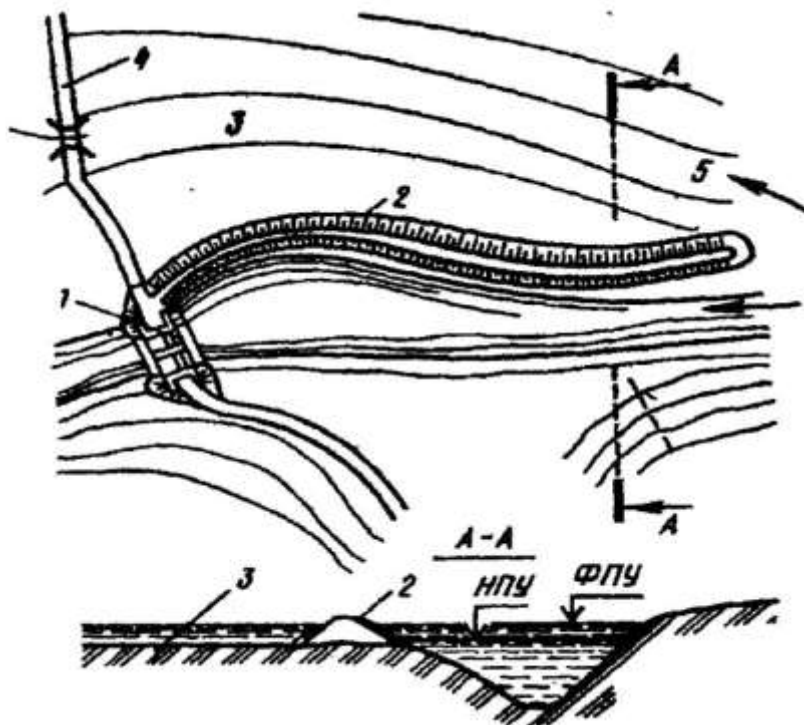


Рис.5.4. Гидроузел с пропуском части расхода в паводок через пойму: 1 – водосброс с низким порогом; 2 – сопрягающая дамба; 3 – пойма; 4 – дорога на пойме, затопляемая в паводок; 5 – направление течения воды на пойме в паводок

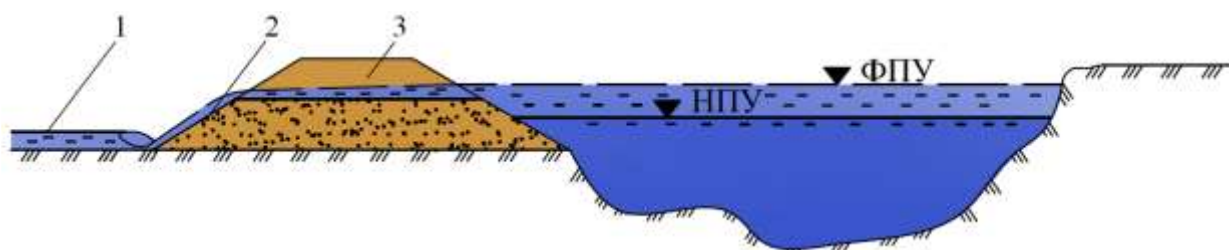


Рис. 5.5. Гидроузел с пропуском части расхода в паводок через пойму

[25]: 1 – пойма; 2 – водосброс с низким порогом; 3 – сопрягающая дамба

Для сброса паводка редкой повторяемости используют на одном гидроузле несколько водосбросов разной конструкции либо резервный водосброс, включающийся в работу только в чрезвычайных ситуациях (рис. 5.6): дополнительный открытый береговой водосброс, водосброс типа размываемая «плавкая» вставка (рис. 5.7) [28, 29].

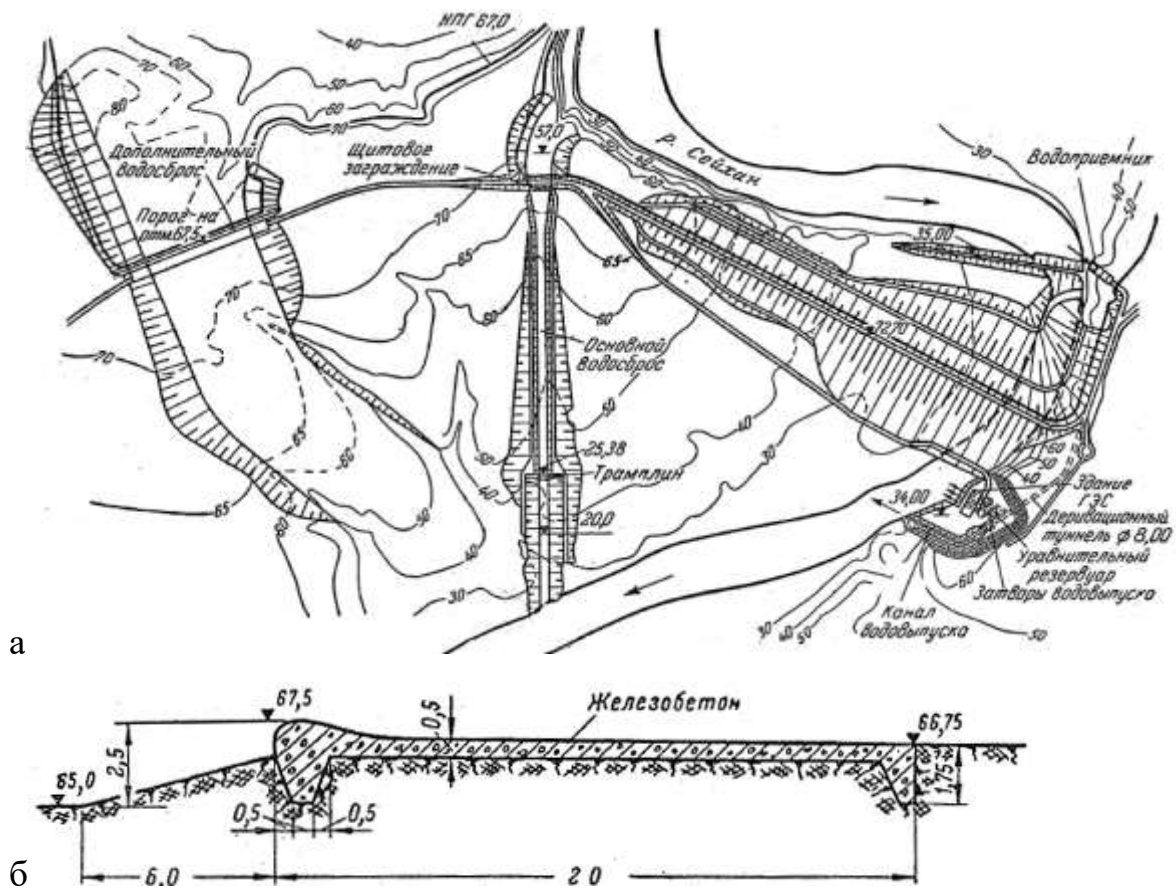


Рис. 5.6. Гидроузел Адана на р. Сейхан, Турция, $H_{пл} = 52,7$ м с двумя водосбросами: а – план; б – поперечный разрез водосливного порога резервного водосброса

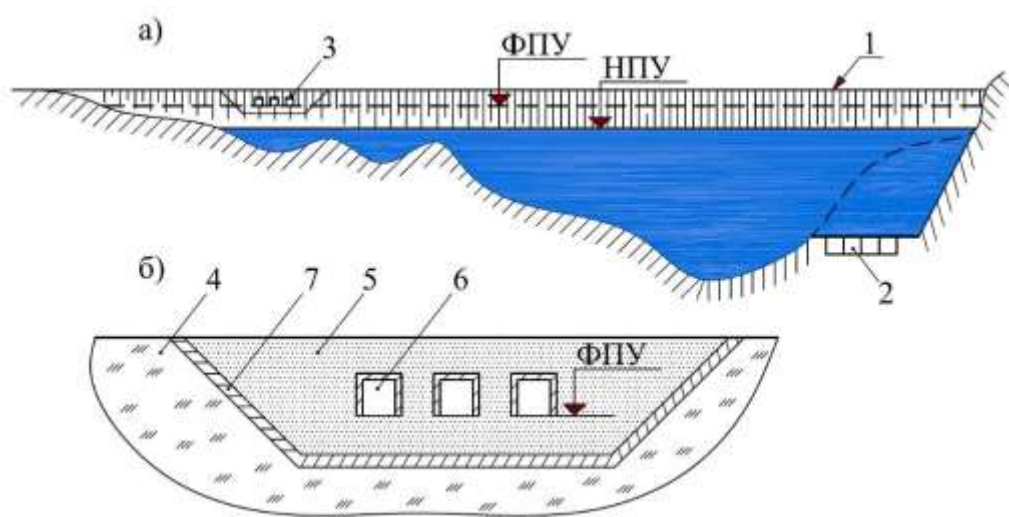


Рис. 5.7. Резервный водосброс из «песчаной вставки» [25]: а – фасад, общий вид; б – сечение по оси грунтовой плотины 1 – гребень плотины; 2 – донный водосброс; 3 – резервный водосброс; 4 – грунт плотины; 5 – песок; размываемый при превышении расчетного уровня воды; 6 – полости для свободного пропуски воды; 7 – поверхность, фиксирующая размыв (асфальт, бетон)

Резервные водосбросные сооружения могут быть как с **размываемой вставкой, так и без неё**. Для экономии и облегчения эксплуатации водосбросов их целесообразно совмещать с другими сооружениями гидроузла, например, водовыпусками (шахтный водосброс, трубчатый водосброс с башенным оголовком, донный водоспуск и др.) (рис. 5.7 - 5.9).

Резервный водосброс может располагаться, как в составе напорного фронта гидроузла, так и не входить в него. При реконструкции мелиоративных низконапорных гидроузлов или прудов рыбоводных хозяйств при расходах форсировки не более $10 \text{ м}^3/\text{с}$ можно использовать открытые водосбросы автоматического действия в виде водосливных (обводных) каналов без сопрягающих бетонных сооружений (рис. 5.10).

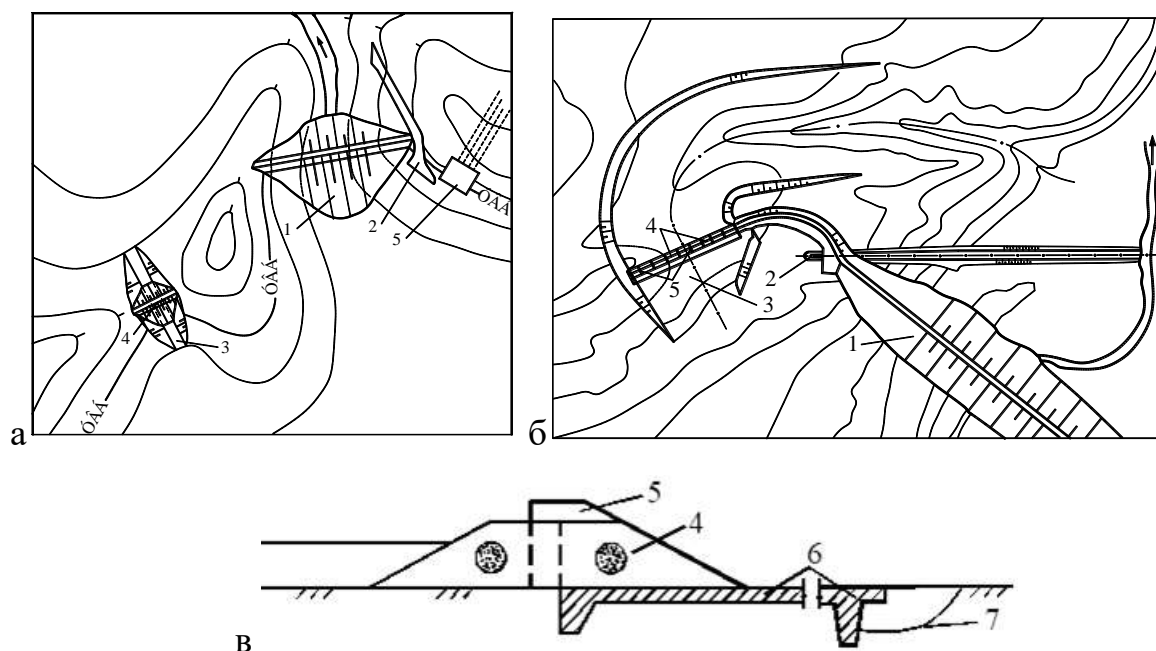


Рис. 5.8. Схемы гидроузлов с резервными водосбросами типа размываемая («плавкая») вставка [28]: а – с вставкой, удалённой от основного створа; 1 – русловая плотина; 2 – основной водосброс; 3 – траншея (канал), пройденная в седловине местности; 4 – размываемая вставка; 5 – водоприемник ГЭС; б – с вставкой в резервном береговом водосбросе (гидроузел Бокс-Бьют с основным ковшовым бетонным водосбросом, США); в – продольный разрез по размываемой вставке гидроузла Бокс-Бьют; 1 – грунтовая русловая плотина; 2 – основной водосброс; 3 – канал; 4 – размываемые вставки; 5 – раздельные быки; 6 – бетонный флютбет (ограничитель размыва) под размываемой вставкой; 7 – граница размыва

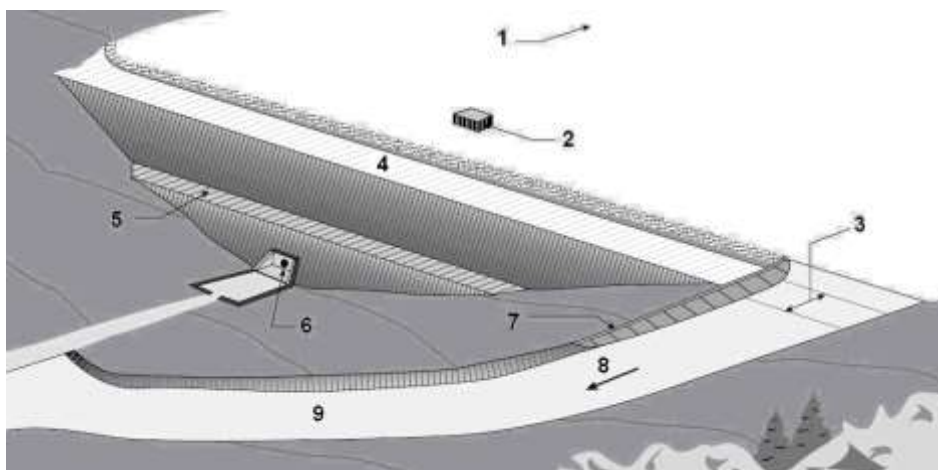


Рис. 5.9. Схематичный вид со стороны нижнего бьефа низконапорного гидроузла с грунтовой плотиной, открытым береговым водосбросом и водоспуском: 1 – водохранилище; 2 – входной оголовок закрытого водоспуска/водосброса с сороудерживающей решеткой; 3 – нерегулируемый водосливной порог берегового водосброса; 4 – гребень грунтовой плотины; 5 – берма дренажного банкета; 6 – выходной оголовок донного водоспуска; 7 – берма направляющей дамбы; 8 – направление течения; 9 – отводящий канал

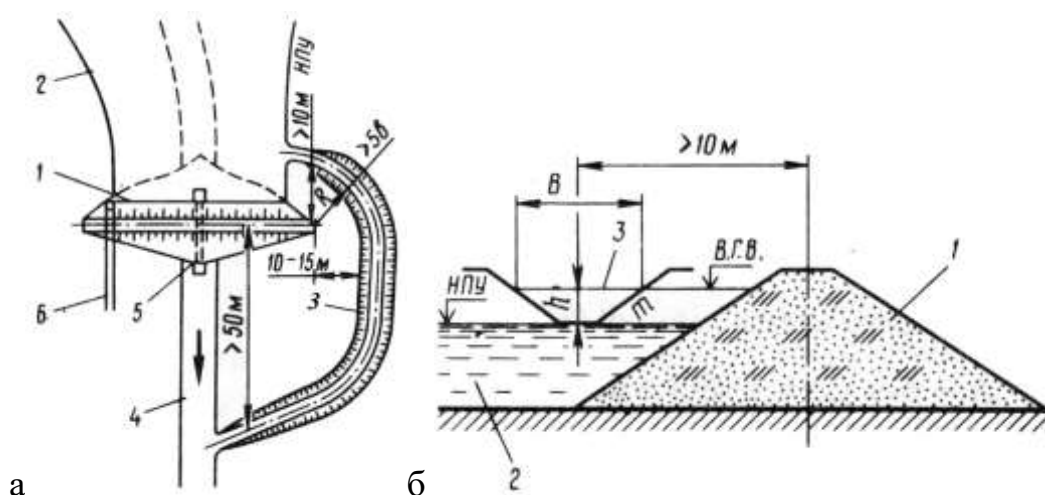


Рис. 5.10. Схема размещения автоматического водосброса в виде обводного канала на водоёме рыбноводного хозяйства: а – компоновочная схема ГТС гидроузла; б – разрез по оси водотока; 1 – грунтовая плотина; 2 – водохранилище; 3 – водосливной (обводной) канал; 4 – река; 5 – донный водоспуск; 6 – водоподающий канал

Водосливной канал располагают не в плотине, а в коренных грунтах поймы реки в выемке. Обычно канал с отметкой порога на отметке НПУ имеет трапециевидальное незакреплённое поперечное сечение, незначительную глубину (глубина воды в канале не более 0,6 м, сухой запас над уровнем воды до бровки – 0,5 м). Уклоны дна водосливного земляного неукреплённого канала

составляют порядка 0,0005...0,005, но при выполнении разного типа крепления можно допустить значительное увеличение уклона. Входную часть земляного водосливного канала во избежание разрушения располагают на расстоянии 10...15 м от низконапорной грунтовой плотины, а выходную часть – не ближе 50 м от плотины. Радиус закругления канала делают не менее 5-ти кратной его ширины. Наиболее ответственное место сопряжения выходной части канала с водоприёмником (оврагом, руслом реки), где развиваются наибольшие скорости, укрепляют мощением, например, с устройством плетневой стенки, обложенной камнем и т.п.

В гидроузлах с глухой грунтовой плотиной резервный водосброс может выполнять роль основного, аварийного или временного мобильного быстровозводимого водопропускного сооружения, например, из композитного материала. **Плотины-оболочки** возводят из прочных водонепроницаемых синтетических материалов (рис. 5.11 и 5.12, ПЗ.11 и ПЗ.12). Они бывают: водонаполняемыми, воздушнонаполняемыми, водо-воздушнонаполняемыми и парусными. Их основными элементами являются: оболочка, наполненная водой или воздухом; анкерные устройства, для прикрепления к бетонному флютбету (конструкция в основании русла водотока); система трубопроводов; насосное и вентиляционное оборудование.

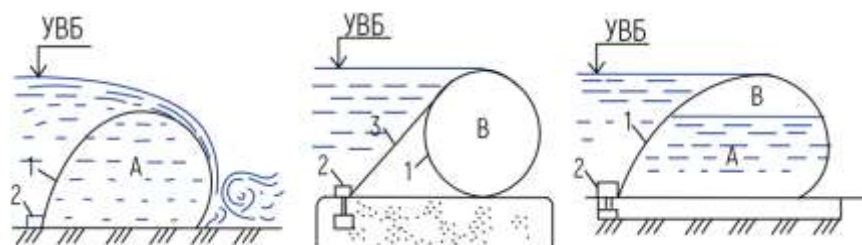
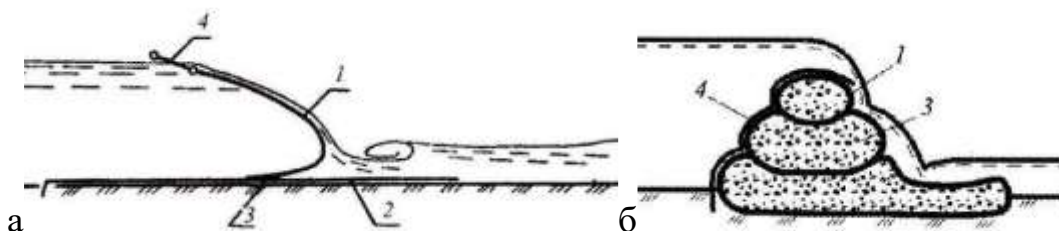


Рис. 5.11. Тканевые замкнутые плотины-оболочки с анкерным зажимом: а – водонаполняемые; б – воздушнонаполняемые; в – воздушноводонаполняемые; А – вода; В – воздух; 1 – оболочка; 2 – анкерный зажим; 3 – удерживающее полотнище



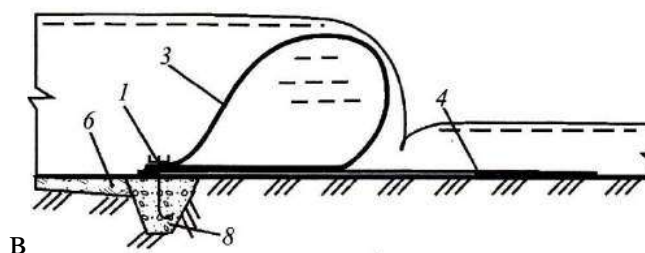


Рис. 5.12. Примеры типизированных конструкций мягких ГТС из защитных оболочек: а - мембрано-вантовая конструкция; 1 – мембрана; 2 – гибкий флютбет; 3 – узел крепления мембраны; 4 – вантовая ферма; б - грунтонаполняемая конструкция; 1 – грунтонаполняемые оболочки; 3 – наполнитель; 4 – гибкий противофильтрационный экран; в - водонаполняемая конструкция; 1 – узел крепления; 3 – оболочка; 4 – гибкая рисберма; 6 – понур из уплотненного грунта; 8 – бетонный зуб

Они имеют пока ограниченное использование, но обладают рядом достоинств: локальное применение с наименьшим вмешательством в природный ландшафт; экологически более чистые; легко убираются (возможно временное использование), что делает их перспективными для предупреждения и ликвидации последствий ЧС на водном объекте.

Массовое строительство низконапорных водохранилищных узлов на малых реках и балках (перепад уровней до 15 м, сбросной расход до 150 м³/с) позволило их типизировать (рис. 5.13). При курсовом и дипломном проектировании рекомендуется использовать типовые проектные решения, ранее разработанные рядом проектных организаций, что позволит значительно сократить затраты труда и времени. В таком случае основная задача заключается в подборе типового проекта и привязке проекта-аналога к реальным условиям проектируемого или реанимируемого водного объекта. При этом следует учитывать, что наиболее перспективными являются проекты, использующие унифицированные и сборные конструкции, новые строительные материалы и технологии. Описание и схемы основных конструкций типизированных, регулируемых, автоматических водосбросов приведены в [28, 29].

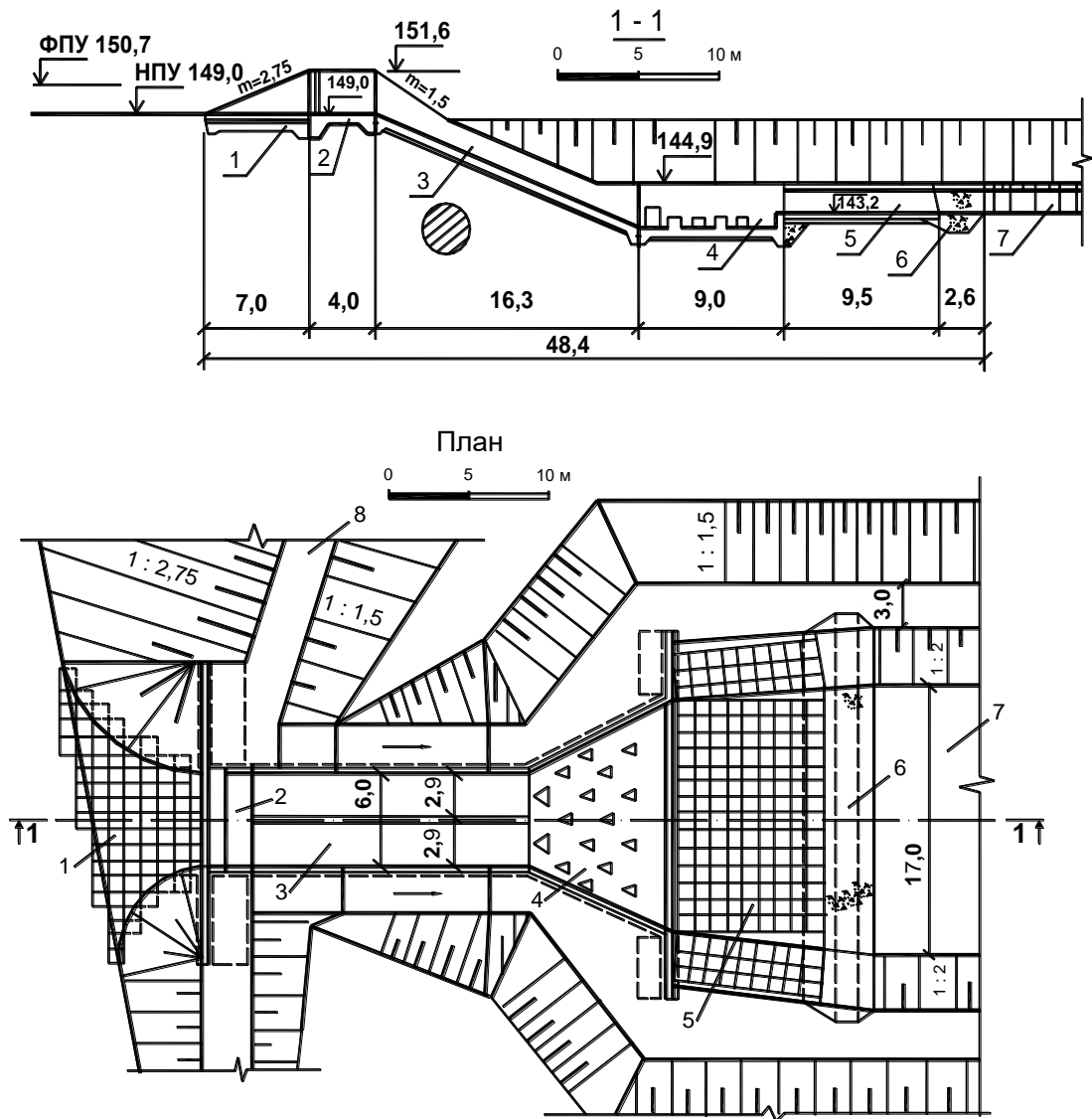


Рис. 5.13. Типовой открытый береговой нерегулируемый водосбор на расход $30 \text{ м}^3/\text{с}$: 1 – понур; 2 – входной оголовок (по типу нерегулируемого водослива с широким порогом); 3 – быстроток; 4 – водобойный колодец с гасителями; 5 – рисберма из сборных железобетонных плит $1 \times 1 \times 0,1 \text{ м}$ на гравийной подготовке; 6 – концевой зуб из камня; 7 – отводящий канал; 8 – земляная плотина. Размеры даны в метрах

Входные (головные) части резервных водосборов могут быть в виде фронтальных и боковых водосливных оголовков различного очертания, чаще всего без затворов на пороге водослива (рис. 5.14). Есть предложения устанавливать при строительстве или при реконструкции два водослива, один из которых предназначен для сброса паводков с небольшими расходами, а второй, снабжается преградами разной конфигурации и конструкции, например, типа

широко известного за рубежом затвора «гидро-плюс», который, правда, в РФ не нашёл пока применение.

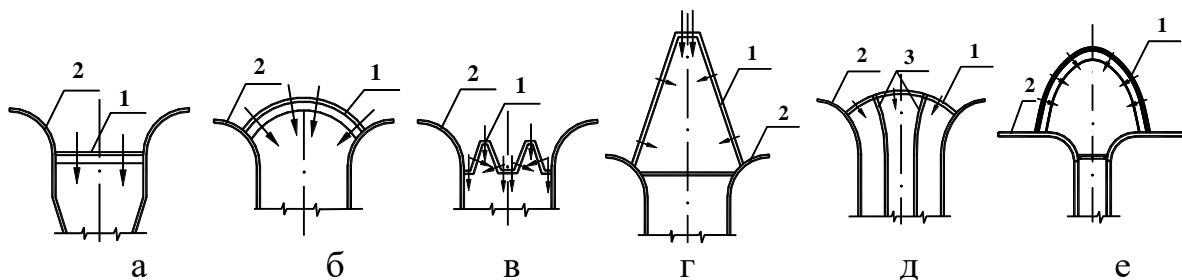


Рис. 5.14. Основные схемы водосливов входных оголовков нерегулируемых водосборов: а – прямолинейный фронтальный водосливной порог; б – криволинейный порог; в – полигональный порог; г – порог типа «утиный клюв»; д – криволинейный порог с продольными стенками; е – веерообразный порог; 1 – водосливная стенка; 2 – сопрягающие стенки; 3 – продольные стенки

Отечественные предложения представляют преграды, выполненными легкоразрушаемыми при опрокидывании для расчетного напора воды, соответствующего максимальному уровню при прохождении чрезвычайного паводка (рис. 5.15 и 5.16) [29]. Недостатком таких конструкций является возможность повреждений, деформаций элементов ГТС и размывов низового откоса плотины, влекущих к разрушениям её тела.

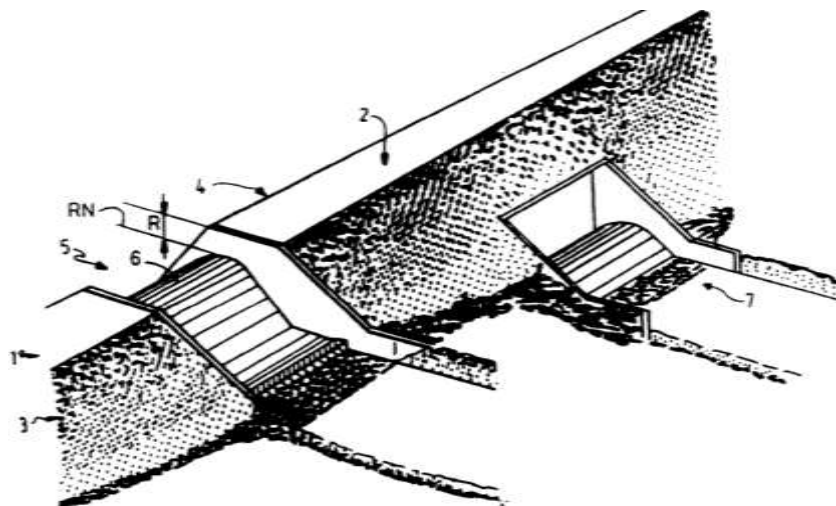


Рис. 5.15. Резервный водосбор с открытым поверхностным водосливом и глубинным водосливным затвором [29]: 1 – плотина; 2 – гребень плотины; 3 – низовой откос; 5 – водосливной пролёт для сброса чрезвычайного паводка; 6 – водослив; 7 – устройства для сброса глубинных вод

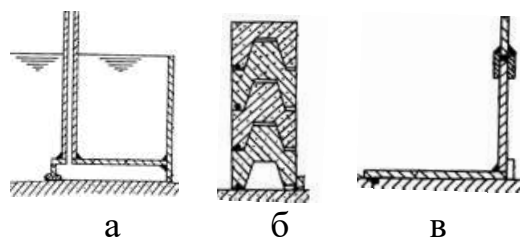


Рис. 5.16. Некоторые варианты перегораживающего элемента из плоских плит (а, в) и блоков (б)

В качестве быстровозводимого резервного водосброса, устраиваемого в гребневой части тела грунтовой плотины, может быть использован искусственный проран трапецеидального поперечного сечения (рис. 5.17). Транзитная часть водопропускного сооружения (дно приёмной части и лотка, идущего по низовому откосу плотины и заканчивающегося водобоем и рисбермой) покрыты двойным слоем геомембраны с несовпадающими отверстиями для отвода фильтрационного потока (рис. 5.18). Дно лотка располагается на отметке расчётного уровня перелива воды (УПВ). Стенки лотковой части, водобоя и гасители энергии формируются из гибких оболочек, заполненных песком.

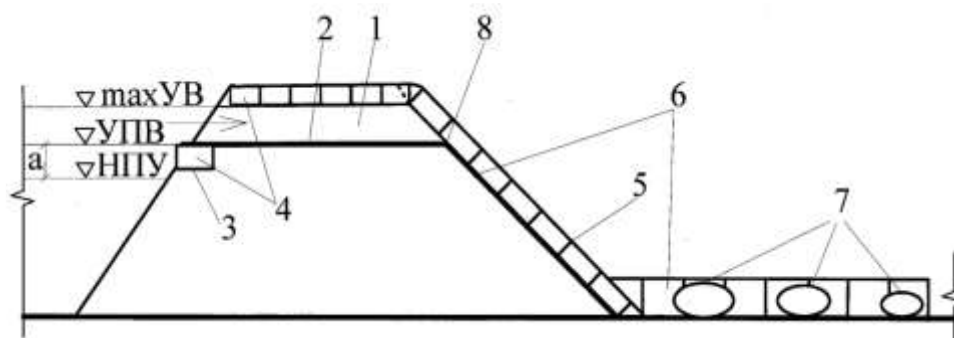


Рис. 5.17. Схема резервного водосброса грунтовой плотины: 1 – искусственный проран; 2 – защитное покрытие из геомембраны; 3 – приямок со стороны верхнего бьефа; 4 – пригруз; 5 – двойное полотнище геомембраны; 6 – гибкая оболочка из геомембраны с песком; 7 – гасители энергии водного потока; 8 – сварной шов



Рис. 5.18. Типы геомембран: а – гладкая; б – текстурированная; в – рельефная

Такой резервный водосброс обладает повышенной пропускной способностью из-за гладкой поверхности мембраны, быстровозводим (на малых водоёмах за 2...3 дня, а при наполнении оболочек водой или воздухом – за 3...5 часов) и относительно дешёв. Без размываемой вставки резервный водосброс целесообразно использовать для пропуска чрезвычайного паводка при земляных плотинах IV класса опасности при достижении максимальной отметки воды в водоёме до уровня (мах УВ) и сбросе части паводка при этом через основной водосброс.

Из современных предложений можно выделить целый ряд конструкций резервных водосбросов с *размываемой вставкой*, разработанных именно для низконапорных мелиоративных гидроузлов, защищённых патентами, некоторые из которых представлены в приложении ПЗ. Размываемые вставки в виде грунтовой насыпи, устраиваемой на бетонном флютбете, с отметкой гребня в районе ФПУ могут выполняться и в комбинации с бетонными прямолинейными и лабиринтными водосливными порогами [38]. После прохождения паводка грунтовую вставку восстанавливают. Однако надёжность таких конструкций резервных водосбросов невелика, так как фильтрационные потери и деформации в контактных сечениях бетонных и грунтовых элементов достаточно значительны и требуют высокого качества эксплуатационно-восстановительных и дорогостоящих шпунтовых или бетонных работ. Поэтому желательно при выборе резервных и особенно аварийных водосбросов обращать внимание на мобильность и быстроту возведения водосбросов из сборных готовых элементов, оптимизируя время восстановления гидроузла в целом, например, включать защитное крепление низовых откосов плотин плитами в виде клиньев разной конфигурации, предлагаемые ещё в 90-е годы П.И. Гордиенко и Ю.П. Правдивцем (рис. ПЗ.9, ПЗ.10), либо поярусно расположить надувные или наливные оболочки, разделённые на отсеки типа геотуб и т.п. (рис. ПЗ.7, ПЗ.8).

Из инновационных конструкций для малых гидроузлов можно выделить резервный водосброс с размываемой грунтовой вставкой (рис. 5.18 и ПЗ.1-ПЗ.4), обоснованный Ю.М. Косиченко, Е.Д. Михайловым, А.И. Тищенко для пропуска паводковых расходов редкой повторяемости при имеющихся в составе гидроузла основном водосбросе и водоспускном сооружении [25, 29, 38]. В состав резервного водосброса, рассчитанного на пропуск расхода 10...1000 м³/с, входит три основных части (рис. 5.19): подводящая, водосливная и отводящая, включающая сопрягающее сооружение (быстроток) и гасители избыточной энергии потока.

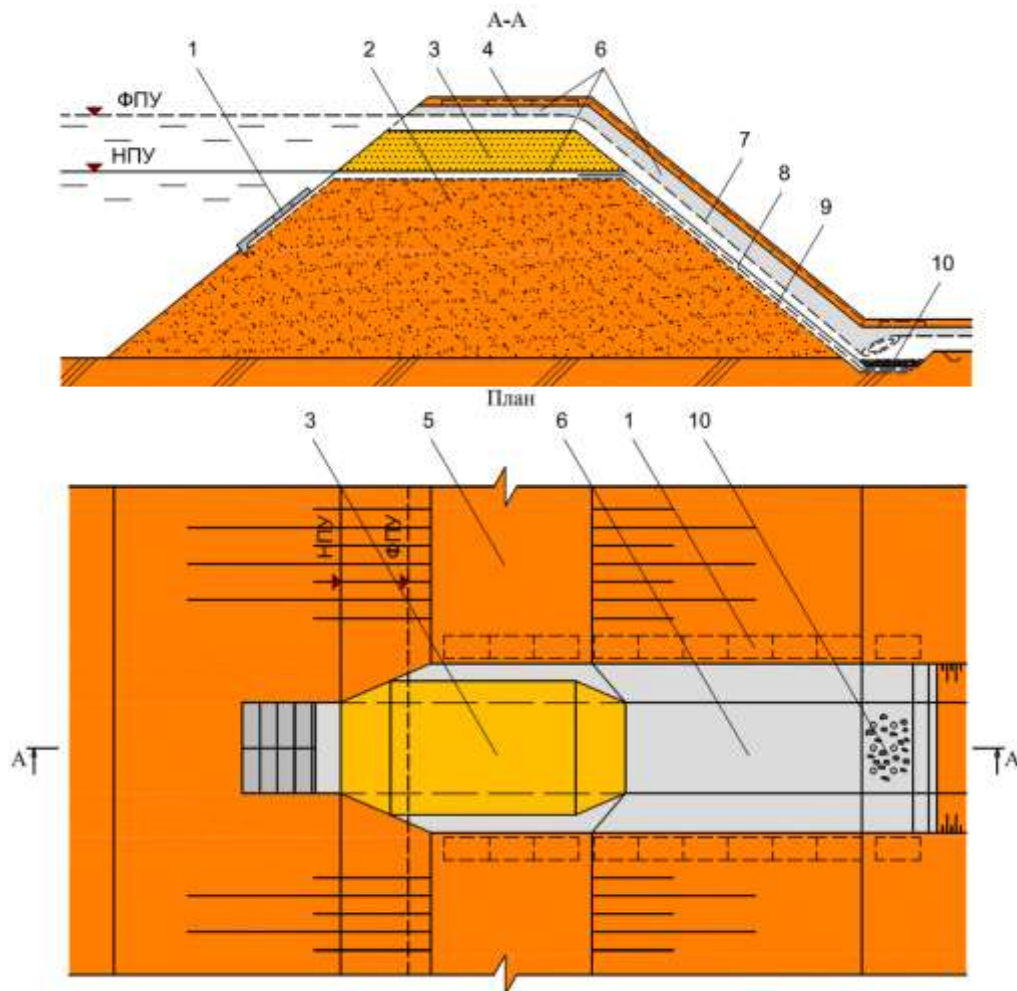


Рис. 5.19. Схема резервного водосброса с размываемой вставкой [25, 29, 38]: 1 – крепление железобетонными плитами защитного покрытия; 2 – водосливной порог; 3 – размываемая грунтовая вставка; 4 – водосливная часть резервного водосброса; 5 – гребень грунтового подпорного сооружения; 6 – защитное покрытие из полимерной геомембраны; 7 – быстроточная часть резервного водосброса; 8 – перфорированная часть защитного покрытия

из геомембраны; 9 – дренажный слой из геотекстиля; 10 – водобойный колодец с каменной наброской

Грунтовые вставки в теле водосливного устройства (которых может быть, как одна, так и несколько) выполняются из местных материалов в виде секций. При необходимости устройства подводящего канала, например, при береговом расположении резервного водосброса, устраивается канал трапецеидального поперечного сечения с заложением откосов в пределах 1,5...2,5 в зависимости от грунта, часто криволинейный в плане и имеющий переменную ширину. Перед водосливом ложе подводящего канала укрепляют геомембраной. Для повышения надёжности комплекса «основной водосброс-резервные водосбросы» в теле размываемой грунтовой вставки укладывается водосливной экран из геомембраны под углом 75...80°, прикрепленный с помощью сварки к горизонтальному ранее уложенному полотнищу (рис. 5.20) [25]. С тыльной стороны водосливного экрана уложен сильно фильтрующий элемент из геотекстиля, например, 2...3 слоя «дорнита».

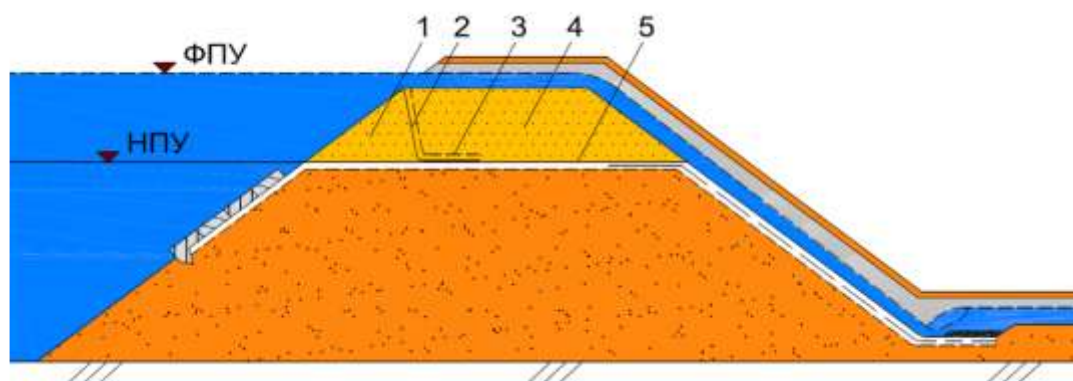


Рис. 5.20. Схема резервного водосброса с водосливным экраном [25]: 1 – верхняя призма размываемой грунтовой вставки; 2 – водосливной экран; 3 – геотекстиль; 4 – низовая призма размываемой грунтовой вставки; 5 – защитное покрытие из полимерной геомембраны

Если резервный водосброс входит в напорный фронт, то геомембрану необходимо расстелить на верховом откосе плотины перед водосливом и закрепить железобетонными плитами (рис. 5.18 и 5.19). Водослив резервного водосброса может иметь как трапецеидальное, так и прямоугольное поперечное сечение, причём для последнего необходимо армировать грунт боковых откосов водосливной части (рис. 5.21).

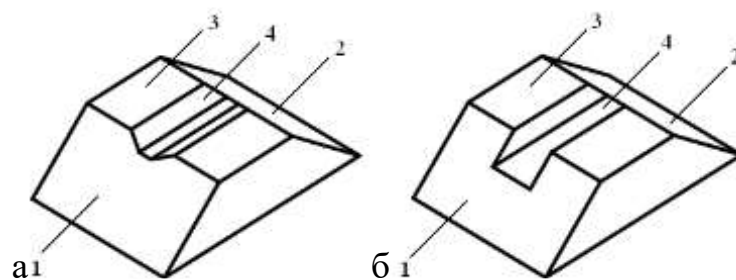


Рис. 5.21. Схемы резервного водосброса в теле грунтовой плотины [29]: а – трапециевидальное сечение; б – прямоугольное сечение; 1 – верховой откос; 2 – низовой откос; 3 – гребень грунтовой плотины; 4 – водослив

Ложе водосливной части защищают полотном геомембраны, закреплённое в прямках, например, габионными структурами, тюфяками из тканного геотекстиля, пригруженного камнями или железобетонными плитами (рис. 5.22).

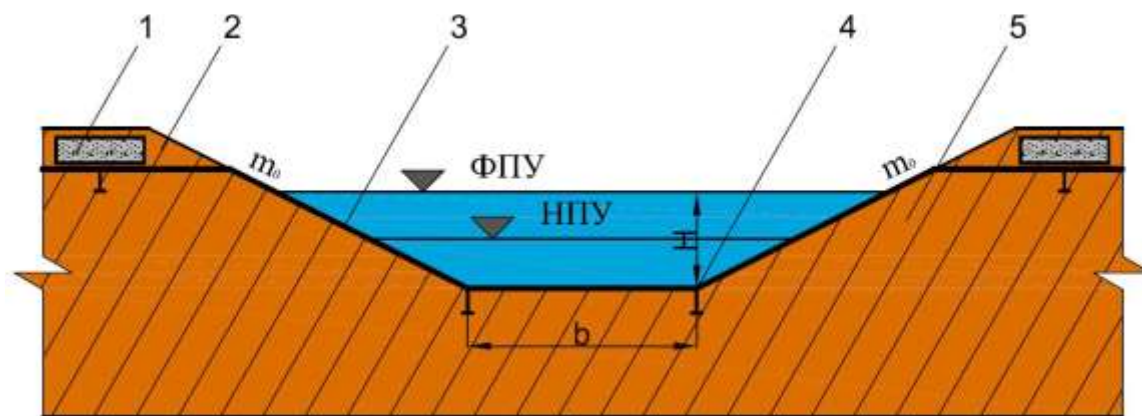


Рис. 5.22. Схема поперечного сечения резервного водосброса [29]: 1 – железобетонная плита; 2 – бровка водосливной части; 3 – геомембрана; 4 – анкер; 5 – грунтовая плотина

Сопрягающая часть выполняется в виде лотка быстротока с уклоном не более 0,22. Лоток быстротока имеет трапециевидальное поперечное сечение с шириной по дну равной ширине водосливной части резервного водосброса (рис. 5.23). Лоток быстротока покрывают двойным слоем геомембраны, причём второй слой выполняется с отверстием размером примерно 2...3 см, размещённых в шахматном порядке на расстоянии 0,5...1,0 м друг от друга. Под мембраной укладывается геотекстиль в два или три слоя. В качестве подстилающего основания можно использовать песчаную подушку толщиной 0,2...0,3 м. В качестве дополнения к подстилающему слою основания может быть использован бентонитовый порошок (слоем 2...4 мм) для регенерации

повреждений полотнищ в период эксплуатации ГТС от воздействия растительности, грызунов и человека. В нижнем бьефе на участке сопряжения покрытие из мембраны крепится анкерами или железобетонными плитами на бровках быстротока, дне водобойного колодца и ковша (рис. 5.23).

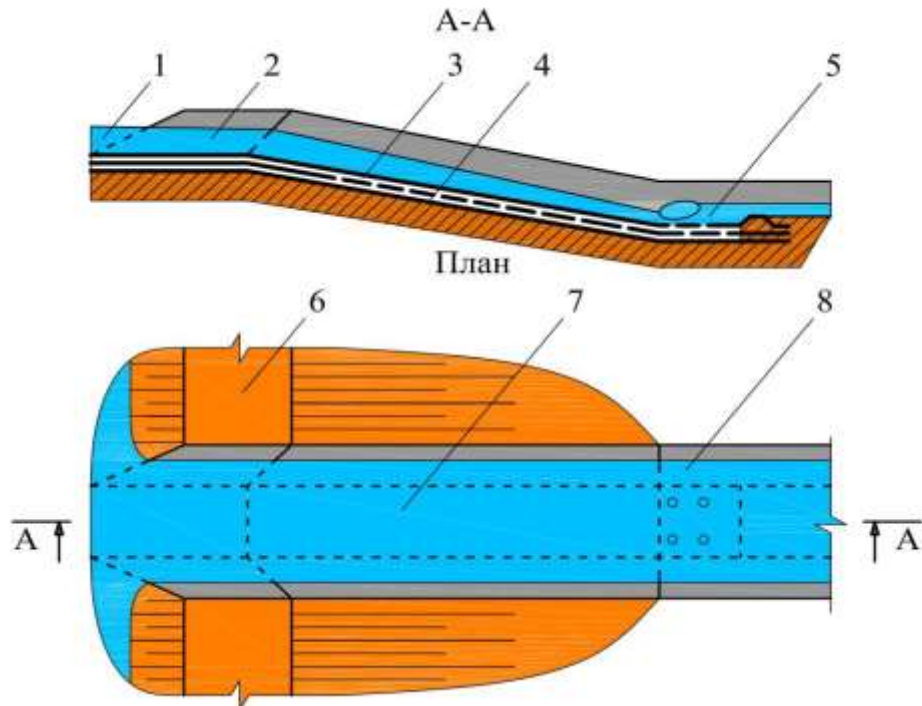


Рис. 5.23. Схема лотка быстротока [29]: 1 – входная часть; 2 – водосливная часть; 3 – двойное полотнище из геомембраны; 4 – дренирующий слой из геотекстиля; 5 – водобойный колодец; 6 – грунтовая плотина; 7 – быстроточная часть; 8 – отводящее русло

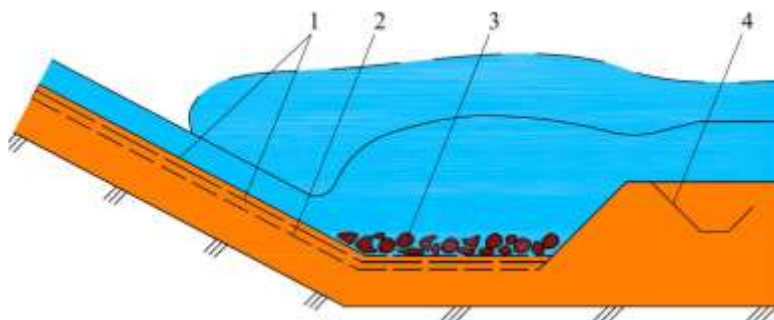


Рис. 5.24. Водобойный колодец с защитным покрытием из геомембраны и каменной наброски [29]: 1 – двойное полотнище из геомембраны; 2 – дренажный слой из геотекстиля; 3 – каменная наброска; 4 – замок

5.2. Проектирование резервного водосброса

Поскольку необходимость устройства резервного водосброса часто возникает при невозможности пропуска проверочного расхода, когда разница

между $Q_{\text{пов}}$ и $Q_{\text{регул}}$ при существующем состоянии водосбросного сооружения гидроузла, рассматриваемого в РГР или КР, значительная, а ремонт механического оборудования и неисправного затвора не изменяет ситуацию, то для обеспечения безопасности гидроузла предлагается рассмотреть целесообразность устройства аварийного резервного водосброса и выбрать его тип. При проектировании резервного водосбросного сооружения последовательно решается ряд задач [29]:

1 - в соответствии с классом водоподпорного сооружения по СП назначается расчетная вероятность сбросного расхода (табл. 2.21) [5, 9];

2 - гидрологическими и водохозяйственными расчетами устанавливаются значения расчетного сбросного расхода;

3 - намечаются несколько конкурирующих вариантов резервных водосбросных сооружений;

4 - определяются основные размеры конструктивных элементов водосбросов по каждому из намеченных вариантов [9,16, 29];

5 - оценивается месторасположение водосброса с учетом рельефа местности и геологических условий;

6 - каждый из выбранных вариантов необходимо сконструировать, выполнить уточняющие и окончательные проектные проработки, включая сметно-финансовые расчеты;

7 - по результатам технико-экономического сравнения вариантов выбирается основной вариант резервного водосброса

При устройстве дополнительного резервного водосброса большая часть паводка обычно пропускается через основной водосброс, например, береговой, рассчитываемый на расход, соответствующий основному расчётному случаю [16], а поверочный расход будет пропущен обоими одновременно работающими водосбросами при допустимой формировке уровня верхнего бьефа (см. п. 2.2.3). При этом оставшаяся часть расхода – через одну или несколько секций резервного водосброса при достижении отметки ФПУ в верхнем бьефе или ниже

на 0,3...0,5 м. Для выбора типа водосбросного сооружения определяют ширину водопропускной части по формуле:

$$B = \frac{Q_{\text{пов.}} - Q_{\text{регул.}}}{m \cdot \sqrt{2g \cdot H^{3/2}}} B = \frac{Q_{\text{пов.}} - Q_{\text{регул.}}}{m \cdot \sqrt{2g \cdot H^{3/2}}} \quad (5.1)$$

где: $Q_{\text{пов.}}$ – проверочный расход, м³/с; $Q_{\text{регул.}}$ – пропускная способность регулятора, м³/с; m – коэффициент расхода, зависящий от типа водослива, принимаемый для предварительных расчётов, равным 0,4; H – дополнительная форсировка уровня, м.

Одним из наиболее перспективных решений является применение резервных водосбросов с размываемой вставкой (рис. 5.25).

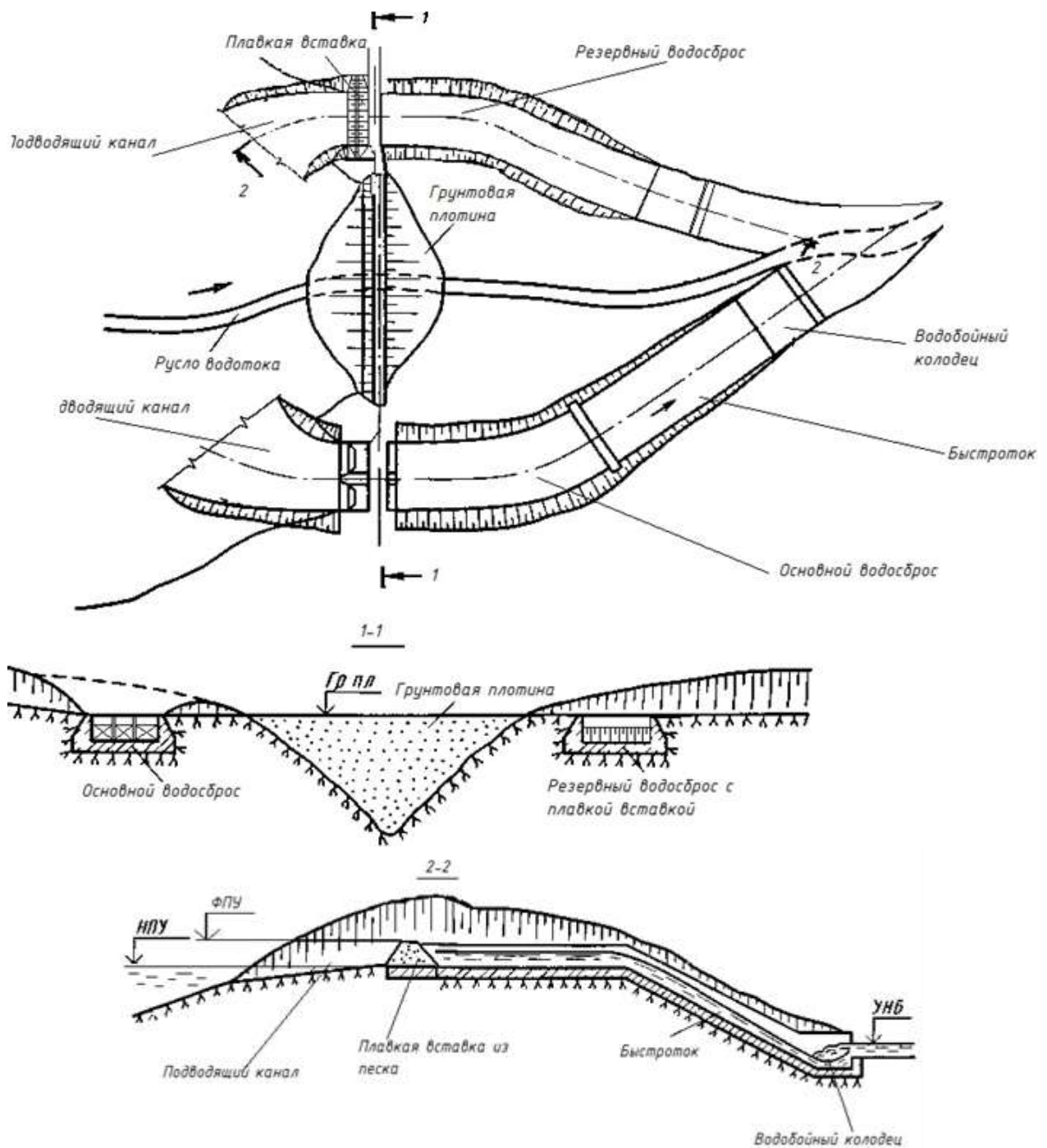


Рис. 5.25. Пример гидроузла с резервным открытым водосбросом в береговой части с размываемой плавкой вставкой

Плавкие вставки следует выполнять в виде разрушающейся при переливе воды через гребень насыпи, которая при уровне воды ниже гребня является частью напорного фронта гидроузла. В этом случае цель расчёта: найти $H_{\text{вст}}$, количество секций резервного водосброса N и высоту порога резервного водосброса $H_{\text{прг}}$. (рис. 5.26) [29]. Основным параметром эффективности работы

резервного водосброса с размываемой вставкой является полное время ее разрушения $T_{\text{мак}}$.

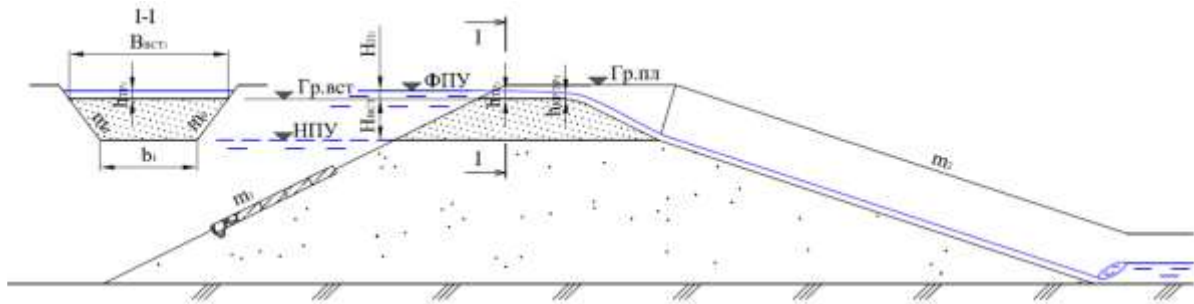


Рис. 5.26. Расчетная схема работы резервного водосброса на начальном этапе

Пропускная способность резервного водосброса оценивается при расчётном расходе $Q_{\text{рез.в}}$ (расход, пропускаемый через все секции резервного водосброса, равный разности максимального паводкового расхода редкой повторяемости (0,5...1%) и расчётного расхода основного водосброса $Q_{\text{осн.в}}$, которого будет определяться по формуле:

$$Q_{\text{рез.в}} = Q_{0,5...1\%} - Q_{\text{осн.в}} \quad (5.2)$$

$$Q_{\text{рез.в}} = m (b + m_0 H_{\text{вст}}) (2g)^{0,5} H_{\text{вст}}^{3/2} N \quad (5.3)$$

где: m - коэффициент расхода для водослива с широким порогом; b - ширина водопропускной части по дну трапецеидального сечения секции резервного водосброса, м; m_0 - коэффициент заложения откосов трапецеидального сечения водопропускной части; $H_{\text{вст}}$ - напор на пороге водопропускной части после размыва грунтовой вставки, принимаемый равным высоте размываемой вставки, м; N - количество секций водосброса, шт.

Предварительно задавшись $b = 3...5$ м и количеством секций N методом подбора в несколько приближений находят $H_{\text{вст}}$. Высота порога резервного водосброса рассчитывается как

$$H_{\text{прг.}} = H_{\text{пл}} - H_{\text{вст}} - d, \quad (5.4)$$

где $H_{\text{пл}}$ - высота плотины до гребня; d - превышение гребня плотины над верхом размываемой вставки или отметки ФПУ, м.

С другой стороны, высота порога резервного водосброса определяется расчётом исходя из необходимого минимального объёма воды в водохранилище,

необходимого для водопользователей за период восстановления размываемой вставки

$$H_{\text{прг.}} = 2 W_{\text{мин.в.}} / F_{\text{мин.в.}}, \quad (5.5)$$

где $W_{\text{мин.в.}} = W_{\text{вп}} + W_{\text{умо}}$ – минимальный объём воды в водохранилище: $W_{\text{вп}}$ – объём воды в водохранилище, необходимый для водопользователей за период восстановления размываемой вставки, $W_{\text{умо}}$ – мёртвый объём водохранилища; $F_{\text{мин.в.}}$ – площадь водохранилища, м².

За окончательную высоту порога водосброса принимается наибольшее значение, полученное по гидравлическому расчёту и с учётом требований водопользователей. При необходимости увеличивают количество секций и пересчитывают высоту вставки по гидравлическому расчёту с тем, чтобы получить $H_{\text{прг}}$ близким между собой. Меняя N , получают максимально близкие значения $H_{\text{вст.}}$

6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДИКЕ, СТРУКТУРЕ И ПОРЯДКУ ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЁТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

6.1 Выбор темы КР/РГР и структура выполнения оценочных расчётов

Студент самостоятельно выбирает тему курсовой или расчётно-графической работы по дисциплинам в соответствии с направлением подготовки «Основы безопасности гидротехнических сооружений» (20.03.02 «Природообустройство и водопользование») или «Безопасность гидротехнических сооружений» (20.03.01 «Техносферная безопасность» и 08.03.01 – уровень бакалавриатуры и 08.04.01 - уровень магистратуры «Строительство») из предлагаемого списка тем, или может предложить свою тему при условии обоснования им её целесообразности, либо тема назначается преподавателем в соответствии с номером фамилии студента в списке группы. Выбор темы КР регистрируется в журнале регистрации курсовых работ/проектов на кафедре гидротехнических сооружений.

Примерная тематика КР/РГР

1. Оценка безопасности сооружений гидроузла на реке (№__)
2. Оценка безопасности сооружений низконапорного гидроузла мелиоративного назначения на реке..... (№__)
3. Оценка безопасности сооружений природоохранного гидроузла на реке (№__)
4. Оценка безопасности сооружений гидроузла с плотиной из грунтовых материалов на реке (№__)
5. Оценка безопасности сооружений гидроузла с открытым береговым водосбросом на реке (№__)
6. Оценка безопасности сооружений комплексного гидроузла с глухой земляной плотиной на реке (№__).
7. Оценка ущерба при возможной аварии на гидроузле с плотиной из грунтовых материалов на малом водотоке..... (№__).
8. Оценка вероятного ущерба в результате аварии при прорыве напорного фронта мелиоративного гидроузла на реке..... (№__).

9. Разработка мероприятий по обеспечению безопасности и надёжности низконапорных гидротехнических сооружений..... гидроузла.

10. Разработка мероприятий по обеспечению безопасности основных гидротехнических сооружений мелиоративного гидроузла в Московской области.

11. Оценка безопасности ГТС низконапорного гидроузла для целей орошения на плане местности №.....

12. Оценка безопасности земляной плотины и водопропускных сооружений в ландшафте парка.....

13. Оценка безопасности основных ГТС руслового пруда рыбоводного хозяйства.....

14. Вопросы безопасности при разработке принципиальной схемы использования бесхозяйного гидроузла для нужд сельского хозяйства.

15. Оценка безопасности ГТС при рассмотрении возможности дальнейшего использования (ликвидации) бесхозяйного мелиоративного гидроузла для орошения или сельхозводоснабжения.

16. Разработка критериев безопасности при реабилитации водного объекта с земляной плотиной.

17. Оценка безопасности ГТС при восстановлении и экологической реабилитации низконапорного гидроузла.

18. Оценка безопасности при реконструкции и восстановлении комплексного городского гидроузла с грунтовой плотиной.

19. Оценка безопасности грунтовой плотины с открытым береговым водосбросом вобласти.

20. Техническая безопасность запруженного водоёма..... в районе Московской области.

21. Оценка безопасности водохранилищного гидроузла с плотиной из грунтовых материалов в указанном районе строительства.

Исходные данные для КР/РГР и ВКР, в которой рассматриваются вопросы обеспечения безопасности и надёжности ГТС гидроузла любого назначения в

АПК, должны быть сформированы в электронном файле либо индивидуальный вариант данных к работе копируется из общего файла, выдаваемого преподавателем в группу. Общий вывод

6.2. Контрольные вопросы для самопроверки

1. Основные причины аварий, возникающие вследствие недостатков при эксплуатации природоохранных ГТС.

2. Перечислите и охарактеризуйте состав сооружений водосбросного тракта открытых береговых водосбросов.

3. Определение фактических значений количественных диагностических показателей грунтовой плотины.

4. Приведите примеры реальных аварий гидроузлов, где одной из основных причин явились недостаточная пропускная способность водосбросных сооружений, несвоевременное открытие водосбросных пролётов, отсутствие или повреждение льдо- и сорозащитных сооружений.

5. Дайте характеристику мировой статистики катастроф на низконапорных гидроузлах с разным типом водопропускных сооружений.

6. Основные термины и нормативно-правовые документы, регламентирующие обеспечение безопасности мелиоративных ГТС.

7. Природные и техногенные нагрузки и воздействия, приводящие к повреждениям и авариям гидротехнических сооружений мелиоративных гидроузлов.

8. Схемы наиболее распространённых типов водопропускных сооружений при грунтовых плотинах мелиоративных гидроузлов.

9. Основные причины аварий водосбросных и подпорных грунтовых сооружений мелиоративных гидроузлов.

10. Возможные сценарии аварии на каскадных гидроузлах.

11. Степень значимости повреждений основных ГТС для безопасности гидроузла с грунтовой плотиной в целом.

12. Перечислите вероятные причины возникновения повреждений на контакте элементов водосбросных сооружений и земляных плотин, возможные последствия.

13. Меры по предупреждению, предотвращению и ликвидации последствий катастроф на мелиоративных водных объектах.

14. Основные значимые количественные и качественные диагностические показатели открытых водосбросных сооружений и грунтовых плотин.

15. Сценарии аварии на ГТС с прорывом напорного фронта. Наиболее вероятный и наиболее тяжелый сценарии аварий.

16. Изобразите наиболее характерные компоновки низконапорных гидроузлов с земляной плотиной мелиоративного назначения. Аварийное состояние каких конструктивных элементов ГТС на них, по Вашему мнению, могут привести к аварии и разрушению подпорного сооружения гидроузла?

17. Укажите на представленной схеме возможные зоны дефектов, деформаций и повреждений водопропускного сооружения и грунтовой плотины.

18. Повреждения различных типов грунтовых гидротехнических сооружений мелиоративной системы и их элементов. Примеры.

19. Перечислите основные способы наращивания грунтовых плотин. Приведите основные схемы.

20. Оценка безопасного положения уровня грунтовых вод при проектировании зданий, сооружений и систем инженерной защиты от подтопления, в том числе локальных объектов.

21. Какие методы и устройства применяют для гашения энергии потока в нижнем бьефе водосбросов низконапорных гидроузлов?

22. Укажите пути повышения надёжности открытых водосбросных сооружений низконапорных гидроузлов.

23. Когда целесообразно устраивать резервный водосброс. Приведите известные Вам их конструктивные схемы.

Перечень тем для написания рефератов

1. Нормативное, правовое и техническое регулирование в области безопасности природоохранных ГТС.
2. Анализ существующих методик оценки риска аварий ГТС.
3. Особенности методик оценки риска аварийных ситуаций на водохранилищах малого объёма.
4. Диагностика технического состояния и условий безопасной работы мелиоративных ГТС.
5. Оценка соответствия ГТС мелиоративного назначения требованиям безопасности.
6. Состав разделов деклараций безопасности ГТС различного назначения. Особенности преддекларационных обследований природоохранных ГТС и установления их диагностических показателей.
7. Применение эксплуатационного мониторинга при оценке безопасности природоохранных ГТС.
8. Пути решения основных проблем обеспечения безопасности ГТС, поднадзорных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору.
9. Решение проблем при консервации или ликвидации бесхозных природоохранных ГТС.
10. Инновационные методы управления безопасностью подпорных ГТС накопителей промышленных отходов.
11. Основные конструктивные решения резервных водосбросов природоохранных гидроузлов.
12. Оценка безопасности ГТС на урбанизированных территориях.

Вопросы к зачёту

1. Основные понятия и термины, связанные с безопасностью ГТС.
2. Основные нормативно-правовые документы, регламентирующие обеспечение безопасности ГТС.

3. Действующие нагрузки и основные воздействия на ГТС.
4. Причины аварий на ГТС.
5. Основные причины аварий, возникающих вследствие недостатков при разработке проекта природоохранных ГТС.
6. Причины возникновения повреждений земляных плотин и возможные последствия.
7. Современное состояние учёта и декларирования ГТС разного класса в РФ.
8. Декларации безопасности ГТС, её основные разделы.
9. Экспертиза декларации безопасности ГТС и её цель.
10. Уровни безопасности ГТС.
11. Основные критерии безопасности ГТС.
12. Безопасность и мониторинг состояния водоподпорных ГТС.
13. Требования по техническому контролю безопасности механического оборудования ГТС.
14. Характеристика мировой статистики катастроф на плотинах.
15. Безопасность природоохранных гидротехнических сооружений водного хозяйства, мелиорации и промышленности.
16. Диагностические показатели состояния грунтовых ГТС.
17. Диагностические показатели состояния бетонных ГТС мелиоративных гидроузлов.
18. Основные методики расчёта параметров волны прорыва при гидродинамической аварии.
19. Использование критериев безопасности ГТС при принятии решений по обеспечению безопасности сооружений.
20. Основы методики оценки уровня безопасности и риска аварий ГТС.
21. Организация и участие в преддекларационном обследовании гидротехнического сооружения.
22. Возможные сценарии аварий гидроузлов с грунтовыми ГТС.

23. Возможные сценарии аварий гидроузлов с бетонными ГТС мелиоративных узлов.

24. Примеры определения критериальных значений качественных и количественных диагностических показателей работы открытых водопропускных ГТС на низконапорных гидроузлах с грунтовой плотиной.

25. Примеры определения критериальных значений качественных и количественных диагностических показателей работы закрытых водосбросов.

26. Примеры определения критериальных значений качественных и количественных диагностических показателей работы грунтовых плотин.

27. Общие положения методики оценки всестороннего ущерба от аварий ГТС.

28. Последовательность определения вероятного вреда при аварии ГТС.

29. Пути решения проблем с бесхозными ГТС, используемыми ранее для орошения и сельхозводоснабжения.

30. Оценка класса опасности ГТС.

31. Повреждения и дефекты открытых водопропускных сооружений, их влияние на оценку состояния безопасности.

32. Виды повреждений грунтовых плотин и степень их значимости для безопасности плотины.

33. Пути повышения надёжности грунтовых ГТС мелиоративных гидроузлов.

34. Виды и основы проектирования резервных водосбросов.

35. Необходимость и особенности наращивания гребня грунтовых плотин.

Критерии выставления зачёта:

- оценка «зачтено» выставляется бакалавру, который дал полные правильные ответы или допустил неточности, не имеющие принципиального характера, а также, бакалавру, допускающему незначительные ошибки и имеющему незначительные пробелы в знаниях;

- оценка «не зачтено» выставляется бакалавру, если он дал неверные ответы, путался в понятиях и определениях, допускал ошибки принципиального характера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Постановление Правительства РФ «О федеральном государственном надзоре в области безопасности гидротехнических сооружений» № 1108 от 27.10.2012г.

2. Постановление Правительства РФ от 2 ноября 2013 г. № 986 «О классификации гидротехнических сооружений».

3. О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 117-ФЗ (ред. от 28.12.2013) [Электронный ресурс]. – URL: <http://focdoc.ru/article/a-43.html> (дата обращения 16.05.2015).

4. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 января 2013 г. № 34 «Об утверждении Инструкции о ведении Российского регистра гидротехнических сооружений».

5. СП 58.13330.2012. «Гидротехнические сооружения. Основные положения» (актуализированная редакция СНиП 33-01-2003). 2012.

6. СП 39.13330.2012. «Плотины из грунтовых материалов» (актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84*). 2012.

7. СП 23.13330. «Основания гидротехнических сооружений» (актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85*). 2012.

8. СП 38.13330.2012. «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)» (актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*). 2012.

9. Волков В.И., Журавлёва А.Г., Черных О.Н. Проектирование сооружений гидроузла с грунтовой плотиной: Учебное пособие. М.: Изд-во МГУП, 2007. – 246 с.

10. Каганов Г.М., Румянцев И.С. Гидротехнические сооружения: Учебник для техникумов. В 2-х кн. - М.: Энергоатомиздат, 1994.

11. Ляпичев Ю.П. Гидрологическая и техническая безопасность гидросооружений: Учебное пособие. М.: Изд-во РУДН, 2008. – 340 с.
12. Волков В.И., Черных О.Н., Алтунин В.И., Секисова И.А. Оценка условий и последствий прорыва напорного фронта речного гидроузла: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 175 с.
13. Волков В.И., Черных О.Н., Алтунин В.И., Добровольская Е.В. Оценка вероятного ущерба в результате аварии гидротехнических сооружений при прорыве напорного фронта речного гидроузла: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 141 с.
14. Черных О.Н., Волков В.И. Проведение обследований при оценке безопасности гидротехнических сооружений: Учебное пособие. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 160 с.
15. Гидротехнические сооружения. Учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Стр-во» специальности «Гидротехн. стр-во». в 2 ч. /Л.Н. Рассказов и др.; под ред. Л.Н. Рассказова. М.: Изд-во АСВ, 2011.
16. Волков В.И., Черных О.Н. Оценка безопасности водосбросных сооружений при грунтовых плотинах: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2019. – 118 с.
17. Черных О.Н., Алтунин В.И., Волков В.И. Расчеты сооружений гидроузла с плотиной из грунтовых материалов: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 203 с.
18. Черных О.Н. Гидроузел с грунтовой плотиной: Методические указания. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. – 72 с.
19. Волков В.И. Рабочие тетради по курсу «Основы безопасности ГТС» (комплект). М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016.
20. Волков В.И., Черных О.Н., Алтунин В.И. Лабораторные исследования открытых водосбросов: Учебное пособие. М.: Изд-во МГУП, 2013. – 149 с.

21. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2019 году. М.: ЗАО НТИЦ исследований проблем безопасности промышленности, 2019. 396 с.

22. Волков В.И., Черных О.Н., Алтунин В.И. Оценка безопасности грунтовых подпорных сооружений: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. – 75 с.

23. Кавешников Н.Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений. Учебное пособие. М.: Агропромиздат, 1989. – 272 с.

24. Щедрин В.Н., Косиченко Ю.М., Шкуланов Е.И. Безопасность гидротехнических сооружений мелиоративного назначения. М.: Росинформагротех, 2011. – 268 с.

25. Щедрин В.Н., Косиченко Ю.М., Бакланова Д.В., Баев О.А., Михайлов Е.Д. Обеспечение безопасности и надёжности низконапорных гидротехнических сооружений. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 283 с.

26. Плотины и развитие: новая методическая основа для принятия решений. Отчёт всемирной комиссии по плотинам. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2009.– 200с.

27. Черных О.Н., Сабитов М.А., Бурлаченко А.В. Специфика реконструкции бесхозяйных плотин// Природообустройство, 2017, №2, с. 12– 20.

28. Черных О.Н., Волков В.И., Журавлёва А.Г., Румянцев И.С., Алтунин В.И. Открытые береговые водосбросы: Учебник для вузов. М: ФГБОУ МГУП, 2012. – 244 с.

29. Косиченко Ю.М., Тищенко А.И., Михайлов Е.Д. Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации резервных водосбросных сооружений. Новочеркасск: ФГБНУ «РосНИИПМ», 2016. – 54 с.

30. Розанов Н.П., Румянцев И.С., Корюкин С.Н. и др. Особенности проектирования и строительства гидротехнических сооружений в условиях жаркого климата. Учебник для вузов - М.: Колос, 1993. – 303 с.

31. Черных О.Н. Берегоукрепительные конструкции водных объектов. часть 1 Черных О.Н., Ханов Н.В. Бурлаченко А.В., 2019 размещено в ЭБС РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в электронном виде (режим доступа <http://elib.timacad.ru/dl/local/06122021.pdf>).

32. Черных О.Н. Берегоукрепительные конструкции водных объектов. часть 2 Черных О.Н., Ханов Н.В. Бурлаченко А.В., 2020 размещено в ЭБС РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в электронном виде (режим доступа: <http://elib.timacad.ru/dl/local/umo441.pdf>).

33. Волков В.И. Экспресс-методика обследования с оценкой достаточности превышения гребня грунтовой плотины. // Природообустройство. – 2019. – № 2. – С. 66-72.

34. СП 290.1325800.2016 «Водопропускные гидротехнические сооружения (водосбросные, водоспускные и водовыпускные). Правила проектирования». 2017.

35. Малаханов В.В. Техническая диагностика грунтовых плотин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 112 с.

36. Проектирование гидротехнических сооружений водохозяйственного назначения. – М.: Союзводпроект, 1989. – 282 с.

37. Мелиорация прудов / под ред. Шкуры В.Н. // Белов В.А., Иванова Н.А., Мордвинцев М.М., Полуэктов Е.В., Шкура Вл.Н. и др. – Новочеркасск: НГМА, 2013. – 371 с.

38. Косиченко, Ю.М. Применение резервных водосбросов в грунтовых плотинах для пропуска паводковых вод [Электронный ресурс] / Ю.М. Косиченко, Е.Д. Михайлов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – № 2 (08). – 16 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/2011/02/18>.

39. Пат. 2573328 Российская Федерация, МПК(7) E 02 B 9/04. Резервный водосброс грунтового подпорного сооружения (варианты) / Косиченко Ю.М.,

Михайлов Е.Д., Баев О.А.; заявитель и патентообладатель ООО «Южный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации». – № 2014100661/13; заявл. 09.01.14; опубл. 20.01.16, Бюл. № 20. –13 с.: ил.

40. Справочник по гидравлическим расчётам / П.Г. Киселёв, А.Д. Альтшуль, Н.В. Данильченко [и др.] – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 312 с.

41. Учеваткин А.А. Итоги работы за 2020 г. Центрального управления Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, М.: 2021 г.

42. Патент 2419705, РФ. Способ устранения дефектов в дамбах из однородного грунта / Е.В. Васильева, В.М. Фёдоров. Опубл. 27.05.2011. Бюл. №15.

43. Волков В.И. Оценка безопасности сооружений гидроузла: Методические указания. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2018. – 76 с.

44. Рубин О.Д., Ханов Н.В., Лисичкин С.Е., Антонов А.С. Многофакторные исследования гидротехнических сооружений со сроком эксплуатации более 25 лет: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2022. – 111 с.

45. Рубин О. Д., Фролов К.Е., Лисичкин С.Е. Применение композитных материалов при реконструкции гидротехнических сооружений: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2018. –184 с.

46. Козлов Д.В., Крутов Д.А. Комплексные технические решения при реконструкции плотин // Природообустройство. – 2018. – № 2. – С. 22-28.

47. Козырь И.Е., Пикалова И.Ф. Исследование пропускной способности цилиндрических водосливов // Природообустройство. – 2020. – № 2. – С. 111-114.

48. Васильева Е.В. Технология работ по наращиванию плотин сверх проектных отметок // Актуальные вопросы мелиораций земель: сборник статей аспирантов, магистрантов, студентов (3-й выпуск / Новочерк. гос. мелиор. академия) – Новочеркасск, – 2013. С. 80-82.

49. ГОСТ Р 58719-2019 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Гидравлические станции. Гидротехнические сооружения. Контрольно-измерительные системы и аппаратура. Условия создания. Нормы и требования. Применяется с 01.03.2020. М.: Стандартформ, 2019. – 38 с.

50. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Эксплуатация и проектирование дюкеров на водных объектах: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2021. – 153 с.

51. Е.В. Васильева. Повышение эффективности ремонта, восстановления и реконструкции элементов инженерно-мелиоративных систем. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.07. – М.: 1985. 23 с.

52. Рассказов Л.Н., Анискин Н.А., Саинов М.П. Анализ состояния грунтовой плотины Колымской ГЭС // Вестник МГСУ. – 2009. – №2. – С. 111-115.

Оценка технического состояния и уровня безопасности ГТС по основным диагностическим показателям

Таблица П1.1

Перечень количественных диагностических показателей состояния ГТС
(знаком "+" в таблице обозначены показатели, учет которых является обязательным при оценке
состояния ГТС)

№	ГТС или его элемент Показатель	Класс сооружений		
		I...III	IV*	
			с проек. докум.	без проект. докум.
1	Водоем			
	Нормальный подпорный уровень верхнего бьефа	+	+	+
	Форсированный подпорный уровень верхнего бьефа	+	+	-
	Устойчивость береговых склонов водохранилища	+	+	-
2	Плотина из грунтовых материалов			
2.1	Гребень плотины			
	Запас гребня над НПУ	+	+	+
	Запас гребня над ФПУ	+	+	-
	Ширина гребня плотины	+	+	+
2.2	Устойчивость откосов			
	Коэффициент заложения всего верхового откоса	+	+	-
	Коэффициент заложения надводной части верхового откоса		+	+
	Коэффициент заложения низового откоса	+	+	+
	Коэффициент устойчивости верхового откоса	+	-	-
	Коэффициент устойчивости низового откоса	+	-	-
	Устойчивость береговых склонов в нижнем бьефе плотины	+	-	-
2.3	Фильтрационные показатели			
	Общая фильтрационная прочность тела плотины	+	+	+
	Общая фильтрационная прочность основания плотины	+	+	+
	Фильтрационная прочность ПФУ в теле плотины	+	+	
	Фильтрационная прочность ПФУ в основании плотины	+	+	
	Фильтрационный расход (суммарный и по отдельным кам) и динамика его изменения	+	-	-
	Положение кривой депрессии в теле	+	-	-
	Положение поверхности депрессии в береговых выканиях и неблагоприятные явления на береговых склонах в нижнем бьефе	+	-	-
2.4	Деформации и перемещения			
	Вертикальные деформации (осадки) плотины, ПФУ и основания	+	-	-
	Горизонтальные перемещения плотины и ПФУ	+	-	-
2.5	Тело плотины			
	Поровое давление и интенсивность его рассеивания в автофильтрационных элементах и в основании	+	-	-
	Температурный режим тела и основания	+	-	-
3	Бетонные и железобетонные ГТС			
3.1	Гребень плотины			
	Запас гребня над НПУ	+	+	+

№	ГТС или его элемент Показатель	Класс сооружений		
		I...III	IV*	
			с проек. докум.	без проект. докум.
	Запас гребня над ФПУ	+	+	-
3.2	Устойчивость			
	Коэффициент устойчивости на сдвиг	+	+	-
	Коэффициент устойчивости на опрокидывание	+	+	-
	Устойчивость береговых склонов в верхнем и нижнем бьефах плотины	+	-	-
3.3	Прочность			
	Несущая способность материала конструкции в характерных сечениях (в том, числе контактные напряжения в подошвах, на вертикальных и наклонных поверхностях и наклонных поверхностях бетонных сооружений с различного рода засыпками и другими сооружениями)	+	-	-
	Раскрытие шва на контакте с основанием	+	-	-
	Раскрытие трещин (для нетрещиностойких конструкций)	+	-	-
	Наличие и раскрытие трещин (для трещиностойких конструкций)	+	-	-
	Раскрытие конструктивных и строительных швов	+	-	-
	Взаимные смещения по межсекционным швам сооружений	+	-	-
3.4	Фильтрационные показатели			
	Общая фильтрационная прочность основания	+	+	-
	Местная фильтрационная прочность скального основания	+	+	-
	Фильтрационная прочность тела сооружения	+	+	-
	Фильтрационная прочность противотрационной завесы	+	+	-
	Фильтрационный расход через все тело сооружения (средний, по секциям и участкам) и динамика его изменения)	+	-	-
	Противодавление по контакту с основанием	+	-	-
	Противодавление в монолитном бетоне и в строительных	+	+	-
	Положение поверхности депрессии и другие параметры фильтрационного расхода в береговых примыканиях, проявления расхода на его выходе в нижний бьеф	+	-	-
	Температура, мутность и химический состав фильтрующейся	+	-	-
3.5	Деформации и перемещения			
	Вертикальные деформации (осадки) сооружения и основания	+	-	-
	Горизонтальные перемещения сооружения	+	-	-
	Крены (углы поворота) сооружения и его элементов	+	-	-
3.6	Тело сооружения			
	Состояние бетона как материала (физико-механические характеристики)	+	-	-
3.7	Температурный режим			
	Температурный режим тела и основания	+	-	-
	Температура воды в верхнем и нижнем бьефах	+	-	-
4	Водопропускные сооружения			
4.1	Пропускная способность			
	Дополнительная форсировка уровня верхнего бьефа при расчете расчетных расходов	+	+	-
4.2	Глубина размыва в нижнем бьефе	+	+	-

№	ГТС или его элемент Показатель	Класс сооружений		
		I...III	IV*	
			с проект. докум.	без проект. докум.
5	Каналы			
	Геометрия канала	+	+	-
	Пропускная способность	+	+	-
	Скорость сработки уровня	+	+	-
	Размывы	+	+	-
	Уровни грунтовых вод	+	+	-

* включая сооружения III класса без проектной документации

Таблица П1.2

Перечень качественных диагностических показателей состояния ГТС

№	ГТС или его элемент Показатель
1	Плотина из грунтовых материалов
1.1	Гребень и бермы плотины
	Наличие и развитие просадочных воронок на гребне
	Наличие и развитие площадных глубоких ям на гребне
	Наличие и развитие промоин, начинающихся с гребня сброса системы отвода дождевых вод с гребня и берм
	Наличие и развитие колеи на гребне
	Переработка откоса ветровой волной, включая переработку с захватом гребня
	Продольные трещины
	Поперечные трещины
1.2	Откосы
	Повреждения креплений верховых откосов плотин
	Повреждения верховых откосов плотин с биологическим креплением или без каменного крепления
	Повреждения креплений низовых откосов плотин
	Оползни откосов, включая локальные
	Наличие и развитие просадок; повреждения вследствие морозного пучения
1.3	Дренажные и водоотводящие устройства
	Наличие дренажных устройств
	Повреждения дренажных устройств (засорение, зарастание, перемерзание дренажных устройств, заполнение смотровых колодцев)
	Повреждения водоотводящих устройств и системы ливнеотвода
1.4	Фильтрационные проявления
	Выходы фильтрационного потока, включая локальные, на низовой откос, за подошвой плотины и на береговых склонах, высачивание воды и намочение откосов, наличие ключей и потоков
	Мутность фильтрационного потока в местах выхода
	Заболочивание территории за подошвой низового откоса
	Наледи на низовых откосах и береговых склонах
	Наличие участков на низовом откоса с влаголюбивой растительностью
	Наличие карстовых явлений в основании
1.5	Примыкание плотины к берегам
	Повреждения в зоне береговых примыканий
	Наличие локальных понижений в зоне примыканий

№	ГТС или его элемент Показатель
2	Бетонные и железобетонные сооружения
2.1	Поверхность бетона
	Характер поверхности (плотный или рыхлый, гладкий или шероховатый; с признаками шелушения или без, наличие на поверхности отслаивания, выкрашивания, коррозии арматуры, трещин и т.п.)
	Дефекты и повреждения в виде сколов, раковин, каверн, выбоин, полос или зон поражения, сквозных отверстий
	Обнажения или оголения арматуры, с коррозией арматуры и т.п.
	Износ антикоррозионного покрытия
	Истирание поверхности бетона
	Коррозия поверхности бетона, следы выщелачивания
	Другие дефекты и повреждения
2.2	Трещины
	Ориентация; поверхностные, глубинные или сквозные с расположением в растянутой или сжатой зоне; динамика изменения во времени; с выносом грунта или без; с фильтрацией или без нее
	Наличие и развитие трещин на гранях сооружений, в зонах сопряжения элементов сооружений и оснований с различными механическими и фильтрационными свойствами
	Следы коррозии арматуры
2.3	Характер осадок и перемещений
2.4	Фильтрационные проявления
	Проявления фильтрации воды на поверхности бетона (мокрых пятен или высолов, капильной, очаговой или струйной фильтрации)
	Проявление фильтрации воды в межсекционных и строительных швах
	Наличие сосредоточенных ходов фильтрации в основании (грифоны в нижнем бьефе)
	Мутность фильтрующейся воды
	Наледи на выходах профильтровавшейся воды
	Химический и механический состав фильтрующейся воды
2.5	Состояние дренажных устройств
	Характер изменения пьезометрического напора перед дренажом, в его пределах и за ним
	Засорение, зарастание, промерзание дренажных устройств
3	Водопропускные сооружения
3.1	Пропускная способность водосбросных сооружений
	Входные оголовки и подвод воды
	Транзитная часть водосбросов
	Выходные части водосбросов и отводящие каналы (русла)
3.2	Механические повреждения элементов водосбросного тракта, включая состояние защитных засыпок, застенных дренажей, вымыв обратного фильтра из-под швов рисбермы и
3.2	Размывы в нижнем бьефе
4	Каналы
	Пропускная способность, в том числе заиливание, зарастание канала, наличие других негабаритных инородных тел
	Размыв дна и канала
	Повреждения крепления откосов и дна
	Оползание откосов, в том числе локальные
	Заболачивание окружающей территории
	Зимний режим работы, включая обледенение канала, шуговые и другие явления

Диагностические показатели, характеризующие условия эксплуатации ГТС

№ п/п	Диагностические показатели условий эксплуатации ГТС
1	Соответствие режимов эксплуатации ГТС проектным требованиям, в том числе:
	1.1. Режимам пропуска воды через водопропускные сооружения
	1.2. Схемам маневрирования затворами
	1.3. Скоростям наполнения и опорожнения водохранилища
	1.4. Правилам использования водных ресурсов и эксплуатации водохранилищ
	1.5. Обустройству водохранилищ
2	Выполнение нормативных и проектных требований по технической эксплуатации, своевременность выполнения ремонтов, включая ремонт и техническое обслуживание механического оборудования:
	2.1. Проведение текущего ремонта (по мере необходимости)
	2.2. Проведение капитального ремонта (1 раз в 15-25 лет)
	2.3. Проведение аварийного ремонта (по мере необходимости)
	2.4. Обслуживание и ремонт механического оборудования гидротехнических сооружений (в соответствии с требованиями завода изготовителя и условий эксплуатации, в том числе передпуском паводка)
3	Организация инструментального и визуального контроля состояния ГТС
	3.1. Оснащенность контрольно-измерительной аппаратурой и соответствие количества и номенклатуры работоспособной КИА проекту
	3.2. Выполнение графиков проверок КИА и ее метрологического контроля
	3.3. Наличие службы натуральных наблюдений или ответственного, выполняющего работу по контролю и анализу натуральных наблюдений
	3.4. Периодичность проведения осмотров и обследований
	3.5. Регулярность и периодичность проведения натуральных наблюдений
4	Нормативно-методическое обеспечение организации эксплуатации (вся техническая документация по сданным в эксплуатацию ГТС должна храниться комплектно в архиве организации до окончательной консервации сооружения)
	Проектная и исполнительная документация
	4.1. Утвержденная проектная документация (чертежи, пояснительные записки и др.) со всеми последующими изменениями, в том числе проект натуральных наблюдений и исследований, материалы экспертизы проектной документации
	4.2. Исполнительные чертежи, в том числе на размещение контрольно-измерительной аппаратуры (КИА)
	4.3. Паспорта и заводские инструкции по эксплуатации на установленное оборудование
	4.4. Проект мониторинга безопасности ГТС (если не входит в состав проекта или проекта эксплуатации)
	4.5. Акты приемки ГТС в эксплуатацию
	Документация, составляемая собственником или эксплуатирующей организацией
	4.6. Декларации безопасности
	4.7. Паспорта ГТС, технических паспортов сооружений
	4.8. Инструкции о порядке ведения мониторинга безопасности ГТС
	4.9. Местная инструкция по эксплуатации ГТС и их механического оборудования
	4.10. Действующие должностные инструкции специалистов и производственные инструкции для рабочих, инструкции по технике безопасности, противопожарной технике, производственной санитарии

№ п/п	Диагностические показатели условий эксплуатации ГТС
	<p>4.11. Ситуационный план объектов ГТС</p> <p>4.12. График планово-предупредительных ремонтов</p> <p>4.13. План ликвидации аварии</p> <p>4.14. Правила использования водных ресурсов водохранилищ</p> <p>4.15. Правила технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ</p> <p>4.16. Материалы по обучению, инструктажу и проверке знаний эксплуатационного персонала</p> <p>4.17. Журналы инструментальных и визуальных наблюдений за ГТС и их отдельными элементами</p> <p>4.18. Материалы обработки и анализа данных наблюдений за гидротехническими сооружениями</p> <p>4.19. Утвержденные критерии безопасности ГТС</p> <p>4.20. Годовые отчеты о состоянии сооружения</p> <p>Документы инспектирующих и контролирующих органов</p> <p>4.21. Разрешения на эксплуатацию ГТС</p> <p>4.22. Акты комиссионных обследований сооружений, акты и предписания инспектирующих и контролирующих органов</p> <p>4.23. Заключение по оценке состояния ГТС, выполненные специализированными организациями</p> <p>4.24. Акты о произошедших авариях и отказах в работе сооружений и оборудования, материалы расследования их причин</p>
5	<p>Профессиональный уровень службы эксплуатации и контроля ГТС</p> <p>5.1. Уровень образования</p> <p>5.2. Наличие лицензии</p> <p>5.3. Переподготовка</p> <p>5.4. Структура подразделений эксплуатирующей организации, осуществляющих технический контроль состояния ГТС</p> <p>5.5. Укомплектованность персоналом этих подразделений</p> <p>5.6. Соответствие уровня его профессиональной подготовки квалификационным требованиям (персонал, выполняющий работы по контролю состояния ГТС должен иметь образование не ниже среднего специального)</p> <p>5.7. Материалы по обучению, инструктажу и проверке знаний эксплуатационного персонала</p>
6	<p>Физическая охрана ГТС</p> <p>6.1. Система мероприятий по организации охраны ГТС, согласованной с территориальными органами Росприроднадзора и МЧС России</p> <p>6.2. Телевизионная система охранного наблюдения</p> <p>6.3. Система контроля и управления доступом на ГТС и т.п.</p> <p>6.4. Инженерные охранные сооружения</p> <p>6.5. Охраняющий персонал</p> <p>6.6. Системы охранной сигнализации</p>
7	<p>Наличие противоаварийных запасов строительных материалов, конструкций, оборудования, машин и механизмов</p> <p>7.1. Наличие в ремонтно-строительном цехе или в другом подразделении, производящим текущий ремонт ГТС и оборудования, неприкосновенного запаса необходимых материалов, оборудования, комплектующих и запасных частей (количество неприкосновенного аварийного запаса материалов и деталей определяется ведомственными правилами технической эксплуатации в зависимости от вида ГТС,</p>

№ п/п	Диагностические показатели условий эксплуатации ГТС
	эксплуатационной загрузки, условий эксплуатации и среды, а также прочности примененных при строительстве материалов и деталей)
	7.2. Возможность оперативного задействования землеройной техники, автотранспорта, механизмов и водолазных средств для ликвидации опасных повреждений и аварийных ситуаций
8	Наличие системы аварийной сигнализации и оповещения эксплуатационного персонала и населения
	8.1. Средства связи с персоналом ГТС
	8.2. Системы оповещения населения при угрозе прорыва напорного фронта (внутренняя система оповещения, сирены, громкоговорители)
9	Уровень подготовки эксплуатационного персонала к действиям в чрезвычайной ситуации
	9.1. Наличие на ГТС плана, согласованного с региональными органами ГО и ЧС, органами исполнительной власти и местного самоуправления, по совместной ликвидации гидродинамических аварий и их последствий с участием спецподразделений и с использованием материально-технических средств региона
	9.2. Наличие плана оперативных действий эксплуатационного персонала ГТС при ликвидации аварийных ситуаций, знание этого плана персоналом в пределах своей компетенции
	9.3. Наличие на ГТС сведений о произошедших за время эксплуатации отказах, повреждениях и авариях, причинах их возникновения и признаках проявления на начальных стадиях развития
	9.4. Наличие на ГТС типовых конструктивно-технологических решений или рекомендаций по предотвращению развития и по ликвидации возможных опасных повреждений и аварийных ситуаций, знание этих материалов эксплуатационным персоналом в пределах своей компетенции
	9.5. Состояние дорог, мостов и подъездов в районе расположения и на территории ГТС, состояние аварийных выходов для персонала
	9.6. Наличие материалов о проведении контрольных противоаварийных и противопожарных тренировок, инструктажей по ТБ и ПБ
10	Нормативно-правовое обеспечение аварийной опасности
	10.1. Наличие планов действия эксплуатационного персонала, органов самоуправления и населения в чрезвычайных ситуациях
	10.2. Наличие плана ликвидации аварий по возможным сценариям
	10.3. Наличие финансового обеспечения гражданской ответственности за вред, причиненный в результате аварии ГТС

Таблица ПП.4

**Критерии безопасности ГТС прудовых рыбоводных хозяйств с
грунтовыми подпорными сооружениями**

№	Наименование ГТС/элемента	Диагностический показатель	Критериальные значения показателей	
			количественных	качественных
1	Пруд	Нормальный подпорный уровень верхнего бьефа	НПУ	
		Форсированный подпорный уровень верхнего бьефа	ФПУ	
2	Плотина			
3	Гребень плотины	Запас гребня над НПУ	Проектное значение, определенное по СП	

		Запас гребня над ФПУ	Проектное значение, определённое по СП	
		Ширина гребня плотины	4,5 м	
		Наличие и развитие просадочных воронок на гребне		Отсутствие
		Наличие и развитие площадных глубоких ям на гребне		Глубина менее 0,5 м
		Наличие и развитие промоин, начинающихся с гребня		Глубина менее 0,5 м
		Наличие и развитие колеи на гребне		Глубина не более 0,5 м
		Переработка откоса ветровой волной, включая переработку с захватом гребня		Без захвата гребня
		Продольные трещины		Отсутствие
		Поперечные трещины		Отсутствие
4	Верховой откос	Устойчивость откоса Основной расчётный случай	Для IV класса - 1,16, для III – 1,21	
		Устойчивость откоса. Особый расчётный случай	Для IV класса - 1,04, для III – 1,09	
		Наличие на поверхности верхового откоса локальных повреждений, которые могут быть оперативно устранены при проведении текущих ремонтных работ		Без захвата гребня
		Оползни верхового откоса, включая локальные		Отсутствие
		Наличие и развитие просадок		Отсутствие
5		Низовой откос	Устойчивость откоса Основной расчётный случай	Для IV класса - 1,16, для III – 1,21
	Устойчивость откоса. Особый расчётный случай		Для IV класса - 1,04, для III – 1,09	
	Наличие на поверхности откоса локальных повреждений, которые могут быть оперативно устранены при проведении текущего ремонта			Без захвата гребня
	Оползни, включая локальные			Отсутствие
	Наличие и развитие просадок, повреждения из-за морозного пучения			Отсутствие
6	Фильтрационные проявления в теле грунтовой плотины/дамбы		Общая фильтрационная прочность тела плотины/дамбы	В зависимости от типа грунта тела плотины или ПФУ [3]
		Общая фильтрационная прочность основания плотины/дамбы	В зависимости от типа грунта основания плотины [3]	
		Выходы фильтрационного потока, включая локальные, на низовой откос, за подошвой откоса и на береговых склонах, высачивание воды и намокание откосов, наличие ключей и грифонов		Отсутствие ключей и грифонов

		Заболачивание территории за подошвой низового откоса		Не допускается
		Наличие участков с влаголюбивой растительностью		Не допускаются обширные зоны
7	Примыкание плотины/дамбы к берегам и ГТС	Наличие локальных понижений в зоне примыканий		Отсутствие
8	Паводковый водосброс и перепускные сооружения	Дополнительная форсировка уровня верхнего бьефа при пропуске расчётного расхода (для IV класса - 5% и для III-3% обеспеченности) по отношению к НПУ	0,0	
		Форсировка уровня верхнего бьефа при пропуске расчётного расхода (для IV класса - 1% и для III-0,5% обеспеченности) по отношению к НПУ	0,25	
		Наличие трещин		Отсутствие сквозных трещин
		Проявления фильтрации воды на поверхности бетона		Допускается наличие влажных пятен на поверхности бетона
		Проявление опасной фильтрации воды в межсекционных и строительных швах		Отсутствие
		Наличие сосредоточенных выходов фильтрации в основании		Отсутствие
		Наличие интенсивной растительности и инородных предметов у входного оголовка и в зоне подвода воды к оголовку водосброса		Отсутствие
		Работоспособность затворов водосброса и подъёмных механизмов		Полная работоспособность рабочих затворов
		Механическое повреждение элементов водопропускного тракта		Незначительные истирания бетона, гасителей энергии, следы коррозии арматуры, наличие дефектов и повреждений на площади не превышающей 5% от общей площади поверхности бетона

**Ремонтно-восстановительные операции по досыпке гребня
плотины/дамбы и её тела [37, 48]**

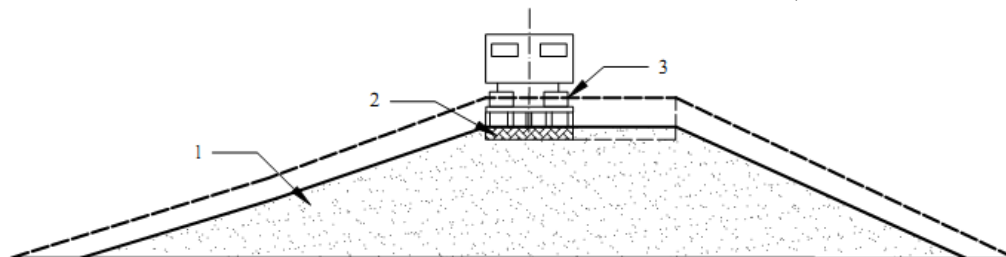


Рис. П2.1. Схема послойного разравнивания грунтосмеси на гребне плотины: 1 - плотина; 2 - разравнивание грунтосмеси на гребне плотины; 3 - бульдозер

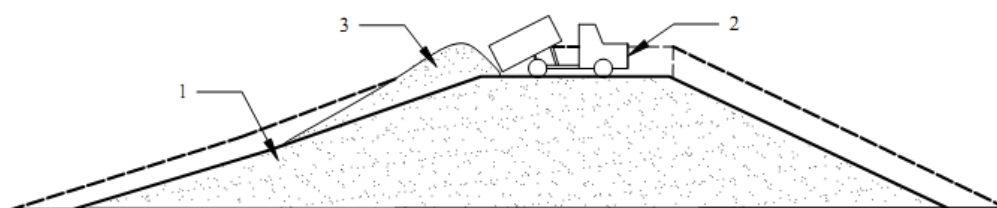


Рис. П2.2. Схема послойного уплотнения грунтосмеси на гребне плотины: 1 - плотина; 2 - уплотнение грунтосмеси на гребне плотины; 3 - каток

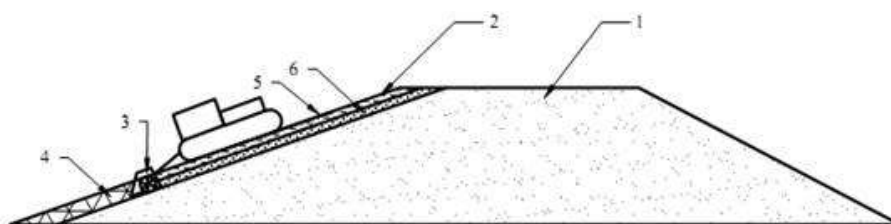


Рис. П2.3. Схема перемешивания высевки с грунтом на откосе специальной фрезой: 1 - плотина; 2 - верховой откос; 3 - фреза; 4 - измельчённая и перемешанная фрезой смесь высевки с грунтом; 5 - высевка, 6 - грунт

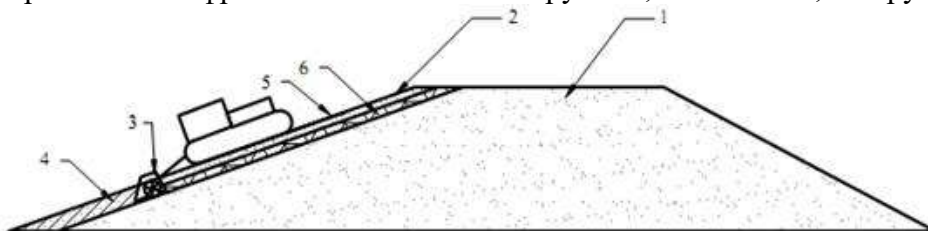


Рис. П2.4. Схема перемешивания цемента и золы с высевкой и грунтом: 1 - плотина; 2 - верховой откос; 3 - фреза; 4 - перемешанная фрезой смесь высевки и грунта с цементом и золой; 5 - цемент, зола, 6- смесь высевки с грунтом

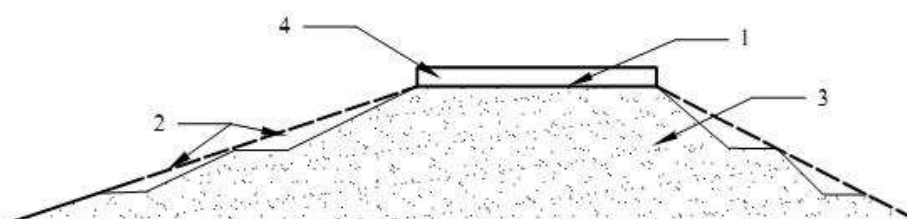


Рис. П2.5. Устройство уступов с перемещением грунта на гребень плотины, после предварительного удаления разуплотнённого грунта с откосов и гребня плотины, и послойным его разравниванием: 1 - гребень; 2 - уступы; 3 - плотина; 4 - перемещённый грунт

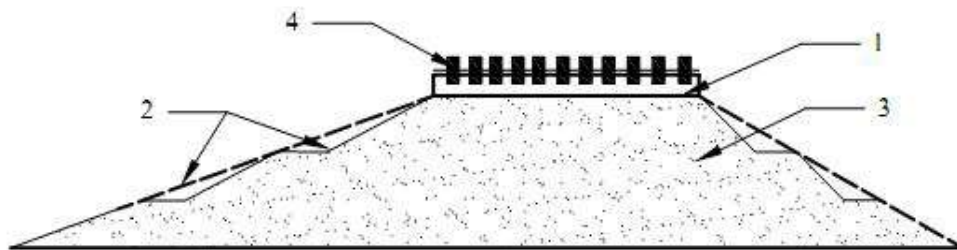


Рис. П2.6. Перемещение грунта с высевкой, золой и цементом, доувлажнение грунтовой смеси до оптимальной влажности на гребне плотины: 1 – гребень; 2 – уступы; 3 – плотина; 4 – фреза

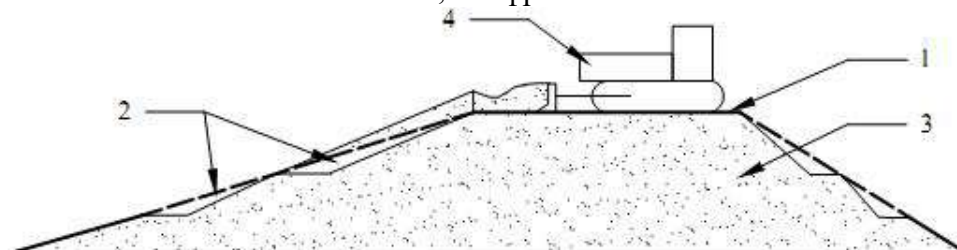


Рис. П2.7. Разравнивание грунтовой смеси по гребню и ограниченными уступами откосам гребнтового подпорного сооружения: 1 – гребень; 2 – уступы; 3 – плотина; 4 - бульдозер

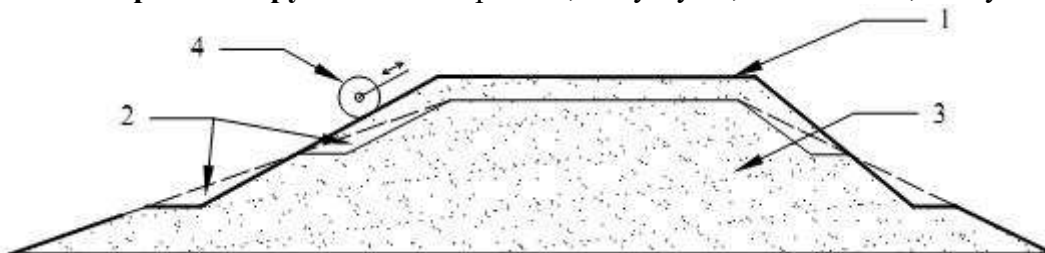


Рис. П2.8. Послойное уплотнение катком грунтовой смеси оптимальной влажности до проектной плотности: 1 – наращиваемый гребень плотины; 2 – уступы; 3 – плотина; 4 – вальцовая трамбовка

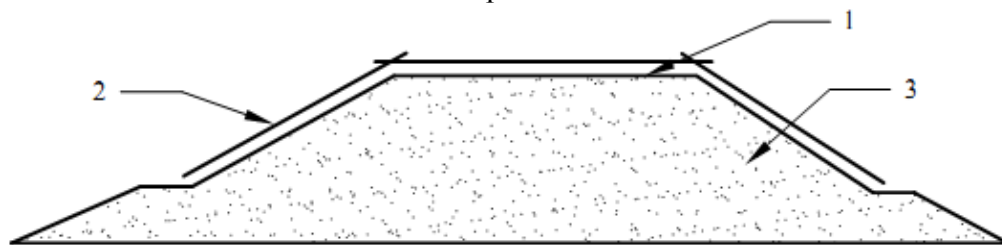


Рис. П2.9. Схема укладки геосетки по реконструированным наращенным откосам и гребню грунтового подпорного сооружения: 1 – наращиваемый гребень плотины; 2 – геосетка; 3 - плотина

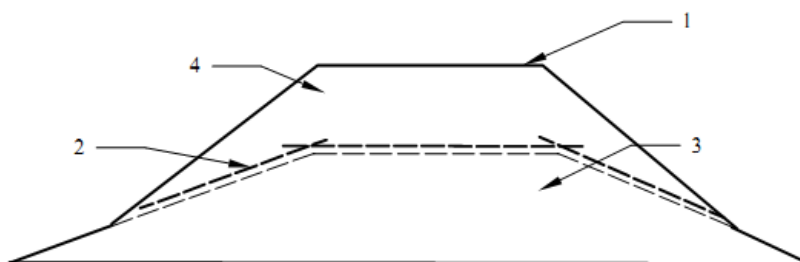


Рис. П2.10. Схема поперечного сечения реконструированной плотины после наращивания гребня и тела плотины с послойным разравниванием и уплотнением грунтовой смеси: 1 – досыпанный гребень плотины; 2 – положение геосетки; 3 – тело плотины до ремонта; 4 – досыпанная часть плотины

План, продольный разрез и детали некоторых типов резервных водосбросов подпорных сооружений малых водоёмов [25, 28, 29, 38, 39]

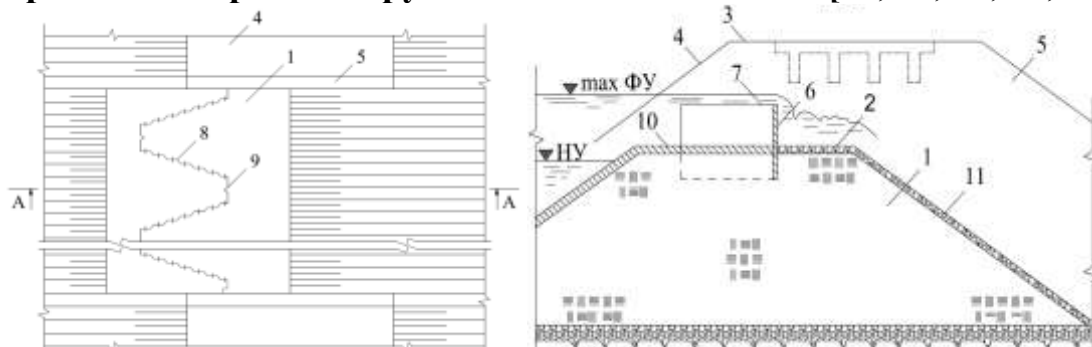


Рис. П3.1. С размываемой вставкой и лабиринтной стенкой: 1 – размываемая вставка; 2 – отметка гребня плотины; 3 – отметка гребня подпорного сооружения; 4 – подпорное сооружение; 5 – устой; 6 – водосливная стенка; 7 – отметка гребня водосливной стенки; 8 – стальные шпунты зетового профиля; 9 – стальные шпунты корытного профиля; 10 – защитный слой из бетона; 11 – защитный слой из песчано-гравийного материала

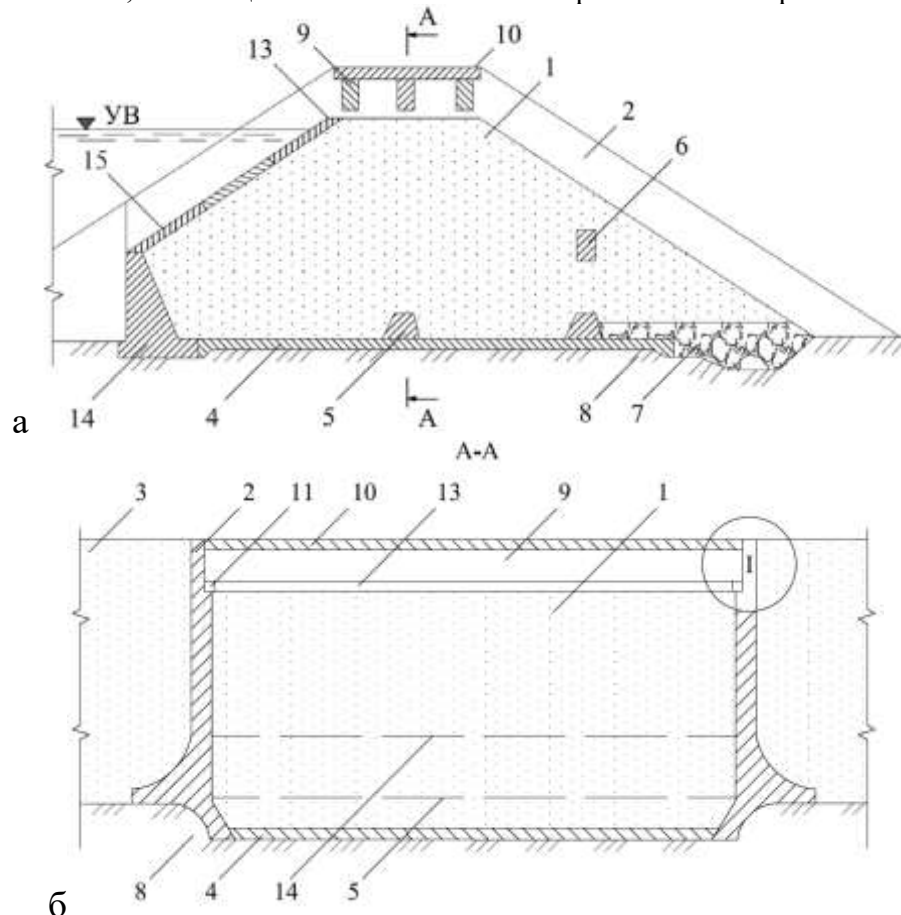


Рис. П3.2. С размываемой грунтовой вставкой и водосливной стенкой: а – вертикальный разрез резервного водосброса; б – горизонтальный разрез размываемой вставки; в – узел I; 1 – размываемая грунтовая вставка; 2 – бетонные устои; 3 – грунтовое подпорное сооружение; 4 – плита водобоя; 5 – стенки водобоя; 6 – балки водобоя; 7 – концевой участок водобоя в виде заполненного камнем ковша; 8 – основание концевой участка водобоя; 9 – балочный мост; 10 – проезжая часть; 11 – подвижные опорные части балочного моста; 12 – уступы в бетонных устоях; 13 – зазор между балочным мостом и гребнем размываемой вставки; 14 – водосливная стенка; 15 – плиты на верхом откосе размываемой вставки

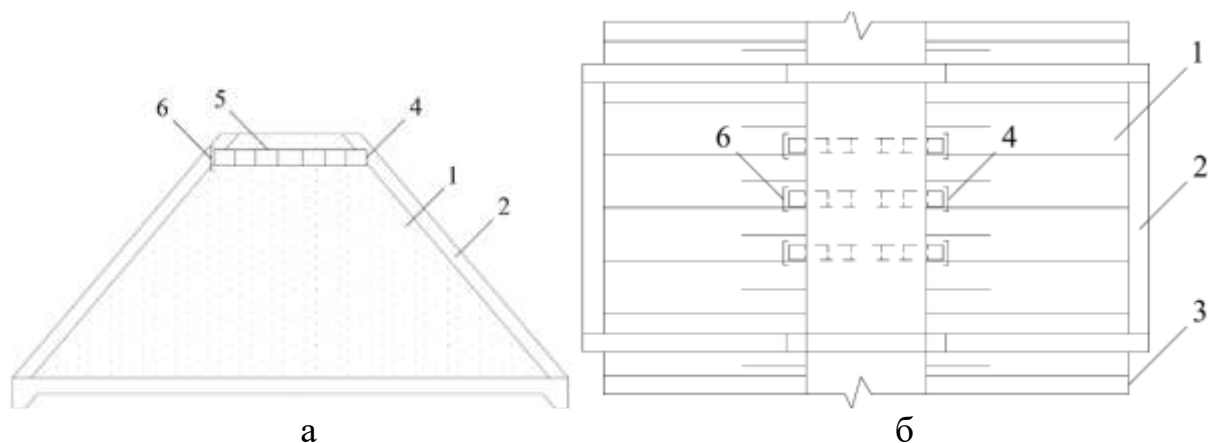


Рис. ПЗ.3. С размываемой грунтовой пробкой: 1 – грунтовая пробка; 2 – бетонная одежда водосброса; 3 – плотина; 4 – водоводы; 5 – трубчатый элемент; 6 – заслонки водоводов

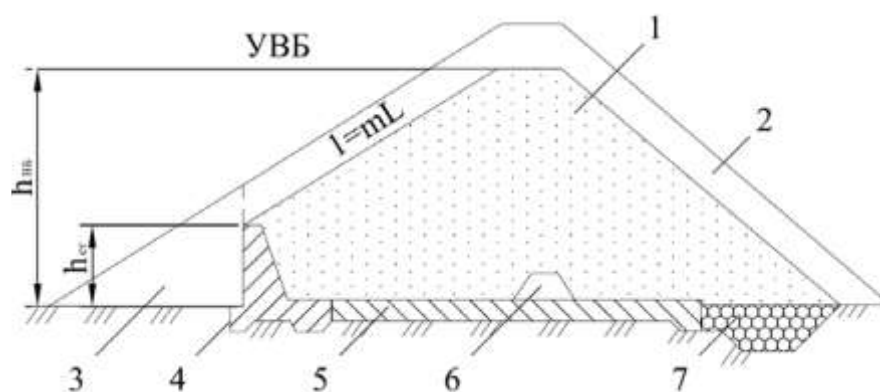


Рис. ПЗ.4. С размываемой грунтовой вставкой и бетонной водосливной стенкой: 1 – грунтовая размываемая вставка; 2 – устои; 3 – грунтовое подпорное сооружение; 4 – водосливная стенка; 5 – бетонная плита; 6 – гасители энергии водного потока; 7 – ковш

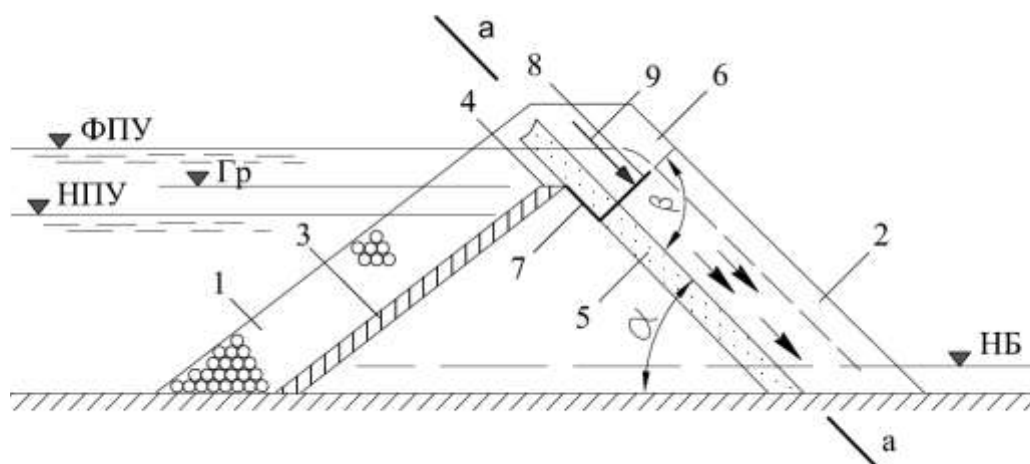


Рис. ПЗ.5. Размываемая грунтовая плотина резервного водосброса, разработанная Малахановым В.В.: 1 – верховая призма плотины; 2 – низовая призма плотины; 3 – верховая грань противодиффузионного устройства в виде экрана; 4 – гребень верховой грани; 5 – наклонная вставка; 6 – траншея; 7 – верховая стенка траншеи; 8 – низовая стенка траншеи; 9 – сила гидростатического давления

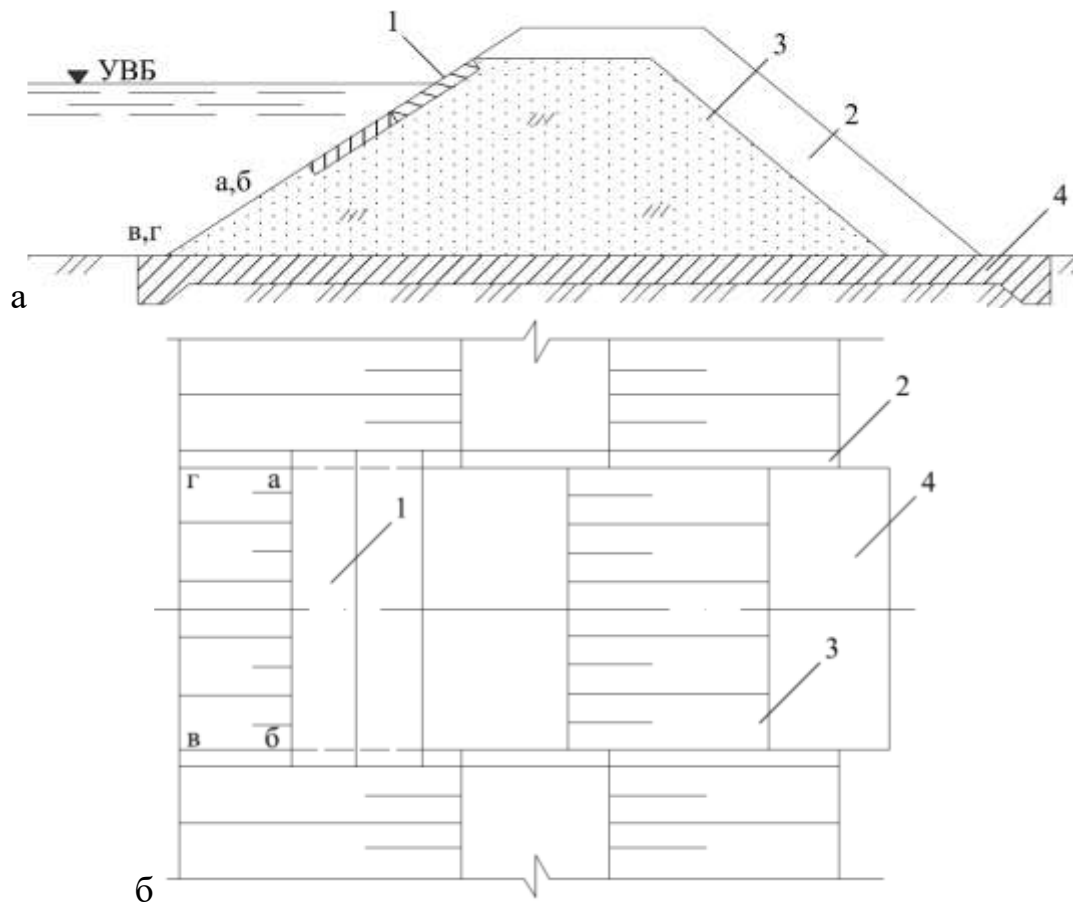


Рис. ПЗ.6. Водосбросное сооружение с размываемой вставкой и меньшей пропускной способностью: 1 – плиты; 2 – бетонные устои; 3 – грунтовая вставка; 4 – бетонный флютбет

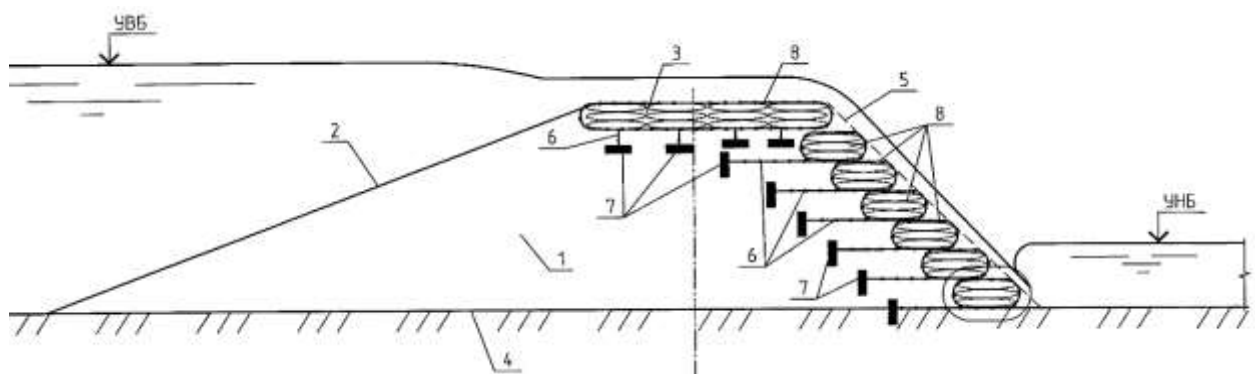


Рис. ПЗ.7. Водосливная грунтовая плотина с армирующими элементами: 1 - тело переливной грунтовой плотины; 2 - верховой откос; 3 - порог; 4 - подошва плотины; 5 - низовой откос; 6 - армирующая сетка; 7 - анкерные устройства; 8 - элементы крепления; 9 - гибкие оболочки; 10 - замкнутая часть армирующей сетки; 11 - протяженная часть армирующей сетки

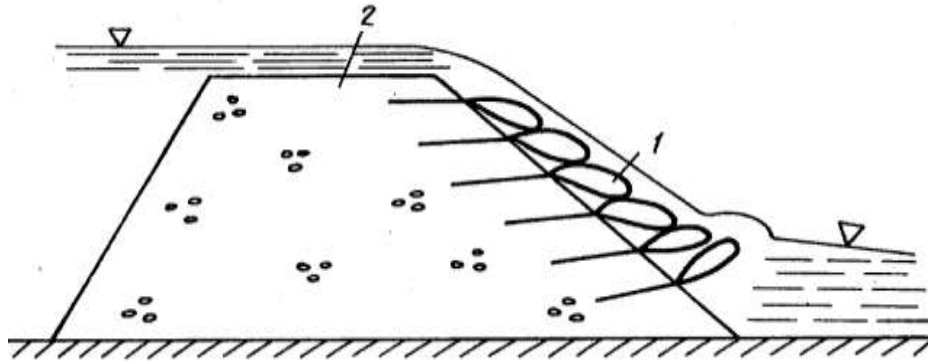


Рис. ПЗ.8. **Водосливная грунтовая плотина с надувными оболочками на низовом откосе:** 1 – надувные водонепроницаемые оболочки; 2 – тело плотины

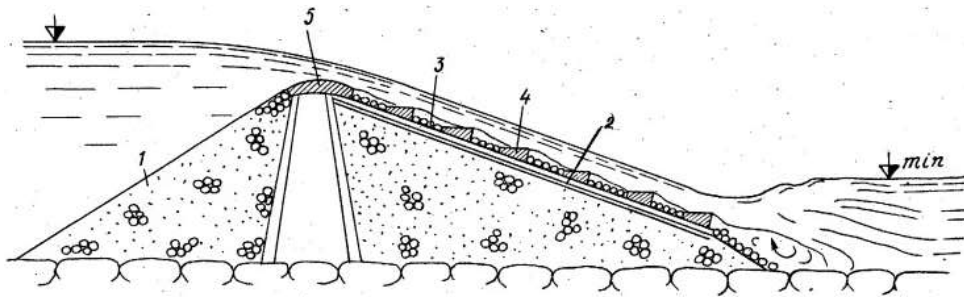


Рис. ПЗ.9. **Водосливная грунтовая плотина с клиновидными плитами на низовом откосе:** 1 – грунтовая плотина; 2 – водонепроницаемая одежда; 3 – камень; 4 – ж/б плиты клиновидной формы; 5 – гребень водосливного пролёта; б -

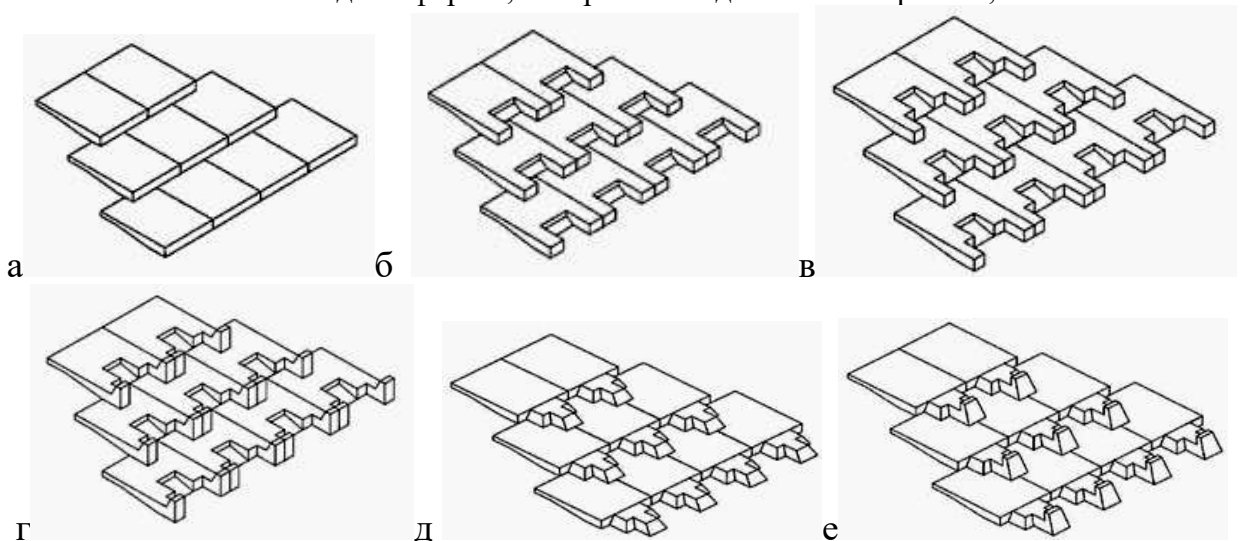


Рис. ПЗ.10. **Варианты конструкций плит ступенчатого крепления транзитной части водосброса [28]:** а – клиновидные плоские плиты прямоугольного сечения, уложенные с нахлестом (П.И. Гордиенко); б - плиты с прорезным уступом, уложенные в шахматном и полушахматном порядке (И.С. Румянцев и С. Х. Ганем); в - плиты с двухступенчатой в плане прорезью, уложенные в шахматном порядке; г – двухступенчатые плиты с гасителями и прорезью, уложенные в шахматном порядке; д – плиты двухступенчатые в плане выступа, уложенные в шахматном порядке; е – двухступенчатые плиты с гасителями в корне выступа, уложенные в шахматном порядке (И.С. Румянцев и А. Сулейман)

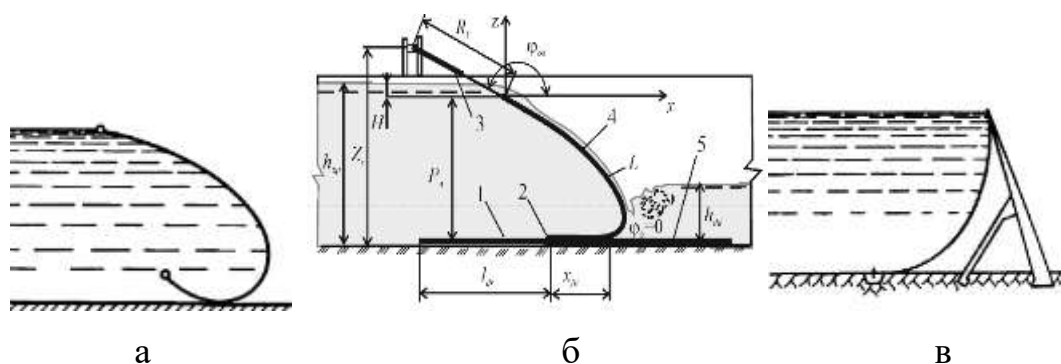


Рис. ПЗ.11. Некоторые типы плотин из композитных материалов: а – мембранная; б – мембрано-вантовая; 1 – понур; 2 – береговая анкерная опора; 3 – вантовая система; 4 – водоподпорная оболочка; 5 – гибкая рисберма; в – комбинированная

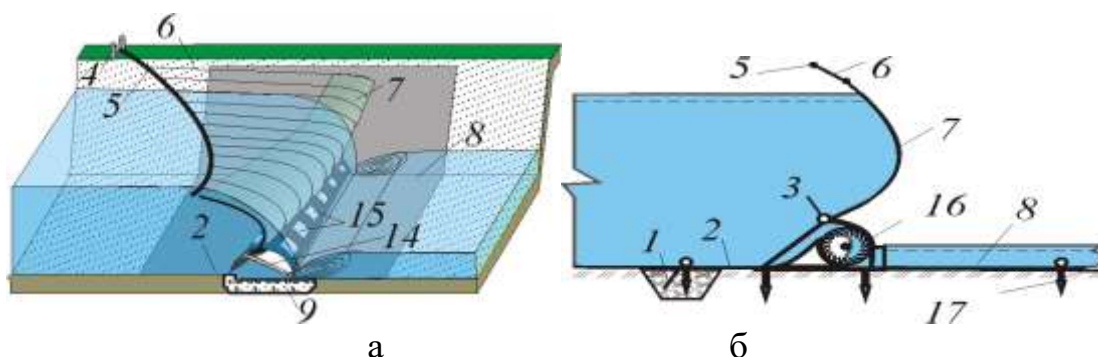


Рис. ПЗ.12. Мембранные комбинированные водоподпорные конструкции

[38]: а – гидровантовая плотина с водовыпускным устройством; б – подпорно-регулирующее гидроэнергетическое сооружение: 1 – узел крепления; 2 – гибкий понур; 3 – узел крепления; 4 – береговая анкерная опора; 5 – ванта-подбор; 6 – вантовая ферма; 7 – мембрана; 8 – гибкая рисберма; 9 – зуб; 10 – железобетонный понур; 11 – рисберма из каменной наброски; 12, 13 – грунтонаполняемый баллон; 14 – водовыпускное устройство; 15 – водовыпускные отверстия; 16 – гидроагрегат; 17 – русловые анкера

Учебное издание

**Черных Ольга Николаевна
Бурлаченко Алёна Владимировна**

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНОГО ГИДРОУЗЛА С
ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНОЙ**

Учебное пособие

Под общей редакцией
О.Н. Черных

Подписано в печать . . .2022 г. Формат 60x84 1/16

Печ. л. 10,7. Тираж 100. экз. Заказ

Издательство РГАУ-МСХА
127550. Москва, Тимирязевская ул.44
Тел. 8-499-977-40-64