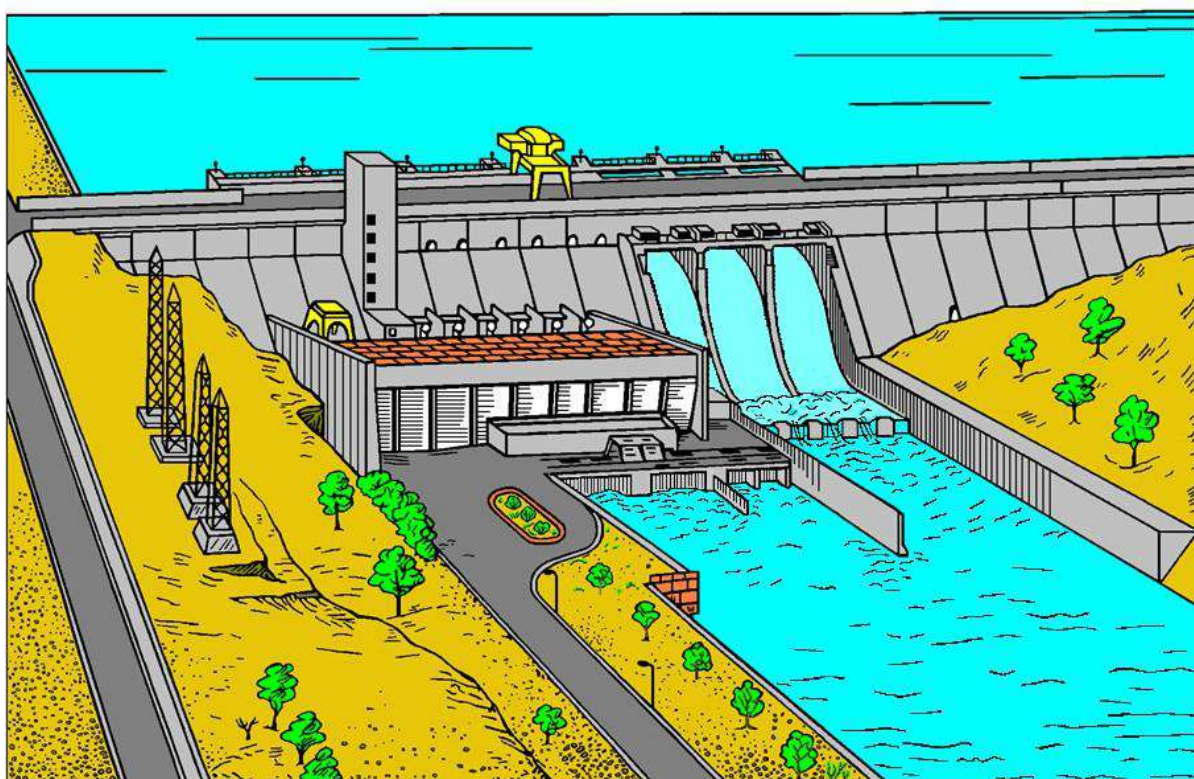

О.Н. Черных, А.Г. Журавлёва, А.В. Бурлаченко, Я.Ю. Бурлаченко

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОТЕХНИКИ ПО-РУССКИ (для китайских студентов)



Москва 2024

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства
имени А.Н. Костякова

О.Н. Черных, А. Г. Журавлёва, А.В. Бурлаченко, Я.Ю. Бурлаченко

**ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОТЕХНИКИ ПО-РУССКИ
(для китайских студентов)**

Учебное пособие

Под общей редакцией О.Н. Черных

Москва
2024

УДК 626.627

ББК 38.37

Ч 45

DOI: 10.26897/978- 5-9675-2033-4-2024-210

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. Изучение гидротехники по-русски (для китайских студентов): учебное пособие / О. Н. Черных, А.Г. Журавлёва, А. В. Бурлаченко, Я. Ю. Бурлаченко. Под общей редакцией О. Н. Черных ; Российский государственный аграрный университет имени К. А. Тимирязева. – Москва : РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2024. – 210 с.

ISBN 978- 5-9675-2033-4

В учебном пособии изложены основные сведения по современным гидротехническим сооружениям комплексного и специального назначения, позволяющие подготовить китайских студентов к овладению техническими дисциплинами на русском языке. Учебное пособие предназначено для освоения теоретического материала и выполнения курсовых, расчётно-графических и выпускных работ бакалаврами по направлению 08.03.01 «Строительство» и магистрами направления 08.04.01 «Строительство» направленности «Речные и подземные гидротехнические сооружения» ФГОС ВО, рекомендуется к изданию учебно-методической комиссией Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, протокол № 12 от 26.08.2024 г.

Chernykh, O.N. Studying hydraulic engineering in Russian (for Chinese students): textbook / O. N. Chernykh, A. G. Zhuravleva, A. V. Burlachenko, Y. Yu. 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, 2024. – 210 p.

The textbook contains basic information on modern hydraulic structures for complex and special purposes, allowing Chinese students to be prepared for mastering technical disciplines in Russian. The textbook is intended for mastering theoretical material and performing coursework, calculations, graphics and graduation works by bachelors in the direction 08.03.01 “Construction” and masters in the direction 08.04.01 “Construction” in the direction “River and underground hydraulic structures” of the Federal State Educational Standard of Higher Education, recommended for publication by the educational and methodological commission of the Institute of Land Reclamation, Water Resources and Construction named after A.N. Kostyakova, protocol No.12. 26.08.2024.

© Черных О.Н., Журавлёва А.Г.,
Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю., 2024

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Основные понятия в гидротехнике	11
1.1. Задачи гидротехники.....	13
1.2. Общие сведения о проектировании гидротехнических сооружений.....	15
2. Общие сведения о водных ресурсах и объектах.....	21
2.1. Использование водных ресурсов	21
2.2. Водные объекты и протекающие в них процессы.....	22
3. Водоподпорные сооружения	32
3.1. Грунтовые плотины.....	32
3.2. Бетонные плотины.....	46
3.3. Плотины из природоподобных и различных искусственных материалов.....	68
4. Водопропускные сооружения.....	74
4.1. Береговые водосбросы	75
4.2. Водовыпуски (водозаборы) и водоспуски	98
4.3. Водосбросные плотины	103
4.4. Водозаборы	127
4.5. Каналы	130
4.6. Затворы.....	141
5. Компоновки речных гидроузлов.....	148
5.1. Низконапорные гидроузлы	151

5.2. Средненапорные гидроузлы	152
5.3. Высоконапорные гидроузлы	157
6. Научные исследования в гидротехническом строительстве	164
6.1. Лабораторные исследования в гидротехническом строительстве.....	164
6.2. Основы автоматического проектирования в гидротехнике.....	165
6.3. Научное сопровождение проектов.....	168
7. Водоохранилища.....	183
Библиографический список.....	189
Приложение 1. Русско-китайский гидротехнический словарь	192
Приложение 2. Общий вид грунтов.....	201
Приложение 3. Крупные гидротехнические объекты Китая.....	202

ВВЕДЕНИЕ

В большой мере настоящее учебное пособие является результатом китайско-российского сотрудничества, начало которому было положено более 70 лет тому назад. За последние годы в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева существенно возросла численность иностранных студентов, особенно из Китайской Народной Республики, обучающихся в рамках международных образовательных и научно-исследовательских проектов, при реализации программ обмена студентами, аспирантами и преподавателями. После заключения в 2005 г. договора о сотрудничестве между Московским государственным университетом природообустройства (МГУП) (ныне Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова - ИМВХС) и Шаньдунским гидротехническим институтом была возрождена традиция подготовки в ИМВХС высококвалифицированных специалистов в области гидротехнического строительства для КНР, как бакалавров, магистров, так и аспирантов, обучающихся по направлению «Строительство». Этому предшествуют 2...3 года изучения специальных дисциплин на русском языке в Китае. Первый успешный выпуск китайских студентов в МГУП был в 2009 г.

Однако недостаточное знание русского языка даже в магистратуре обучающимися китайскими студентами явилось одной из причин, вызвавшей необходимость издания этого пособия. В связи с перспективой дальнейшей активации сотрудничества вузов России и Китая в результате ряда представительных мероприятий, проводимых в настоящее время на базе Университета Санья, в которых принимают участие 13 университетских альянсов и состоят более 700 вузов с обеих сторон в сфере высшего образования в мире, можно ожидать углубление научного, образовательного и культурного обмена между Россией и Китаем. Так, в городах Гуанчжоу и Шанхай планируется открытие профориентационных центров для подготовки китайских абитуриентов к поступлению в РГАУ-МСХА имени К.А.

Тимирязева. Поэтому создание учебного пособия с терминологией, понятной специалистам обеих стран актуально.

Тем более, что развитое гидротехническое строительство присутствовало в Китае ещё в середине VI тысячелетия до н.э. [1, 16], когда Китай был высокоцивилизованным государством с освоенным бассейном реки Янцзы. После стали интенсивно сооружаться оросительные и осушительные каналы. В Китае найдены плотины, построенные 4,7...5,1 тыс. лет назад. В 2283 г. до н.э. великий инженер Юй предложил проекты строительства каналов, дамб и регулирования русел рек для борьбы с наводнениями, разделил р. Хуанхэ на два русла, а в устье устроил дельту с 9 рукавами и 9 озёрами. Он же сделал прибрежные земли нижнего течения р. Хуанхэ пригодными для земледелия. За заслуги этого великого гидротехника избрали затем императором (на престол Юй вступил в 2205 г. и положил начало династии Ся, правившей в Китае до 1766 г. до н. э.). Около 1100 г. до н.э. была написана книга «Чжоули», государственный устав династии Чжоу. В ней есть раздел, посвящённый мелиорации. В «Чжоули» дана чёткая схема организации оросительной системы, с размерами каналов и канав. Там же даётся совет о выборе профиля дамб: «толщина (ширина) плотины по низу назначается равной её высоте, но к вершине (гребню) она уменьшается до одной трети» и строительстве каналов: «каналы лучше всего прокладывать путем вымывания водой».

Практически все реки Китая текут с запада на восток и впадают в Тихий океан. Поэтому уже в древности возникла система каналов, соединявших бассейны этих рек. Впоследствии отдельные участки были объединены и достроены. Так появился Великий Китайский канал, или, как его называют в Китае, Большой канал (大运河). Он строился с VI в. до н. э. до XIII в. н. э. и соединяет города Пекин и Ханчжоу. Его протяженность — 1782 км, а с ответвлениями – 2470 км, и это самый длинный канал в мире, объединяющий пять рек: Хайхэ, Хуанхэ, Хуайхэ, Янцзы и Цяньтан. В 2000 г. в список Всемирного наследия ЮНЕСКО как крупнейший инженерный проект в Евразии того времени внесена древняя ирригационная система **До Цзянь Янь**,

созданная в 256 г. до н. э. в китайской провинции Сычуань. Широкое использование водяных мельниц, в основном с горизонтальными колёсами, имело место в древнем Китае ещё в I в. для переработки железной руды в чугун и для водоподачи на поля орошения.

К концу 1988 г. в Китае было построено 355 крупных водохранилищ и 300 масштабных шлюзов, 200 000 км новых укрепленных набережных. Были добавлены водные каналы для рек Хуайхэ и Хайхэ. Пропускная способность реки Хуайхэ была увеличена с 8000 м³/с до 13000 м³/с, а в реке Хайхэ возросла с 2400 м³/с до более чем 20000 м³/с. В 2020 г. в сфере водного хозяйства в Китае насчитывалось уже около 110 крупных строящихся проектов. Сейчас строится около 50 крупных ГЭС. Только в 2012 году в КНР производство электроэнергии составило 22 % от мирового. Потребление нефти в Китае за 40 последних лет, увеличилось более чем в 25 раз. Помимо этого, сегодня в стране расположены самые крупнейшие в мире ГЭС, например, самая мощная «Три ущелья» с бетонной плотиной высотой 185 м мощностью 22,5 ГВт (фотореферент некоторых из них дан в Приложении ПЗ). В настоящее время в КНР имеется большая программа строительства АЭС, благодаря чему доля гидро-, атомной и ветроэнергетики в общем потреблении возросла примерно до 3,9 %. В 2019 г. в Китае на искусственном озере в провинции Айхонь открылась самая большая плавучая солнечная «ферма» в мире. На крупных реках уже сформированы относительно полные системы защиты от наводнений, поэтому необходимо проектировать и разрабатывать новые инновационные и проверенные решения, позволяющие быстро сбросить избыток воды, для исключения значительного ущерба для обычно сильно заселённого нижнего бьефа.

Ярким представителем современной китайской гидротехники является Центральный канал переброски воды с юга на север, включающий три маршрута. Общая протяженность его к 2050 г. составит 1264 км. На начальном этапе к Пекину будут перебрасываться дополнительно 9,5 млрд. кубометров пресной воды, к 2030 г. эта цифра вырастет до 12...13 млрд. м³ в средние (не

засушливые) годы. Начиная с 2003 г. уже переселено с начала строительства до 330 тыс. чел. Центральный маршрут, снабжающий водой столицу страны, начинающийся в водохранилище Даныцзянкоу, начал работать в 2014 г. Восточная нитка проекта начала функционировать в 2013 г. Забор воды в рамках этого маршрута осуществляется в провинции Цзянсу (Восточный Китай), а западный маршрут еще предстоит построить. После того, как проект будет завершен, каждый год на север Китая будут перебрасываться объемы воды, равные "второй Хуанхэ". Таким образом, в настоящее время в Китае в связи с интенсивным экономическим развитием страны ведется большое гидротехническое строительство, и здесь как нигде необходимы высоко квалифицированные гидротехники и мелиораторы-строители.

В основу учебного пособия положены сведения по проблемам, возникающим при освоении учебных программ основных гидротехнических дисциплин для бакалавров и магистров, составленных на кафедре гидротехнических сооружений РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева за последние 2...14 лет, содержащихся в учебных пособиях по гидротехническим сооружениям (ГТС), изданных на кафедре, учебниках, справочниках и другой современной научно-технической литературе. Пособие предназначено для помощи всем иностранным студентам, обучающимся в ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева по программе совместного обучения при изучении ими дисциплин учебного плана, связанных с гидротехническим строительством, и рассчитано на подготовку не только высококвалифицированных бакалавров, инженеров и магистров наук, но будет служить им в помощь и в освоении профессиональных дисциплин в аспирантуре.

Нередко учебники и учебные пособия, изданные в РФ и даже ранее в СССР, имеют глубокую теоретическую основу и слишком сложны для иностранных студентов при обучении, например, в бакалавриате. Поэтому существует настоятельная необходимость в изложении основных положений гидротехники в простых понятиях, доступных для восприятия китайскими

студентами с представлением достаточного количества иллюстраций. Это не исключает одновременного освоения дисциплин учебного плана по существующим учебникам.

К пособию прилагается русско-китайский гидротехнический словарь, содержащий общенаучную лексику и терминологию по гидротехнике. Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Строительство» 08.03.01 (уровень бакалавриатуры) и 08.04.01 (уровень магистратуры) по направлению «Речные и подземные гидротехнические сооружения», изучающих курсы «Основы проектирования гидротехнических сооружений», «Инженерная защита застраиваемых территорий», «Ремонт и реконструкция ГТС», «Гидросооружения общего назначения», «Фильтрационные расчёты гидротехнических сооружений», «Регулирование речного потока с помощью ГТС», «Эксплуатация, ремонт и реконструкция гидросооружений», «Гидросооружения водного транспорта», «Речные гидроузлы и гидротехнические сооружения», «Инженерная защита территорий при создании водохранилищ», «Эксплуатация и безопасность гидротехнических сооружений» и др., а также может быть использовано студентами других направлений по специальностям мелиоративного и строительного профиля, магистрами, аспирантами и инженерами-гидротехниками.

При написании пособия были использованы материалы лекций по дисциплинам «Основы проектирования объектов природообустройства и водопользования» доц., к.т.н. Черных О.Н., «Введение в гидротехнику» доц., к.т.н. А.Г. Журавлёвой, выпускной квалификационной работы магистра техники и технологии Фэн Нань, выполненной под её руководством, а также литературой из библиографического списка 31 названия, приведённого в конце учебного пособия.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ В ГИДРОТЕХНИКЕ

Гидротехника - это отрасль науки и техники, которая занимается изучением водных ресурсов, их охраной и эффективным использованием для нужд экономики страны, борьбой с разрушительным действием вод с помощью специальных гидротехнических сооружений.

Водные ресурсы - это запасы поверхностных и подземных вод, находящихся в водных объектах, которые используются или могут быть использованы: реки, озёра, моря, каналы, водохранилища, подземные воды.

Водный объект (ВО) – природный или искусственный водоём, водоток либо иной объект, постоянное или временное сосредоточение вод в котором имеет характерные формы и признаки водного режима.

Выбор типа гидротехнического сооружения (ГТС) зависит от его назначения, климата района строительства, рельефа местности, наличия и свойств грунтов, характеристик ВО. Сочетание этих условий может быть очень разнообразным, что нужно учитывать для правильного выбора материалов для строительства ГТС, назначения их размеров, выбора способов строительства с целью получения максимального экономического эффекта и наименьшего экологического ущерба [1 - 7].

Главная особенность работы гидротехников - возведение сооружений ведется там, где непрерывно присутствует и течет вода и их нужно защищать от её воздействия, как во время строительства, так и в период их длительной эксплуатации. Аварии на ГТС ведут к катастрофическим последствиям для целых регионов - в случаях их возникновения могут погибнуть тысячи людей. Поэтому каждый гидротехник должен обладать глубокими знаниями, широкой эрудицией во многих областях знаний. Гидротехники проводят многосторонние исследования и расчеты сооружений ещё на этапах их проектирования, а также во времени и после строительства: гидравлические, фильтрационные, прочности, устойчивости и другие.

Гидротехнические сооружения (ГТС) - это сооружения для использования водных ресурсов, а также для борьбы с вредным воздействием вод.

Гидроузлом называют комплекс ГТС, объединенных по расположению и целям их работы. Гидроузлы бывают различного назначения: энергетического; ирригационного (для орошения); транспортного; рекреационного (для организации зон отдыха); для рыбозаведения; для борьбы с наводнениями; для водоснабжения и др. Для наибольшей эффективности использования водных ресурсов создают гидроузлы комплексного назначения, то есть для решения задач нескольких отраслей водного хозяйства. Во всех случаях создания гидроузлов на реках требуется создание водохранилища путем строительства плотины и регулирования стока реки. Разница заключается в различном использовании ёмкости этого водохранилища.

Расчетными уровнями водохранилища являются:

НПУ - нормальный подпорный уровень воды, выше которого наполнение водохранилища не допускается (кроме периода паводка);

ФПУ - форсированный подпорный уровень воды, который может быть достигнут только во время паводка;

УМО - уровень мертвого объема водохранилища - уровень, ниже которого водохранилище не спускается в условиях нормальной эксплуатации.

Объем воды между отметками дна реки и УМО называется мертвым объемом, между отметками УМО и НПУ - полезной емкостью водохранилища, а между отметками НПУ и ФПУ - емкостью форсировки.

Водное пространство (акватория) с верховой стороны плотины носит название верхний бьеф (**ВБ**), а с низовой стороны - нижний бьеф (**НБ**) (рис. 1.1). В некоторых редких случаях вода в нижнем бьефе периодически может отсутствовать.

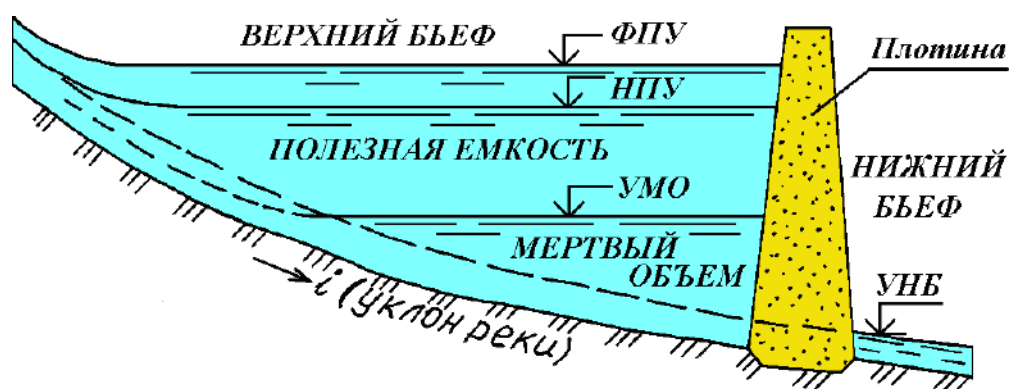


Рис. 1.1. Схема водохранилища, созданного плотиной с характерными уровнями воды

1.1. Задачи гидротехники

Водное хозяйство является важной сферой экономики страны. Гидротехника по сравнению с другими отраслями строительства характеризуется наибольшей сложностью. С первых шагов на Земле человек понял, что вода – необходимое условие жизни. Следы древнейших цивилизаций обнаружены на берегах рек: Хуанхэ, Тигра, Евфрата, Нила, Инда и др. На протяжении нескольких тысячелетий люди осваивали гидротехнику, и в настоящее время она достигла высокого уровня развития. Об этом свидетельствуют гигантские плотины высотой более 300 метров, построенные людьми. В водохозяйственном комплексе любой страны особо важное место занимают водные объекты (ВО) и гидротехнические сооружения (ГТС).

Мелиоративные ГТС, предназначенные для орошения, осушения и обводнения земель являются составной частью агроландшафта и территориально объединяются в гидросистему. Мелиорируемые земли – земли, сельскохозяйственного назначения, обслуживаемые **мелиоративной системой (МС)** - орошаемые и осушаемые земли. В мире мелиорируемые земли составляют 31% от площади пашни, из них: орошаемые – 18,3%, осушаемые 12,7%. В России сегодня таких земель очень мало - 7,9% от площади пашни, а в США – 39%, Китай – 44,7%, Англия – 80%, правда, в Англии, в основном, земли осушаемые. Доля орошаемых земель: в России – 4,2%, Китай - 40%, США- 12,5 %.

Мелиоративные системы (МС) представляют собой природно-технологические комплексы взаимосвязанных ГТС и других устройств (каналы, коллекторы, трубопроводы, водохранилища, плотины, дамбы, насосные станции, водозаборы и т.д.), которые обеспечивают создание оптимального водного, воздушного, теплового и питательного режимов почв на мелиорированных землях (рис. 1.2). Общее количество ГТС на МС в России составляет на данный момент 1 млн. 918 тыс. шт. [5, 7, 19, 26]. К ним относятся 250 водохранилищ, 2201 регулирующих гидроузлов, 499 водозаборных сооружений, 29000 км каналов оросительных систем и 13700 км каналов осушительных систем, 5347 км трубопроводов, 1661 насосных станций, 9253 сетевых ГТС на оросительных системах, 5570 регуляторов и других объектов.

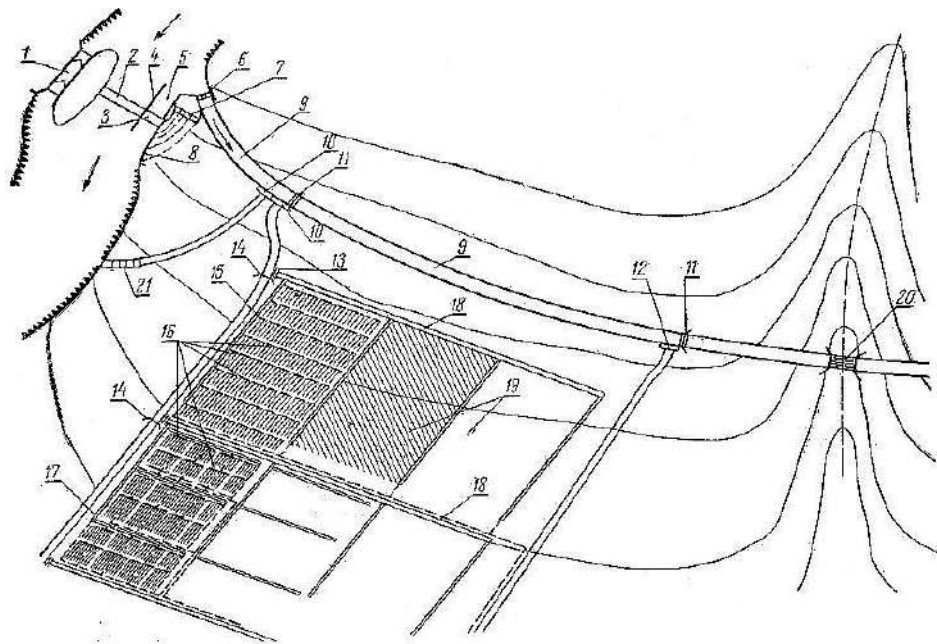


Рис. 1.2. Схема расположения ГТС на оросительной сети [22]: 1 – судоходный шлюз; 2 – плотина; 3 – промывной пролёт плотины; 4 – разделяющая стенка; 5 – отстойник-карман; 6 – головное сооружение оросительной системы; 7 – ГЭС; 8 – берегоукрепительное сооружение; 9 – магистральный канал (МК); 10 – сбросное сооружение; 11 – подпорное сооружение на МК; 12 – регулятор межхозяйственного распределителя; 13 – регулятор хозяйственного и участкового распределителя; 14 – подпорное сооружение межхозяйственного распределителя; 15 – временный ороситель; 16 – выводные борозды с сифонами; 17 – сбросной канал; 18 – хозяйственный или участковый РК; 19 – поливной участок; 20 – акведук или дюкер; 21 – перепад на быстротоке

1.2. Общие сведения о проектировании гидротехнических сооружений

Чтобы построить ГТС необходимо сначала изучить водный объект (ВО), квалифицированно проанализировать все данные о нём, получить расчётные характеристики, от которых зависят выбор конструкции и размер ГТС. Также решение зависит от рельефа местности, то есть от **топографии**, наличия грунтов – **геологии**, характеристик водного источника – **гидрологии**, от климата и назначения объекта. Для достижения наибольшего экономического эффекта и наименьшего экологического ущерба важно учитывать вкуче все эти условия. **Гидрология** делится на два больших раздела: гидрология суши, или просто гидрология, и океанология – гидрология океанов и морей.

Гидрология суши включает в себя следующий состав научных дисциплин: инженерная гидрология, гидрометрия, гидрография, гидрогеология. **Гидрометрия** занимается методами измерений и наблюдений на ВО. **Гидрография** занимается описанием ВО, выявлением закономерностей географического распределения вод. **Гидрогеология** – отрасль геологии, занимающаяся подземными водами, их взаимодействием с горными породами.

Очень важны подробно проведённые **геологические изыскания** (地质调查), поскольку основания ГТС должно обеспечить допустимые для конкретных конструкций ГТС их прочность и устойчивость, неравномерности осадок и горизонтальных смещений. **Основанием ГТС** называют область естественного массива горных пород или грунтов, которая с ним контактирует, взаимодействует и вовлекается в совместную работу. Основания могут быть *скальными, полускальными и нескальными*. В результате геологических изысканий (рис. 1.3) выявляют: *состав* – перечень минералов, составляющих породу; *структуру* – размер, форма и количественное соотношение слагающих породу частиц; *текстуру* – пространственное расположение элементов грунта, определяющее его строение.



а



б

Рис. 1.3. Геологические работы (а) и вид песчаного грунта (б)

Горной породой называют совокупность минералов, которая характеризуется составом, структурой и текстурой. Все грунты разделяются на: *естественные* – магматические, осадочные, метаморфические и *искусственные* – уплотненные, закрепленные в естественном состоянии. По производству работ они могут быть насыпные и намывные. **Грунтом** называют любую горную породу, используемую при строительстве в качестве основания сооружения, среды, в которой сооружение возводится или материала для ГТС. Общий вид основных грунтов приведён в приложении П2. Скальные основания сложены прочными горными породами, имеют жёсткие связи между зёрнами и слабо деформируются. По происхождению их делят на: *магматические* – гранит (花岗岩), диорит (品种闪长岩), сиенит, габбро, трахит, порфир, диабаз (辉绿岩), базальт, туф и др.; *метаморфические* – гнейс, кварцит, сланцы, мрамор, яшма и др.; *осадочные* – цементированные (конгломерат, брекчия, песчаник, алевролит, аргиллит и др.), химические и биохимические (опока, трепел, известняк, доломит, мел, гипс, мергель, каменная соль и др.).

В гидросфере содержится 1,34 миллиарда кубических километров воды. В эти запасы входят моря, океаны, а также ледники Антарктиды. В настоящее время на каждого жителя планеты приходится 300 миллиардов км³ воды. На пресную воду приходится 1200 км³. Солёная вода составляет 94% всей воды на Земном шаре, 4% - подземные воды, 1,65% - вода в виде льда. Объём воды в реках составляет 0,0001% всей воды. Для жизни людей нужна в основном **речная или озёрная**, то есть пресная вода. Именно без неё невозможна биологическая жизнь и хозяйственная деятельность. Реки должны быть достаточно многоводными для водоснабжения, и вода должна в странах озабочены проблемой нехватки воды. Около 60% всей поверхности Земли – это зоны, страдающие от отсутствия или недостатка пресной воды. Подчиняя себе природу, люди часто забывают о том, что нарушение природного равновесия ведёт к экологической катастрофе. Поэтому при использовании водных ресурсов в первую очередь необходимо заботиться об **экологии**. В экологические изыскания (环境调查) входит изучение растительности (植被研究), животного мира (动物世界的研究), исследования источников загрязнения (污染源研究.). Нельзя строить ГТС, не имея результатов многокомпонентной научной экспертизы водного объекта.

Можно выделить следующие **этапы проектирования ГТС**:

1. Изыскания (调查) - получение данных о природных условиях и местах расположения сооружений (рис. 1.4):

- о рельефе местности (地形地势),
- о геологическом строении (地质成分),
- о гидрологических условиях водотока (水道的水文条件),
- о климате района строительства (气候),
- об экономико-производственных условиях (经济和生产条件),
- о социальных и других условиях (社会条件).



Рис. 1.4. Геодезические изыскания: а - геодезический прибор (大地測量装置); б - практика по геодезии студентов РГАУ-МСХА

Изыскания нужны для получения данных об объекте (资料, 数据 (工程资料)), необходимых для решения основных вопросов, связанных с проектированием (设计, 规划) (рис. 1.5), строительством (水利建筑, 水利工程) и эксплуатацией сооружений (操作).

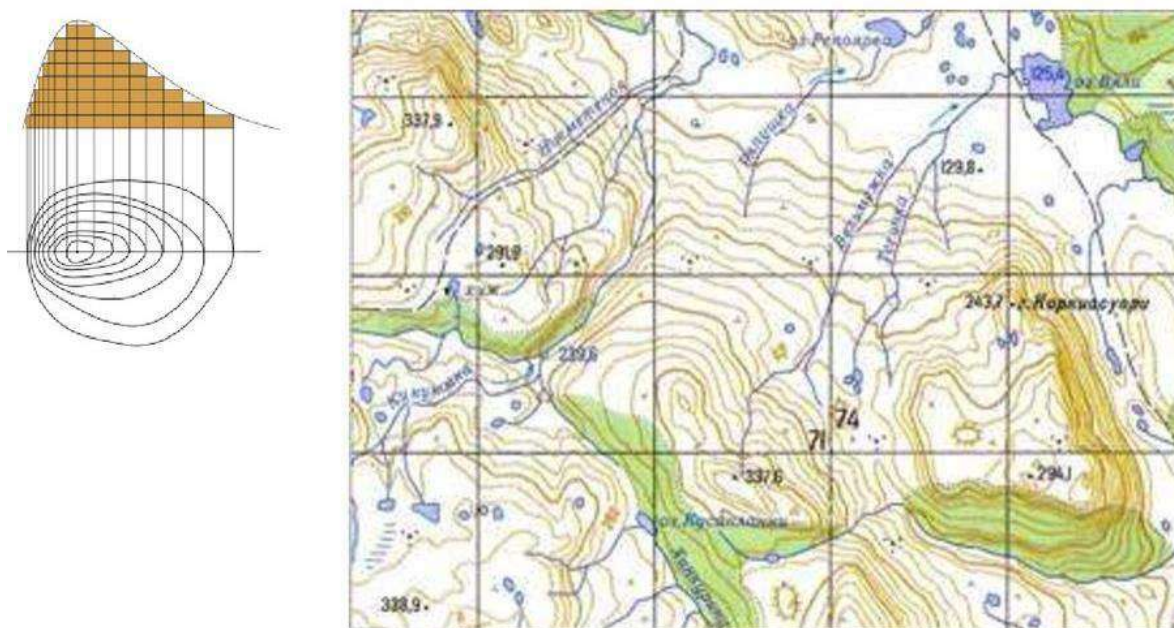


Рис. 1.5. Карта с горизонталями местности (等高线 ; 横切线 , 水平线)

2. Проектирование (设计) - на основе данных изысканий и назначения ГТС получение:

- основных типов и размеров сооружений (设施类型), необходимых строительных материалов (建筑材料),

- методов строительства (施工方法),
- необходимого оборудования (设备),
- составление схем и конструктивных чертежей (结构图),
- определение экономических показателей объекта строительства (经济表现),
- прогноз социальных и экологических последствий строительства (社会后果, 环境影响).

3. Строительство (施工) - организация и производство строительных работ

(水利建筑, 水利工程) по возведению сооружений (组织和生产建筑工程):

- подготовка территории (现场准备),
- закупка строительных машин (购买建筑机械), механизмов и оборудования,
- проведение всех требуемых работ (工作绩效), монтаж оборудования (安装设备),
- демонтаж строительного оборудования и временных устройств, сдача объекта в эксплуатацию (交付操作).

4. Эксплуатация (操作) строящегося и сданного в эксплуатацию объекта:

- управление работой (管理层) с учетом требований, заложенных в проекте,
- надзор (监督) за состоянием сооружений и оборудования,
- текущий (维护) и капитальный ремонты (大修) сооружений (维修).

Различают следующие **стадии проектирования ГТС:**

1. Стадия обоснований инвестиций (投资的理由):

- Оценивают экономический эффект (作用; 效应, 效果 (经济效益)).
- Оценивают экологические последствия (环境影响).

2. Проект строительства (设计, 规划):

- Определяются параметры сооружений (参数, 参变数).
- Объемы работ (工作量).
- Строительные материалы (建筑材料).
- Составляется конструкторская документация (设计, 结构, 构造).

3. Рабочая документация (工作文档) (рис. 1.6).

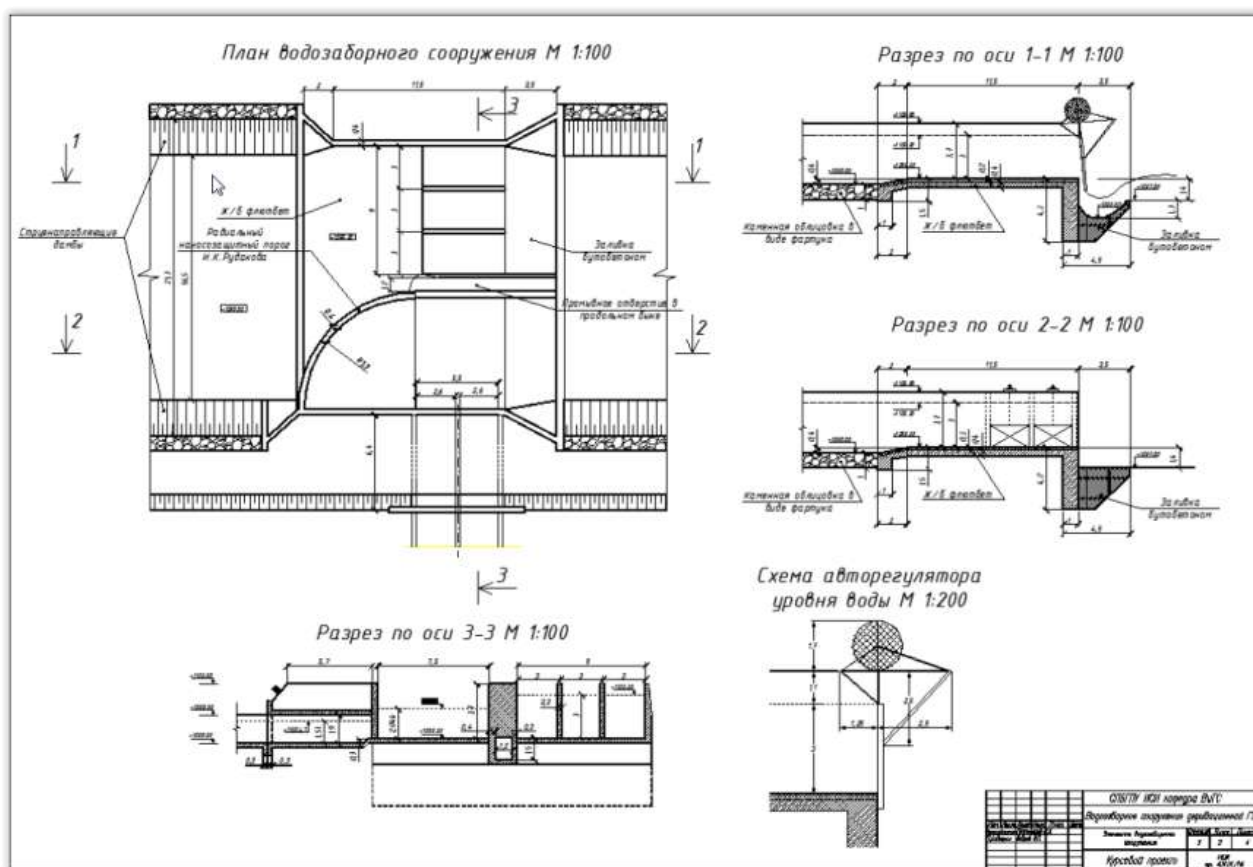


Рис. 1.6. Пример детального чертежа ГТС

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОДНЫХ РЕСУРСАХ И ОБЪЕКТАХ

2.1. Использование водных ресурсов

Гидротехника напрямую связана с понятием «водные ресурсы». Вся вода, находящаяся в водных объектах, подразделяется на две группы: *поверхностные и подземные* воды. К поверхностным водным ресурсам (объектам) относятся: **водотоки** (реки, ручьи, каналы) и **водоемы** (озера, водохранилища, пруды, моря, океаны, болота и ледники).

Водное хозяйство - это отрасль народного хозяйства, охватывающая учёт, изучение, использование, охрану водных ресурсов, а также борьбу с вредным действием вод. Водные ресурсы используются человеком в следующих отраслях водного хозяйства:

- гидроэнергетика;
- водный транспорт;
- водоснабжение и водоотведение в городах и населенных пунктах;
- гидромелиорация, в том числе орошение, осушение и обводнение сельскохозяйственных земель;
- рыбоводство;
- рекреация;
- регулирование рек и борьба с паводками.

Водный транспорт делится на судоходство и лесосплав.

Все отрасли водного хозяйства являются либо **водопотребителями**, либо **водопользователями**. *Водопотребители* потребляют воду либо безвозвратно, либо так, что её после использования необходимо очищать - к ним относятся системы орошения, обводнения, питьевого и технического водоснабжения. *Водопользователи* потребляют воду не безвозвратно, не портят её, используют водную среду или энергию воды, к ним относятся гидроэнергетика, водный транспорт, рыбоводство. Комплексное использование водных ресурсов позволяет обеспечить взаимное сочетание интересов всех водопользователей и водопотребителей, достичь общего

более высокого эффекта. Использование водных ресурсов и строительство ГТС невозможно без знания явлений и процессов, которые возникают и протекают в водных объектах.

2.2. Водные объекты и протекающие в них процессы

К **водным объектам (ВО)** относятся: моря, реки, озёра, водохранилища, грунтовые воды, болота, ледники, каналы и т.д. При строительстве ГТС важно знать не только физические и химические, но и биологические законы. Непрерывный процесс циркуляции воды на Земном шаре называется **круговоротом воды в природе** (рис. 2.1).

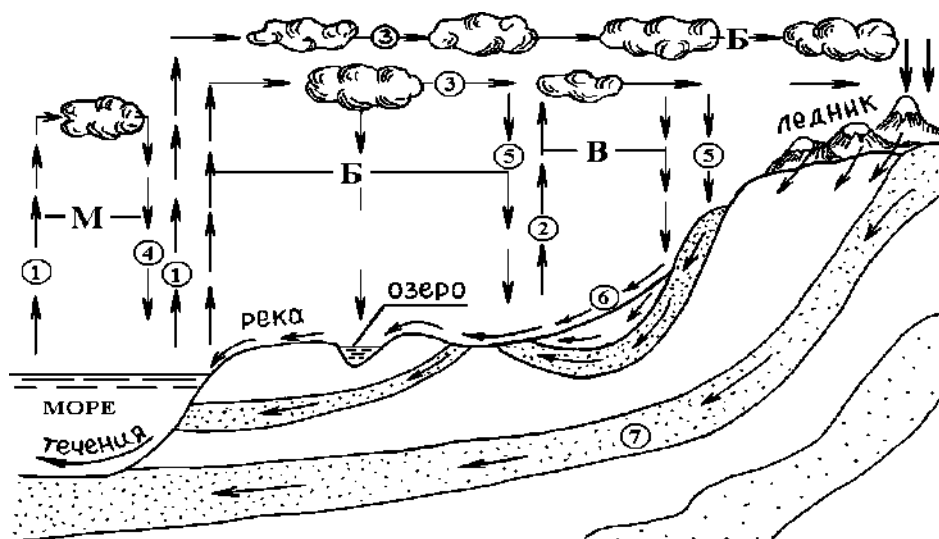


Рис. 2.1. **Внутриматериковый круговорот воды:** Б — большой круговорот; М — малый круговорот; В — внутренний круговорот; 1 и 2 — испарение с поверхности океана (моря) и суши; 3 — перемещение воды в атмосфере; 4 и 5 — выпадение осадков в океан и на сушу; 6 — поверхностный сток; 7 — подземный сток

Реки — одно из основных звеньев постоянного круговорота воды в природе, двигателем которого является солнце. Звеньями круговорота являются: океан - осадки над сушей - поверхностный и грунтовый стоки — сток в русле рек — море и снова океан. Лишь в 1684 г. Эдм Мариотт экспериментально доказал, что источником воды в ручьях, родниках и реках являются атмосферные осадки, что объём воды, выпавшей на площади бассейна реки, значительно больше годового стока этой реки и часть её

испаряется и просачивается в грунты. Реки - это очень сложные природные комплексы, образование, строение и развитие которых определяются древними и современными процессами. Важными элементами рек являются речные долины и русла (рис. 2.2).

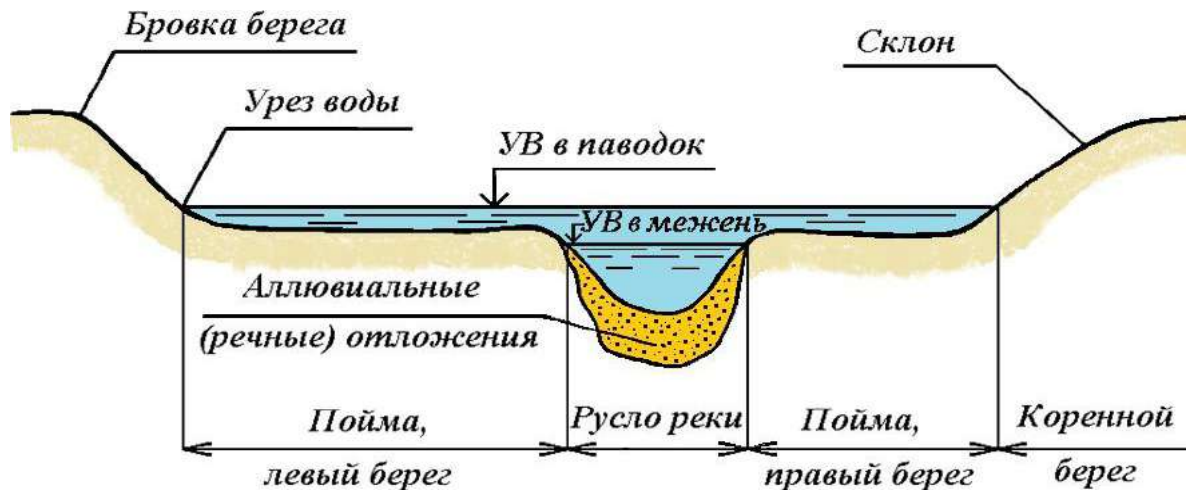


Рис. 2.2. Поперечный разрез речной долины

Речная долина - вытянутая в длину, наиболее пониженная часть рельефа, по которой стекает вода. В половодье речной поток движется по всей долине. Периодически затопляемая её часть называется **поймой**. В межень, которая длится большую часть года, сток воды идет по наиболее пониженной части долины - по речному (меженному) **руслу**. **Русло** - наиболее характерный элемент реки. Его местоположение, форма и размеры возникают в результате длительных созидательных и разрушительных воздействий речного потока. Русло является результатом русловых процессов, обеспечивающих максимальную продуктивность реки и её большое экологическое и рекреационное значение. К результатам этой деятельности относятся такие явления как:

- *эрозия*, т.е. процесс размыва грунтов и горных пород водными потоками;
- *транспортирование наносов* и их *аккумуляция*.

Наносами называются отдельные твёрдые частицы глины, песка, гравия, гальки, которые несутся потоком воды и откладываются реками в

аллювиальные отложения. Наносы, не отложившиеся в речной долине, формируют в устье реки приморские *дельты*, отличающиеся равнинным рельефом и малыми уклонами. На долинных *поймах* откладываются мелкие частицы грунта, принесённые мутной водой во время половодья, и образуется слой из супеси и суглинка (наилок), на котором растут луговые травы, кустарники, деревья, развиваются биоценозы. Обычно плодородные почвы пойм с успехом используются в сельском хозяйстве для выращивания различных культур или как заливные луга (рис. 2.3).

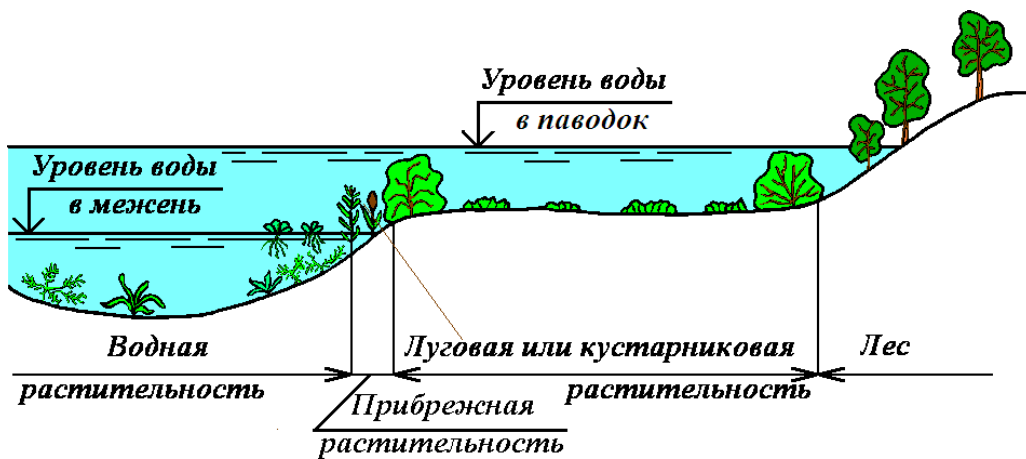


Рис. 2.3. Естественная растительность долины реки

Каждая река, озеро или море имеют свой водосборный бассейн (рис. 2.4).

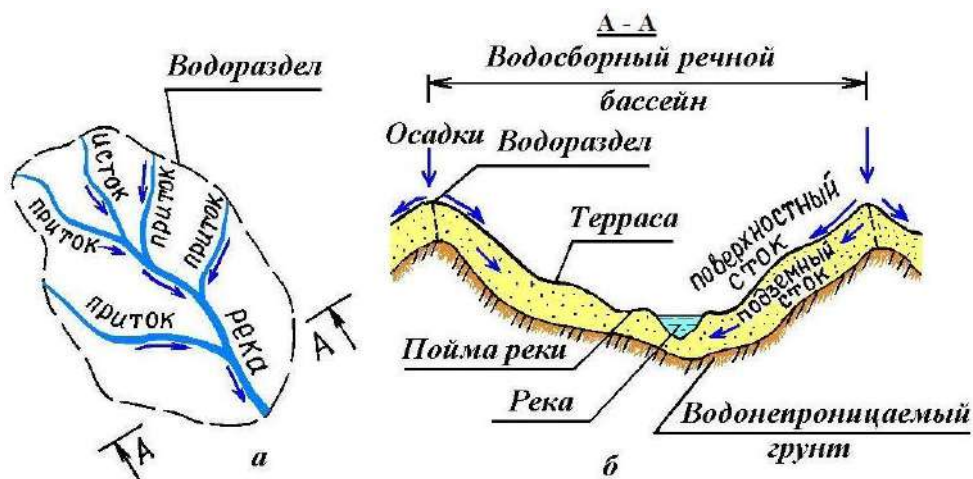


Рис. 2.4. **Водосборный бассейн реки:** а - плановая картина; б - поперечный разрез бассейна по А - А

Водосборным бассейном (водосборной площадью) называется поверхность земли, с которой вода стекает к понижению местности, например,

в реку (рис. 2.4, б). Границей водосборного бассейна является **водораздел**. Речная система напоминает разветвленное дерево (рис. 2.4, а).

Сток воды называется количество воды, стекающей с поверхности данного бассейна реки за определенное время. Вода, выпавшая в виде атмосферных осадков или вода, растаявшая из снега, частью впитывается в землю, а также поступает в русла рек двумя путями: по поверхности водосборного бассейна (поверхностный сток), а также в виде грунтовых вод (подземный сток), т.е. фильтруясь через толщу грунтов. Грунтовые воды поступают в реку, высачиваясь в виде **родников** или распределяясь на значительной площади русла (рис. 2.5). Производственная деятельность человека, которую часто называют **антропогенной**, существенно изменяет сток. К такой деятельности относится обработка почвы, орошение, осушение, создание лесных полос, потребление воды в промышленности и сельском хозяйстве.

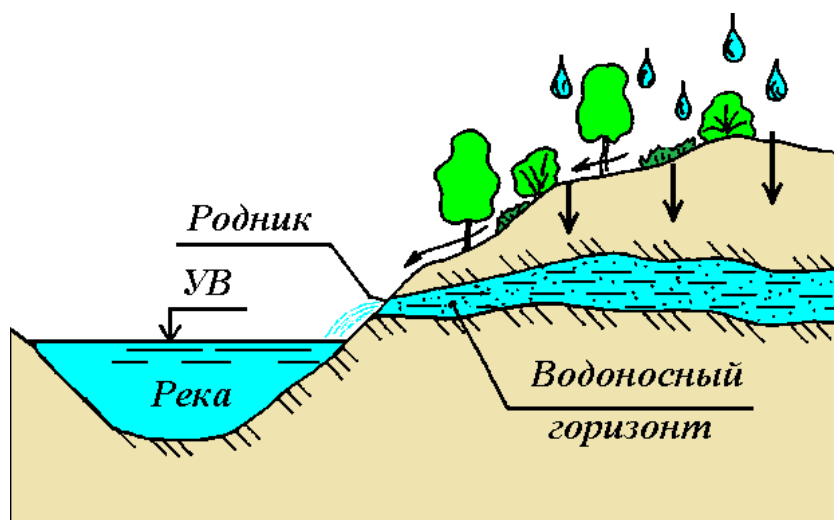


Рис. 2.5. Схема образование родника

Огромную регулирующую и водоохранную роль в пределах водосборного бассейна играет лес. Он уменьшает поверхностный сток и увеличивает долю грунтового питания. Это способствует сохранению малых рек, питающих большие реки, поэтому нужно беречь лес, не оставлять оголёнными прибрежные участки.

У в.о. различают разные временные периоды водного режима, которые зависят от времени года. В зимний период на реке выделяют следующие явления: *замерзание реки, ледостав, вскрытие реки, ледоход*. В остальное время года наблюдаются следующие фазы: *половодье, паводок, межень*.

Ледоставом называется появление ледяного покрова на реке с момента устойчивого понижения температуры воздуха ниже нуля, **ледоходом** – весенняя подвижка льда на реке в результате положительных температур подвижка льда, характеризующаяся повышением уровня воды в реке; **шугой** называется лёд, образованный внутри речного потока. Шуга может забивать русло реки и тогда выше по течению создается подпор, отчего затопливаются территории (такое явление называется зажором, или затором). **Наводнения** – большие повышения уровней воды в реке. Все они наносят огромный ущерб людям и окружающей среде, поэтому одной из задач гидротехнического строительства является уменьшение вероятности наводнений и борьба с ними.

Половодье – первая фаза водного режима реки, которая ежегодно повторяется в данных климатических условиях и характеризуется значительным повышением водности, высоким и продолжительным подъемом уровня часто с выходом воды на пойму. Пойма периодически затопляется паводковыми водами. Поэтому на пойме нельзя строить постоянные сооружения, особенно жилые дома. На равнинных реках со снеговым питанием во многих странах весеннее половодье формируется благодаря снеготаянию, на горных реках половодье формируется благодаря таянию снега в горах и на ледниках (летнее половодье).

Паводок – вторая фаза водного режима, которая может многократно повторяться в различные сезоны года и характеризуется интенсивным, обычно кратковременным, увеличением расходов и уровней воды и вызывается дождями, таянием снега и ледников (в горах). Повышение уровня воды, вызывающее стихийное бедствие называется наводнением.

Межень – третий период стока реки с малой водностью (небольшими расходами). Во время межени сток реки формируется за счет грунтовых вод и незначительных осадков.

Процесс снеготаяния, а также осадки распределены в течение года неравномерно, поэтому и объем воды, стекающей по поверхности, во времени распределен неравномерно. Также неравномерны расходы реки в течение года. Эту неравномерность можно изобразить графически в виде гидрографа (рис. 2.6). *Гидрограф* - это график изменения расходов воды в реке во времени.

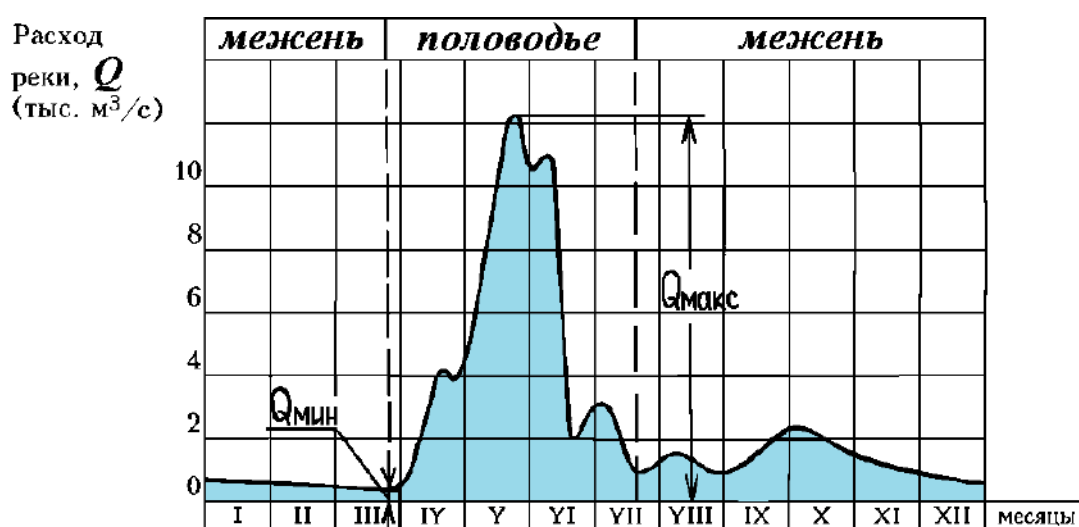


Рис. 2.6. Пример гидрографа реки с распределением стока по видам питания: 1 - гидрограф; 2 - подземный сток; 3 - поверхностный сток весеннего половодья; 4 - летне-осенний поверхностный сток

Для того чтобы целесообразно использовать реки и строить на них ГТС, необходимо изучить факторы, влияющие на образование и изменение русла. Основными гидрологическими характеристиками, важными для проектирования гидротехнических сооружений являются объекты стока, расходы, уровни воды и т.д. **Расход воды (Q)** характеризует водность реки - это объем воды, протекающей в единицу времени через поперечное сечение реки (рис. 2.7).

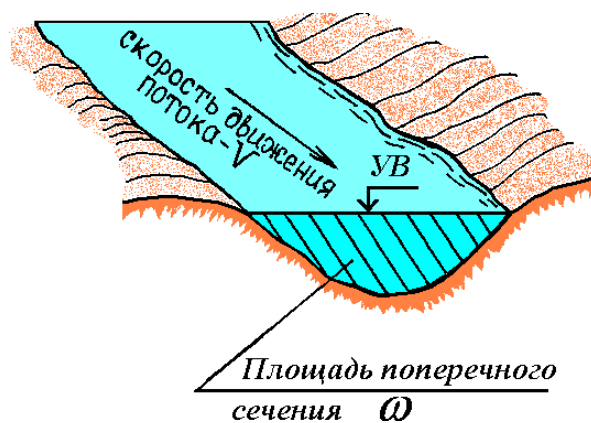


Рис. 2.7. Схема к определению расхода реки

Его можно определить по формуле $Q = \omega \times V$, где ω - площадь поперечного сечения реки, m^2 ; V - средняя скорость движения потока, m/c .

Среди расходов выделяют прежде всего **руслоформирующий расход**, благодаря которому формируется русло. За руслоформирующий расход принимается такой расход, при котором русло наполняется до поверхности поймы. В таком состоянии поток обладает наибольшей **кинетической энергией**, а также **максимальной размывающей и транспортирующей способностью**, то есть способностью формировать русло.

Другим существенным для образования и изменения русла фактором являются **наносы**, среди которых выделяют **взвешенные** и **донные** [1 – 7, 16, 30]. *Взвешенные наносы* – это мелкие наносы, которые перемещаются по всей глубине потока. *Донные* или *влекомые* наносы являются крупнозернистыми. Они не поднимаются высоко над дном реки и перемещаются потоком по донной области. Именно во взаимодействии потока воды с наносами и русловыми отложениями формируется русло реки. При этом преобладающую роль в его формировании может играть процесс отложения наносов, а может -- размыв и транспортирование их. Эти процессы могут происходить и совместно. Третьим немаловажным фактором руслообразования является наличие неразмываемых пород и искусственных сооружений. Это могут быть мосты, берегозащитные и русловыправительные сооружения. Четвёртым фактором является растительность на берегах и в русле, которую следует наблюдать и изучать. Помимо этого, важны исследование и учёт фактора

антропогенного воздействия, который является результатом хозяйственной и иной деятельности человека.

При осмотре всякой реки с высокого места, дрона или самолёта обращает на себя внимание **извилистость (меандрирование) русла**. Термин «меандр» возник по названию очень извилистой реки Малой Азии. Это слово применяется в технической литературе, когда хотят сказать, что река очень извилистая (рис. 2.8).

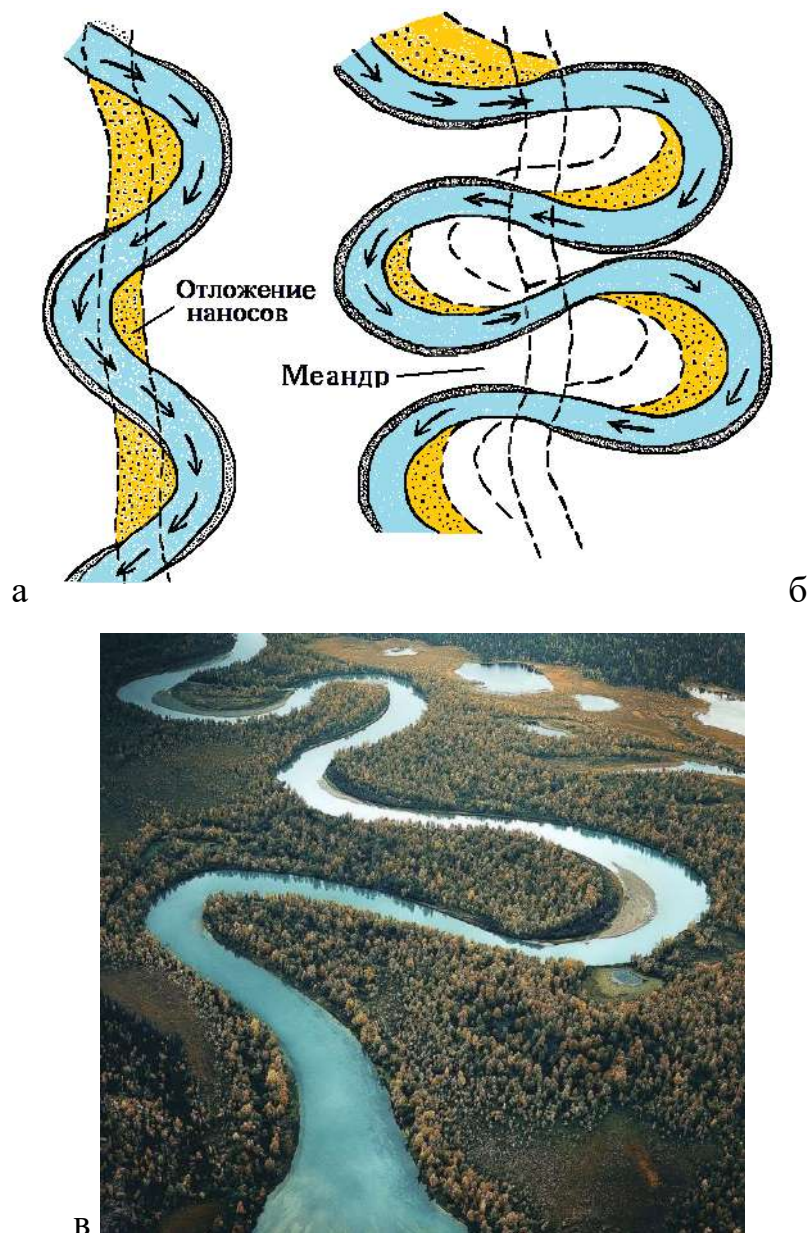


Рис. 2.8. Схема и результат появления меандрирования: а — начальная стадия; б — развитие меандра; в — вид меандрирующей реки

Основной причиной служит такое явление, как **поперечная циркуляция потока**. Она проявляется на участках реки, проходящей в легкоразмываемых грунтах, где русло изначально изогнуто в плане (рис. 2.9).

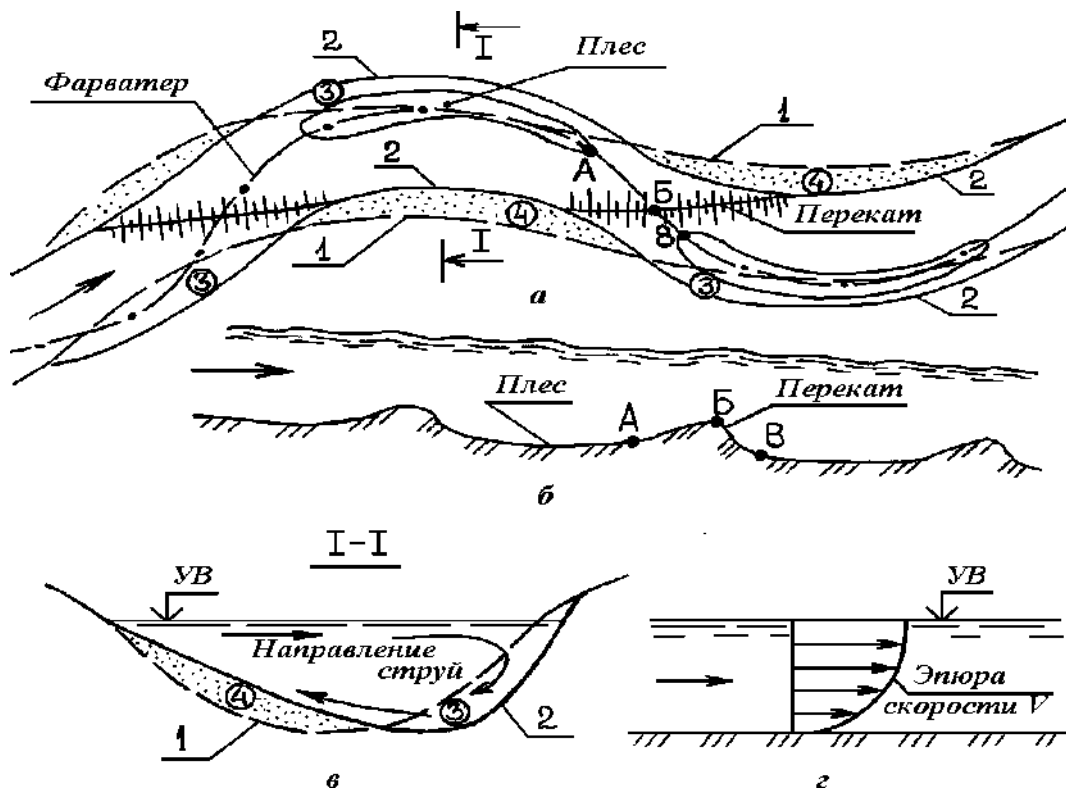


Рис. 2.9. Схема, поясняющая явление поперечной циркуляции

потока: а — план изогнутого участка реки; б — продольный разрез реки; в — поперечный разрез реки; г — распределение скоростей потока по вертикали; 1 — первоначальное положение русла реки; 2 — положение русла в результате действия поперечной циркуляции; 3 — зона размыва русла; 4 — зона отложения наносов

Поток на изогнутом участке реки расслаивается: поверхностные слои, более чистые, с большими скоростями натекают («наваливают») на вогнутый берег, опускаются по береговому откосу вниз и у дна перемещаются к выпуклому берегу. При этом они размывают берег и дно, нагружаются продуктами размыва (наносами) и перемещают их к выпуклому берегу. Струи придонной области направляются к выпуклому берегу, где скорости меньше и избыток наносов откладывается на пологих песчаных пляжах. Так появляется *спиралеобразное течение* (циркуляционное).

В результате русла многих рек меняют своё местоположение и форму, иначе можно сказать, что происходят **деформации русла**. Вследствие этого

появляются **плёсы** – участки с большой глубиной и **перекаты** – участки с малой глубиной. Возникновение перекатов затрудняет судоходство. Линию, соединяющую самые глубокие точки дна, называют **фарватером**.

Знание механизма блуждания рек и меандрирования позволяет правильно определять направленность и масштабность русловых процессов, а значит, наиболее рационально решать вопросы охраны и комплексного использования рек. Взаимодействие потока и русла происходит по принципу саморегулирующегося природного механизма. Несмотря на длительное знакомство с реками, человек не располагает достаточными знаниями о них, которые позволили бы создать общепризнанные теоретические концепции, методы инженерных расчётов и прогнозов многих гидрологических явлений.

К наименее изученным областям гидрологии относится **русловой процесс**. Деформации речного русла и поймы достигают таких размеров, что даже определяют судьбу многих сооружений в речном русле и на пойме. Причиной многих неполадок и прямых аварий на ГТС очень часто является недооценка роли русловых и пойменных деформаций. Антропогенное влияние – спрямление рек, забор грунта из них или стеснение русла, затопление или иссушение речных пойм – приводит к нарушению целостности их поверхности. При этом нельзя забывать, что река не терпит необдуманного вторжения в свою жизнь. Если нарушается одно звено в её жизни, выходят из строя и другие, и чрезвычайно трудно справиться с начавшейся «цепной реакцией». Поэтому очень важно учитывать все факторы, особенно природные, определяющие русловой процесс.

3. ВОДОПОДПОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Водоподпорными сооружениями называются сооружения, перегораживающие речное русло или долину реки и обеспечивающие создание разности уровней (напора) в удобном для использования месте. Водоподпорные сооружения часто называют *плотинами*. Она создаёт разность уровней воды за и перед плотиной, которая называется *напором*. Таким образом, перед плотиной образуется ёмкость с запасом воды – **водохранилище**.

Чтобы плотины выполняли свои функции, они должны отвечать ряду требований [9 - 12]. Прежде всего, плотины должны обладать водонепроницаемостью, то есть не допускать утечки воды из водохранилищ. Кроме того, они должны обладать прочностью, надёжностью, долговечностью. Их выполняют из разных материалов, как местных (грунт, камень, дерево и пр.) либо привозных, так и искусственных (бетон, железобетон, геосинтетика, металл, ткань и пр.). Чаще всего плотины строят из грунта и бетона/железобетона. Наконец, водоподпорные сооружения должны быть экономичными и удовлетворять требованиям технической эстетики. Плотины/дамбы могут иметь различную высоту—от нескольких метров до 200...300 м и выше.

3.1. Грунтовые плотины

Грунтовой плотиной называют водоподпорное сооружение, возводимое из мелкозернистых, крупнообломочных или искусственных грунтов [17 - 20]. Они нашли широкое распространение во всем мире в различных областях строительства (гидроэнергетическое, воднотранспортное, гидромелиоративное, системы водоснабжения, рыборазведение, борьба с наводнениями). Разновидностью грунтовых плотин являются дамбы обвалования, насыпи на каналах, валы, имеющие значительное распространение в гидромелиорации.

Достоинства грунтовых плотин:

- используется местный строительный материал, для получения которого требуются только затраты на вскрышные работы в карьерах, но они в общей стоимости сооружения незначительны;

- возведение их возможно в любых географических и в сейсмических районах, они не теряют прочности и устойчивости при любом климате;

- для возведения плотин применимы практически любые грунты;

- все процессы, связанные с укладкой грунта в плотину, могут быть механизированы;

- грунт тела плотин не теряет своих свойств со временем;

- грунтовые плотины можно возводить практически любой высоты.

Недостатки грунтовых плотин:

- невозможность сброса паводковых расходов непосредственно через плотину;

- наличие в теле плотины фильтрационного потока, потенциально создающего условия для деформации тела плотины;

- большие фильтрационные потери воды при некоторых грунтах, что заставляет применять специальные противофильтрационные устройства.

По способу производства работ грунтовые плотины подразделяются на: плотины с отсыпкой насухо пионерным способом, с механическим уплотнением грунта; с отсыпкой грунта в воду; намывные; возводимые с помощью направленных взрывов и т.д.

По конструкции тела и противофильтрационных устройств (ПФУ) различают следующие виды плотин (рис. 3.1): из однородного и неоднородного грунта, с экраном из грунтового и негрунтового материала, с диафрагмой из негрунтового материала и др.

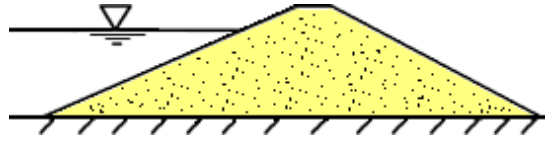
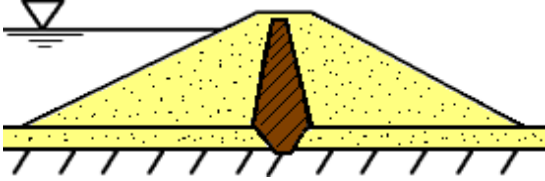

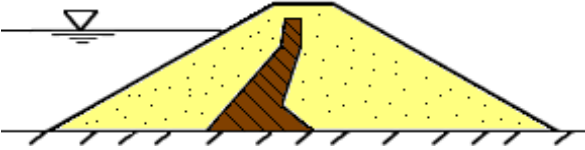
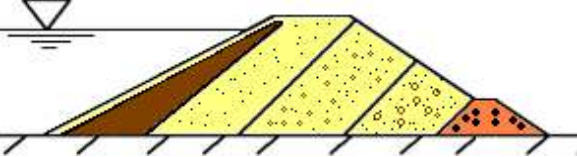
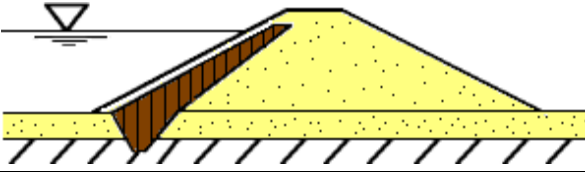
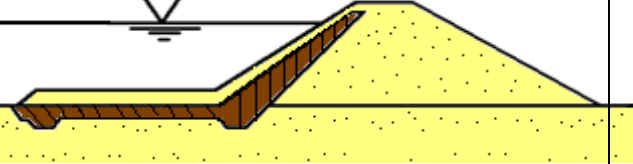
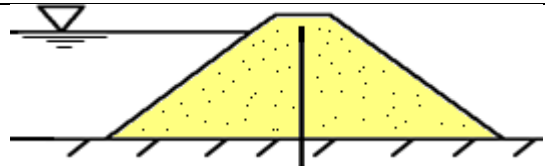
	из однородного маловодопроницаемого грунта
	с ядром и зубом (из маловодопроницаемого грунта)
	из неоднородных грунтов с ядром
	с наклонным ядром
	из неоднородных грунтов с экраном
	с экраном и зубом в основании
	с экраном и понуром (понур применяется в случаях, когда водоупор располагается на большой глубине или отсутствует)
	с диафрагмой

Рис. 3.1. Виды грунтовых насыпных плотин с разным типом ПФУ

По противофильтрационным мероприятиям в основании различают плотины: с зубом, с диафрагмой, со шпунтовой стенкой, с комбинацией шпунтовой стенки с зубом, с инъекционной завесой, с понуром и др. (рис. 3.1). Схемы сопряжения с основанием и ПФУ в основании показаны на рисунке 3.2.

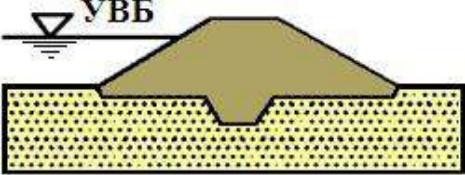
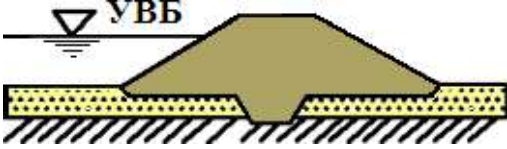
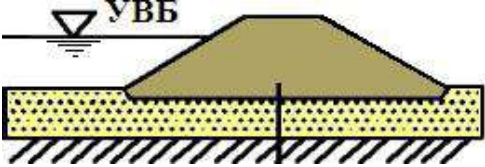
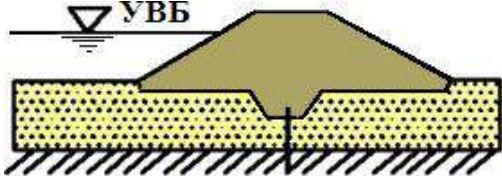
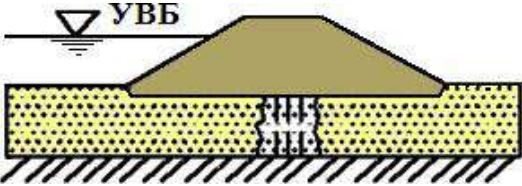
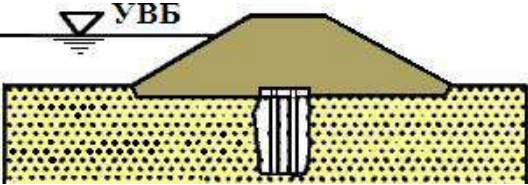
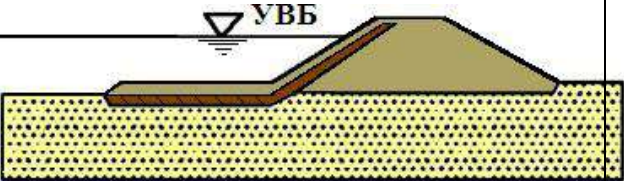
	с зубом
	с замком
	со шпунтовой стенкой
	со шпунтовой стенкой в сочетании с зубом
	с инъекционной завесой, доведенной до водоупора
	с висячей инъекционной завесой
	с понуром в сочетании с экраном

Рис. 3.2. Противофильтрационные устройства в основании грунтовых плотин

Насыпные грунтовые плотины представляют собой насыпи с поперечным профилем в виде трапеции (рис. 3.3). Их используют как водоподпорные сооружения, не допускающие перелива воды через гребень.

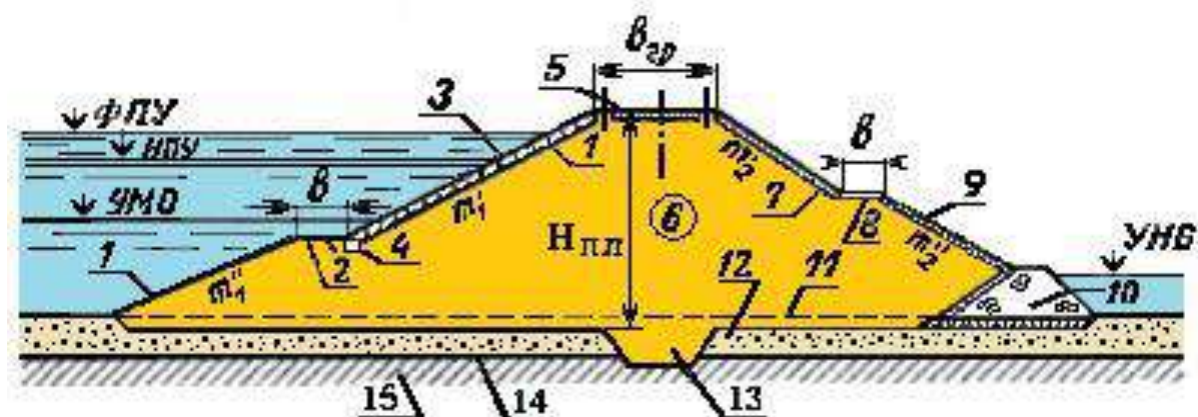


Рис. 3.3. Поперечный профиль грунтовой плотины: 1 - верховой откос; 2 - берма верхового откоса; 3 - крепление верхового откоса; 4 - упор крепления; 5 - гребень плотины; 6 - тело плотины; 7 - низовой откос; 8 - берма низового откоса; 9 - крепление низового откоса; 10 - дренажная призма; 11 - естественная поверхность грунта; 12 - основание плотины; 13 - замок; 14 - водопроницаемый слой основания; 15 - водонепроницаемый слой основания - водоупор

Отметка гребня грунтовой плотины определяется как превышение над расчетными уровнями верхнего бьефа (НПУ и ФПУ) с учетом нагона и наката ветровых волн, которые образуются в водохранилище. Превышение отметки гребня на расчетными уровнями воды в водохранилище определяется по формуле в соответствии с расчетной схемой (рис. 3.4).

$$h_s = \Delta h_{set} + h_{run1\%} + a, \quad (3.1)$$

где Δh_{set} - высота нагона; $h_{run1\%}$ - высота наката ветровых волн обеспеченностью 1%; a - конструктивный запас.

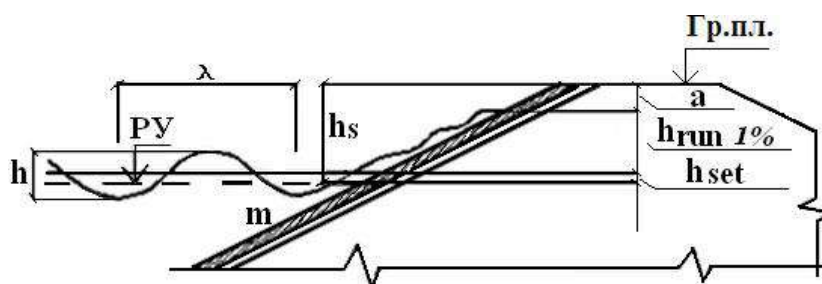


Рис. 3.4. Схема к определению отметки гребня плотины

Парапет. Парапетом называется стенка с напорной стороны гребня плотины, выполненная для защиты его от всплесков и перелива волн. Его устраивают также для экономии грунта тела плотины. Некоторые виды парапетов представлены на (рис. 3.5).

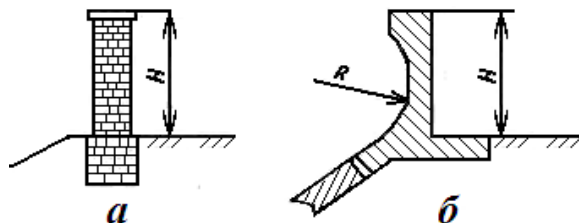


Рис. 3.5. Конструктивные схемы парапетов на гребне плотины: а - из кладки; б - бетонный парапет

В Китае достаточно часто применяются парапеты из бутовой кладки (рис. 3.6).

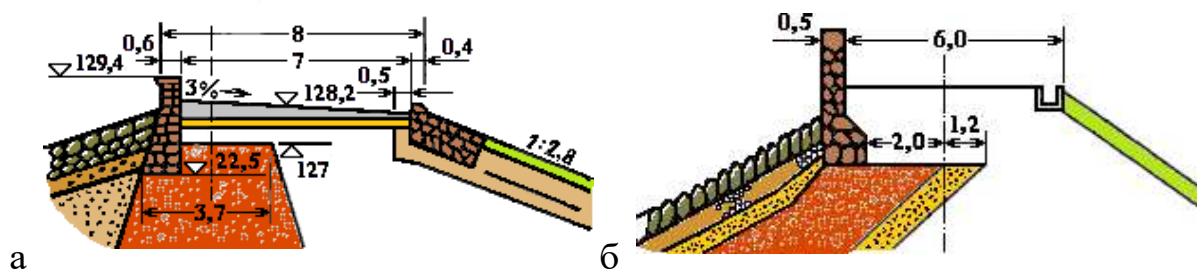
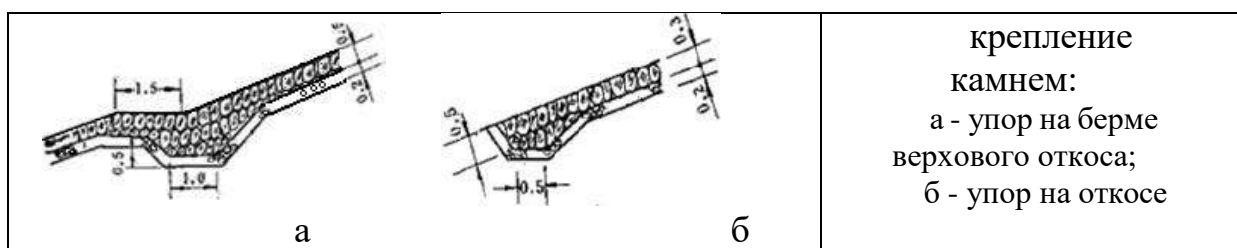


Рис. 3.6. Конструктивные схемы парапетов из бутовой кладки на гребне плотин КНР, изображённые студентами: а - Нань Вэнь; б - Линь Чэн

Крепление откосов плотины. Защитное покрытие верхового откоса выполняется из каменной наброски или мощения, бетонных или железобетонных плит, из асфальтобетона и прочих современных материалов (рис. 3.7 - 3.10).



	<p>крепление: монолитными бетонными (а) и сборными железобетонными (б) плитами</p>
	<p>отвод ливневой воды с гребня и берм низового откоса: 1 - дорога по гребню; 2 - берма на низовом откосе; 3 - кювет на берме для отвода воды; 4 - отвод воды с более высокой бермы на более низкую; 5 - канавка для сбора дождевой и профильтрованной воды</p>
	<p>узел А - крепления низового откоса с водоотводом: 1 - крепление посевом трав; 2 - кювет для сбора воды</p>

Рис. 3.7. Варианты креплений откосов плотин и дамб со схемами отвода дождевых вод

	<p>Рис. 3.8. Крепление верхового откоса грунтовой плотины Тай Хэ (КНР): железобетонными плитами, бетонный парапет</p>
	<p>Рис. 3.9. Дорога по гребню плотины из грунтовых материалов: парапет со стороны верхнего бьефа</p>



**Рис. 3.10. Крепление откосов
грунтовой плотины:** верхового камнем,
низового - посев трав по растительному слою

Особенность грунтовых плотин состоит в том, что они пропускают через себя воду. В теле плотины движется безнапорный фильтрационный поток, имеющий свободную поверхность - *депрессионную*, которую иногда называют **кривой депрессии** (рис. 3.11).

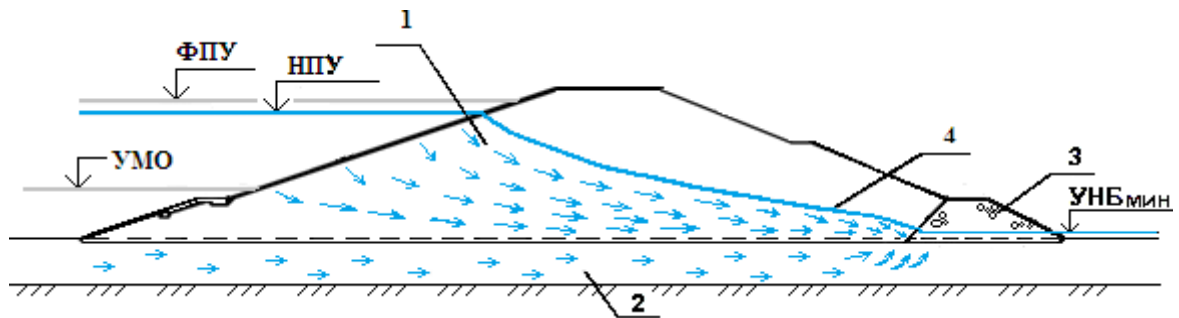


Рис. 3.11. Схема, показывающая движение фильтрационного потока в грунтовой плотине и основании: 1 - в теле плотины; 2 - в основании плотины; 3 - дренаж; 4 - кривая депрессии

Дренажи грунтовой плотины. Дренажами грунтовых плотин называют устройства, предназначенные для отвода воды и имеющие повышенную водопроницаемость по отношению к контактируемому с ним грунту. Конструктивные схемы дренажей приведены на рисунке 3.12.

	наклонный дренаж
	дренажная призма
	плоский дренаж

	<p>плоский с вертикальным (наклонным) участком в приемной части (применяется в КНР)</p>
	<p>плоский с вертикальным (наклонным) и горизонтальными участками в приемной части</p>
	<p>дренажная призма в сочетании с наклонным дренажем</p>
	<p>дренажная призма в сочетании с плоским дренажем</p>

Рис. 3.12. Виды дренажей грунтовых плотин

Задачей устройства дренажей является понижение отметок кривой депрессии, недопущение выхода фильтрационного потока на низовой откос. Это делается для того, чтобы:

- грунт, насыщенный водой не промерзал, что важно при отрицательных температурах воздуха. В случае промерзания воды в грунте, она расширяется (примерно на 11%), а при оттаивании нарушается структура и плотность грунта, что может привести к нежелательным деформациям;

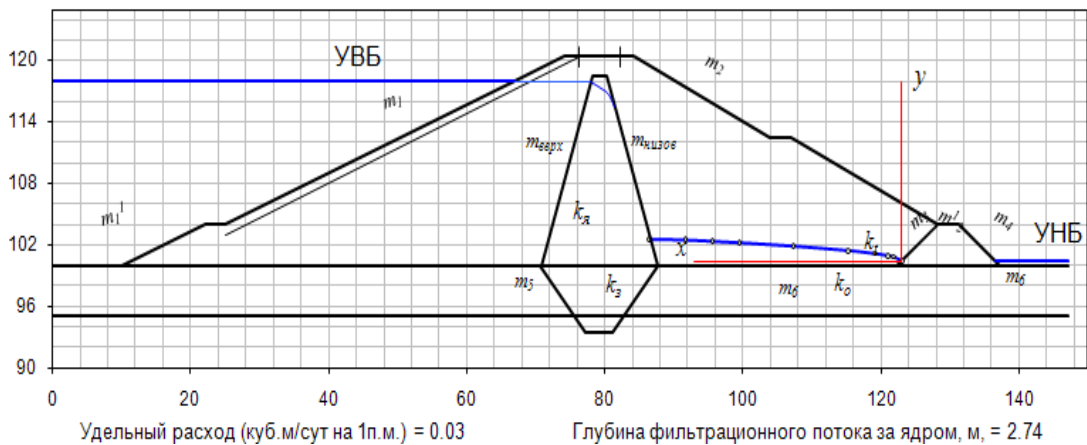
- повысить устойчивость низового откоса, так как чем более откос насыщен водой, тем он более неустойчив.

Для нахождения положения кривой депрессии используются различные методы - точные и приближенные. К приближенному гидравлическому методу относится метод эквивалентного профиля. На рисунке 3.13 показаны результаты расчета положения кривой депрессии для однородной плотины (а) и плотины с ядром (б), полученные этим методом по программному комплексу, разработанному на кафедре ГТС [17, 26 - 28], которые показывают, что наличие ядра значительно понижает кривую депрессии.



а

Фильтрационные расчеты плотины с ядром



б

Рис. 3.13. Результаты фильтрационных расчетов грунтовой плотины

(по программе Волкова В.И., МГУП) [17]: а - из однородного грунта; б - с ядром

Намывные плотины. Намывными называют плотины, доставку и укладку грунта в тело которых проводят средствами *гидромеханизации*. Преимущества намывных плотин - механизация всего процесса по разработке и укладке грунта, ведение работ при любых погодных условиях и некоторое сокращение затрат.

Намывные плотины бывают однородными и неоднородными. У однородных намывных сооружений грунт в поперечном сечении имеет одинаковый гранулометрический состав. Неоднородные намывные

сооружения – плотины и дамбы с различным гранулометрическим составом грунта в разных частях поперечного профиля (рис. 3.14).



Рис. 3.14. Схемы поперечного сечения намывных плотин

Для возведения намывных сооружений в основном применяют пески, песчано-гравийные грунты и супеси. При использовании суглинков и глин требуются сложные мероприятия по их обезвоживанию.

Механизм намыва почти всех намывных сооружений заключается в том, что в зоне, ближайшей к выпуску гидросмеси, откладываются наиболее крупные частицы грунта. По мере растекания потока по намываемой поверхности и уменьшения скорости его движения происходит выпадение всё более мелких частиц грунта, причём наименьшие из них попадают в прудок-отстойник, а некоторые уносятся вместе с сбросной водой. Такая раскладка грунта обеспечивает наибольшую прочность откоса сооружения.

Для возведения намывных сооружений применяют два вида намыва - *двухсторонний* и *односторонний*. При двухстороннем намыве (рис. 3.15) пульповоды, по которым подаётся гидросмесь, прокладывают вдоль верхового и низового откосов плотины (дамбы); гидросмесь поступает от откосов к центру плотины, где образуется прудок-отстойник. Откосы формируются в результате возведения из намываемого грунта дамб обвалования.

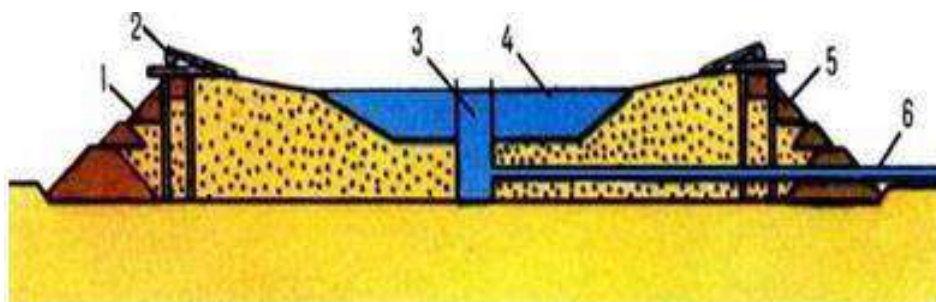


Рис. 3.15. Двухсторонний намыв плотины: 1 - дамба первичного

обвалования; 2 - пульповод; 3 - водосбросный колодец; 4 - прудок-отстойник; 5 - эстакады; 6 - водосбросная труба

При одностороннем намыве (рис. 3.16) пульповод укладывается у одного откосов плотины.

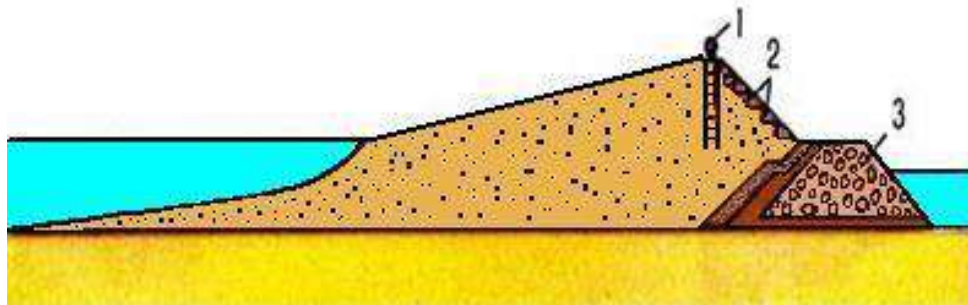


Рис. 3.16. **Односторонний намыв плотины:** 1 - пульповод; 2 - дамбы последующего обвалования; 3 - дамба первичного обвалования с обратным фильтром

Каменно-земляные плотины. Это плотины, тело которых выполнено из каменной отсыпки с противofильтрационными устройствами из грунтовых материалов. Такие плотины возводятся в основном на скальных грунтах. Их особенность - применение переходных зон от каменной отсыпки или крупнообломочных грунтов к грунтам ПФУ. Со стороны ВБ переходные зоны предназначены для предупреждения концентрации напряжений и самозалечивания возможных трещин, появляющихся в ПФУ, для недопущения просыпания мелких частиц грунта в поры каменной наброской, а также для избежания фильтрационных деформаций на контакте ПФУ с каменной наброской при резком понижении уровня воды ВБ. С низовой стороны переходные зоны необходимы для обеспечения фильтрационной прочности грунтового ядра или экрана. Подбор грунтов для переходных зон выполняется по методике, принятой для обратных фильтров [4, 14, 15, 17].

Каменно-земляные плотины по конструкции ПФУ и способу производства работ подразделяют на основные виды, представленные на рисунке 3.17.

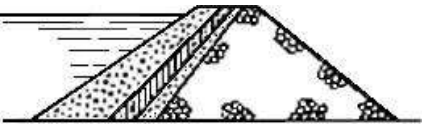

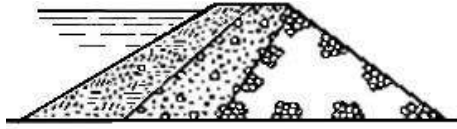

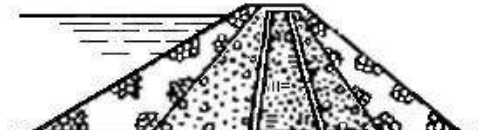
	в виде земляного экрана
	отсыпка из малопроницаемого грунта на призме каменной наброски
	на слое более проницаемого материала
	в виде центрального ядра из глины, суглинки или глинобетона
	с обсыпкой более проницаемыми материалами

Рис. 3.17. Виды каменно-земляных плотин с ПФУ

Каменно-набросные плотины. Это плотины, тело которых выполнено из камня (горной массы), уложенного в виде наброски (отсыпки), а ПФУ сделано из негрунтовых материалов. Эти плотины, как правило, возводят на скальных основаниях в районах, где камень является местным материалом, а карьерная разработка и перемещение его не встречают трудностей. По конструкции поперечного профиля и применяемым ПФУ каменно-набросные плотины подразделяют на плотины с экраном из негрунтового материала, с диафрагмой (рис. 3.18), с верховой бетонной стенкой и полунабросные. Последние два типа не находят широкого применения и могут быть использованы только в отдельных случаях, при достаточном обосновании.

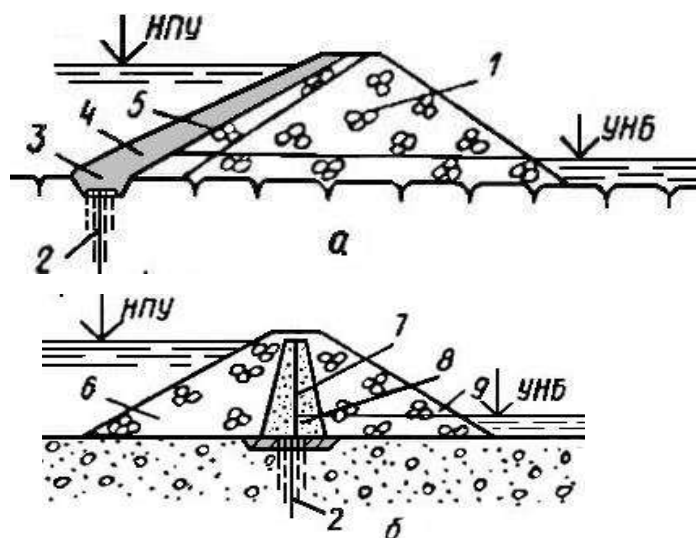


Рис. 3.18. **Виды каменно-набросных плотин:** а - плотина с

железобетонным экраном, б - плотина с диафрагмой; 1 - тело плотины; 2 - цементационная завеса; 3 - бетонный зуб; 4 - железобетонный экран; 5 - подэкрановая кладка; 6 - верховая призма; 7 - диафрагма; 8 - переходные слои; 9 - низовая призма

К преимуществам каменно-набросных плотин можно отнести: возможность возведения на скальных и нескальных основаниях; высокую проницаемость отсыпки из камня, которая является хорошим дренажем; возможность выполнения работ по отсыпке камня в независимости от погодных условий (отрицательные температуры, продолжительные дожди); возведение плотин любой высоты; отсутствие значительных затрат на эксплуатацию плотин; использование камня из полезных выемок.

Строительство каменно-набросных плотин в настоящее время осуществляют двумя способами:

- высокими ярусами (высотой до 10 м), из крупного камня, набрасываемого так называемым "пионерным способом" (из самосвалов) и уплотняемого струй воды из гидромонитора, или не уплотняемого;

- тонкими слоями (высотой 1,5...2,5 м), из относительно мелкого камня или крупнообломочного грунта, набрасываемого пионерным способом и уплотняемого мощным пневмо - или виброкатками.

Взрывонабросные плотины. Плотины из грунтовых материалов, тело которых или их основная часть возведены методом направленного взрыва породы или обрушения породы взрывом (рис. 3.19). Возведение каменно-

земляных плотин направленным взрывом допускается в благоприятных для этого метода природных условиях: в узком створе, при скальных породах берегов, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к каменным материалам плотин.

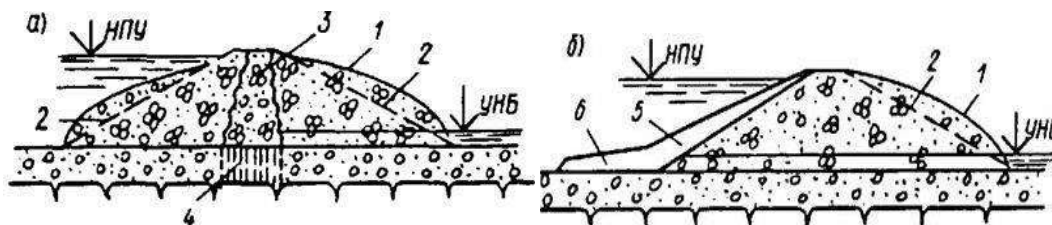


Рис. 3.19. **Виды взрывонабросных плотин:** а - плотина с инъекционным ядром, б - плотина с накладными экраном и понуром; 1 - контур навала; 2 - контур расчетного профиля; 3 - инъекционное ядро; 4 - инъекционная завеса; 5 - экран; 6 - понур

Противофильтрационные устройства этих плотин следует выполнять путем инъекции раствора в центральную призму, отсыпкой верховой слабо водопроницаемой призмы или экрана, а также из негрунтовых материалов. В проектах этих плотин надлежит предусматривать доводку сооружения до необходимых размеров. При надлежащем обосновании направленным взрывом можно возводить и однородные плотины.

3.2. Бетонные плотины

Бетонной плотиной называют водоподпорное сооружение, возводимое из бетона. Бетонные плотины на скальных основаниях бывают следующих типов (рис. 3.20):

- *гравитационные и контрфорсные* - в условиях широких створов;
- *арочно-гравитационные и арочные* - в условиях скальных ущелий (при $l_{ch}/h \leq 5$), где l_{ch} - ширина ущелья по хорде на уровне гребня плотины, h - высота плотины.

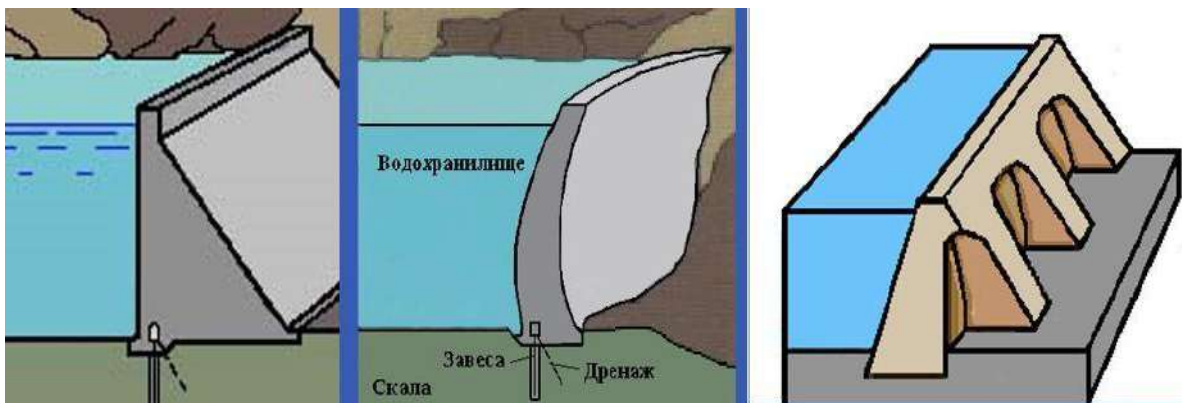


Рис. 3.20. **Бетонные плотины - 混凝土坝** а – гравитационные; б – арочные; в - контрфорсные

В зависимости от топографических и геологических условий в одном створе могут одновременно применяться плотины разных типов, например, гравитационная и контрфорсная, арочная и гравитационная и т.д. Они бывают *глухими* и *водосбросными*. Бетонные и железобетонные плотины на скальных основаниях следует проектировать, как правило, в качестве водосбросных (рис. 3.21). Для глухих участков напорного фронта бетонные и железобетонные плотины следует применять только при надлежащем обосновании.

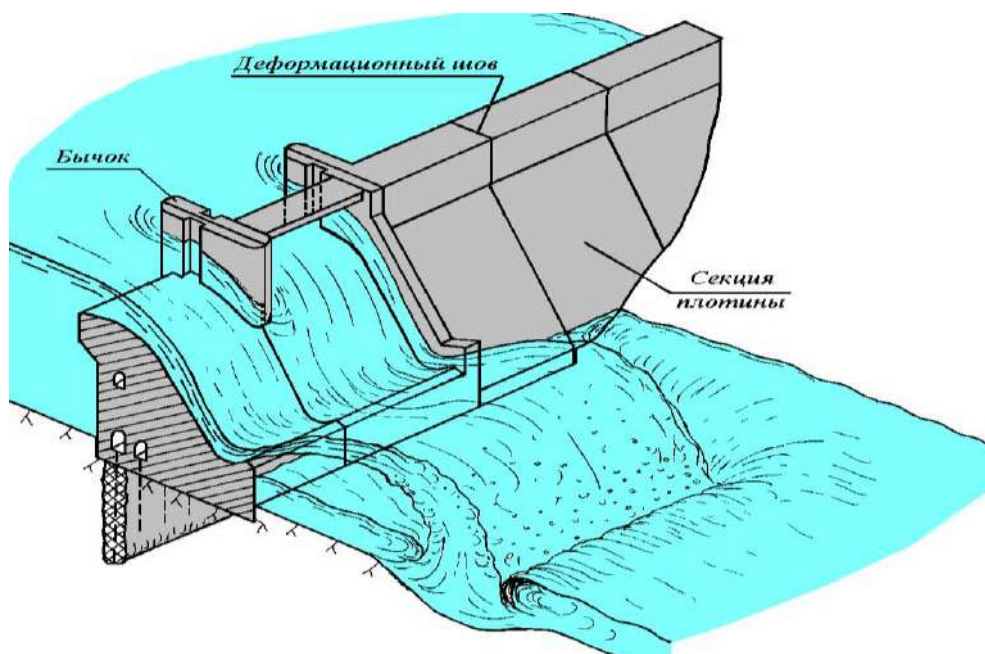


Рис. 3.21. **Бетонная плотина с глухими и водосбросными секциями**

Достоинства бетонных плотин:

- высокие темпы строительства, высокая механизация работ;

- объем тела значительно меньше, чем у грунтовых плотин;
- проще схемы пропуска расходов реки строительного периода;
- проще конструкция водопропускных сооружений;
- большая надежность плотины при переливе воды через гребень.

Недостатки бетонных плотин:

- технология строительства существенно сложнее;
- высокая стоимость тела плотины из-за дороговизны гидротехнического бетона;
- требуются механизмы высокой производительности для бетонных работ и цементации основания.

По способу возведения бетонные плотины можно разделить на: *монолитные* (砌石坝) – из монолитного бетона; *сборные* (集中的) – из сборных элементов, соединяемых сваркой и бетоном; *сборно-монолитные* – из сборных элементов, омоноличенных бетоном.

3.2.1. Гравитационные плотины

Гравитационная плотина - прямолинейная или криволинейная в плане бетонная или из каменной кладки плотина, устойчивость которой обеспечивается действием её собственного веса, передаваемым на основание (рис. 3.22). Гравитационные плотины применяются в условиях широких створов. В качестве примера современной бетонной гравитационной плотины на скальном основании, построенной в 2002-2008 гг., приведена плотина Leibis-Lichte (Германия) (рис. 3.23). Назначение гидроузла - обеспечение населения чистой водой

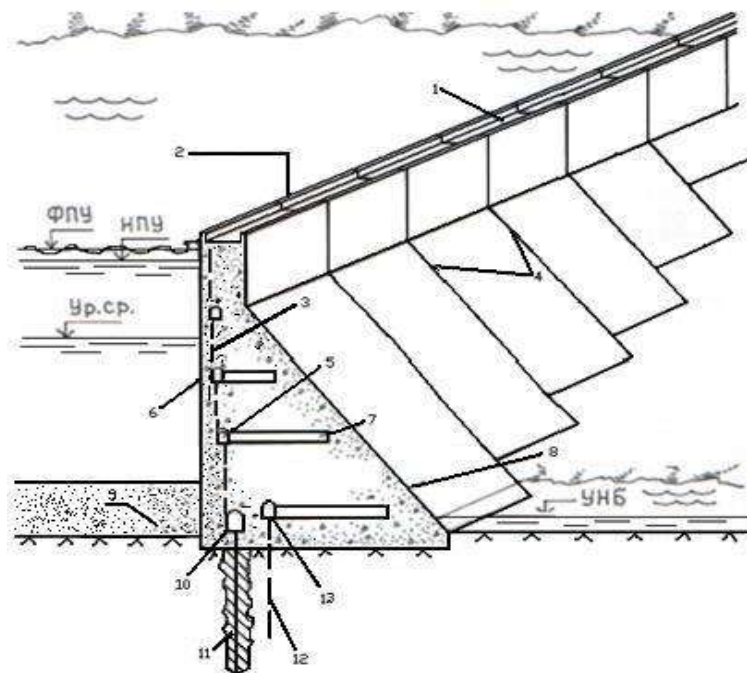


Рис. 3.22. Гравитационная бетонная плотина и её элементы: 1 - гребень плотины; 2 - парапет; 3 - дренаж тела; 4 - деформационные швы; 5 - продольная смотровая галерея; 6 - верховая грань; 7 - поперечная галерея; 8 - низовая грань; 9 - наносы; 10 - инъекционная галерея; 11 - противофильтрационная завеса; 12 - дренажные скважины в основании; 13 - дренажная галерея

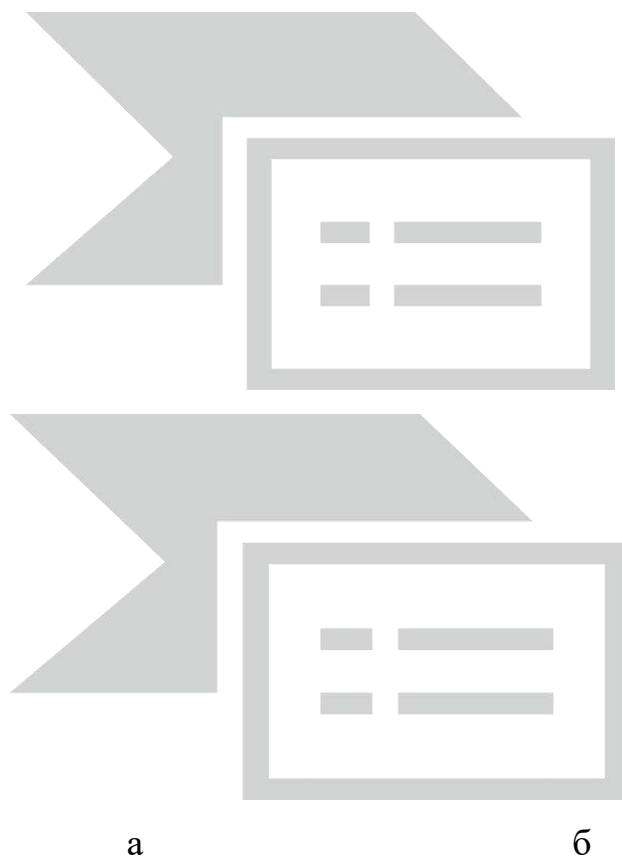


Рис. 3.23. Плотина Leibis-Lichte (Германия), высота 93,5 м, длина по гребню 372 м, толщина по гребню 9 м: а – вид макета с нижнего бьефа; б – в процессе строительства

Классическим типом гравитационной плотины являются массивные (сплошные) стены с поперечным сечением в виде треугольника (рис. 3.24а), однако для повышения экономичности строят и облегченные (рис. 3.24б-г).

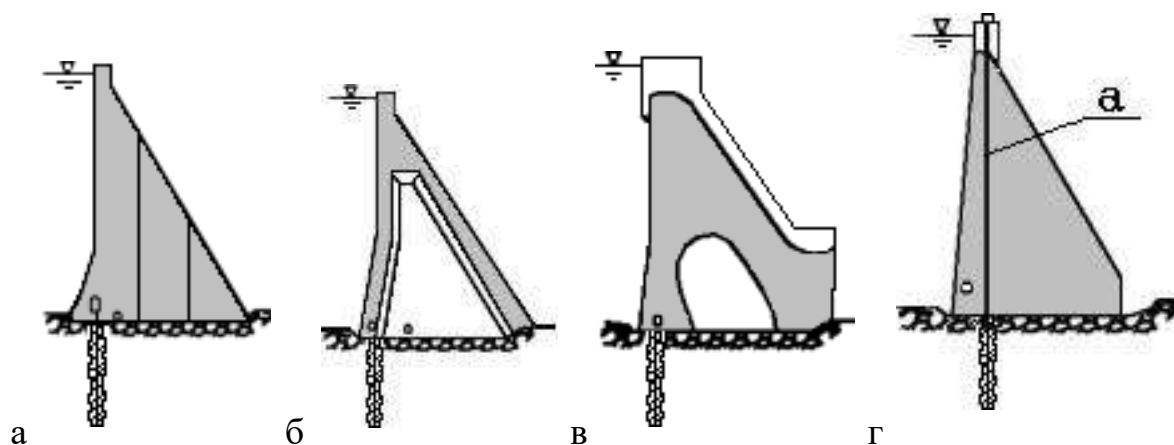


Рис. 3.24. Типы гравитационных бетонных плотин на скальных основаниях: а - массивная гравитационная; б - с расширенными швами; в - с полостями у основания; г - заанкеренная в основание (а – анкер)

Гравитационные бетонные плотины на скальных основаниях (рис. 3.25) обладают следующими характерными чертами, обусловленными свойствами основания:

- благодаря высокой сдвиговой прочности скалы они требуют меньшего объема материала, чем плотины на не скальных основаниях и, следовательно, более экономичны;
- вследствие высокой прочности и малой деформативности основания высота плотин может достигать более 300 м;
- при прочном скальном основании удельные расходы, сбрасываемые через водосбросную гравитационную плотину, достигают больших значений (до 150 ... 300 м²/с).

Противофильтрационные и дренажные устройства в основании гравитационных плотин выполняются для уменьшения фильтрационного

противодавления на плотину и фильтрационного расхода. На рисунке 3.26 показано, что без ПФУ фильтрационное противодавление на подошву плотины имеет форму треугольника, а при наличии завесы площадь эпюры уменьшается.

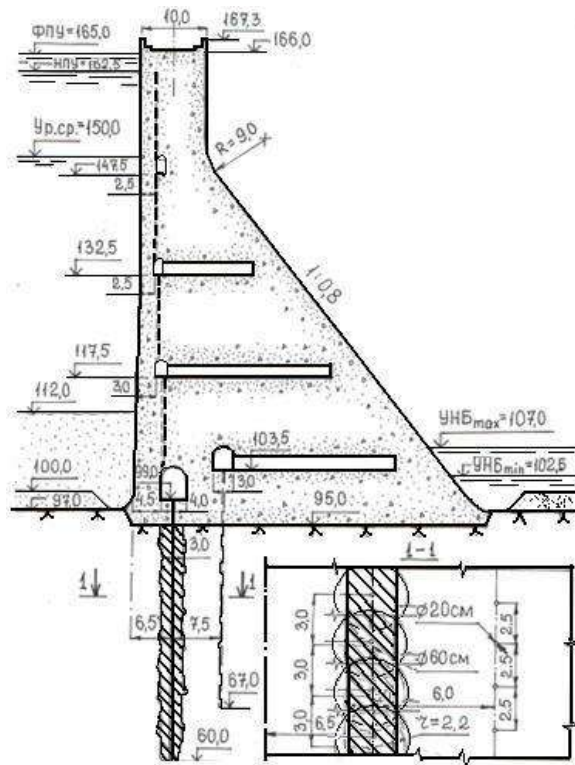


Рис. 3.25. Конструктивная схема гравитационной бетонной
ПЛОТИНЫ: 1-1 - цементационная завеса в плане

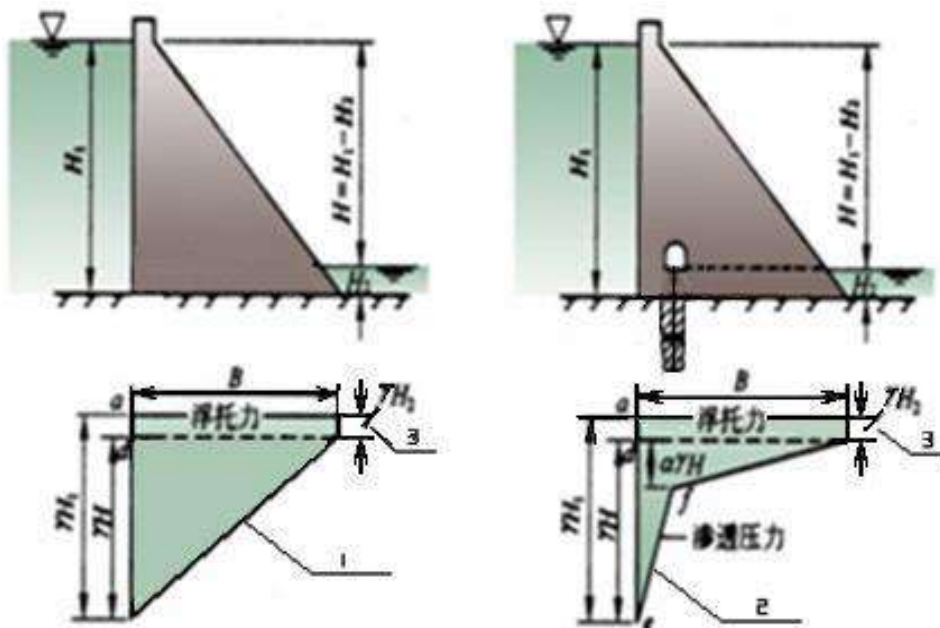


Рис. 3.26. Эпюры фильтрационного и взвешивающего давлений на подошву бетонной гравитационной плотины на скальном основании: 1 - эпюра фильтрационного противодействия при отсутствии цементационной завесы и дренажа; 2 - эпюра фильтрационного противодействия при наличии цементационной завесы; 3 - эпюра взвешивающего противодействия

В качестве ПФУ в скальных основаниях применяют инъекционные завесы из разных малопроницаемых материалов. Наиболее часто используют цементационные завесы. Ось цементационной завесы располагают на расстоянии от напорной грани плотины $(0,14...0,25) B$, где B - ширина подошвы плотины. Для уменьшения фильтрационного противодействия в скальном основании также устраиваются дренажи (вертикальные скважины) (рис. 3.27). При наличии цементационной завесы и дренажа вода, поступающая из скважины в дренажную галерею, отводится в НБ самотеком или откачивается насосами. Скважины завесы обычно выполняют вертикальными, но при вертикальных или близких к вертикальным трещинам их делают наклонными, по возможности, нормально к трещинам. В последнее время скважины завесы часто делают наклонными в сторону ВБ (рис. 3.28, а).

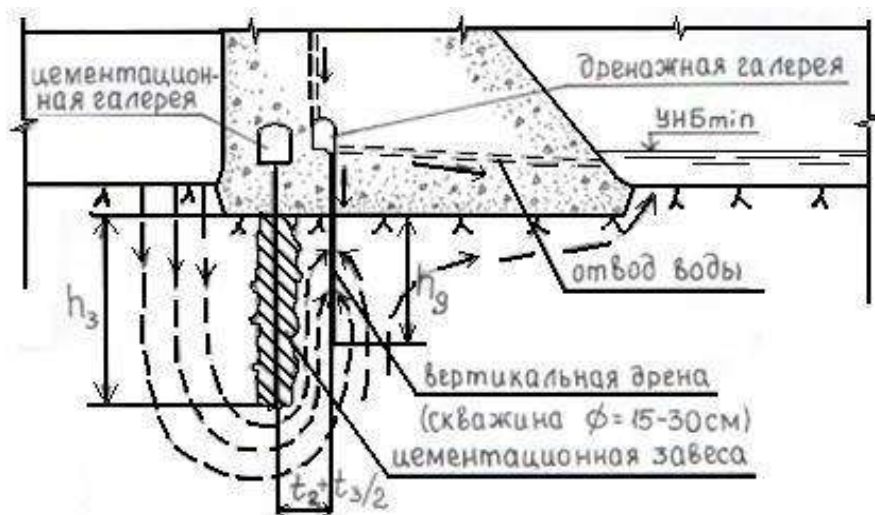


Рис. 3.27. Влияние цементационной завесы и дренажа на фильтрационный поток в основании бетонной плотины

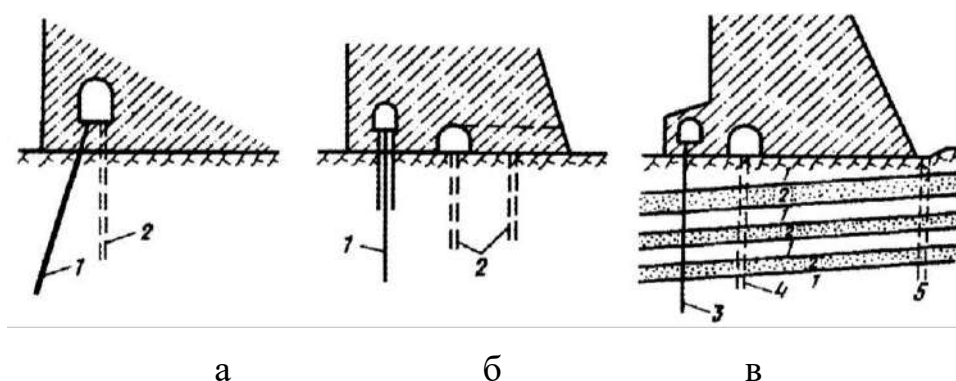


Рис. 3.28. Схема расположения инъекционных завес и дренажей в основаниях гравитационных плотин: а - наклонная завеса 1 и дренаж 2, б - вертикальная завеса 1 и дренаж 2, выполненные из отдельных галерей, в - дренаж слоистого основания; 1 и 2 - соответственно водонепроницаемые и водоносные слои; 3 - завеса; 4 - дренаж; 5 - разгружающие скважины

Цементационные завесы обычно выполняют из специальных галерей в теле плотины или в особых бетонных плитах перед напорной гранью плотины. Береговые завесы ведут с поверхности грунта, а при их больших глубинах или при крутых береговых склонах - из специальных штолен, располагаемых в основании ярусами. Завеса доводится до водоупора или породы с удельным водопоглощением $\leq 0,05$ л/мин. Завеса часто имеет переменную толщину по глубине, например, при нескольких рядах скважин центральная завеса доводится до водоупора, а другие, расположенные рядом, имеют меньшее залегание (рис. 3.28, б).

Дренаж в теле плотины устраивается для снижения фильтрационного противодавления и избегания вредного физико-химического и механического воздействия фильтрации воды. Он представляет собой систему вертикальных (реже горизонтальных) дрен круглого сечения, расположенных вблизи напорной грани сооружения, непосредственно за слоем водонепроницаемого бетона, если он укладывается.

Вертикальные дрены имеют диаметр около 20...30 см и располагаются с шагом 2...4 м. Вода, проникшая в дрены, собирается далее продольными галереями, которые устраиваются через 20...30 м по высоте и служат также для инспекционных целей. По кюветам галерей вода направляется в

поперечные галереи или штольни, выводящие её в НБ. В галерею у подошвы сооружения отводится также вода, поступающая из дрен основания. Современные способы устройства вертикальных дрен заключаются в установке при бетонировании тела плотины труб из пористого бетона или стальных труб, наружная поверхность которых смазывается отработанным маслом или солидолом для облегчения подъема их вверх по мере роста бетонной кладки и извлечения после завершения бетонирования. Горизонтальные дрены круглого или трапецеидального сечений высотой 15...20 см шириной понизу 15 см устраивают в межблочных швах через 1...1,5 м по высоте. Вода собирается дренажными вертикальными шахтами диаметром 70...80 см, которые располагаются в межсекционных швах.

Смотровые устройства и полости. Для осмотра состояния внутренних частей бетонной плотины, для наблюдения за ходом фильтрации и появлением трещин, для расположения различной измерительной аппаратуры, а иногда для служебного сообщения между берегами устраивают специальные горизонтальные или наклонные галереи, вертикальные шахты. Минимальную ширину смотровой галереи для прохода по ней принимают равной 1,2 м, высоту - 2 м; при необходимости проезда ширину принимают равной 2,5...3 м и более, высоту - от 3 м и более. Галереи по высоте располагаются через 15...20 м.

При наличии нескольких галерей в плотине нижняя, устраиваемая возможно ближе к основанию, может быть использована для цементации под зубом плотины. В этом случае высота галереи должна быть не менее 3,5...4 м при ширине не менее 2,5 м. Выходы из горизонтальных галерей делают или непосредственно на береговые склоны, или по наклонным и вертикальным шахтам на гребень плотины. Иногда в плотине устраивают полости для размещения, например, машинного зала гидроэлектростанции. Сплошность тела плотины при устройстве галерей и полостей нарушается, что ведет к перераспределению напряжений, свойственных сплошному телу

плотины.

Зонирование бетонной плотины. С целью обеспечения надежной работы и удешевления плотины в её отдельные части в зависимости от условий работы укладывают бетон различных классов, т.е. зонируют плотину (рис. 3.29). Например, в зоне плотины, которая подвержена воздействию отрицательных температур (низовая грань плотины), укладывают морозостойкий бетон.

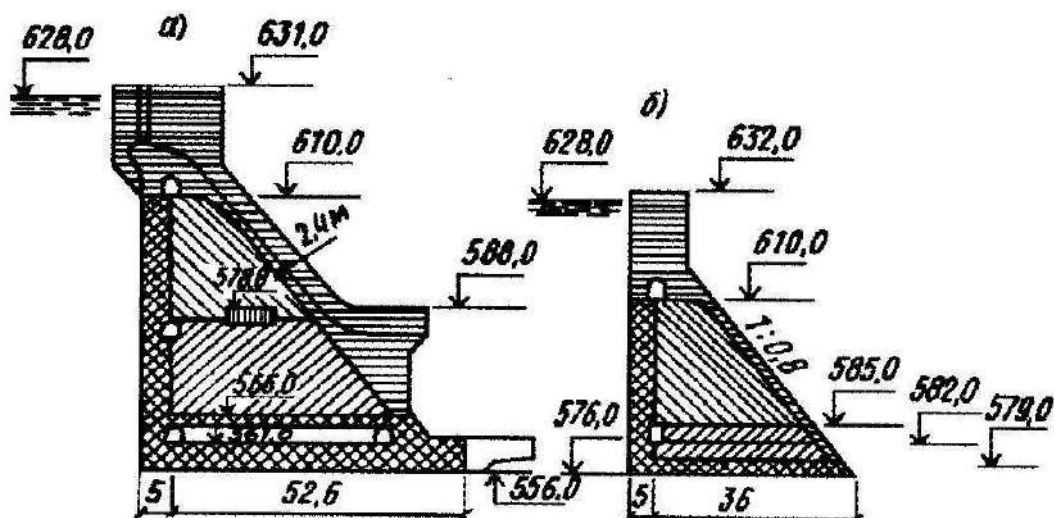


Рис. 3.29. Зоны бетонирования гравитационной плотины: а - водосливной; б - глухой

Преимущества зональной укладки бетона:

- сокращение объема дорогих бетонов;
- удовлетворение требований к бетону различных по прочности и долговечности зон при эффективном использовании цемента;
- снижение затрат на регулирование температурного режима кладки;
- снижение требований к заполнению различных зон.

Недостатки зональной укладки бетона:

- усложнение и увеличение объема бетонного хозяйства;
- некоторое снижение темпов работ.

Защитные покрытия граней плотины. Если у граней плотины укладывают «зональный» бетон (водонепроницаемый с напорной стороны, морозостойкий у открытых поверхностей, стойкий против истирания по

водосливной грани), то обычно никаких дополнительных защитных мероприятий не требуется. Однако для повышения долговечности сооружения поверхности плотины могут усиливаться опалубкой из бетонных блоков толщиной 0,3...6 м, изготовленных заранее из особо плотного бетона. В суровых климатических условиях (если среднемесячная температура наиболее холодного месяца ниже - верховая грань плотины в зоне переменного уровня армируется поверхностной сеткой из стержней диаметром 20...25 мм с шагом 0,25 м.

При наличии значительной агрессивности речной воды по отношению к бетону плотины, помимо подбора соответствующего состава бетона применяют гидроизоляцию напорной грани плотины. Последняя может быть выполнена в виде горячей или холодной асфальтовой штукатурки или же из рулонного гидроизоляционного материала. Асфальтовые штукатурки, особенно горячие, нуждаются в защитном экране. в частности в зоне переменного уровня воды, от действия льда, плавающих тел и др. Экраны устраивают, например, в виде слоя цементного торкрета по заанкеренной в бетон арматурной сетке 5×4 см из проволоки диаметром 1 мм или в виде железобетонных плит толщиной 6...8 см, закрепляемых в бетоне анкерными болтами. В последнее время для гидроизоляции стали применять каменноугольно-эпоксидное покрытие, армированную стеклоткань и др.

Плотины из укатанного бетона. В настоящее время во многих странах мира установилась тенденция строительства плотин из укатанного бетона (УБ), отличающегося низким содержанием цемента, высоким содержанием золы уноса и крупнозернистых фракций (гравия). Технология строительства плотин из УБ проста, что позволяет строить плотины высокими темпами, сопоставимыми с темпами строительства грунтовых плотин. С начала 80-х годов за рубежом (США, Япония, ФРГ, Великобритания, Испания, Китай и др.) интенсивно развивается новое направление в технологии ведения бетонных работ, основанное на применении УБ [5, 19, 31].

Зола уноса является тонкодисперсным материалом, который, как правило, состоит из частичек размером до 0,14 мм. Зола уноса образуется как результат сжигания твердого топлива на ТЭС. Состав и строение золы зависят от многих факторов, таких как морфологические особенности и вид сжигаемого топлива, его зольность, тонкость помола при его подготовке, химический состав минеральной части топлива, время пребывания частиц в зоне горения и температура в ней. Зола уноса применяется для того чтобы улучшить свойства тяжелых бетонов. Она используется при изготовлении как сборных железобетонных конструкций, так и монолитных. Она используется в трех направлениях: вместо части песка, как самостоятельный компонент (активный микронаполнитель) и вместо части цемента. Введение золы уноса в пенобетонную смесь для повышения агрегативной устойчивости смеси в период между началом и окончанием схватывания цементного теста, предотвращает перемещение компонентов и предупреждает негативное влияние на формирование структуры.

Особенностью современных бетонных плотин из УБ является придание их низовым граням ступенчатой формы, что обусловлено послойным методом возведения таких плотин. Это создает ряд технологических преимуществ:

- ступенчатая форма низовой грани позволяет сократить объем опалубочных работ для этой грани почти на 30 %;
- резко упрощается конструкция опалубки, ее монтаж и демонтаж;
- обеспечиваются благоприятные условия для укладки и уплотнения лицевых слоев бетона на низовой грани;
- создается возможность перелива паводковых вод через плотину во время её строительства.

Достоинства бетонных плотин из укатанного бетона:

- уменьшается стоимость сооружения благодаря сокращению расхода цемента в бетоне . Стоимость плотин из УБ уменьшается по сравнению со стоимостью плотин из традиционных бетонов в среднем не менее, чем на

10...20%;

- малоцементные бетоны отличаются низким тепловыделением и малой усадкой, что облегчает борьбу с экзотермией, сокращает продолжительность остывания бетонной кладки;

- поперечные швы или устраиваются (бетонируют от берега до берега) или их нарезают при строительстве специальным резакром, что сокращает расходы на опалубку;

- благодаря простоте технологии и сокращению до минимума вспомогательных операций можно уменьшить объем и сроки создания производственной базы строительства и тем самым сократить подготовительный период и продолжительность строительства.

Недостатки бетонных плотин из укатанного бетона:

- общим недостатком УБ в результате малого содержания вяжущего и сыпучей консистенции смеси является более высокая необходимость этого материалов, чем у обычного бетона, и отчетливо выраженная стоимость бетонной кладки с повышенной её водопроницаемостью по горизонтальным швам;

- технология бетонирования разработана для возведения крупных плотин только в теплое время года. На зимний период устраивается перерыв;

- в плотинах обычно УБ занимает только часть объема сооружения - по контуру устраивается оболочка из плотного вибрированного бетона.

Впервые уплотнение малоцементных жёстких смесей катками было исследовано и проверено опытным путём Бюро военных инженеров США и управлением по развитию водного, энергетического и сельского хозяйства. Варианты выполнения конструкций низовой грани показаны на рис. 3.30. Наряду с устройством на низовой грани наружной зоны из обычного вибрированного бетона применяют облицовку её бетонными элементами, играющими роль только опалубки. Иногда на низовой грани создают буферную зону из УБ с повышенным содержанием цемента, которая,

подвергаясь разрушительным воздействиям попеременных циклов замораживания - оттаивания, обеспечивает защиту основного профиля из УБ от этих воздействий.

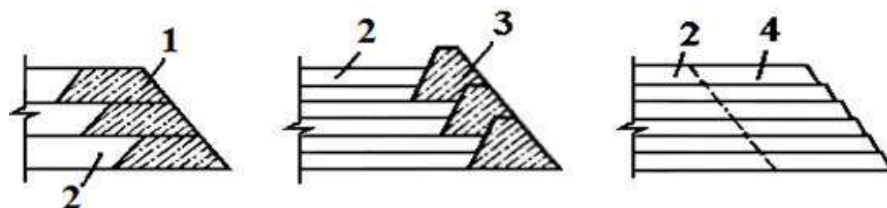


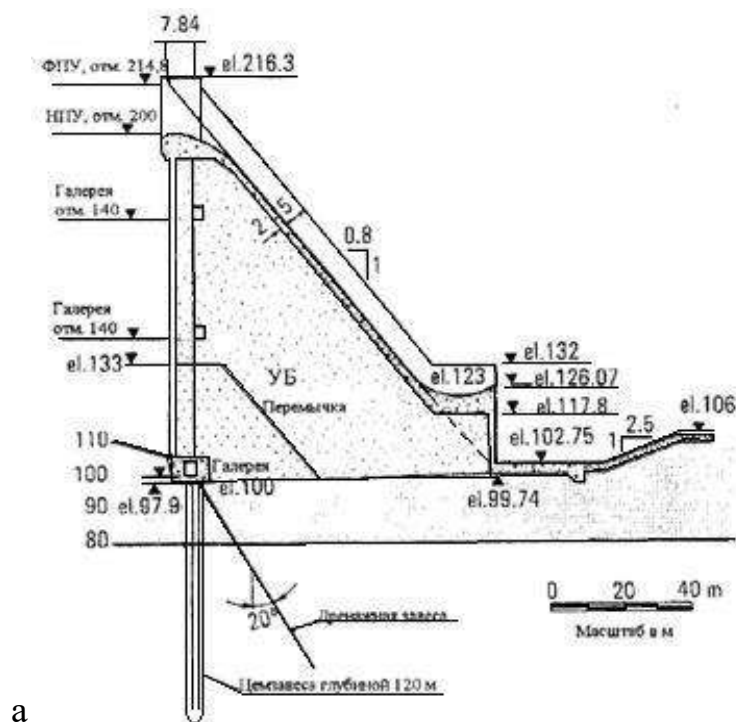
Рис. 3.30. **Варианты конструкции низовой грани:** 1 - обычный вибрированный бетон; 2 - укатанный бетон тела плотины; 3 - облицовочный элемент; 4 - укатанный бетон с повышенным содержанием вяжущего (буферная зона)

Защитный слой бетона на напорной грани плотины должен сочетаться с дренажной системой для перехвата профильтровавшей через этот слой воды, так как иначе она будет фильтровать в НБ по горизонтальным швам между слоями укладки. Конструкция дренажа в виде вертикальных дренажных скважин между галереями, которые могут быть дополнены продольными горизонтальными дренами, аналогична таковой в обычных плотинах. С целью уменьшения фильтрации в верховой зоне сооружения в швах между слоями УБ часто укладывают подстилающий слой из обычного бетона полосой 1...2 м. Имеются примеры защиты верховой грани плотины бетонными облицовочными бордюрами, устраиваемыми с помощью горизонтально скользящей опалубки и бетоноукладчиков.

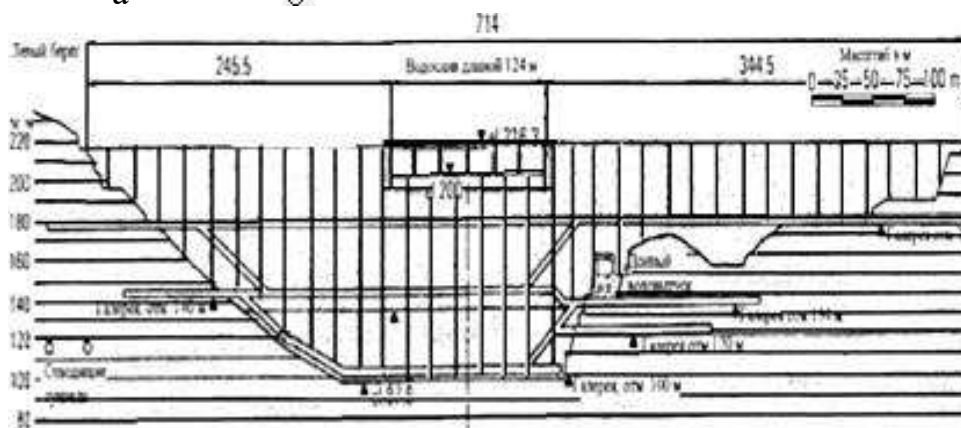
В КНР при строительстве гидроузла Кенжу применены малоцементные УБ с добавкой золы уноса. Повышенная водонепроницаемость плотины была достигнута устройством асфальтового экрана на напорной грани. Укладка смеси осуществлялась послойно. Уплотнение уложенной бетонной смеси производилось одним 8-ми тонным виброкатком. Оптимальное уплотнение получено при 10 проходах катка и толщине слоя бетона 0,3...0,5 м. Первый год эксплуатации сооружений гидроузла показал их высокую надёжность.

В конце 2000 г. было закончено строительство крупной плотины из УБ

Бени Харун в Алжире высотой 118 м, длиной по гребню 714 м, объемом УБ 1,6 млн., при общем объеме бетона 1,9 млн. м³. Плотина Бени Харун (рис. 3.31, 3.32) имеет вертикальную напорную и ступенчатую низовую грань с заложением 0,8 м и высотой ступеней 1,2 м. По верховой грани плотины уложен слой вибрированного бетона шириной 1 м. Водосливная грань плотины облицована слоем железобетона толщиной 2 м. Водослив разбит на 6 пролётов шириной по 19 м и рассчитан на пропуск расхода 13230 м³/с при напоре 14,8 м с отбросом струи носком-трамплином.



а



б

Рис. 3.31. Плотина гидроузла Бени Харун: а - поперечный разрез; б - продольный разрез по оси плотины



Рис. 3.32. Плотина Бени Харун: а - в период строительства; б - вид построенной плотины, низовая грань глухой части ступенчатая, водосливная поверхность гладкая

На рис. 3.33, 3.34 показано производство работ по возведению плотин из укатанного бетона (КНР, США).



Рис. 3.33. Примеры, иллюстрирующие процесс строительства плотин из укатанного бетона (КНР)

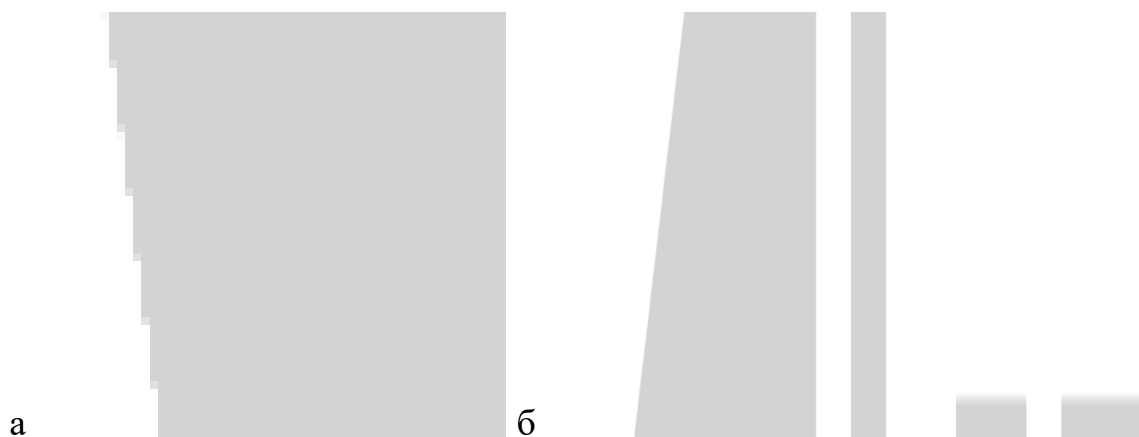


Рис. 3.34. Укладка укатанного бетона в плотине **Olivenhain (США)**:

а - самосвалы доставляют смесь в бетонные блоки для дальнейшей укатки в плотину Olivenhain (США); б - укатка бетона в теле плотины вибрационными катками

3.2.2. Контрфорсные плотины

Контрфорсными плотинами называют плотины, основными элементами которых являются напорные перекрытия (или расширенные оголовки), перегораживающие водоток, и вертикальные ребра - контрфорсы, на которые эти перекрытия опираются.

Достоинства контрфорсных плотин:

- меньшие объемы бетона и стоимость по сравнению с гравитационными плотинами;
- меньшее противодействие в основании;
- более равномерные эпюры напряжений в основании вследствие пригрузки воды на наклонную верховую грань;
- возможность возведения в суровых климатических условиях (наличие замкнутых полостей благоприятно влияет на так называемое состояние в эксплуатационный период, а в строительный период лучше охлаждается бетон);
- высокая сейсмостойкость;
- удобство пропуска расходов строительного периода;
- возможность возведения на деформируемых основаниях.

Недостатки контрфорсных плотин:

- усложнение производства работ и увеличение площади опалубки в 1,5...2 раза;

- трудности применения прогрессивных методов укладки бетона;

- большой расход арматуры и высокий класс бетона в плотина с плоскими перекрытиями и многоарочных.

Контрфорсные плотины (рис. 3.35) состоят из отдельно стоящих контрфорсов (рёбер, стенок), пространство между которыми перекрыто напорной конструкцией в виде плит, консольных утолщений контрфорсов, арок. Давление воды, наносов и других нагрузок, воздействующих на напорное перекрытие, передаются через контрфорсы на основание либо непосредственно - при прочном скальном основании, либо через фундаментную плиту: частичную - при слабых скальных основаниях или сплошную - при нескальных.

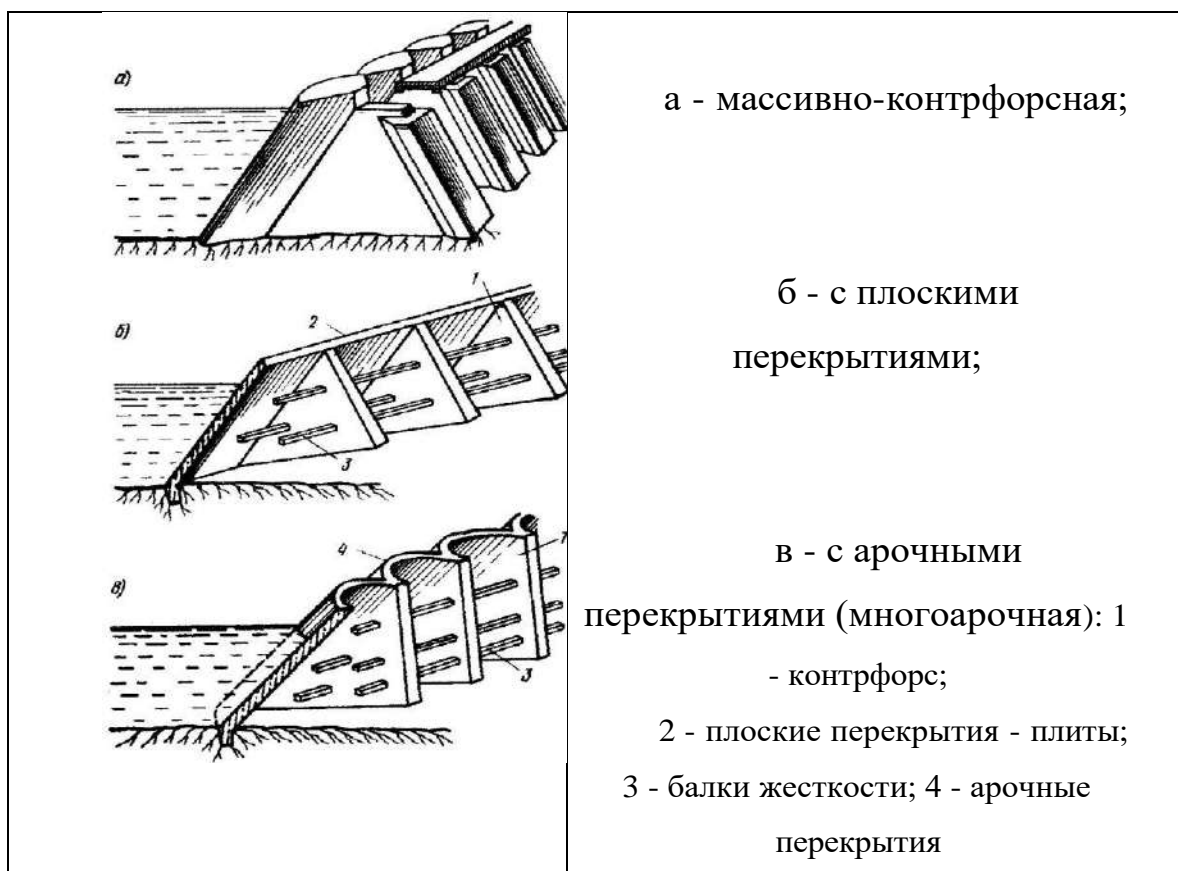


Рис. 3.35. Типы контрфорсных плотин

Профиль контрфорсной плотины обычно характеризуется наклоном верховой грани в сторону НБ. Контрфорсные плотины так же, как и гравитационные, сопротивляются действию горизонтального давления воды за счет сил сопротивления сдвигу по основанию. Однако для обеспечения их устойчивости требуется меньшая масса плотины по сравнению с массой гравитационной плотины вследствие наличия пригрузки напорной грани водой и практически полного снятия фильтрационного давления в основании плотины при отсутствии фундаментной плиты (рис. 3.36).

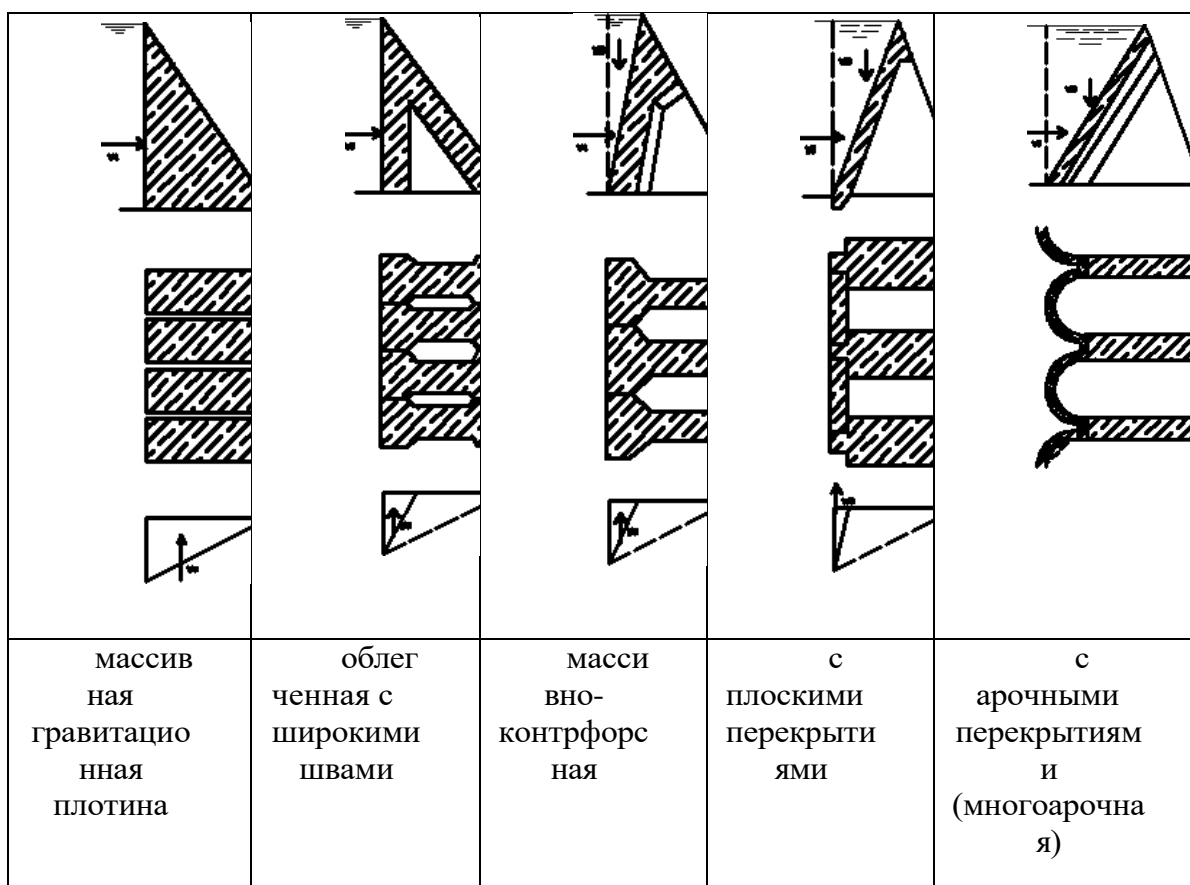


Рис. 3.36. Схемы к анализу работы контрфорсных плотин

При прочных скальных основаниях с высокими характеристиками устойчивость контрфорсной плотины против сдвига может не определять форму её профиля; в этом случае при относительно небольшой высоте плотины её верховую грань по производственным и другим условиям иногда принимают вертикальной или слабо наклоненной. В общем случае следует стремиться к увеличению наклона верховой грани контрфорсной

плотины, однако это может привести к появлению растягивающих напряжений на напорной грани, что нежелательно.

Контрфорсные плотины классифицируют в основном по типу напорного перекрытия (рис. 3.36 - 3.41):

а) с массивными оголовками или массивно-контрфорсные с плоскими перекрытиями - плитами;

в) с арочными перекрытиями или многоарочные.



Рис. 3.37. Контрфорсная плотина (КНР)



Рис. 3.38. Массивно - контрфорсная плотина (США)



Рис. 3.39. Многоарочная плотина Бартлет (США)

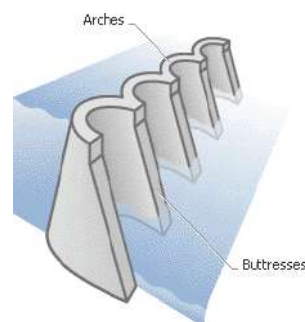




Рис. 3.40. Гидроузел Grandval на реке Truyere (Франция), 1955-59

гг.:

бетонная многоарочная плотина высотой 88 м (напор 79 м), длина по гребню 376 м, ширина по гребню 3 м, ширина по основанию 4,9 м. Основание - слюдяные сланцы

По типу контрфорсов различают плотины с одиночными и сдвоенными или парными) контрфорсами или сквозными. Контрфорсные плотины строят глухими и водосбросными. Контрфорсные плотины классифицируют и по другим признакам [16, 29].

3.2.3. Арочные плотины

Арочными плотинами называют криволинейные в плане водоподпорные сооружения, работающие как свод или оболочка, и сопротивляющиеся действию горизонтальных нагрузок, в основном за счет упора их в берега ущелья (рис. 3.41).

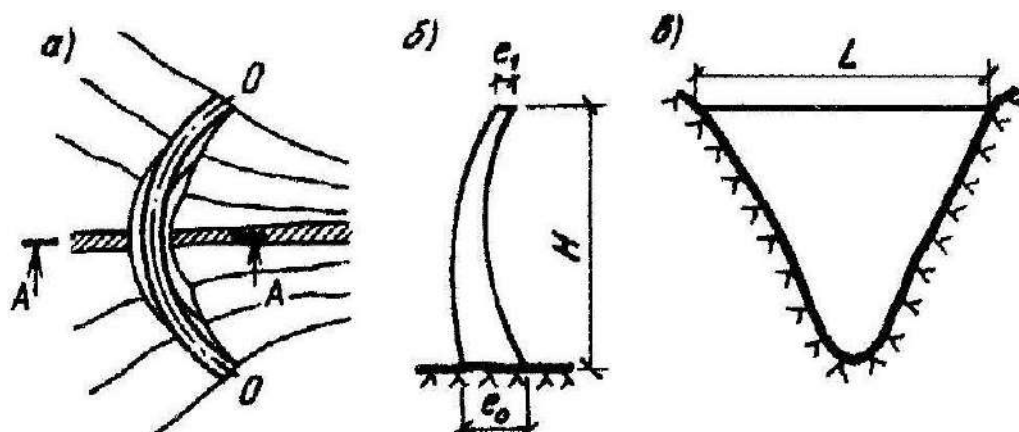


Рис. 3.41. Арочная плотина: а - план; б- сечение по А-А; в - разрез 0-0 по оси

плотины

Достоинства арочных плотин:

- уменьшение объема бетона на 20...60% и стоимости на 10...30% по сравнению с гравитационными плотинами;

- высокая надежность;
- высокая сейсмичность.

Недостатки арочных плотин:

- усложнение производства работ;
- более высокие требования к прочности основания.

Примеры контрфорсных плотин представлены на рисунках 3.42 - 3.44.

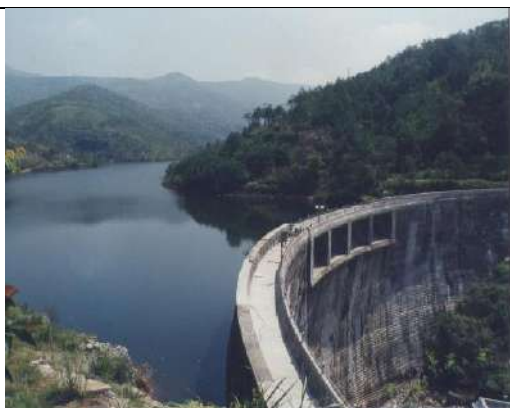


Рис. 3.42. Арочная плотина из бутовой укладки (КНР)



Рис. 3.43. Арочная бетонная плотина (КНР)



Рис. 3.44. Плотина Chatelot (Швейцария): высота плотины 74 м, длина по гребню 150 м, расход водосброса 500 м³/с, 1953 г.

Горизонтальные сечения арочных плотин (арки) обычно имеют круговое очертание с перпендикулярным опиранием в берега их пят (рис. 3.45а). Поперечные профили арочных плотин (консоли) весьма различны по форме и в ряде случаев назначаются криволинейными по вертикали (рис. 3.45б).

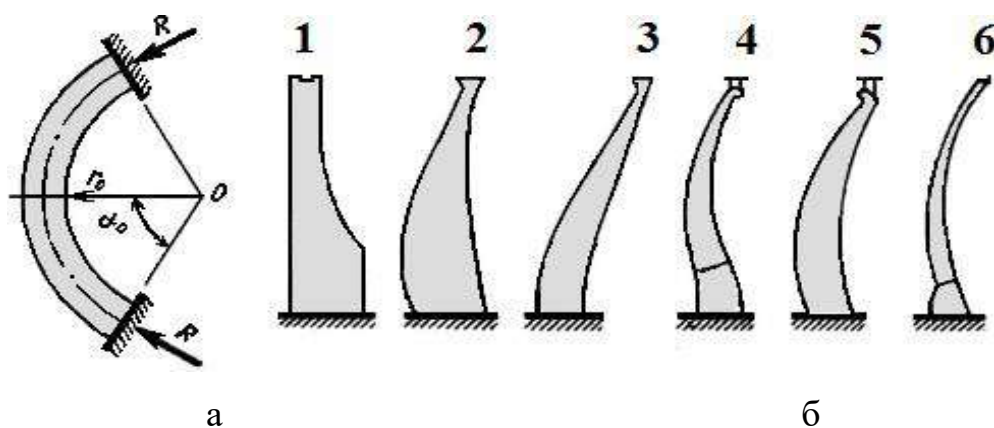


Рис. 3.45. Сечения арочных плотин: а - горизонтальное сечение (арка), б - вертикальные сечения; 1,2,3,4,5,6 - различные типы профилей арочных плотин

По характеру работы на основную сдвигающую нагрузку - горизонтальное давление воды - арочные плотины принципиально отличаются от гравитационных. В арочных плотинах силы сопротивления по подошве сооружения, зависящие от веса сооружения, принимают малое участие в работе плотины против сдвига. Устойчивость их обеспечивается в основном за счет упора сооружения в берега. Это позволяет проектировать арочные плотины с весьма малой, определяемой лишь условием прочности материала сооружения, толщиной.

По материалу арочные плотины могут быть: каменные; бетонные; железобетонные и др. Как правило, арочные плотины строят бетонными. Железобетонными арочные плотины строят редко, а каменные - в настоящее время в России вообще не строят. Существуют и другие менее характерные признаки классификации арочных плотин, например, различают арочные плотины в узких или широких ($L/H > 3...3,5$) створах, в симметричных или несимметричных ущельях и т. д.

3.3. Плотины из природоподобных и различных искусственных материалов

Плотины и дамбы из природоподобных и природных материалов имеют аналогичные конструкции и выполняются из дерева, камня, часто в комбинации с геосинтетиками или габионными структурами (рис. 3.46) [4, 5, 20, 29].

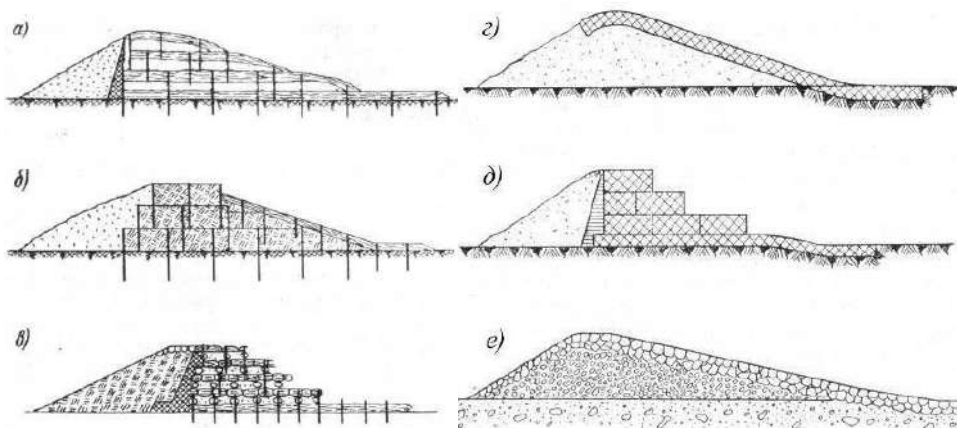


Рис. 3.46 Схемы простейших типов плотин из местных материалов:

а –каменно-хворостяная; б –плетневая; в –фашинная; г –из суглинка со стороны верхнего бьефа и габионного тюфяка, заполненного мелкой и средней галькой со стороны нижнего; д –из габионного тюфяка и кладки над ним из габионных ящиков; е –каменно-набросная;

При недостатке вблизи створа достаточного количества суглинка или камня, но при наличии ивового или другого хвороста можно устраивать **фашинно-хворостяные** плотины (рис. 3.47). Они могут быть выполнены из горизонтально уложенных слоёв фашин или хвороста, или из наклонных.

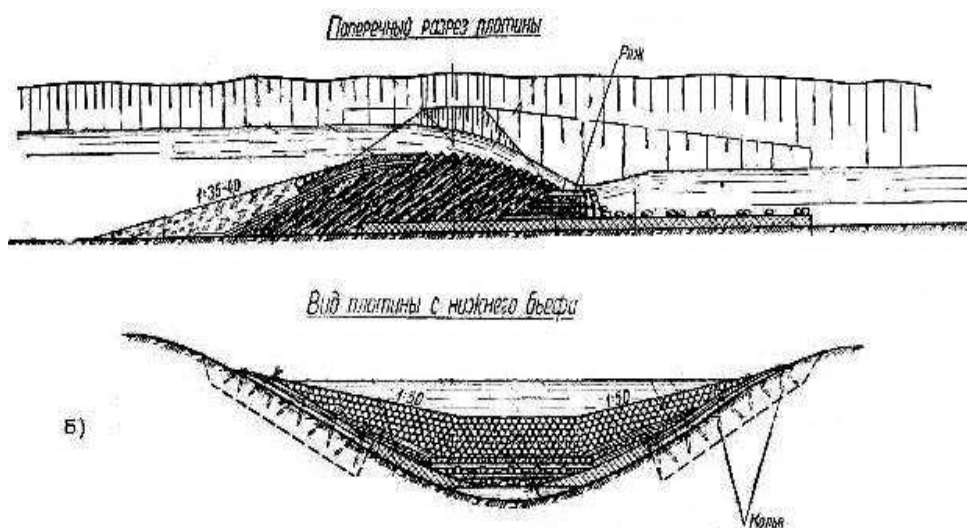
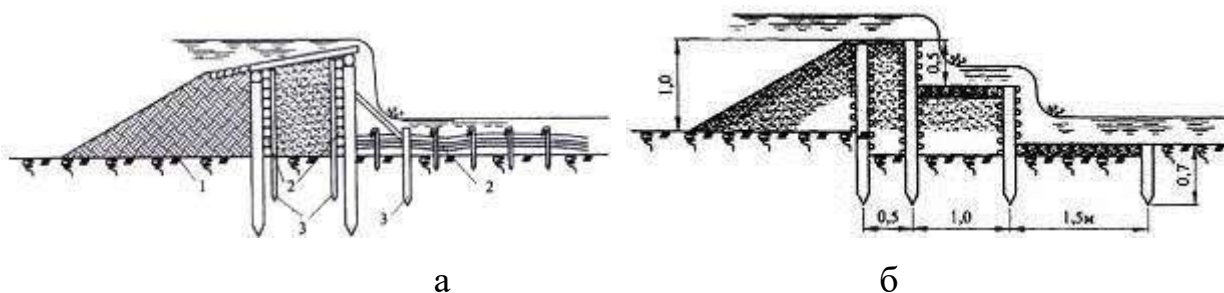


Рис. 3.47. **Фашинно-грунтовые плотины:** а – из горизонтальных фашин; б – из наклонных фашин

Из хвороста, досок, брёвен или брусьев можно возводить, как делали ещё в XIII – XVIII вв. - деревянные плотины, как глухие, так и водосливные (переливные) (рис. 3.48) [29]. Для защиты основания от размыва по контакту с фашинной кладкой, в русловой части плотины укладывается хворостяной тюфяк толщиной 0,4 м, а на береговых склонах устраивается траншея глубиной до 1 м, заполненная глиной (замок). Дно НБ также крепится тюфяком, пригруженным камнем, а берега укрепляются хворостяной выстилкой толщиной 0,3 м по слою соломы или мха в 0,2 м, прижимаемыми жердями или кольями [29]. В современных подпорных сооружениях тюфяки могут быть заменены **габионными** элементами: матрацами Рено, Джембо, цилиндрическими либо коробчатыми конструкциями. Издавна мельниками и гидростроителями применялись водосливные **стланевые** плотины (рис. 3.49).



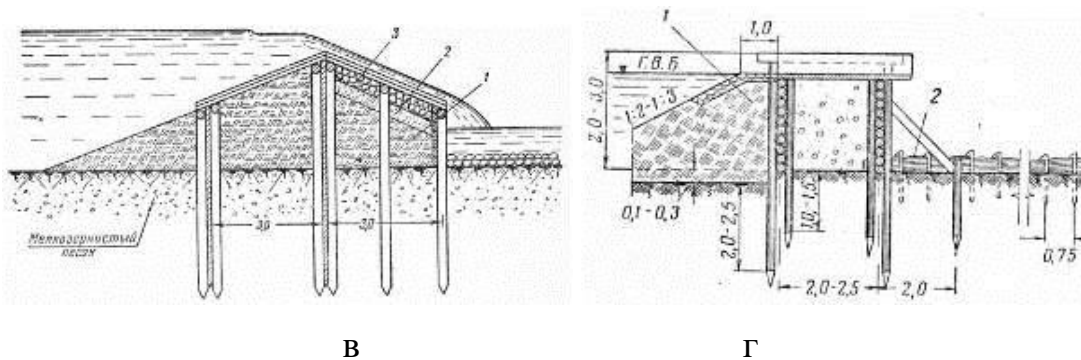


Рис. 3.48. Простейшие переливные плотины: а – свайная с жердевыми стенками; 1 – суглинок; 2 – жердевая стенка; 3 – сваи; 4 – хворостяная выстилка; б – плетневая; 5 – плетень; 6 – фашины; 7 – колья; в – шпунтовая: 1 – глина; 2 – гравийный слой; 3 – камень; г – свайно-заборчатая: 1 – глинистый грунт; 2 – фашины или хворостяная выстилка

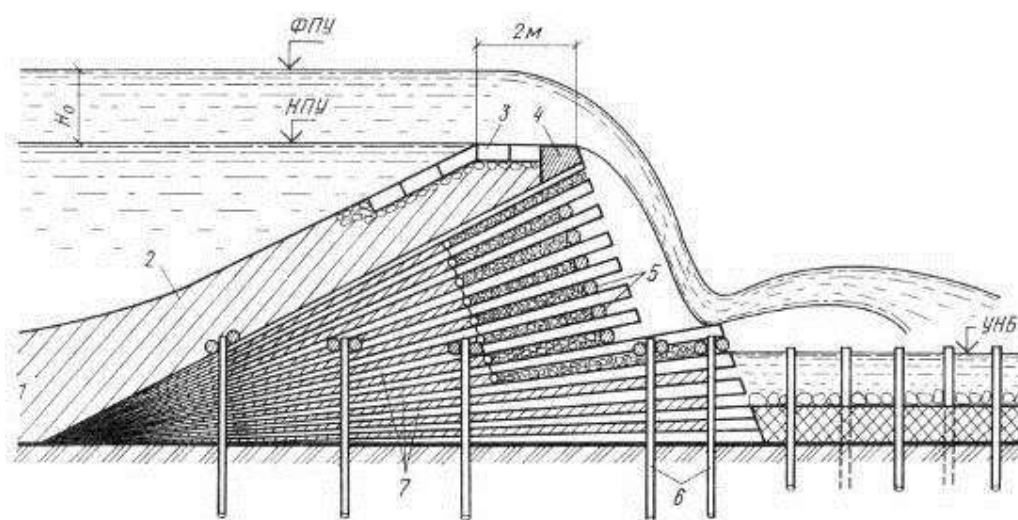


Рис. 3.49. Сланевая плотина: 1 – понур; 2 – экран; 3 – бетонные плиты; 4 – шапочный брус; 5 – лежни из брёвен; 6 – сваи; 7 – сланевая кладка с загрузкой

Достоинством сланевых плотин являлась их невысокая стоимость и возможность использования почти исключительно строительных местных материалов: ели, сосны и древесных лиственных пород, которые всегда можно найти в средней и северной частях РФ, а также грунта для заполнения сланевой кладки. При этом была возможность выполнения строительных работ без водоотлива; малые размеры отверстия водоспуска для пропуска зимних и меженных расходов. Однако эксплуатировать их было сложно и весной такие плотины, дамбы и запруды нередко прорывались во время половодья, и их приходилось строить заново. Чтобы избежать этого, плотины

часто делали с водопропускным отверстием, перекрываваемым подъёмным щитом.

Имеется еще один тип, достаточно часто используемых в настоящее время, плотин — **плотины-оболочки** (рис. 3.48), которые появились относительно недавно в связи с выпуском материалов на основе полимеров.

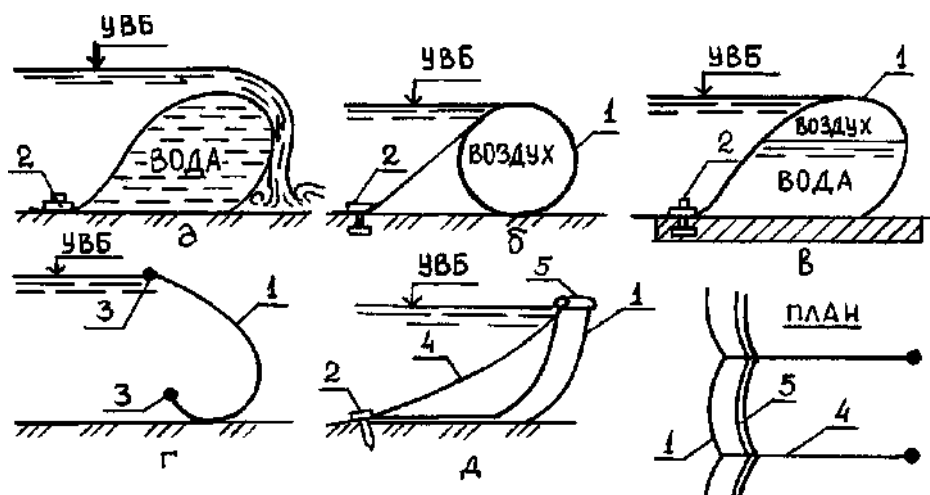


Рис. 3.48. Конструктивные схемы плотин-оболочек: а — водонаполняемая; б — воздухонаполняемая; в — воздуховодонаполняемая; г — мембранная; д — многопролетная с одним плавучим несущим поясом (поплавком); 1 — оболочка из синтетического материала; 2 — анкерное устройство; 3 — поперечные тросы; 4 — удерживающие тросы; 5 — поплавки

Такие плотины еще называют «мягкими», «тканевыми» или «плотинами в рюкзаке». Их основной элемент — мягкая оболочка из синтетических материалов (резинотканевых, пленочно-тканевых, полимеропленочных и пр.). По конструкции такие плотины бывают:

- **наполняемого типа:** внутренняя емкость оболочки заполняется водой, воздухом или одновременно воздухом и водой;
- **мембранного типа:** оболочка не замкнута и заанкерена (закреплена) в борта реки;
- **комбинированного типа.**

Достоинства: локальное применение с наименьшим вмешательством в природный ландшафт, экологически более чистые, легко убираются (возможно временное использование) (рис. 3.49). **Недостатки:** ограниченное использование.

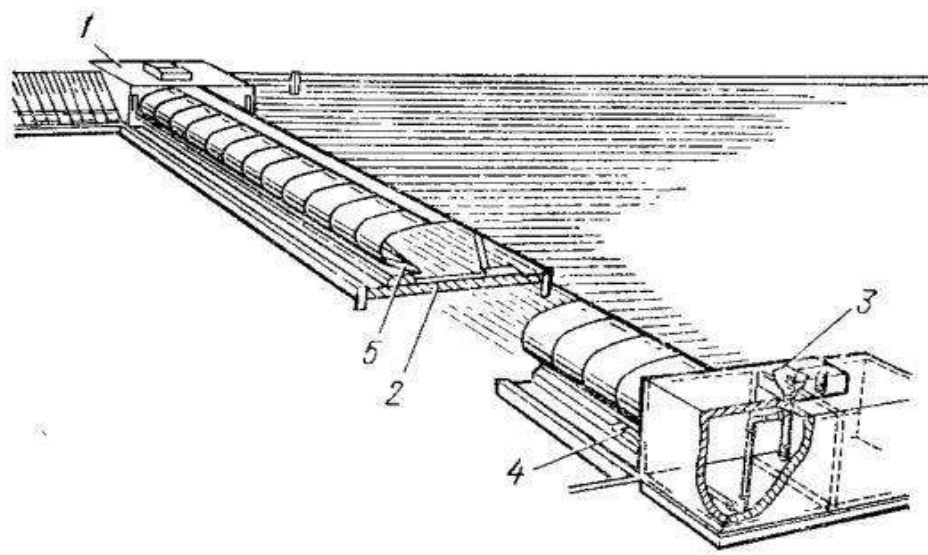


Рис. 3.49. Пример защитной плотины на канале Веспертскваарт (Голландия): 1 – береговой устой, 2- бетонный флютбет, 3 –насосная станция, 4- трубопровод, 5 – металлические створки

В настоящее время разработаны и исследованы конструкции с применением новых композитных материалов для водо- и энергоснабжения децентрализованных объектов малой энергоёмкости в условиях малых водотоков с расходом менее 5 м³/с и глубиной в среднем до 1,5 м. Мобильными сооружениями на таких водотоках являются мембранно-вантовые плотины и дамбы (рис. 3.50).

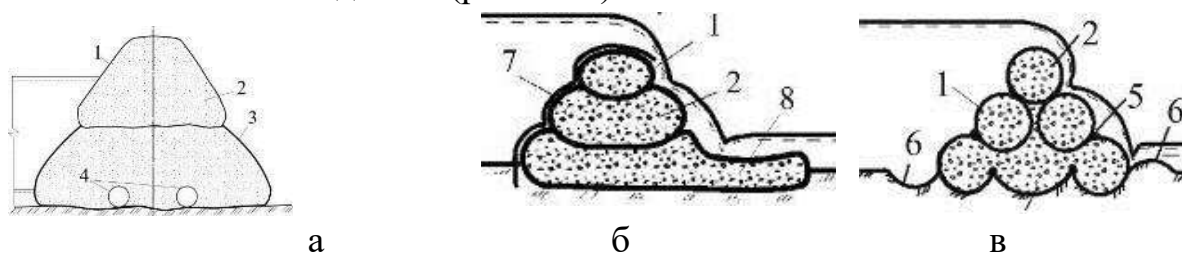


Рис. 3.50. Грунтонаполняемые конструкции плотин/дамб из композитных материалов для противопаводковых и средозащитных мероприятий: 1 – грунтонаполняемая оболочка; 2, 3 – заполнитель; 4 – дренажная система; 5 – гибкие соединения; 6– противофильтрационное покрытие; 7 – гибкий противофильтрационный экран; 8 – водобой; 9 – диафрагма

4. ВОДОПРОПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Водопропускные сооружения водохранилищных плотин - ГТС, обеспечивающие пропуск расходов воды из водохранилища (подпертого бьефа, ВБ) в нижний бьеф (НБ). Они бывают следующих видов (рис. 4.1) [13 - 20]:

водосбросы - сооружения, предназначенные для сброса излишков воды из верхнего бьефа в нижний в период прохождения паводка. Часто они включаются в работу при превышении отметки уровня ВБ выше НПУ;

водовыпуски - сооружения для полезных попусков воды из ВБ в канал (на орошение земель) или в русло реки в НБ, иногда их называют водозаборами; возможна схема подачи воды на орошение в реку, в этом случае ниже по течению в месте расположения полей орошения устраивают насосную станцию и забирают из реки необходимый расход;

водоспуски - сооружения, предназначенные для полного или частичного опорожнения ВБ; в ряде случаев водоспуски могут выполнять функции водовыпусков, а также использоваться для пропуска расходов строительного периода.

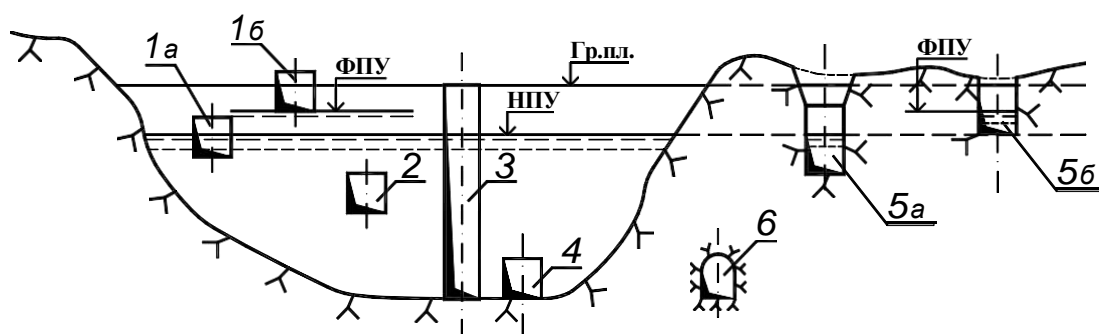


Рис. 4.1. Расположение водопропускных сооружений в створе

гидроузла: 1...4 – плотинное (русловое); 5...6 – береговое; 1а, 5а – поверхностный водосброс с затворами (регулируемый); 1б, 5б – поверхностный водосброс без затворов (нерегулируемый); 2 – глубинный водосброс; 3 – глубинный поверхностный водосброс (донно-поверхностный); 4 – донный водосброс или водоспуск; 6 – туннельный водосброс

Возможная компоновка гидроузла, в состав которого входят эти сооружения, представлена на рис. 4.2.

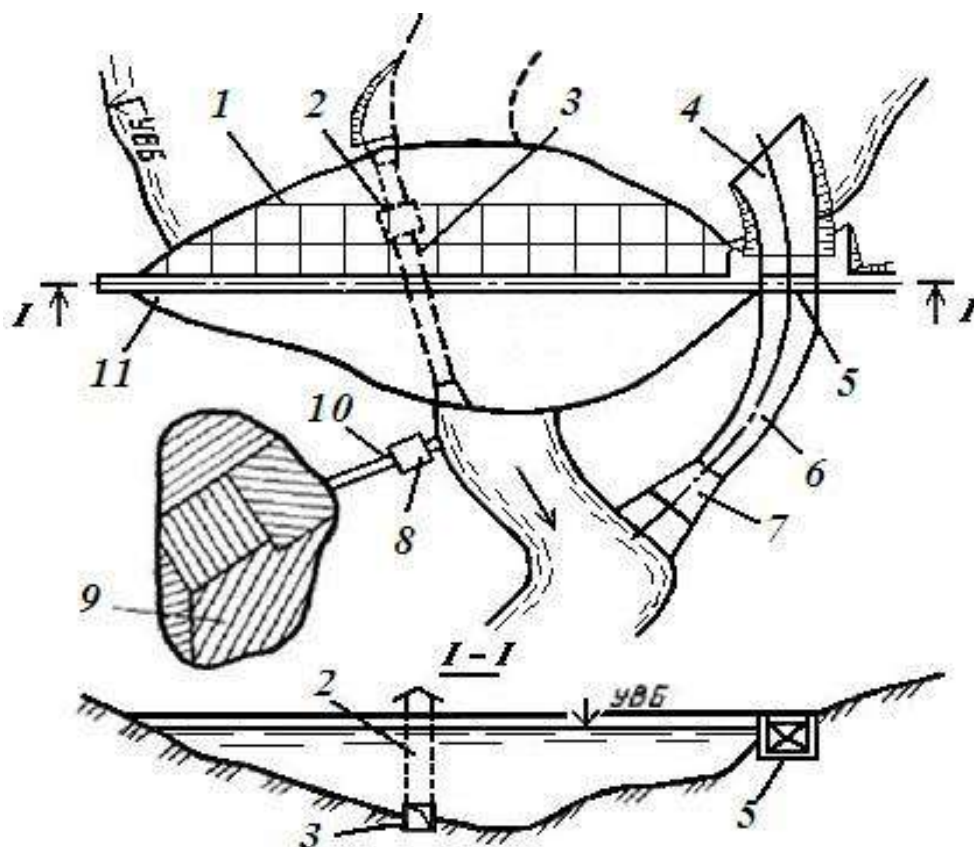


Рис. 4.2. Компоновка низко- и средненапорных гидроузлов с плотиной из грунтовых материалов с открытым водосбросом и совмещенным водоспуском-водовыпуском: 1 - грунтовая плотина; 2 - башня управления; 3 - донный водовыпуск; 4 - подводящий канал; 5 - головная часть с затворами или без них; 6 - быстроток; 7 - конечной участок быстроточка; 8 - насосная станция; 9 - орошаемый массив; 10 - напорный водовод; 11 – автодорога

4.1. Береговые водосбросы

Тип водосбросных сооружений и их выбор зависит от: их назначения, топографических условий, условий гашения энергии потока и т.д. [13]. Береговые водосбросы делятся на **открытые**, в которых основным конструктивным элементом проточного тракта является *лоток* (в виде быстроточков и перепадов с различными головными и концевыми частями) (рис. 4.3) или *водосбросные каналы*, и **закрытые**, где проточный тракт – *труба* (трубчатые поверхностные: башенные, шахтно-башенные, ковшовые,

сифонные и др.) или *туннель* (шахтные с вертикальной и наклонной шахтой, вихревые шахтные, туннельные и др.) (см. далее рис. 4.25), а также **комбинированные**. В большинстве случаев закрытые водосбросы удобны для пропуска строительных расходов воды, которые отводятся по специальному строительному туннелю, перекрываемому после окончания строительства бетонной пробкой или же через временные отверстия в башне.

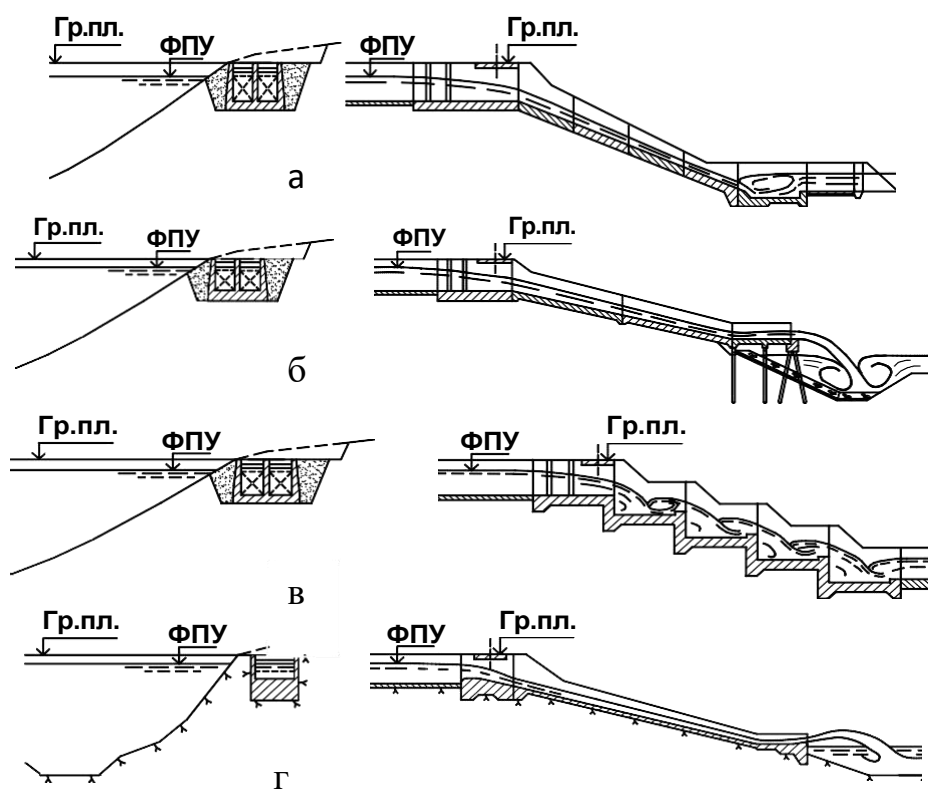


Рис. 4.3.
**Основные
 типы
 открытых
 береговых
 водосбросов:**
 регулируемые – с
 быстротоком (а),
 с консольным
 перепадам (б), со
 ступенчатым
 перепадом (в);
 нерегулируемые
 – с быстротоком
 и носком-
 трамплином (г)

Открытые поверхностные береговые водосбросы могут быть с *фронтальным* и *боковым* подводом воды к головной части. К ним относятся быстротоки, перепады и траншейные водосбросы. Кроме того, береговыми часто являются многие типы *резервных*, в частности, пойменных водосбросов [13, 26].

4.1.1. Открытые поверхностные водосбросы

Береговыми называются водосбросы, располагающиеся вне тела плотины, на берегах (рис. 4.4).

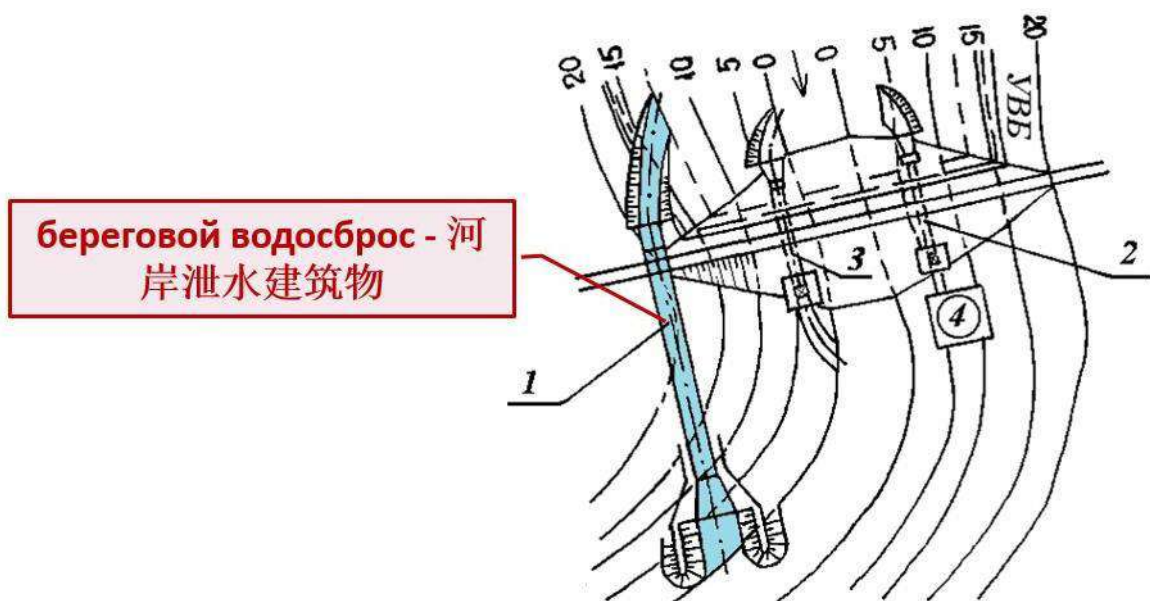


Рис. 4.4. Генплан гидроузла с грунтовой плотиной и береговым водосбросом: 1— водосброс (береговой); 2 — водозабор; 3 — совмещенный водоспуск-водоотпуск в нижний бьеф, по которому можно пропускать и строительные расходы; 4 — насосная станция

Береговые водосбросы применяются, как правило, в следующих случаях:

- в составе низконапорных гидроузлов с грунтовыми плотинами при небольших сбрасываемых расходах и благоприятных топографических условиях;
- на гидроузлах среднего и высокого напора с грунтовыми плотинами, когда размещение водосброса в теле плотины невозможно или нецелесообразно по условиям надежности или из-за конструктивных трудностей;
- на гидроузлах в узких створах, где стеснен фронт строительных работ или недостаточен водосливной фронт (например, из-за размещения за плотинной здания гидроэлектростанции).

Береговой водосброс любого типа, как правило, состоит из частей, которые показаны на рисунке 4.5.

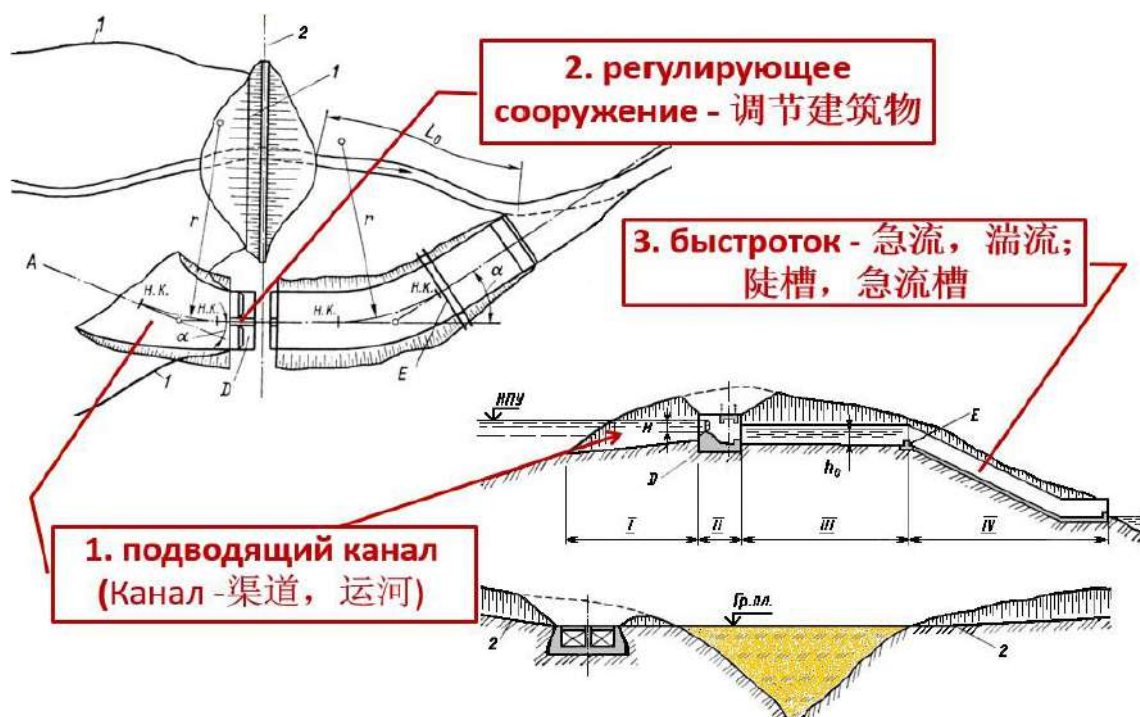


Рис. 4.5. Береговой водосброс и его основные части: I - подводящий канал; II - головная часть в виде прямого водослива; III - промежуточный канал; IV - сбросная часть (быстроток); 5 - концевая часть в виде водобойного колодца; 1 – уровень воды в водоёме; 2 – ось грунтовой плотины

Подводящий канал. Его поперечное сечение выполняют, как правило, трапецеидальной формы. При необходимости, когда скорости в канале больше допустимых значений неразмывающих скоростей, делают крепление дна и откосов канала, камнем, бетонными плитами и др. [24 - 27].

Головная часть. Береговые водосбросы бывают *нерегулируемые* и *регулируемые*. Нерегулируемые водосбросы обычно имеют входную часть (головную), выполненную в виде водосливной стенки (рис. 4.6 – 4.8), отметка верха которой назначается на отметке НПУ, что обеспечивает автоматический перелив при превышении уровня водохранилища этой отметки. Головная часть нерегулируемого водосброса чаще всего выполняется в виде прямого водослива с широким порогом или практического профиля (рис. 4.6 д, е). Для увеличения пропускной способности при минимальном форсировании уровня воды в верхнем бьефе и для уменьшения выемки грунта и экономичного вписывания сооружения в берега могут применяться водосливы с

прямолинейным или полигональным очертанием в плане (рис. 4.6 а, в). При расположении оси водосброса примерно параллельно горизонталям местности и в условиях створов с крутыми склонами применяется не фронтальный подход к сопрягающему сооружению, а боковой, такой водосброс называется *траншейным* (рис. 4.6ж).

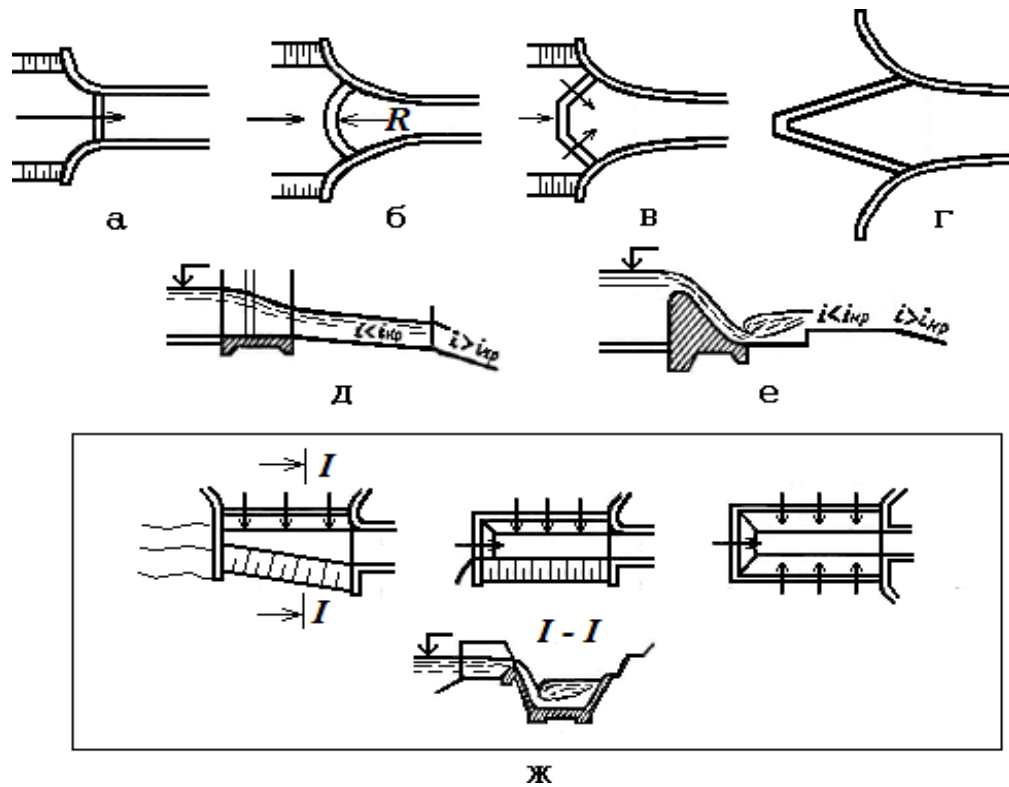


Рис. 4.6. Некоторые формы головной части нерегулируемых водосбросов: а - прямолинейный водосливной порог; б - с циркульным очертанием порога; в - с полигональным очертанием; г - форма «утиный клюв»; д - водослив с широким порогом; е - водослив практического профиля; ж - траншейные водосбросы

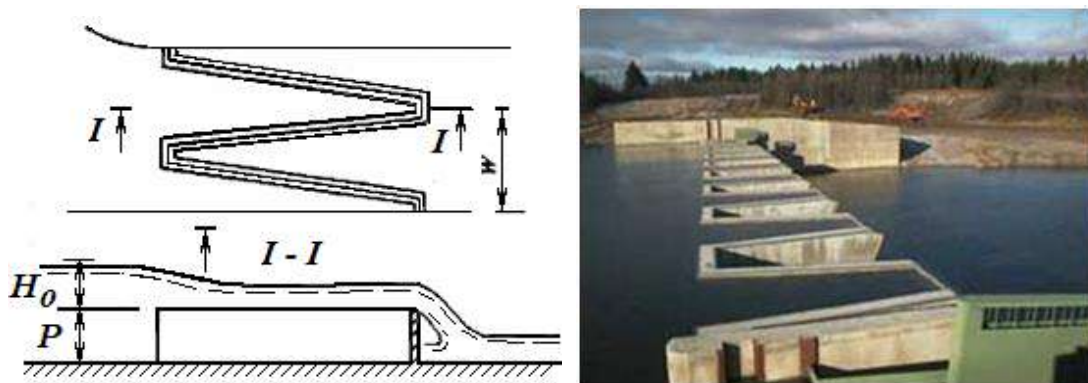


Рис. 4.7. Входная часть водосброса в виде лабиринтного водослива с тонкой стенкой



Рис. 4.8. Лабиринтный водослив в гидроузле UteDam, штат Нью Мексико (США)

Регулируемые водосбросы имеют головную часть в виде регулятора с отметкой порога ниже отметки НПУ и снабжены затворами, которые открываются в случае подъема уровня воды в водохранилище выше НПУ (рис. 4.9, 4.10).

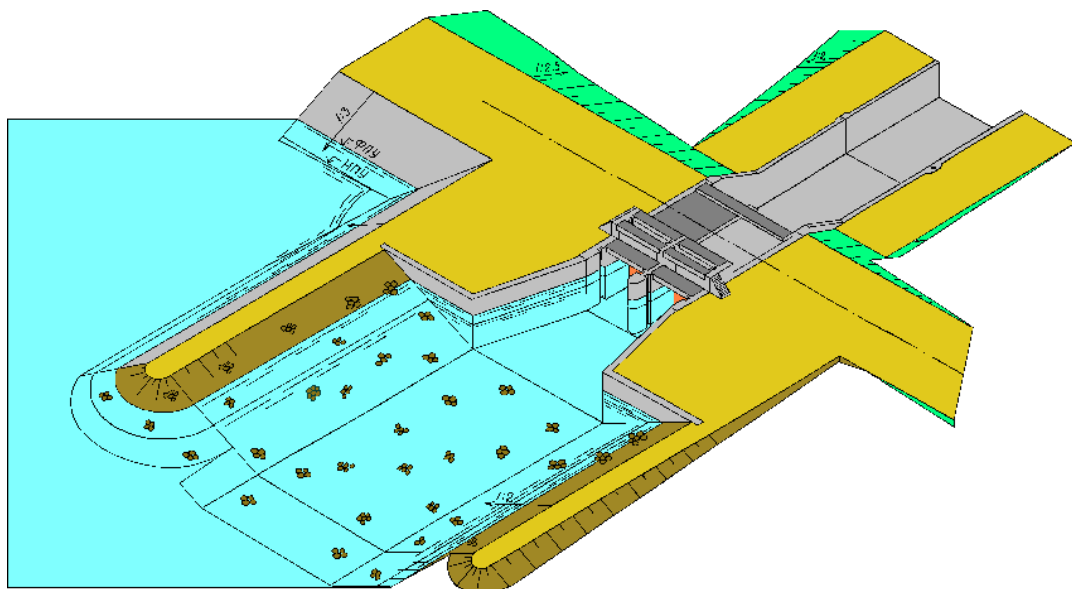


Рис. 4.9. Головная часть берегового водосброса в виде регулятора с затворами и участок подводящего канала, укрепленного крупным камнем

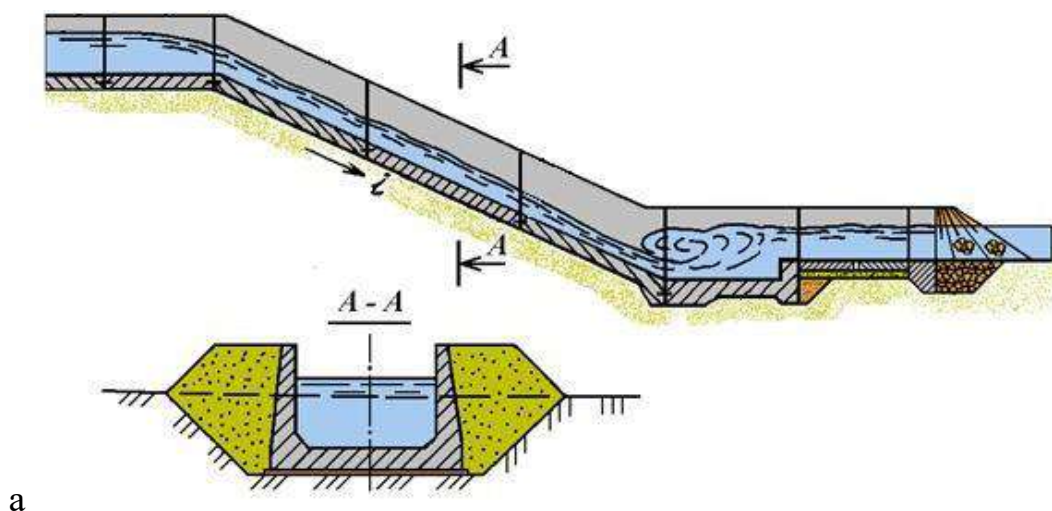


Рис. 4.10. Вид на головную часть берегового водосброса с верхнего (а) и нижнего бьефа (б), КНР

Наличие затворов позволяет отказаться от устройства развитой головной части, маневрирование ими позволяет постепенно увеличивать пропускаемый расход для того, чтобы избежать нежелательного быстрого повышения уровня воды в нижнем бьефе.

Сопрягающее сооружение служит для сопряжения более высоких отметок с НБ гидроузла. По гидравлическим условиям работы и конструктивным особенностям сопрягающие сооружения бывают следующих типов.

- **Быстроток**, водоскат которого выполняется в виде открытого железобетонного лотка (рис. 4.11) или трубы (рис. 4.12). Он применяется обычно при уклонах ($i < 0,2 \dots 0,25$).



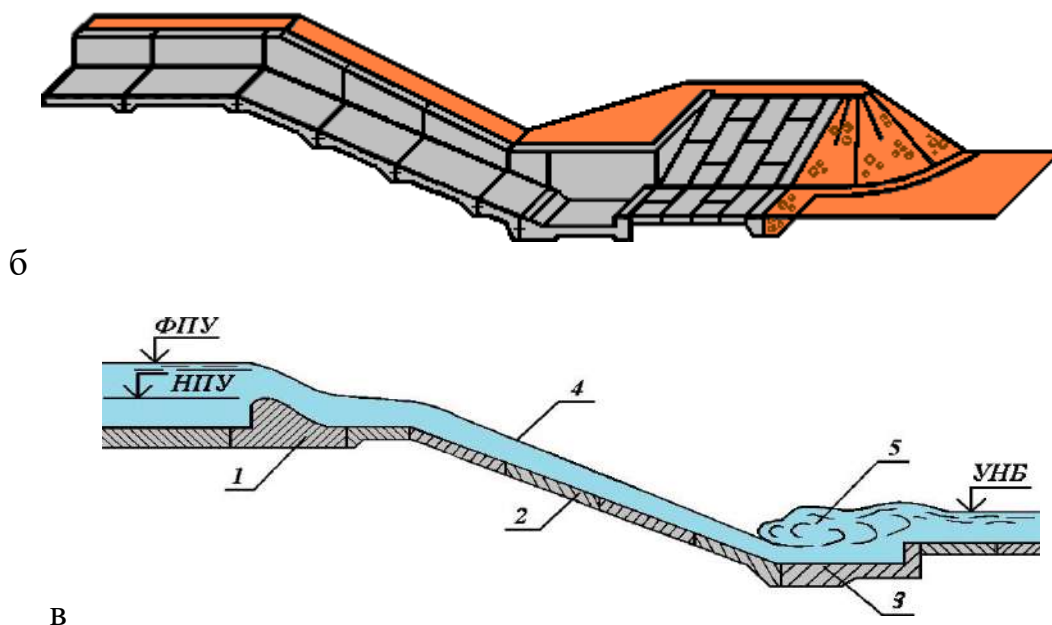


Рис. 4.11. Варианты сопрягающего сооружения – нерегулируемого быстроготока с открытым (незамкнутым) поперечным сечением: а, б – с водосливом с широким порогом; в – с криволинейным водосливом; 1 — водослив на входе; 2 — лоток быстроготока; 3 — водобойный колодец; 4 — поверхность воды; 5 — гидравлический прыжок

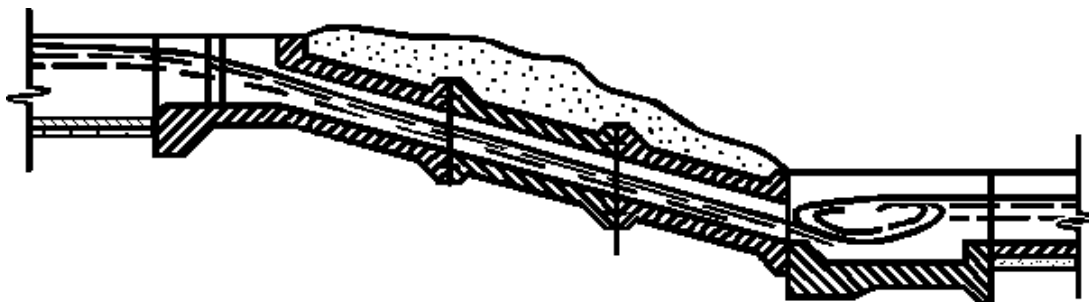


Рис. 4.12. Быстроток с замкнутым поперечным сечением (закрытый)

Ступенчатый перепад (рис. 4.13, 4.14) - береговой водосброс, сбросная часть которого выполняется в виде перепадов (одноступенчатых, многоступенчатых). Применяется при значительных уклонах местности ($i > 0,25$) и небольших удельных расходах (до $15 \text{ м}^2/\text{с}$). Гашение энергии потока при прохождении через перепад происходит частично на каждой из его ступеней за счет затопления гидравлического прыжка в пределах водобойных колодцев (на ступенях);

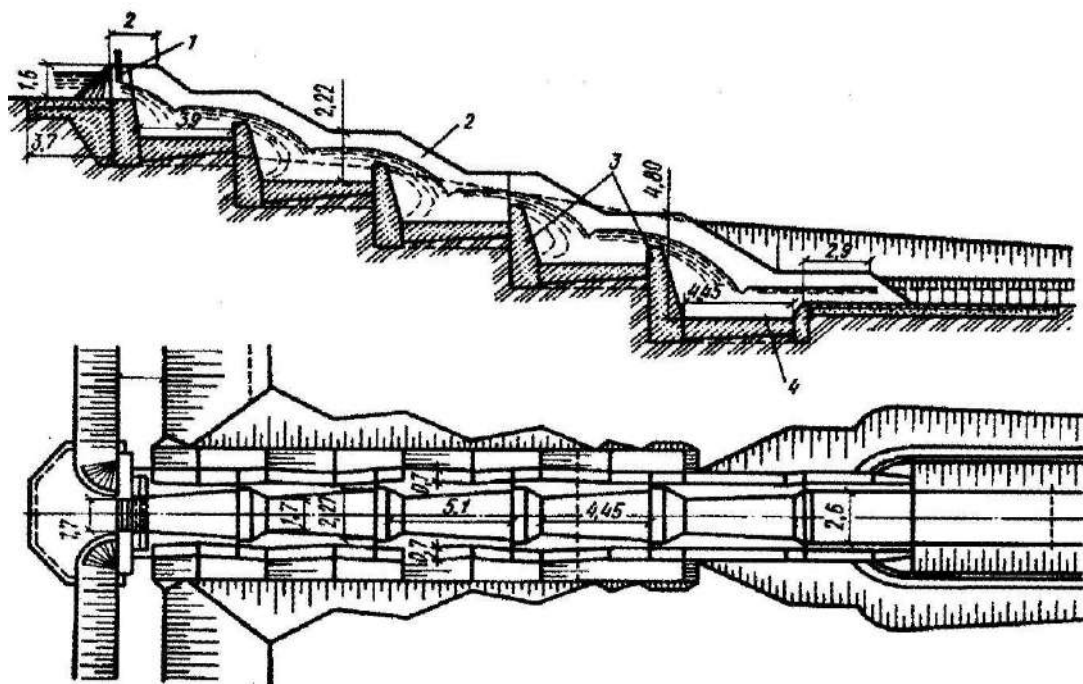


Рис. 4.13. Сопрягающее сооружение - ступенчатый перепад:

1 - плоский затвор; 2 - продольная стенка; 3 - стенка падения; 4 - водобойный колодец

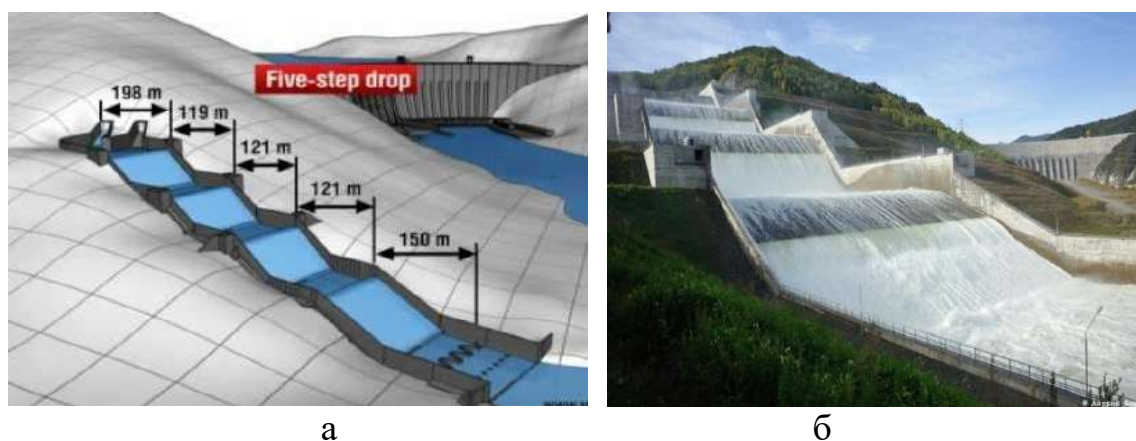


Рис. 4.14. Многоступенчатый перепад (多级空奔跌水) – сопрягающая часть резервного берегового водосброса Саяно-Шушенского гидроузла: а - схема; б - в момент пуска после реновации гидроузла

К достоинству перепадов можно отнести возможность планового поворота ступеней относительно друг друга, что особенно важно в случае расположения перепада на крутом склоне. В качестве недостатков перепадов можно отметить увеличение объемов и сложности земляных и бетонных работ по сравнению с быстротоками.

Консольный перепад (рис. 4.15) представляет собой быстроток с концевой частью в виде консоли (носка), с которой струя свободно падает в

отводящий канал с гашением энергии в водяной подушке и яме размыва (рис. 4.17). Применяется при достаточно прочных грунтах основания, при которых не возникает большой размыв в НБ.

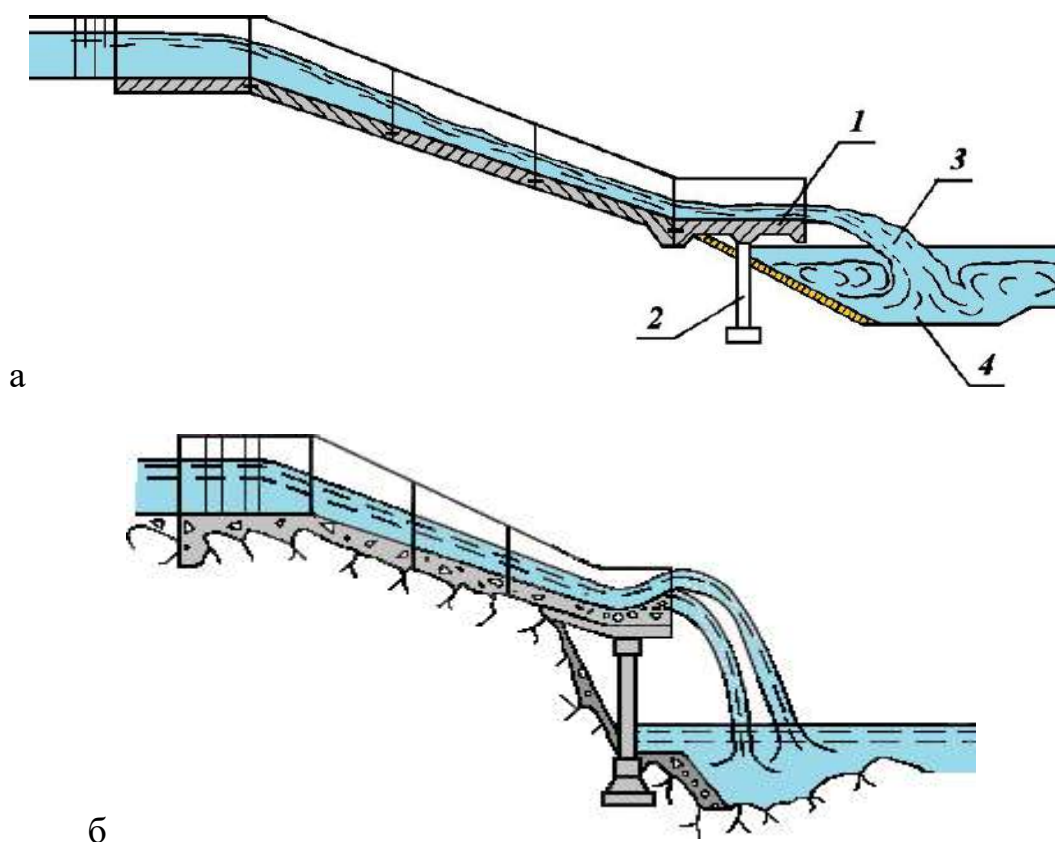


Рис. 4.15. Схема берегового водосброса с консольным сбросом

(悬臂的 (悬臂式泄水槽): а – на не скальном основании; б – на скальном основании с носком с обратным уклоном и расщепителями; 1 — консоль (консоль - 伸臂, 悬臂, 托架, 悬臂梁); 2 — опора консоли; 3 — сопряжение с нижним бьефом по типу отброшенной струи (отброс - 抛, 扔); 4 — яма размыва (冲刷坑)

Консоль опирается на систему стоек (опор), жестко связанных поверху и заглубленных в грунт ниже возможной отметки размыва. Носок выполняется горизонтальным или с обратным уклоном (для увеличения дальности отлета струи). Угол наклона носка, как правило, не превышает 15° , что позволяет избежать больших гидродинамических нагрузок. Воронку размыва обычно закрепляют под консолью и на прилегающих откосах отводящего канала гибким креплением, способным воспринимать деформации русла (камень, габионные структуры и пр.).

Вдоль быстротока или многоступенчатого перепада под сооружением и за боковыми стенками проходит фильтрационный поток, оказывающий силовое воздействие на конструкцию и основание, для снижения давления на стенки сооружений, устраивается застенный дренаж.

В последнее время получили распространение водосбросы, в которых расход воды сбрасывается по низовому откосу грунтовой плотины, защищенному бетонным покрытием с повышенной шероховатостью (в виде ступеней или чешуи) (рис. 4.16, 4.17).

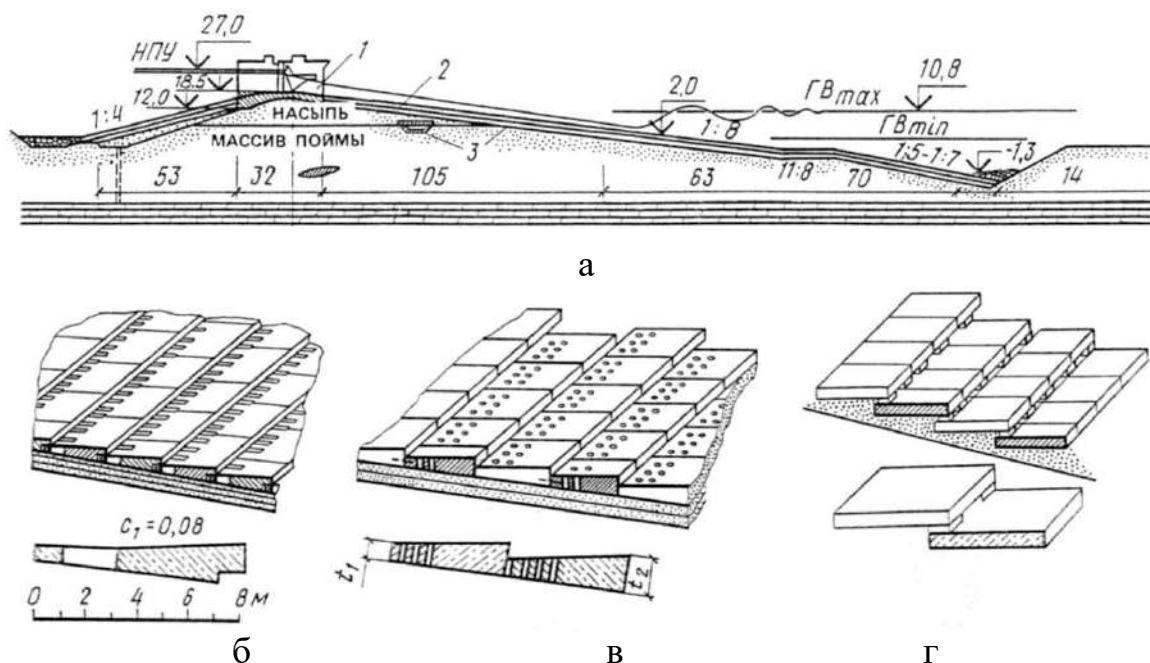


Рис. 4.16. Водосливно-бетонно-грунтовая плотина с

водосбросным трактом из сборных плит, уложенных с напуском (а) [13]: 1 – оголовок, 2 – лоток; 3 – дренаж; плиты водобоя и быстротока – клиновидные с консолью без связи (б), то же, без консоли с гибкими связями (в), плоские прямоугольного сечения (г)



Рис. 4.17. Пример грунтовой водосливной плотины со ступенчатой водосливной поверхностью

В случае сопряжения по типу донного прыжка концевые участки

береговых водосбросов могут быть выполнены в виде водобойного колодца, водобойной стенки, гасителей энергии или комбинации этих устройств (рис. 4.18). Часто для снижения удельного расхода водобой делается с расширением, что уменьшает вторую сопряженную глубину и удельные расходы и на рисберме и тем самым уменьшаются размывы в нижнем бьефе (рис. 4.19, 4.20).

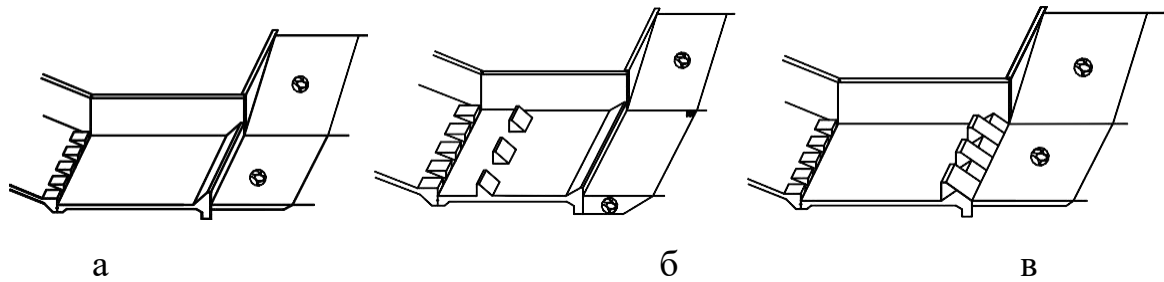


Рис. 4.18. Универсальные типичные схемы успокоительных бассейнов, использующихся для гашения энергии гидравлическим прыжком в США [13]: а – USBRIV со сплошной концевой водобойной стенкой, применяется при числах Фруда в конце быстрогока $Fr = V^2/gh_c = 6...20$; б – SAF со сплошной концевой водобойной стенкой и промежуточной прорезной стенкой - при $Fr = 2,9...280$; в – USBRП с концевым зубчатым порогом типа Ребока - при $Fr \leq 16$



Гасители энергии в конце быстрогока (**Гаситель энергии потока**
- 消能设备, 消能槛)

Рис. 4.19. Элементы нижнего бьефа открытого регулируемого водосброса на р. Воля в Подмосковье

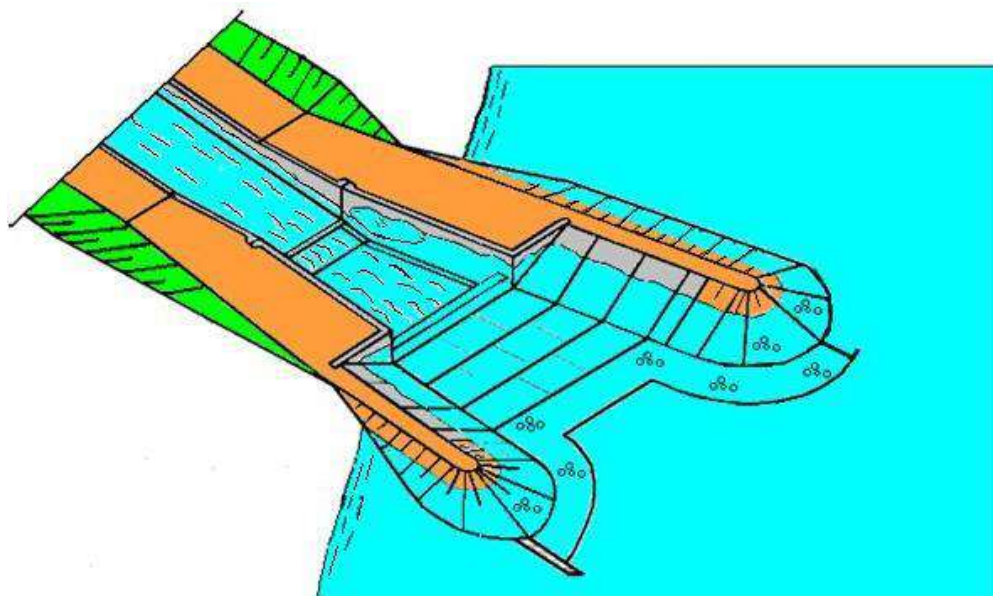


Рис. 4.20. Концевой участок берегового водосброса со сплошной водобойной стенкой

В случае сопряжения по типу поверхностного прыжка концевые участки береговых водосбросов могут быть выполнены в виде уступа с трамплином, что обеспечивает основное движение потока вблизи поверхности воды и небольшие придонные скорости. В этом случае крепление нижнего бьефа минимально (рис. 4.21).

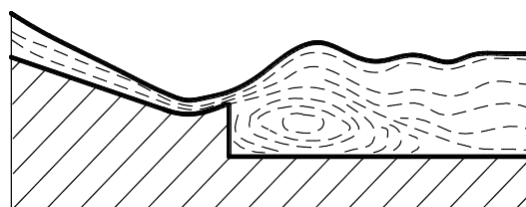


Рис. 4.21. Сопряжение бьефов по типу поверхностного прыжка

В случае скального основания концевой участок берегового поверхностного водосброса в конце имеет носок-трамплин специальной формы для отброса струи подальше от сооружения (рис. 4.22 - 4.24) для его безопасной работы.

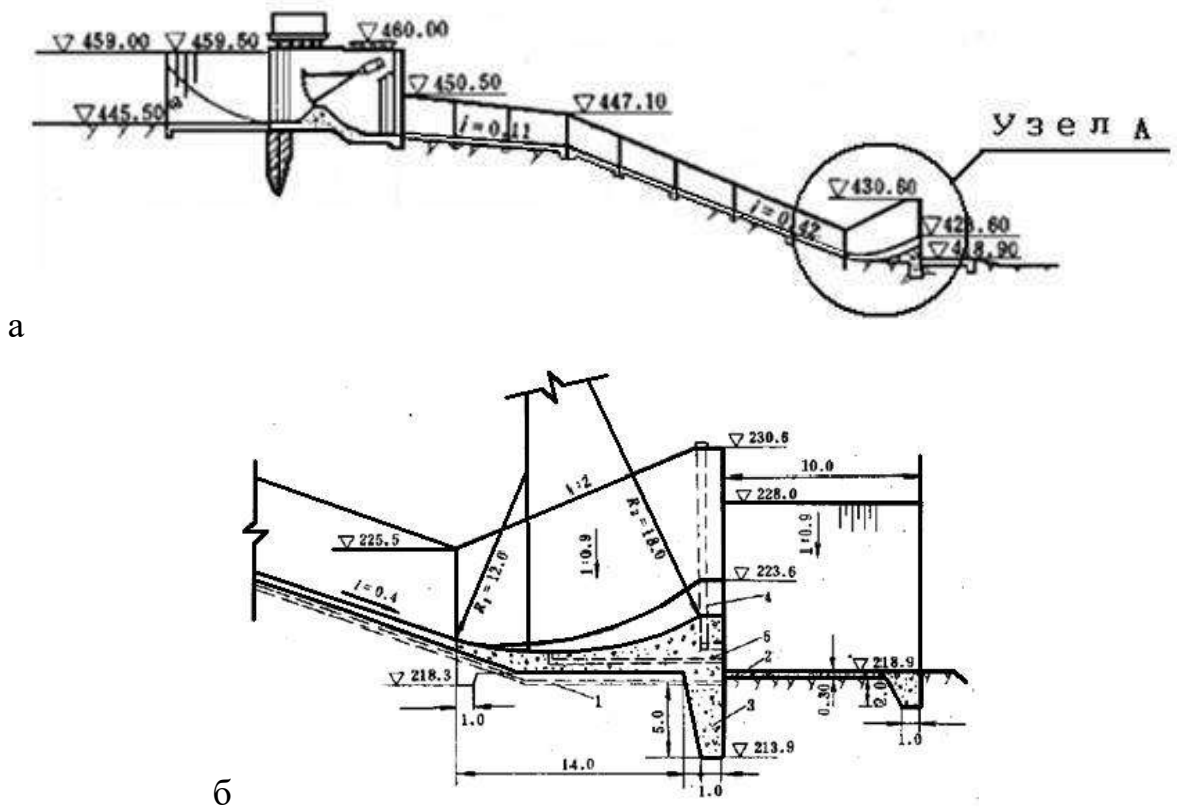
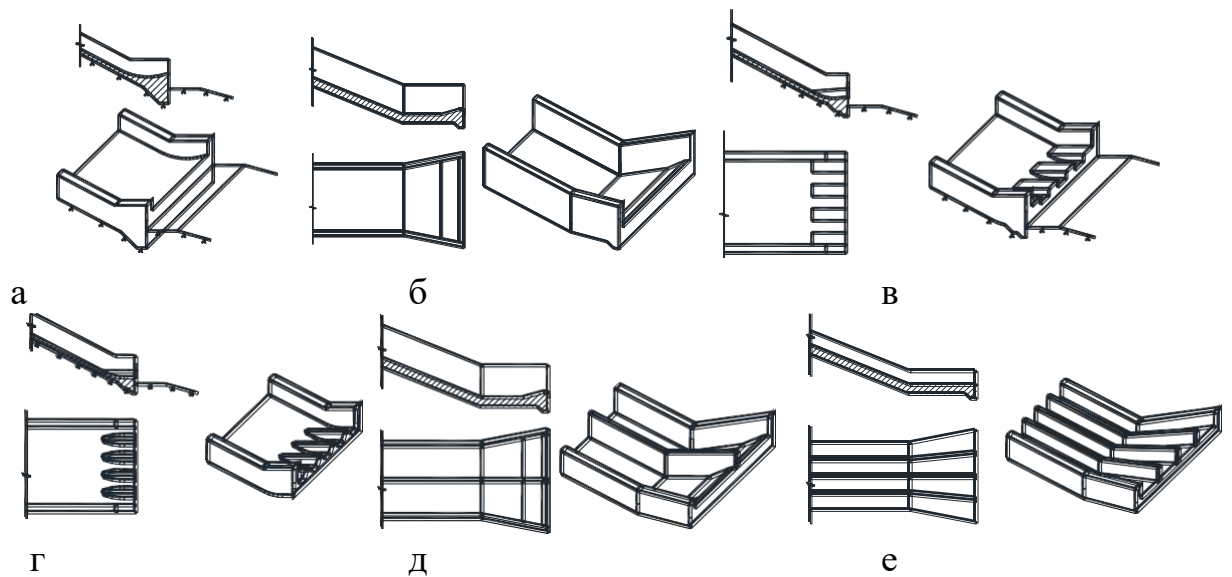


Рис. 4.22. Открытый береговой водосброс на скальном основании: а - продольный разрез по оси водосброса; б - узел А

Возможны комбинированные конструкции береговых водосбросов, состоящие из нескольких участков, выполненных в виде водосбросных частей разных типов. Например, береговой водосброс Саяно-Шушенской ГЭС состоит из туннельного участка и открытого многоступенчатого сопрягающего сооружения (рис. 4.23).



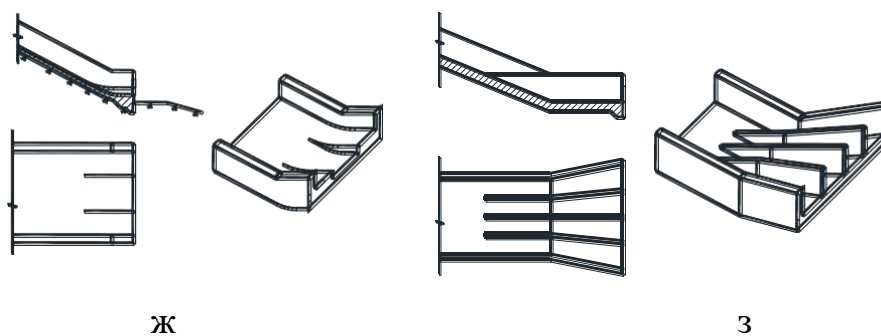


Рис. 4.23. Некоторые схемы носков-трамплинов для отброса струи: а – носок-трамплин без расширения в плане; б – носок-трамплин с расширением в плане; в и г – носок-трамплин с расщепителями; д и е – носок-трамплин с отдельной(ыми) стенкой(ами); з – носок-трамплин с направляющими стенками; ж – носок-трамплин с разновысокими трамплинами

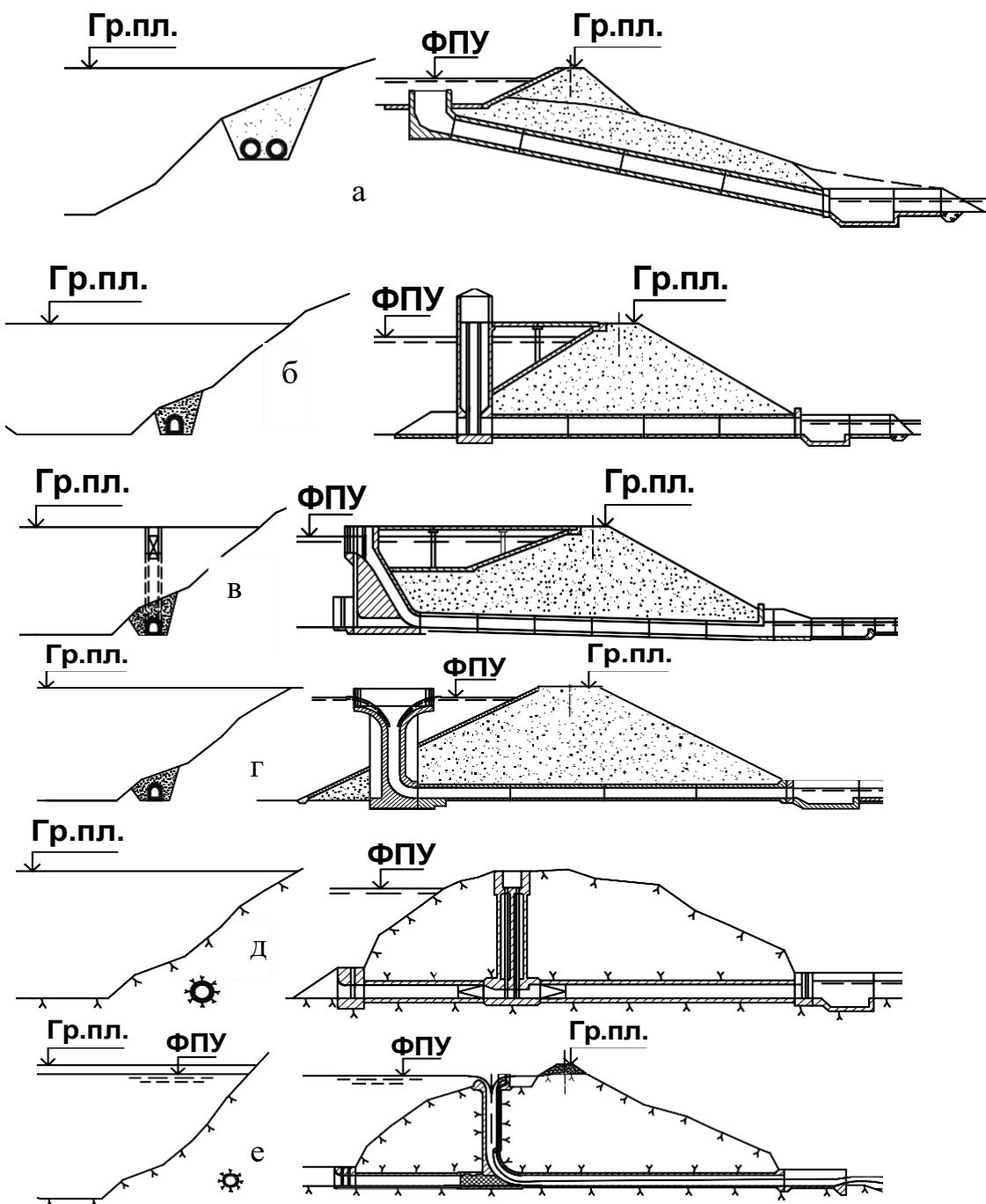


Рис. 4.24. Береговой поверхностный водосброс гидроузла Итайпу (Бразилия), сопряжение бьефов с отбросом струи

4.1.2. Закрытые водосбросы

Закрытые водосбросы, в частности туннельные и шахтные, применяются в тех случаях, когда створ гидроузла находится в скальном ущелье с крутыми склонами, когда устройство других типов водосбросов может оказаться экономически невыгодным. Башенные водосбросы с транзитной частью в виде труб, уложенных в тело плотины, как правило, на отметках дна русла или близких к ним, совмещают функции нескольких водопропускных сооружений в одном (рис. 4.25). При этом в период строительства по трубам водосброса пропускаются строительные расходы, а в период эксплуатации

могут пропускаться расходы от минимальных, соответствующих полезным попускам, до расчётных максимальных расходов. Это позволяет снизить стоимость гидроузла. Кроме того, башенные водосбросы удобны для ввода гидроузла в эксплуатацию с наполнением водохранилища по мере завершения отдельных очередей его строительства, а также в случаях реконструкции сооружений водного объекта с наращиванием высоты плотины для увеличения водопотребления.



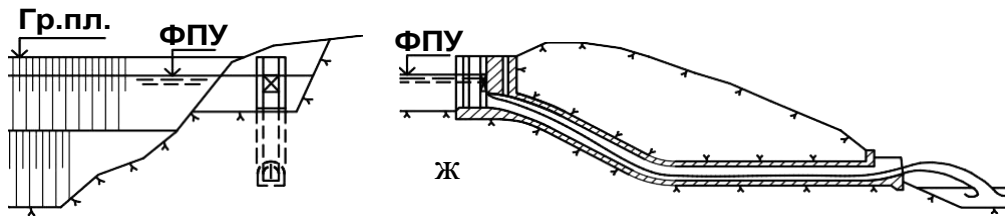


Рис. 4.25. Основные типы закрытых водосбросов при грунтовых плотинах: а – ковшовый (трубчатый береговой); б – башенный (трубчатый с глубинными отверстиями); в – трубчатый с поверхностным водоприемником; з – башенный с шахтным водоприёмником (шахтно-башенный); д – туннельный с донным водоприемником; е – шахтный туннельный; ж – туннельный с поверхностным водоприемником; з – трубчатый с поверхностным водоприемником

Области преимущественного применения основных типов водосбросов, используемых в компоновках с глухими плотинами, можно оценить по графику, составленному В.М. Семенковым (рис. 4.26), в зависимости от мощности сбросного потока $N = 0,0098QH$ (МВт) и относительной ширины речной долины L/h_{nl} , где L и h_{nl} – соответственно длина плотины по гребню и её высота; Q – расчётный расход водосброса, m^3/c ; H – перепад между УВБ и отметкой уровня воды в естественном русле в НБ при пропуске этого расхода [13]. В узких речных долинах при относительно небольших мощностях сбросного потока используются русловые поверхностные водосбросы, а при больших мощностях преимущественное распространение получили береговые водосбросы. Туннельные водосбросы применяются в основном в относительно узких речных долинах, чаще всего в комбинации с другими типами русловых и береговых водосбросов.

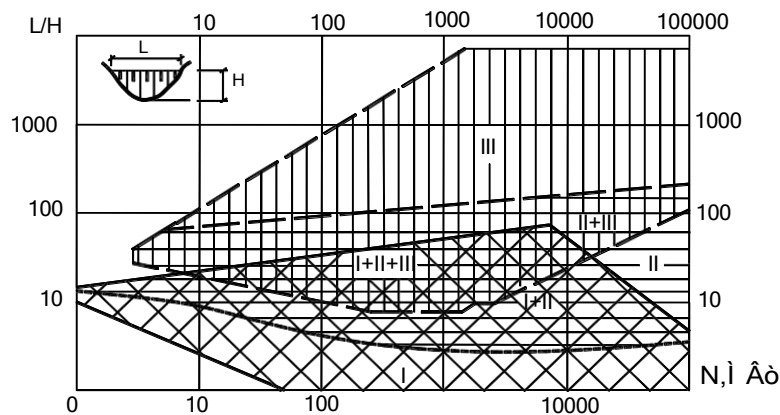


Рис. 4.26. Области преимущественного применения различных типов водосбросов по В.М. Семенкову [13]: I, II и III – туннельные, береговые

(поверхностные и глубинные) и русловые (поверхностные и глубинные) водосбросы,
соответственно

Трубчатые водосбросы (管道式泄水建筑物) применяются при малых и средних напорах. Это водосбросы с замкнутым поперечным сечением представляют собой сборную железобетонную трубу, уложенную в вырытую на берегу траншею с последующей полной или частичной обратной засыпкой (рис. 4.27). Надежность работы такого водосброса во многом зависит от качества выполнения стыков железобетонных труб, которые при возможной неравномерности осадок не должны раскрываться. Во избежание усиленной фильтрации по контакту сооружения с грунтом основания и засыпки, трубы лучше укладывать на бетонную подготовку, а вдоль водосброса устраивать несколько поперечных диафрагм. Трубчатые водосбросы обычно имеют: головную часть, оборудованную в виде водослива или башни с затворами; донную трубу; выходной оголовок с устройствами для гашения энергии потока (водобойный колодец или трамплин и др.) (рис. 4.28).

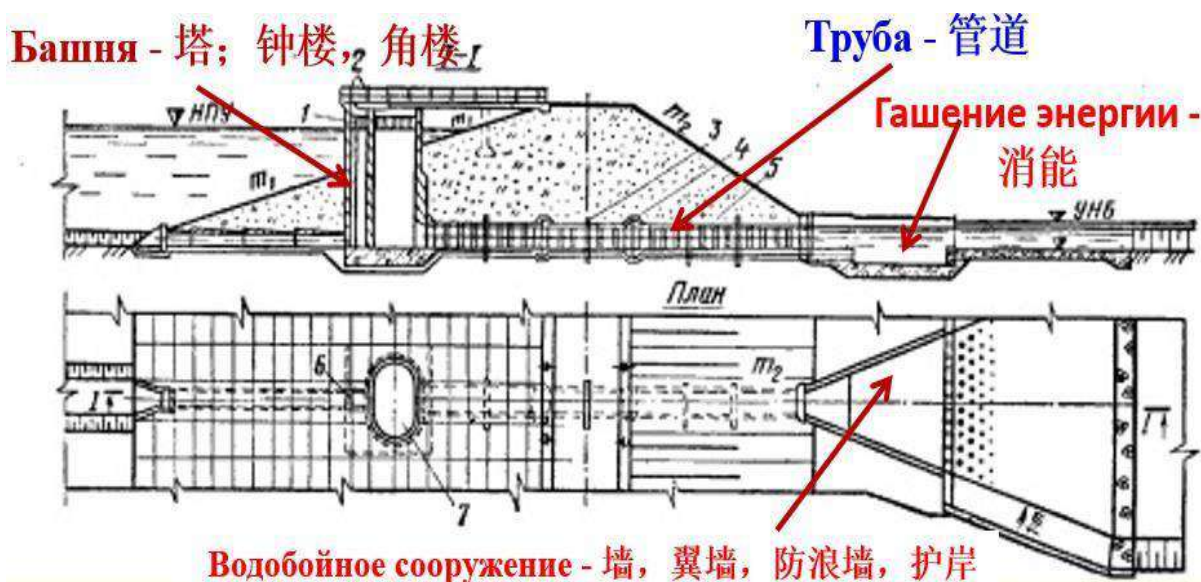


Рис. 4.27. Продольный разрез и план типового проекта трубчатого нерегулируемого водосброса, Укргипроводхоз: 1 – сороудерживающая решётка; 2 – подъёмник; 3 – железобетонная диафрагма; 4 – деформационный шов; 5 – оклеечная гидроизоляция

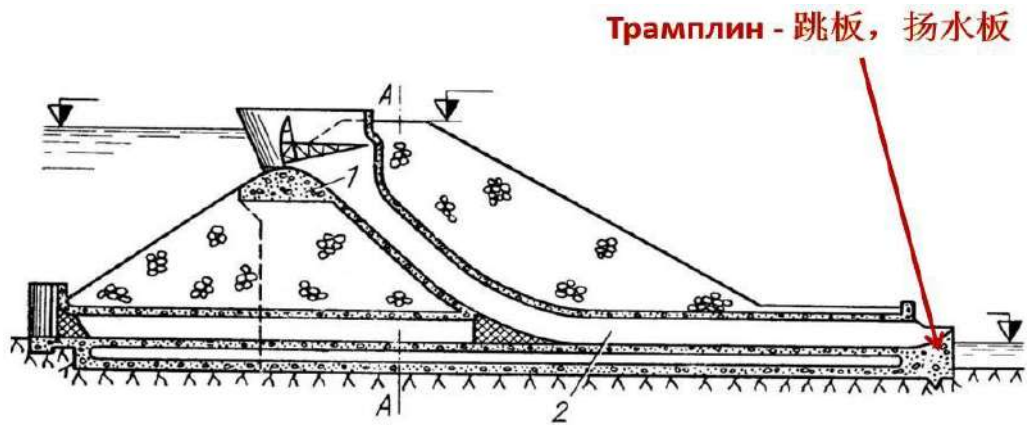


Рис. 4.28. Трубчатый регулируемый водосброс: 1 – порог криволинейного водослива; 2 – отводящая труба

Туннельные водосбросы. Это водосбросы с замкнутым поперечным сечением, расположенные в коренных скальных породах и выполненные без их вскрытия. Входные участки часто выполняют с башней затворов (рис. 4.29).

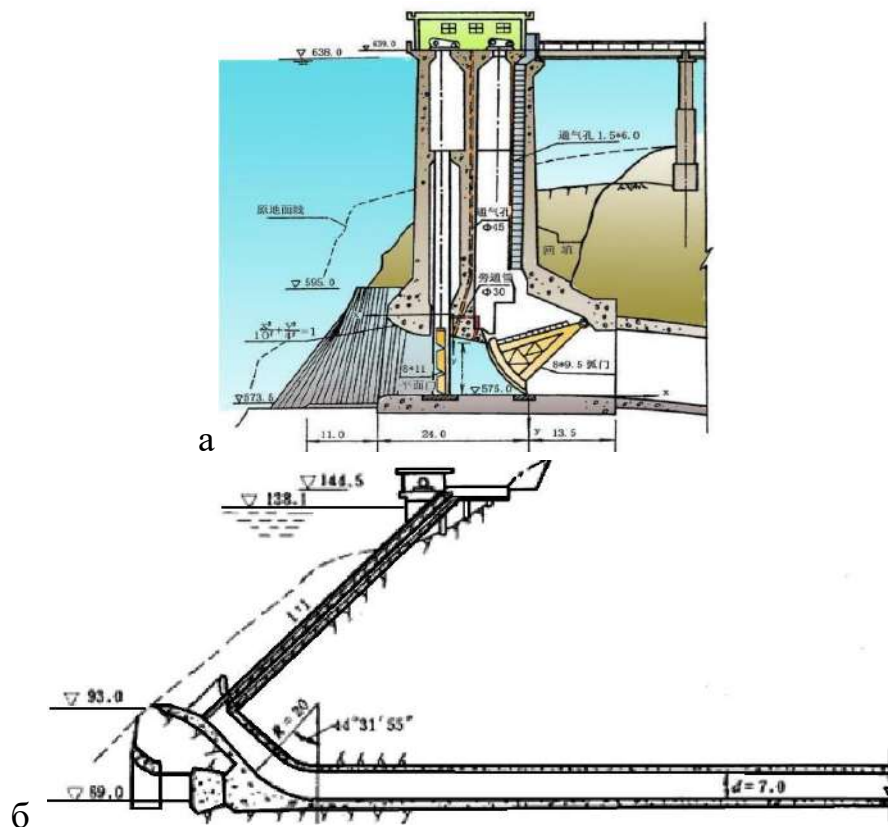


Рис. 4.29. Входной участок глубинного туннельного водосброса с башней (а) и без башни (б)

Сбросная часть выполняется в виде туннеля с различными продольными профилями и гидравлическими режимами течения воды (рис. 4.30).

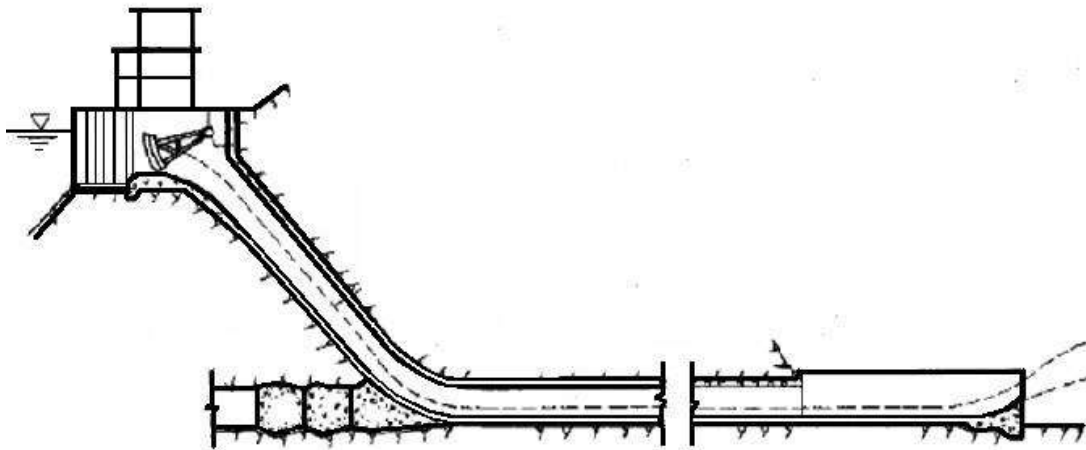


Рис. 4.30. Пример туннельного водосброса

Частным случаем туннельного водосброса является **шахтный водосброс** (竖井式泄水建筑物) со сбросной частью в виде вертикальной или наклонной шахты (гидравлический режим при этом может быть напорным, безнапорным и комбинированным). Часто туннель используется и как строительный водосброс, затем он перекрывается бетонной пробкой и начинает работать как эксплуатационный шахтный водосброс (рис. 4.31).

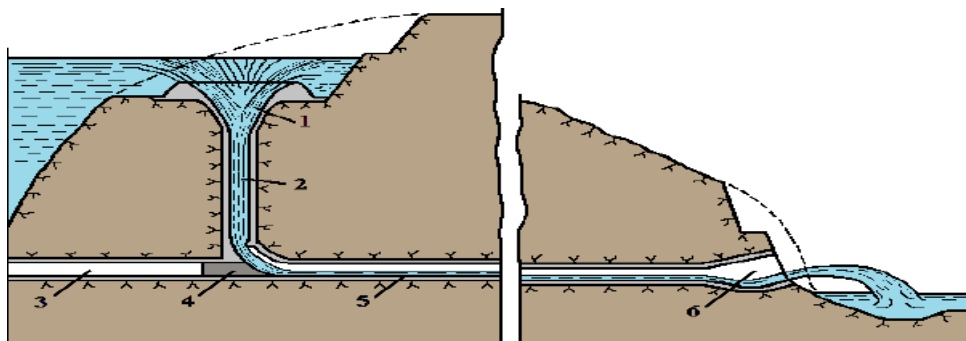


Рис. 4.31. **Схема шахтного водосброса:** 1 - водосливная воронка в виде кольцевого водослива; 2- шахта; 3 – строительный туннель; 4 – пробка; 5 – отводящий туннель; 6 – выходной участок

Шахтные водосбросы применяются на гидроузлах среднего и большого напора, в основном при скальных основаниях. *Лепестковый водослив* позволяет получить водосливной фронт большей длины и позволяет обеспечить сброс воды без значительных колебаний уровня воды в ВБ (рис. 4.32, 4.33).

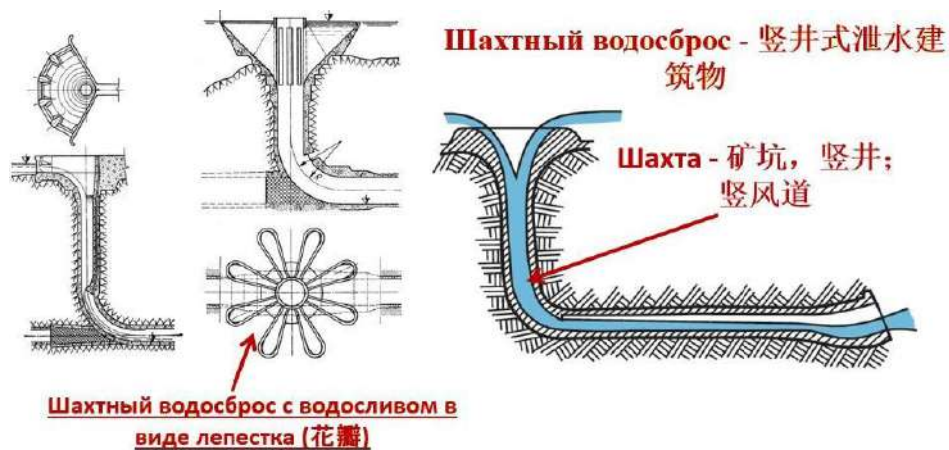


Рис. 4.32. Возможные типы входных воронок шахтных водосбросов



Рис. 4.33. Входной участок – «ромашка»

Радиус колена, сопрягающего шахту и отводящий туннель (рис. 4.31), рассчитывается исходя из условия недопущения в колене вакуума. Падение давления ниже атмосферного может привести к возникновению кавитации и кавитационной эрозии. При устройстве стеснения следует обеспечить отрыв потока от потолка колена и подвод к нему воздуха. В коротком безнапорном туннеле воздух поступает к колену со стороны выходного портала. На рисунках 4.34 и 4.35 показаны примеры шахтных водосбросов, построенных в разных странах мира.

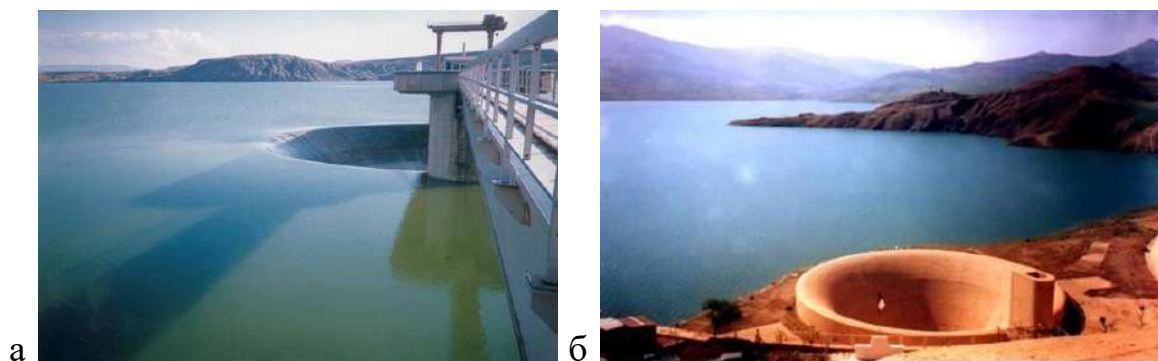


Рис. 4.34. **Шахтные водосбросы плотин в Алжире:** а - Сиди Мухаммед Бен Ауда, совмещенный с многоуровневым водозабором и донным водовыпуском;; б - Sidi-Yakoub



Рис. 4.35. **Шахтный водосброс гидроузла Монтичелло (США) (а) и ступенчатый шахтный водосброс Ladybower (Англия) (б)**

4.2. Водовыпуски (водозаборы) и водоспуски

Одной из наиболее распространенных конструкций водовыпусков гидроузлов с глухими грунтовыми плотинами являются **трубчатые водовыпуски**, которые подразделяются на *безбашенные* (башня отсутствует) (рис. 4.36, 4.37) и *башенные* (башня имеется) (рис. 4.38).

Водоспуски-водовыпуски устраиваются для: 1 - пропуска полезных расходов воды в нижний бьеф (водохозяйственные и санитарные требования); 2 - полного или частичного опорожнения водохранилища (*опорожнить водохранилище - 到空, 用空, 掏空*) в заданный срок в целях ремонта (*ремонт - 修理, 检修*) сооружений; 3 - для промыва наносов, отложившихся перед сооружением. Входное отверстие водоспусков - водовыпусков располагают ниже отметки уровня мёртвого объёма (УМО) - *无效容积水位*.

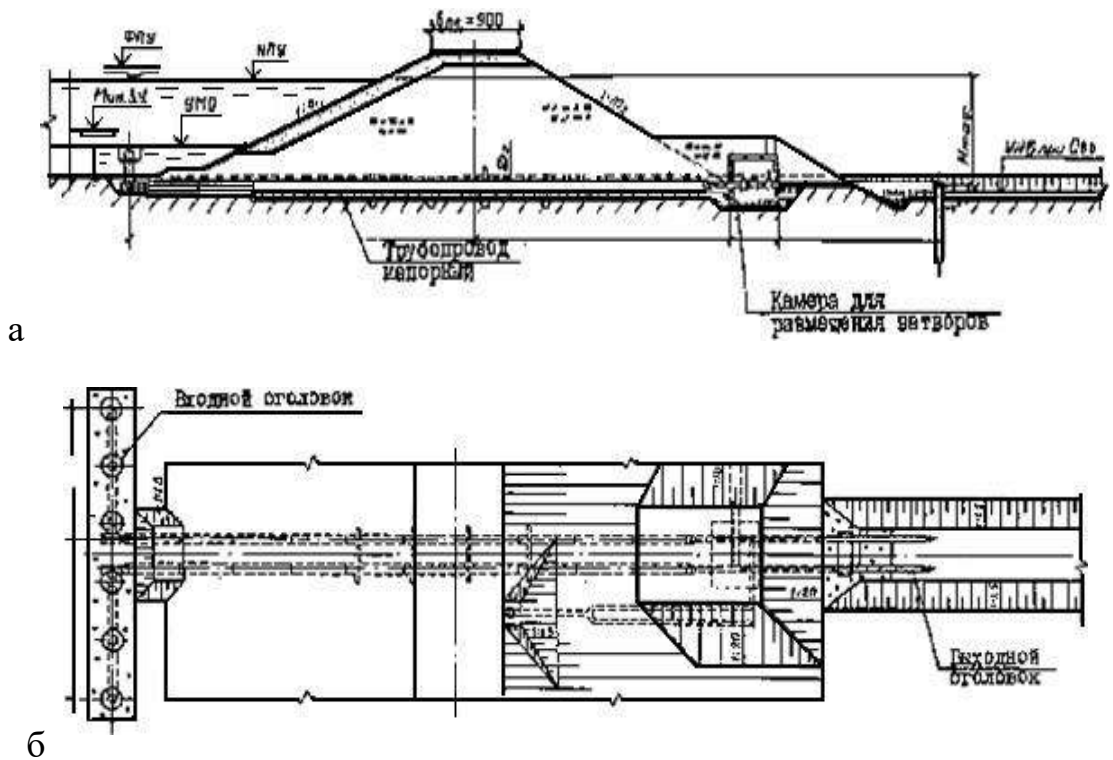


Рис. 4.36. Безбашенный трубчатый водовыпуск-водозабор при грунтовой плотине на расход воды до $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ при напоре до 12 м

Безбашенные водовыпуски применяют для сравнительно небольших напоров (до 10...12 м) (рис. 4.37).

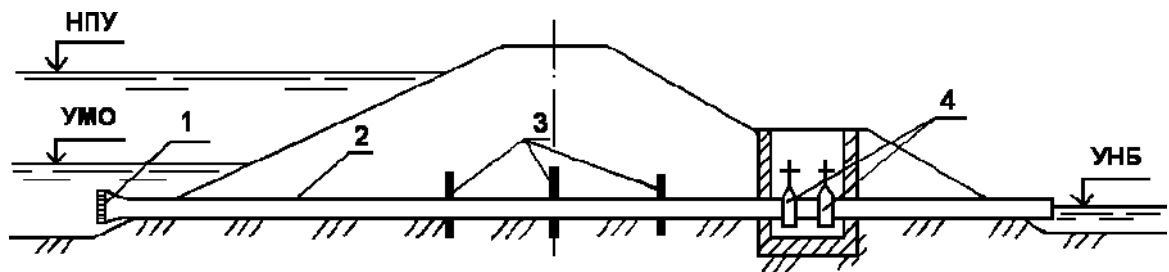


Рис. 4.37. Схема трубчатого водоспуска – водовыпуска: 1—входной оголовок (входной оголовок - 进口部); 2 — труба (металлическая); 3 — диафрагмы (心墙, 截水墙) для уменьшения фильтрации вдоль трубы; 4 — задвижки для регулирования подачи воды (闸板, 活动板, 阀; 插销)

Башенные водовыпуски обычно применяются для напоров более 12 м, они различаются по местоположению башни управления затворами (рис. 4.38): с выдвинутой башней, находящейся в зоне подошвы верхового откоса плотины (а); с башней, расположенной в средней части верхового откоса (б); с башней, находящейся либо у гребня плотины, либо со стороны низового откоса (в).

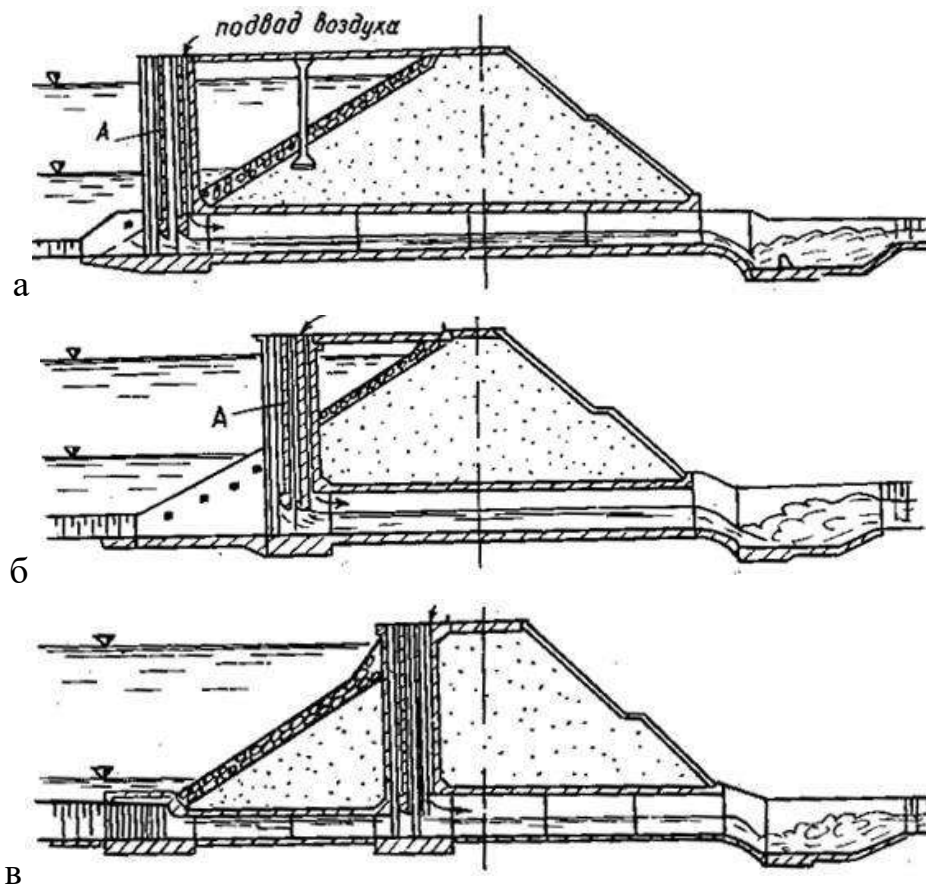


Рис. 4.38. **Различное расположение башни у башенных водовыпусков**
 Наиболее целесообразно выдвинутое или частично выдвинутое положение башни управления, позволяющее сократить до минимума длину напорной трудно осматриваемой части водовыпуска (рис. 4.39).



Рис. 4.39. **Водовыпуски плотин в Алжире:** а – Tiledsit; б - Дер-Дер, Алжир,
 фото ЗАО «Зарубежводстрой»

Часто в бетонной галерее водовыпуска при небольших расходах располагают металлические трубы на опорах, которые занимают часть площади галереи. В этом случае конструкция получается более надежная, так как трубы можно осматривать и заменять в случае их старения и выхода из

стройка. Для этого в начале трубы устраивают ремонтный затвор или задвижку (рис. 4.40).

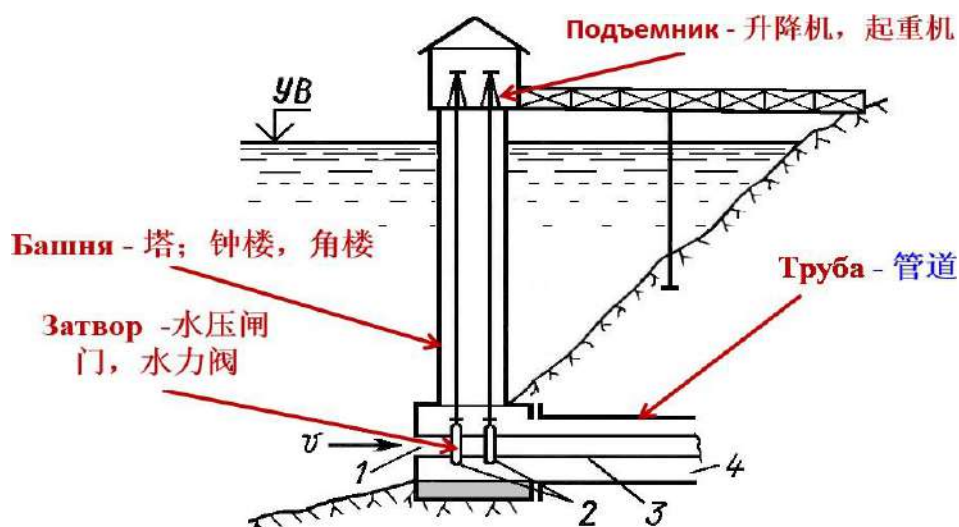


Рис. 4.40. Башенный трубчатый водосброс-водоотпуск-водозабор: 1 – приёмная часть, покрытая решёткой; 2 – камера управления, с помещёнными в ней затворами; 3 – напорный трубопровод; 4 – труба-галерея

Галереи трубчатого водоотпуска часто делаются железобетонными или непосредственно используются в качестве водопропускного тракта или имеют внутри трубопроводы для пропуска эксплуатационных расходов. Входная часть трубчатого водоотпуска как водопропускного тракта (от входного оголовка до камеры затворов) в большинстве эксплуатационных случаев работает в напорном режиме; транзитная и концевая части в безнапорном, что обеспечивает отсутствие неблагоприятных переходных режимов, более надёжную работу стенок галерей и уплотнений. Это значительно удешевляет конструкцию. В целях обеспечения устойчивого безнапорного режима работы водоотпусков на транзитном участке за башней в пространство за затвором подводят воздух через воздухопроводы. Галереи используют в период эксплуатации для осмотра и ухода за трубопроводами, поэтому необходимо назначить высоту трубопровода из условия прохода людей. В период строительства галереи используются для пропуска расходов реки, при этом обеспечивается безнапорный режим течения.

Толщину бетонных стенок и дна конструкций водоотпуска

устанавливают на основе расчета их на прочность и устойчивость под действием всех расчетных сил. В большинстве случаев необходимо покрывать поверхности бетонных галерей и башен слоем гидроизоляции (прежде всего галереи и нижнюю часть башни) или защищать их слоем глинистых грунтов.

При использовании водохранилищ для водоснабжения более чистой, отстаившуюся воду получают с помощью дополнительных отверстий, расположенных на разной высоте (с решетками и автономными затворами) и соединенных с трубопроводами, подающими воду на очистную или насосную станцию (рис. 4.41).

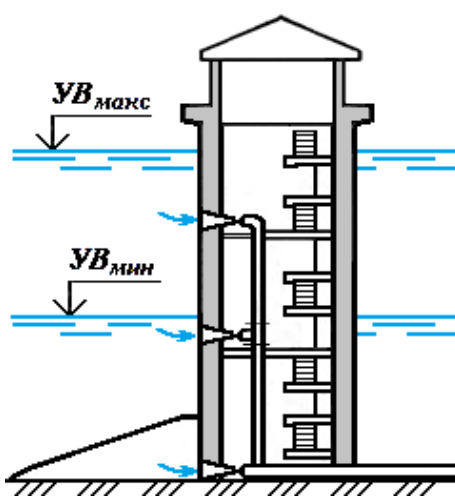


Рис. 4.41. Башня водовыпуска (водозабора) с забором воды на разных отметках

Необходимое число отводящих галерей водовыпуска устанавливают на основе гидравлических и технико-экономических расчетов. В большинстве случаев из условий обеспечения надежности работы водовыпусков - сооружений, которые работают круглый год, нецелесообразно принимать число галерей меньше двух. При обосновании необходимого числа галерей следует также учитывать пропуск расходов реки строительного периода. Во избежание попадания в водовыпуск льда, шуги, плавающих тел и мусора его головную часть оборудуют решетками соответствующих размеров и затенения, а также средствами их очистки. При разрезке трубчатых водовыпусков деформационными швами конструкция последних должна

предусматривать меры борьбы с контурной фильтрацией, то есть должны устраиваться диафрагмы. Уплотнение швов, их число и размещение должны удовлетворять требованиям повышенной надежности. В связи с этим часто выполняют два ряда уплотнений - основное и резервное. Особо тщательно следует осуществлять уплотнение напорной труднодоступной для осмотра части сооружения. Концевые части водовыпусков конструируют с учетом общих требований и рекомендаций [23 - 25].

Туннельный водоспуск (隧洞泄水道) по форме и условиям работы аналогичен трубчатому водоспуску. Отличие состоит в том, что туннельные водоспуски возводят в берегах в скале (岩石, 悬崖) (рис. 4.42).

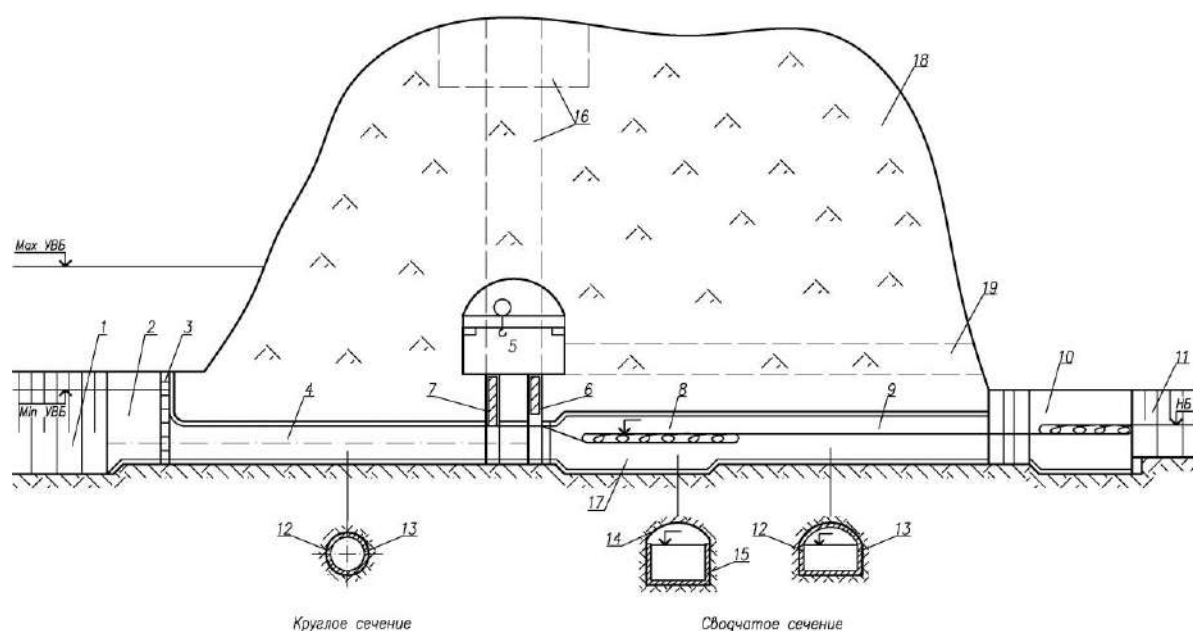


Рис. 4.42. Схема туннельного водоспуска – водовыпуска в скале [30]: 1

- подводящий канал; 2 — входной оголовок с расширением в плане; 3 — сороудерживающая решетка (может быть затвор); 4 — напорный туннель круглого сечения; 5 — камера затворов; 6 — рабочий затвор; 7 — ремонтный затвор; 8 — безнапорный режим движения потока; 9 — безнапорный туннель; 10 — выходной оголовок с водобойным колодцем; 11 — отводящий канал; 12 — ж/б отделка туннеля; 13 — облицовка туннеля, уменьшающая шероховатость; 14 — обработанная скала (свод); 15 — ж/б лоток; 16 — возможный вариант расположения шахты для управления затворами; 17 — водобойный колодец в туннеле; 18 — берег (скала); 19 — строительный туннель.

4.3. Водосбросные плотины

4.3.1. Водосбросные плотины на не скальном основании

Водосбросные плотины предназначены для пропуска паводковых вод. В понятие водосбросная плотина включается понятие флютбет. Флютбетом

водосбросной плотины называют совокупность частей плотины, поверх которых протекает открытый водный поток, а их нижняя граница (линия) соприкасается с грунтом основания (рис. 4.43).



Рис. 4.43. Схема бетонной водосбросной плотины на не скальном основании

Конструктивные решения и размеры элементов флютбета (рис. 4.44) определяются гидравлическим, фильтрационным и статическим расчетами. В плотинах на не скальном основании для уменьшения потерь воды на фильтрацию и уменьшения фильтрационного давления со стороны основания устраиваются противофильтрационные устройства (ПФУ) - понуры, шпунты, буробетонные сваи и стенки, зубья, противофильтрационные завесы, а также дренажные устройства (рис. 4.45).

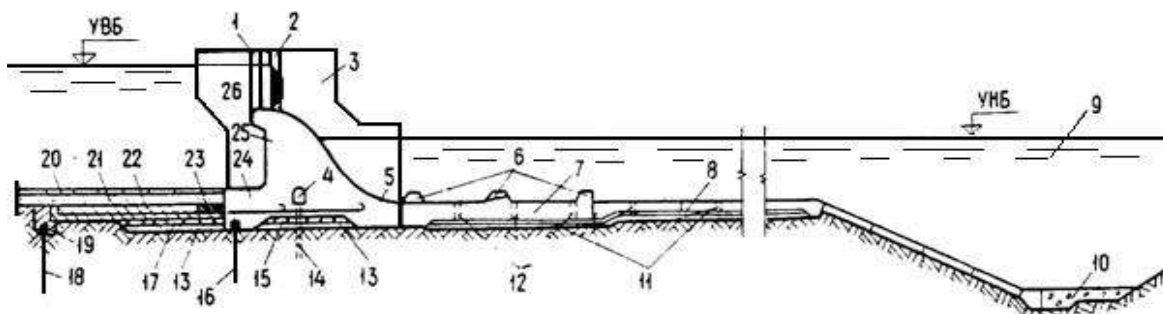


Рис. 4.44. Отдельные части и элементы водосбросной (водосливной) плотины с анкерным понуром на не скальном глинистом основании

(флютбет): 1 - паз ремонтного затвора; 2 - паз рабочего затвора; 3 - промежуточный бык; 4 - дренажная галерея; 5 - низовой участок фундаментной плиты; 6 - гасители энергии; 7 -

водобой; 8 - рисберма; 9 - предохранительный ковш; 10 - переходное деформируемое крепление; 11 - горизонтальный дренаж водобоя и рисбермы; 12 - дренажные колодцы; 13 - обратный фильтр; 14 - вертикальный дренаж основания; 15 - горизонтальный дренаж фундаментной плиты; 16 - верховой подплотинный шпунт; 17 - горизонтальный дренаж понура; 18 - понурный шпунт; 19 - надшпунтовая балка; 20 - крепление пригрузки; 21 - пригрузка понура; 22 - анкерный понур; 23 - гибкий участок анкерного понура; 24 - верховой участок фундаментной плиты; 25 - водослив; 26 - гребень водослива

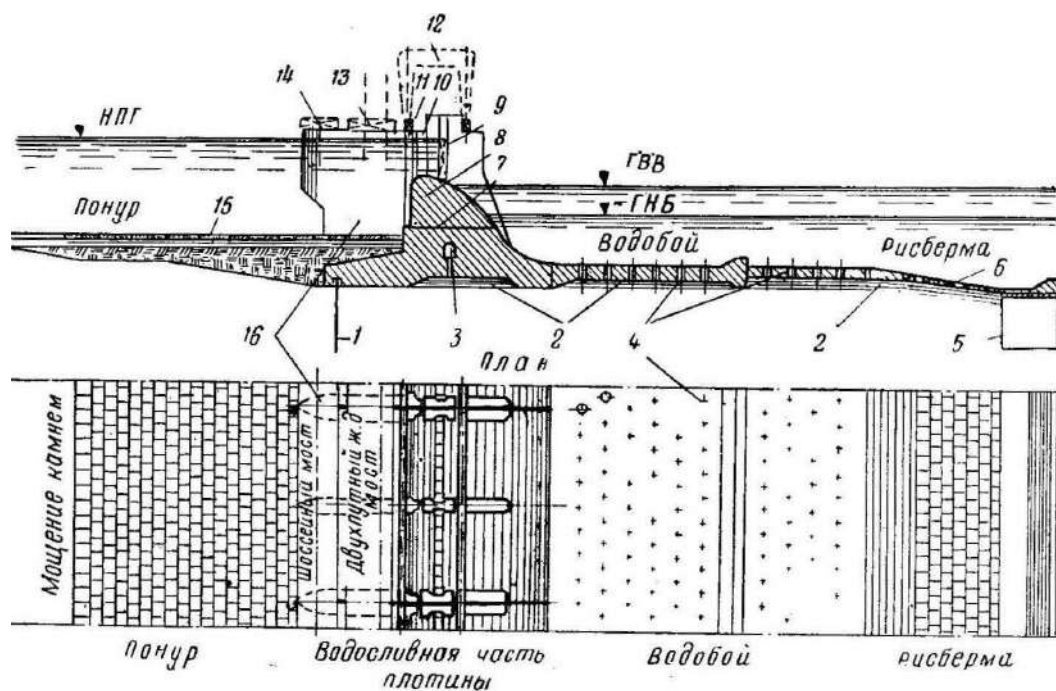


Рис. 4.45. Конструкция бетонной плотины на песчаном основании: 1 — металлический шпунт; 2 — обратный фильтр; 3 — дренажная галерея; 4 — дренажные отверстия; 5 — ячеистая стенка (металлический шпунт); 6 — плиты; 7 — часть тела водослива, возводимая способом гребенки; 8 — водослив; 9 — рабочий эксплуатационный затвор; 10 паз для балок ремонтных заграждений; 11 — паз для заграждений на период строительства; 12 — порталный кран; 13 — двухпутный железнодорожный мост; 14 — автомобильный мост; 15 — плиты; 16 — бык

Понуры (горизонтальные ПФУ со стороны ВБ) по конструкции подразделяются на: *жёсткие* - в виде покрытий из бетона и железобетона; *гибкие* - выполняемые из грунтов, асфальтовых, полимерных и других материалов, отвечающих требованиям деформативности, водонепроницаемости, прочности, стойкости к химической агрессии; *смешанной* конструкции - из гибкого и жесткого участков (*анкерные* понуры). Основным назначением понура является создание водонепроницаемого крепления дна перед телом плотины, которое увеличивает длину подземного

контура плотины и тем самым снижает фильтрационное давление, повышает фильтрационную прочность грунта основания плотины. Коэффициент фильтрации понура должен быть в 50 и более раз меньше коэффициента фильтрации грунтов основания. Водонепроницаемые понуры следует предусматривать при грунтах основания из глины или суглинков. Маловодопроницаемые понуры (с коэффициентом фильтрации $K \leq 10 \dots 3$ м/с) - при песчаных грунтах и супесях. Для плотин IV класса опасности понур следует устраивать преимущественно из местных материалов (суглинков, глин, торфа, разложившегося не менее чем на 50%). Длину понура следует устанавливать на основании результатов расчетов фильтрационной прочности грунта основания и устойчивости плотины. Толщина грунтового понура назначается из условия допустимого критического градиента напора для материала понура. Для понуров всех видов, за исключением бетонных, следует предусматривать пригрузку их грунтом, предохраняемым от размыва креплением в виде бетонных плит или каменной наброски.

Шпунты (вертикальные ПФУ) могут быть металлическими, железобетонными, композитными или деревянными [25]. Их следует выбирать в зависимости от геологических условий, расчетного напора и глубины погружения. Общую глубину погружения шпунта следует принимать не менее 2,5 м, а глубину погружения шпунта в водонепроницаемый слой - не менее 1 м. Шпунт в начале подземного контура водосбросной плотины следует предусматривать при отсутствии понура. Глубину ПФУ, характеристики её водонепроницаемости следует назначать в зависимости от напора на плотину, фильтрационных и суффозионных свойств грунта основания, требований по снижению противодействия на подошву плотины.

Применение бесшпунтовых схем подземного контура допускается в случае несвязных грунтов основания при наличии понура или при заглублении подошвы верхового зуба фундаментной плиты в водонепроницаемые грунты и при обеспечении низовым зубом фундаментной плиты фильтрационной прочности основания.

Дренажные устройства. Горизонтальный дренаж под плотиной устраивается для обеспечения устойчивости плотины, если оказывается, что устройство понура является недостаточным. Для плотин на глинистых грунтах основания, а также на песчаных грунтах дренаж выполняют из крупнозернистого материала (щебня, гравия) и устраивают его под водобоем, рисбермой, плитами крепления откосов, особенно в зонах пульсационного и волнового воздействий, при наличии в основании плотины размываемых грунтов. Число слоев обратного фильтра и их зерновой состав определяют в соответствии с рекомендациями по подбору обратных фильтров. Толщину слоев горизонтального дренажа следует назначать не менее 20 см.

Отвод воды из горизонтального дренажа следует предусматривать в дренаж водобоя или посредством дренажной системы, проходящей через тело плотины, в сопрягающий или отдельный устой, в нижний бьеф. Выходные отверстия дренажной системы следует предусматривать в местах со спокойным режимом потока и располагать ниже минимального уровня нижнего бьефа.

Тело плотины имеет водосливную грань, очертание которой часто выполняется по координатам Кригера-Офицера, бычки, разбивающие всю ширину водосливного фронта на пролеты для пропуска воды и регулирования расхода воды с помощью затворов. Под водосбросной плотиной может быть устроен дренаж основания, а в теле плотины - дренажная галерея для приема профильтровавшейся воды.

Водосбросные бетонные и железобетонные плотины на скальных основаниях следует разбивать на секции **температурно-осадочными швами**, как правило, по оси быков. Величину заглубления фундаментной плиты плотины в грунт следует устанавливать с учетом требований статической устойчивости, гидравлических и фильтрационных условий. Торцы фундаментной плиты плотины с понуром из связных грунтов следует проектировать наклонным в сторону верхнего бьефа. В пределах секции плотины следует предусматривать жесткое соединение быков с фундаментной

плитой. Бетонная плотина по длине разрезается деформационными швами через 25...30 м на секции для предотвращения появления трещин, которые могут возникнуть в результате осадок и температурных воздействий. Для обеспечения водонепроницаемости таких швов (рис. 4.46) применяют уплотнения.

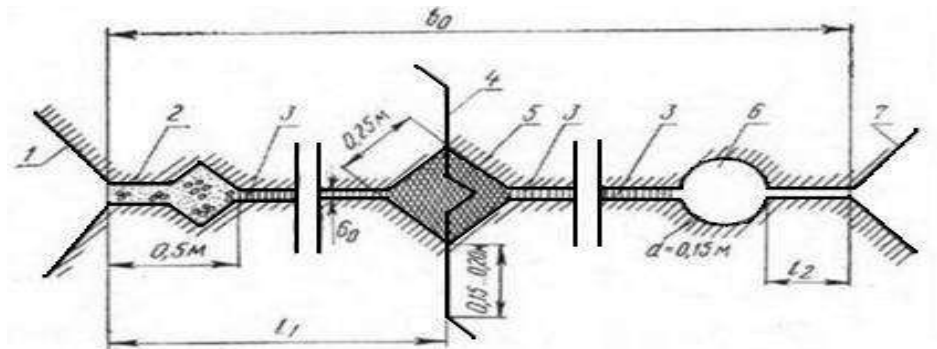


Рис. 4.46. Деформационный шов плотины (план): 1 - верховая грань плотины; 2 - бетонная пробка; 3 - шов; 4 - оцинкованное железо; 5 - битум; 6 - дрена; 7 - низовая грань оголовка

Береговые устои являются важной частью плотин и служат для ее сопряжения с другими сооружениями или берегами, а также направления потока воды к водосбросным отверстиям плотины и обеспечения его плавного растекания в нижнем бьефе (рис. 4.47).

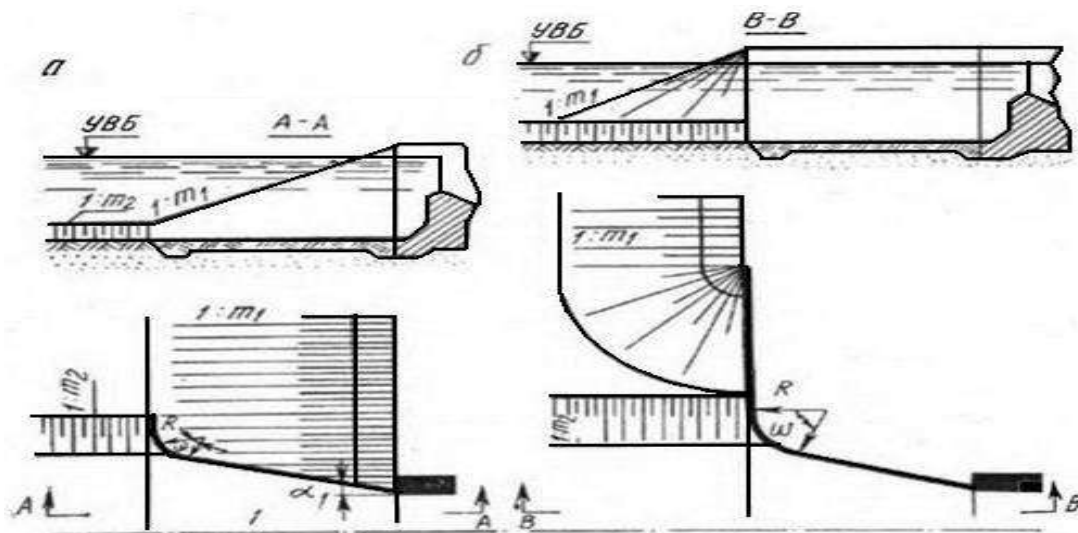


Рис. 4.47. Схема сопряжения бетонных и земляных сооружений: а - по типу ныряющей стенки; б - по типу обратной стенки

Устои, как и отдельные быки, служат опорами для затворов и мостов. Состоят они из продольной стенки и береговых открылков (сопрягающих стенок). Сопрягающие верховые и низовые стенки для обеспечения плавного входа и выхода потока проектируются криволинейного очертания в плане. Сопрягающие устои в пределах понура, водобоя и рисбермы следует проектировать в виде подпорных стен (уголковых или контрфорсных). Сопрягающие подпорные стенки делятся температурно-осадочными швами на секции длиной 15...20 м.

Устройства нижнего бьефа водосбросных плотин. При сооружении плотин, которые располагаются на песчаном, глинистом и т. п. основаниях дно русла непосредственно за плотинами почти всегда покрывают на большую или меньшую длину креплением. Как правило, это крепление состоит из двух частей: 1 - водобоя, представляющего собой армированную или неармированную бетонную плиту примерно такой длины, чтобы в пределах её мог поместиться затопленный гидравлический прыжок, получающийся за плотиной; 2 - рисбермы, располагаемой за водобоем в пределах послепрыжкового участка и выполняемой, например, из отдельных бетонных плит, каменной наброски и т. п. В конце рисбермы иногда сооружают особое концевое устройство [13].

Водобой (护坦·静水池; 护床·护挡物) - начальный, массивный участок крепления дна отводящего канала за водопропускным сооружением, на котором происходит гашение основной части избыточной кинетической энергии потока (до 60...70%) и который воспринимает его динамическое воздействие, а также защищает русло от опасных размывов. При проектировании водосбросных плотин на не скальных основаниях в качестве основной формы сопряжения бьефов следует принимать донный режим, предусматривая в необходимых случаях устройство гасителей энергии и растекателей потока. Гидравлический прыжок, находящийся на водобое, должен быть либо затоплен, либо быть в критическом положении. Для интенсификации гашения избыточной кинетической энергии потока и

затопления прыжка в пределах водобоя часто располагают водобойные колодцы (плиту водобоя заглубляют), водобойные стенки, специальные гасители энергии, расщепители потока и концевые пороги. Более эффективно и экономично устраивать водобойный колодец в комплексе с водобойной стенкой и гасителями (рис. 4.48).

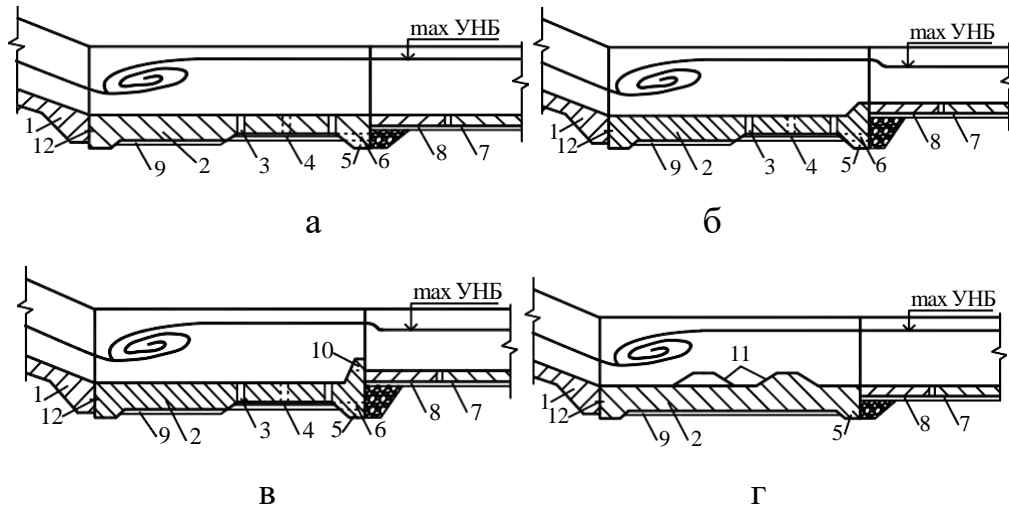
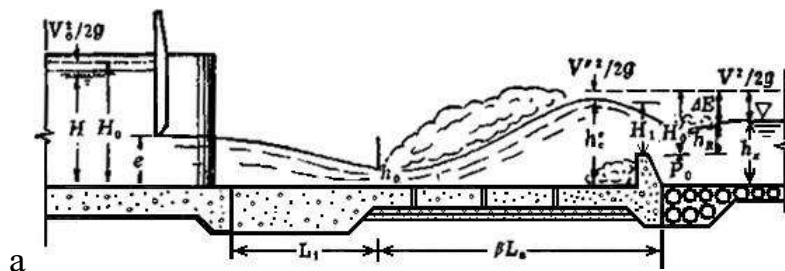
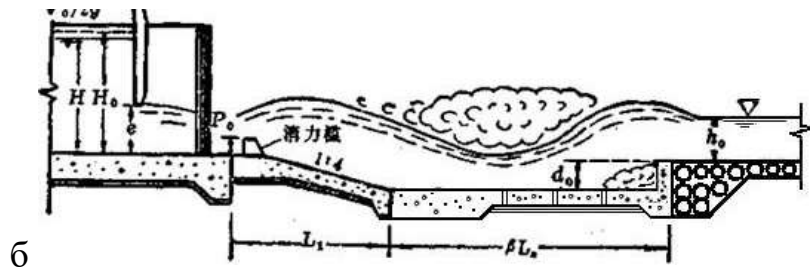


Рис. 4.48. Типы водобойных устройств: а – гладкий водобой; б – водобойный колодец; в – водобойный колодец с водобойной стенкой; г – гладкий водобой с гасителями; 1 – транзитный участок водосброса; 2 – водобойная плита; 3 – дренажные отверстия; 4 – обратный фильтр водобоя; 5 – концевой зуб водобоя; 6 – дренажная перепускная труба; 7 – плиты рисбермы; 8 – обратный фильтр рисбермы; 9 – подготовка; 10 – водобойная стенка; 11 – гасители; 12 – уплотнение деформационного шва

При донном режиме сопряжения бьефов в качестве основных надлежит принимать следующие типы гасителей энергии (рис. 4.49):





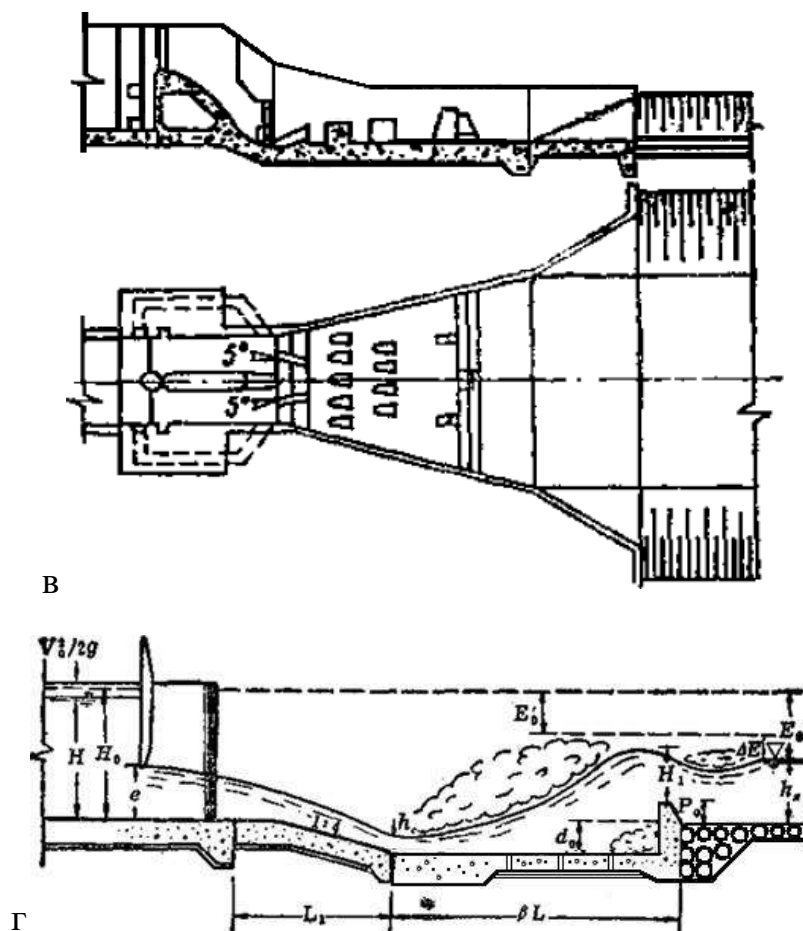


Рис. 4.49. Основные типы гасителей энергии за водосбросными

плотинами: а - сплошная водобойная стенка; б - водобойный колодец; в - гаситель в виде нескольких рядов шашек или пирсов; г - комбинированные из разных типов указанных гасителей (водобойный колодец и стенка)

Применяют и другие типы гасителей при надлежащем технико-экономическом и экспериментальном обосновании. Конструкция гасителя наряду с гашением энергии должна обеспечивать устойчивость потока и исключать опасность возникновения сбойных течений. В нижнем бьефе малопроектных плотин целесообразно применение специальных противосбойных гасителей.

В зависимости от типа водопропускного сооружения и характера защищаемых грунтов водобой устраивают в виде бетонной или железобетонной водобойной плиты, заканчивающейся (во избежание её подмыва или осадки плит рисбермы) зубом или деревянного (ряжевого, свайного) пола. Водобой бывают горизонтальные и реже наклонные.

Наклонные позволяют в случае глубоких водобойных колодцев уменьшить заглубление подошвы сооружения, повысить отметку начала водобоя, осуществить гашение избыточной энергии потока в его начальной части и сократить длину жёсткого крепления отводящего русла. Иногда устраивают водобой с переменным и обратным уклоном относительно направления движения потока. Водобои с прямым уклоном обычно имеют заложение поверхности плиты от 1:4 до 1:12, а с обратным – 1:25. При больших уклонах на водобое возникает волнистый прыжок, который менее эффективен при сопряжении бьефов, чем затопленный донный прыжок. Выбор отметки поверхности водобоя осуществляется на основе результатов технико-экономического сравнения вариантов.

На водосбросах, в нижнем бьефе которых дно сложено скальными породами, вместо наклонного водобоя или успокоительного бассейна применяется криволинейный носок, а непосредственно ниже зубьев носка иногда располагается закруглённый водобой. В мировой мелиоративной практике для водосбросов водохранилищных плотин применяются на водобое различные успокоительные конструкции: ковши-отклонители и успокоительные бассейны, бассейны струйного и ударного типов и т. д., у которых поверхность водобойной плиты выполняется в виде криволинейного выпуклого пола [1, 2, 3, 7, 20, 36].

Водобой имеет массивную водобойную плиту. Для борьбы с абразивной и кавитационной эрозией поверхность водобоя выполняется из особо прочных бетонов. В сооружениях, предусматривающих сброс льда, поверхность водобоя может укрепляться каменной облицовкой из прочных пород на растворе или специальными износостойкими облицовками. Толщина слоя поверхностного высокопрочного материала принимается равной не менее 0,5 м, а толщина защитного слоя арматуры – не менее 0,2 м. Арматуру плиты подбирают по эпюрам моментов в вертикальных сечениях с учётом конструктивных факторов. Разрезка швами поперёк потока обычно равна длине секций плотины. Водобойная плита может быть сплошной или

разрезанной вдоль течения продольными вертикальными температурно-осадочными швами. Расстояние между ними не должно превышать 15...20 м. В швах между плитами водобоя, устраиваемых с учётом экзотермического разогрева бетона и условий производства работы каждой плиты, выполняются надёжные уплотнения для предупреждения фильтрационного выноса грунта из основания. От водосбросного сооружения обычно водобой отделяется конструктивным швом, допускающим их независимую работу.

В практике строительства применяются *водобои недренированные и дренированные* – с **дренажными колодцами**, на всём креплении или на его отдельных участках. В большинстве случаев под плитами водобоя устраивается горизонтальный, плоский дренаж с обратным фильтром. Отвод дренажных вод выполняется через специальные дренажные колодцы, заполненные пористым бетоном или полые с фильтровой набивкой. Размеры и заполнение дренажного колодца выбирают так, чтобы сопротивление дренажных колодцев было существенно больше сопротивления фильтра под плитой. Не рекомендуется под всем креплением устраивать сплошной дренаж, так как это способствует образованию течения, направленного к началу крепления. Для его устранения между рядами дренажных колодцев фильтр следует прерывать, устраивая преграды [13].

Рисберма (防冲铺砌 · 护堤) - менее массивная часть крепления русла в нижнем бьефе водосбросного ГТС, предназначенная для защиты дна от размыва на участке завершения гашения избыточной энергии потока (на рисберме гасится до 30...40% энергии), гашения пульсаций, выравнивания и снижения скоростей потока до бытовых значений (рис. 4.50). Длина и профиль рисбермы, конструкция переходного крепления от рисбермы к незакрепленному руслу должны определяться на основе технико-экономического сопоставления вариантов, с учетом обеспечения неразмывающих скоростей потока в начале незакрепленного русла.

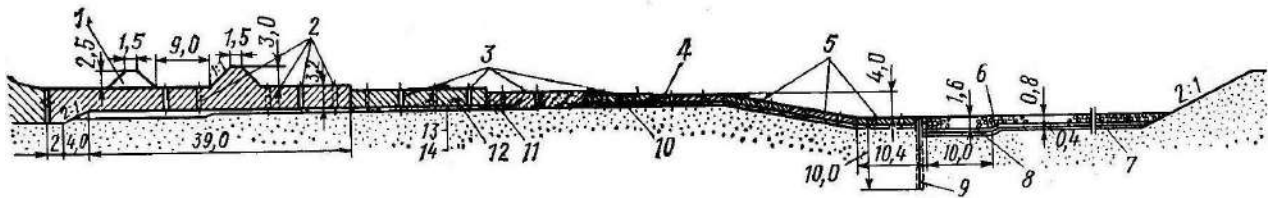


Рис. 4.50. Пример крепления рисбермы с использованием плит и каменной наброски в ковше: 1 — гаситель на плите водобоя; 2 — дренаж; 3 — дренажные колодцы 0,4Ч0,4 м в шахматном порядке через 5,0 м; 4 — плиты рисбермы 10,0Ч10,0Ч1,0 м и 5 — 10,0Ч10,0Ч0,8 м; 6 — каменная наброска, $d > 0,15...0,30$ м; 7 — гравий; 8 — карьерная мелочь, $d = 0,01$ ч $0,10$ м; 9 — металлический шпунт; 10 — плиты 10,0Ч10,0Ч1,2 м; 11 — плиты 15,0Ч10,0Ч1,6 м; 12 — плиты 20,0Ч20,0Ч2,2 м

Для плотин I, II и III классов опасности рисберму следует проектировать, как правило, в виде плит из монолитного бетона или железобетона. Для плотин IV класса рисберму допускается предусматривать в виде каменной наброски или отмостки, габионных сеток, сборных бетонных или железобетонных плит, соединенных между собой арматурой.

Рисберма конструктивно разделяется на *жёсткую* или *недеформируемую* часть и на *концевую, деформируемую*; в отдельных случаях рисберма может состоять только из недеформируемой или только из деформируемой части. Жёсткая часть рисбермы может быть горизонтальной, горизонтальной с наклонным участком и наклонной. Горизонтальная рисберма может располагаться как на одном уровне с водобойной частью, так и выше или ниже водобоя, в зависимости от режима потока и допускаемых скоростей на рисберме и в отводящем русле (рис. 4.51).

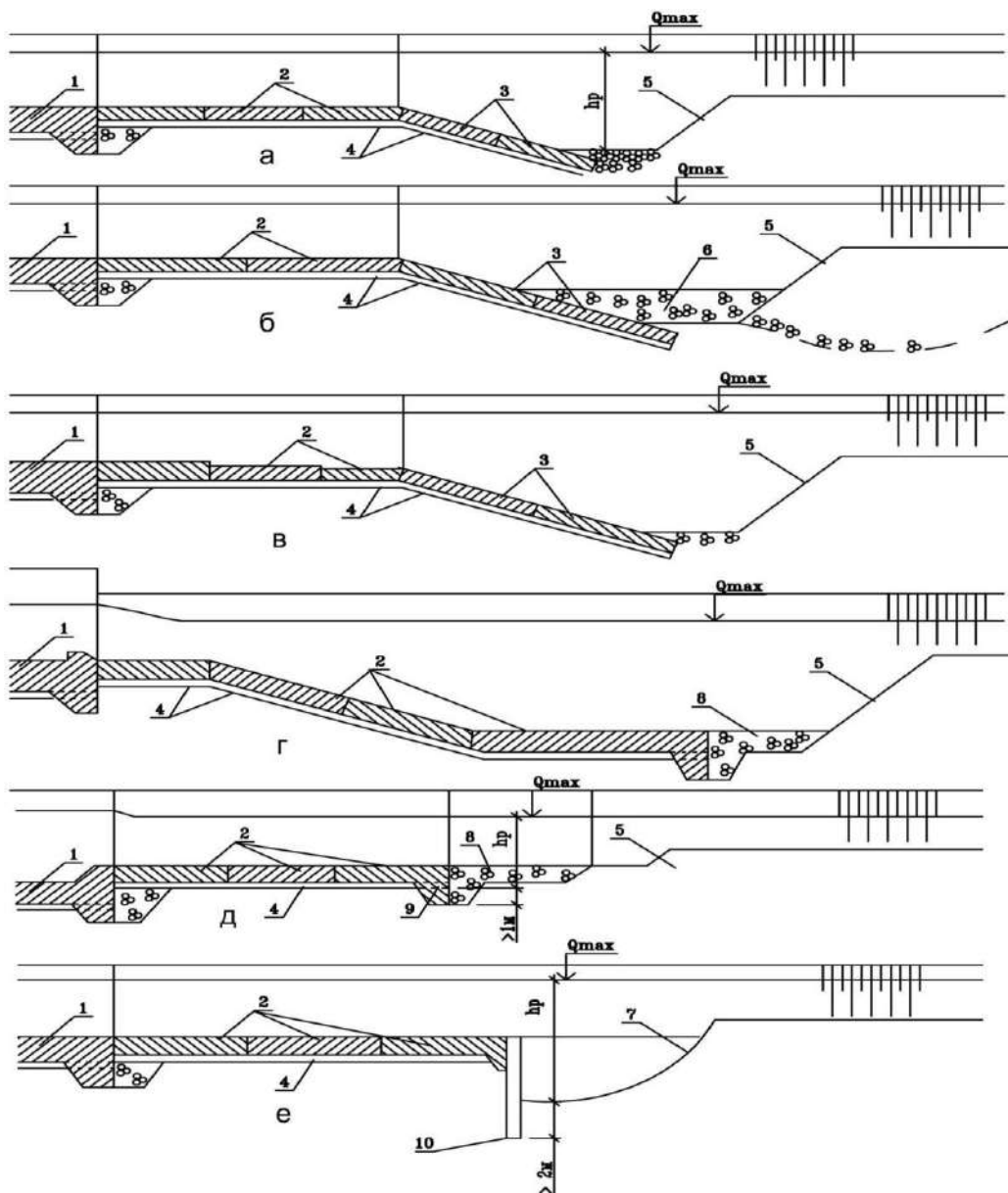


Рис. 4.51. Конструкции рисбермы и концевого участка: 1 – водобой; 2 – плиты рисбермы; 3 – плиты крепления верхового откоса ковша; 4 – обратный фильтр; 5 – незакрепленный откос; 6 – заполнение ковша крупнообломочным грунтом; 7 – граница возможного размыва грунта; 8 – крепление камнем; 9 – бетонный концевой зуб рисбермы; 10 – шпунтовый ряд, вертикальная буробетонная стенка и т.п.

Длина горизонтального участка рисбермы на построенных гидроузлах составляет (1...2) длины водобоя. Длину рисбермы можно определить, как разность между общей длиной крепления нижнего бьефа и водобоя, используя формулы И.И. Леви и Д.Н. Кумина [13]. Таким образом $l_p = L_{кр} - l_b$. При этом следует учитывать, что рассеяние остаточной избыточной энергии потока на гладкой рисберме происходит примерно на длине $l_p = (20...22) h_b$. При

допущении размывов за рисбермой её длина может быть значительно сокращена. В случае, когда горизонтальная рисберма устраивается из бетона или железобетона, а размывы за нею не допускаются, рекомендуется концевую её часть на длине $(0,15 \dots 0,20) l_p$ выполнять из каменной наброски.

Рисберма, как правило, укладывается на слой обратного фильтра. Выбор конструкции рисбермы и концевого крепления зависит от режима потока, характера грунтов, слагающих отводящее русло и глубин допускаемого размыва в нижнем бьефе сооружения на основании технико-экономического сравнения вариантов. Для крепления рисбермы используют бетонные и железобетонные плиты (сборные и монолитные) или блоки (рис. 4.52), каменную наброску и кладку, габионы, ряжи, заполненные камнем. При сбросе по сооружению льда следует отдавать предпочтение конструкциям рисберм из бетона, железобетона или ряжевым.

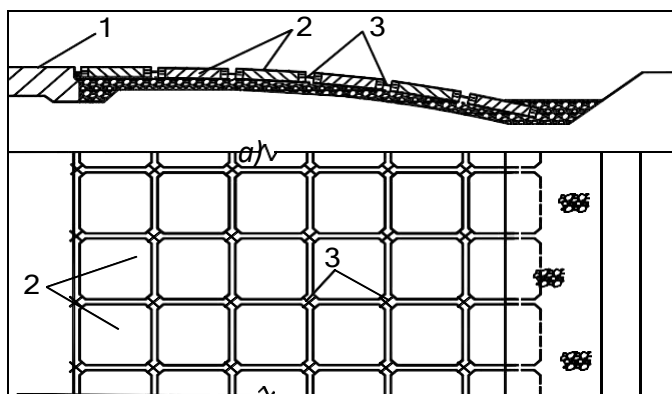


Рис. 4.52. Продольный разрез и план рисбермы из сборных плит со сваркой выпусков арматуры: 1—водобой; 2 – сборные железобетонные плиты; 3 – сварка

Толщины плит водобоя и рисбермы определяются расчетом из условий обеспечения их прочности и устойчивости с учетом осредненных и пульсационных нагрузок. Необходимо предусматривать разрезку их температурно-осадочными швами, дренирование подплитной области, устройство дренажных колодцев и др. [13]. Толщина плит рисбермы обычно в $1,5 \dots 2,0$ раза меньше толщины водобойной плиты; для большей устойчивости на крупных сооружениях плиты соединяют между собой арматурой. Как

скреплённые между собой плиты, так и каменная наброска являются гибким креплением, которое следует за поверхностью грунта при его размыве. Для увеличения устойчивости каменной наброски по всей её площади иногда забивают сваи на расстоянии 1...2 м друг от друга.

В конце рисбермы следует предусматривать устройства в виде вертикальной стены, предохранительного ковша (ямы размыва), переходного деформируемого крепления или сочетания из этих конструкций (рис. 4.51 - 4.55). Размеры ямы размыва назначаются расчетом - прогнозом глубины размыва за рисбермой. Тип крепления следует выбирать на основании сравнения технико-экономических показателей разработанных вариантов с учетом гидравлических условий, допустимой глубины размыва и других факторов [13]. При сравнительно небольших глубинных размывах ($h_{раз.осн.} < 2...3,5$ м), что бывает в тех случаях, когда на рисберме небольшие удельные расходы и грунты мало поддающиеся размыву, устраивают каменный или бетонный зуб. Подошву его закладывают ниже возможной глубины размыва. Бетонный зуб (стенку-диафрагму), глубиной 1...3 м, применяют при достаточно прочных и плотных грунтах, когда воронка размыва не угрожает устойчивости сооружения. За ним иногда делают каменную наброску (рис. 4.53), которая, опускаясь в процессе формирования ямы местного размыва, не должна допускать подмыва зуба [25].

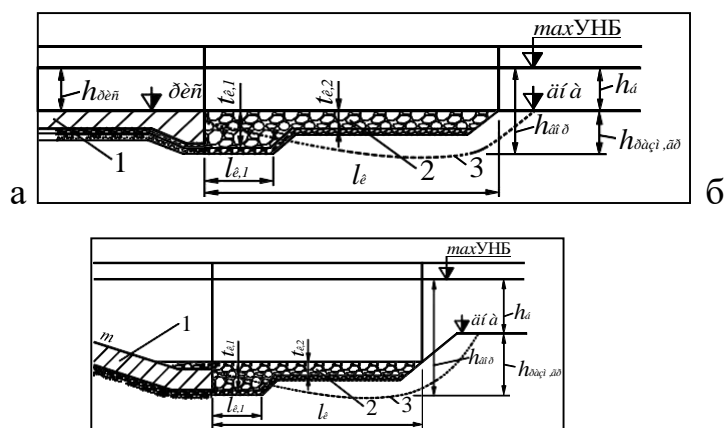


Рис. 4.53. Концевое устройство из камня за бетонной рисбермой при отсутствии за ней зуба: а – при горизонтальной рисберме; б – при наклонной

рисберме; 1 – бетонная рисберма; 2 – каменное крепление с параметрами: $l_k = k \cdot m \cdot h_{разм,зр}$, $l_{k,1} = l_k/3$; 3 – прогнозируемая воронка размыва

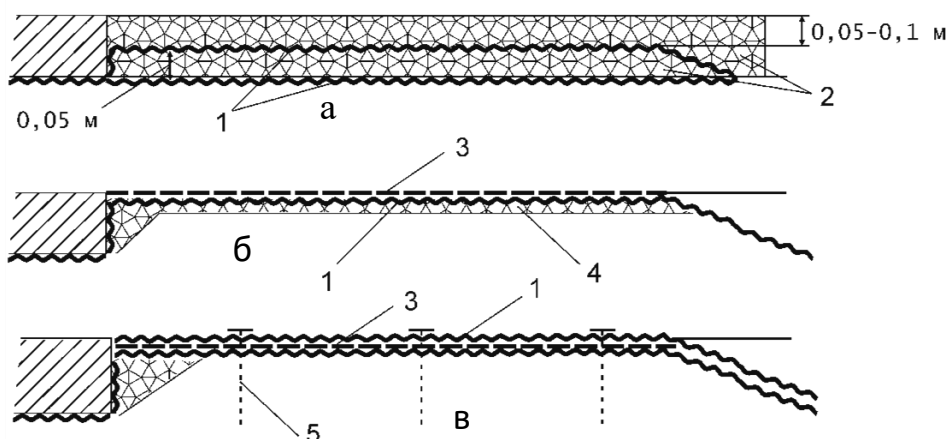


Рис. 4.54. Концевое крепление за рисбермой с использованием

геотекстиля: а – из каменных материалов; б – из щебня, пропитанного битумом; в – с анкерровкой на прочном основании; 1 – геотекстильный материал; 2 – каменная наброска; 3 – розлив битума; 4 – обработанный щебень; 5 – анкер

Преобразуя поперечное сечение *глухой контрфорсной плотины* в поперечное сечение водосливной плотины, предусматривают устройство дополнительной водосливной плиты, которая перекрывает пролеты между контрфорсами с низовой стороны плотины (рис. 4.55).

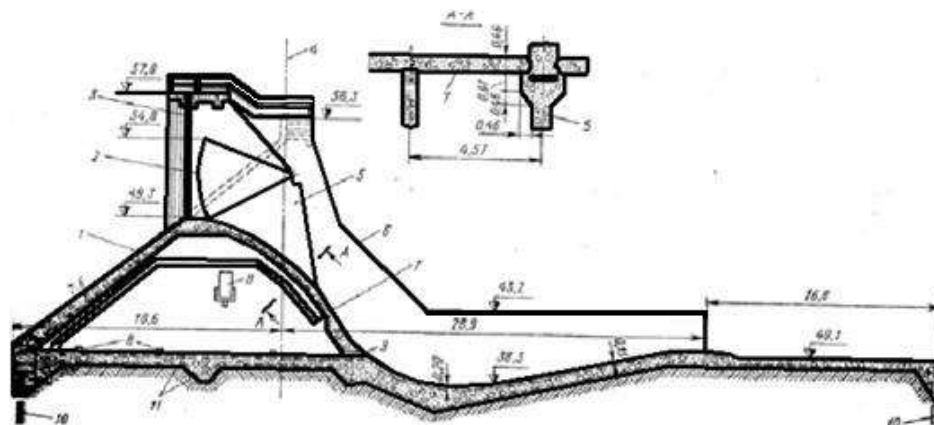


Рис. 4.55. Контрфорсная водосливная плотина на нескальном

основании: 1 - верховая плита перекрытия; 2 - сегментный затвор; 3 - паз для ремонтных затворов; 4 - ось плотины; 5 - бык; 6 - раздельный устой; 7 - водосливная плита; 8 - отверстия в контрфорсах; 9 - выпускное отверстие; 10 - свайный шпунтовый ряд; 11 - фильтрационные отверстия в фундаментной плите

4.3.2. Водосбросные плотины на скальном основании

Водосбросы в теле бетонной плотины на скальных основаниях устраивают с поверхностными (водосливными) (рис. 4.56) либо с глубинными отверстиями (рис. 4.57).

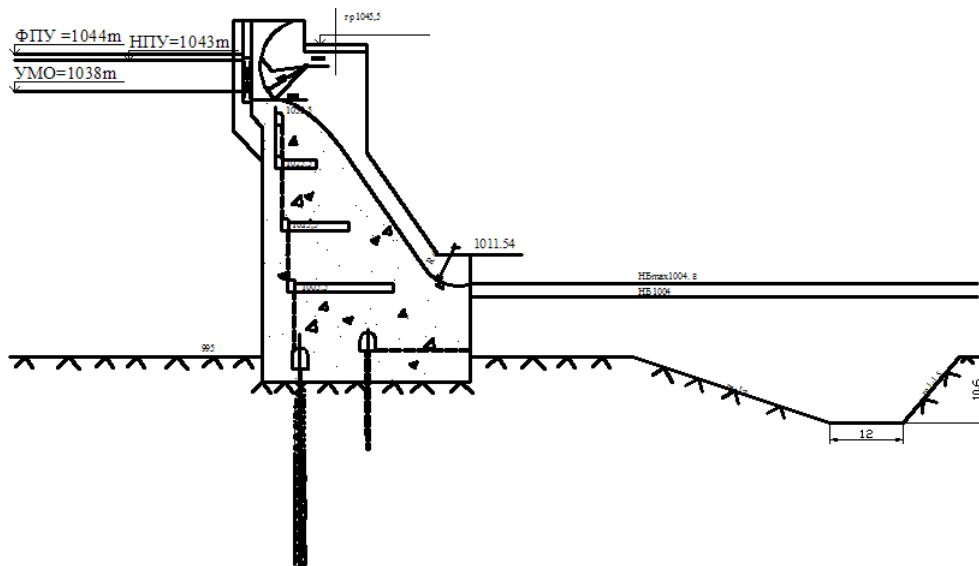


Рис. 4.56. Водосбросная плотина на скальном основании: из курсового проекта Нань Фэн

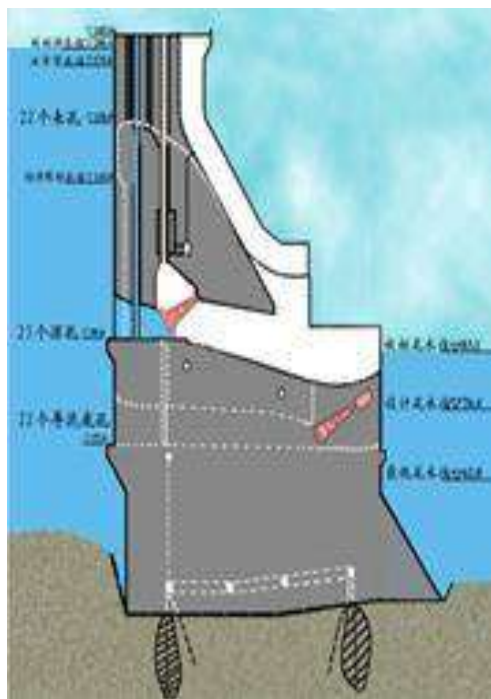


Рис. 4.57. Поперечный разрез водосбросной части плотины «Три ущелья» с глубинными отверстиями. КНР

При выборе типа водосбросных отверстий следует учитывать, что водосливные отверстия по сравнению с глубинными оборудуются более

простыми затворами и механизмами для маневрирования ими, они более доступны для осмотра и ремонта и поэтому более надежны в эксплуатации. Однако глубинные водосбросы, особенно работающие под большим напором, обеспечивают пропуск заданного расхода при меньших сечениях водовода. Экономичность этого типа водосброса объясняется также возможностью использования отверстий, устраиваемых в теле плотины, для пропуска строительных расходов и выполнения функций водоспуска.

Гидравлические расчеты при конструировании головной части водосброса проводятся, как и для плотин на скальном основании по известным зависимостям [13] (рис. 4.58).

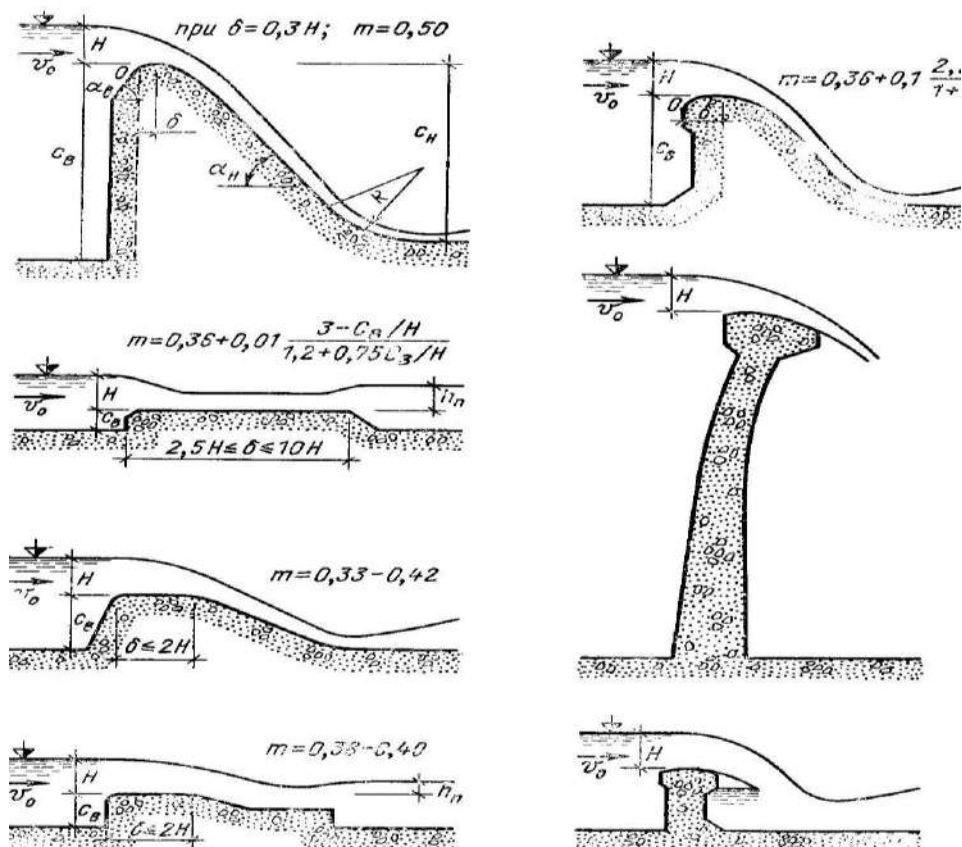


Рис. 4.58. Водосливы (堰 · 溢流堰 · 溢水堰 ; 溢洪道) и значение их коэффициента расхода m для бетонных плотин

В результате их расчёта оценивают пропускную способность водосброса, определяют габаритные размеры водосливного оголовка, уточняют компоновку головной части водосброса (рис. 4.59). К основным (габаритным) размерам относятся ширина (длина) водосливного фронта, высота порога,

профиль сливной грани, а также другие геометрические параметры, характеризующие размеры и конфигурацию водослива.

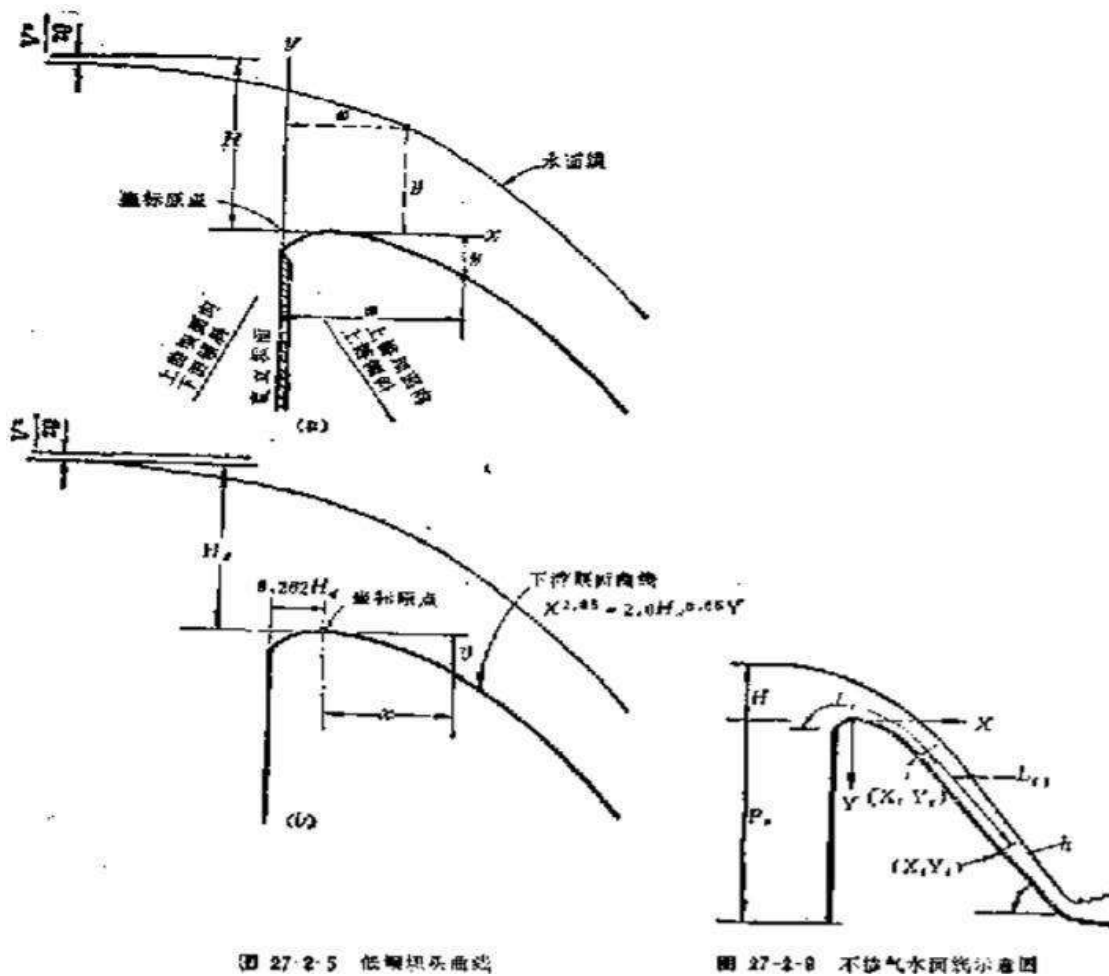


Рис. 4.59. Расчётные схемы водосливных порогов

Пропускная способность открытого водосброса любого типа и формы определяется параметрами входного участка и подводящего канала по формуле:

$$Q = m\sigma_n \varepsilon B \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (4.1)$$

где m – коэффициент расхода водослива. Для предварительных расчётов могут быть приняты следующие значения коэффициента m для неподтопленных водосливов (堰, 溢流堰):

- водослив с тонкой стенкой, когда толщина стенки δ не влияет на истечение (для прямоугольных водосливов $\delta \leq 0,5H$, для прочих $\delta \leq 0,1H$, где H – напор на водосливе) $m = 0,42$;

- водослив безвакуумный практического профиля (со стенкой Кригера-Офицера - 实用断面溢流堰, 实用堰) $m = 0,45 \dots 0,49$;

- водослив вакуумный практического профиля $m = 0,50$ и более;

- водослив с широким порогом, при ширине которого потери напора по длине порога пренебрежимо малы ($2H \leq \delta \leq 8H$) $m = 0,36$ [3];

σ_n – коэффициент подтопления; ε – коэффициент бокового сжатия; B – ширина (периметр) водослива, м; $H_o = H + V^2_0/2g$ – напор над гребнем водослива с учётом скорости подхода, м.

Как отмечалось ранее, удельные расходы потока, сбрасываемого через сооружение в НБ, при прочном скальном основании достигают более $150 \text{ м}^2/\text{с}$; гашение энергии потока и сопряжение бьефов осуществляются по типу донного режима или путем отброса струи носками-трамплинами (рис. 4.60, 4.61).

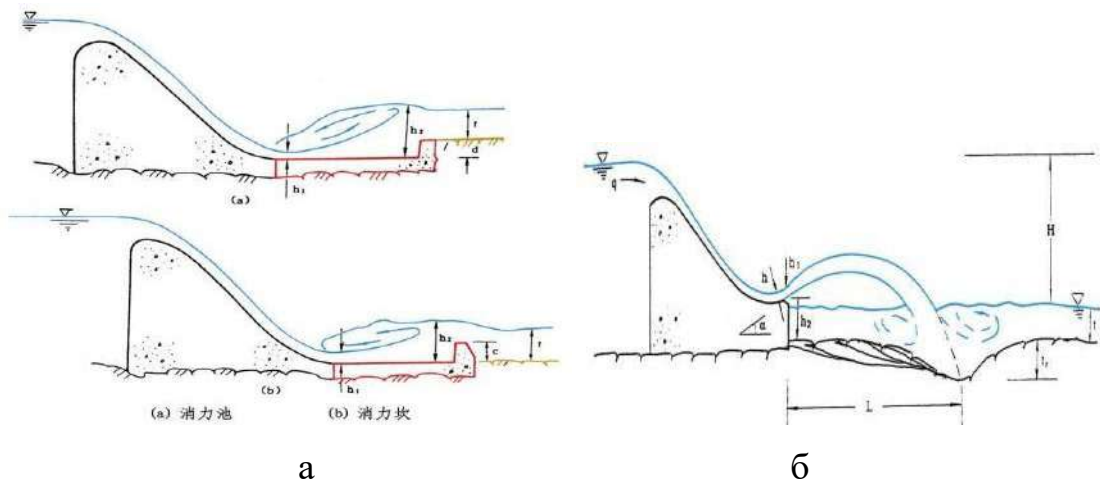


Рис. 4.60. Схемы сопряжение бьефов: а - по типу донного режима (гидравлический прыжок) при наличии водобойного колодца и водобойной стенки; б - путем отброса струи с носка-трамплина

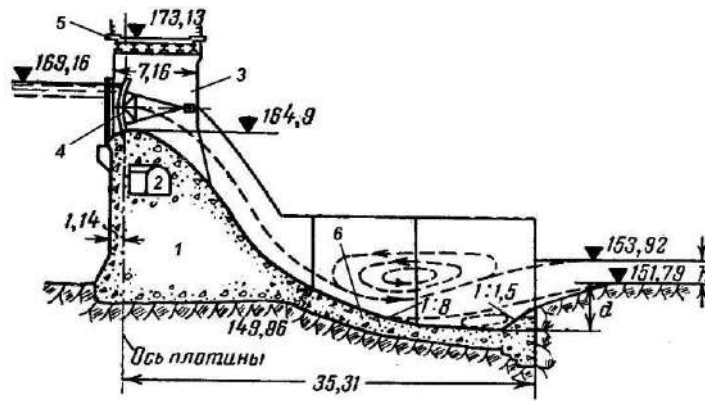


Рис. 4.61. Пример водосливной плотины на скальном основании с наклонным водобойным колодцем: 1 — тело плотины; 2 — смотровая потерна; 3 — разделительный бычок; 4 — сегментный затвор; 5 — транспортный переход (автодорожный мост); 6 — водобой

При сбросе свободно падающей струи необходимо обеспечить ее отброс на безопасное для устойчивости сооружения расстояние, соответствующее $(0,4...0,6) H_{пл}$, где $H_{пл}$ - высота плотины.

Глубинные водопропускные отверстия ослабляют сечение плотины. Их ширина не должна превышать $(0,5...0,6)/l$, где l - ширина секции. Водовод по контуру обычно армируют, а при высоких напорах (более 50 м) и скоростях 20 ...25 м/с и более часто применяют стальную облицовку. Иногда совмещают в одной секции поверхностный и глубинный водосбросы (рис. 4.62) или с ГЭС (рис. 4.63).

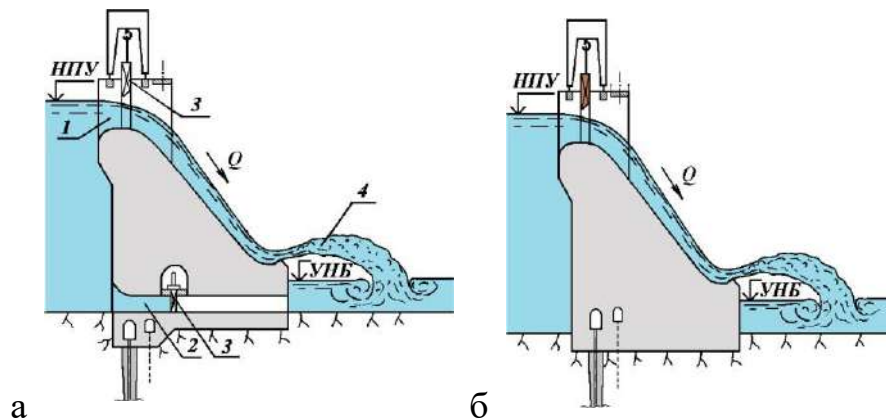


Рис. 4.62. Сооружения гидроузла энергетического назначения с бетонной плотиной на скальном основании: а — секция плотины с водосбросом и водоспуском-водовыпуском; б — водосбросная секция плотины; 1 — поверхностный

водосброс; 2 —глубинный водоспуск-водовыпуск; 3 —затворы для регулирования подачи воды; 4 —отброс потока от сооружения;

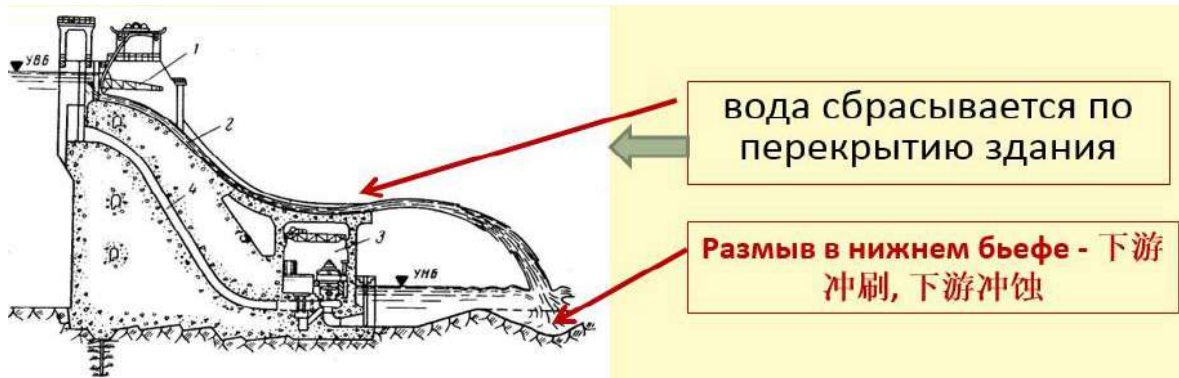


Рис. 4.63. **Водосливная плотина в комплексе со зданием ГЭС:** 1 — сегментный затвор (扇形的); 2 — водослив; 3 — машинный зал ГЭС; 4 — турбинный водовод в теле плотины (турбина - 水轮机, 汽轮机, 轮机)

Водосбросы арочных плотин. Как правило, в нижний бьеф осуществляют по принципу свободнопадающей струи, сходящей с гребня плотины с водосливного оголовка (рис. 4.64). Такому водосливному оголовку придают обтекаемую форму, при необходимости на нем располагают рабочие и ремонтные затворы.

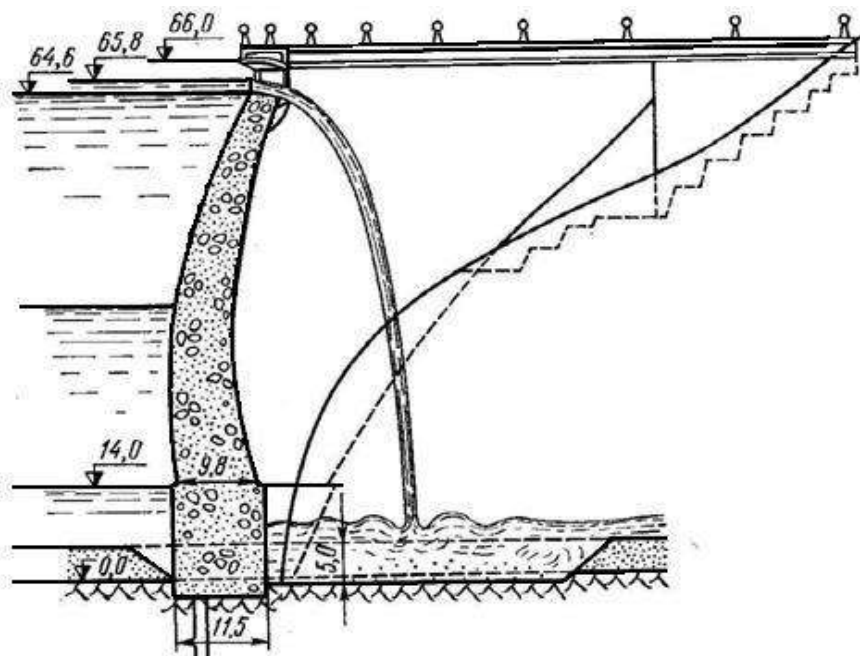


Рис. 4.64. **Водосливная часть арочной плотины**

Часто скальное основание в нижнем бьефе водосливной арочной плотины надлежащим образом укрепляют для исключения подмыва плотины, иногда

предусматривают устройство водобойного колодца, при помощи которого осуществляется сопряжение свободной струи с нижним бьефом, и т. п. На рисунках 4.65, 4.66 показаны примеры современных арочных плотин с водобросной частью.



Рис. 4.65. Водоброс арочной плотины, гидроузел Эртан, КНР



Рис. 4.66. Арочная плотина Crystal (США) с нерегулируемой водобросной частью в виде водослива практического профиля

Конструкции ступенчатых водобросов. По данным археологов, ступенчатые водосливные плотины строились уже в Древнем Египте более 5000 лет назад. Примером может служить плотина «The Barrier of Pagas» в 30 км от Каира, которая разрушилась во время первого же паводка из-за

фильтрационных деформаций грунта основания. Этот неудачный опыт надолго задержал строительства плотин в стране, хотя конструкция удачно решала весь комплекс необходимых вопросов: совмещение водопропускного и водоподпорного сооружений, гашение избыточной энергии потока, автоматизацию работы, экономичность. Тем не менее, такая конструкция плотин имеет относительно богатый мировой опыт применения. Их строили в Древней Греции, в Древнем Риме, в Арабских странах, в Испании, в России. Повышенный интерес к ступенчатым водосливным плотинам, возникший в последние годы, связан с прогрессом в технологии их возведения, в частности со строительством плотин из укатанного бетона. Возведение плотин, устройство ступеней современным методом из укатанного бетона помимо гидравлически выгодных условий работы снижает капитальные затраты на строительство до 40%.

Ступенчатой может выполняться как водосливная поверхность бетонных плотин, так и водосбросов, устраиваемых на низовом откосе грунтовых плотин. В настоящее время строятся высокие грунтовые плотины со значительными удельными расходами воды водосбросов (до 60 м²/с), а также ступенчатые водосливные бетонные плотины. Ступенчатая водосливная поверхность водосбросного сооружения не только эффективно гасит кинетическую энергию сбрасываемого потока, но и устраняет кавитационные явления на водосливе при пропуске воды с большой скоростью (рис. 4.67).

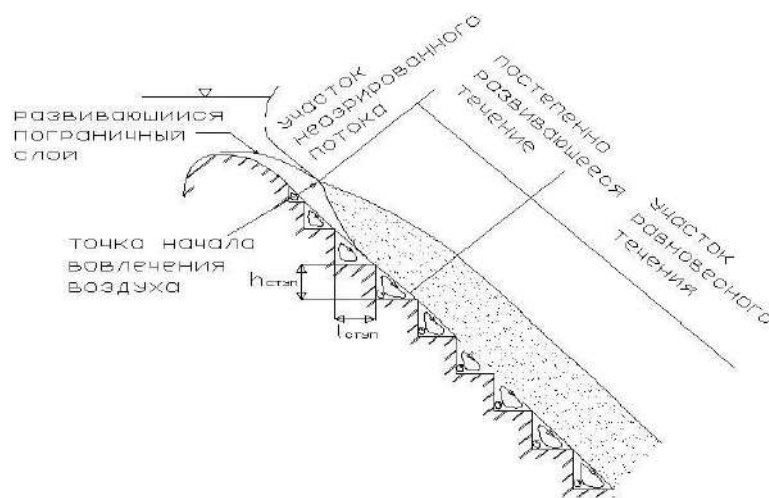


Рис. 4.67. Характерные участки течения на ступенчатом водосбросе

Примеры современных ступенчатых эксплуатационных водосбросов показаны на рисунках 4.68 и 4.69.



Рис. 4.68. Плотины из укатанного бетона со ступенчатой водосливной гранью: а - UpperStillwater, США, 1983 - 1987 гг.; б – Wolwedans, Южная Африка, высота плотины 70 м, 1990 г.

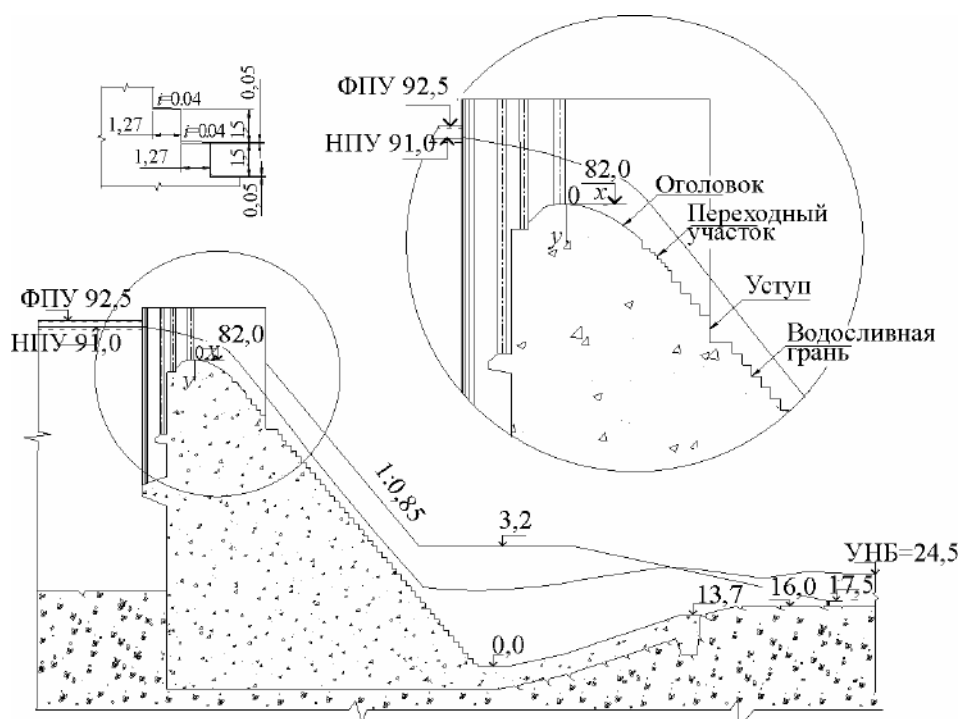


Рис. 4.69. Ступенчатый эксплуатационный водосброс Богучанского гидроузла: высота плотины 84 м, удельный расход до 34,45 м²/с

4.4. Водозаборы

С древних времён в жарких странах забирали воду из рек. Для этого, насыпав на реке плотину, рядом рыли канал, по которому вода текла в пустыни, где появлялись оазисы, дворцы, орошались поля. В Средней Азии и

Закавказье археологи находили следы древних каналов, или арыков, прорытых от рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. **Водозабор** – это технологический процесс подачи воды из источника потребителю. Источники, из которых забирают воду: реки, озёра, моря, грунтовые воды. Для решения этой задачи и строят водозаборные сооружения. Водозаборным гидроузлом, или водозабором, называют комплекс ГТС, предназначенных для подачи воды из источника питания потребителю. Транспортирование воды ведётся каналами, трубами, туннелями.

Очень важной задачей является выбор местоположения речного водозабора, так как при неправильном выборе места в водозабор могут попадать наносы, а берег реки размываться. Наносы, особенно крупные, попадая в водозабор с водой, поступают в отводящий канал, в котором течение воды более медленное, чем в реке. Из-за низкой скорости течения воды наносы осаждаются. Постепенно заиляясь, сечение канала заносится наносами, и оно уже не может пропустить нужный расход воды. Потом может произойти перелив воды через верх канала, и она растекается по местности.

При выборе места расположения водозабора используют явление, называемое **поперечной циркуляцией потока**. Опираясь на него устраивают водозабор на **вогнутом берегу реки**. В этом месте образуется циркулярное течение, отклоняющее донные наносы от водозабора (рис. 4.70).

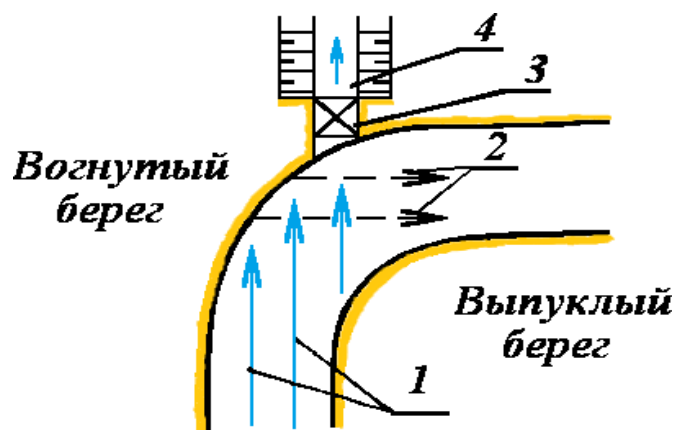


Рис. 4.70. Местоположение речного водозабора на криволинейном участке: 1 — поверхностные "чистые" струи; 2 — донные струи, насыщенные наносами;

3 — водозабор; 4 — отводящий канал

К водозборным сооружениям предъявляются следующие требования: они должны подавать нужное количество воды; защищать от попадания в каналы наносов, льда, мусора, рыбы; должны быть прочными, устойчивыми; должны удовлетворять требованиям технической эстетики. Водозборные гидроузлы делят на две большие группы: **бесплотинные и плотинные** (рис. 4.71). Первые строятся на реках без создания плотины, а во втором случае делается плотина, которая повышает уровень и запас воды в реке, образуя небольшой верхний бьеф и обеспечивая гарантированный забор воды.

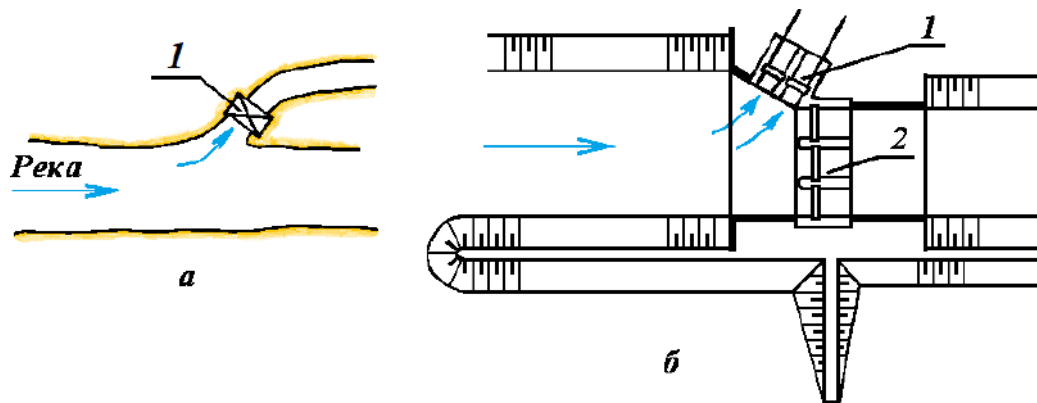


Рис. 4.71. Водозаборы бесплотинный (а) и плотинный (б): 1 — водозабор (водоприемник); 2 — плотина

Для защиты от поступления в водозабор крупных донных наносов в плотинных гидроузлах применяют различные устройства и принципы взаимодействия потока воды с твёрдыми поверхностями, например, принцип натекания на преграду, принцип поперечной циркуляции, принцип деления потока. Для защиты от поступления в каналы мелких взвешенных наносов устраивают отстойники, с помощью которых осаждают наносы (рис. 4.72).

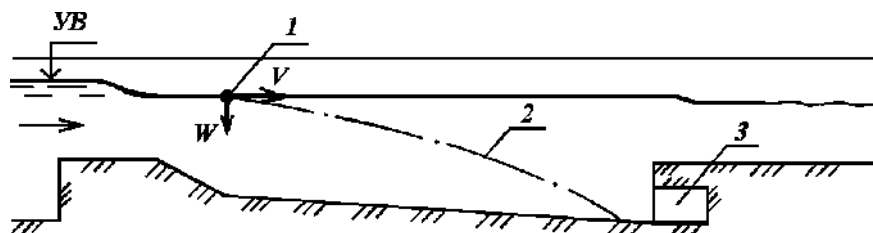


Рис. 4.72. Принцип действия отстойника: 1 — частичка взвешенных наносов; 2 — траектория движения частички; 3 — промывная галерея

Они представляют собой резервуар большого поперечного сечения, в котором продольные скорости очень малы и наносы заданной крупности оседают на дно, двигаясь вниз со скоростью осаждения W - это скорость их падения в стоячей воде. Затем эти наносы периодически смывают водой в реку или выполняют механическую очистку отстойника.

4.5. Каналы

Внутрисистемные ГТС делят по назначению на три группы: *регулирующие, водопроводящие и сопрягающие* [25, 30]. **Каналом** называется водопроводящее ГТС в виде искусственного русла правильной формы, которое служит для транспортирования воды в различных целях. По назначению каналы могут быть *орошительными, осушительными, энергетическими (деривационными), водопроводными, судоходными и др.* **Орошительные, или ирригационные каналы** служат для подачи воды из реки к орошаемым полям (рис. 4.73).

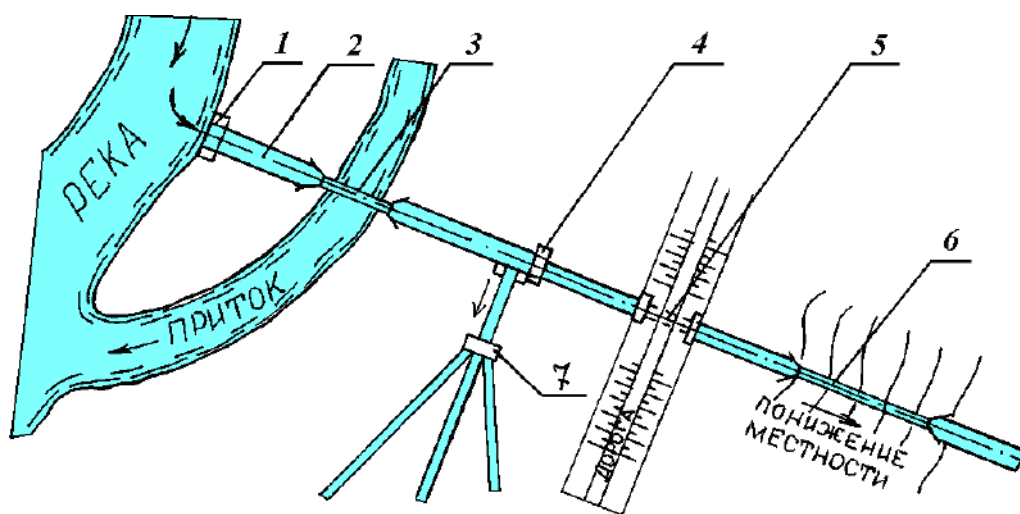
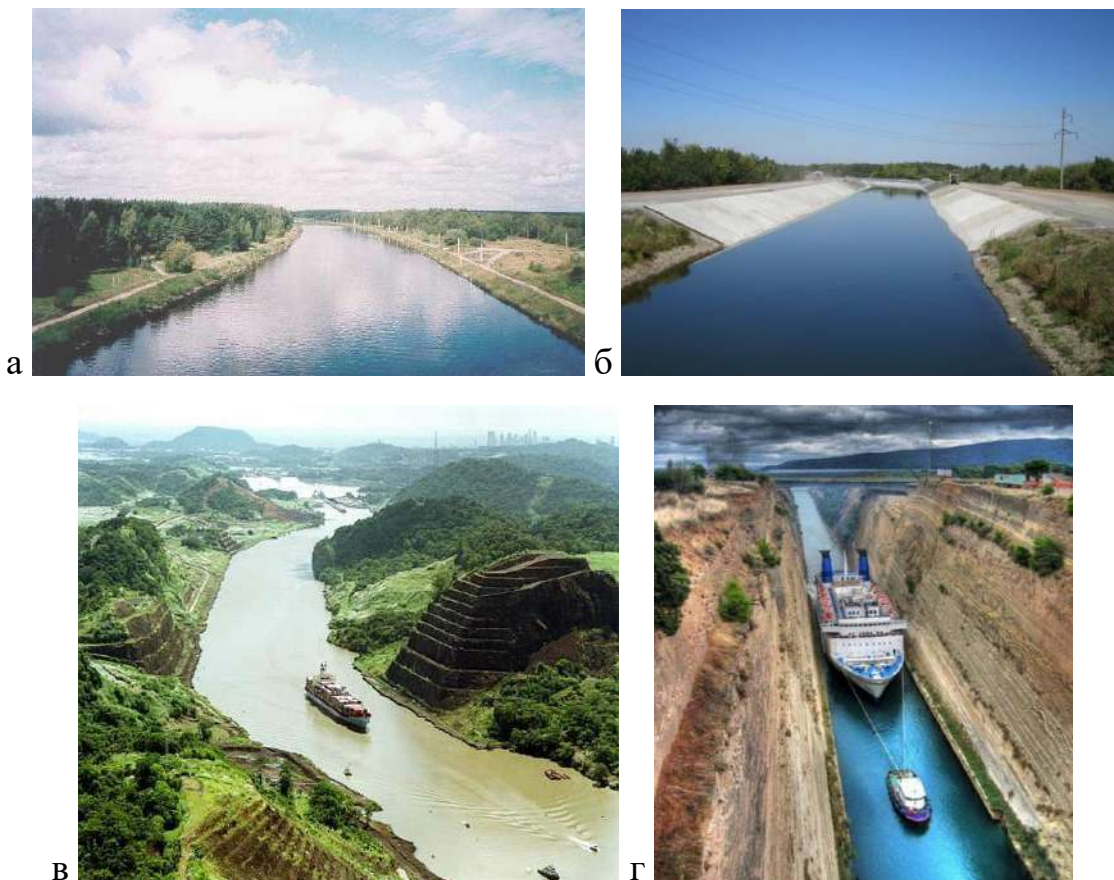


Рис. 4.73. Пример участка орошительной системы: 1 — водозабор (регулятор); 2 — магистральный канал; 3 — акведук; 4 — перегораживающее сооружение (регулятор); 5 — дюкер; 6 — сопрягающее сооружение; 7 — вододелитель (регулятор)

Осушительные каналы ИСПОЛЬЗУЮТСЯ для сбора и отвода воды при осушении территории. **Энергетические, или деривационные каналы** создают для подвода воды из реки, водохранилища, озера к турбинам деривационной электростанции. **Водопроводные каналы** строят для

водоснабжения населённых мест. **Судоходные каналы** применяются для транспортных целей, по ним ходят различные суда. Существуют и другие виды каналов, например, лесопропускные, рыбопропускные и пр. специального назначения, которые служат решению различных хозяйственных задач.

В разное время ещё в СССР был сооружен ряд известных каналов с большими расходами воды: Кара-Кумский канал, первая очередь которого была построена в Таджикистане в 1954 г., а последняя – 1980 г. Канал забирает воду из реки Аму-Дарья и подаёт её на хлопковые поля. Его длина 1410 км, расход воды 800 м³/с; канал Иртыш-Караганда, 1971 г., длина 455 км. Он поднимает воду на 450 м с помощью насосных станций; Северо-Крымский канал, 1971г., расход 380 м³/с; канал Днепр-Донбасс с расходом 120 м³/с, построенный в середине шестидесятых годов (рис. 4.74б); канал имени Москвы, 1937 г., длиной 128 км, который имеет большое судоходное значение и обеспечивает Москву водой (рис. 4.74а).



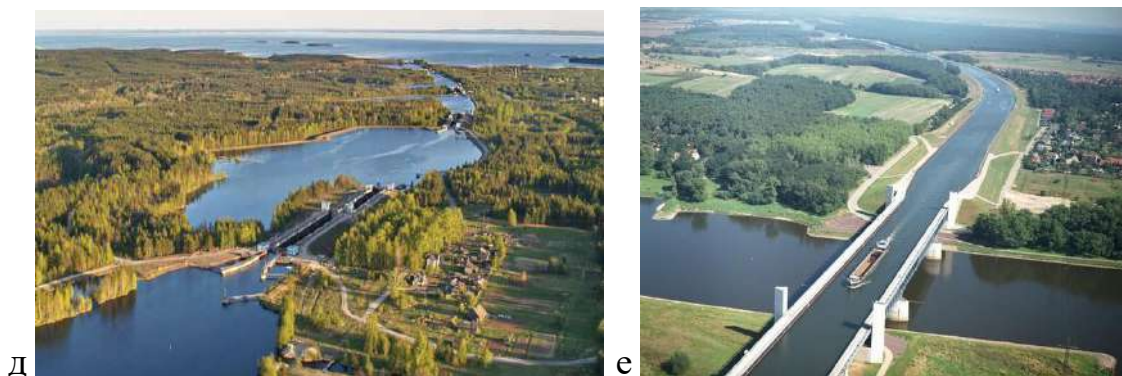
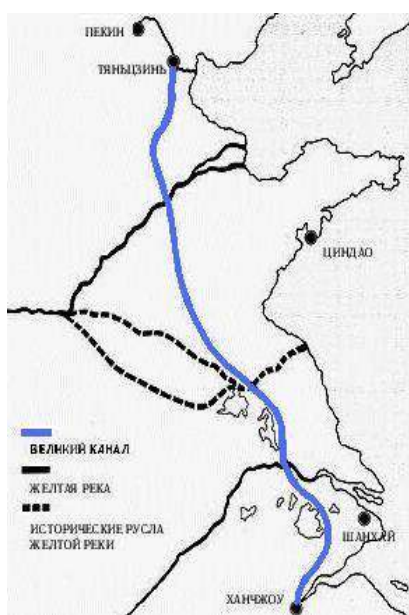


Рис. 4.74. Отдельные участки каналов: а – имени Москвы в районе Татищево, РФ; б – канал Днепр-Донбасс; в – Панамский судоходный канал, г – Коринфский судоходный канал, Греция; д – Повенчанская лестница на Беломорско-Балтийском канале, Россия; е – Среднегерманский канал, Германия

В Китае известен Великий судоходный канал (рис. 4.75), одно из древнейших ныне действующих ГТС и самый длинный канал мира. Протяжённость канала — 1782 км, а с ответвлениями (в Пекин, Ханчжоу и Наньтун) — 2470 км. Он строился две тысячи лет — с VI в. до н. э. до XIII в. н. э. В настоящее время является одной из важнейших внутренних водных артерий КНР, соединяет крупные порты страны Шанхай и Тяньцзинь. Ширина в наиболее узкой части в провинциях Шаньдун и Хэбэй — 40 м, в самой широкой части (в Шанхае) — 350 м. Глубина фарватера — от 2 до 3 м.



а

б

Рис. 4.75. Великий канал, Китай: а – карта; б – общий вид

По форме поперечного сечения каналы выполняют трапецеидальными, треугольными, параболическими, полигональными, круглыми, прямоугольными (рис. 4.76).

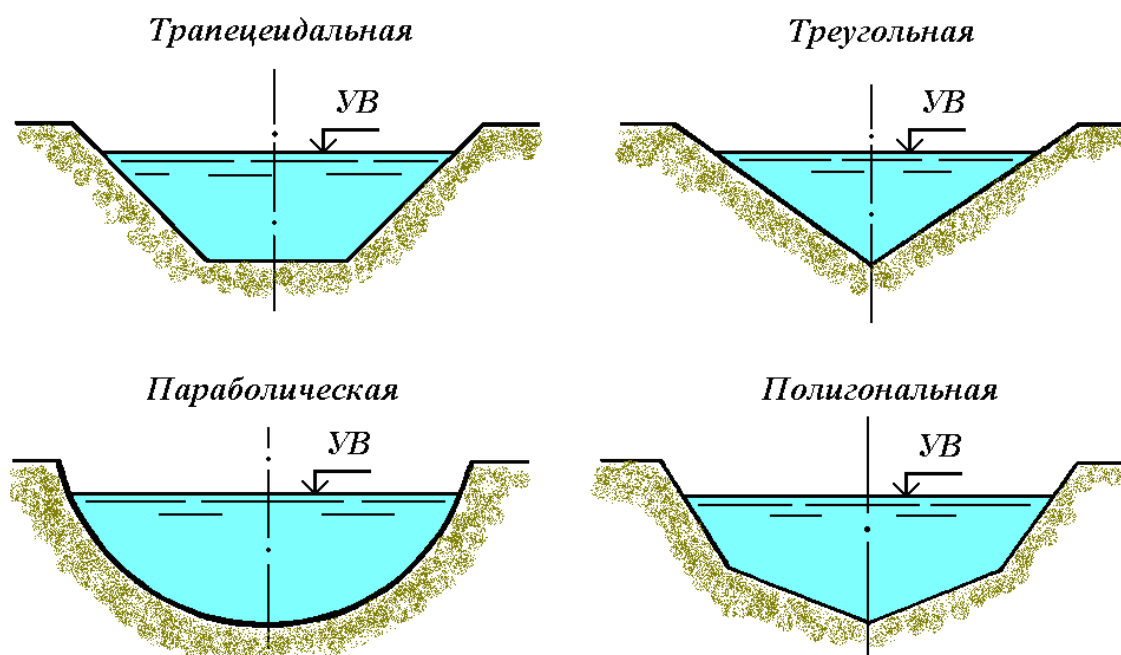


Рис. 4.76. Наиболее распространённые формы поперечного сечения каналов

К каналам предъявляются следующие требования: вода не должна теряться по пути на фильтрацию и заболачивать прилегающую территорию; дно и борта канала должны быть как можно более гладкими, тогда будут меньше потери энергии, меньше уклон канала; наименьшая длина; обеспечение минимальных потерь воды на испарение и графика водопотребления. Для решения большинства перечисленных требований выполняются облицовки канала, которые могут быть грунтовыми, асфальтобетонными, бетонными, из полимерной плёнки, из синтетических композитных материалов и пр. (рис. 4.77 - 4.78).

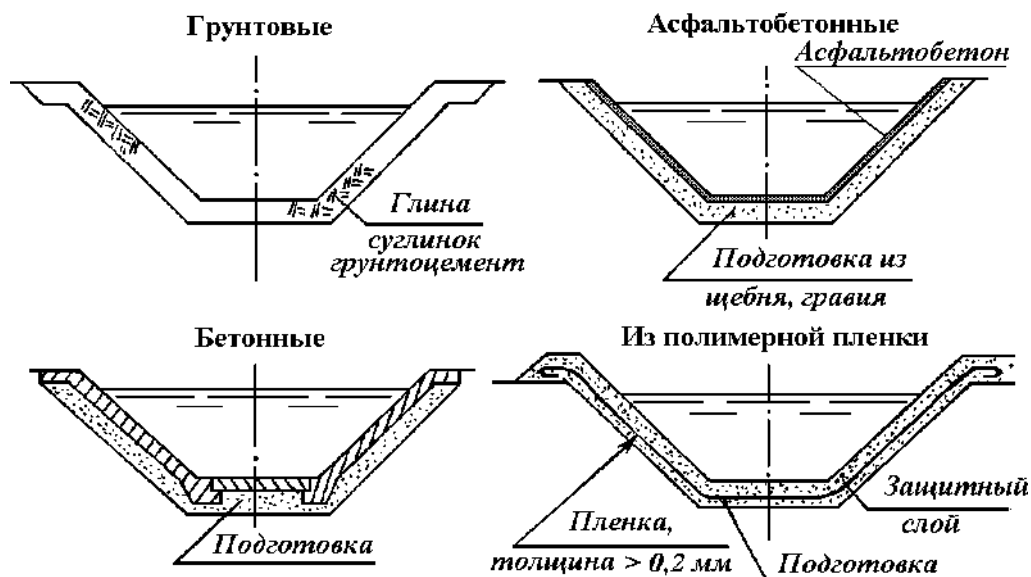


Рис. 4.77. Примеры противодиффузионной облицовки канала

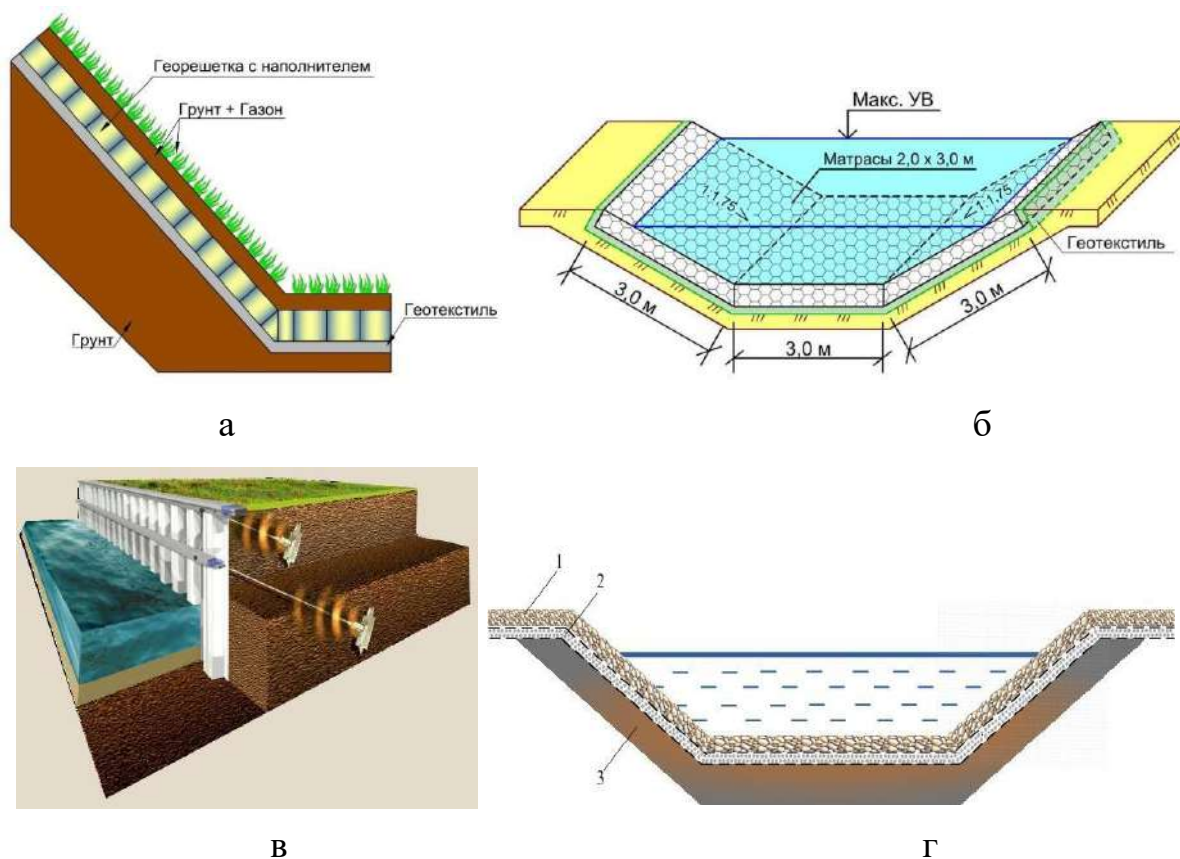


Рис. 4.78. Варианты современного крепления канала: а – георешёткой с наполнителем; б – матрасами из габионов; в – шпунтиами из ВПХ; г – бентоматы или бетонное полотно Concrete Canvas: 1- каменная наброска; 2 – бентонитовые маты; 3 – грунт основания

При глубине воды в искусственном водотоке или канале менее двух метров и скорости менее 2 м/с канал зарастает водной растительностью

(тростником, камышом, осокой, водорослями). Предотвратить зарастание канала можно, если увеличить скорость потока, закрепив русло различными креплениями (рис. 4.79). Если растительность уже укоренилась, то канал очищают различными механизмами, то есть окашивают, а также разводят травоядную рыбу (толстолобик, белый амур и т. д).

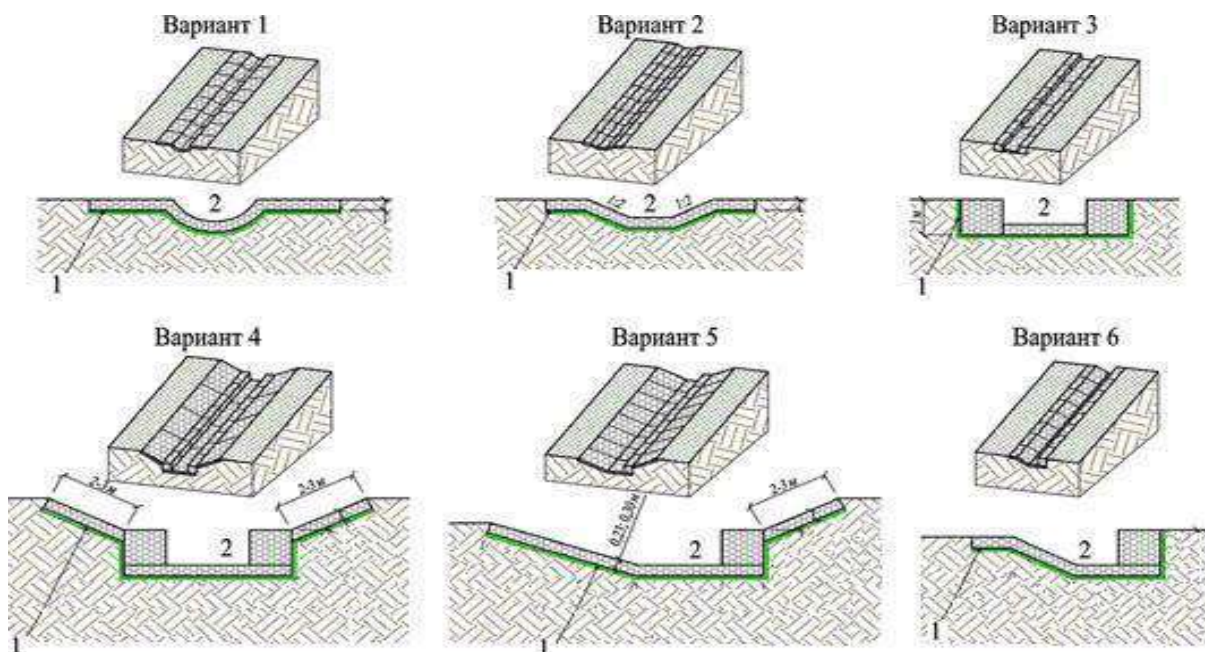


Рис. 4.79. Варианты устройства искусственных водотоков из габийных конструкций, ГАБИКОМ: 1 – геотекстиль; 2 – матрасно-тюфячные габiony

Центральный канал переброски в Китае (начало строительства 2003 г.), общая протяженность которого к 2050 г. составит 1264 км, на начальном этапе к Пекину будет перебрасывать дополнительно 9,5 млрд. м³ пресной воды, к 2030 г. эта цифра вырастет до 12...13 млрд. м³ в средние (не засушливые) годы (рис. 4.80).





Рис. 4.80. Некоторые участки Центрального канала переброски, КНР

Оросительные каналы на МС подают воду от источника к орошаемому массиву. **Оросительной системой** называется система каналов и трубопроводов, а также других ГТС, предназначенных для полива земель. ГТС оросительных систем служат для управления потоком воды. В зависимости от назначения ГТС на каналах делятся на *регуляторы, водопроводящие и сопрягающие сооружения.*

Регуляторы – это небольшие подпорные сооружения, позволяющие регулировать расходы воды в канале и его ответвлениях, поддерживать уровни, удерживать воду (рис. 4.81). По конструкции регуляторы могут быть открытыми (рис. 4.82), трубчатыми (рис. 4.83) и диафрагмовыми.



а

Гаситель энергии
потока - 消能设备,
消能槛



б

Рис. 4.81. Регулирующее сооружение - **调节建筑物**: соответственно вид со стороны подводящего канала (а) и нижнего бьефа (б)

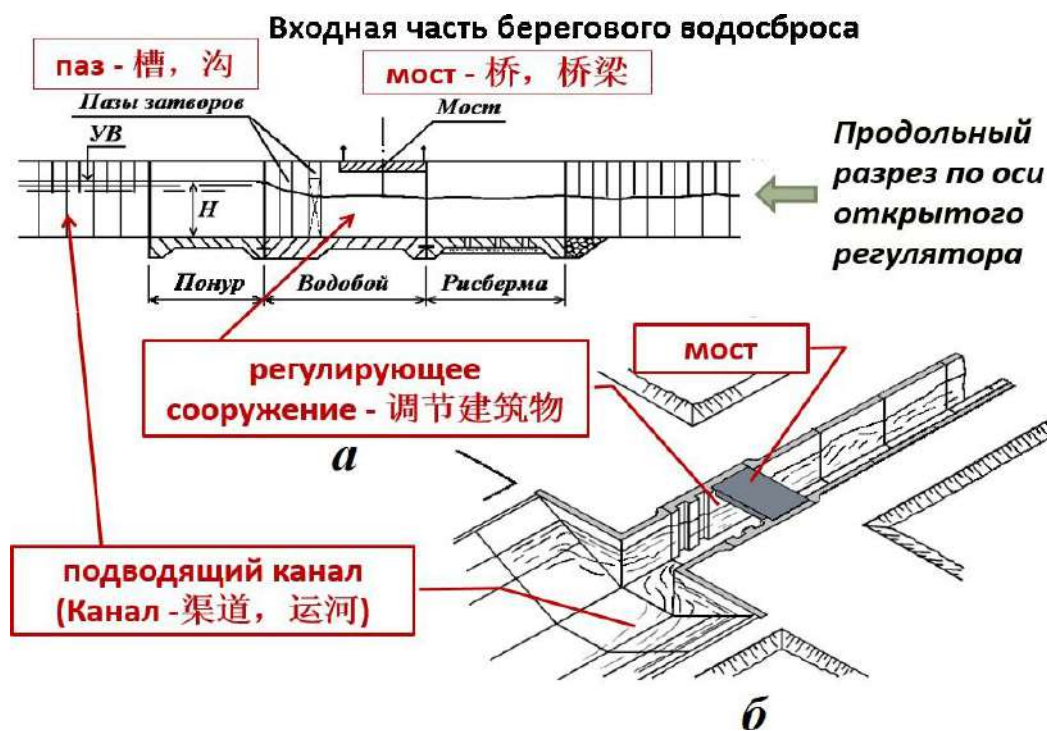


Рис. 4.82. Открытый регулятор (а) и его изометрическое изображение с примыкающими участками канала (б)

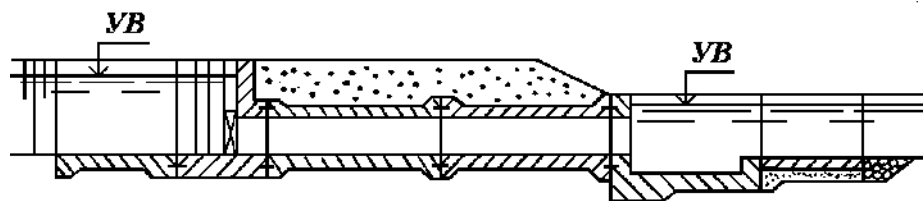


Рис. 4.83. Продольный разрез по оси трубчатого регулятора

Например, идея работы открытого регулятора – работа его как «водослива», то есть если сооружение имеет определённое геометрическое очертание и размеры, то через него проходит определённый расход, который может быть найден по «формуле водослива»:

$$Q = mb\sqrt{2gH^{3/2}} \quad (4.2)$$

где b - ширина регулятора, H - напор на водосливе, m - коэффициент водослива, $g = 9,81 \text{ м}^2/\text{с}$ - ускорение свободного падения.

Регуляторы на канале для выполнения нескольких и разных задач могут располагаться водном месте, образуя *узел сооружений* (рис. 4.84).

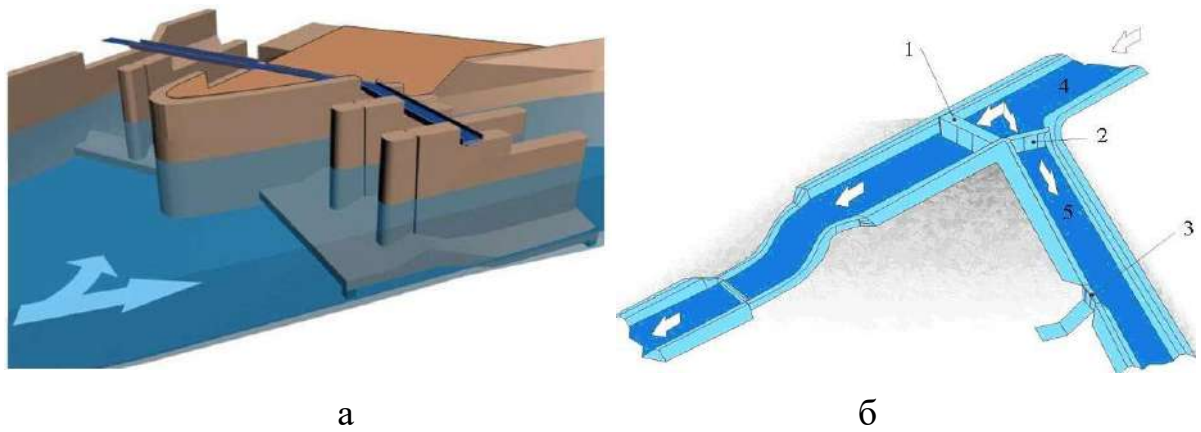


Рис. 4.84. Схема узла регулирующих сооружений с одним боковым отводом: а – без затворов; б – с затворами; 1 – подпорный регулятор; 2 – боковой регулятор (водовыпуск); 3 – сброс; 4 – магистральный канал; 5 – распределительный канал

Водопроводящие сооружения служат для транспортирования воды к потребителю, они устраиваются в местах пересечения канала с естественными и искусственными препятствиями. К ним относятся *лотки, дюкеры, акведуки, туннели, трубы*. Охарактеризуем каждое из упомянутых водопропускных сооружений (рис. 4.85).

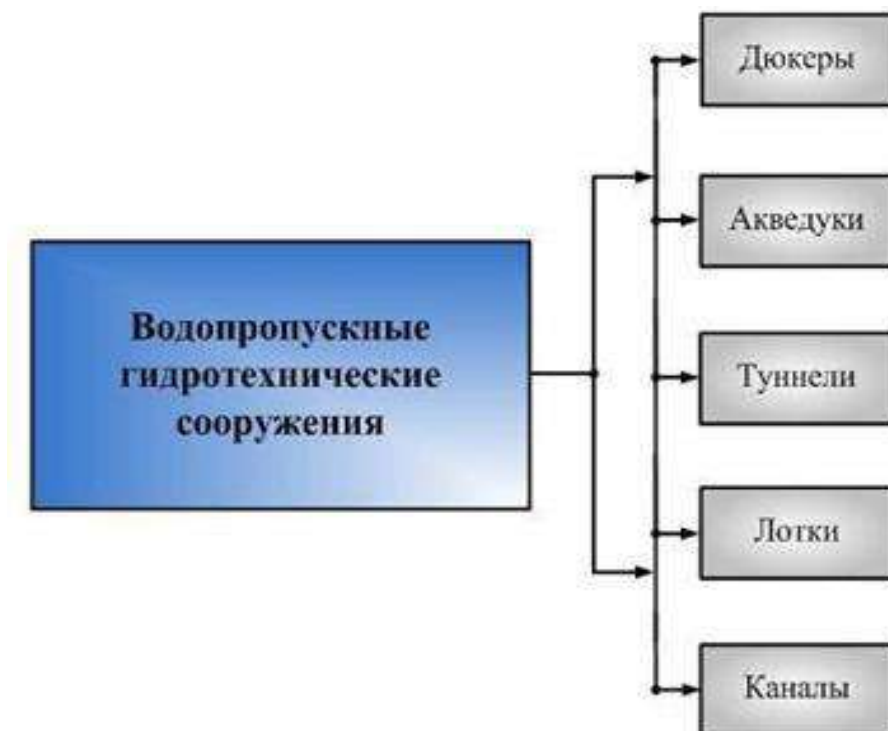


Рис. 4.85. Основные типы водопропускных/водопроводящих сооружений на МС

Лотки – это искусственные русла, заменяющие каналы на тех участках, где каналы проложить невозможно или экономически невыгодно (рис.4.86).

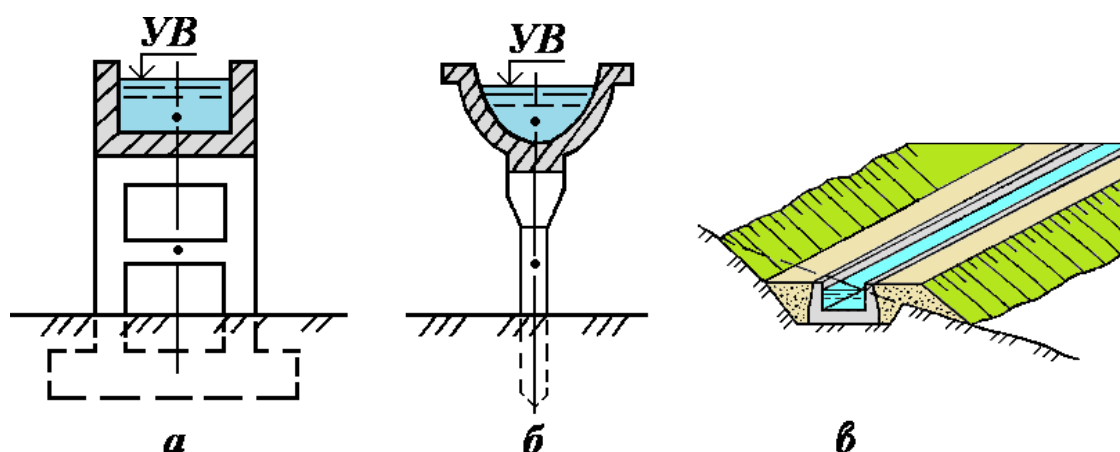


Рис. 4.86. Поперечные сечения лотков: а — прямоугольный лоток на опоре; б — параболический железобетонный лоток; в — лоток на косогоре

Дюкеры – напорные водоводы, прокладываемые под дорогами, каналами другими сооружениями, движение воды в которых проходит в напорном режиме (рис. 4.87) [24].

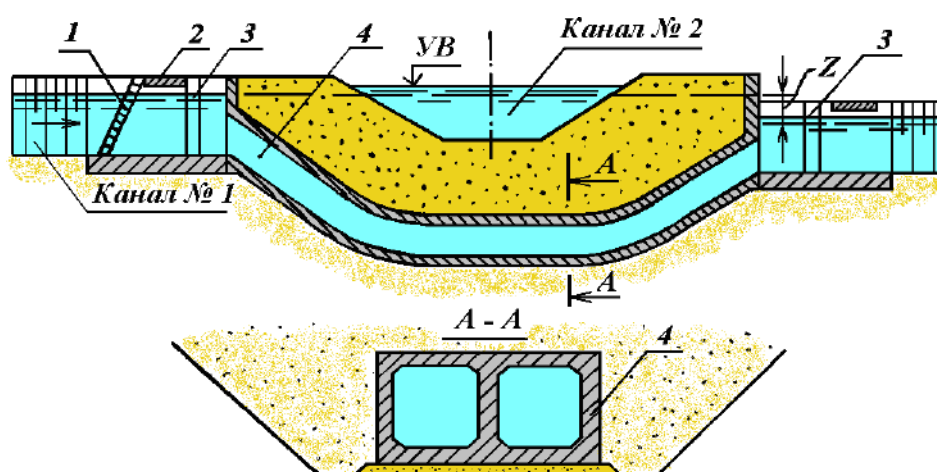


Рис. 4.87. Схема дюкера (продольный разрез по оси и поперечное сечение): 1 — решетка; 2 — мостик; 3 — паз для затвора; 4 — труба дюкера

Акведуки – водоводы в виде моста, предназначенные для перевода воды через понижения местности, (речки, ручьи, суходолы и т. п.). Движение воды в них проходит в безнапорном режиме (рис. 4.88, 4.89).

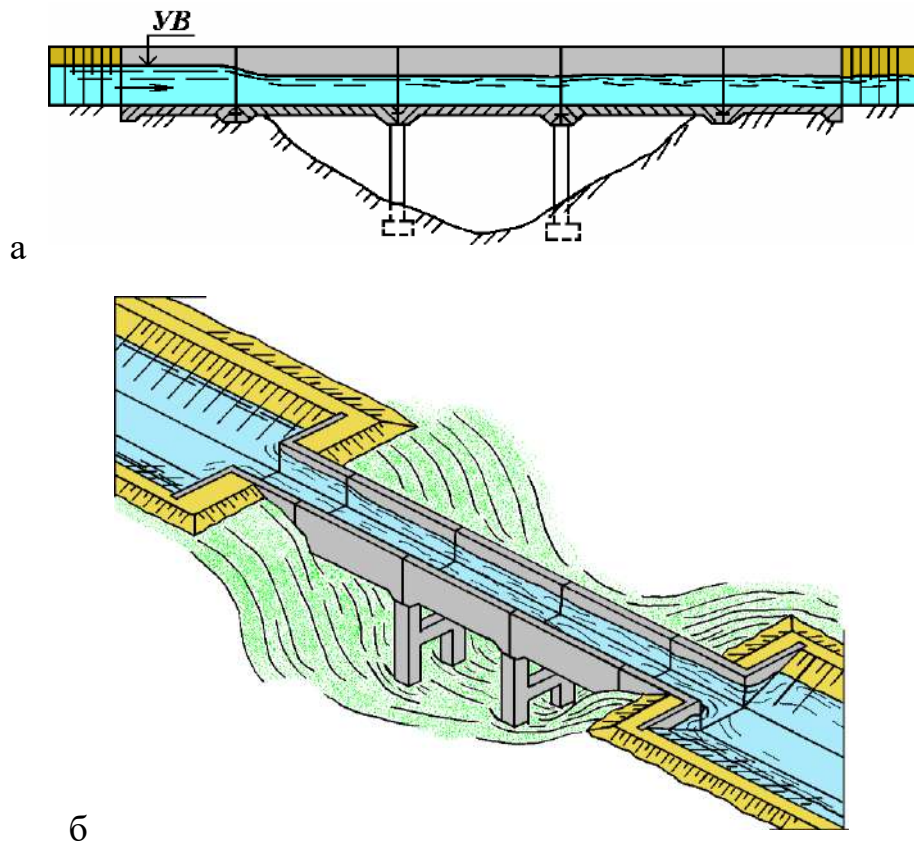


Рис. 4.88. **Схема акведука:** а — конструктивная схема (продольный разрез по оси); б — изометрическое изображение акведука

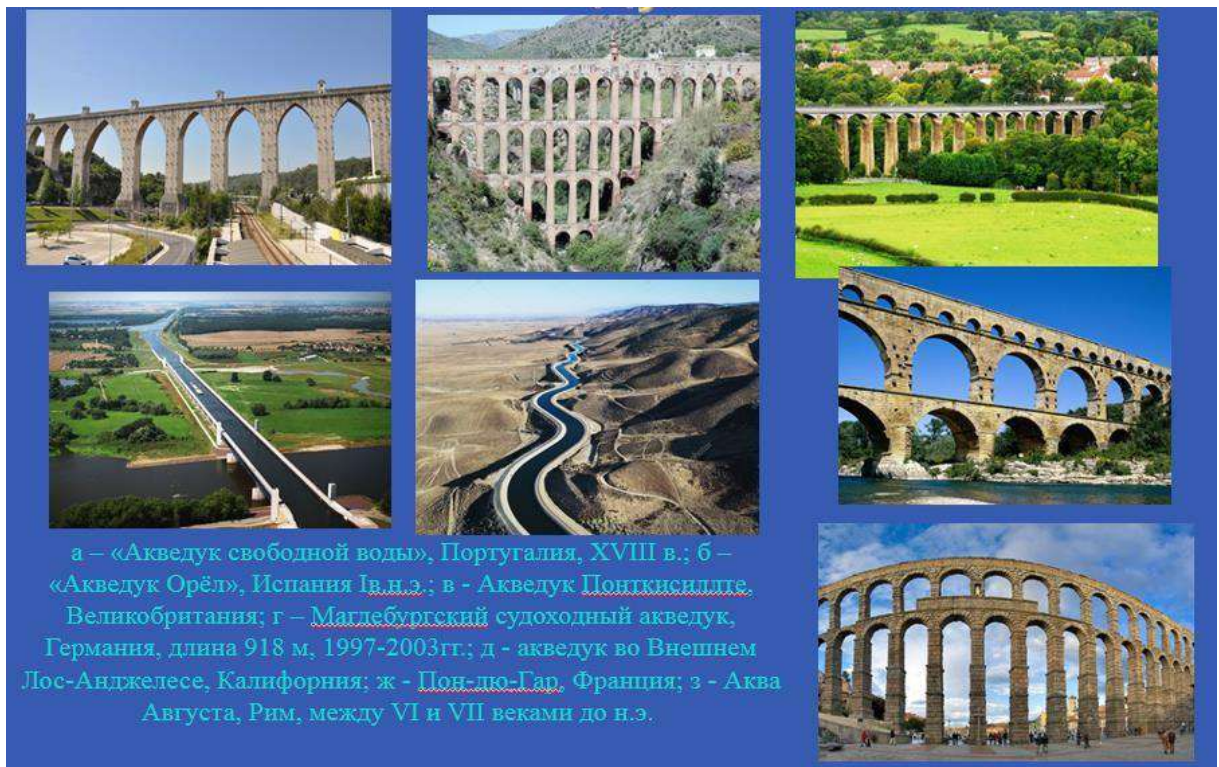


Рис. 4.89. **Примеры наиболее известных акведуков**

Трубы-ливнепроводы предназначены для пропуска расходов небольших водотоков под каналами и насыпями дорог (рис. 4.90).

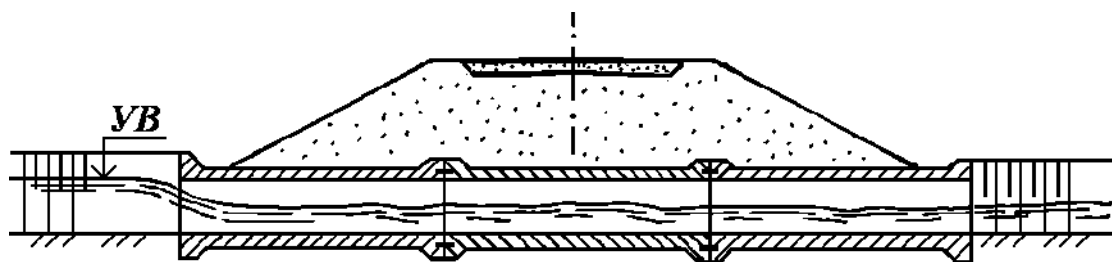


Рис. 4.90. Конструктивная схема трубы - ливнепровода

Туннели – закрытые водоводы, проложенные в земной толще без удаления массы грунта, расположенного над туннелем (рис. 4.91).

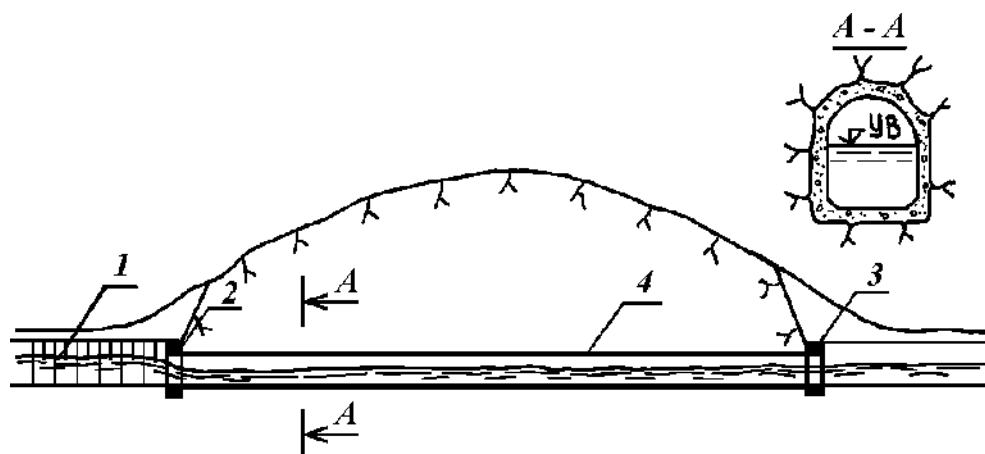


Рис. 4.91. Продольный разрез по оси туннеля: 1 — подводный канал; 2,3 — входной и выходной оголовки (порталы); 4 — туннель

Сопрягающие сооружения на каналах МС предназначены для сопряжения участков каналов, расположенных на различных отметках. Данные сооружения устраиваются в случае, если по трассе канала встречаются препятствия в виде сосредоточенного падения местности. Сопрягающие сооружения могут быть в виде быстротоков, консольных сбросов и многоступенчатых перепадов, конструкции и расчёты которых рассмотрены в п. 4.1.1. данного учебного пособия.

4.6. Затворы

Для регулирования подачи воды по водопропускным сооружениям (уровня верхнего бьефа и расхода воды), а также пропуска (или задержки)

плавающих тел (судов, леса, льда, наносов и пр.) служат **затворы** (рис. 4.92), а на напорных трубопроводах **задвижки**.

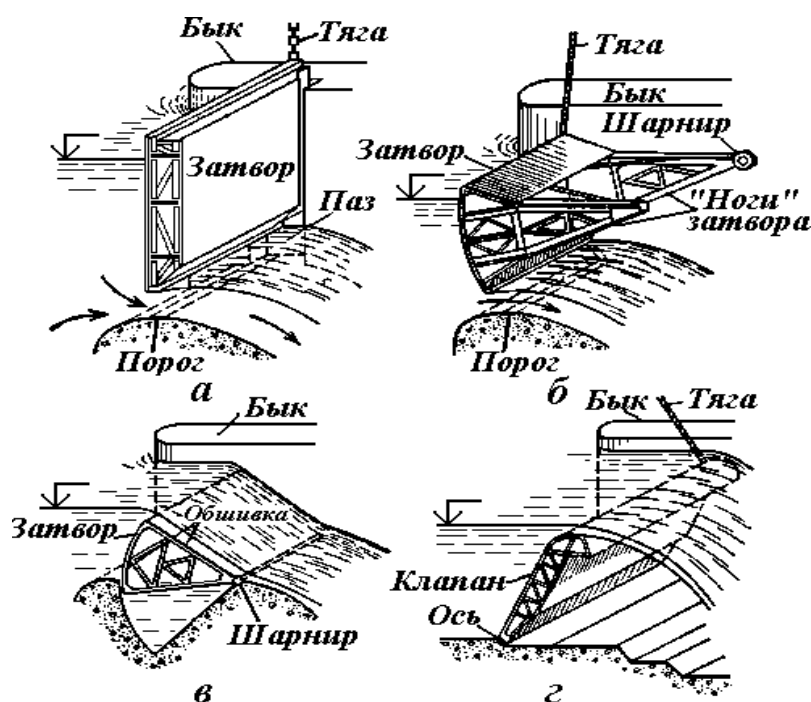


Рис. 4.92. **Общий вид элементов основных типов затворов:** а - плоский затвор; б – сегментный затвор; в – секторный затвор; г – клапанный затвор

Затворы - подвижная конструкция, перекрывающая водопропускные отверстия ГТС. Сейчас насчитывают более 100 видов затворов, тем не менее постоянно разрабатываются новые типы и конструкции. В зависимости от положения отверстия относительно уровня воды можно выделить: *поверхностные* - для перекрытия водосливных отверстий (рис. 4.93); *глубинные* - для перекрытия отверстий на глубине (рис. 4.94). По эксплуатационному назначению затворы делятся на: *основные* - постоянно использованные при эксплуатации; *ремонтные* - используемые во время ремонта; *аварийные* - для перекрытия в случае крупной аварии; *строительные* - для перекрытия отверстия в период строительства. По материалу бывают: стальные, из алюминиевых сплавов, железобетонные, деревянные, тканевые, композитные и др. По режиму работы бывают: регулирующие и способные работать при частичном открытии; нерегулирующие. По характеру движения - перемещающиеся поступательно, вращающиеся, перекатывающиеся, плавающие.

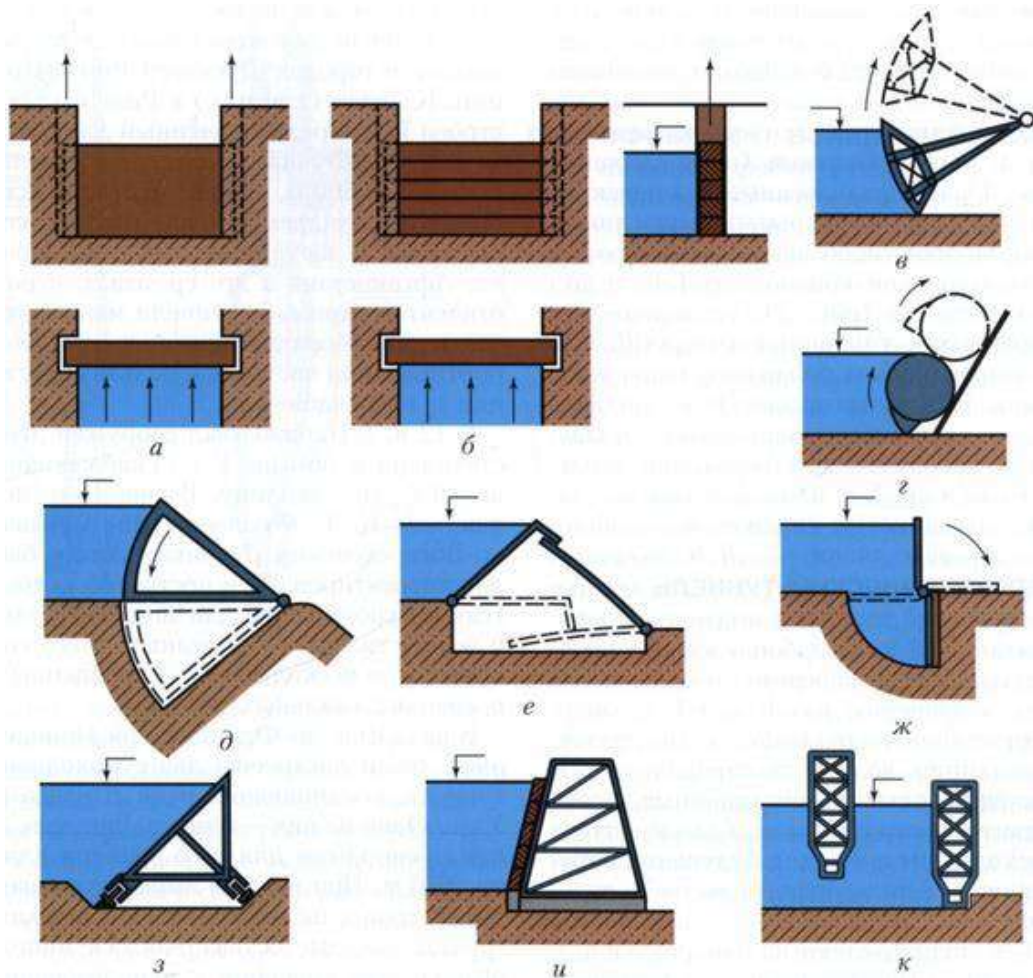


Рис. 4.93. Основные типы поверхностных затворов: а – плоский; б – шандорный; в – сегментный; г - вальцовый; д – секторный; е – крышевидный; ж – клапанный; з – откатной; и – с поворотными фермами; к - плавучие

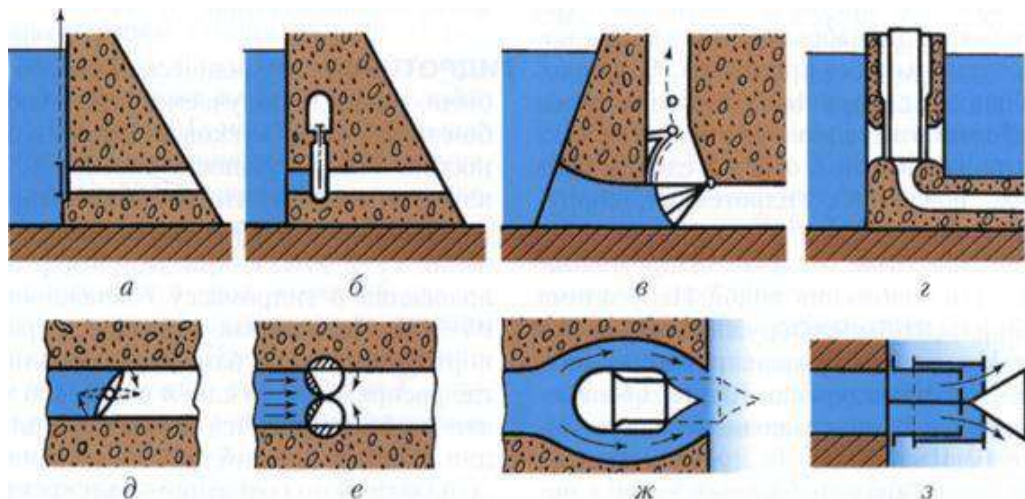


Рис. 4.94. Схемы глубинных затворов: а – плоский; б – задвижка; в – сегментный; г – цилиндрический; д – дроссельный; е – шаровой; ж – игольчатый; з - конусный

Шандорные затворы часто используют при ремонте. Перемещаются они в пазах быков и устоев. Выполняются из стали, легких сплавов дерева или

железобетона. Затвор состоит из подвижного пролетного строения, опорно-ходовых основных и вспомогательных частей, уплотняющих и подвесных устройств. **Плоские скользящие (щитовые)** затворы получили более массовое применение в сравнении с сегментными затворами, потому что стоимость их изготовления на 10-15% ниже сегментных затворов и монтаж в три раза дешевле. В зависимости от размеров перекрываемого отверстия, назначения ГТС и условий его эксплуатации используют различные типы плоских затворов. Чаще применяют плоские затворы одиночные и секционные. Пролетное строение плоских затворов (рис. 4.95) одиночных состоит из одного полотнища. Применяют их при высоте отверстия до 14 м. Такие затворы не допускают перелива воды поверху. Плоские затворы секционные состоят по высоте из нескольких частей —секций, перемещение которых можно производить поочередно и одновременно — в сцепе.

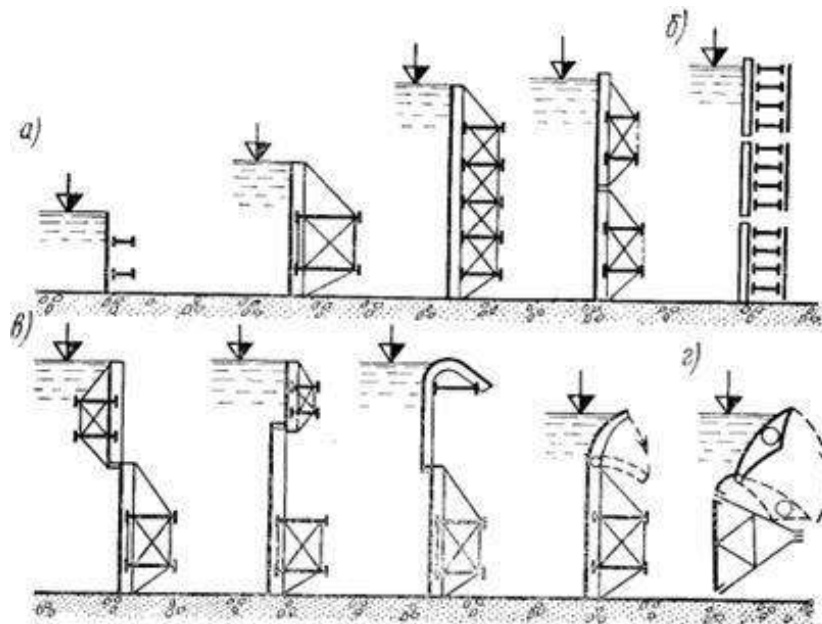


Рис. 4.95. **Виды пролётных строений плоских затворов:** а – одиночные; б – секционные; в - сдвоенные; г – с клапаном

Целесообразность использования двухригельных затворов возрастает с увеличением пролета. Необходимость сброса льда (шуги) и других плавающих тел без значительной потери воды, а также точности регулирования подпорного горизонта создают потребность сбрасывать воду поверху затвора, то есть опускать его верхнюю кромку. Частичное опускание затвора в нишу

флютбета не получило распространения в строительстве из-за сложности устройства и маневрирования такими затворами. Устройство ниши в водосливном пороге ухудшает гидравлические качества водослива и затрудняет осуществление уплотнений по порогу. Поэтому указанные выше задачи решают при помощи затворов с клапаном и, реже, сдвоенных затворов (рис. 4.96).

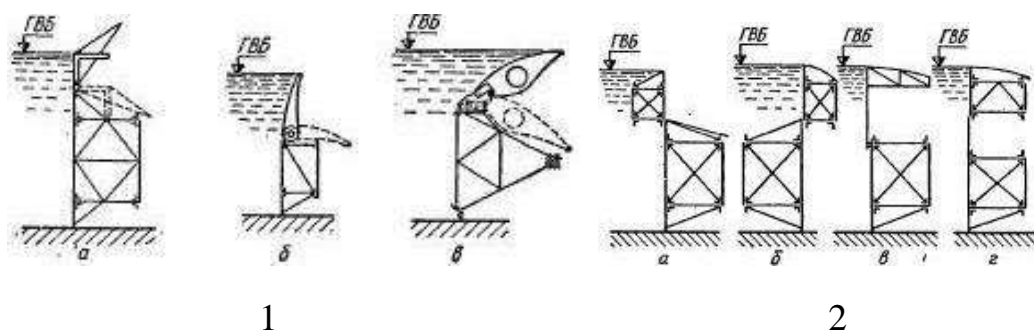


Рис. 4.96. Схемы плоских затворов: 1 - с клапаном; а – неудобнообтекаемой формы; б – клапан удобнообтекаемой формы, элемент жёсткости совмещён с осью вращения; в – удобнообтекаемая форма клапана и обшивка, ось вращения и элемент жёсткости не совмещены; 2 – сдвоенных затворов; а и б – с отдельными ходовыми путями; в и г - с совмещёнными путями

Наиболее простой тип плоских затворов представлен на рисунке 4.97. Они состоят из щита и закладной рамы. Такие затворы широко применяют на мелких мелиоративных каналах. Конструкция подвижной части (щита) состоит из обвязки (двух стоек и одной или двух балок) и обшивки. При малой высоте отверстия и сравнительно большой длине его между горизонтальными обвязками можно поместить несколько промежуточных стоек. Такие затворы называют **стоечными**. Неподвижные части затвора состоят из следующих элементов: опорно-ходовые закладные части для рабочих колес, катков, полозьев и т. п.; опорно-ходовые закладные части для обратных и боковых колес (обратные и боковые пути); закладные части вертикальных и горизонтальных уплотнений; армировка углов бетонной кладки и забральных стен; устройства для обогрева затвора.

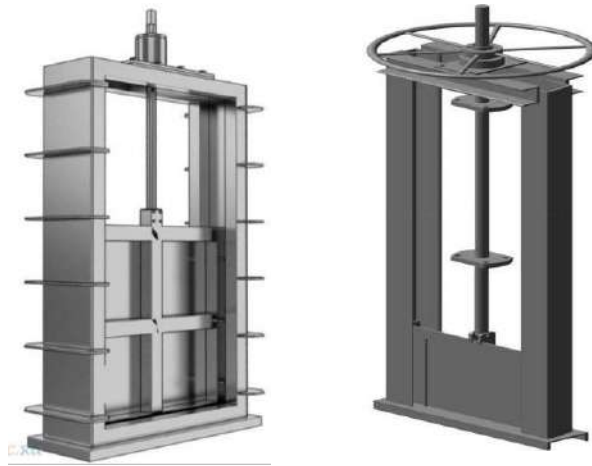


Рис. 4.97. Щитовые затворы, выполняемые с ручным и электрическим приводом

Уплотнения перекрывают зазоры между обшивкой и закладными частями затвора, препятствуя утечке воды в обход обшивки. В зависимости от расположения уплотнений различают вертикальные (боковые) и горизонтальные уплотнения (рис. 4.98).

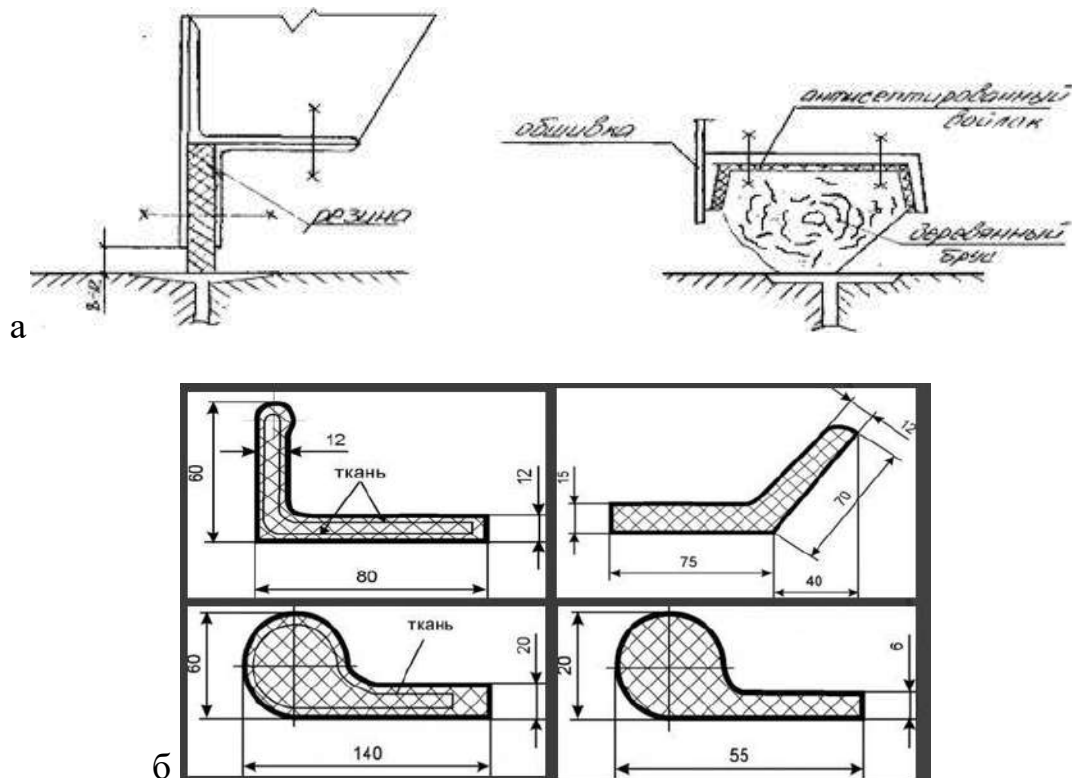


Рис. 4.98. Гидроуплотнения затворов: а – деревянные; б - резиновые

Горизонтальные уплотнения, расположенные внизу подвижной части затвора, называют донными. Донное уплотнение часто делают из деревянного

бруса, неподвижно закрепленного в нижней обвязке затвора. Деревянные донные уплотнения не разрешается применять в затворах, перемещаемых под напором, если высота последнего превышает 15 м. над порогом. Донные уплотнения обычно осуществляют из полосовой резины, зажатой с трех сторон в обойме, образованной обшивкой, обвязкой и специальным уголком.

Опорно-ходовые и направляющие элементы служат для передачи давления воды на неподвижные (закладные) части затвора и далее на массу бетона сооружения, а также для передвижения затвора. Чаще применяют колесные опоры и скользящие опоры из древесно-слоистого пластика, реже — скользящие в виде деревянных брусьев или металлических полос, расположенных по всей высоте затвора. Катковые и гусеничные опоры сейчас в мелиоративном строительстве почти не используют. Для ограничения боковых перемещений и перекосов щита в процессе маневрирования им, а также для уменьшения вибрации при неполном открытии затвора служат направляющие устройства в виде боковых и обратных колес.

Подъёмные механизмы затворов могут быть *подвижными* — тельферы, козловые, порталные, мостовые и другие краны или *неподвижными* — лебедки и винтовые подъемники. Неподвижные механизмы целесообразны при малом числе затворов, при быстродействующих затворах и в ряде других случаев. Подвесные устройства соединяют подвижную часть затвора с тягами подъемных механизмов, а также с подхватами в период ее временной подвески. Подвижную часть затвора с подъемным механизмом соединяют посредством тросов, штанг, цепей и т. п.

5. КОМПОНОВКА РЕЧНЫХ ГИДРОУЗЛОВ

Компоновка гидроузла должна обеспечивать такое взаимное размещение входящих в него ГТС, которое наилучшим образом отвечало бы решению экономических и технических задач [1, 2, 4, 6, 7, 15, 16, 30]. Компоновку гидроузла принимают на основе технико-экономического сравнения возможных вариантов, при этом предпочтение отдается варианту, который наилучшим образом удовлетворяет:

- выполнению задач, для которых строится гидроузел;
- оптимальным технико-экономическим показателям гидроузла;
- взаимосвязи компоновки сооружений с условиями возведения, в частности, с пропуском расходов реки в строительный период;
- возможности временной эксплуатации неоконченного гидроузла;
- требованиям охраны окружающей среды;
- требованиям по удобству эксплуатации, монтажа и ремонта оборудования.

При этом должны удовлетворяться эстетические требования к сооружениям гидроузла и компоновке в целом, она служит созданию архитектурного ансамбля, органически связанного с окружающей природой. Гидроузлы и создаваемые ими водохранилища, как правило, имеют комплексное назначение, обеспечивая нужды ирригации и водоснабжения, рыбного хозяйства, энергетики, водного, автомобильного и нередко железнодорожного транспорта. При выборе типов ГТС необходимо учитывать все нужды этих отраслей экономики. В состав гидроузла в зависимости от его назначения могут входить: водоподпорные сооружения (плотины), водосбросы, водоспуски, водовыпуски, гидроэлектростанции, водозаборы, судопропускные сооружения (судоходные шлюзы или судоподъемники), лесопропускные, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения, а также транспортные мосты. На компоновку гидроузла существенно влияет величина создаваемого им напора. В зависимости от природных условий гидроузлы подразделяются на

низконапорные (напор H до 15 м), средненапорные ($H = 15...50$ м) и высоконапорные (H более 50 м).

ГТС на мелиоративной сети (МС) обеспечивают: забор воды из водоемов или каналов старшего порядка; регулирование расходов воды потребителям; пропуск воды через пересеченные местности; сброс излишков транспортируемой по каналам воды в пруды - накопители, сбросные коллекторы, естественные или искусственные водоемы, реки. МС в зависимости от назначения и выполнения функций делятся на [28]: *оросительные* (ОрС) или *обводнительно-оросительные* (рис. 1.2, 4.73 и 5.1) и *осушительные* (ОсС) (рис. 5.2) или *осушительно-оросительные* (ОсО).

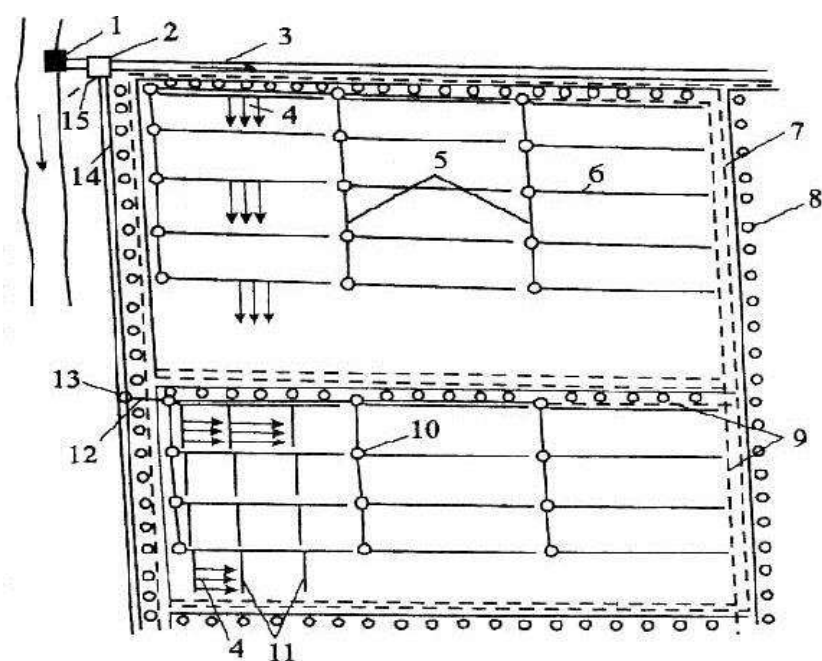


Рис. 5.1. **Схема оросительной системы [28]:** 1 – водозаборное сооружение; 2 – узел командования; 3 – МК; 4 – поливные борозды; 5 – участковые каналы; 6 – временный ороситель; 7 – дорога; 8 – лесополоса; 9 – водосборно-сбросная сеть; 10 – сооружение хозяйственной сети; 11 – выводные борозды; 12 – хозяйственный РК; 13 – точка выдела воды в хозяйство; 14 – межхозяйственный РК; 15 – аварийный сброс

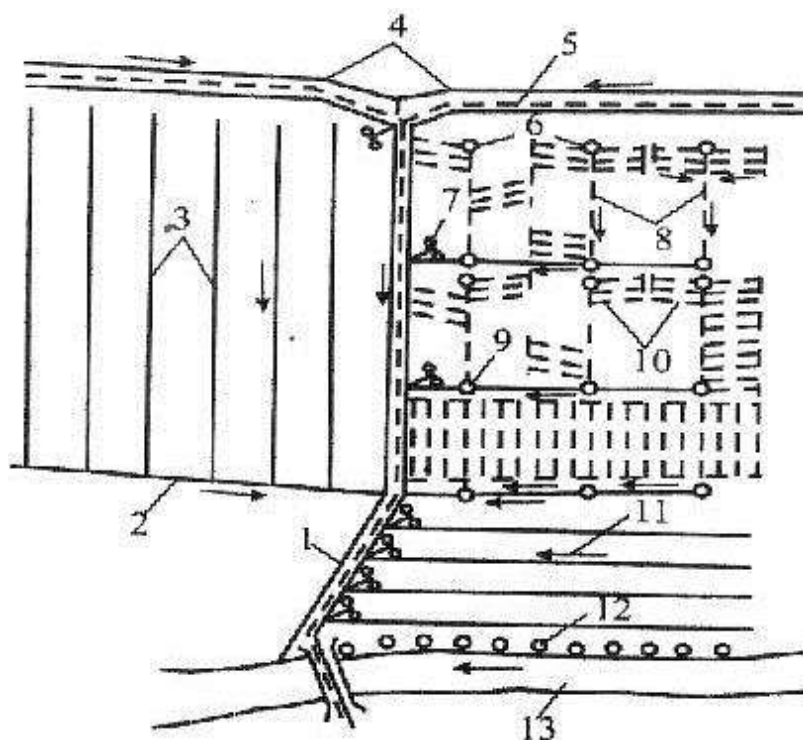


Рис. 5.2. Схема осушительной системы [4, 8]: 1 – МК; 2 – транспортирующий собиратель; 3 – открытые собиратели или осушители; 4 – нагорно-ловчие каналы; 5 – дорога; 6 – смотровые колодцы; 7 – труба-переезд; 8 – закрытые коллекторы; 9 – устьевое сооружение; 10 – закрытые дрены; 11 – направление движения воды; 12 – лесополоса; 13 – водоприёмник (водоток)

МС включает в себя следующие ГТС [2, 8]:

- магистральный (МК) (головной оросительный или осушительный канал, связывающий систему с источником воды при орошении или с водоприёмником при осушении);

- постоянную проводящую сеть распределительных каналов (РК) в ОрС или водоотводящих каналов в ОсС, включающие межхозяйственные и внутрихозяйственные каналы;

- внутрихозяйственную оросительную или осушительную регулирующую сеть (создающую и поддерживающую нужный воздушный режимы почвы на полях), которая бывает временной (временные оросители или осушители), закрытой (дрены, трубопроводы) или передвижной (дождевальные и поливные машины);

- мелиорируемые сельскохозяйственные площади, находящиеся в «оперативном» подчинении.

Иногда регулирующие сооружения на водохозяйственной системе отсутствуют (рис. 5.3).

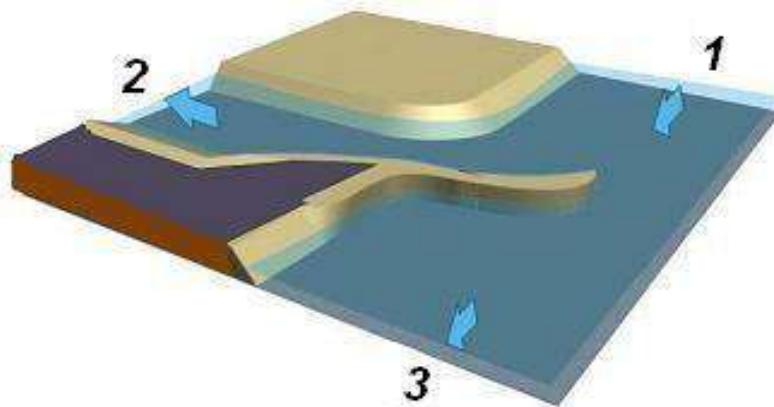


Рис. 5.3. Бесплотинный нерегулируемый водозаборный гидроузел: 1 – МК; 2 – РК; 3 – направление донного течения в МК за водозабором

5.1. Низконапорные гидроузлы

Низконапорные гидроузлы могут строиться на любых основаниях (нескальных, скальных) как на равнинных (преимущественно), так и на горных реках, где отсутствует возможность создания регулирующего водохранилища, но имеется потребность в улучшении условий судоходства, лесосплава, водозабора для орошения. В подпорный фронт низконапорных гидроузлов входят водосливные и глухие плотины, а также при необходимости могут включаться судоходные шлюзы, поверхностные водозаборы, рыбозащитные и рыбопропускные сооружения, здания гидроэлектростанций и др.

Низконапорные гидроузлы работают при небольших суточных колебаниях уровня воды в ВБ. Водосливные плотины таких гидроузлов - с низким порогом и большими пролетами практически не нарушают условий пропуска паводков, льда и наносов. Судоходные сооружения при компоновке низконапорных гидроузлов размещаются так, чтобы были обеспечены безопасность и удобство подхода судов к камере и выхода из нее. Для этого

трасса судового хода по возможности удаляется в сторону от водосбросных отверстий плотины и ГЭС. На небольших водотоках для различных хозяйственных целей (водоснабжения, орошения и др.) часто применяют гидроузлы с плотинами из грунтовых материалов, открытыми береговыми или закрытыми, водосбросами и водовыпусками (водоспусками) (рис. 5.4). Водовыпуск часто делают совмещенным и через него подается расход, равный сумме расходов водовыпуска и водозабора (водовыпуска на орошение). В нижнем бьефе насосная станция забирает расход водозабора и подает его потребителю. Аналогичные компоновки применяют и при средних напорах, причем при скальных основаниях водосбросы нередко устраивают туннельными.

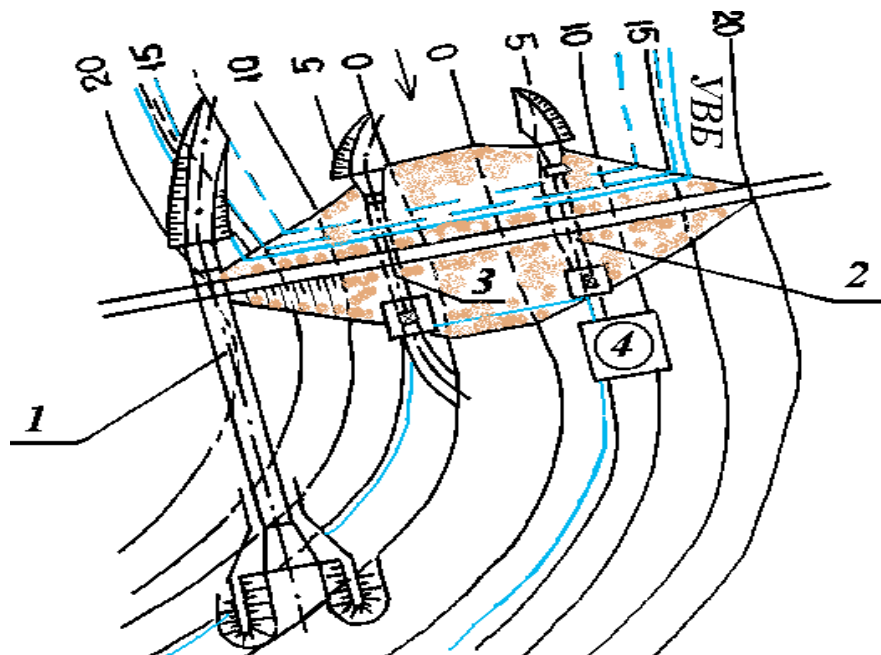


Рис. 5.4. Компоновка низко (и средненапорных) гидроузлов с плотиной из грунтовых материалов с открытым водосбросом, водоспуском и водовыпуском: 1 - береговой водосброс; 2 - водовыпуск; 3 - донный водоспуск; 4 - насосная станция

5.2. Средненапорные гидроузлы

Средненапорные гидроузлы сооружаются для тех же целей, что и низконапорные, а также для борьбы с наводнениями. Их сооружают на равнинных и предгорных участках полноводных рек с широкими поймами, в результате затопления которых могут быть созданы водохранилища с

сезонным или годичным регулированием стока. Такие гидроузлы обладают значительными возможностями для комплексного использования. Геологические условия в створе гидроузла влияют на выбор типов сооружений и на их расположение. Тяжелые и жёсткие сооружения (водосбросные плотины, здания ГЭС, судоходные шлюзы), как правило, размещают на коренных грунтах, обладающих значительной несущей способностью. Различают следующие типы компоновок речных гидроузлов: *русловую, пойменную, полупойменную* (рис. 5.5). Судоходный шлюз как правило располагают на противоположном от ГЭС берегу для исключения влияния постоянно работающей ГЭС на гидравлические условия (скорости) при входе в подходной канал судоходного шлюза. Если ГЭС и судоходный шлюз располагается рядом, то требуется длинный участок между ними для того, чтобы исключить влияние повышенных скоростей ГЭС.

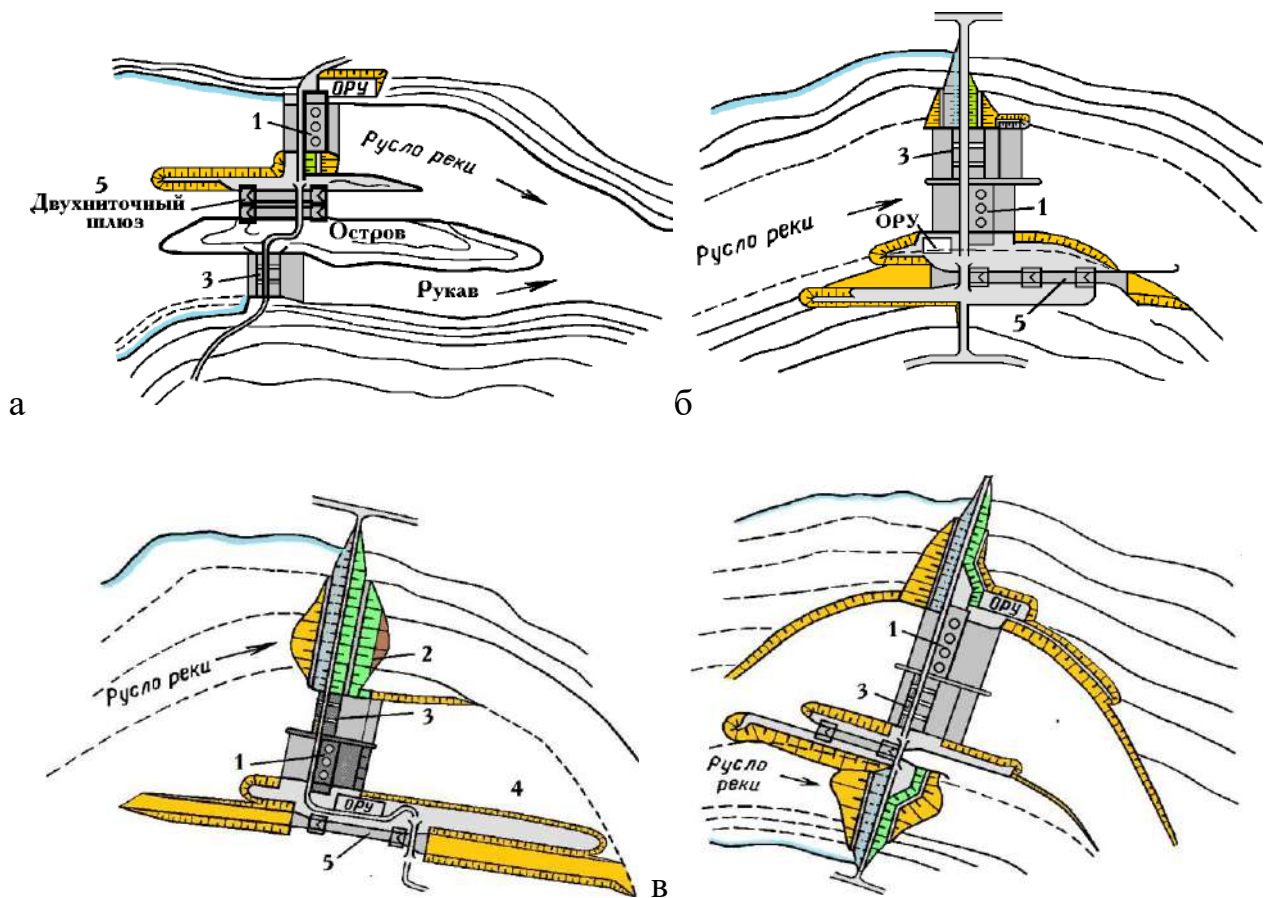


Рис. 5.5. Варианты компоновок гидроузлов: а - русловая компоновка, б - пойменная компоновка, в - полупойменная компоновка; 1 - здание ГЭС; 2 - глухая плотина; 3 - водосливная плотина; 4 - отводящий канал; 5 - судоходный шлюз

При *русловой* компоновке основные бетонные сооружения возводят в две-три очереди за перемычками при одновременном пропуске расходов реки через свободную часть русла. На первом этапе в котловане, огражденном перемычками (первая очередь), строится лишь часть водопропускных сооружений (сооружают обычно рядом водосливную плотину и часть здания ГЭС или наоборот), при этом у водосбросной плотины остаются незавершенными по высоте водосливные пролеты или же в бетонной кладке устраивают донные отверстия. На следующем этапе (вторая очередь) перемычки первой очереди разбираются, ограждается следующая часть русла, пропускавшая до этого расходы реки. Эта часть русла становится котлованом второй очереди, в котором достраивается часть здания ГЭС (или водосбросной плотины), не разместившуюся в котловане первой очереди) а расходы строительного периода пропускаются через отверстия, оставленные в бетонной кладке первой очереди, которые в дальнейшем заделываются.

При *пойменной* компоновке с размещением водопропускных сооружений на берегу (пойме) отпадает необходимость в высоких перемычках и течение реки меньше стесняется в паводок, но зато необходимо устройство низового и верхового подводящих каналов (выемки) для соединения водопропускных сооружений с руслом реки. По мере готовности бетонных сооружений русло реки перекрывается грунтовой плотиной, а расход реки направляется по новому руслу к сооружениям, в которых, как и при русловой схеме, остаются незаделанными водопропускные отверстия.

При *полупойменной* компоновке (при небольшой ширине реки) во избежание чрезмерного сужения русла котлован первой очереди смешают в сторону берега; при этом бетонные сооружения размещаются частично на пойме и частично в русле реки (рис. 5.6, 5.7.)



Рис. 5.6. Компоновка средненапорного гидроузла, в состав которого входят грунтовая плотина, водосбросная плотина, ГЭС

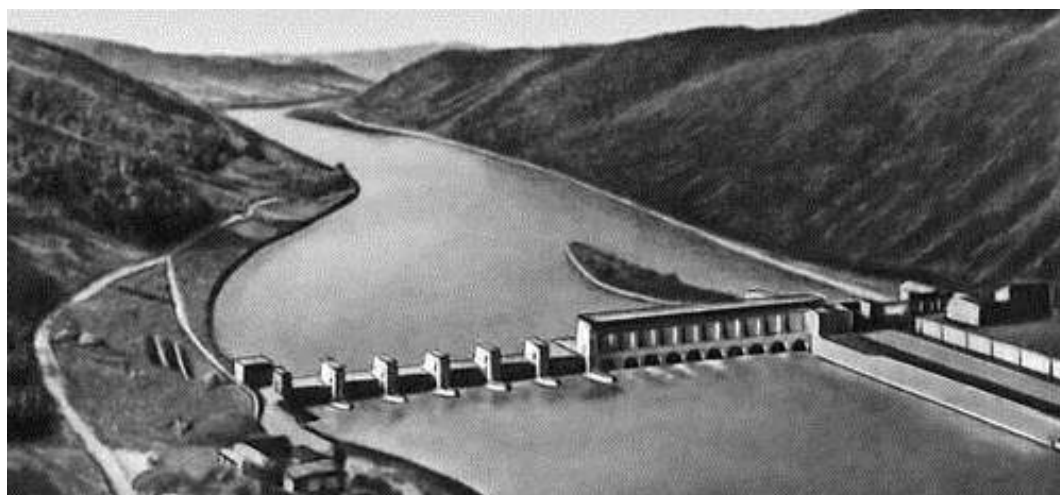


Рис. 5.7. Общий вид гидроузла Йохенштейн. Австрия

При размещении судоходных шлюзов в составе гидроузлов следует выполнять специальные требования, обеспечивающие их нормальную эксплуатацию. Рекомендуется размещать судоходный шлюз на противоположном от ГЭС берегу в отдельном котловане чтобы скорости, образующиеся в процессе работы ГЭС, не мешали заходу судов в подходной канал со стороны НБ (рис. 5.8 - 5.7).

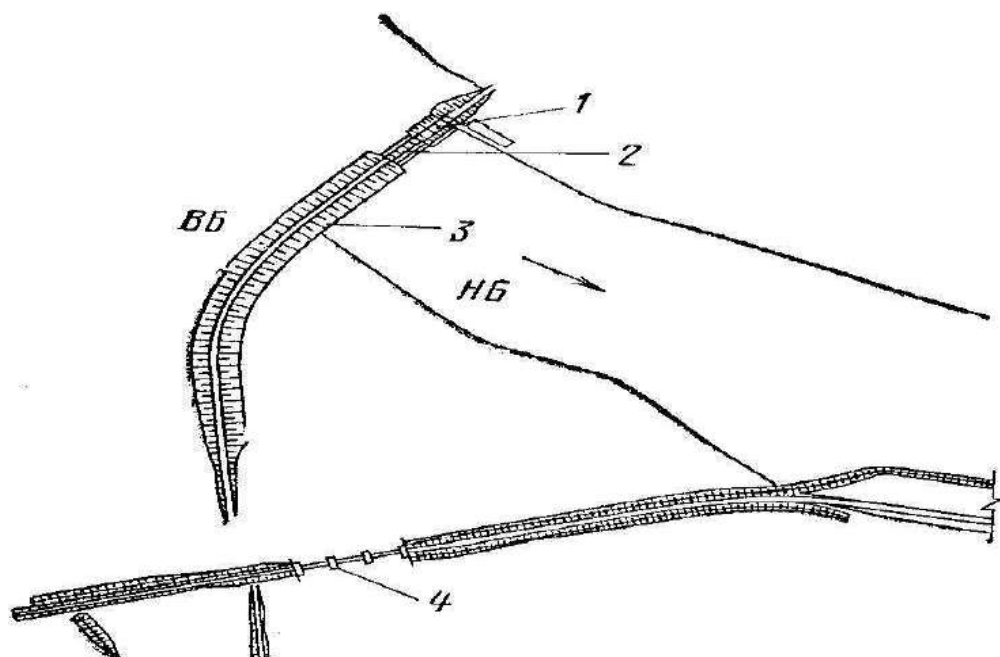


Рис. 5.8. Компонка средненапорного Новосибирского гидроузла на р. Оби, напор 19,6 м: 1 - здание ГЭС совмещенного типа с донными водосбросами; 2 - водосбросная плотина; 3 - плотина из грунтового материалов; 4 - судоходный трехступенчатый шлюз

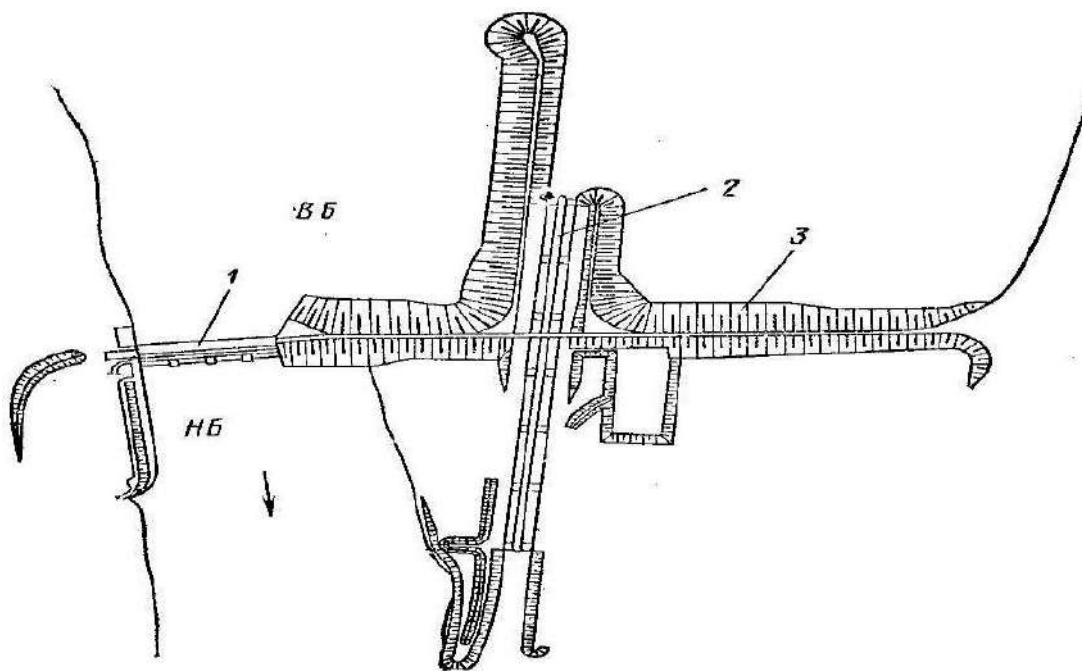


Рис. 5.9. Компонка средненапорного Камского гидроузла на р. Каме, напор 22 м: 1 - здание ГЭС водосливного типа; 2 - двухниточный шестиступенчатый судоходный шлюз; 3 - грунтовая плотина

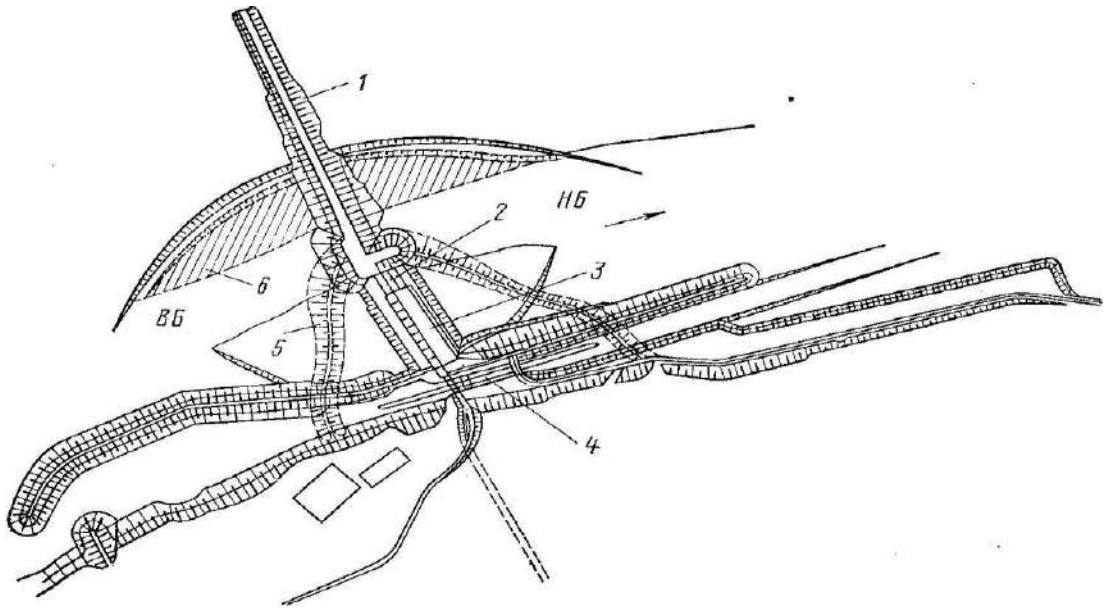


Рис. 5.10. Компоновка средненапорного Чебоксарского гидроузла на р. Волге, напор 19 м: 1 - грунтовая плотина; 2 - водосбросная плотина; 3 - здание ГЭС совмещенного типа с донными водосбросами; 4 - двухниточный одноступенчатый судоходный шлюз; 5 - перемычка, ограждающая котлован бетонных сооружений; 6 - расчистка левого берега для обеспечения пропуска строительных расходов и судоходства в период строительства

При средних напорах нередко применяют и компоновки с береговыми открытыми или туннельными (а иногда и трубчатыми) водосбросами и водовыпусками (водоспусками). Не очень большие по величине строительные расходы в таких гидроузлах, особенно при узких створах, обычно пропускают по туннелям или трубам.

5.3. Высоконапорные гидроузлы

Высоконапорные гидроузлы обычно служат для комплексных целей. Они возводятся в горных ущельях с крутыми береговыми склонами. Передача больших нагрузок от высоких бетонных сооружений требует прочных скальных или полускальных оснований. В случае грунтовых и каменно-земляных и каменно-набросных плотин такие условия не обязательны.

Варианты компоновок гидроузлов, как правило, проверяются и уточняются в отношении их гидравлического режима экспериментально на моделях в гидравлических лабораториях. В составе таких гидроузлов, за редкими исключениями, не бывает ни судо-, ни рыбопропускных сооружений

ввиду технической нецелесообразности их возведения. Кроме глухой плотины в таких гидроузлах обязательно размещают водосбросные сооружения:

- донные (глубинные), сооружаемые на период строительства для пропуска строительных расходов и иногда оставляемые частично для целей опорожнения водохранилища;
- поверхностные водосливы в теле плотины или на берегах;
- туннельные водосбросы.

В составе гидроузла могут быть также ирригационные и хозяйственно-питьевые водозаборы, расположенные в верхнем бьефе и отводящие воду туннелями или открытыми каналами, а иногда трубопроводами. При размещении сооружений гидроузла часто бетонные сооружения занимают основную часть водонапорного фронта, а стоимость их возведения составляет 70...90% от стоимости гидроузла в целом. Водосбросы устраиваются или в теле плотины, или на берегу. На рисунках 5.11 - 5.13 приведены компоновки гидроузлов с бетонными плотинами.

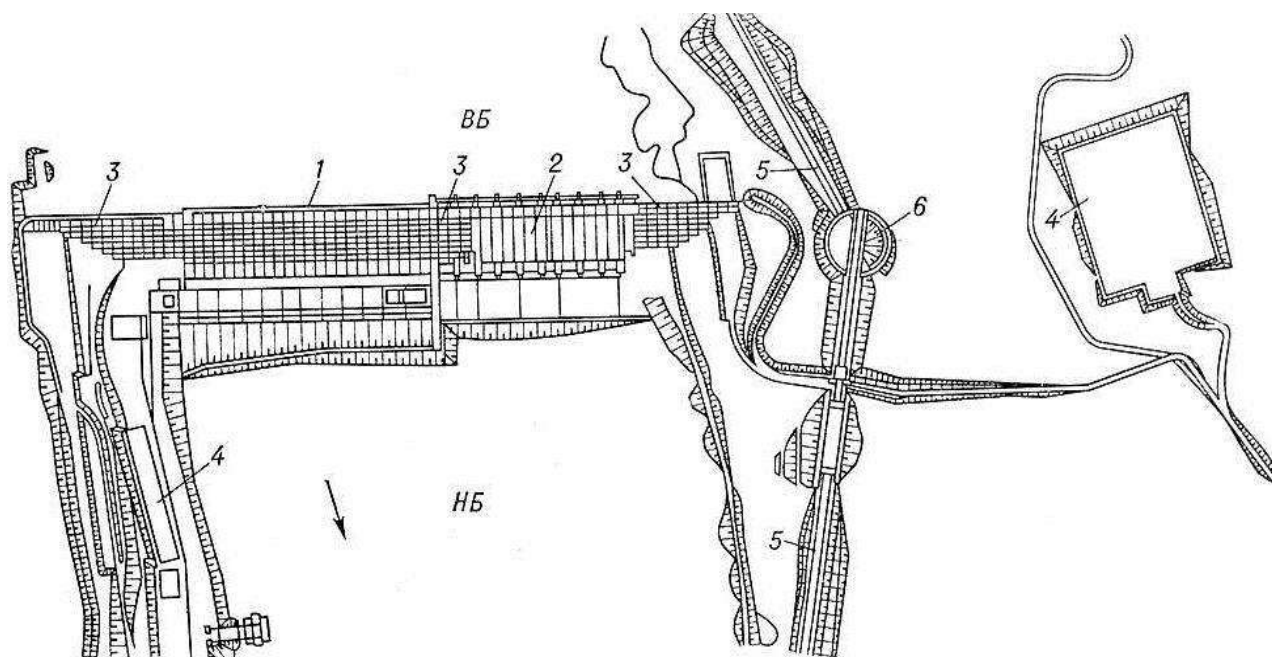


Рис. 5.11. Схема компоновки сооружений Красноярского гидроузла на р. Енисей, высота плотины 124 м: 1 - здание ГЭС; 2 - водосливная часть плотины; 3 - глухая часть плотины; 4 - открытое распределительное устройство; 5 - наклонный судоподъемник; 6 - поворотный круг (мост) судоподъемника

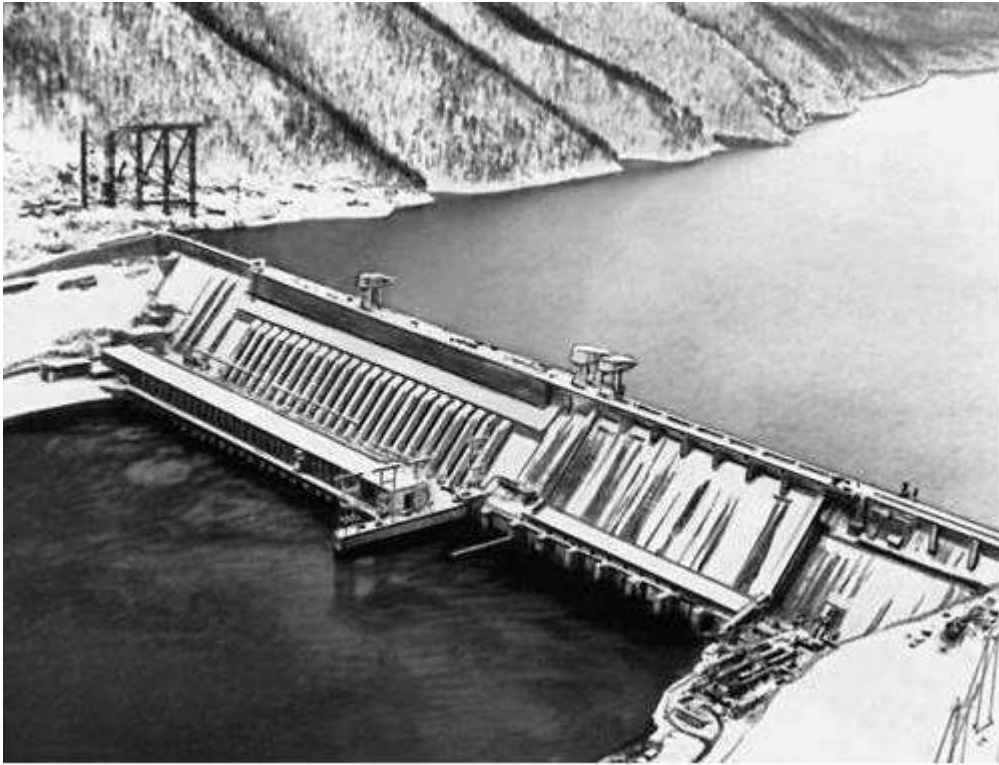


Рис. 5.12. Вид на сооружения Красноярского гидроузла

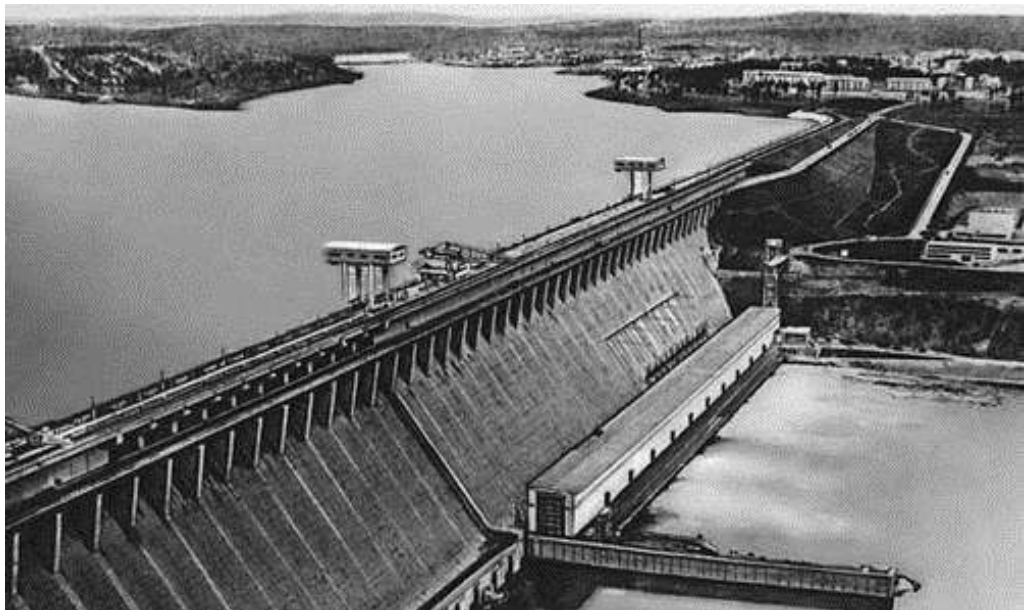


Рис. 5.13. Вид на сооружения Братского гидроузла

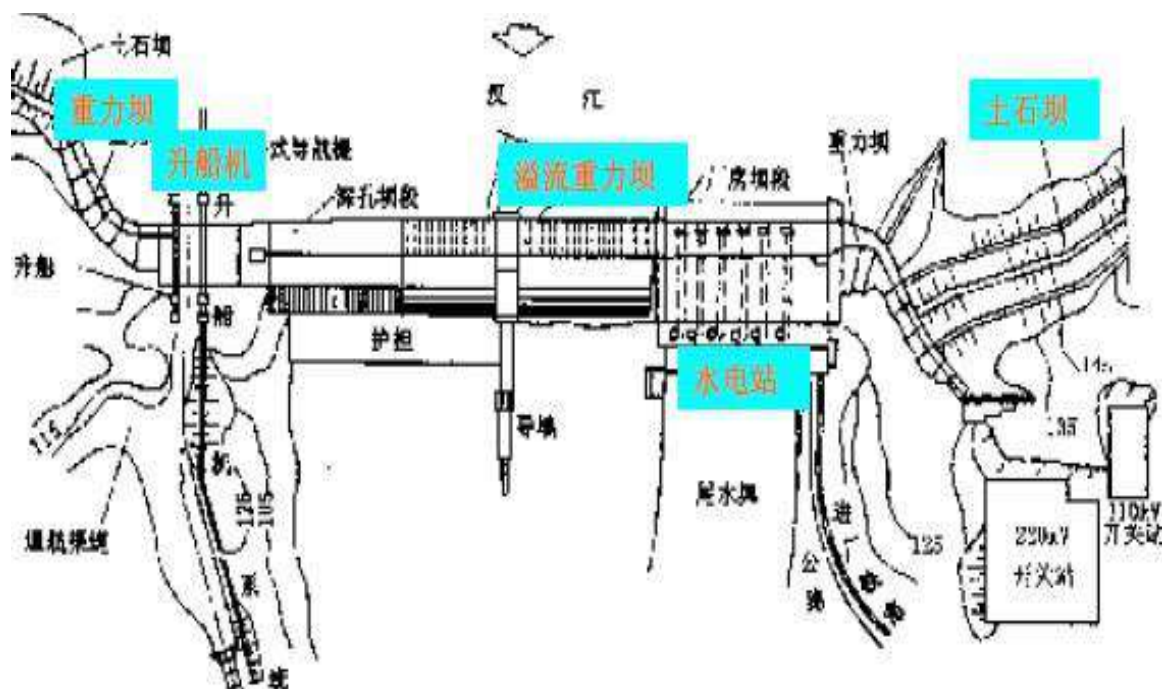


Рис. 5.14. Компоновка гидроузла Дань Цзянь Коу. КНР



Рис. 5.15. Общий вид водохранилища и нижнего бьефа гидроузла «Три ущелья»

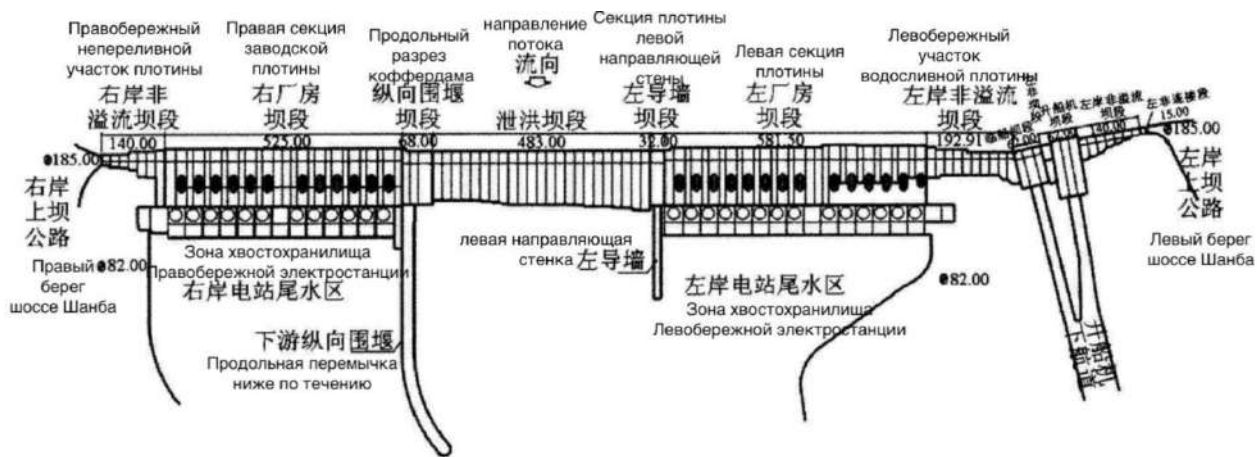


图 1 长江三峡水利枢纽大坝布置示意图

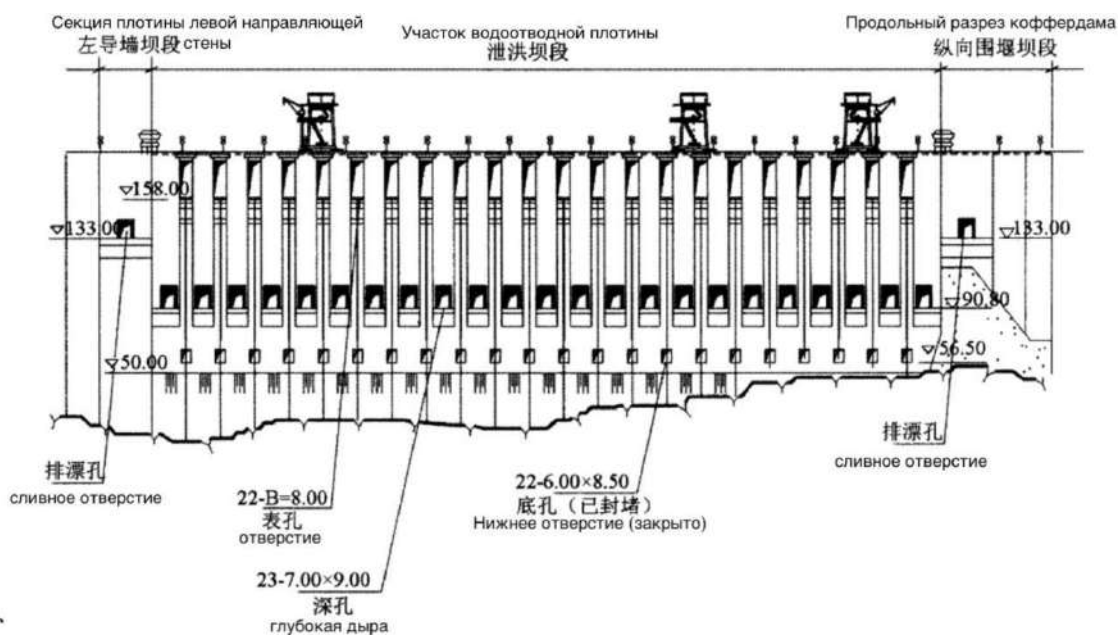


图 2 泄洪坝段上游立视图(单位:m)

Рис. 5.16. Компонвка (1) и продольный разрез по створу (2) гидроузла «Три ущелья». КНР

В гидроузлах с высокими плотинами из грунтовых материалов водоприемные и водосбросные устройства сооружают в виде поверхностных водосбросов с быстотоками, консольными или многоступенчатыми перепадами на берегах и реке в виде частично заглубленных в основание железобетонных труб. Часто оказывается целесообразным применять также шахтные, траншейные и туннельные водосбросы. Желательно использование этих устройств и для пропуска строительных расходов (рис. 5.17, 5.18). На рисунке 5.18 представлен план Нурекского гидроузла, который предназначен для регулирования стока реки в целях орошения и получения гидроэнергии.

Гидроузел включает самую высокую в мире каменно-земляную плотину ($H_{пл} = 300 \text{ м}$), береговые водосбросы, туннельный водозабор, здание ГЭС и др.

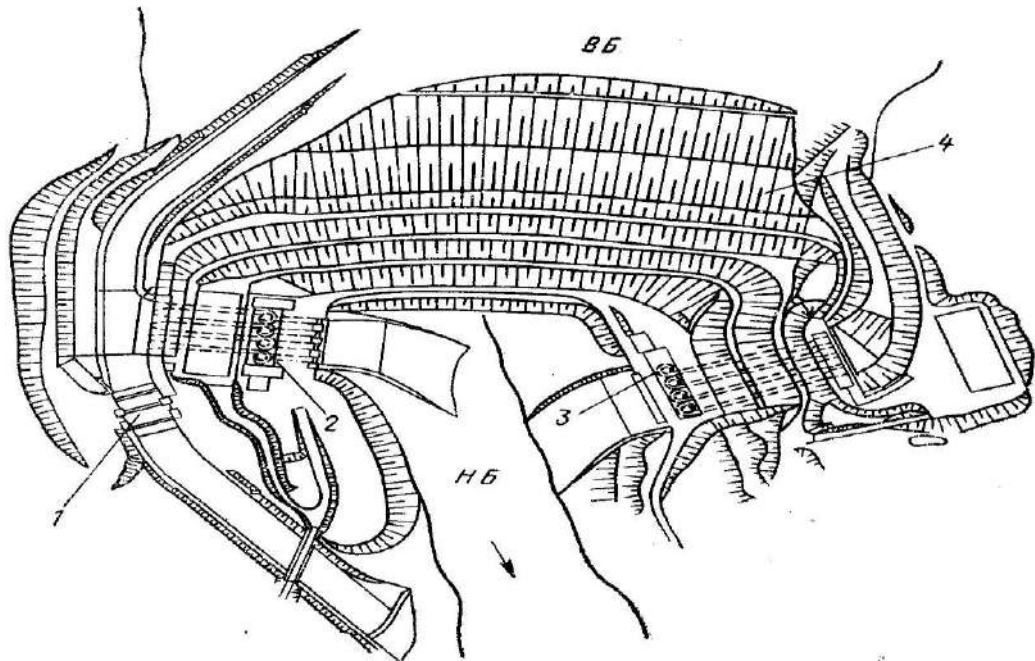


Рис. 5.17. Компоновка высоконапорного Вилюйского гидроузла на р. Вилюй, $H_{пл} = 68 \text{ м}$: 1 - водосброс; 2 - полуподземное здание ГЭС; 3 - приплотинное здание ГЭС; 4 - каменно-набросная плотина

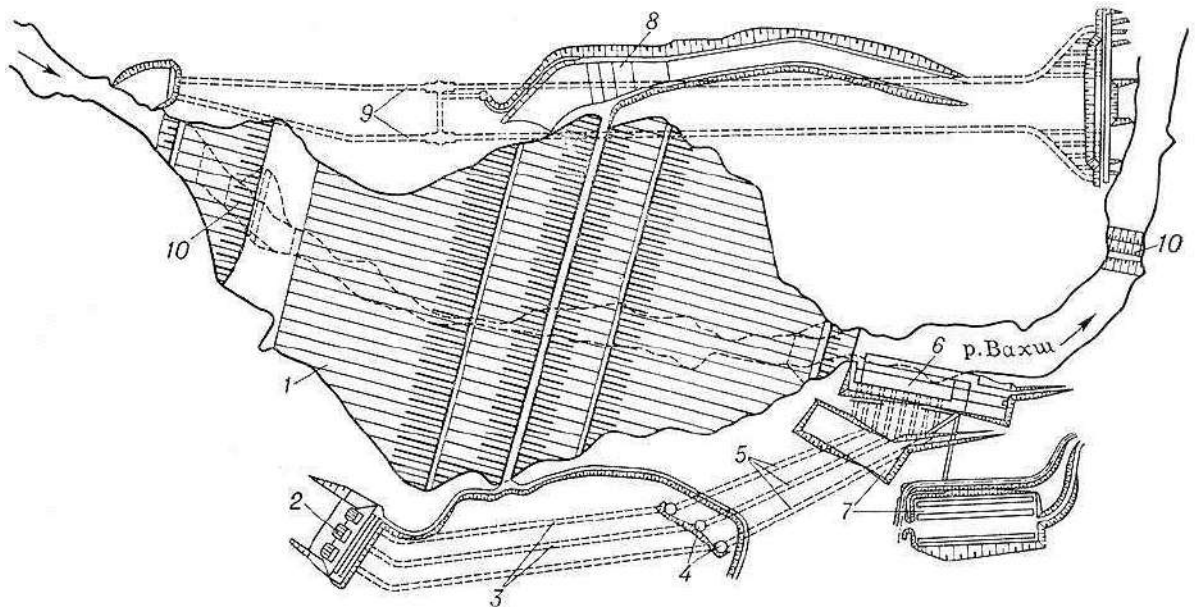


Рис. 5.18. Схема гидроузла Нурекской ГЭС на р. Вахш: 1 - плотина; 2 - водоприемник ГЭС; 3 - напорные водоподводящие туннели; 4 - уравнильные резервуары; 5 - турбинные водопроводы; 6 - здание ГЭС; 7 - открытое распределительное устройство; 8 - открытый водосброс с отводящим каналом; 9 - строительные туннели; 10 - верховая и низовая перемычки

В непосредственной близости от бетонных, каменно-набросных или каменно-земляных плотин, создающих напор, со стороны НБ располагают здания ГЭС приплотинного типа. Из водоприемников, расположенных в ВБ, вода к зданию ГЭС подается относительно короткими напорными водоводами, проложенными в галереях, расположенных в теле плотины, или по низовой грани плотины, или в береговых склонах. При наличии в гидроузлах высоких бетонных плотин целесообразно максимально использовать их для пропуска строительных и эксплуатационных расходов, для подвода воды к агрегатам ГЭС, а также для попусков воды, требуемых в нижнем течении реки по условиям санитарии, судоходства, лесосплава, водоснабжения, ирригации и других объектов водохозяйственного комплекса. На полноводных реках высоконапорные гидроузлы чаще всего сооружают в две очереди под защитой перемычек, что позволяет пропускать расходы реки в период строительства в обход котлована.

6. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

6.1. Лабораторные исследования в гидротехническом строительстве

Для получения представления о явлениях и величинах параметров процессов, происходящих на реальных ГТС в натуральных условиях, часто единственным решением является изучение работы ГТС на модели. При моделировании, особенно уникальных водных объектов (II или I классов), либо крупных комплексных гидроузлов, результаты модельных исследований должны как можно ближе воссоздавать натурные явления и давать необходимую информацию с максимальной точностью. Даже в относительно простых случаях, например, при проектировании открытых водосбросов при низконапорных грунтовых плотинах иногда трудно предсказать детальную картину течения, особенно в пространственных условиях, без проведения экспериментальных лабораторных исследований. Это актуально для обнаружения и оценки таких неблагоприятных для эксплуатации сооружений явлений как сбой потока, отгон гидравлического прыжка в НБ за выходным оголовком водопропускного сооружения, подмыв или размыв отводящего участка за ним и т.п. В задачи моделирования ГТС входит как разработка путей исключения подобных негативных явлений, так и предотвращения вредного воздействия ГТС на прилегающую территорию и окружающую среду. Наиболее широко методы моделирования используются при гидравлических исследованиях открытых водосбросных сооружений на специально оборудованных лотках (рис. 6.1) или пространственных моделях, поскольку теоретические решения задач гидромеханики при оценке работы таких ГТС выполнить довольно сложно [3, 23]. На основании данных *лабораторного проектирования* можно найти оптимальные размеры ГТС, выбрать более экономичный и надёжный вариант либо создать новое решение элементов ГТС, исключить грубые расчётные ошибки и оценить

целесообразность внесения конструктивных изменений, которые не всегда могут быть учтены при теоретических расчётах.

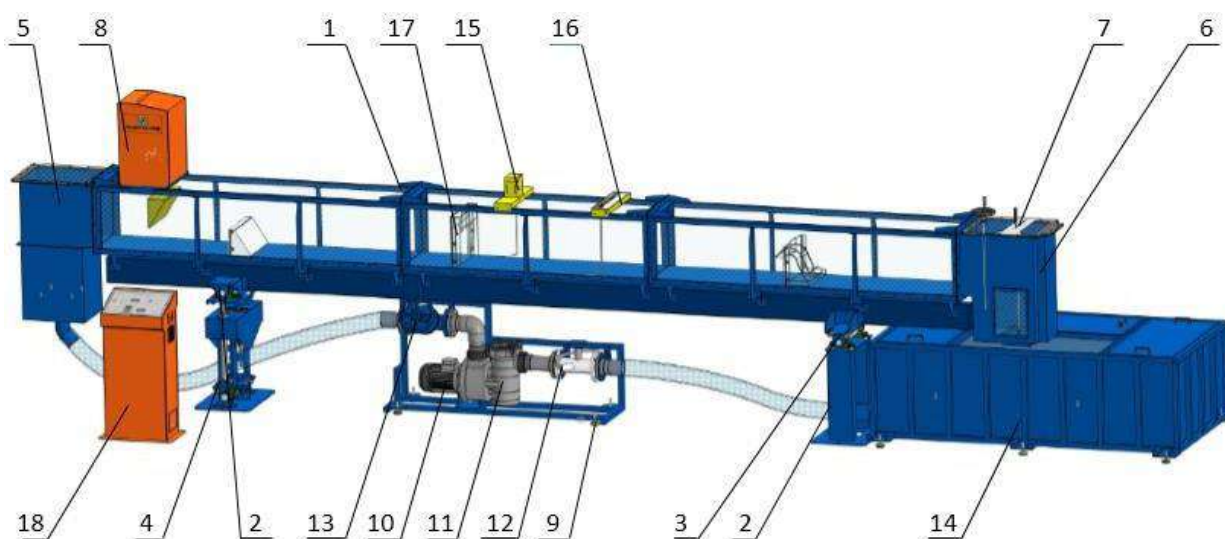


Рис. 6.1. Модель комплекта учебного оборудования «Лоток гидравлический» ЭЛБ – 030.002.03, установленного в лаборатории кафедры гидротехнических сооружений, 2023 г.: 1 – лоток; 2 – стойка; 3 – шарнирное соединение; 4 – винтовой домкрат с электроприводом; 5 – напорный бак; 6 – сливной бак; 7 – запорный механизм; 8 – механизм генерации волн; 9 – рама; 10 – насосный агрегат; 11 – фильтр грубой очистки; 12 – ультразвуковой датчик расхода; 13 – регулировочный вентиль; 14 – технологический бак; 15 – подвижная каретка с тензометрическим датчиком; 16 – подвижная каретка с трубкой Пито; 17 - винтовые устройства; 18 – блок управления

6.2. Основы автоматического проектирования в гидротехнике

Система автоматизированного проектирования (САПР) - это автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно - техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности. В настоящее время, общеупотребительным является понимание САПР как, прикладного программного средства для осуществления проектной деятельности.

Основная цель создания САПР - повышение эффективности труда инженеров, включая:

- сокращения трудоёмкости проектирования и планирования;
- сокращения сроков проектирования;
- сокращения себестоимости проектирования и изготовления, уменьшение затрат на эксплуатацию;
- повышения качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;
- сокращения затрат на натурное моделирование и испытания.

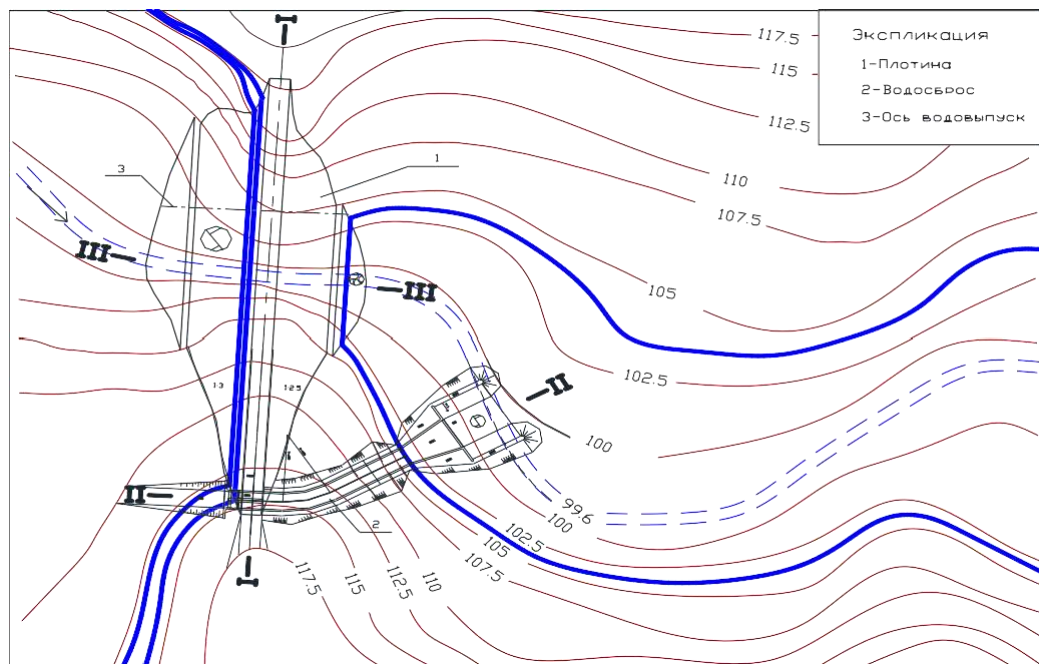
Достижение целей создания САПР обеспечивается путем:

- автоматизации оформления документации;
- информационной поддержки и автоматизации принятия решений;
- использования технологий параллельного проектирования;
- унификации проектных решений и процессов проектирования;
- повторного использования проектных решений, данных и наработок;
- стратегического проектирования;
- замены натуральных испытаний и макетирования математическим моделированием;
- повышения качества управления проектированием;
- применения методов вариантного проектирования и оптимизации.

Классификация САПР по целевому назначению. По целевому назначению различают САПР или подсистемы САПР, которые обеспечивают различные аспекты проектирования.

- CAD - средства автоматизированного проектирования, в контексте указанной классификации термин обозначает средства САПР, предназначенные для автоматизации двумерного или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской (строительной) и/или технологической документации, САПР общего назначения (рис. 6.2).

Генплан гидроузла М 1:2000



Экспликация
 1-Плотина
 2-Водосбор
 3-Ось водовыпуск

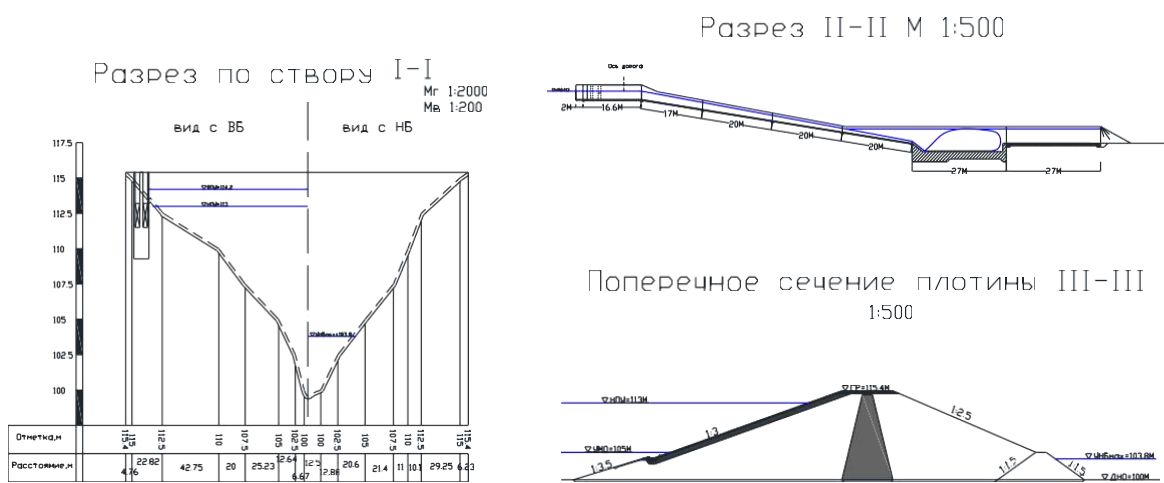


Рис. 6.2. Пример использования САД в учебном процессе в ФГОУ

ВПО МГУП: курсовой проект студента Нань Фэн

- САЕ - средства автоматизации инженерных расчётов, анализа и симуляции (моделирования) физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий.

- САМ - средства технологической подготовки производства изделий, обеспечивают автоматизацию программирования и управления оборудования с числовым программным управлением.

- CAPP - средства автоматизации планирования технологических процессов применяемые на стыке систем CAD и CAM.

Многие системы автоматизированного проектирования совмещают в себе решение задач, относящихся к различным аспектам проектирования CAD/CAM, CAD/CAE, CAD/CAE/CAM. Такие системы называют *комплексными или интегрированными*. С помощью CAD создаются в основном рабочие чертежи ГТС и их элементов. Для обоснования принятых решений используются различные расчётные программы [28].

6.3. Научное сопровождение проектов в гидротехническом строительстве

Под научным сопровождением проектов понимается проведение исследований и специальных расчетов с целью определения, уточнения или обоснования гидрологических параметров, размеров и компоновки сооружений, учета особенностей протекания потока и других факторов, влияющих на принятие проектных решений. К научному сопровождению необходимо прибегать при проектировании гидроузлов на крупных реках или если сооружения будут эксплуатироваться в сложных климатических, ситуационных и прочих условиях, которые трудно учитывать с помощью известных формул, используемых при проектировании. Результаты исследований позволяют проектировщикам более обоснованно принимать те или иные технические решения.

Научное сопровождение проводится обычно на стадии ТЭО (техико-экономического обоснования) или проекта. Работа выполняется специализированными организациями, у которых есть лаборатория, измерительная аппаратура, вычислительная техника и кадры, которые имеют соответствующую квалификацию. Работы проводятся в 3 этапа:

- сбор данных и подготовка к работе «объекта» для изучения явлений (например, гидравлично-гидрологических). Под «объектом» понимается физическая или математическая модель сооружения, процесса или явления;

- производство расчетов или экспериментов;

- анализ результатов исследований и составление научно-технического отчета с рекомендациями для проектировщика.

Данный вид работ обычно занимает от 4 до 12 месяцев.

Основным методом исследований задач при проектировании является моделирование гидравлических и других явлений и перенос полученных данных в натурные условия. Моделирование подразделяют на физическое и математическое.

Физическое моделирование. Физическая модель представляет собой лабораторную установку (гидравлический лоток, русловую площадку, воздушно-напорную установку и др.), на которой могут быть воспроизведены в уменьшенном масштабе исследуемые процессы, протекающие в натуре (рис. 6.3 - 6.5).



Рис. 6.3. Гидравлический лоток для исследования работы водослива практического профиля в лаборатории кафедры гидравлики ИМВХС имени А.Н. Костякова



Рис. 6.4. Исследование размыва скального грунта за водосбросом на модели водосброса № 2 Богучанского гидроузла в лаборатории кафедры гидротехнических сооружений ИМВХС имени А.Н. Костякова



Рис. 6.5. Модель быстроготока с искусственной шероховатостью в лаборатории кафедры гидротехнических сооружений ФГОУ ВО ИМВХС имени А.Н. Костякова

Физическое моделирование основывается на теории подобия. При моделировании гидравлических явлений стремятся обеспечить механическое подобие, включающее: геометрическое, кинематическое и динамическое подобие.

Механическое подобие изучаемых гидравлических явлений у сооружений для потоков природы и модели обеспечивается при геометрическом подобии и равенстве (*idem*) чисел Фруда Fr и приведенного коэффициента гидравлического трения λ_p .

Математическое моделирование. Математической моделью называется математическое описание (с помощью формул дифференциальных и интегральных уравнений и т.п.) изучаемого явления.

С развитием вычислительной техники все большее внимание уделяется математическим моделям, на которых реализуются заданные системы уравнений с помощью последовательного выполнения математических операций.

Сравнительный анализ возможностей применения физического и математического моделирования показывает, что каждый из видов моделирования имеет свои достоинства и недостатки. Результаты, полученные на физических моделях, обычно справедливы в относительно небольшом диапазоне изменения физических условий. Основная трудность при проведении физического моделирования связана с удовлетворением критериев подобия и пересчете опытных данных в натуру.

Математическое моделирование выгодно отличается от физического полным отсутствием масштабного эффекта, а также возможностью изменять значения определяющих параметров задачи в широких пределах. Однако следует помнить, что любая математическая модель является лишь той или иной степенью приближения к описанию реальных физических процессов и не может учесть влияния всех факторов. При математическом моделировании можно проанализировать влияние одного выбранного параметра, что при физическом моделировании иногда затруднено или невозможно.

Практика показывает, что наиболее полные и достоверные результаты можно получить сочетанием физического и математического моделирования, когда один и тот же объект моделируется обоими способами целиком или фрагментарно.

Математическое моделирование представляет собой относительно новое направление научных исследований, которое развивается в последние десятилетия, что связано с развитием компьютерной техники.

Под математическим моделированием обычно понимается изучения явлений при помощи расчетов с применением быстродействующих компьютеров на основе численного решения уравнений, которые являются математической моделью процесса.

При математическом моделировании гидравлических явлений чаще всего используются системы уравнений движения жидкости, уравнение неразрывности. Кроме того, используются дополнительные формулы и уравнения, которые описывают изучаемое явление (пример: для русловых деформаций - формулы расхода наносов, уравнения баланса наносов и т.п.). Для решения систем уравнений численным методом широко используются методы конечных разностей, конечных элементов или объемов.

Принципы математического моделирования во многом сходны с принципами физического моделирования. На первом этапе необходимо построение численной модели, которая включает в себе систему уравнений и граничных условий, алгоритм и реализующую его программу на компьютере. На втором этапе производят калибровку модели, т.е. если калибровка прошла успешно, то приступают к основным расчетам.

При выборе программы расчета для математического моделирования обращают внимание на:

- точность решения системы использованных уравнений, которая определяется тестами, имеющими аналитическое решение;
- совпадение вычислительных результатов с измеренными в натуре;
- то, что решение должно быть устойчивым;

- простоту реализации.

Недостатки:

- при математическом моделировании нельзя учесть все природные процессы;

- процесс дискретизации превращает непрерывную модель в дискретную и при этом могут произойти искажения параметров.

Численное моделирование неустановившегося движения воды в русле реки или в канале. Движение воды в русле водотока (реки, канала, ручья) называется течением. Этот природный процесс в русле реки происходит неравномерно. На горных и предгорных участках реки наблюдаются бурные потоки, которые вызваны большими уклонами, порожистым каменистым дном (рис. 6.6). При выходе на равнинный участок поток постепенно успокаивается. Крупнообломочные грунты сменяются на пески. Русло начинает изгибаться в плане (меандрировать), появляются острова, наблюдаются вихревые (сбойные) течения.

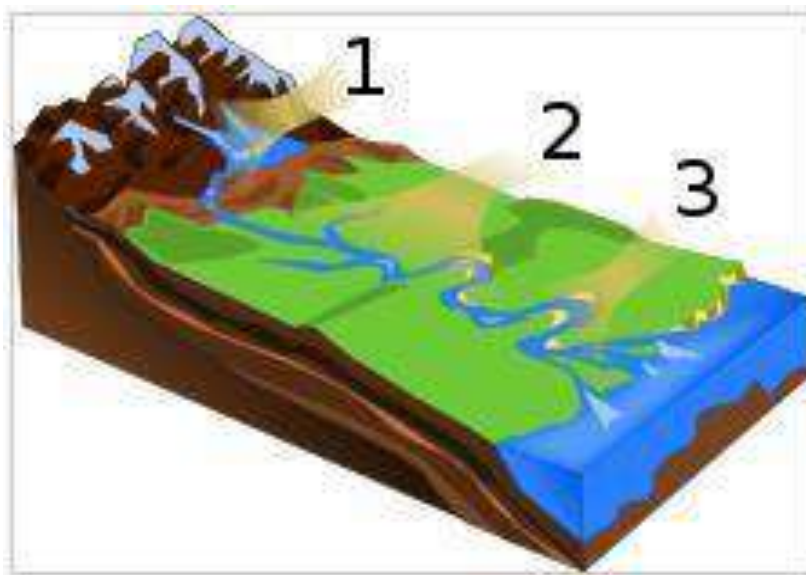


Рис. 6.6. Основные участки рек: 1 - верхнее течение - горный и предгорный участок реки; 2 - среднее течение - равнинный участок (река меандрирует);
3 - нижнее течение - выход к морю

По мере приближения к морю скорости воды в водотоке замедляются. По форме русла на этом участке извилистые с широкой поймой, в которой расположено большое количество проток и ответвлений. Пойменные протоки

в межень функционируют как отдельные русла, а в половодье, когда уровень воды в реке повышается, сливаются с основным руслом в едином потоке. Моделирование таких сложных явлений численным методом имеет свои особенности. Сложность выбранной модели определяется поставленной практической задачей.

Далее приведен пример моделирования одномерного неустановившегося движения воды (течения в направлении русла со средней по сечению скоростью) при помощи программы MIKE 11, созданной Датским гидравлическим институтом. В основе программы заложена система одномерных уравнений Сен-Венана. На рис. 6.7 - 6.9 представлена схема модели речной сети и некоторые результаты расчета.

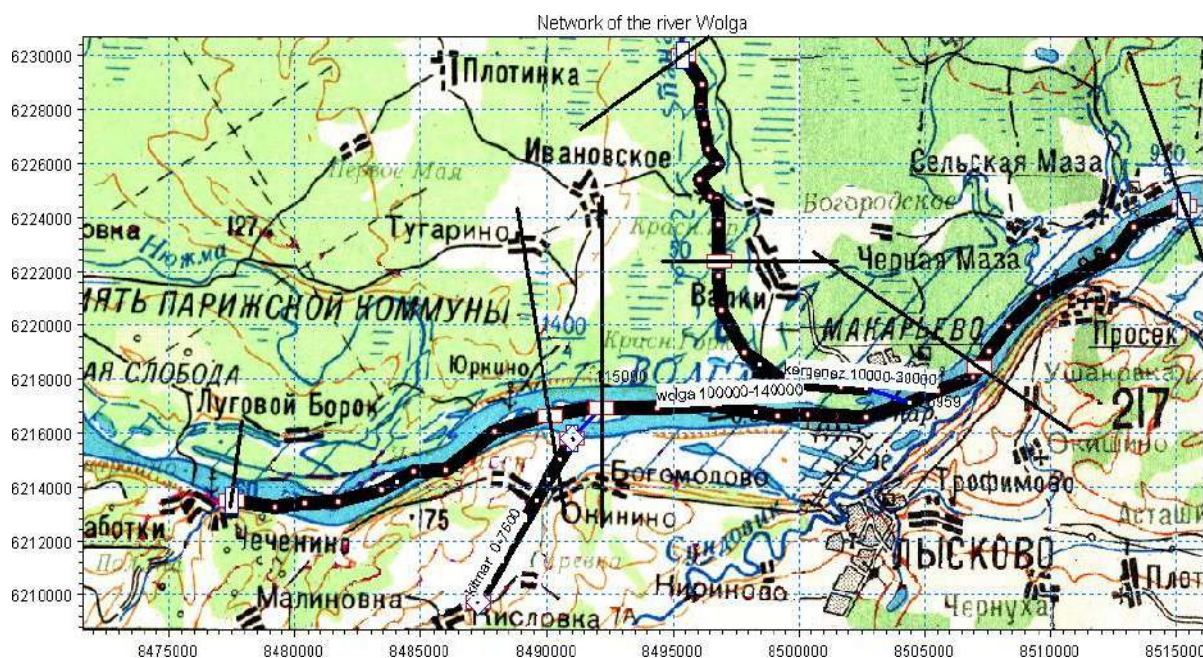


Рис. 6.7. Схема модели речной сети: главное русло - участок реки Волги, приток - река Керженец и оросительный канал

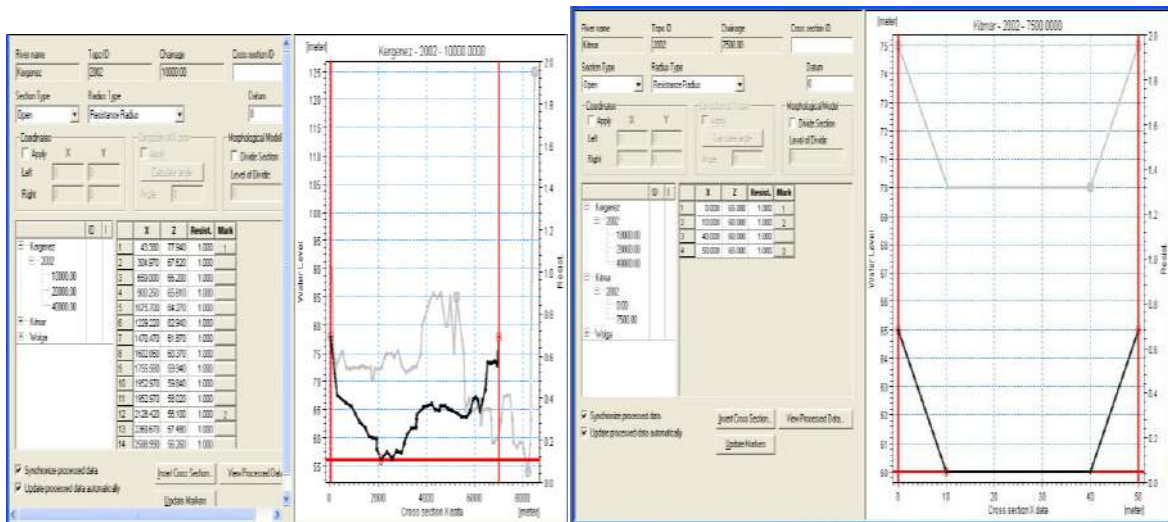


Рис. 6.8. Представление в программе MIKE 11 поперечных сечений естественного (слева) и искусственного водотока (справа)

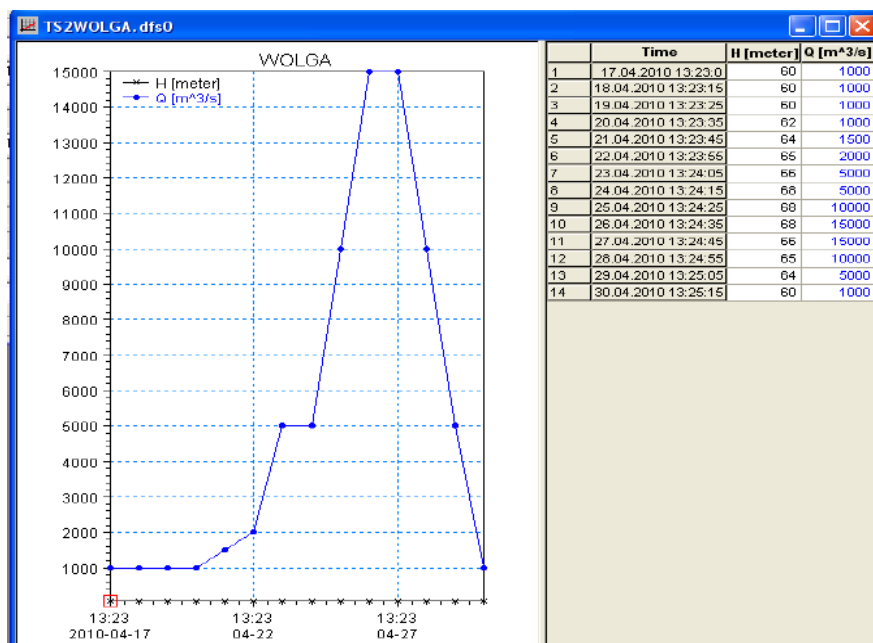


Рис. 6.9. Гидрологические параметры на границе модели - график изменения расхода воды (синяя линия) во времени на входе и уровней на выходе (черная линия) модели

Другим примером компьютерного моделирования неустановившегося движения потока по руслам рек является моделирование с помощью программного комплекса «FLOOD», разработанного в лаборатории численного моделирования НИИЭС (научно-исследовательский институт энергетических сооружений). Здесь решается двумерная задача движения

потока по руслам. Двумерное течение определяется как течение, не имеющее какого-либо преимущественного направления.

Для примера была выбрана модель прорыва Новоцинской плотины, которая входит в состав Вышневолоцкой водной системы. Вышневолоцкая водная система - это водный путь в России, в районе города Вышнего Волочка, наиболее старая искусственная водная система в России. Связывает реку Тверцу, приток Волги, с Балтийским морем. Целью строительства системы было снабжение Санкт-Петербурга продовольствием и другими товарами, поставляемыми из центральной России (рис. 6.10). Строительство системы каналов и водоподпорных сооружений позволило превратить г. Москва в порт пяти морей. Строительство системы началось во времена Петра Первого и получило свое активное развитие во время правления Екатерины Второй.



Рис. 6.10. Старотверецкий канал, построенный в 18 веке, соединил р. Волгу с Балтийским морем

При проведении расчета прорыва плотины для его детализации была построена комбинированная расчетная сетка, показанная на рис. 6.11 (прямоугольная и треугольная). Прямоугольной сеткой было выполнено покрытие насыпи дорог, гидротехнических сооружений, каналов и русел, т.к. такая конфигурация сетки точно обрисовывает прямолинейные сооружения и объекты. Треугольной сеткой были покрыты остальные участки поверхности

модели. В качестве граничных условий моделирования были использованы параметры раскрытия прорана по А.М. Прудовскому.

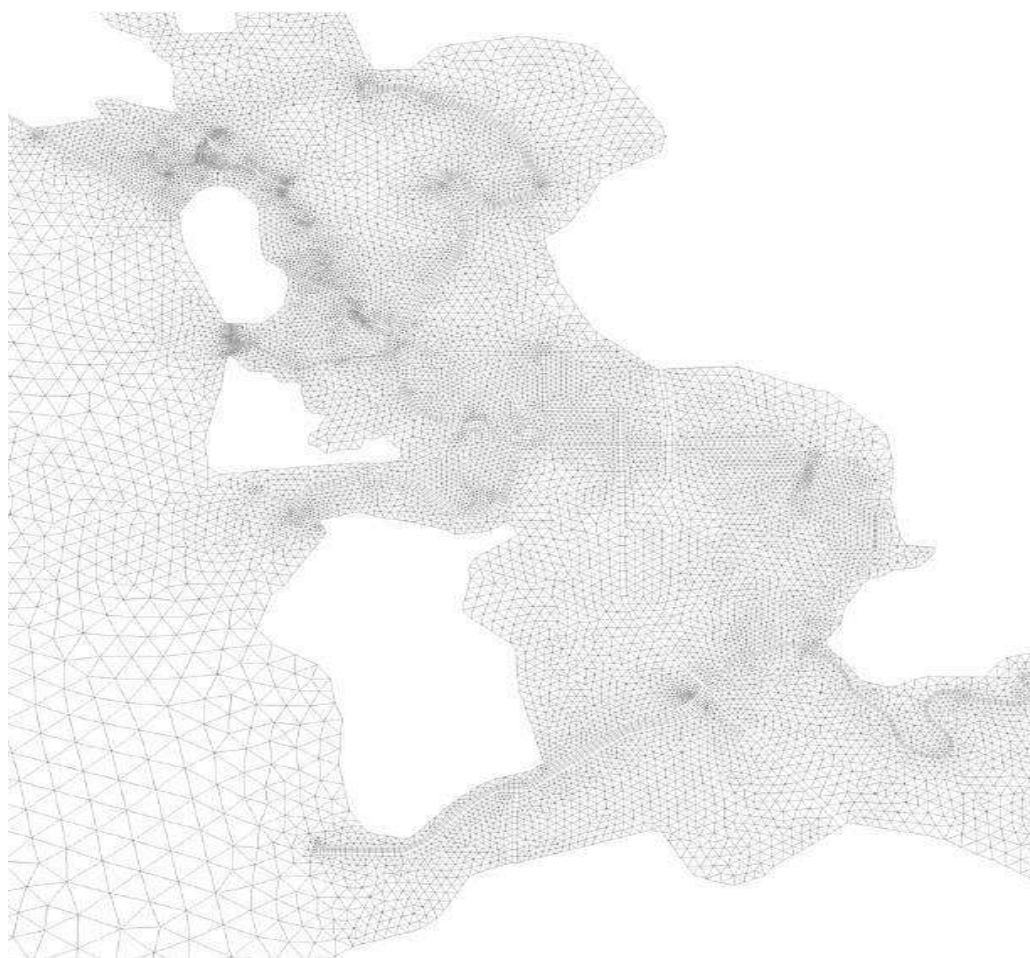


Рис. 6.11. Расчетная комбинированная сетка модели для расчета прорыва гидротехнических сооружений Вышневолоцкой водной системы

На рис. 6.12 представлены результаты расчета параметров волны прорыва (уровней и глубин затопления, скоростей течения), которые могут возникнуть при возможной аварии на грунтовой Новоцнинской плотине. Такие задачи (определение зон затопления и оценка ущерба при разрушении сооружений) в настоящее время очень актуальны, так как последствия этих событий наносят большой вред людям, сооружениям и окружающей среде.

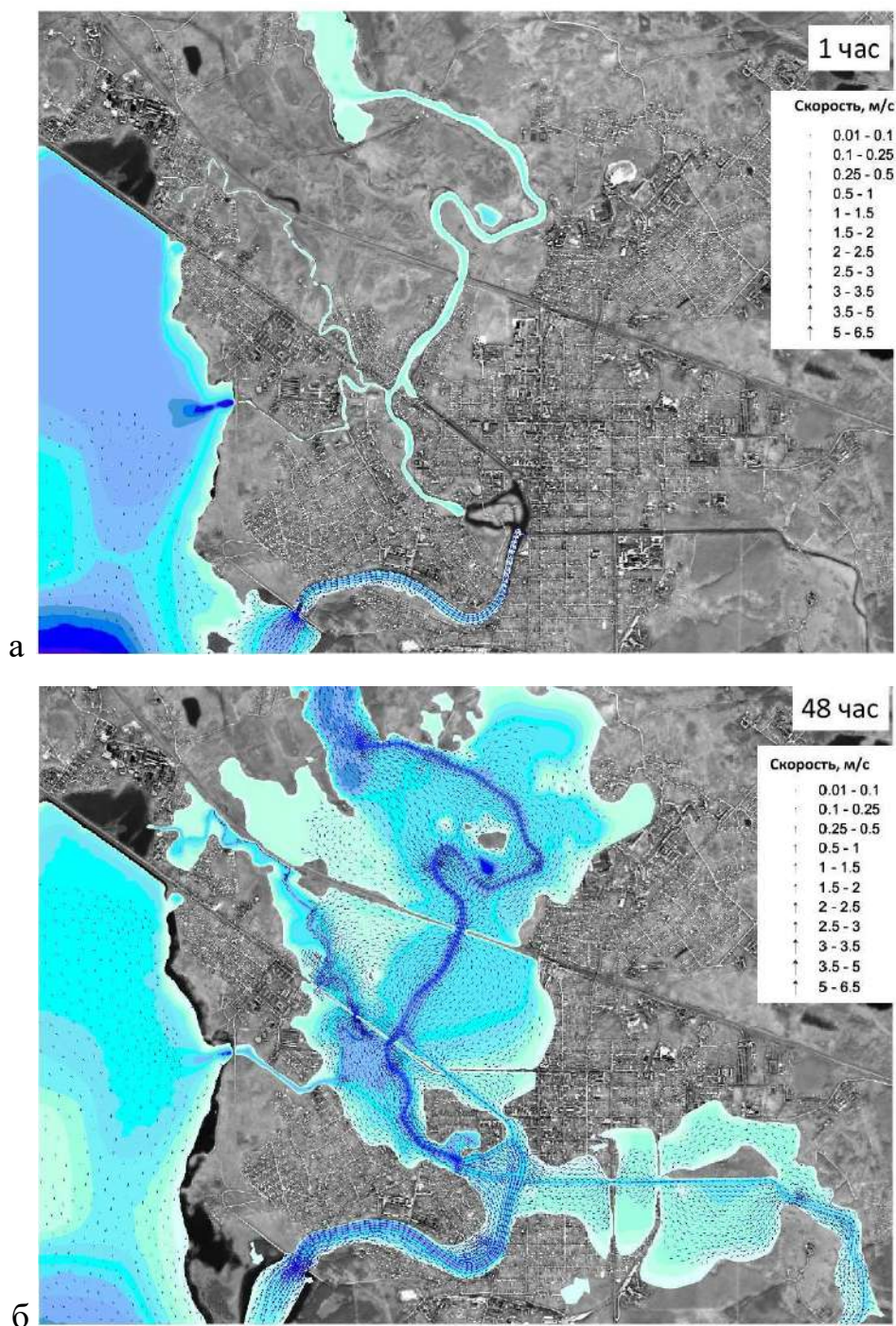


Рис. 6.12. Динамика затопления г. **Вышний Волочек** после прорыва: а - зона затопления через 1 час после аварии; б - зона затопления через 48 часов после аварии

Численное моделирование фильтрационного потока через гидротехнические сооружения. Фильтрационный поток в районе сооружений протекает в трех направлениях, т.е. имеет место трехмерное течение. Задачами фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений является прогноз фильтрации в грунтовых плотинах и их основаниях, а также в основаниях бетонных водоподпорных сооружений и обход их [28].

Ниже приведен пример моделирования на программе SUTRA (Геологическая служба США) (рис. 6.13). Данную программу можно использовать для решения различных задач в области гидротехники: получение картины фильтрации в поперечном сечении грунтовой плотины; получение решения плановых задач и обходной фильтрации; решение задач напорной фильтрации; моделирование фильтрации из каналов; моделирование подтопления земель при создании водохранилищ; исследование влияния различных противофильтрационных устройств на изменение направления фильтрационного потока; моделирование нестационарных потоков, например, распространение загрязняющих веществ во времени.

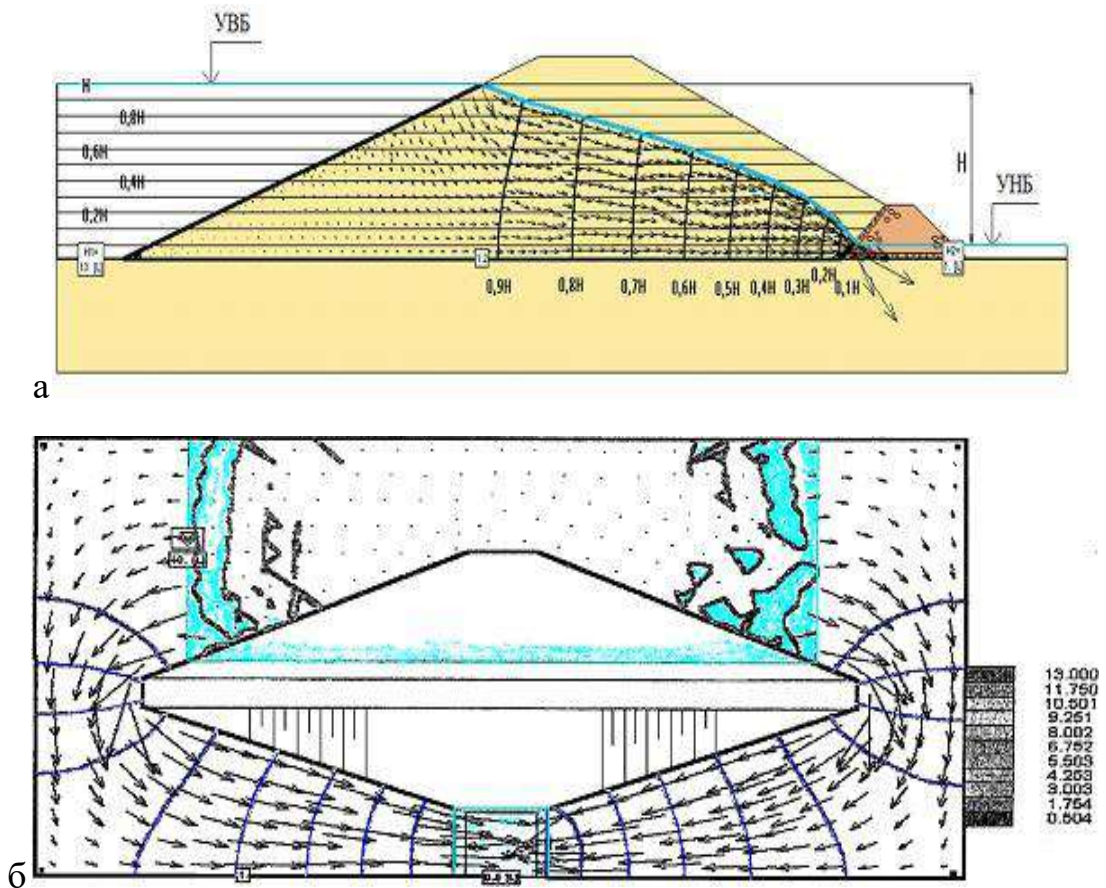


Рис. 6.13. Результаты расчета фильтрации в гидротехнических сооружениях (грунтовая плотина) с помощью программы SUTRA: а - линии равного напора, кривая депрессии и векторы скоростей фильтрационного потока в однородной грунтовой плотине с дренажем; б - плановая картина фильтрации в обход плотины (тело плотины считается водонепроницаемым) с показом линий равного напора

Для решения задач фильтрации в ней используется метод конечных элементов, основанный на решении уравнений движения жидкости в пористой среде (грунте). Идея метода конечных элементов заключается в том, что область фильтрации разбивается на конечное число элементов и расчет проводится для каждого из них. Полученные результаты (рис. 6.13) достаточно точно совпадают с результатами, полученными известными в России приближенными методами. Так как результаты, полученные с помощью программы SUTRA близки по значению к результатам расчета по гидравлическим методам, то в дальнейшем можно с помощью этой программы рассчитывать более сложные задачи, в частности получать решения для сложных плановых задач и обходной фильтрации через гидротехнические сооружения [28]. Аналогичные задачи могут быть решены с помощью программ VISUAL MODFLOW, PLAXIS, GEOSLOPE и других.

Использование численных методов для расчета прочности сооружений. В последнее время расчеты прочности и устойчивости бетонных плотин выполняются с помощью программных комплексов, использующих метод конечных элементов. К наиболее известным программам, которые разработаны во многих странах мира, относятся COSMOS/M (США), ANSYS (США), Z-Soil (США), MARC (США), ADINA (США), ЛИРА (Украина), РКРМ (Китай) и др. Одной из известных в России программ расчета является программный комплекс ЛИРА (рис. 6.14).

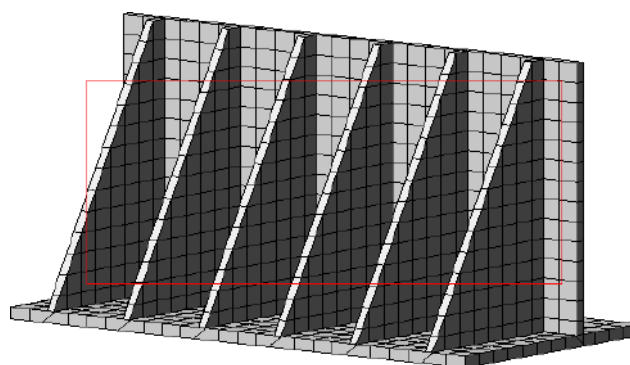


Рис. 6.14. Расчетная схема для расчета контрфорсной подпорной стенки (разработано магистрантом ФГОУ ВПО МГУП Нью Фудун под руководством

к.т.н., доц. Т.К. Ксенофоновой, 2011 г.)

Этот комплекс является современным инструментом для численного исследования прочности и устойчивости конструкций и их автоматизированного конструирования и основан на расчете конструкций по методу перемещений.

В Китае широкое распространение получил программный комплекс РКРМ. С его помощью было выполнено проектирование конструкций бассейна «Водный куб» в Пекине, КНР для проведения Олимпиады 2008 г (рис. 6.15). Это новаторский архитектурный эксперимент, воплотивший новейший экологический дизайн.

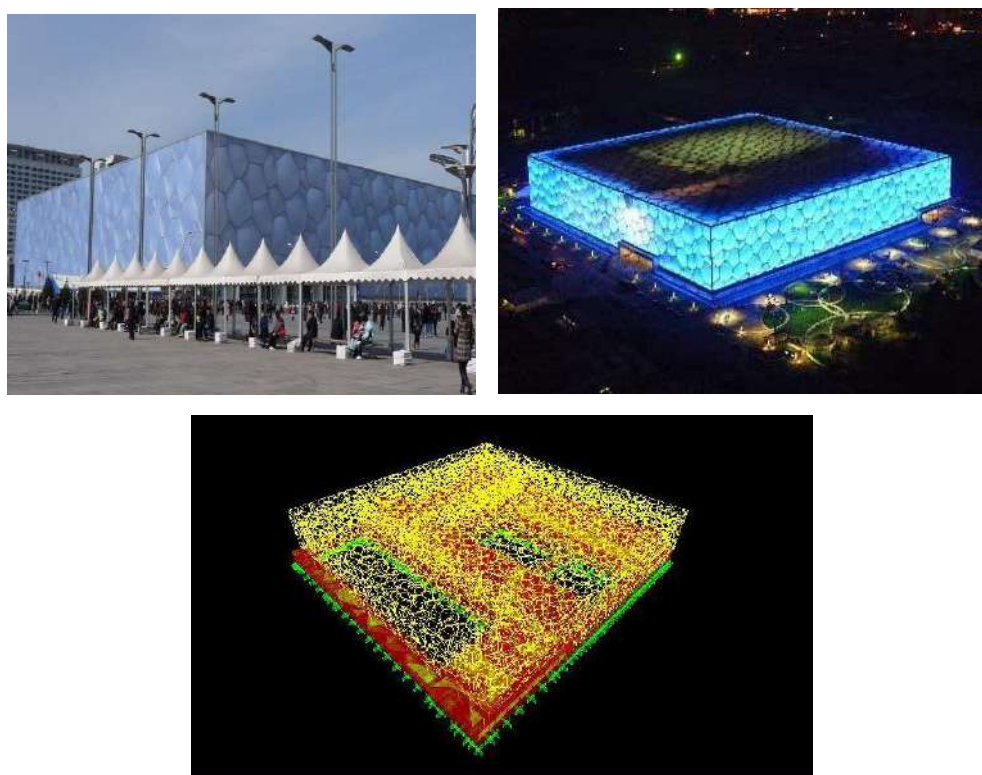


Рис. 6.15. Бассейн «Водный куб» в Пекине, КНР

На рис. 6.16, 6.17 представлены результаты моделирования температурных напряжений в бетонной гравитационной плотине Нун Лин (провинция Юй Нань) методом конечных элементов. Расчет выполнялся с помощью программы FZFX3D, разработанной в университете «Три ущелья» (КНР). Область моделирования глухой часть плотины разбивалась на 17873 элементов, расчет проводился для 20958 точек.

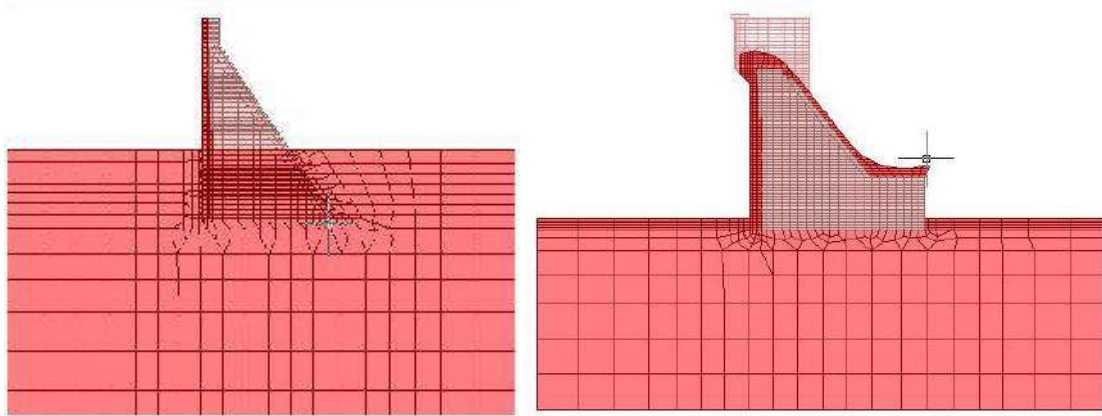


Рис. 6.16. Разбивка глухой и водосборной частей плотины Нун Лин на конечные элементы

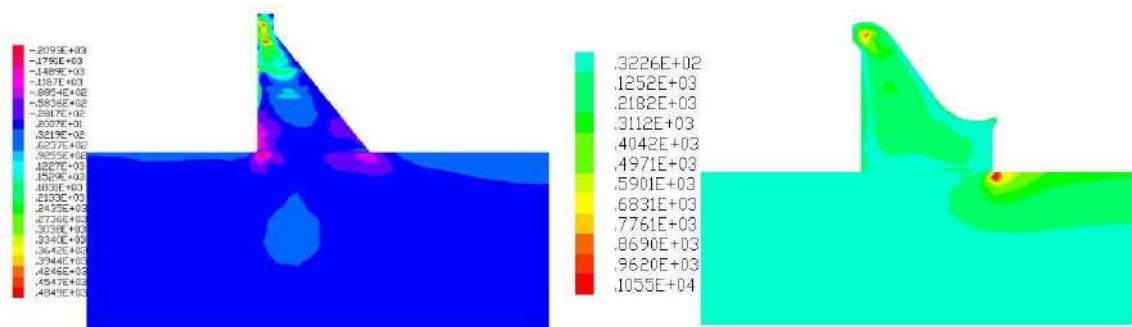


Рис. 6.17. Результаты расчета температурных напряжений в глухой и водосборной частях плотины Нун Лин

В настоящее время за счёт технологии BIM-проектирования (BIM - Building Information Model) создаются условия для цифровизации процесса строительства, организации быстрого и качественного процесса проектирования и эксплуатации ГТС [28]. Эта технология позволяет собирать и обрабатывать данные по всем основным характеристикам гидротехнического объекта в едином информационном поле. Например, современные цифровые (численные) методы успешно используют математические алгоритмы для оптимизации и решения уравнений фильтрации плотин и их оснований разной модификации.

7. Водохранилища

Водохранилища – это созданные и управляемые человеком искусственные водоёмы, образованные после строительства плотины, которые служат для аккумуляции, хранения и регулирования стока., представляющие сообщества живых организмов и неживой природы. Примерами *естественных экосистем* могут служить озеро, река, лес, вся биосфера Земли. Такими **искусственными экосистемами** являются: аквариум, пруд, теплица, сельскохозяйственное поле, водохранилище. Основной признак экосистемы – замкнутый круговорот веществ и энергии.

Водохранилища являются неотъемлемой частью ландшафта большинства стран мира, их национальным богатством. Они сопоставимы с крупнейшими озёрами планеты. Водохранилища помогают решить целый ряд важнейших народнохозяйственных проблем, например, гидроэлектростанции (ГЭС), построенные на водохранилищах, вырабатывают электроэнергию, необходимую для развития промышленности и сельского хозяйства любой страны. Водохранилища позволяют орошать землю в засушливое время, снабжать водой людей и предприятия, способствуют разведению рыбы, созданию зон отдыха, защите от наводнений и поддержке судоходства на реках.

Вместе с тем водохранилища оказывают и отрицательное воздействие на природу и речные долины (рис. 7.1).

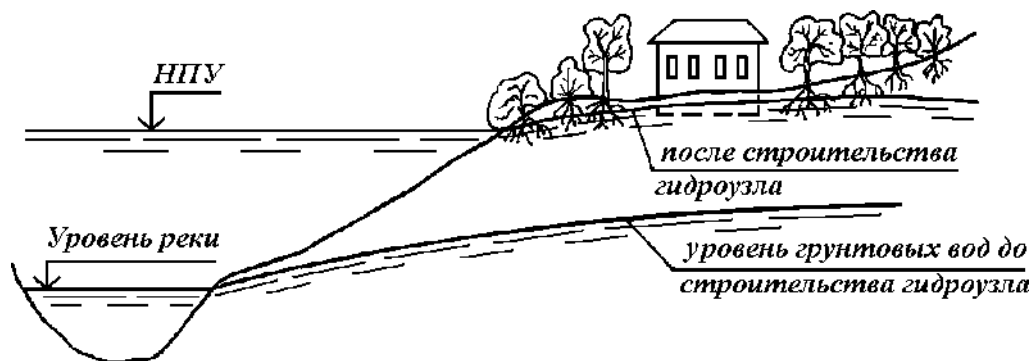


Рис. 7.1. Схема затопления и подтопления территорий при создании водохранилища

Из-за создания водохранилищ происходит *затопление* земель, большие территории, в том числе сельскохозяйственные земли, деревни, природные комплексы оказываются под водой. В результате строительства водохранилищ происходит и *подтопление* земель, которое сопровождается поднятием уровня грунтовых вод, что приводит к нарушению природных условий побережья: образуются болота, разрушаются фундаменты зданий, уменьшается плодородие почв.

Волны в водохранилищах *размывают берега и изменяют ландшафт* местности (рис. 7.2). Как результат создания водохранилищ происходит затопление пойменных лугов, что уменьшает урожайность пойм.



Рис. 7.2. Размыв берега волнами (абразия прибрежных склонов)

Кроме того, при создании на реке водохранилища происходит *уменьшение расхода в реке* из-за забора воды в каналы. В результате всё отмеченное выше приводит к тому, что людям нередко приходится переселяться в новые места, покидая родные дома. Есть и другие аспекты влияния водохранилищ, которые трудно оценить однозначно положительно или отрицательно – всё зависит от местоположения гидроузла и конкретных условий региона. Например, водохранилища способствуют изменению климата вблизи гидроузла: он становится менее резким, ход температур становится более плавным, влажность воздуха увеличивается, усиливается скорость ветра. Наблюдаются также изменения со стороны качества воды: она, с одной стороны, самоочищается и разбавляется, но, с другой – загрязняется за счёт стоков. В то же время часто наблюдается появление в регионе новых ценных видов животных, птиц, рыбы – это значит, что флора и фауна района становятся более богатыми и разнообразными.

Влияние водохранилищ на окружающую среду весьма существенно, однако не всегда положительно. Причинами многих отрицательных последствий строительства водохранилищ являются *ошибки в проектировании и эксплуатации ГТС*. Эти ошибки можно и нужно изучать, сводя к минимуму, используя современные технологии. Поскольку потребности в пресной воде растут во всём мире, строительство водохранилищ будет продолжаться, ибо у человечества нет иного способа увеличить запасы пресной воды, кроме строительства гидроузлов. Нельзя забывать, что водохранилища – это верный способ решения энергетической проблемы человечества. Поэтому влияние водохранилищ на окружающую среду нужно оценивать в связи с общей проблемой поисков альтернативных источников энергии, расходования природных энергоресурсов и метода борьбы с наводнениями.

Для защиты объектов и территории от неблагоприятных воздействий водохранилищ проектируют специальный комплекс гидротехнических мероприятий, называемых **инженерная защита**. Одним из наиболее распространённых инженерных мероприятий является **обвалование территории дамбами**. Это инженерное мероприятие проводится, если есть необходимость защиты ценных земель от затопления водохранилищем или для ликвидации мелководий, в которых вода прогревается солнцем и может происходить её цветение, то есть вода портится. Дамбы применяются также для отвоевания у моря прибрежных территорий, для создания полей, для защиты пойм рек от наводнений (от затопления) (рис. 7.3). **Дамба обвалования** в конструктивном отношении чаще всего представляет собой насыпь, аналогичную грунтовой плотине относительно небольшой высоты [28]. Наиболее экономичной является дамба с уположенным откосом без крепления.

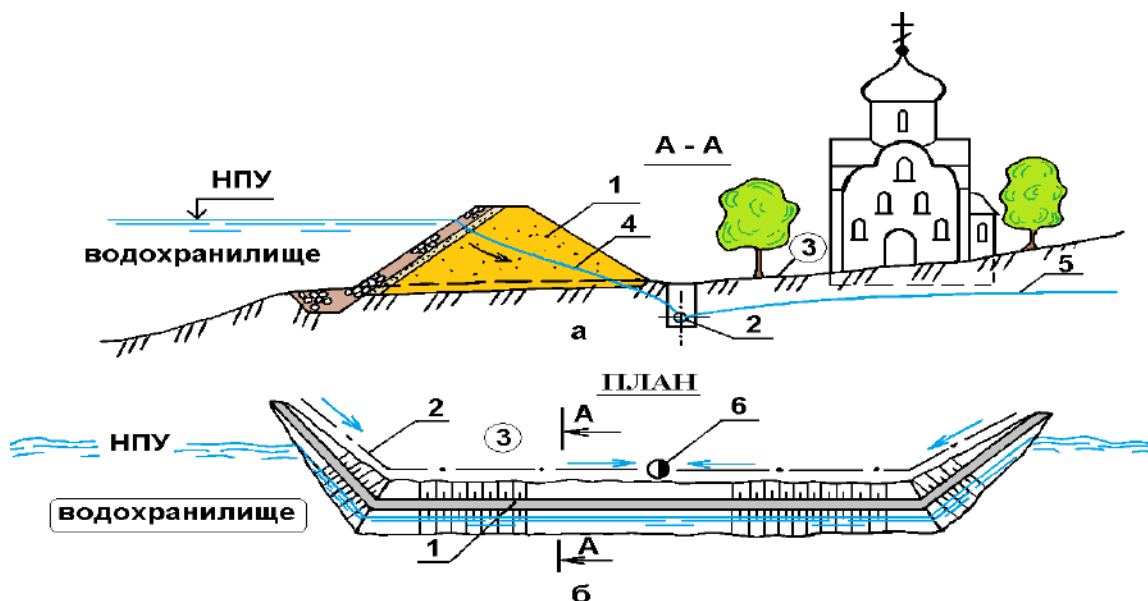


Рис. 7.3. Дамба обвалования, защищающая ценные территории: а — поперечный разрез А-А по дамбе; б — план защищаемого участка; 1 — незатопляемая дамба обвалования; 2 — береговой дренаж; 3 — защищаемая территория; 4 — положение кривой депрессии в теле грунтовой плотины; 5 — положение уровня грунтовых вод на защищаемой территории; 6 — насосная станция

Другим важным инженерным мероприятием является устройство дренажной системы, или дренаж (рис. 7.4).

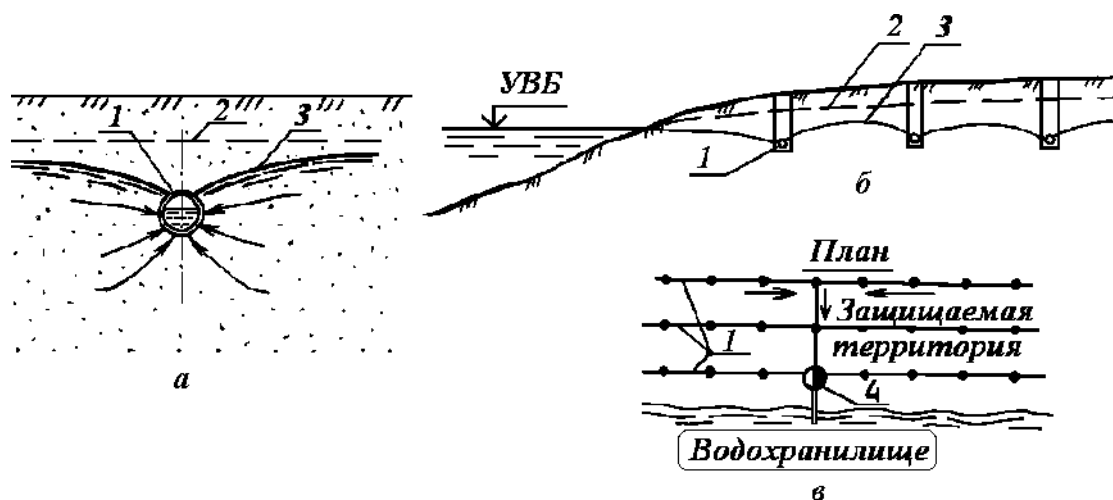


Рис. 7.4. Схема устройства дренажа для понижения уровня грунтовых вод: а — схема работы дренажа; б — расположение дренажа в разрезе; в — план участка берег; водохранилища; 1 — дренажная трубка; 2 — поверхность грунтовых вод до строительства дренажа; 3 — поверхность грунтовых вод после строительства дренажа; 4 — насосная станция для откачки дренажных вод

Слово дренаж в переводе с английского означает осушение. Это инженерное мероприятие проводится, если необходимо снизить уровень грунтовых вод, поскольку, когда грунтовые воды повышаются, они подтапливают территории. Это приводит к разрушению фундаментов зданий. Дренаж представляет собой проложенные на определённой глубине полые перфорированные трубы, куда собирается вода, которая затем отводится в более низкое место и оттуда откачивается насосной станцией в водохранилище.

Ещё одним важным инженерным мероприятием является **укрепление берегов водохранилищ** от разрушительного действия ветровых волн. Для этого применяют различные **берегозащитные** и **берегоукрепительные** сооружения: *береговые стенки и полотна* из камня, бетона (рис. 7.5) и металла; *береговые одежды* из камня (рис. 7.6), асфальтобетона, бетонных и железобетонных плит, синтетических материалов; *миксированные* (комбинированные) *биопозитивные* укрепления из разных материалов (рис. 7.7) [21, 22].

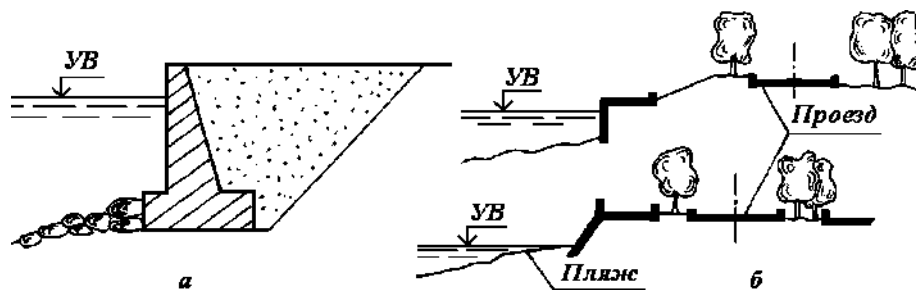


Рис. 7.5. Конструкции береговых стенок: а — пример береговой подпорной бетонной стенки; б — примеры профилей речной набережной

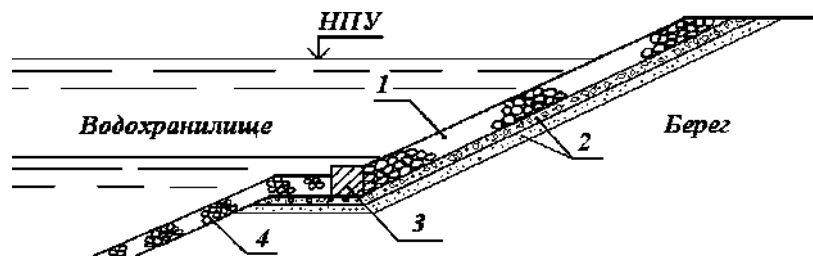


Рис. 7.6. Берегоукрепление из камня: 1 – основное крепление из каменной наброски; 2 – слои обратного фильтра; 3 – упор из железобетонного блока; 4 – облегчённое крепление из каменной отсыпки гравийно-галечниковой смеси

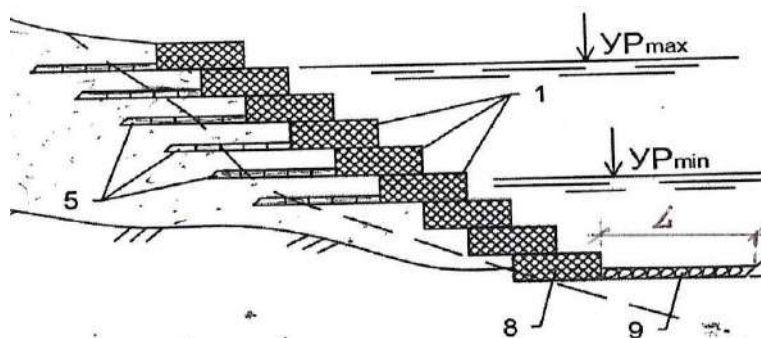


Рис. 7.7 Инновационная гибкая биопозитивная подпорная стенка арматурной конструкции для укрепления и обустройства водных объектов АПК: Ханов Н.В., Курбанов С.О., Черных О.Н, пат. 2801714:1–

многоступенчато уложенные габионные тюфяки; 2 – дренажные перфорированные трубы; 3 - геомат; 4 – габионная сетка; 5 - гибкие армирующие плиты; 6 - стеклопластиковая сетка; 7 - объемные георешётки; 8 - первый ряд габионных тюфяков; 9 – фартук

Кроме того, применяют и самое дешёвое защитное мероприятие - *биологическое крепление* - посадка влаголюбивой растительности (травяной смеси, кустарников, древесной растительности), например, ивы, которая устойчива против ветра и волн и растёт даже при значительном затоплении [22]. К данному виду мероприятий относятся и *искусственные пляжи* - пологие откосы, сделанные из отсыпки гравия и гальки. Среди новых *строительных технологий* можно выделить опыт Японии, где интенсивно развивается строительство на землях, отторгаемых от моря путём захоронения на них промышленных отходов – нетоксичных шлаков металлургических производств, и Нидерландов – с гибкой берегозащитной структурой «пляж-дюны» (рис. 7.8).



Рис. 7.8. Экологичные технологии «Строительство вместе с природой»: а – песчаный тростник на дюнах; б – «Песчаный двигатель» в

Дельфланде

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гидротехнические сооружения / Н.П. Розанов, Я.В. Бочкарев, В.С. Лапшенков и др.; Под ред. Н.П. Розанова. – М: Агропромиздат, 1985. – 432 с., ил.
2. Гидротехнические сооружения. Учеб. пособие для вузов. Под ред. Н.П. Розанова. – М: Стройиздат, 1978. – 647 с.
3. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений/Под общ. Ред: А.Б. Векслер. Справочное пособие. – М: Энергоатомиздат, 1988. – 624 с., ил.
4. Румянцев И.С., Мацея В.Ф / Гидротехнические сооружения., – М: Агропромиздат, 1988. – 430 с.
5. Ляпичев Ю.П. / Проектирование и строительство современных плотин: Учеб. Пособие. Изд. 2-е, доп. – М: РУДН, 2009. – 343 с.
6. Правдивец Ю.П., Введение в гидротехнику: Учебное пособие. 3-е изд., испр. и доп. – М: Издательство АСВ, 2009. – 288 с.
7. Косиченко Ю.М., Баев О.А., Гидротехнические сооружения. Учеб. пособие. – Новочеркасск: ФГБНУ РосНИИПМ, 2018. – 207 с.
8. Мамай О.М., Журавлёва А.Г., Хоу Сью. Изучаем специальность по-русски. Учеб. пос. по русскому языку для китайских студентов III курса строительного факультета. – М: МГУП, 2007. – 230 с.
9. СП 58.13330.2012. «Гидротехнические сооружения. Основные положения» (актуализированная редакция СНиП 33-01-2003). 2012.
10. СП 39.13330.2012. «Плотины из грунтовых материалов» (актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84*). 2012.
11. СП 23.13330. «Основания гидротехнических сооружений» (актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85*). 2012.
12. СП 38.13330.2012. «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)» (актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*). 2012.

13. Волков В.И., Черных О.Н., Журавлёва А.Г., Румянцев И.С., Алтунин В.И. Открытые береговые водосбросы: учебник для вузов. – М.: Изд-во ФГБОУ ВПО МГУП, 2012. – 244 с.

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

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

16. 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.

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

20. 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.

21. 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>).

22. 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>).

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

24. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Эксплуатация и проектирование дюкеров на водных объектах: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2021. – 153 с. DOI: 10.26897/978-5-9675-1817-1-2021-154. Режим доступа: <http://elib.timacad.ru/dl/local/06122021.pdf>.

25. Черных О.Н., Алтунин В.И. Проектирование узла сооружений мелиоративной системы: Учебное пособие. М.: ФГБОУ МГУП, 2014. – 322 с.

26. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного гидроузла с грунтовой плотиной: Учебное пособие. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2022. – 172 с. Режим доступа : <http://elib.timacad.ru/dl/full/s13102022Chernykh.pdf>.

27. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Проектирование мелиоративного гидроузла с земляной плотиной: методические указания. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2023. – 77 с. Режим доступа: <http://elib.timacad.ru/dl/full/s10022023Chernih.pdf>.

28. Черных О.Н., Журавлёва А.Г., Бурлаченко А.В., Жукова Т.Ю. Земляные плотины и дамбы: Учебное пособие. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2024. – 207 с. DOI:10.26897/978-5-9675-1994-9-2023-207. Режим доступа: <http://elib.timacad.ru/dl/full/s10022023Chernih.pdf>.

29. Черных О.Н., Волшаник В.В., Бурлаченко А.В. Современные водяные мельницы России. – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2020. – 354 с.

30. Нестеров М.В., Нестерова И.М. Гидротехнические сооружения и рыбоводные пруды. Учебное пособие. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 682 с.

31. Фэн Нань, А. Журавлёва, И. Румянцев Основы современного гидротехнического строительства. – Saarbrücken. Deutschland/Германия: LAP LAMBERT. 2014. – 114 с

Русско-китайский гидротехнический словарь

А

- акведук (спец.)¹ 渡槽
 аккумулятивное (наносов) 泥沙的)堆集作用, 沉聚(沉淀、沉积)
 антропогенный (фактор) 人造(因素)
 арка 拱, 拱弧, 拱形物
 арочная плотина (спец.) 拱坝
 асфальт 地沥青(沥青), 柏油
 асфальтобетонные одежды (спец.) 地沥青混凝土护面(沥青混凝土护面)
 асфальтовая дорога 柏油路
 атмосфера 大气, 大气层
 атмосферные осадки 大气沉淀物(大气粉尘)

Б

- базальтовое основание (спец.) 玄武岩地基
 балка, балки (спец.) 梁
 бассейн (бассейн реки) (спец.) 流域(河的流域)
 безнапорный (режим) (спец.) 无水压的(无水压状态)
 береговая линия (спец.) 岸(边)线
 береговые одежды (спец.) 护岸工程
 береговые стенки (спец.) 护岸墙(护岸)
 берегозащитное (сооружение) (спец.) 护岸的
 берегоукрепительные сооружения (спец.) 护岸构筑物
 бесплотинный (водозабор) (спец.) 无坝的(无坝取水, 无坝引水建筑物)
 бетон 混凝土
 бетонный 混凝土的
 бетонные облицовки (спец.) 混凝土衬砌, 混凝土护面
 биологическое крепление (спец.) 生物固土技术
 биоценоз (спец.) 生物群落
 битум 沥青
 битумная мастика (спец.) 沥青玛蒂脂
 боковая призма (спец.) 翼墙
 болото, болота 沼泽, 沼泽地
 борт, борта (канала) (спец.) 边缘, 侧边(渠道边坡)
 быстрое течение, быстротоки (спец.) 急流, 陡槽
 быки (бычки) (спец.) 桥墩, 闸墩, 基墩
 бьеф (спец.) 水域, (坝间)河段

В

- величина 值, 量, 大小, 尺寸
 вертикальный 垂直的, 立式的
 вертикальная нагрузка (спец.) 垂直负荷, 垂直荷载
 верхний бьеф (спец.) 上游段
 верховая грань (спец.) 上游面, 迎水面
 верховой и низовой откосы (спец.) 迎水坡与背水坡, 上游坡与下游坡

¹ Термины имеют пометку (спец.) - специальное

ветер 风
 ветровой (ветровые волны) (спец.) 风的(风成波, 风浪)
 взаимодействие 相互作用; 协同动作, 配合
 взвешенный 悬移的
 взвешенные наносы (спец.) 悬移质泥沙
 взрыв (направленный взрыв) 爆破, 爆炸(定向爆破)
 вид 形式, 种类
 влажность 含水量, 湿度
 влияние 影响, 作用, 干扰
 вогнутый (берег) (спец.) 凹岸
 водность (реки) (спец.) 水量(河流量)
 водный (водные ресурсы, источники) 水的(水力资源, 水源)
 водобойное сооружение (спец.) 护墙, 翼墙, 防浪墙, 护岸
 водовыпуск (спец.) 溢洪道, 放水洞
 водоём 水池, 水塘, 水库
 водозабор (спец.) 取水(口)
 водозаборное сооружение (спец.) 取水建筑物
 водонепроницаемость 不透水性
 водоохраный (водоохранная роль, мероприятие) 防水的, 束水的
 водоподпорное сооружение (спец.) 壅水建筑物
 водопотребитель (спец.) 耗水部门, 需水户
 водопровод 水管, 给水管, 自来水管,
 водопроводящее сооружение (спец.) 输水建筑物
 водопроницаемость 渗透性, 透水性
 водопроницаемые материалы 透水材料
 водопропускное сооружение (спец.) 过水建筑物, 涵洞
 водораздел (спец.) 分水岭, 分水界, 分水线
 водоросль, водоросли 藻类, 水草
 водосборный бассейн 流域, 集水区
 водосброс (спец.) 溢洪道, 溢水道, 泄水建筑物
 водосбросная плотина (спец.) 溢流坝
 водослив (спец.) 堰, 溢流堰,
 водоснабжение (спец.) 供水, 给水
 водоток (спец.) 水沟, 水渠, 水道, 水流
 водохранилище 水库, 蓄水池
 возведение (плотины) 修建, 建造(建坝)
 воздействие 影响, 作用
 возникновение 发生, 起源
 возрастание 增长, 成长
 волна, волны 波浪
 восстанавливать - восстановить что? (текст по памяти) 恢复, 修复, 使恢复原状
 вывод (сделать вывод) 结论(得出结论)
 выпуклый (берег) 凸岸
 выращивать - вырастить что? (сельхозкультуры) 种植, 栽培
 высачиваться - высочиться (спец.) (как? в виде родников) 分泌出, 渗出

входить в состав (оросительной системы) 组成.....(组成灌溉系统)

Г

галька 砾石, 卵石

гаситель, гасители (спец.) 消能设备, 消力槛

гидрограф (изобразить в виде гидрографа) (спец.) 流量-
水位过程线(以流量的形式表现出)

гидроаккумулирующий (гидроаккумулирующая станция) (спец.)
抽水蓄能电站(蓄能式水电站)

гидроузел (спец.) 水利枢纽

гидроэлектростанция 水电站

гладкий (гладкое дно) 平滑的, 光滑的

глина 粘土

глинистый (грунт) 含粘土的, 粘土质的(粘质土)

глубина (канала) 深度(运河深度)

глухая плотина (спец.) 非溢流坝

гравий (пляж из гравия) 砾石, 沙砾, 卵石(砾石海滩)

гравитационная плотина (спец.) 万有引力的, 重力的(重力坝)

гранит, граниты 花岗岩

график (график изменений) 曲线图, 图表(变化曲线图)

гребень плотины (спец.) 坝顶

грунт (спец.) 泥土, 土

грунтовая плотина (спец.) 土坝

грунтовые облицовки (спец.) 粘土护面

Д

давление чего? воды 压力, 压强(水压)

дамба (дамба обвалования) (спец.) 堤, 堰(围堤)

данные (данные об объекте) 资料, 数据(工程资料)

деревянный (деревянная плотина) 木制的, 木头的(木坝)

деривационный (принцип, канал) (спец.) 引水的(引水原则, 引水渠)

дефицит (воды) 缺水量

деформационный шов (спец.) 伸缩缝, 沉陷缝

деформация 变形, 应变

диабаз, диабазы 辉绿岩

диафрагма (спец.) 心墙, 截水墙

диафрагмовый 心墙的, 截水墙的

дно (канала) 渠底

долговечность 耐久性, 寿命

долина (речная долина) (спец.) 谷, 谷地(河谷)

донная область (спец.) 底部

дорога 路, 道路, 路程

дренаж 排水, 排水沟, 排水管, 排水设备

дренажная система (спец.) 排水系统

дюкер (спец.) 地下输水管, 倒虹吸管

Е

ёмкость чего? водохранилища 容量(库容)

Ж

железобетон 钢筋混凝土
железобетонная плотина (спец.) 钢筋混凝土坝

З

заболачивание 沼泽化
загрязнение (рек) 水污染(河水污染)
зажор (зажор на реке) (спец.) (初冻时冰面下)冰塞,冰堆(河流上的冰堆)
заилиться- заилиться (спец.) (河道、湖底等)积满淤泥
запас (воды) 储藏量(储水量)
зарастание (канала) (спец.) 水草丛生(渠道荒芜)
затапливать - затопить что? (местность) 淹,淹没
затворы 闸门
затопление (территорий) 淹没(淹没土地)
затор (произошёл затор) (спец.) 解冻时水流壅堵现象
защита (защита ценных земель) 保护(保护珍贵土地)

И

известняк, известняки (спец.) 石灰岩,石灰石
известняковая порода 石灰岩
излишек (воды) 剩余,多余,余额(剩余水)
ил 淤泥,软泥
илистый 有淤泥的,淤泥很多的,覆盖淤泥的
инженерный (инженерная защита) (спец.) 工程的,工程技术的(工程技术保护)
иригация 灌溉,浸润
иригационный (канал) (спец.) 灌溉的(灌溉渠道)
искусственный (пляж, сооружение) 人工的,人造的(人造海滩,人工建筑物)
источник 源,泉,水源

К

каменная наброска (спец.) 抛石,堆石
каменно-земляная плотина (спец.) 土石坝
каменно-набросная плотина (спец.) 抛石坝,堆石坝
камень 石,石料
камыш (зарастать камышом) 芦苇(芦苇丛生)
канал 渠道,运河
кинетическая энергия 动能
кладка (делать кладку) (спец.) 砌体,砌筑(做砌筑)
классификация (плотин) 鉴定,评定(对坝的鉴定)
классифицировать 鉴定,审定(技能,资格);评定,认定
колодец, колодцы 井,坑,水井
комплексный гидроузел 综合水利枢纽
консоль, ж.р. (спец.) 悬臂,悬臂梁
консольный (сброс) (спец.) 悬臂的(悬臂式泄水槽)
конструкция 构造,结构
контрфорс (спец.) 肋,扶壁
контрфорсная плотина (спец.) 垛坝,扶壁式挡土墙
контурное уплотнение (спец.) 轮廓密封

коэффициент (коэффициент полезного действия) 系数(效率系数)
крепление (биологическое крепление) (спец.) 固定;加固;支撑(生物学支撑)
кривая депрессии (в грунтовой плотине) (спец.) 浸润曲线(泥土坝的下降曲线)
крупнозернистые наносы(спец.) 粗砂
кустарник 灌木,灌木林

Л

ледостав (период ледостава) (спец.) 冰封,封冻(封冻期)
ледоход (время ледохода) (спец.) 流冰,浮冰(流冰时间)
лесопропускной (канал) (спец) 水利工程中木材流放的(木材流放道)
лоток – м.р. лотки (спец.) 水沟, 水槽

М

массивное сооружение 大体积建筑物
меандрирование (реки) Син:извилистость 弯曲度(河弯弯曲度)
межень (период межени) (спец.) 平水, 枯水(平水期, 枯水期)
мелководье (места мелководья) 浅水, 低水(浅水区, 低水位)
мембранное устройство (спец.) 防水薄膜铺设装置
мерзлота (вечная мерзлота) (спец.) 冻土层(永久冻土带,
местоположение 位置, 地势
металл 金属
металлическое крепление (спец.) 金属支撑, 金属护面, 金属加固
механизированный 机械化的
монолитная плотина (спец.) 砌石坝

Н

набережная 码头, 堤岸, 海堤, 岸边路
наводнение 洪水, 水灾, 泛滥, 淹没
нагрузка (передача нагрузки на берега) 重力, 重量, 荷载(把荷载转移到岸上)
надёжность 可靠性, 安全性
назначение (классификация по назначению...) 用途(按用途评定)
наименьший 最小(少, 短)的, 最低限度的
наклон 倾斜度, 坡度
намывные (плотины) (спец.) 冲填坝(冲填式坝)
наносить - нанести ущерб чему? кому? (людям, окружающей среде) 使遭受损失
наносы (спец.) 泥沙, 挟沙, 沉积层, 冲积层
напор воды (спец.) 水头, 水压
напорное сооружение (спец.) 承压建筑物,
нарушение 破坏, 断裂
населённый (пункт, место) 有人居住的, 人烟稠密的(居民点, 居民地)
насос 泥沙, 沉积层, 冲积层
насосная станция 抽水站, 水泵站
насыпные плотины (спец.) 碾压式坝
насыпь (дорог) 填土; 路堤(路基)
неоднородный (грунт) (спец.) 不均匀的(非均质土, 不等粒土)
неравномерные (осадки) 不均衡的, 不均等的(不均匀沉陷)
неразмываемый (неразмываемые породы) (спец.) 不可侵蚀的(不可侵蚀的岩石)
нескальные породы (спец.) 非坚硬岩石

нижний бьеф (спец.) 下游段

нормальный подпорный уровень (спец.) 正常水位

О

обвалование (дамбами) (спец.) 筑(筑堤)

облегчённое (крепление) (спец.) 简易的(简易加固)

облицовка (облицовки канала) (спец.) 砌面, 护面(渠道衬砌, 渠道护面)

объект (водный объект) 对象, 目标(水利对象)

однородный (грунт) (спец.) 均质的, 均匀的(均质土, 等粒土)

озеро 湖泊

омонолитить (спец.) = создать монолит чем? бетоном 造整块岩石

опорожнять - опорожнить что? водохранилище 到空, 用空, 掏空

оросительный (канал) 灌溉的(灌溉渠)

орошать - оросить что? поля 灌溉

осадки (осадки над сушей) 沉淀物(陆地上空的沉淀物)

основание чего? плотины 地基, 底座(坝基)

осушительный (канал) 排水的(排水渠)

отверстие, отверстия 孔, 开口, 涵洞

откос (пологий откос) (спец.) 斜坡, 坡面(缓坡)

открытый 开阔的, 露天的

отметка (уровней) 标记, 记号(水位)

отстойник (спец.) 沉淀槽, 滤水池

отсыпка (грунта) (спец.) 把散物体倒出(填土)

П

паводок (период паводка) (спец.) 洪水(洪水期)

параболический (канал) (спец.) U型渠道

перегораживать - перегородить что? (реку) 用隔板等隔开; 拦住, 挡住

перекат (спец.) 浅滩

перекрытие (напорное) (спец.) 护面, 楼板, 截断(承压面板, 上游面板, 挡水板)

перелив (воды через край) 溢出, 外溢(水从边上溢出)

перепад (спец.) 跌水, 落差

переселение 移居, 迁居

перфорированный (перфорированная труба) (спец.) 穿孔的, 带孔的(带孔管)

песок 沙, 沙土, 砂, 砂土

песчаный 沙(砂)的

плёс (спец.) 深槽, 深水河区, 河道平直段, 通航段

плотина 坝, 拦河坝

плотинный (водозабор) (спец.) 坝的(有坝取水, 有坝引水建筑物)

пляж (искусственный пляж) 海滩, 湖滩(人造海滩)

побережье 岸边, 海岸

поверхность (земная) 面, 表面(地表)

подземные воды (спец.) 地下水

подпор (спец.) 回水, 壅水

подпорное (сооружения) (спец.) 壅水的(壅水建筑物, 节制闸)

подтопление (спец.) 淹没, 浸润

пойма (пойма реки) (спец.) 泛滥地, 河滩地(河滩)

пойменный (от поймы) (спец.) 泛滥地的, 河滩地的
 покрытие 铺面, 覆盖
 полигональный (канал) (спец.) 多边形的 (多边形渠)
 полимерный (полимерная плёнка) 聚合的 (聚合物膜)
 полиэтиленовая плёнка 聚乙烯薄膜
 половодье (весеннее половодье) (спец.) 汛水, 洪水 (春汛)
 пологий (уположенный) (спец.) 慢坡的, 坡势缓的 (缓坡)
 полый (полая труба) 空心的, 中空的 (空心管)
 польдер (спец.) 圩垸区,
 пониженный (пониженная часть рельефа) 降低的 (地势低的部分)
 поперечная циркуляция потока (спец.) 流的横向循环
 пористый (грунт) (спец.) 多孔的 (多孔土质)
 порода (пористые и трещиноватые породы) 岩石, 岩层 (多孔岩石, 龟裂岩层)
 посадка (растительности) 栽植 (栽种植物)
 потеря (энергии) 损失 (能量损失)
 поток 流, 水流, 流量
 преграда 障碍物
 природный (природные воды) 天然的, 自然的 (天然水)
 прогноз 预报, 预测
 продольный (продольный уклон) (спец.) 纵向的 (纵坡, 纵向坡度, 纵比)
 пролёты (спец.) 跨度, 孔距
 пропуск воды (спец.) 泄水, 放水
 противодиффузионное устройство (спец.) 防渗透装置
 профиль (треугольный профиль) (спец.) 断面, 截面, 剖面 (三角形断面)
 прочность 强度
 Р
 равнина 平原
 равнинный (равнинный ландшафт) 平原的 (平原地形)
 равномерный (равномерное движение) 均匀的 (均匀运动)
 разведение (рыбы) 繁殖, 增殖 (鱼类繁殖)
 размыв (размыв грунта) (спец.) 冲蚀 (土冲蚀)
 размывающая (способность) 冲蚀的 (冲蚀能力)
 разность (уровней) 差, 差数 (水利差)
 разрушение (зданий) 拆毁, 毁坏 (拆毁建筑物)
 растительность (прибрежная растительность) 植物, 草木, 植被 (延岸植被)
 расход (расход реки) (спец.) 流量, 消耗量 (河流量)
 расчёт 估算, 计算
 расчётный (расчётная схема) 计算的 (计算图表, 设计书)
 регулятор (спец.) 调节器
 резина 橡皮
 резиноканевые материалы 胶布材料
 река 河流
 рекреационный (рекреационное значение) 休息值
 речное сооружение 河流建筑物
 русло (русло реки) 河床, 河道 (河床)

русловой (русловой процесс) 河床的 (河床演变过程)
 русловыправительные сооружения (спец.) 河床治河建筑物
 ручей, ручьи 小河, 小溪, 型槽, 轧槽, 模膛
 рыбозащитное сооружение (спец.) 保护鱼类建筑
 рыбопропускное сооружение (спец.) 放鱼建筑物
 С
 самоочищение 自动净化
 сбор (сбор воды) 集中, 集合 (水集中)
 сборный 集中的, 集合的
 секция чего? плотины 部分, 区段,
 сельскохозяйственный комплекс 农业综合利用
 сечение (поперечное сечение реки) (спец.) 断面, 截面, 切面 (河流横截面)
 синтетика 综合法, 合成法
 синтетический 综合的; 合成的; 合成材料制的
 скала, скалы 岩石, 悬崖
 скальное основание (спец.) 岩石地基
 скорость осаждения 沉淀速度
 слой 层; 地层; (降水, 径流, 蒸发等) 厚度, 深度
 сооружение 建筑, 建造; 建筑物
 сопрягающие сооружения (спец.) 联结建筑物, 衔接建筑物
 сопряжение (участков) 联结, 衔接 (河段的衔接)
 состав чего? (сооружений) 成分, 组成; 组成部分 (建筑物的组成部分)
 составляющий (составляющие сооружения) 组成的 (组成建筑物)
 состояние (жидкое, газообразное, твёрдое) 状态 (液态, 气态, 固态)
 спаренный 成对的
 спаривать - спарить что? (элементы системы) 使在一起工作, 搭配起来
 спрямление (спрямление рек) (спец.) 裁弯取直, 整流 (河道裁直)
 станция (насосная станция) 站 (水泵站)
 створ чего? (водохранилища) (спец.) 断面, 闸门 (水库闸门)
 стоячая вода 死水, 静水
 струя (воды) 流, 射流, 水舌, 流束 (水舌, 流束)
 суглинок (слой из суглинка) (спец.) 壤土, 亚粘土, 砂质粘土 (亚粘土层)
 судно, суда 船, 舰
 судоходный (канал) 通航的 (通航运河)
 судоходство 航运, 航行
 супесчаный (грунт) (спец.) 亚砂土的, 砂壤土的 (亚砂土)
 супесь (слой из супеси) (спец.) 亚砂土, 砂壤土 (亚砂土层)
 Т
 тело (плотины) (спец.) 物体, 体 (坝体)
 течение (воздушные течения) 流, 流动 (气流)
 тип 类, 类型
 ткань 织物, 组织
 толща (толща грунта) 岩层, 岩系, 地层; 厚度, 厚层 (泥土厚度)
 транспорт 输送, 运输; 运输工具
 транспортирование (наносов) (спец.) 运送, 输送, 搬运, 运输 (运送泥沙)

транспортирующая (способность) (спец.) 运输的(运输能力)
транспортный гидроузел (спец.) 交通水利枢纽
трапецеидальный (канал) (спец.) 梯形的(梯形渠道)
треугольный (канал) (спец.) 三角形的(三角形渠道)
трещиноватая среда (спец.) 裂隙岩
тростник (зарасти тростником) 芦苇(长满芦苇)
труба-ливнепровод (спец.) 排雨管道
трубка 小管, 小筒
трубопровод (спец.) 管道, 管系, 管线; 导管, 输送管路, 输水管
трубчатые (трубчатый регулятор) (спец.) 管道的(管道调整器)
туннель, тунне (спец.) 隧道
турбина (водяная турбина) (спец.) 轮机, 涡轮(水轮机)

У

уклон (малый уклон) (спец.) 坡度, 斜度, 比降(小坡度)
уравнение (уравнение Шези) 方程, 等式
уровень мёртвого объёма (спец.) 无效容积水位
устойчивый 稳定的, 平稳的; 固定的
ущерб (экологический, экономический) 损害, 亏损, 损失(生态损失, 经济损失)

Ф

фактор (антропогенный фактор, важный фактор) 因素, 要素(人造因素, 重要因素)
фарватер (спец.) 航道, 水路
фауна 动物区系, 动物群
фильтрационный 渗透的, 渗漏的; 过滤的
фильтрация (спец.) 渗透, 渗漏; 过滤, 滤波
флора 植物区系, 植物群
форсированный подпорный уровень (спец.) 抬高水位, 加强壅水位

Х

характеристика (гидрологические характеристики) 特征(水文特征)

Ц

цветение воды (спец.) 水生绿苔
цемент 水泥, 胶结物
цементационная завеса (спец.) 灌浆帷幕, 水泥浆幕
циркуляция (циркуляция воды на Земле) 循环, 环流(地球上的水循环)

Ч

частица (мелкие частицы) 颗粒, 微粒(微粒)

Ш

шлюз 闸, 闸门, 水闸
шлюзование (шлюзование рек) 建闸, 设闸(在河上设闸)
шпунт (спец.) 板桩; 截水墙
шпунтовая стенка (спец.) 板桩墙, 板桩式(岸)壁
шуга (явление шуги) (спец.) 冰凌, 雪冰(冰冷现象)

Э

экосистема 生态系统
экрaн, экраны (плотина с экраном) (спец.) 护板; 斜墙(带斜墙的坝)
энергетика 动力学

эрозия (процесс эрозии) (спец.) 侵蚀, 冲刷 (侵蚀过程)

эффект (экономический эффект) 作用; 效应, 效果 (经济效益)

Я

явление (наблюдаемые явления) 现象; 效应; 征状 (观察到的现象)

ядро, ядра (плотина с ядром) (спец.) 核, 核心, 中心 (心墙坝, 实心坝)

Приложение 2

Общий вид грунтов для плотин и дамб



Супесь

Суглинок

Глина



Гравий (砾石, 卵石) (мелкий)

Галька (砾石, 卵石)

Скальные

породы 岩石, 悬崖:



Песчаный грунт (砂, 沙, 砂土)

Щебень

Валуны



Гранит глыбовый

Булыжник

Гравий окатанный

Фракции 100...120 см,

60...80 см, 30...60 см;

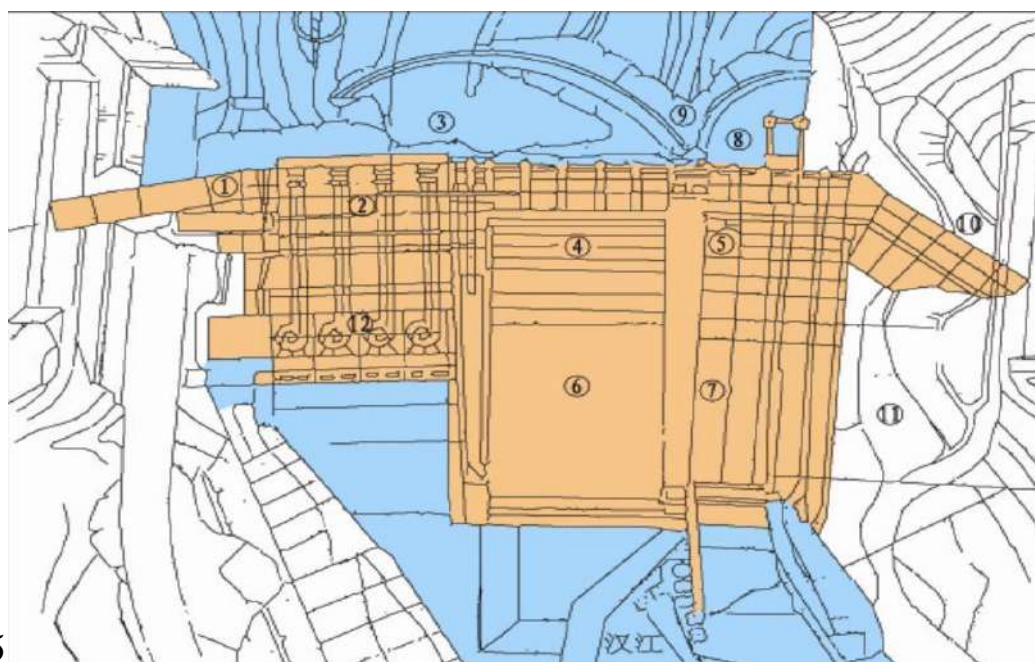
30...130 см

Крупные гидротехнические объекты Китая

ПЗ.1. Гидроузел Ань Кан



а



б

Рис. ПЗ.1. Вид с нижнего бьефа (а) и генплан гидроузла (б) на реке Ханьцзян в провинции Шэньси: 1– глухая часть плотины; 2 – секции ГЭС; 3,6,9 – глубинные водосбросы; 4 – открытый водосброс; 5,7 - глухая часть плотины; 8 – судоподъемник; 11 – береговой водосброс; 12 – здание ГЭС

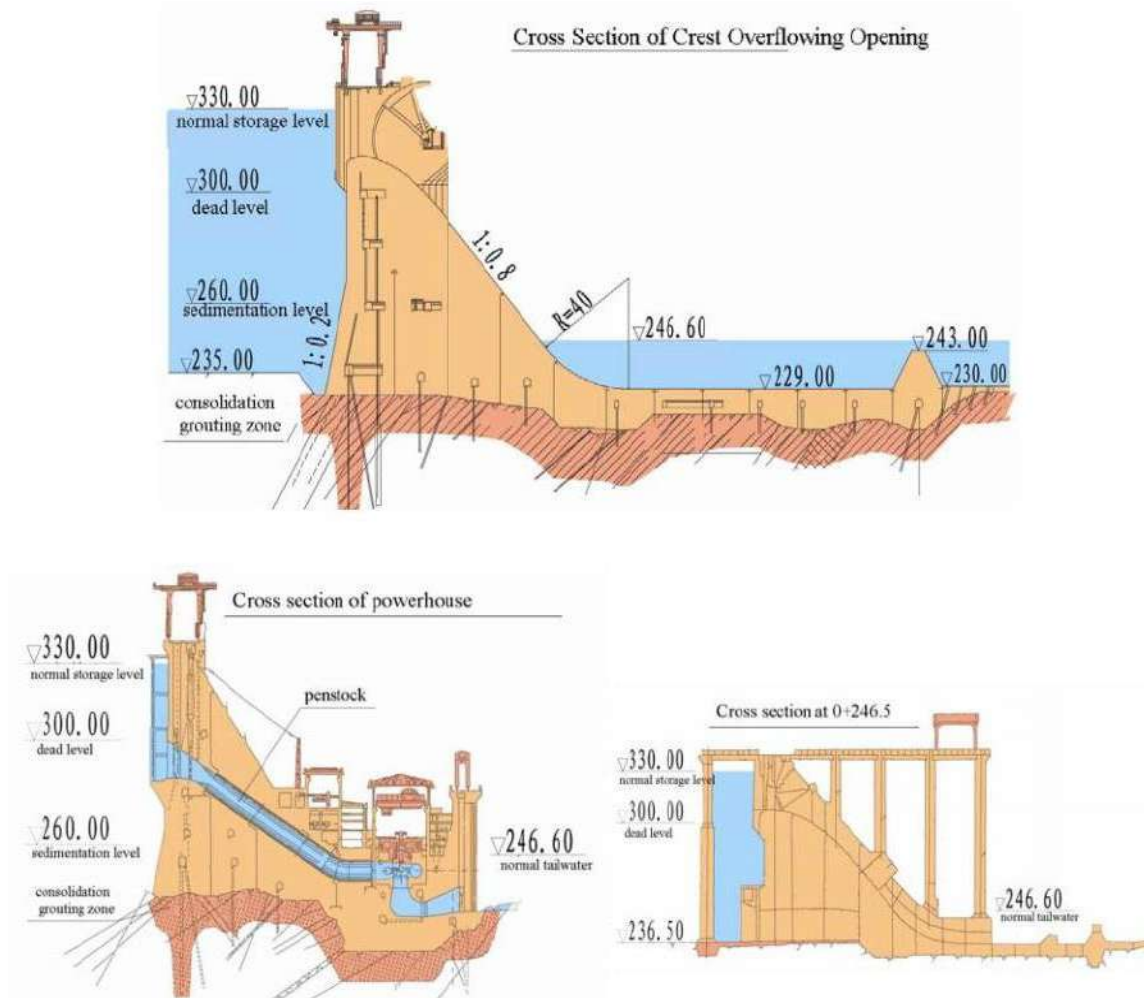
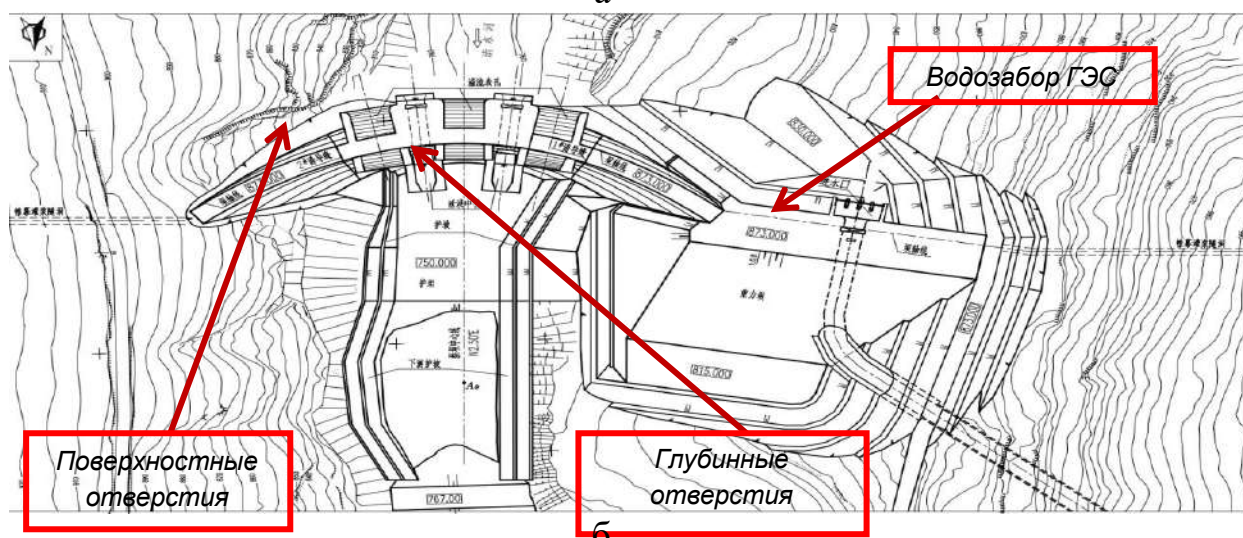


Рис. ПЗ.2. Поперечное сечение водосбросной части плотины и секции ГЭС: тип плотины – бетонная гравитационная; максимальная высота – 128 м; напор – 84 м; расход паводка обеспеченностью 0,02% – 45 000 м³/с; назначение – для выработки электроэнергии (главное), борьбы с наводнениями, орошения, судоходства, рекреации, туризма

ПЗ.2. Гидроузел Дахуашуй



а



б

Рис. ПЗ.3. Общий вид (а) и генплан (б) гидроузла комплексного назначения Дахуашуй на реке Цин Шуй: водосбросные сооружения выполнены в виде 3-х поверхностных водосливных и 2-х глубинных отверстий; ГЭС деривационного типа с установленной мощностью 200 МВт передаёт энергию в энергосистему провинции Гуйчжоу

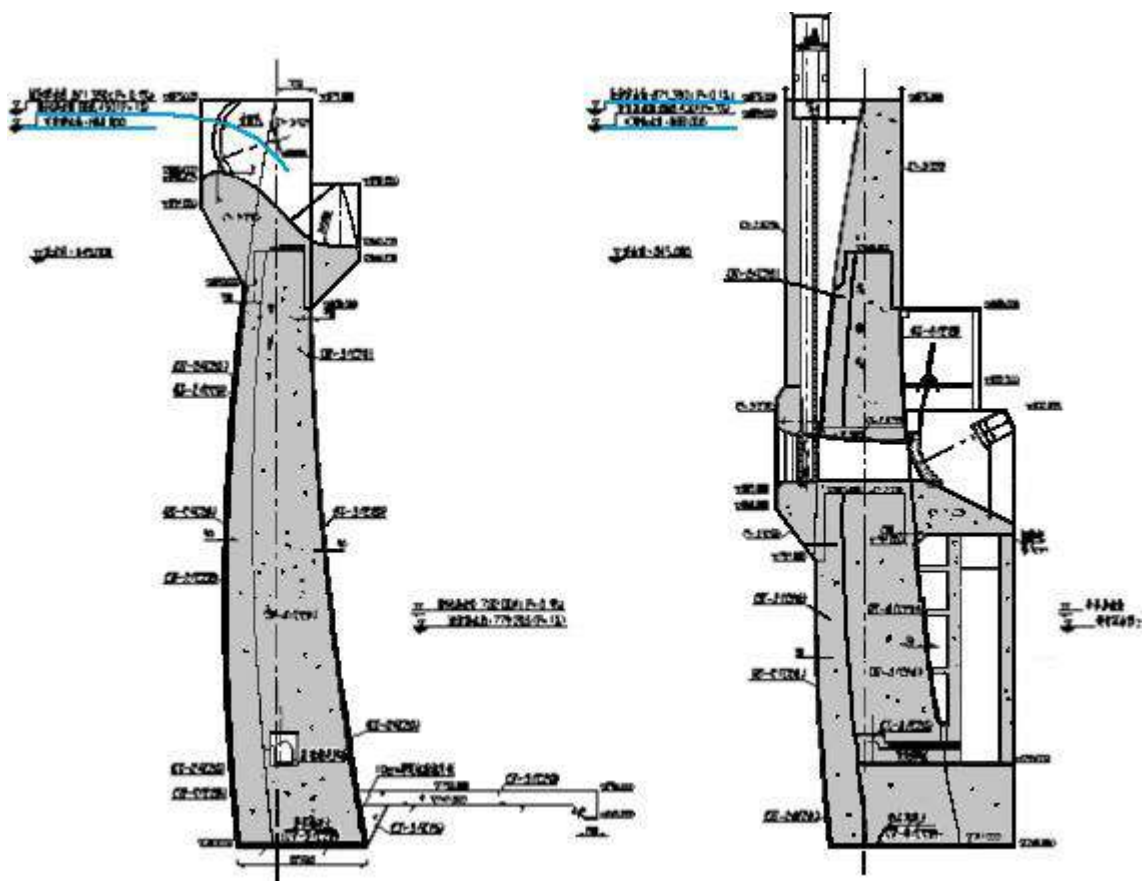


Рис. ПЗ.4. Секции плотины: а - с поверхностным водосбросом; б – с глубинным водосбросом

Максимальная высота бетонной арочной плотины Дахуашуй двойкой кривизны из укатанного бетона составляет 134,50 м, толщина по гребню 7,0 м, толщина плотины по основанию 28,0 м, соотношение толщины к высоте 0,208, длина по гребню равна 256,19 м.



Рис. ПЗ.5. Вид на плотину Дахуашуй со стороны нижнего бьефа

ПЗ.3. Гидроузел Ксилуоду

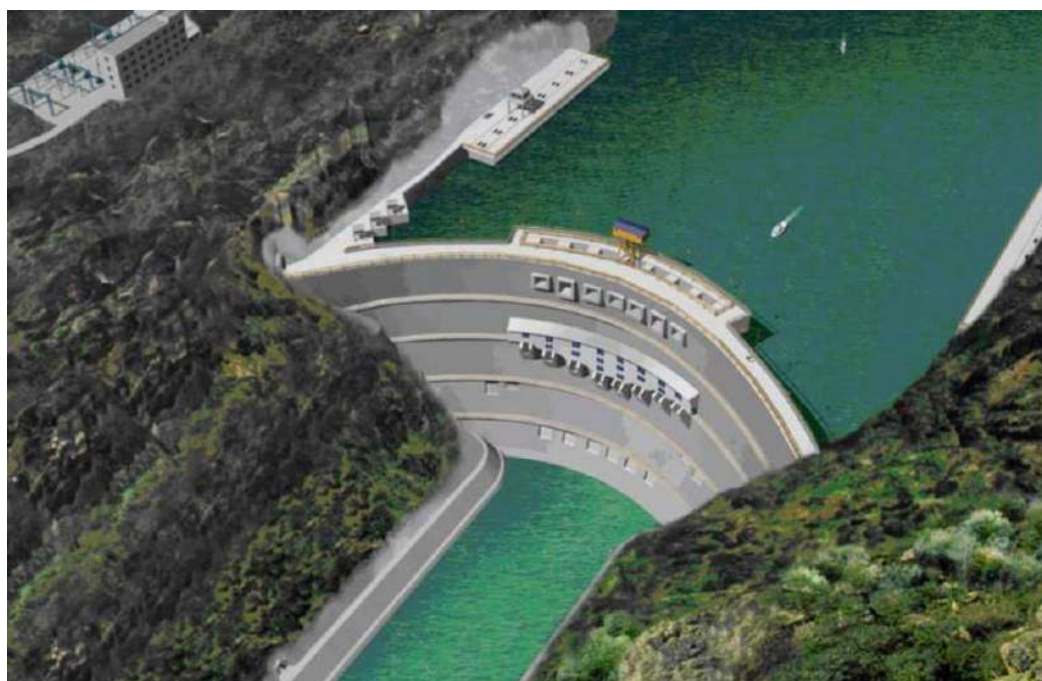


Рис. ПЗ.6. Гидроузел Ксилуоду на реке Джинша

Назначение гидроузла: выработка электроэнергии, контроль за наводнениями, борьба с наносами, улучшение судоходства в нижнем бьефе

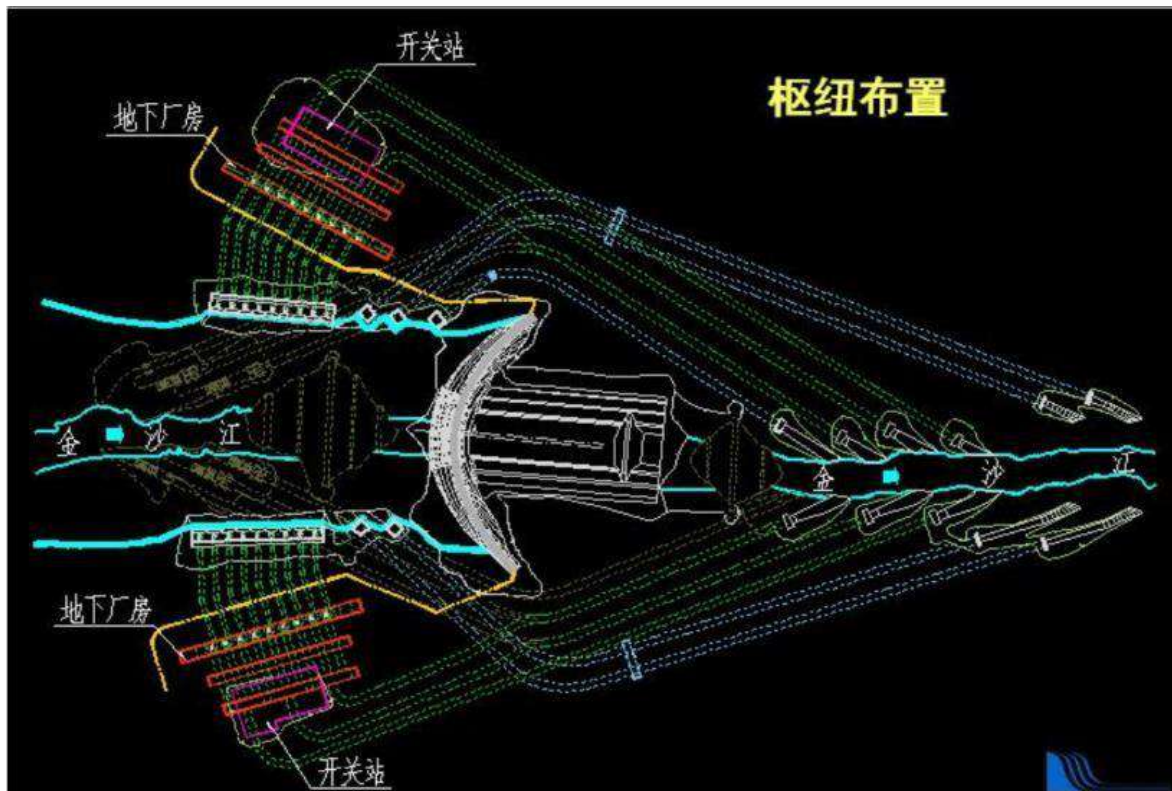


Рис. ПЗ.7. Генплан гидроузла Ксилуоду



Рис. ПЗ.7. Вид на гидроузел Ксилуоду при частично работающих водосливных отверстиях

ПЗ.4. Гидроузел Дачаньшань

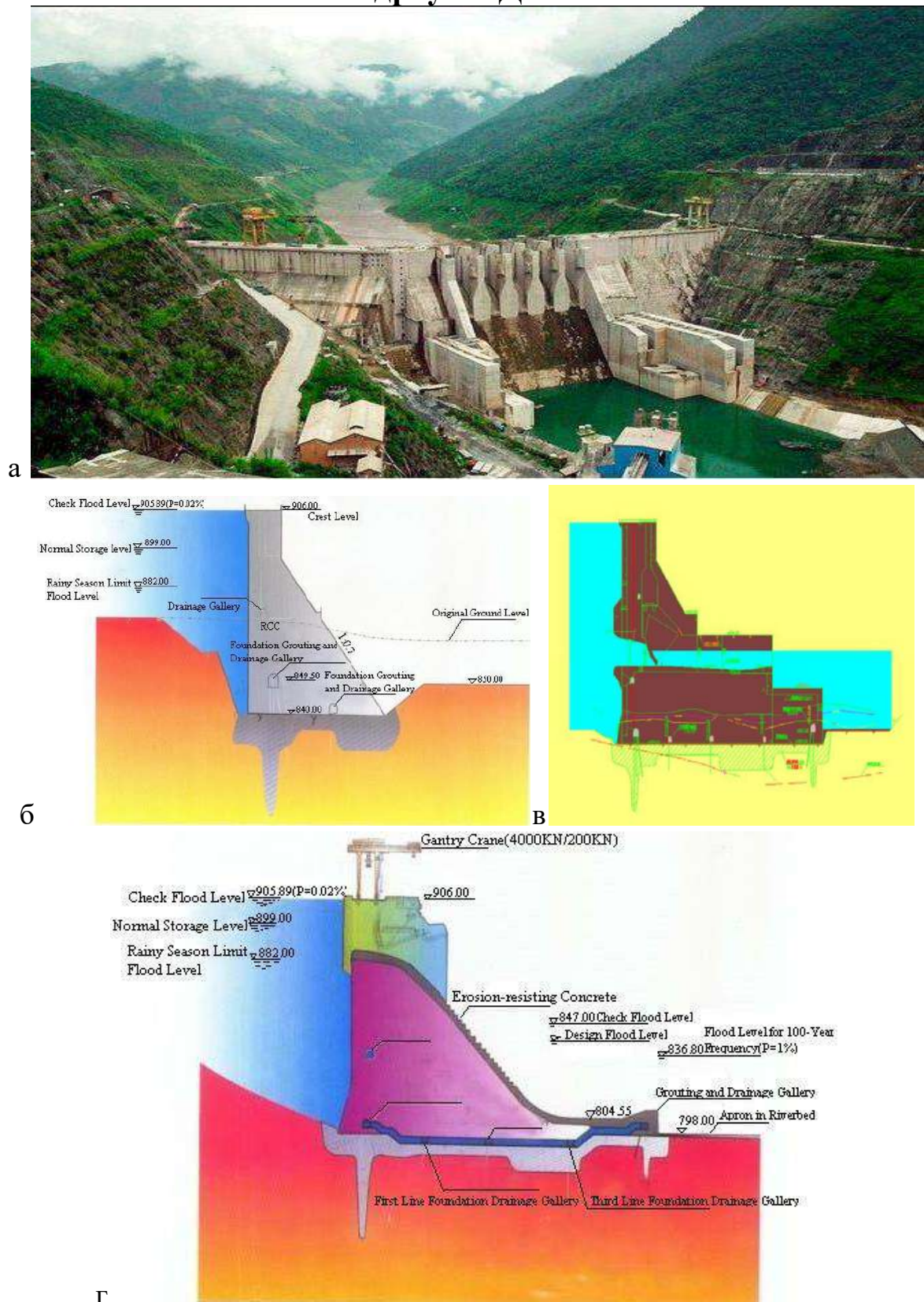
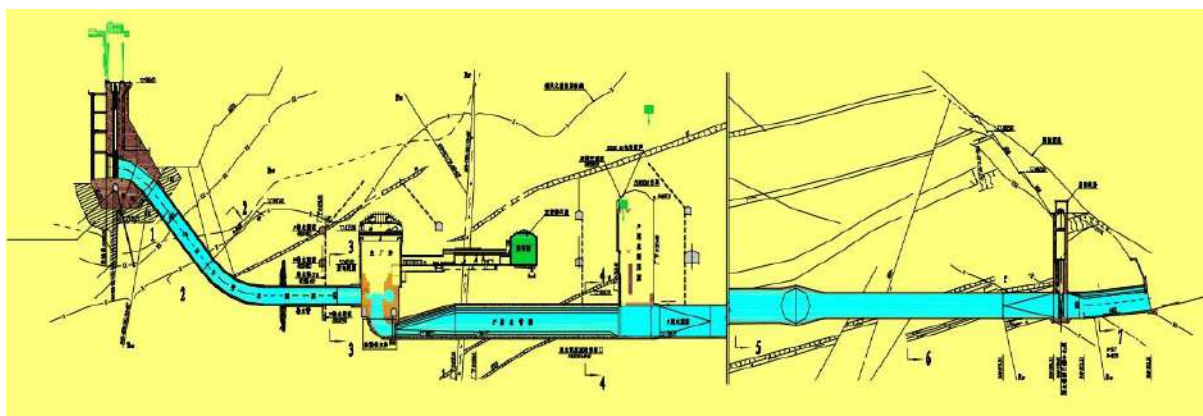


Рис. ПЗ.8. Вид с нижнего бьефа (а) и поперечные сечения: плотины (б), глубинного (в) и поверхностного (г) водосбросов гидроузла Дачаньшань



а



б

Рис. ПЗ.9. Продольный разрез (а) и трехмерное изображение (б) подземных сооружений ГЭС Дачаньшань с установленной мощностью 1,35 млн. кВт, годовая выработка энергии 5931 млн. кВт · ч.

Строительство началось в 1997 г. и закончилось в 2003 г. Состав сооружений гидроузла I класса опасности:

- бетонная плотина высотой 115 м;
- водопропускные сооружения:
 - 5 пролетов водосливных отверстий,
 - 3 глубинных отверстия,
 - отверстие для промывки верхнего бьефа от наносов;
- подземное здание электростанции;
- глубинное отверстие для борьбы с наносами.

ПЗ.5. Гидроузел «Три ущелья»



а



б



в



г

Рис. ПЗ.10. Элементы гидроузла Три ущелья: а – общий вид; б – генплан; в, г – работа водосбросов



а



б

Рис ПЗ.11. Судопропускные сооружения гидроузла: а - Судоходный шлюз: 5 ступеней; время прохождения около 4 часов; длина каждой камеры 280 м, ширина 35 м, глубина 5 м; пропускает до 100 миллионов тонн ежегодно; б - Судоподъемник: поднимает суда на 113 м; время прохождения 30...40 минут; длина камеры 120 м, ширина 18 м, глубина 3,5 м

Состав сооружений гидроузла: гравитационная бетонная плотина длиной 2309 м и высотой 185 м; левобережное приплотинное здание ГЭС с 14 гидроагрегатами; правобережное приплотинное здание ГЭС с 12 гидроагрегатами; правобережное подземное здание ГЭС с 6 гидроагрегатами; двухниточный пятиступенчатый судоходный шлюз (предназначен в основном для грузовых судов); судоподъёмник. Идею строительства плотины выдвинул Сунь Ятсен в 1919 г. Основное назначение: выработка электроэнергии, защита от наводнений, улучшение условий судоходства. Гидроузел имеет самую мощную ГЭС в мире: проектная мощность ГЭС — 22,5 ГВт, что более чем в полтора раза больше чем у ГЭС «Итайпу».

ПЗ.6. Гидроузел Шуйбуйя

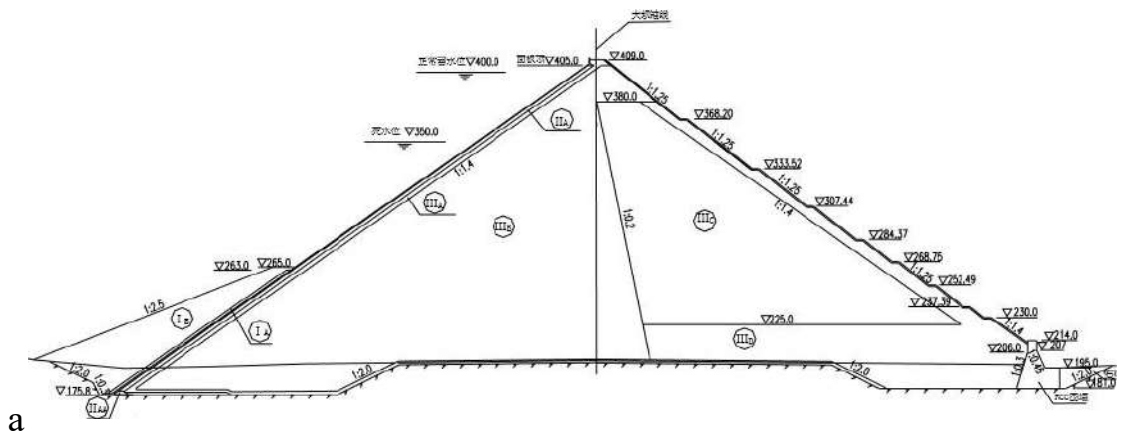


а

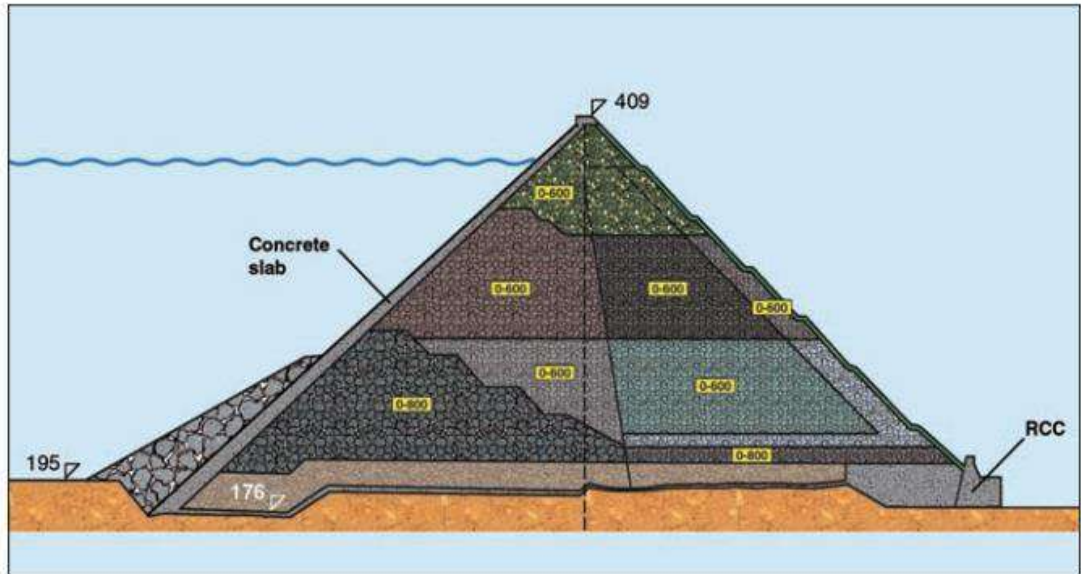


б

Рис. ПЗ.12. Вид с нижнего бьефа на гидроузел Шуйбуйя: а – проектный вариант; б – после строительства. Поверочный расход 5-ти пролётного водосброса $18\,320\text{ м}^3/\text{с}$. Расход одноочкового подземного водовыпуска $1605\text{ м}^3/\text{с}$



а



б



в

Рис. ПЗ.13. Схема (а), конструкция (б) и строительство (в) каменно-набросной плотины гидроузла Шуйбуй высотой 233 м, длина по гребню – 409 м

Учебное издание

Черных Ольга Николаевна

Журавлёва Анна Геннадиевна

Бурлаченко Алёна Владимировна

Бурлаченко Ярослав Юрьевич

**ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОТЕХНИКИ ПО-РУССКИ
(для китайских студентов)**

Учебное пособие

Под общей редакцией

О.Н. Черных

Подписано в печать . . . 2024 г. Формат 60x84 1/16

Печ. л. 13,3. Тираж 100. экз. Заказ

Издательство РГАУ-МСХА

127550. Москва, Тимирязевская ул.44

Тел. 8-499-977-40-64