

С.Ю. Ладенко, Т.В. Иванова

**ГИДРОУЗЛЫ  
И ВОДОХРАНИЛИЩА  
КАК ЭЛЕМЕНТЫ  
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
СИСТЕМ**

Учебное пособие для аспирантов

Санкт-Петербург  
2020

УДК 626/627(07)+627.81

Приводятся материалы для общей подготовки аспирантов АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» по направлению 08.06.01 – Техника и технология строительства (направленность 05.23.07. Гидротехническое строительство).

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие разработано на основе обобщения обширного материала, включающего современную нормативно-правовую, научно-методическую, научную, техническую, учебную, учебно-методическую и справочную литературу.

В пособии для понимания общих принципов, задач, направлений развития современных подходов к проектированию гидроузлов и водохранилищ как элементов водохозяйственных систем основное внимание уделено теоретической части курса. Приведены основные сведения о водохранилищах и гидроузлах, об общих подходах к проектированию водохозяйственных систем, приводится методика гидролого-водохозяйственного обоснования проектов гидроузлов комплексного назначения.

В работе изложены основные принципы определения параметров гидроузлов, судоходного канала с естественным и искусственным питанием водораздельного бьефа. Дается понятие о распределении и регулировании речного стока, влиянии распределения стока на режим водохранилища, приводятся примеры водохранилищ комплексного назначения.

Также уделяется внимание вопросам воздействия водохранилищ на окружающую среду, охраны вод при создании гидроузлов комплексного назначения, сохранения и восстановления рыбных запасов, защите воды, подаваемой потребителю, от наносов, проблемам, возникающим при эксплуатации водохранилищ, обеспечению безопасности при строительстве и эксплуатации гидроузлов.

Пособие подготовлено в соответствии с рабочей программой дисциплины, в нем учтены требования современной нормативно-проектной документации.

В конце каждой главы приведен список литературы, рекомендованной для более глубокого изучения материала.

Авторы выражают благодарность за помощь и поддержку, оказанную при разработке и корректировке пособия, начальнику отдела водохранилищ и охраны окружающей среды АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» *Андрею Яковлевичу Мирзаеву*.

# Глава 1

## **ВОДОХРАНИЛИЩА И ГИДРОУЗЛЫ КАК ЭЛЕМЕНТ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Водохозяйственная система – это комплекс водных объектов, предназначенных для обеспечения рационального использования и охраны водных ресурсов гидротехнических сооружений.

В водохозяйственную систему входят такие объекты капитального строительства как подпорные сооружения, обеспечивающие создание водохранилища и сброс излишков воды, водохранилище, сооружения, подводящие воду к потребителю, такие как трубопроводы, деривационные каналы и туннели ГЭС, шлюзы и судоходные каналы, каналы, мелиоративные системы, насосные станции и другие водозаборные сооружения. Также в водохозяйственную систему входят сооружения, обеспечивающие сброс воды в водные объекты: канализационные и очистные сооружения, отводящие каналы тепловых и атомных электростанций, внешние водосбросные сооружения и каналы и т.д. В состав водохозяйственной системы входят также сооружения инженерных защит на создаваемом водохранилище и в нижних бьефах гидроузлов (например, сооружения инженерные защиты города Абакана и рабочего поселка Усть-Абакан в верховьях Красноярского водохранилища, сооружения инженерные защиты с. Шушенское и г. Минусинска в нижнем бьефе Саяно-Шушенского гидроэнергокомплекса и др.)

Комплексы гидротехнических сооружений, объединенные общей водохозяйственной целью, условиями работы, гидрологическими и прочими природными условиями, месторасположением

называются узлами гидротехнических сооружений или гидроузлами. Если комплекс гидротехнических сооружений охватывает значительную территорию и включает в себя не один, а несколько гидроузлов, он образует водохозяйственную систему или гидросистему. Существуют гидроэнергетические системы (например, Каскад Кубанских ГЭС), оросительные системы (Каракумский канал), осушительные системы (осушение болот Полесья в Белоруссии), системы водоснабжения, судоходные системы (например, Волго-Балтийский водный путь и др.) или комплексные системы (канал им. Москвы, Волгодон).

Гидротехнические сооружения, входящие в водохозяйственный комплекс, по размерам, форме и условиям работы теснейшим образом связаны с топографическими, геологическими и гидрологическими условиями места постройки. Особенно важны геологические условия, которые очень часто именно и определяют тип сооружения, его размеры и стоимость, а отсюда и общую экономическую эффективность строительства водохозяйственного предприятия. А так как комплекс конкретных топографических, гидрологических и геологических условий почти не повторяется в природе, то почти каждое гидротехническое сооружение уникально. В каждом отдельном случае задача компоновки гидроузла и конструкции сооружений решается индивидуально, своеобразно, на основе имеющегося опыта гидротехнического строительства, изучения местных условий путем специальных изысканий и исследований, их анализа, использования этих сведений в проектировании. Многообразное воздействие воды на гидротехнические сооружения заставляет принимать ряд мероприятий, иногда сложных, по защите от разрушений их материала, а также основания и береговых примыканий, учитывая, что воздействие воды на сооружения не являются постоянными – они изменяются во времени, поскольку изменчивы все гидрологические факторы: расходы и уровни воды, напоры, скорости течения. Приходится учитывать эту изменчивость и, в особенности, возможные максимальные (экстремальные) значения этих факторов и прогнозировать их на много лет вперед.

Потребность в регулировании стока рек связана с тем, что речная вода неравномерно распределена по земной поверхности

как во времени, так и в пространстве. Большая сезонная и многолетняя изменчивость стока рек приводит к наводнениям в половодье и паводки и к недостатку воды в меженный период. Территориальное перераспределение стока достигается за счет строительства сети каналов и акведуков.

При регулировании речного стока решаются две задачи: первая – обеспечение водопотребителей, которые безвозвратно изымают воду из её источников (промышленность, сельское хозяйство, коммунальное хозяйство), и водопользователей, которые используют энергию воды или водную среду (гидроэнергетика, водный транспорт, рыбоводство и др.) водой заданного качества в заранее оговоренных объемах и по согласованному графику; вторая – срезка излишне больших расходов в паводки с целью предотвращения затопления территорий ниже гидроузла.

Водоохранилище – это искусственный водоем, образованный водоподпорным сооружением, заполнением водой впадины или обвалованной территории с целью хранения воды и/или регулирования стока специальными сооружениями, создания напора.

Первые водоохранилища появились на Земле более 4 тыс. лет назад. Их строили для целей орошения земель и борьбы с наводнениями в Древнем Египте, Месопотамии и Китае. Но массовый и повсеместный характер создание водоохранилищ приобрело с развитием гидроэнергетики в XX веке. Сейчас в мире эксплуатируется более 60 тыс. водоохранилищ и ежегодно появляется несколько сот новых.

Многие крупные реки планеты – Волга, Ангара, Миссури, Колорадо, Парана, Теннесси и другие превращены в каскады водоохранилищ. Водоохранилища созданы на некоторых крупных озерах (Байкал, Онежское, Виктория, Виннипег, Онтарио и др.) путем повышения уровня с помощью плотин, построенных вблизи истоков вытекающих из них рек.

Главная цель создания водоохранилищ – регулирование речного стока. Они строятся в основном в интересах энергетики, ирригации, водного транспорта, водоснабжения, лесосплава, рыбного хозяйства, в рекреационных целях и в целях борьбы с наводнениями.

Водоохранилища значительно изменили природный ландшафт. Несмотря на то, что водоохранилища созданы и эксплуатируются человеком, развиваются они по законам природы, воздействуют на нее, неразрывно с нею связаны и являются ее неотъемлемой частью.

### Основные характеристики водоохранилища

*Чашей водоохранилища* называют естественную или искусственную емкость, в которой аккумулируется вода. Период аккумуляции стока называется *наполнением водоохранилища*, а процесс отдачи накопленной воды – *сработкой водоохранилища*.

Высший проектный уровень водоохранилища, который подпорные сооружения поддерживают в нормальных эксплуатационных условиях в течение длительного периода, называется *нормальным подпорным уровнем* (НПУ). На этот уровень рассчитываются как сооружения инженерной защиты, так и все промышленные, транспортные, коммунальные и другие сооружения и объекты.

*Уровень мертвого объема* (УМО) – минимальный уровень водоохранилища, до которого возможна его сработка в условиях нормальной эксплуатации.

Объем воды, заключенный между НПУ и УМО, называется *полезным*, так как этот объем воды используется водопотребителями и водопользователями.

Объем воды, находящийся ниже УМО, называется *мёртвым*, его использование в нормальных условиях эксплуатации не предусматривается.

Суммарно полезный и мертвый объемы составляют *полный объем водоохранилища*. Площадь водной поверхности водоохранилища по урезу НПУ называют *площадью водного зеркала*.

В период пропуска паводковых расходов редкой повторяемости в водоохранилищах допускают кратковременное превышение уровня воды выше НПУ. При этом за счет временного увеличения объема водоохранилища происходит дополнительное снижение (срезка) величины сбросного расхода. Подъем уровня воды выше НПУ называется *форсированием уровня водоохранилища*, а пре-

дельный уровень форсировки – *форсированным подпорным* (ФПУ).

Полный объем, площадь водного зеркала и глубина являются основными морфометрическими характеристиками водохранилищ, в зависимости от которых их различают по категориям, начиная от крупнейших до малых.

По площади водохранилища классифицируются на крупнейшие (с площадью водного зеркала более 5000 км<sup>2</sup>), очень крупные (5000–500 км<sup>2</sup>), крупные (500–100 км<sup>2</sup>), средние (100–20 км<sup>2</sup>), небольшие (20–2 км<sup>2</sup>) и малые с площадью зеркала воды менее 2 км<sup>2</sup>. Небольшие водохранилища, создаваемые на малых реках и ручьях, называют *прудами*, а в земляных выемках – *копанями*.

Крупнейшие по площади зеркала водохранилища – это Вольта на р. Вольта (Гана), имеющее площадь зеркала 8480 км<sup>2</sup>, Братское на р. Ангаре (5470 км<sup>2</sup>), Куйбышевское на р. Волга (5900 км<sup>2</sup>), водохранилище Кариба на р. Замбези (Замбия) с площадью зеркала 4450 км<sup>2</sup>.

Наибольший полный объем воды имеют такие гиганты, как Братское водохранилище (169 км<sup>3</sup>), Кариба (160 км<sup>3</sup>), Насер (157 км<sup>3</sup>), Вольта (148 км<sup>3</sup>).

Классификация по глубине позволяет выделить три типа водохранилища:

*Мелкое водохранилище* характеризуется тем, что разность температур по глубине остается все время незначительной, изменчивость температуры у дна почти такая же, как у поверхности, а теплообмен с дном соизмерим с теплообменом с атмосферой. К таким водохранилищам относятся равнинные водохранилища с глубиной до 10 м.

*Глубокое водохранилище* отличается от мелкого наличием перепада температур по глубине; изменчивость температуры у дна невелика, теплообмен с дном составляет незначительную часть теплообмена с атмосферой. К таким водохранилищам относятся равнинные водохранилища и водохранилища предгорных областей со средней глубиной до 30–35 м.

*Очень глубокое водохранилище* характеризуется наличием термической стратификации. У дна температура остается постоянной в течение года, примерно + 4°С – температура наибольшей

плотности воды, а на определенной глубине формируется слой температурного скачка – термоклина, отделяющего зону, где температура изменяется в годовом разрезе.

Характер рельефа местности, где создается водохранилище, определяет его основные морфометрические параметры – ширину, длину, глубину, а также полный объем и площадь водного зеркала.

По рельефу местности водохранилища бывают равнинные, предгорные (плоскогорных областей), горные (высокогорные).

*Равнинные водохранилища*, как правило, образованы низко- и средненапорными гидроузлами с максимальными глубинами до 30–40 м в створе плотины. Общими чертами всех равнинных водохранилищ являются значительная площадь водного зеркала, мелководий и подтоплений, небольшая глубина сработки (2–7 м), неустойчивая береговая линия за счет переработки берегов, возможности комплексного использования.

*Водохранилища плоскогорий и предгорных областей* отличаются значительными максимальными глубинами (до 100 м) и глубиной сработки (10–20 м). Створ плотины часто располагается на выходе из ущелья, что позволяет уменьшить долю затопленных территорий в общем объеме водохранилища. Ложе и борта таких водохранилищ сложены скальными породами, что уменьшает степень их размыва и переформирования, однако вынос твердого стока с предгорных участков реки способствует быстрому заилению водохранилищ.

*Горные водохранилища* отличаются относительно небольшой площадью водного зеркала и затопленных земель, большими средними глубинами (100–200 м) и очень большими глубинами сработки (50–100 м и более). Для этих водохранилищ характерны высокая степень занесения твердым стоком и выраженные явления термической стратификации водной массы.

В целом характер природных процессов, протекающих в водохранилищах, в первую очередь зависит от их расположения по климатическим зонам планеты. Различают водохранилища северной климатической зоны, умеренных широт, субтропического и тропического поясов, экваториального пояса, а также аридных областей земли.

Для водохранилищ северных широт характерны интенсивная переработка берегов из-за оттаивания многолетней мерзлоты, заторные и зажорные явления в верховьях, незамерзающие полыньи в нижних бьефах гидроузлов и т.п. Для водохранилищ южных широт основными проблемами эксплуатации являются заиление, значительное испарение с водной поверхности, бурное развитие высшей водной растительности, которая, являясь помехой при эксплуатации, также увеличивает потери на испарение, вызывает снижение насыщенности глубинных слоев воды кислородом.

### Назначение водохранилищ

По назначению все водохранилища разделяются на водохранилища одноцелевые и комплексного назначения.

*Одноцелевые водохранилища питьевого назначения* используются исключительно в целях питьевого водоснабжения, их использование другими отраслями не допускается. Для этих водоемов и их береговых зон устанавливается специальный режим водоохраны.

Во многих регионах земного шара, где проблема нехватки воды стоит очень остро, строятся водохранилища питьевого назначения, перехватывающие и аккумулирующие местный сток. На территории Крымского полуострова насчитывается 1657 водотоков, включая реки и ручьи общей длиной 5996 км со среднемноголетним стоком 0,58 км<sup>3</sup>. Для водотоков Крыма характерны обильные паводки, а в период межени многие мелкие реки и ручьи полностью пересыхают. Для накопления воды в период паводков в Крыму создано 23 водохранилища общим объемом 0,4 км<sup>3</sup> и 1900 оросительных прудов.

Одноцелевые водохранилища создаются в интересах одного предприятия или отрасли – водохранилища для охлаждения агрегатов ТЭС и АЭС, рыбохозяйственного, рекреационного назначения и т.п. Цели строительства водохранилища могут быть узкоспециальные, например, для проведения Олимпиады 2014 г. в Сочи проектировалось крупное горное водохранилище в долине реки Псехако для создания запаса воды для обеспечения искусственным снегом лыжных соревнований, так как естественный снег не соответствует международным нормативам.

*Комплексные водохранилища* используются в интересах нескольких отраслей – энергетики, сельского хозяйства, промышленности, хозяйственно-питьевого водоснабжения, водного транспорта, для защиты от наводнений и др.

Основным потребителем пресной воды является сельское хозяйство, на долю которого в мире приходится почти 3400 км<sup>3</sup>/год. Сегодня на поливных землях, составляющих почти 15% всех обрабатываемых земель, производится более половины всей сельскохозяйственной продукции.

Крупным потребителем водных ресурсов являются отрасли промышленности. В России основная доля водопотребления приходится на промышленность. На территории Русской равнины с каскадами водохранилищ на реках Волга, Кама, Дон, Днепр, Шексна, Днестр, Кубань и др., занимающей 12% территории России, создано более 1800 водохранилищ, что составляет почти 70% от их общего числа по стране. Здесь проживает около четверти населения России и производится почти 60% промышленной и сельскохозяйственной продукции. Почти все водохранилища Русской равнины имеют комплексное назначение.

Использование водохранилищ для хозяйственно-питьевого водоснабжения также составляет значительную долю водопотребления. Потребность Москвы в питьевой воде примерно на 60% обеспечивается за счет Иваньковского водохранилища.

Энергетическое использование водохранилищ России на сегодняшний день развито недостаточно, освоено лишь 20% гидроэнергетических ресурсов крупных рек. Основной потенциал гидроэнергетики расположен в районах Сибири и Дальнего Востока. В большинстве промышленно развитых стран мира степень освоения гидроресурсов значительно выше, например, в Японии – 90%, США – 50%, Франции – 80%, в Канаде – 80%. В водохранилищах нуждаются не только ГЭС и ГАЭС, но и ТЭС, АЭС. Часто на базе комплексного использования водохранилища формируется территориально-производственный комплекс (ТНК), в состав которого входит ТЭС или АЭС. Наиболее крупные водохранилища, используемые в теплоэнергетических целях, – Иркутское, Новосибирское, Камское и др.

Общая протяженность искусственных водных путей России составляет 20 тыс. км, из которых 12 тыс. км приходится на долю

водохранилищ. На сегодняшний день удельный вес грузоперевозок речным транспортом в общем объеме грузоперевозок невелик и составляет всего 5%. Невысокая доля речного транспорта связана с сезонностью работы, с несовпадением внутренних водных путей и направлением грузопотоков, со ступенчатостью глубин на незарегулированных реках, с простоями в ожидании, фарватера и т.п. Каскады гидроузлов на реках Волга, Кама, Дон, Днепр заложили основу Единой Глубоководной Транспортной Системы Европейской части России, соединившей северные и южные моря, протяженностью более 5 тыс. км с гарантированными глубинами не менее 3,5 м. Для межбассейновых соединений часто требуется создание дополнительных водохранилищ, питающих водораздельный бьеф водой.

Использование для целей рекреации береговых зон водохранилищ чрезвычайно перспективно. В Московском регионе в целях рекреации используются водохранилища водораздельного бьефа, такие как Химкинское, Пироговское и др. В то же время использование водохранилищ в рекреационных целях связано и с соблюдением ряда норм и требований к его эксплуатации. Например, в период туристического сезона уровень режим водохранилища не должен изменяться более чем на 0,5 м, при этом должен быть ограничен или запрещен сброс неочищенных стоков вблизи зон отдыха. Все требования, предъявляемые к водохранилищам рекреационного назначения, в полной мере могут быть удовлетворены лишь на водохранилищах одноцелевого, рекреационного назначения. С теми или иными ограничениями для целей рекреации используется большинство созданных водохранилищ.

Строительство водохранилищ изменяет естественную среду обитания, пути миграции, места питания и размножения рыбы. В целях создания условий воспроизводства рыб, на водохранилищах рыбохозяйственного назначения в период нереста устанавливается специальный режим с ограничением глубины и скорости колебаний верхнего бьефа.

Регулирование стока противопаводковыми водохранилищами защищает от затопления более 1 млн га сельскохозяйственных земель, а также села и города России. Такие водохранилища как Зейское, Бурейское, Саяно-Шушенское, являющиеся водохрани-

лищами комплексного назначения, позволяют в несколько раз выполнять срезку максимальных расходов воды паводка и аккумулировать воду для выработки электроэнергии.

Водохранилища, расположенные выше места сброса сточных вод, способствуют улучшению санитарно-экологического состояния реки за счет дополнительных попусков, предназначенных для разбавления. С этой целью были запроектированы гидроузлы на р. Белая и р. Томь в уральском промышленном регионе.

### **Учет влияния водохранилищ на окружающую среду при проектировании и эксплуатации гидроузлов**

Проблемы, связанные с проектированием, строительством и эксплуатацией крупных гидроузлов, можно разделить на первичные, которые можно учесть на стадии проектирования, и вторичные, возникающие как следствие возведения гидросооружений и водохранилищ.

*Из первичных проблем, возникающих при проектировании, основные:*

- выбор генеральной схемы использования водных ресурсов;
- обоснование оптимальных параметров гидроузлов и водохранилищ;
- мониторинг водных, земельных и лесных ресурсов в зоне строительства гидроузла;
- эколого-экономическое обоснование подготовки ложа водохранилища под затопление;
- переселение на новые территории людей, проживающих в зоне предполагаемого затопления;
- инженерная защита от затопления и подтопления городов, населенных пунктов, отдельных предприятий;
- восстановление на новом месте сельскохозяйственных угодий вместо затопленных;
- рыбохозяйственное освоение водоема, строительство рыбоходов, восстановление естественного воспроизводства рыб;
- транспортное освоение водохранилища: увеличение глубин, устройство убежищ для судов и плотов при штормах; создание новой судовой обстановки, строительство пристаней; перевалка грузов через плотины;

санитарная подготовка ложа перед затоплением;  
мероприятия по предотвращению водной и ветровой эрозии в зоне водохранилищ;

лесосводка и лесочистка ложа перед затоплением и посадка лесных насаждений на новом месте.

Более сложны и взаимосвязаны вторичные проблемы, последствия которых проявляются через многие годы после завершения строительства. Их трудно предсказать с достаточной научной обоснованностью. И многие из них остаются неразрешимыми в обозримом будущем.

*Вторичные проблемы* можно подразделить на экологические и социальные. Основные экологические проблемы следующие:

эрозия береговой линии водохранилищ, переформирование берегов, дна, устьевых участков рек, впадающих в водохранилища;

появление на акватории водохранилищ запасов плавающей древесины вследствие береговой эрозии;

изменение уровня грунтовых вод;

изменение температурного режима водной массы и окружающей среды, приводящее к повышению влажности, появлению интенсивных и продолжительных по времени туманов;

дополнительные потери воды на испарение;

изменение качественного состава воды в водохранилище;

изменения растительного и животного мира;

нарушения условий нереста рыбы;

опасность провокации колебания земной коры в связи с сооружением крупных плотин и водохранилищ.

Социальные проблемы связаны с изменением условий жизни населения прибрежных территорий. При строительстве гидроузла «Три ущелья» в КНР на переселение жителей с территорий, подлежащих затоплению, было отпущено около 13 млрд долларов, 60% которых предназначалось на освоение новых сельхозземель и личных угодий для 600 тыс. крестьян. Эта сумма компенсационных выплат превышает стоимость строительства всех сооружений гидроузла. Но зачастую возникают ситуации, которые нельзя предусмотреть при проектировании водохранилищ. Так, в настоящее время актуальной является проблема, связанная с проектным

сезонным затоплением территорий в верхнем и нижнем бьефах противопаводковых гидроузлов при прохождении паводков редкой повторяемости. Подпор, создаваемый гидроузлом, распространяется вверх по течению реки, но границы затоплений с течением времени могут расширяться из-за разрушения берегов. При отводе территорий под затопление устанавливаются размеры компенсационных выплат за изъятые земли, в том числе в зоне отчуждения, они закладываются в сметную стоимость строительства. Однако на практике часто оказывается, что, несмотря на установленное отчуждение, земли, подлежащие сезонному затоплению при паводках редкой повторяемости, как в верхних, так и в нижних бьефах, в маловодные и средневодные годы застраиваются под садово-дачные и огородные хозяйства. При прохождении высоких вод паводков и половодья эти территории могут подвергнуться затоплению и подтоплению, при этом компенсация ущерба владельцам затопленных участков не предусмотрена.

Компенсация потерянных сельхозугодий при создании водохранилищ проводится путем освоения и мелиорации новых земель, проведения на них комплекса агротехнических мероприятий. Кроме того, земли, изъятые под затопление, не полностью исключаются из сельскохозяйственного производства. На водохранилищах многолетнего регулирования под сенокосы и пастбища могут быть использованы земли временного затопления.

Подтопление территорий происходит при подъеме уровня воды в верхнем бьефе, что вызывает повышение уровня грунтовых вод в прибрежной зоне. При подтоплении изменяются условия дренирования грунтовых вод, водный режим и свойства почв, меняется травянистая и древесная растительность, животное население, микроклимат и микрорельеф. По существующим нормам глубина залегания грунтовых вод от поверхности земли для городов должна быть не менее 3 м, для сел – 2 м, для сельхозугодий – 1 м. Даже слабые подтопления в городской черте ведут к затоплению подвалов, отрицательно сказываются на состоянии фундаментов зданий. Для борьбы с подтоплением береговой зоны необходимо предусматривать сооружение дамб обвалования и создание за ними надежной дренажной системы, работа которой требует постоянного контроля во время эксплуатации.

На Волжско-Камском, Днепровском, Свирском каскадах площади затопленных земель составляют около 3% от площади затопленных земель. Данные многолетних наблюдений за уровнями и напорами подземных вод в прибрежных районах ряда водохранилищ показывают, что подъем уровня грунтовых вод продолжается длительное время. Например, в берегах Красноярского, Каховского, Горьковского, Волгоградского водохранилищ подъем грунтовых вод продолжался и через 10–15 лет после их наполнения.

Переформирование берегов водохранилищ представляет собой сложный комплекс геодинамических процессов, приводящий к изменению первичного рельефа береговой линии. Это абразивно-аккумулятивные процессы, связанные с разрушением, перемещением и отложением грунтового материала берегов, обвальнопользовательные процессы, связанные с нарушением устойчивости береговых склонов, карстовые и провальнопросадочные процессы, вызванные химической и механической суффозией.

В нижних бьефах гидроузлов в результате регулирования стока водохранилищами происходит существенное изменение режимов расходов и уровней реки.

Многолетнее и сезонное регулирование приводит к уменьшению половодных расходов и к увеличению меженных. Влияние сезонного регулирования сказывается на расстоянии нескольких сотен километров вниз по течению реки.

Суточное регулирование мощности ГЭС приводит к колебаниям уровней нижнего бьефа, что осложняет работу водного транспорта, вызывает затруднения при работе погрузочно-разгрузочных средств портов и пристаней. В зимнее время значительные колебания уровней влияют на состояние ледового покрова, приводят к выходу воды на лед, к взламыванию ледяных полей, образованию торосов. Сужение живого сечения русла, повышение уровней воды перед заторами нередко являются причинами зимних наводнений.

Значительные суточные и недельные колебания уровней в период нереста приводят к периодическому затоплению и осушению береговой полосы, вызывая частичную гибель отложенной икры.

Русловые процессы в нижних бьефах гидроузлов представлены тем же комплексом геодинамических явлений, что и при переформировании берегов водохранилища, но с той разницей, что причина заключается в том, что в связи с осадением наносов в водохранилище осветленная вода через водосбросные сооружения попадает в нижний бьеф и интенсивно размывает русло. Особенно интенсивно размыв проявляется в первые годы после образования водохранилищ и продолжается до полного заиления подпертого бьефа, пока не восстановится транзит наносов, и река не наберет свою первоначальную мутность. Распространяются зоны размыва вниз по реке на значительные расстояния. При размыве русел происходит понижение дна реки и понижение уровней воды в реке, размыв пляжей вблизи устьев рек.

Иногда в подпертых нижних бьефах резкое снижение или прекращение попусков при регулировании приводит к тому, что образуются обратные стоковые течения. При этом происходит ухудшение бактериального состава воды и накопление загрязнений в районе выпуска сточных вод с увеличением их концентрации в сотни раз. Поэтому основной мерой по предотвращению попадания опасных веществ в питьевую воду является поддержание стоковых течений за счет “санитарных” попусков, рассчитанных на преодоление как обратных, так и ветровых течений.

Водохранилища, в особенности крупные, представляют собой мощные аккумуляторы теплоты, что определяет их влияние на температурный и влажностный режим прилегающих территорий. Влияние водохранилищ на климат проявляется в виде сглаживания колебаний температур воздуха на прилегающих территориях, изменения направления и силы ветра (возникают ветры типа бризов), изменения влажности воздуха, изменения зимнего режима реки в нижних бьефах.

Отепляющее влияние водохранилищ проявляется в повышении осенне-зимних температур воздуха, причем повышение зимних температур происходит также за счет сбросов “теплых” масс воды (с температурой около 4° С) в нижний бьеф и образования в нем незамерзающей полыньи. Незамерзающая полынья в нижнем бьефе простирается на десятки километров вниз по течению и приводит к увеличению зимней влажности воздуха и образованию

туманов парения. Зимние туманы, водяная пыль и брызги, возникающие при сопряжении бьефов, в районах с суровым климатом создают затруднения в эксплуатации гидросооружений из-за образования наледей, обледенения ЛЭП и т.п. С повышением влажности воздуха и туманами в зимний период связывают увеличение заболеваемости ОРВИ населения крупных городов, расположенных в нижних бьефах гидроузлов, это было отмечено в Красноярске после строительства Красноярской ГЭС. В южных районах повышенное испарение с поверхности водохранилищ приводит к увеличению влажности прилегающих территорий, что благотворно сказывается на их сельскохозяйственной продуктивности, к смягчению воздействий суховея.

Охлаждающее влияние водохранилищ сказывается на снижении весенне-летних температур воздуха, что является благоприятным фактором для стран с жарким климатом. Однако снижение летних температур воды в реке из-за поступления в нее холодных вод глубинных слоев водохранилища негативно сказывается на рекреационном и рыбопромысловом использовании реки.

Строительство водохранилищ влияет на сейсмичность территории. Имеющиеся к настоящему времени данные по зарегистрированным проявлениям наведенной сейсмичности говорят о том, что при техногенных землетрясениях происходит лишь рядка тектонических напряжений, которые были накоплены ранее.

### Технико-экономические показатели водохранилищ

За основу распределения водохранилищ по категориям с целью облегчения анализа их технико-экономических показателей и эффективности комплексного использования принята полезная емкость водохранилищ ( $V_{\text{полез}}$ ). Величина полезной емкости особенно важна для водохранилищ, используемых в целях водопотребления и в энергетических целях, хотя она не в полной мере характеризует эффект транспортного и рыбохозяйственного использования, а также эффект от рекреации. Для каскадов водохранилищ, расположенных в одном речном бассейне, используют понятие *суммарной полезной емкости*.

Для предварительных оценок эффективности водохранилищ большое значение имеет показатель площади затопляемых земель

( $S$ ), так как именно размер затопляемых земель дает количественную оценку главному отрицательному последствию их создания.

Показатель, определяющий “цену” создания единицы полезной емкости водохранилищ, выражается соотношением  $S/V_{\text{полез}}$ . Анализ удельной затопляемости показывает, что это отношение наиболее благоприятно у крупных и крупнейших водохранилищ.

Для водохранилищ энергетического назначения часто используются показателем площади затоплений, приходящейся на 1 млн кВт·ч выработки электроэнергии на ГЭС. Так, для Ивановской и Рыбинской ГЭС этот показатель достиг 160 га/млн кВт·ч, для Чебоксарского водохранилища – 14 га/млн кВт·ч, на ГЭС Ангаро-Енисейского каскада составляет в среднем 4,1 га/млн кВт·ч

Основными экономическими показателями водохранилищ являются удельные капиталовложения. Эти показатели составляют как отношения стоимости капиталовложений в создание водохранилища и гидроузла ( $K_{\text{в}}$  и  $K_{\text{г}}$  соответственно) к полезной емкости водохранилища, к площади орошаемых за счет вод водохранилища земель ( $S_{\text{ор}}$ ), к выработке электроэнергии на ГЭС и пр.

Затраты на организацию водохранилищ составляют основную долю от сметной стоимости строительства гидроузла (на Чебоксарском гидроузле – 44%, в среднем – 15–20%). Они распределяются по отраслям-участникам водохозяйственного комплекса (ВХК) дифференцировано, в зависимости от вида водопользования и стоимости воды. В некоторых видах затрат (санитарная подготовка ложа, транспортное и рыбо-хозяйственное освоение водоема, экологическое обустройство и т.п.) принимают участие заинтересованные министерства и ведомства.

Создание водохранилищ связано с разрешением множества конфликтов и противоречий как между самими участниками ВХК, так и с хозяйствующими объектами и местным населением, которым наносится ущерб при строительстве гидроузла. Для разрешения противоречий в первом случае заключаются межотраслевые договоры о правилах пользования водными ресурсами водохранилища, составленных на базе диспетчерских графиков колебания уровней и расходов воды в водохранилище, во втором случае –

производятся компенсационные выплаты, которые закладываются в сметную стоимость строительства.

### Вопросы для самопроверки

1. Какие объекты капитального строительства входят в водохозяйственную систему?
2. Основные задачи регулирования речного стока.
3. Основные характеристики водохранилищ.
4. Назначение водохранилищ.
5. Как учитывается влияние водохранилищ на окружающую среду при проектировании и эксплуатации гидроузлов?
6. Основные технико-экономические показатели водохранилищ.

### Список рекомендуемой литературы к главе 1

1. **Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А.** Водоохранилища. М: Мысль. 1987.
2. **Водный** кодекс Российской Федерации от 03.06.2006. N 74-ФЗ.
3. **Гидротехнические** сооружения: Учеб. для вузов: 1 и 2 части / Л.Н. Рассказов, В.Г. Орехова, Ю.П. Правдивец и др.: Под ред. Л.Н. Рассказова. М.: Стройиздат. 2008.
4. **ГОСТ 19185-73.** Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения.
5. **Методические** указания по оценке влияния гидротехнических сооружений на окружающую среду. РД 153-34.2-02.409-2003. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2003.

## Глава 2

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ. СОСТАВ ПРОЕКТА. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ИЗЫСКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Водохозяйственное проектирование представляет собой сложную задачу и ведется в трех основных направлениях:

1. Проектирование собственно мероприятий по эффективному использованию водных ресурсов;
2. Проектирование сооружений, обеспечивающих осуществление этих мероприятий;
3. Проектирование защитных мероприятий, связанных с вредным воздействием гидротехнических сооружений и водохранилищ на существующий режим водотока, условия жизни и хозяйство прибрежных районов.

Проектирование водохозяйственных систем выполняется в соответствии с нормативными документами, которые устанавливают состав, порядок разработки, согласования и утверждения проектной документации.

Проектная подготовка строительства предусматривает проведение таких видов работ как подготовка исходных данных, разработка проектной документации; согласование, экспертиза и утверждение проектной документации; разработка рабочей документации. Результатом проектной подготовки строительства является получение разрешения на производство строительных работ в установленном порядке.

В Российской Федерации подготовка проектной документации осуществляется в соответствии с Градостроительным кодексом Рос-

сийской Федерации и Постановлениями Правительства Российской Федерации № 87 от 16 февраля 2008 г. «Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» и № 145 от 05.03.2007 г. «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий».

Исходные данные изысканий для подготовки проектной документации должны быть представлены в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации № 20 от 19.01.2006 г. «Об инженерных изысканиях для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства».

С 1 января 2010 года проектные и строительные организации могут работать только при допуске Саморегулируемой организации (СРО). Свидетельства о допуске необходимо получить в СРО на отдельные виды работ по проектированию, строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства. Порядок образования и деятельности саморегулируемой организации, основные цели и задачи регулируются Законом № 315-ФЗ от 01.12.2007 г. «О саморегулируемых организациях», а также федеральными законами, регулирующими соответствующий вид деятельности. Саморегулируемой организацией признаётся некоммерческая организация, созданная в соответствии с Гражданским кодексом Российской Федерации и Федеральным законом от 12 января 1996 года № 7-ФЗ «О некоммерческих организациях».

В «Градостроительном кодексе дается определение СРО: *Саморегулируемая организация* в области инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства — некоммерческая организация, созданная в форме ассоциации (союза) и основанная на членстве индивидуальных предпринимателей и (или) юридических лиц, выполняющих инженерные изыскания или осуществляющих архитектурно-строительное проектирование, строительство, реконструкцию, капитальный ремонт объектов капитального строительства.

*Саморегулируемые организации в строительстве и проектировании могут быть основаны на членстве лиц:*

выполняющих инженерные изыскания;  
осуществляющих подготовку проектной документации;  
осуществляющих строительство.

Кроме того, с 03.08.2018 г., в соответствии с требованиями ст.55.5-1 «Градостроительного кодекса», право осуществлять организацию выполнения работ по инженерным изысканиям, проектированию, строительству, реконструкции, капитальному ремонту, сносу объекта капитального строительства в должности главного инженера проекта, главного архитектора проекта может быть физическое лицо, сведения о котором включены в национальный реестр специалистов в области инженерных изысканий и архитектурно-строительного проектирования или в национальный реестр специалистов в области строительства.

Состав проекта определен Постановлением Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию». Заказчик должен подготовить проектную документацию в объеме, достаточном для проведения государственной экспертизы и осуществления строительства.

Рабочая документация разрабатывается в целях реализации в процессе строительства архитектурных, технических и технологических решений. Она может быть разработана как одновременно с подготовкой проектной документации, так и после ее подготовки. При этом объем, состав и содержание рабочей документации должны определяться заказчиком (застройщиком) в зависимости от степени детализации решений, содержащихся в проектной документации, и указываться в задании на проектирование.

В зависимости от ответственности, экономических, социальных и экологических последствий при аварии, высоты плотины, геологического строения основания гидротехнические сооружения делятся на классы в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 02.11.2013 г. «О классификации гидротехнических сооружений». Глубина проработки расчетной части проекта в большой степени зависит от класса проектируемых сооружений.

Состав разделов проектной документации утвержден в отношении различных видов объектов капитального строительства (объектов производственного и непроизводственного назначения, линейных объектов) и в отношении отдельных этапов строительства, реконструкции и капитального ремонта этих объектов.

Объекты капитального строительства в зависимости от функционального назначения и характерных признаков подразделяются на следующие виды:

а) объекты производственного назначения (здания, строения, сооружения производственного назначения, в том числе объекты обороны и безопасности), за исключением линейных объектов;

б) объекты непроизводственного назначения (здания, строения, сооружения жилищного фонда, социально-культурного и коммунально-бытового назначения, а также иные объекты капитального строительства);

в) линейные объекты (трубопроводы, автомобильные и железные дороги, линии электропередачи и др.).

Проектная документация на объекты капитального строительства производственного и непроизводственного назначения состоит из 12 разделов.

#### *Раздел 1. Пояснительная записка*

Пояснительная записка охватывает все части проекта. Она характеризует природные и хозяйственные условия, рассмотренные и принятые варианты технических решений, конструктивные решения, сводные данные по объемам работ, потребным ресурсам и организации строительства, требуемые инвестиции и технико-экономические показатели.

*В текстовой части* приводятся сведения о документах, на основании которых принято решение о разработке проектной документации, исходные данные и условия для подготовки проектной документации на объект, правоустанавливающие документы, утвержденный и зарегистрированный в установленном порядке градостроительный план земельного участка, технические условия, документы о согласовании отступлений от положений технических условий, иные исходно-разрешительные документы.

В «Пояснительной записке» рассчитывается потребность объекта в топливе, газе, воде и электрической энергии; указываются данные о проектной мощности объекта капитального строительства, дается обоснование строительства объекта по этапам с выделением этих этапов (при необходимости); отмечается, что проектная документация разработана в соответствии с градостроительным планом земельного участка, заданием на проектирование, градостроительным регламентом, документами об использовании земельного участка для строительства, техническими регламентами.

*Раздел 2. Схема планировочной организации земельного участка.*

*В текстовой части* раздела дается характеристика земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства; обоснование границ санитарно-защитных зон объектов капитального строительства в пределах границ земельного участка — в случае необходимости определения указанных зон в соответствии с законодательством Российской Федерации.

*В графической части* приводится схема планировочной организации земельного участка.

#### *Раздел 3. Архитектурные решения.*

*Текстовая часть* должна содержать описание и обоснование внешнего и внутреннего вида объекта, его пространственной, планировочной и функциональной организации; обоснование принятых объемно-пространственных и архитектурно-художественных решений.

*В графической части* приводятся графические и экспозиционные материалы.

*Раздел 4. Конструктивные и объемно-планировочные решения.*

*В текстовой части* раздела приводятся сведения о топографических, инженерно-геологических, гидрогеологических, метеорологических и климатических условиях земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства; описание и обоснование конструктивных и технических решений зданий и сооружений, включая их пространственные схемы

и подземную часть, принятые при выполнении расчетов строительных конструкций.

*В графической части* – чертежи характерных разрезов зданий и сооружений.

*Раздел 5. Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений* должен состоять из следующих подразделов:

- а) Система электроснабжения;
- б) Система водоснабжения;
- в) Система водоотведения;
- г) Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, тепловые сети;
- д) Сети связи;
- е) Система газоснабжения;
- ж) Технологические решения.

*Раздел 6. Проект организации строительства* должен содержать:

*В текстовой части:*

характеристику района по месту расположения объекта капитального строительства и условий строительства;

описание особенностей проведения работ;

обоснование принятой организационно-технологической схемы, определяющей последовательность возведения зданий и сооружений, инженерных и транспортных коммуникаций, обеспечивающей соблюдение установленных в календарном плане строительства сроков завершения строительства (его этапов);

перечень видов строительных и монтажных работ, ответственных конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения, подлежащих освидетельствованию с составлением соответствующих актов приемки перед производством последующих работ и устройством последующих конструкций;

технологическую последовательность работ при возведении объектов капитального строительства или их отдельных элементов;

обоснование потребности строительства в кадрах, основных строительных машинах, механизмах, транспортных средствах, в

топливе и горюче-смазочных материалах, а также в электрической энергии, паре, воде, временных зданиях и сооружениях;

описание проектных решений и мероприятий по охране окружающей среды в период строительства;

обоснование принятой продолжительности строительства объекта и его отдельных этапов;

перечень мероприятий по организации мониторинга за состоянием зданий и сооружений, расположенных в непосредственной близости от строящегося объекта, земляные, строительные, монтажные и иные работы, которые могут повлиять на техническое состояние и надежность таких зданий и сооружений.

*В графической части:*

календарный план строительства;

строительный генеральный план.

*Раздел 7. Проект организации работ по сносу или демонтажу объектов капитального строительства* выполняется при необходимости сноса (демонтажа) объекта или части объекта капитального строительства.

*Раздел 8. Перечень мероприятий по охране окружающей среды* должен содержать:

*В текстовой части:*

результаты оценки воздействия объекта капитального строительства на окружающую среду (ОВОС) (при необходимости, в соответствии со ст. 49 Градостроительного кодекса и Федеральным законом «Об экологической экспертизе» [73], проводится экологическая экспертиза проектной документации, для которой нужно предоставить материалы общественных слушаний и специально разработанный том ОВОС);

перечень мероприятий по предотвращению и (или) снижению возможного негативного воздействия намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду и рациональному использованию природных ресурсов на период строительства и эксплуатации объекта капитального строительства;

перечень и расчет затрат на реализацию природоохранных мероприятий и компенсационных выплат.

*В графической части* — ситуационные планы (карты-схемы) района строительства с указанием границ земельного участка, границ санитарно-защитной зоны, расположения источников выбросов в атмосферу загрязняющих веществ и устройств по очистке этих выбросов; контрольных пунктов, постов, скважин и иных объектов, обеспечивающих отбор проб воды из поверхностных водных объектов, а также подземных вод.

*Раздел 9. Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности* должен содержать:

*В текстовой части* — описание системы обеспечения пожарной безопасности объекта капитального строительства.

*В графической части* — ситуационный план организации земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства, с указанием въезда (выезда) на территорию и путей подъезда к объектам пожарной техники, мест размещения и емкости пожарных резервуаров (при их наличии), схем прокладки наружного противопожарного водопровода, мест размещения пожарных гидрантов и мест размещения насосных станций; схемы эвакуации людей и материальных средств из зданий (сооружений) и с прилегающей к зданиям (сооружениям) территории в случае возникновения пожара; схемы технических систем (средств) противопожарной защиты

*Раздел 10. Мероприятия по обеспечению доступа инвалидов.*

*Раздел 11. Смета на строительство объектов капитального строительства* должен содержать *текстовую часть* в составе пояснительной записки к сметной документации и сметную документацию.

*Раздел 12. Иная документация в случаях, предусмотренных федеральными законами.*

*Состав разделов проектной документации на линейные объекты капитального строительства и требования к содержанию этих разделов*

Проектная документация на линейные объекты капитального строительства состоит из 10 разделов:

Раздел 1. Пояснительная записка.

Раздел 2. Проект полосы отвода.

Раздел 3. Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения.

Раздел 4. Здания, строения и сооружения, входящие в инфраструктуру линейного объекта.

Раздел 5. Проект организации строительства.

Раздел 6. Проект организации работ по сносу (демонтажу) линейного объекта.

Раздел 7. Мероприятия по охране окружающей среды.

Раздел 8. Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Раздел 9. Смета на строительство.

Раздел 10. Иная документация в случаях, предусмотренных федеральными законами.

Для водохозяйственных объектов проектная документация имеет свои особенности. Некоторые разделы проекта могут быть существенно расширены, другие, напротив, сокращены или могут отсутствовать полностью. Чаще всего отсутствует или существенно уменьшается технологическая часть. Ее роль выполняют разделы, связанные с функциональным назначением объекта или системы. Однако добавляются или расширяются разделы, связанные со смежными отраслями — сельскохозяйственным производством, землеустройством, лесоводством, водохозяйственной деятельностью и т.д.

Во многих случаях проектная документация может быть существенно сокращена. Для небольших объектов отдельные разделы можно объединять или исключать совсем. Небольшим объемом документации можно ограничиться, разрабатывая, например, проект небольшой дамбы, проект благоустройства оврага, проект берегоукрепительных работ небольшого участка малой реки и т.д.

Создание водохранилища вызывает сопутствующие вредные последствия. Например, затопляются и подтопляются земли, населенные пункты и промышленные предприятия, происходят деформации русла и берегов, уменьшаются скорости течения, что вызывает выпадение наносов и заиление водохранилищ; в нижних бьефах при этом под воздействием больших скоростей и повышенной транспортирующей способности осветленного потока

происходят размывы русла. Под влиянием подпора воды и регулирования изменяется режим расходов и уровней в верхнем и нижнем бьефах сооружений. В зоне водохранилищ и в нижних бьефах происходят изменения зимнего, термического и ледового режимов и т. д. Поэтому в состав проекта должны входить прогнозы неблагоприятных последствий строительства гидроузлов и проект мероприятий по устранению или уменьшению неблагоприятных последствий (Раздел 8).

Подпорные гидротехнические сооружения создают потенциальную опасность в случае прорыва напорного фронта для территории, расположенной в нижнем бьефе. В результате возможной аварии причиняется вред жизни, здоровью физических лиц (социальный ущерб), имуществу физических и юридических лиц (материальный ущерб), окружающей среде (экологический ущерб). Для учета возможных последствий аварий в составе раздела 12 проектной документации подпорных гидротехнических сооружений (гидроузлов) разрабатываются следующие документы:

1. «Расчет вероятного вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнических сооружений». В этом документе анализируют возможность развития аварий, из всех возможных аварий выбирают наиболее вероятную и наиболее тяжелую, для которых определяют зоны затопления при аварии и возможные последствия — социальный, материальный и экологический ущерб. В результате расчета ущерба назначают размер страховой суммы для организации-собственника ГТС (гидроузла).

2. «Критерии безопасности гидротехнического сооружения». В этом документе определяют признаки (диагностические показатели), свидетельствующие о начале деструктивного процесса, который может привести к аварии. Диагностические показатели могут контролироваться визуально или инструментально — с помощью контрольно-измерительной аппаратуры, а также расчетами (например, устойчивость сооружения). Критерии безопасности — предельные значения диагностических количественных и качественных показателей состояния ГТС и условий его эксплуатации, соответствующие допустимому уровню аварии ГТС.

3. «Декларация безопасности гидротехнического сооружения» — основной документ, который содержит сведения о соответствии гидротехнического сооружения критериям безопасности. В декларации приводятся также сведения о силах и средствах, которые имеются на предприятии для предупреждения, локализации и ликвидации возможных аварий.

Изыскания при проектировании выполняются в соответствии с Постановлением РФ № 20 от 19.01.2006 г. «Об инженерных изысканиях для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства».

#### *Основные виды инженерных изысканий:*

1. Инженерно-геодезические изыскания;
2. Инженерно-геологические изыскания;
3. Инженерно-гидрометеорологические изыскания;
4. Инженерно-экологические изыскания;
5. Инженерно-геотехнические изыскания.

#### *Специальные виды инженерных изысканий:*

1. Геотехнические исследования;
2. Обследования состояния грунтов оснований зданий и сооружений, их строительных конструкций;
3. Поиск и разведка подземных вод для целей водоснабжения;
4. Локальный мониторинг компонентов окружающей среды;
5. Разведка грунтовых строительных материалов;
6. Локальные обследования загрязнения грунтов и грунтовых вод.

Это далеко не полный перечень работ, которые могут предусматриваться комплексными изысканиями. Могут потребоваться земляные и кадастровые работы, изучение свойств подземных вод. Кроме того, в зависимости от цели строительства и местоположения участка, отведенного под строительство, могут быть проведены археологические изыскания, разработан проект освоения лесов при проведении инженерных изысканий. Определить, какие направления для изысканий потребуются под конкретный проект, можно после изучения технического задания, предварительного выезда на место и изучения документации.

В настоящее время активно используются новые методы при проведении изысканий, к которым относится применение БПЛА (беспилотных летательных аппаратов или дронов). Благодаря использованию БПЛА топографическая съемка стала дешевле и эффективнее. С помощью дронов можно получить все необходимые данные о ландшафте окружающей местности, при этом сокращаются трудовые затраты и расходы на оборудование, а проектировщики получают необходимую информацию для оценки будущих площадок и могут принимать взвешенное решение о составе работ при проектировании.

Инженерные изыскания выполняются в соответствии с требованиями технических регламентов, а также с учетом материалов и данных инженерных изысканий, которые хранятся в государственном фонде материалов, и данных инженерных изысканий, а также в информационных системах обеспечения градостроительной деятельности.

Основанием для выполнения инженерных изысканий является заключаемый в соответствии с гражданским законодательством Российской Федерации договор между заказчиком (застройщиком) и исполнителем. К договору прилагаются техническое задание и программа выполнения инженерных изысканий.

Работы по договорам о выполнении инженерных изысканий, заключенным с застройщиком, должны выполняться только индивидуальными предпринимателями или юридическими лицами, которые являются членами саморегулируемых организаций в области инженерных изысканий. Выполнение инженерных изысканий по таким договорам обеспечивается специалистами по организации инженерных изысканий (главными инженерами проектов).

Заказчик (застройщик) и исполнитель определяют состав работ, осуществляемых в ходе инженерных изысканий как основных, так и специальных видов, их объем и метод выполнения с учетом специфики соответствующих территорий и расположенных на них земельных участков, условия передачи результатов инженерных изысканий, а также иные условия, определяемые в соответствии с гражданским законодательством Российской Федерации.

Результаты инженерных изысканий используются, в том числе, для формирования государственного фонда материалов и

данных инженерных изысканий и информационных систем обеспечения градостроительной деятельности.

### Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается проектная подготовка строительства водохозяйственных систем? В соответствии с какой нормативной документацией она выполняется?
2. Что такое допуск СРО?
3. Какие особенности имеет проектная документация водохозяйственных систем?
4. Какие основные разделы входят в состав проектной документации?
5. Какие три документа раздела 12 «Иная документация...» разрабатываются для подпорных гидротехнических сооружений?
6. Назовите виды инженерных изысканий при проектировании.

### Список рекомендуемой литературы к главе 2

1. **Арсеньев А.Г.** Основы водохозяйственного проектирования. Учебное пособие. Ленингр. гидрометеорологический ин-т. Л.: Ленингр. политехн. ин-т. 1985.
2. **Арсеньев Г.С.** Основы управления водными ресурсами водохранилищ. Учебное пособие. СПб.: Изд.РГГМУ. 2003.
3. **Арсеньев Г.С.** Основы управления гидрологическими процессами: водные ресурсы. Учебник. СПб.: изд.РГГМУ. 2005.
4. **Градостроительный** кодекс Российской Федерации от 29.12.2004. № 190-ФЗ.
5. **Водный** кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 №74-ФЗ.
6. **Федеральный** закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ. О безопасности гидротехнических сооружений.
7. **Федеральный** закон от 23.11.1995 № 174-ФЗ. Об экологической экспертизе.
8. **СП 58.13330.2012.** Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003.
9. **СП 47.13330.2016.** Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.
10. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 05.03.2007 № 145 «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий».

11. **Постановление** Правительства Российской Федерации № 20 от 19.01.2006. «Об инженерных изысканиях для подготовки проектной документации строительства, реконструкции объектов капитального строительства».

12. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 № 87 «Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» и № 145 от 05.03.2007 г.

13. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 02.11.2013 «О классификации гидротехнических сооружений».

## Глава 3

### **ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОБОСНОВАНИЕ ИНВЕСТИЦИЙ, ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ, РАБОЧАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ**

Механизм принятия решения о начале проектирования довольно сложный и может включать в себя много различных путей, недостаточно хорошо регламентированных. Проектированию могут предшествовать неожиданно возникшие проблемы, требующие быстрого решения, создание целевой программы, декларация о намерениях потенциального инвестора, технико-экономическое обоснование (ТЭО), обоснование инвестиций, оценка воздействия на окружающую среду.

Федеральные целевые программы и межгосударственные целевые программы, в осуществлении которых участвует Российская Федерация (далее – целевые программы), представляют собой увязанный по задачам, ресурсам и срокам осуществления комплекс научно-исследовательских, опытно-конструкторских, производственных, социально-экономических, организационно-хозяйственных и других мероприятий, обеспечивающих эффективное решение системных проблем в области государственного, экономического, экологического, социального и культурного развития Российской Федерации, а также инновационное развитие экономики.

*Целевые программы* являются одним из важнейших средств реализации структурной, научно-технической и инновационной политики государства, активного воздействия на его социально-экономическое развитие и сосредоточены на реализации крупно-

масштабных, наиболее важных для государства инвестиционных, научно-технических и инновационных проектов, направленных на решение системных проблем, входящих в сферу компетенции федеральных органов исполнительной власти. Порядок разработки и реализации федеральных целевых программ и межгосударственных целевых программ утвержден Постановлением Правительства Российской Федерации от 26.06.1995 № 594.

*Ходатайство (декларация) о намерениях* – это первичный предпроектный документ, представляемый на рассмотрение органа исполнительной власти, содержащий общую характеристику объекта, предлагаемое его размещение, включающее данные о потребности в изъятии и временном отводе земель с указанием сроков пользования. Разработка такого документа проводится в соответствии с «Типовым положением по разработке и составу ходатайства (декларации) о намерениях инвестирования в строительство предприятий, зданий и сооружений», утвержденным Министерством строительства Российской Федерации 17.03.1997.

*Обоснование инвестиций* – это комплекс исследований, работ, расчетов, направленный на определение целесообразности реализации того или иного инвестиционного проекта. Материалы обоснований инвестиций, привлекаемых для строительства, расширения, реконструкции и технического перевооружения предприятий, зданий и сооружений, являются предпроектной документацией. Этап разработки обоснования инвестиций – это внутреннее дело самого инвестора. Документ должен обосновать эффективность капиталовложений, срок окупаемости объекта и доход, который может принести строительство инвестору.

Цель разработки обоснования инвестиций – принятие решения о хозяйственной необходимости, технической возможности, коммерческой, экономической и социальной целесообразности инвестиций. В настоящее время в Российской Федерации стадия обоснования инвестиций при проектировании сооружений не является обязательной, и потому структура этого документа строго не регламентирована. Обоснование инвестиций даёт инвестору ответ на вопрос, стоит ли вкладывать средства в данный инвестиционный проект.

Стоимость работ по обоснованию инвестиций зависит, прежде всего, от степени изученности объекта, наличия проработок и обычно составляет от 1% до 10% объема инвестиций.

Инвестиционная деятельность в той или иной степени присуща любому предприятию. Принятие инвестиционного решения невозможно без обоснования и учета следующих факторов:

- вид инвестиции;
  - стоимость инвестиционного проекта;
  - множественность доступных проектов;
  - ограниченность финансовых ресурсов, доступных для инвестирования;
  - риск, связанный с принятием того или иного решения и др.
- Причины, обуславливающие необходимость обоснования инвестиций, могут быть различны, однако в целом их можно подразделить на три вида:

- обновление имеющейся материально-технической базы;
- наращивание объемов производственной деятельности;
- освоение новых видов деятельности.

Очевидно, что при технико-экономическом обосновании инвестиций важным является вопрос о размере предполагаемых инвестиций. Так, уровень ответственности, связанной с принятием проектов стоимостью 1 млн руб. и 100 млн руб., различен. Поэтому должна быть различна и глубина аналитической проработки экономической части.

В ходе разработки обоснования инвестиций проекта анализируется состояние бизнеса компании, совместно со специалистами Заказчика определяются основные направления и компоненты инвестиционной программы, ее бюджет, источники и рациональная структура (собственный/заёмный капитал) и намечается план действий по ее реализации. На основании подготовленной инвестиционной программы руководством компании принимается решение о ее финансировании.

На основе выбранной стратегии развития предприятия и разработанного подробного финансового плана производится многовариантный расчет устойчивости проекта (оптимистический, пессимистический, наиболее вероятный вариант), оценивается финансовый риск возврата инвестиций и выбирается оптимальная

реалистичная схема финансирования (акционерный капитал, кредиты, лизинг). Определяются реалистичные источники финансирования в существующих условиях.

В состав обоснования инвестиций гидроузла комплексного назначения входят:

исходные положения, включая общую характеристику социально-экономического развития района и характеристику объекта; гидрологические, топографические и инженерно-геологические изыскания;

обоснование размещения объекта, выбор участка местоположения створа в результате технико-экономического сравнения вариантов на основе материалов изысканий;

анализ современного состояния и перспектив развития социально-экономических условий района;

водохозяйственные и водноэнергетические расчеты по данным ряда наблюдений за стоком реки, водохозяйственный баланс с учетом развития экономики и увеличения потребности в воде на расчетные уровни;

анализ современного состояния и перспектив развития энергосистемы, уточнение требований энергосистемы к энергетическим параметрам, режимам работы и условиям выдачи мощности на расчетные уровни, исходя из ее планируемого перспективного развития, схемы присоединения ГЭС к энергосистеме;

обоснование основных параметров, включая НПУ, УМО, ФПУ, полезный объем водохранилища, расчетный паводковый расход, установленную и гарантированную мощность ГЭС (мощность в насосном режиме для ГАЭС), среднемноголетнюю выработку, а также выработку в экстремальные маловодный и многоводный годы, расчетный напор и расход, исходя из условий комплексного использования водохранилища и требований по охране окружающей среды;

схема генплана, компоновочно-конструктивные решения гидротехнических сооружений, основные решения по технологическому оборудованию, по взрывопожарной безопасности;

основные положения по организации строительства, срокам строительства, включая наполнение водохранилища и ввод гидроагрегатов;

основные решения по подготовке зоны водохранилища и нижнего бьефа;

детальный прогноз и оценка воздействия на окружающую среду, сопоставление вариантов, выработка рекомендаций, включая природоохранные, социальные, защитные и компенсационные мероприятия;

стоимость строительства;

экономический и финансовый анализ, технико-экономические показатели;

распределение общих капиталовложений между всеми водопользователями, что позволяет оценить эффективность объекта как в целом, так и каждого водопользователя.

После предпроектной стадии (обоснования инвестиций) выполняется *проектирование объекта*.

Перед началом проектных работ заказчик заключает договор с проектировщиком и выдает ему техническое задание на проектирование, прилагая к заданию основные документы, подготовленные на предпроектной стадии (в первую очередь «обоснование инвестиций» и «архитектурно-планировочное задание»). В разработке технического задания обычно принимает участие и сам проектировщик, но его роль в основном сводится к конкретизации и уточнению задач, которые ставит заказчик, окончательный же текст задания подписывает заказчик.

Содержание технического задания зависит от вида строительства. Оно регламентируется Постановлением Правительства Российской Федерации № 87 от 16 февраля 2008 г. «Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию», но подробный перечень данных и требований к проекту приводится только для объектов промышленного и гражданского строительства. Для водохозяйственных объектов, в связи с их исключительным разнообразием, формы технических заданий могут существенно различаться в зависимости от вида объекта и условий его возведения.

В любом случае в техническом задании должны быть указаны: основание для проектирования, особые условия строительства, основные технико-экономические показатели проектируемых объ-

ектов, требования к архитектурно-планировочным и конструктивным решениям, требования по охране природы. Для водохозяйственных объектов обычно возникает необходимость дополнительной конкретизации некоторых вопросов.

В техническом задании на проектирование водохозяйственной системы, как правило, указывается:

основание для разработки проекта (генеральная схема, генеральный план развития района, целевая программа охраны природы, обоснование инвестиций и др.);

местоположение, границы, площади;

назначение, требования заинтересованных отраслей – сельского хозяйства, гидроэнергетики, водного транспорта и др.;

ориентировочные параметры объектов проектирования (площади, расходы, мощности и т.д.);

требования к конструктивным решениям и способы регулирования водного режима;

сроки, очередность строительства.

Заказчик должен подготовить проектную документацию в объеме, достаточном для проведения государственной экспертизы и осуществления строительства.

Для обоснования принятых решений в составе проекта выполняются детальные инженерные расчеты, а также исследовательские работы, включая гидравлические, фильтрационные и другие исследования. В проекте определяются типы и параметры сооружений и технологического оборудования водохозяйственного объекта.

В содержание проекта гидроузла комплексного назначения входят:

характеристика района строительства и гидроэнергетического объекта;

дополнительные топографические и инженерно-геологические изыскания на выбранном участке створа и при необходимости – в зоне водохранилища;

уточнение генплана, выбор и обоснование рекомендуемого местоположения створа, компоновки гидроузла, типов и конструкции гидротехнических сооружений, комплекса контрольно-из-

мерительной аппаратуры, размещаемой в сооружениях, архитектурного решения, рекомендуемых типов и параметров технологического оборудования, основные положения по эксплуатации;

обоснование характерных отметок и основных технико-экономических показателей водохранилища (отметки НПУ, ФПУ, УМО, уровня предполоводной сработки, длины, ширины, глубины, площади зеркала, полного и полезного объемов);

детальные водохозяйственные и водноэнергетические расчеты, режимы работы гидроузла при выбранных параметрах, исходя из условий комплексного использования и требований по охране окружающей среды;

проектирование ложа водохранилища (зоны затопления), включающее;

переселение населения территории затопления;

восстановление сельхозпроизводства;

санитарную подготовку ложа водохранилища, включая лесосводку и лесочистку;

переустройство автомобильных и железных дорог;

вынос из зоны затопления инженерных сетей (линии связи и электропередач и пр.);

воднотранспортные мероприятия;

рыбохозяйственные мероприятия;

определение компенсационных затрат;

проектирование инженерных защит на берегах водохранилища и в нижнем бьефе;

организация строительства, включая пусковой комплекс и календарный график строительства;

оценка воздействий на окружающую среду (при необходимости, определяемой с участием соответствующих государственных органов);

разработка природоохранных, защитных и компенсационных мероприятий, мониторинг;

сметная документация;

техничко-экономическая часть, включая оценку эффективности принятых решений, экономический и финансовый анализ.

Рабочая документация разрабатывается на основании решений, принятых в утвержденном проекте, она включает рабочие

чертежи, по которым на строительной площадке ведутся строительно-монтажные работы, и сметную документацию. В современных нормативных документах нет указаний на последовательность разработки рабочей документации, ее разрабатывают как одновременно с подготовкой проектной документации, так и после ее подготовки. Состав и содержание рабочей документации определяет заказчик в задании на проектирование. Рабочая документация не проходит экспертизу, это те чертежи и текстовый материал, который используется непосредственно на стройке.

### **Технический регламент. Нормы и технические условия при проектировании**

В Российской Федерации 27.12.2002 г. был принят Федеральный закон о техническом регулировании № 184-ФЗ, который ввел понятие *Технического регламента*.

Технический регламент – в Российской Федерации нормативно-правовой акт, устанавливающий обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (в том числе зданиям, строениям и сооружениям, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации).

Закон разделил понятия технического регламента и стандарта, установив добровольный принцип применения стандартов. Технические регламенты, в отличие от стандартов, носят обязательный характер, однако могут устанавливать только минимально необходимые требования в области безопасности, причем приниматься они могут только в определенных целях, а именно:

защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;

охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений;

предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей, в том числе потребителей;

обеспечения энергетической эффективности и ресурсосбережения.

Принятие технических регламентов в иных целях не допускается.

Федеральным законом от 30 декабря 2009 года № 384-ФЗ (ст.5) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» предусмотрено, что безопасность зданий и сооружений, а также связанных с ними процессов проектирования обеспечивается посредством соблюдения требований стандартов и сводов правил, включенных в Перечень, утвержденный Постановлением Правительства Российской Федерации от 26.12.2014 № 1521.

Приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 17.05.2019 г. № 831 «Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 года № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» утвержден перечень нормативных документов, применение которых рекомендуется на добровольной основе.

Проектная документация, представленная на государственную или негосударственную экспертизу проектной документации и результатов инженерных изысканий, проверяется на соответствие национальным стандартам и сводам правил, включенным в перечень, утвержденный Постановлением Правительства Российской Федерации от 26.12.2014 № 1521.

*Технические условия* (ТУ) – это документ, отражающий требования, предъявляемые к строительству объекта государственными службами, отраслевыми ведомствами и другими заинтересованными организациями. Кроме этого, в них указывается, какими процедурами можно проверить соблюдение этих требований. Порядок подготовки технических условий следующий:

1. Государственные службы, отраслевые ведомства и другие заинтересованные организации предоставляют технические условия и требования для проектирования объектов по заявке заказчика (инвестора) в срок не более 15 дней со дня регистрации заявки.

2. Объем необходимых данных определяется организацией, предоставляющей технические условия, оформляется документом за подписью ответственного лица и доводится до сведения заказчика и других заинтересованных физических и юридических лиц.

*Специальные технические условия (СТУ)* – технические нормы, разработанные для конкретного объекта капитального строительства и содержащие дополнительные к установленным или отсутствующие технические требования в области безопасности, отражающие особенности инженерных изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации, а также демонтажа (сноса) объекта. Данный документ также необходим в тех случаях, когда в ходе проектирования невозможно соблюсти выполнение действующих нормативных требований.

В зависимости от степени обеспеченности планируемого к строительству объекта действующими нормативными положениями, по решению заказчика (инвестора) СТУ могут разрабатываться трех видов:

нормы, содержащие технические требования на проектирование, строительство и эксплуатацию объектов, указанных в статье 48.1 Градостроительного кодекса Российской Федерации, объектов культурного наследия (памятников истории и культуры), а также иных объектов, для проектирования которых недостаточно требований по надежности и безопасности, установленных нормативными техническими документами;

нормы, содержащие технические требования на проектирование и строительство объектов в части обеспечения пожарной безопасности;

нормы, содержащие технические требования по обеспечению сейсмической безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов на площадках сейсмичностью более 9 баллов для всех видов объектов.

Требования СТУ являются приоритетными для процессов проектирования и строительства объектов на территории РФ. При проектировании и строительстве объектов следует в первую очередь руководствоваться требованиями СТУ, требования других строительных норм не имеют силы, если они противоречат требованиям СТУ

#### *Порядок согласования и экспертизы проектной документации*

Проведение согласований проектной документации осуществляется проектировщиком при участии заказчика, если иное не предусмотрено договором. Согласование проводится только в пределах

вопросов ведения участников проектной подготовки строительства, в рамках соответствующих разделов проектной документации.

Согласование проектной документации осуществляется:

с органами Росрыболовства – если при строительстве оказывается влияние на водные биологические ресурсы и среду их обитания;

с Бассейновым водным управлением – если нужно согласовать точки забора и сброса вод;

с органами Роспотребнадзора согласуются проекты санитарно-защитных зон, зон охраны источников водоснабжения, ПДВ;

с Главным архитектором согласуются архитектурные решения объектов городского строительства;

с Комитетом по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры (КГИОП) – если в зоне строительства есть памятники культурного наследия;

с природоохранными органами согласуется Технологический регламент обращения со строительными отходами;

с МЧС России – в части инженерно-технических мероприятий по гражданской обороне (ИТМ ГО) и предупреждения чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Разделы проектной и рабочей документации направляются для рассмотрения с целью проверки на соответствие техническим условиям в организации, их предоставившие (в части обеспечения безопасности объектов социальной инфраструктуры, размещения подземных сетей и сооружений, использования части земельного участка собственника на территории проектирования, сетей инженерно-технического обеспечения, электрических сетей и сетей связи и т.д.).

В соответствии со ст. 11 Федерального закона от 23.11.1995 № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе» государственной экологической экспертизе подлежит проектная документация:

а) объектов, строительство или реконструкцию которых предполагается осуществлять на землях особо охраняемых природных территорий;

в) объектов, связанных с размещением и обезвреживанием отходов I – V классов опасности;

г) искусственных земельных участков, создание которых предполагается осуществлять на водных объектах.

Срок проведения государственной экологической экспертизы определяется в зависимости от трудоемкости экспертных работ, с учетом объема представленных на экспертизу материалов, природных особенностей территории и экологической ситуации в районе намечаемой деятельности, а также особенностей воздействия намечаемой деятельности на окружающую среду. Срок не должен превышать 3 месяца, он может быть продлен на 1 месяц по заявлению заказчика. При увеличении длительности проведения государственной экологической экспертизы общий срок ее проведения не должен превышать 6 месяцев.

В результате выдается заключение государственной экологической экспертизы.

Проектная документация до ее утверждения подлежит государственной экспертизе независимо от источников финансирования и формы собственности объектов. При проведении государственной экспертизы обеспечивается проверка соответствия проектной документации исходным данным, техническим условиям и требованиям по проектированию и строительству объектов, выданным органами государственного надзора и контроля, а так же заинтересованными организациями.

По результатам проведения государственной экспертизы подготавливается и передается заказчику сводное заключение, неотъемлемой частью которого являются заключения специализированной экспертизы. При наличии замечаний к проектной документации заказчику выдается заключение с указанием этих замечаний и сроков их устранения или отрицательное заключение в связи с необходимостью доработки документации и проведения повторной экспертизы. Замечания готовятся комплексно по всем разделам проекта и в процессе работы по их устранению дополнениям и изменениям не подлежат.

Проектная документация и результаты изысканий могут быть переданы по решению заявителя на негосударственную экспертизу объектов капитального строительства, для которых проведение государственной экспертизы проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий не является обязательным в соответствии с законодательством Российской Федерации. К таким объектам относятся объекты капитального строи-

тельства, для которых производятся капитальный ремонт, модернизация и объекты некапитального строительства, экспертиза проектов перепланировки помещений. Предмет независимой экспертизы – оценка соответствия проектной документации техническим регламентам.

Положительное заключение негосударственной экспертизы проектов строительства, включающее экспертизу проектно-сметной документации и экспертизу инженерных изысканий, является основанием для выдачи разрешения на строительство органами строительного надзора на всей территории Российской Федерации, и имеет ту же юридическую силу, что и заключение государственной экспертизы.

Организация по проведению экспертизы проектов в течение трех рабочих дней со дня получения от заявителя документов, осуществляет их проверку. Срок проведения проверки не должен превышать 10 рабочих дней.

По результатам проверки заявителю представляется (направляется) проект договора с расчетом размера платы за проведение государственной экспертизы, подписанный со стороны организации по проведению государственной экспертизы, либо мотивированный отказ в принятии документов, представленных для проведения государственной экспертизы, или указанные документы должны быть возвращены без рассмотрения.

Срок проведения государственной экспертизы не должен превышать 3 месяца.

При проведении государственной экспертизы проектной документации может осуществляться оперативное внесение изменений в проектную документацию в порядке, установленном договором.

Результатом государственной экспертизы является заключение, содержащее выводы о соответствии (положительное заключение) или несоответствии (отрицательное заключение):

а) проектной документации требованиям технических регламентов и результатам инженерных изысканий – в случае, если осуществлялась государственная экспертиза проектной документации;

б) результатов инженерных изысканий требованиям технических регламентов – в случае, если осуществлялась государственная экспертиза результатов инженерных изысканий;

в) проектной документации требованиям технических регламентов и результатам инженерных изысканий, результатов инженерных изысканий требованиям технических регламентов – в случае, если одновременно осуществлялась государственная экспертиза проектной документации и результатов инженерных изысканий.

Проектная документация не может быть утверждена застройщиком или заказчиком при наличии отрицательного заключения государственной экспертизы проектной документации.

Отрицательное заключение государственной экспертизы может оспариваться застройщиком или заказчиком в судебном порядке.

Государственная экспертиза проектной документации осуществляется за счет средств заявителя. Оплата услуг по проведению государственной экспертизы производится независимо от результата государственной экспертизы.

### Вопросы для самопроверки

1. Чем обусловлена необходимость выполнения обоснования инвестиций?
2. Каким документом регламентируется техническое задание на проектирование объекта? Основные положения, указываемые в техническом задании на проектирование водохозяйственной системы.
3. Что входит в проект гидроузла комплексного назначения?
4. Что такое технический регламент?
5. Какие нормативные требования являются обязательными при проектировании?
6. Что такое технические условия (ТУ) и специальные технические условия (СТУ)?
7. В каких случаях проводится государственная экологическая экспертиза?
8. Как проводится государственная экспертиза проектной документации? Срок проведения государственной экспертизы, ее результаты?

### Список рекомендуемой литературы к главе 3

1. **Кавешников Н.Т.** Менеджмент водохозяйственного производства и охраны окружающей среды. М.: Колос, 2008.
2. **Рациональное** использование водных ресурсов: Учеб. для вузов по спец. «Водоснабжение, канализация, рац. использ. и охрана водных ресурсов» / С.В. Яковлев, И.В. Прозоров, Е.Н. Иванов, И.С. Губий. М.: Высшая школа. 1991.
3. **Градостроительный** кодекс Российской Федерации от 29.12.2004. № 190-ФЗ.
4. **Федеральный** закон о техническом регулировании от 27.12.2002. № 184-ФЗ.
5. **Федеральный** закон от 23.11.1995 № 174-ФЗ. Об экологической экспертизе.
6. **Федеральный** закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений.
7. **Федеральный** закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ. О безопасности гидротехнических сооружений.
8. **Федеральный** закон от 23.11.1995 № 174-ФЗ. Об экологической экспертизе.
9. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 № 87 «Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» от 05.03.2007 г. № 145.
10. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 02.11.2013 № 986 «О классификации гидротехнических сооружений».
11. **Постановление** Правительства РФ от 26.12.2014. № 1521. Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30.12.2009. № 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений".
12. **Приказ** Министерства промышленности и торговли РФ 17.05.2019 № 831 «Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 года № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

## Глава 4

### МЕТОДИКА ГИДРОЛОГО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТОВ ГИДРОУЗЛОВ КОМПЛЕКСНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Методика гидролого-водохозяйственного обоснования проектов гидроузлов комплексного назначения состоит в следующем.

1. Всестороннее изучение режима водотока, на котором проектируется строительство гидроузла. Выявление ресурсов и режима, намечаемого к использованию водного объекта, подготовка исходных данных для проектирования.

2. Оценка потребности в воде всех отраслей, удовлетворить запросы которых призваны проектируемые мероприятия. Выяснение требований водопользователей к водным ресурсам и к режиму регулирования. Согласование и взаимная увязка этих требований между водопользователями и внутри водопользователей.

3. Определение требований к режиму регулирования низкого стока и стока половодий и паводков.

4. Расчеты основных водохозяйственных параметров, определяющих размеры сооружений и водохранилищ: величин подпора; емкостей водохранилищ, потребных для регулирования низкого стока и стока половодий и паводков; размеров водосбросных отверстий; мощностей гидроэлектростанций и т. п.

5. Разработка проектного режима и составление правил управления работой водохранилищ, обеспечивающих реализацию намеченных мероприятий.

6. Производство расчетов регулирования стока или водной энергии и составление характеристик режима работы установки или каскада установок.

7. Производство специальных расчетов: первоначального наполнения водохранилищ; процесса заилиения водохранилищ и т. д.

8. Установление водохозяйственного эффекта, который может быть получен от намечаемых мероприятий.

Речной сток служит ресурсами водохозяйственной установки, поэтому для правильного ее проектирования, строительства и эксплуатации необходимо произвести оценку стока на период будущей работы гидроузла. Эта оценка должна учитывать все стороны режима водотока и особенно те его элементы, которые определяют основные размеры и режим эксплуатации установки. Так, если в задачу входит обеспечение потребителей определенным количеством воды, нужно знать характер возможного в будущем маловодья, его длительность, степень уменьшения стока и т. д. Для определения размеров водосбросных устройств, через которые будут пропускаться в нижний бьеф излишки расходов при проходе по реке половодий и паводков, следует рассчитать возможные величины максимального стока.

К гидрологическим явлениям применяется вероятностная форма, основывающаяся на статистических расчетах. Статистические расчеты применяются к более или менее однородным по происхождению величинам стока, многолетние колебания которых могут рассматриваться как совокупность случайных независимых значений (имеющей место незначительной коррелятивной связью в большинстве случаев можно пренебрегать).

Выделение величин, объединяемых в одну статистическую группу, производится путем отбора расходов или стока, занимающих в разные годы одинаковые положения по отношению к фазам годового цикла. Такие величины называются фазово-однородными. Так как фазы сменяются не в одни и те же календарные даты, приходится отказываться от отбора расходов на одинаковые даты и рассматривать в качестве фазово-однородных:

объемы стока за целые годы;

объемы стока за определенные части года (весеннее половодье, межень и т. д.);

характерные мгновенные расходы (максимальные и минимальные в году);

среднегодовые расходы.

*Исходными данными водохозяйственного проектирования* являются материалы гидрологических наблюдений и топографических съемок местности, где намечается создание водохранилища. К их числу также относятся материалы метеорологических наблюдений и общие характеристики геологических и гидрогеологических условий района сооружений и водохранилища.

Основным источником сведений по гидрологии являются материалы непосредственных наблюдений: данные водомерных наблюдений, измерений расходов жидкого и твердого стока (взвешенных и донных наносов), гранулометрического состава наносов, термического и зимнего режима, химического и бактериологического состава воды.

В проекте отдельного гидроузла перечисленные гидрологические данные используются по пунктам наблюдений, расположенным в пределах верхнего бьефа на протяжении влияния подпора, а в пределах нижнего бьефа – на протяжении влияния регулирования стока.

В проекте каскадно расположенных гидроузлов гидрологические данные используются по пунктам наблюдений, расположенным в пределах всего рассматриваемого протяжения реки, — от места выклинивания подпора самой верхней ступени до нижней границы зоны влияния регулирования стока в нижнем бьефе нижней ступени.

Подробность разработки отдельных гидрологических вопросов зависит как от наличия имеющихся наблюдений, так и от стадии проектирования, а также от решаемых водохозяйственной системой задач.

На первоначальных стадиях проектирования, например, при составлении схемы использования водотока, водохозяйственные расчеты можно основывать на предварительной обработке данных гидрологических материалов с неполным охватом всех элементов режима реки. Водохозяйственные расчеты для последующих стадий проектирования должны основываться на детальной обработке материалов наблюдений с полным охватом (по возможности) всех элементов режима реки. При этом более подробно прорабатываются именно те вопросы гидрологического режима, которые связаны с решаемыми водохозяйственной системой задачами. В

частности, например, если гидроузел будет осуществлять регулирование паводочного стока, в гидрологической записке очень подробно освещаются вопросы максимальных расходов воды, объемов паводков и формы гидрографов. Если в водотоке содержится большое количество наносов, обуславливающих заиливание водохранилища, очень подробно освещаются вопросы твердого стока: мутность, количество и гранулометрический состав наносов и т. д.

Минимальная длительность периода наблюдений, достаточная для гидрологического обоснования проекта водного хозяйства, определяется двумя основными положениями: степенью регулирования стока и репрезентативностью ряда. Для обоснования проекта гидроузла с сезонным регулированием стока обычно достаточно 15–20 лет, если в состав их входят характерные по общей водности и по распределению стока годы и если по средней водности, по оценке косвенным путем он близок к норме. Для обоснования проекта гидроузла, осуществляющего многолетнее регулирование, такая длительность ряда недостаточна.

При недостаточной длительности гидрологического ряда в задачу расчетов входит его удлинение и определение статистических параметров стока путем приводки их к длительному многолетнему периоду. Удлинение ряда и уточнение параметров обычно производится по связи со стоком реки-аналога или с метеорологическими данными. При полном отсутствии наблюдений или при малой их длительности нередко прибегают к построению искусственного ряда, заключающемся в принятии на восстанавливаемой реке такой же последовательности колебаний по годам значений обеспеченности стока, как и на реке-аналоге.

Вместе с тем при осуществлении гидроузлом сезонного или неглубокого многолетнего регулирования стока, когда для обоснования проекта водного хозяйства достаточен период ограниченной длительности, при наличии длинного ряда гидрологических наблюдений из него выбирается расчетный период, по которому и производятся водохозяйственные расчеты.

Водохозяйственные расчеты проводятся в рамках границ водохозяйственного года, который начинается с момента наполнения водохранилища в половодье. На большинстве водотоков Европейской территории РФ половодье начинается в апреле, в южной час-

ти – в марте, на севере – в мае. На реках Дальнего Востока, например, где повышенный сток обуславливается в основном выпадением летних муссонных дождей и ливней, начало половодья приурочивается к июню–июлю. В соответствии с этим за начало водохозяйственного года принимается апрель или март, май или июнь–июль.

Так как обычно расчет ведется по средним месячным значениям расходов воды, граница водохозяйственного года совмещается с началом первого половодного месяца. При этом, хотя от года к году время наступления половодья календарно не совпадает, границу года следует жестко закреплять, ориентируя ее на более раннее начало половодья. Этим исключается неизбежное искажение стока предшествующей межени высокими расходами начавшегося раннего половодья, когда принимается за начало года среднее или позднее его наступление.

Расчет наполнения емкости водохранилища проводится с использованием данных топографических изысканий на участке зоны затопления. Основной топографической характеристикой водохранилища являются кривые зависимости площадей зеркала и объемов от отметки подпорного уровня (наполнения водохранилища). Для получения этих характеристик необходимо иметь материалы крупномасштабной планово-высотной съемки района будущих затоплений, представленных в виде планов местности в горизонталях. Топографические характеристики водохранилища, полученные на основе мелкомасштабных съемок, должны рассматриваться как приближенные и могут использоваться только на предварительных стадиях проектирования. Впоследствии их следует уточнять по съемкам более крупного масштаба.

К прочим относятся материалы метеорологических наблюдений и данные о геологических и гидрогеологических условиях района сооружений и водохранилища. Метеорологические наблюдения необходимы для определения испарения с водной поверхности, расчета ветровых сгонно-нагонных и волновых явлений на водохранилище, зимнего и термического режима в бьефах установки; геологические и гидрогеологические – для определения фильтрационных потерь воды из водохранилища и для решения других специальных вопросов (переформирования русла, деформации берегов водохранилища и пр.).

Материалы по геологии и гидрогеологии должны достаточно полно освещать фильтрационные свойства грунтов, образующих ложе водохранилища и основание сооружений, характер залегания водонепроницаемых пород и положения зеркала подземных вод, режим подземных вод в прибрежных зонах и связь их с подземными водами смежных бассейнов. На основе этих данных даётся заключение по прогнозу фильтрационных потерь из водохранилища как в процессе первоначального наполнения, так и в условиях длительной его эксплуатации.

### Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается гидролого-водохозяйственное обоснование проектов гидроузлов комплексного назначения?
2. Какие основные гидрологические характеристики используются при проектировании гидроузла?
3. Как определяется минимальная длительность периода гидрологических наблюдений при обосновании проекта гидроузла?
4. Что такое фазово-однородные величины гидрологических характеристик? Приведите примеры.
5. Какие исходные данные наблюдений и изысканий используются при проектировании водохозяйственных систем?

### Список рекомендуемой литературы к главе 4

1. **Арсеньев Г.С.** Основы управления гидрологическими процессами: водные ресурсы. Учебник. СПб.: РГГМУ. 2005.
2. **Бахтияров В.А.** Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. Л.: Гидрометеорологическое издательство. 1961.
3. **Буслаев И.В.** Сложные водохозяйственные системы (методы гидрологического обоснования, моделирования и оптимизации решений). Алма-Ата: Наука. 1980.
4. **Гаврилов А.М.** Основы учета стока на гидроэлектростанциях. (Пособие для гидрологов). Л.: Гидрометеорологическое изд-во. 1965.
5. **Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.** Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. М.: Наука. 1982.
6. **Чеботарев А.И.** Гидрологический словарь. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Гидрометеоздат. 1978.

## Глава 5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ГИДРОУЗЛА И ВЫБОР ТИПА ЕГО КОМПОНОВКИ. КОМПОНОВКА ГИДРОУЗЛА НА РАВНИННОЙ РЕКЕ

Гидроэнергетический узел – это комплекс сооружений и оборудования, посредством которых энергия потока воды преобразуется в электрическую энергию. ГЭС состоит из последовательной цепи гидротехнических сооружений, обеспечивающих необходимую концентрацию потока воды и создание напора, и энергетического оборудования, преобразующего энергию движущейся под напором воды в механическую энергию вращения, которая, в свою очередь, преобразуется в электрическую энергию.

Напор ГЭС создаётся концентрацией падения реки на используемом участке (1–2) плотиной (рис. 5.1, а), деривацией (рис. 5.1, б) либо плотиной и деривацией совместно (рис. 5.1, в).

Подпором реки создается водохранилище. С помощью водохранилища естественные колебания речного стока выравниваются. При этом чем больше емкость водохранилища, тем ближе к 1 значение зарегулированности стока  $\alpha = Q_{\text{зар}} / Q_{\text{ср.г.}}$ .

Обычно ГЭС сооружаются в составе комплексных гидроузлов. При этом часть водных ресурсов будет использоваться другими потребителями – водоснабжение, орошение, судоходство и т.д.

Совокупность водохранилищ и ГЭС, последовательно расположенных ступенями вдоль течения реки, называется каскадом. Каскады водохранилищ (ГЭС) могут располагаться на основной реке или притоках.

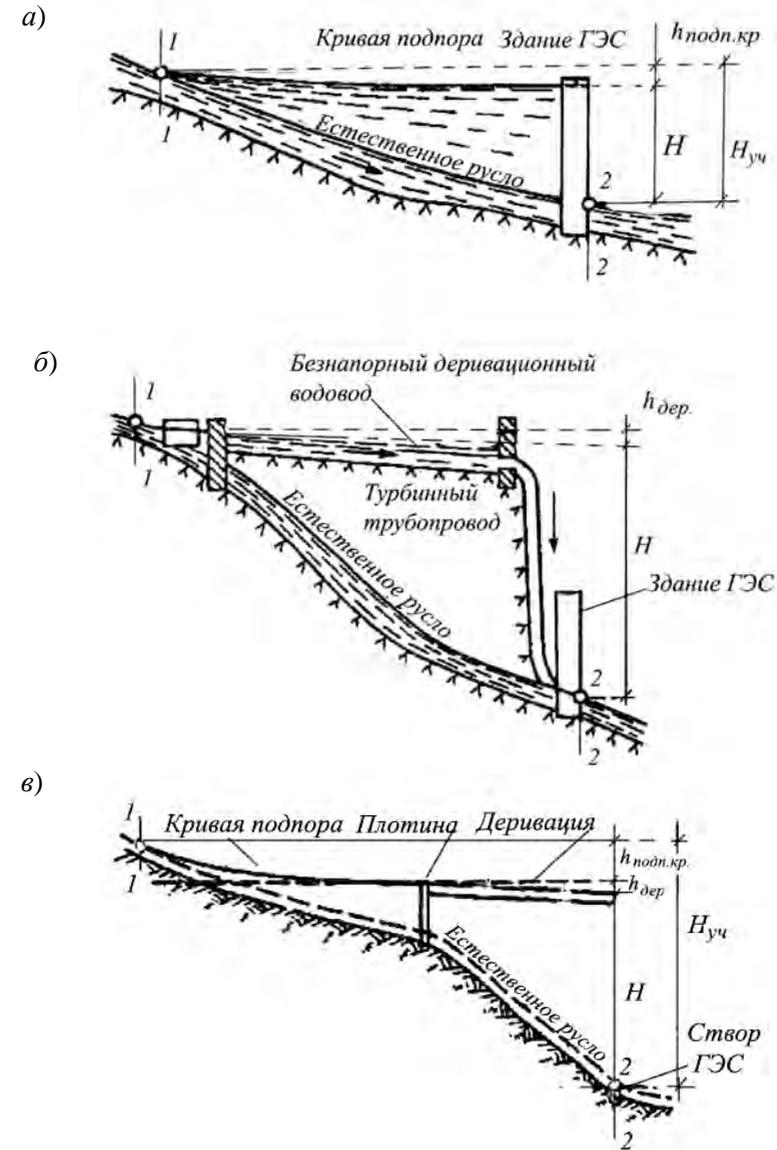


Рис. 5.1. Схема концентрации падения реки:  
а – плотиной; б – деривацией (подводящей); в – плотиной и напорной деривацией

Основные характеристики водохранилища – зависимости площади водной поверхности и объема от уровня воды (рис. 5.2) строятся по топографическим данным. По этим графикам определяются нормальный подпорный уровень (НПУ) и уровень мертвого объема (УМО).

Важнейшие параметры водохранилища, предназначенного для целей гидроэнергетики, – НПУ и УМО, а также их сочетание в значительной степени влияют на мощность, выработку электроэнергии, типы и размеры сооружений, капитальные вложения в гидроузел.

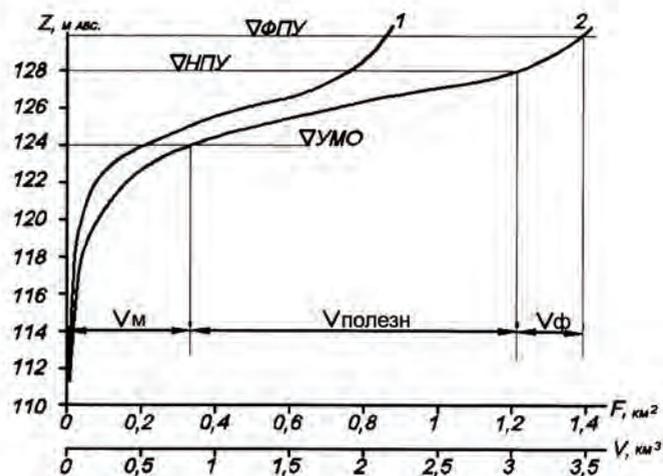


Рис. 5.2. Морфометрические характеристики водохранилища.  
1 – площадь водной поверхности; 2 – объем воды

В результате технического, энергетического, экономического анализа строительства гидроузла и выявления его параметров должны быть установлены следующие характеристики комплексного гидроузла и входящей в его состав ГЭС:

- отметка НПУ водохранилища;
- отметка УМО и глубина сработки водохранилища;
- полезный объем ( $V_{\text{пол}}$ ) – между НПУ и УМО;

форсированный подпорный уровень (ФПУ), резервный объем водохранилища ( $V_{\text{ф}}$ );

- расчетный напор для оборудования ГЭС;
- тип станции и водопроводящих сооружений;
- установленная мощность ГЭС и режим ее использования;
- выработка электроэнергии;
- тип, параметры и количество агрегатов.

Выбор оптимальных значений этих параметров может быть сделан только путем технико-экономического сравнения разных вариантов.

### Определение расчетных расходов и напоров ГЭС

*Расчетным* называется расход воды заданной вероятности превышения, принимаемый в качестве исходного значения, для определения размеров проектируемого сооружения. Расчетный максимальный расход воды для основного и поверочного расчетного случая определяется в зависимости от класса ГЭС в соответствии с СП 58.13330.2012.

*Мощность ГЭС* – суммарная мощность всех агрегатов ГЭС в данных условиях.

*Мощность ГЭС гарантированная* – наибольшая мощность ГЭС, выдаваемая при расходе воды и напоре обеспеченностью 90–95%.

*Мощность ГЭС установленная* – сумма номинальных активных мощностей всех генераторов ГЭС, включая генераторы собственных нужд.

*Напор* – давление воды, выражаемое высотой водяного столба в метрах над рассматриваемым уровнем.

*Статический напор  $H_{\text{ст}}$*  равен разности отметок верхнего и нижнего бьефов, м:

$$H_{\text{ст}} = \nabla_{\text{УВБ}} - \nabla_{\text{УНБ}},$$

где верхний бьеф (ВБ) и нижний бьеф (НБ) – соответственно участки реки выше водоподпорного сооружения ГЭС и ниже здания ГЭС.

Напор брутто  $H_{бр}$  равен разности удельных энергий потока в верхнем бьефе в сечении 1–1 перед входом в водоприемник ГЭС и в нижнем бьефе в сечении 2–2 за отсасывающими трубами гидротурбин (рис. 5.3), м

$$H_{бр} = H_{ст} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g};$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – коэффициенты кинетической энергии (Кориолиса) в сечениях;  $V_1$  и  $V_2$  – средние скорости потока в сечениях водотока.

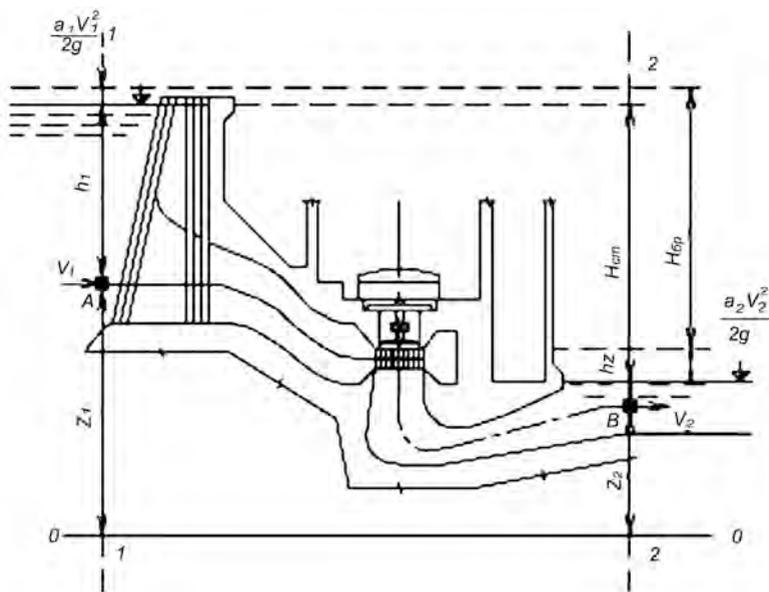


Рис. 5.3. Схема определения напоров для русловой ГЭС

На ГЭС часть энергии идет на гидравлические потери при движении воды в ее проточном тракте.

Напор нетто  $H$ , используемый гидротурбиной, равен разности напора брутто  $H_{бр}$  и гидравлических потерь напора  $h_{пот}$  (по длине и местных) в водоприемнике, подводящих и отводящих водоводах (каналах, туннелях, трубопроводах) ГЭС.

Напор брутто  $H_{бр}$  для практических расчетов можно принять равным  $H_{ст}$ , если пренебречь разностью кинетической энергии по-

тока в верхнем бьефе у водоприемника ГЭС и в нижнем бьефе за отсасывающими трубами, которая обычно крайне мала.

Напор нетто, действующий непосредственно на турбину, составляет

$$H = H_{ст} - h_{пот}.$$

Расчетный напор  $H_p$  равен минимальному напору, при котором обеспечивается установленная мощность ГЭС.

Минимальный и максимальный напор ГЭС  $H_{макс}$  и  $H_{мин}$ :

$$H_{макс} = \nabla НПУ - \nabla УНБ_{мин}$$

$$H_{мин} = \nabla НПУ - \nabla УНБ_{макс},$$

где  $\nabla УНБ_{мин}$  – минимальный проектный уровень нижнего бьефа, м;  $\nabla УНБ_{макс}$  – максимальный проектный уровень нижнего бьефа, м.

На основании рассчитанного диапазона напоров принимается тип турбины, рассчитанный на максимальный ( $H_{макс}$ ) и минимальный напоры ( $H_{мин}$ ).

### Порядок выполнения водохозяйственных расчетов

Для выполнения водохозяйственных расчетов предварительно на основе анализа природных и топографических условий, возможного затопления земель и населенных пунктов намечается диапазон изменения НПУ. При глубоком русле реки минимальный НПУ может быть принят на уровне верхней бровки русла.

При принятом значении НПУ водохозяйственные расчеты водохранилища выполняются в следующем порядке:

1. Назначается УМО, удовлетворяющий условиям: при установке на ГЭС поворотно-лопастных турбин

$$\nabla УМО > \nabla НПУ - 0,5 H_{макс};$$

при установке радиально-осевых турбин

$$\nabla УМО > \nabla НПУ - (0,35 - 0,4) H_{макс},$$

где  $H_{макс}$  – максимальный напор ГЭС, приближенно принимаемый как

$$H_{макс} = \nabla НПУ - \nabla УНБ_{меж},$$

где  $\nabla УНБ_{меж}$  – минимальный уровень реки в межень, м

2. Назначенный УМО и соответствующий ему мертвый объем проверяются на соответствие требованиям, при необходимости изменяются.

При этом учитывают:

*заиление водохранилища:* за период эксплуатации объем отложившихся наносов не должен превышать мертвый объем;

*требования питьевого водоснабжения и рыбоводства:* средняя глубина воды при УМО не должна быть меньше 2,5 м, а площадь мелководья не должна превышать 35% поверхности;

*требования эксплуатации водохранилищ промышленного и питьевого водоснабжения:* должны быть обеспечены условия работы водозаборов;

*требования для рекреации:* обеспечение благоприятных условий для отдыха, спорта, рыбалки и т.д.;

*требования судоходства:* условие прохождения судов.

3. По графику площадей и объемов водохранилища (см.рис. 5.2) определяются полный (при НПУ) и полезный объемы.

*Полезный объем водохранилища*  $V_{\text{пол}}$  измеряется объемом воды между нормальным подпорным уровнем и уровнем мертвого объема водохранилища.

4. Рассматривается соотношение полезного объема и среднесуточного объема стока реки в створе ГЭС

$$W_0 = Q_0 T_0,$$

где  $Q_0$  – среднесуточный расход.

Если  $V_{\text{пол}} < 0,1W_0$ , водохранилище не может вести регулирование стока, при  $V_{\text{пол}} \geq 0,1W_0$  возможно сезонное регулирование стока реки, при  $V_{\text{пол}} \geq 0,5W_0$  – многолетнее.

5. Если регулирование стока невозможно, водохозяйственные расчеты сводятся только к определению потерь стока.

6. Многолетнее регулирование стока рассчитывается обобщенным методом. С использованием номограмм [2, 6 и др.] вычисляются сезонная и многолетняя составляющие полезного объема водохранилища и определяется расход водоотдачи, включающий и потери стока.

7. Расчеты сезонного регулирования стока можно выполнять графоаналитическим способом интегральных кривых или табличным методом [2, 6 и др.].

8. Водохозяйственные расчеты при сезонном регулировании можно выполнять для среднего по водности года. Определенные этими расчетами потери стока могут быть приняты без изменений для лет с другой водностью.

При трансформации стока паводка или половодья часть излишков воды временно задерживается в водохранилище, при этом его уровень повышается до ФПУ. Объем воды между НПУ и ФПУ, называемый форсированным  $V_{\text{ф}}$  (см.рис. 5.2), позволяет уменьшить сбросные расходы и, как следствие, – размеры водосбросных сооружений. Однако повышение уровня воды сверх НПУ приводит к увеличению высоты подпорных сооружений, поэтому оптимальное значение  $V_{\text{ф}}$  устанавливается путем экономического анализа.

Полезная мощность ГЭС определяется как

$$N = 9,81QH\eta_t\eta_r = AQH,$$

где  $Q$  – расход, пропускаемый через турбины, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – полезный напор (нетто), разность отметок верхнего и нижнего бьефов (за исключением потерь напора в подводящих сооружениях);  $\eta_t = 0,85 - 0,96$  – к.п.д. турбины;  $\eta_r = 0,96 - 0,98$  – к.п.д. генератора.

Отметка уровня верхнего бьефа находится по кривой объемов водохранилища, а отметка нижнего бьефа – по кривой зависимости расхода в нижнем бьефе от уровня нижнего бьефа  $Q=f(Z)$ .

Коэффициент  $A = 8,1 - 8,8$  для средних и крупных ГЭС, может повышаться до 8,9–9,1 для мощных ГЭС, для малых ГЭС имеет значение 6,5–7,5.

Выработка энергии  $\mathcal{E} = NT$  кВт·ч,

где  $T$  – число часов работы ГЭС мощностью  $N$ , кВт.

Среднесуточная выработка энергии  $\mathcal{E} = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i / n$ ,

где  $\mathcal{E}_i$  – выработка энергии за  $i$ -ый год;  $n$  – число лет за период работы ГЭС.

Установленная мощность ГЭС лимитируется максимальной мощностью генератора и равна  $N_y = N_r n$  (где  $n$  – число генераторов).

Установленная мощность включает в себя:

$$N_y = N_{\text{обеспеч.пик.}} + N_{\text{нагруз.рез.}} + N_{\text{авар.рез.}} + N_{\text{рем.рез.}} + N_{\text{рез.развития}},$$

где  $N_{\text{обеспеч.пик}}$  – обеспеченная пиковая мощность;  $N_{\text{нагруз.рез.}}$  – нагрузочный резерв, представляет собой мощность, необходимую для поддержания в системе заданного уровня частоты при внеплановых, носящих случайный характер колебаниях нагрузки;  $N_{\text{авар.рез.}}$  – аварийный резерв, предназначен для нормального бесперебойного снабжения системы при выходе из строя ее отдельных элементов;  $N_{\text{рем.рез.}}$  – ремонтный резерв, связанный с плановым выходом агрегатов в ремонт;  $N_{\text{рез.развития}}$  – резерв на развитие, предусматривает ввод в эксплуатацию новых объектов промышленного строительства.

Энергетические показатели ГЭС зависят от многих факторов, в том числе и от размещения створа гидроузла, выбор которого представляет сложную технико-экономическую проблему.

Предварительно энергетические возможности выбранного створа оцениваются с помощью гидроэнергетического кадастра; одной из его характеристик является потенциальная (теоретическая) мощность  $N_m$ , определяемая как

$$N_m = \Sigma N_{\text{уч}} = 9,81 \Sigma 0,5(Q_n + Q_k)H_{\text{уч}} = 9,81 Q_{\text{ср}}H_{\text{уч}}, \text{ кВт},$$

где  $N_{\text{уч}}$  – мощность на участке реки;  $Q_n$ ,  $Q_k$ ,  $Q_{\text{ср}}$  – расход воды соответственно в начале, конце участка и средний, м<sup>3</sup>/с;  $H_{\text{уч}}$  – падение поверхности воды реки на участке, м.

Для подсчетов по этой формуле реку по длине разделяют на ряд участков протяженностью  $L$ , границы которых назначают в местах изменения продольного уклона реки и площади водосбора.

Для полной характеристики вычисляется удельная мощность

$$N_{\text{уд}} = N_{\text{уч}} / L.$$

Распределение удельных мощностей по длине реки показывает потенциальные качества разных створов.

По установленной мощности различают ГЭС мощные (свыше 250 МВт), средние (до 25 МВт) и малые (до 5 МВт).

По максимально используемому напору ГЭС делятся на высоконапорные (более 60 м), средненапорные (от 25 до 60 м) и низконапорные (от 3 до 25 м). На равнинных реках напоры редко превышают 100 м; в горных условиях посредством плотины можно

создавать напоры до 300 м и более, а с помощью деривации – до 1500 м (максимальный напор деривационной ГЭС Бьедрон, Швейцария – 1883 м). Разделение ГЭС по используемому напору имеет приблизительный, условный характер.

По схеме использования водных ресурсов и концентрации напоров ГЭС обычно подразделяют на русловые, приплотинные, деривационные с напорной и безнапорной деривацией, смешанные, гидроаккумулирующие и приливные. В русловых и приплотинных ГЭС напор воды создается плотиной, перегораживающей реку и поднимающей уровень воды в верхнем бьефе.

### Компоновка гидроузла на равнинной реке

В состав сооружений русловой ГЭС, кроме плотины, входят здание ГЭС и водосбросные сооружения. Состав ГЭС зависит от высоты напора и установленной мощности. У русловой ГЭС здание с размещенными в нём гидроагрегатами служит продолжением плотины и вместе с ней создаёт напорный фронт. При этом с одной стороны к зданию ГЭС примыкает верхний бьеф, а с другой – нижний бьеф. Подводящие спиральные камеры гидротурбин своими входными сечениями закладываются под уровнем мертвого объема верхнего бьефа, выходные же сечения отсасывающих труб погружены под уровнем нижнего бьефа.

В соответствии с назначением гидроузла в его состав могут входить судоходные шлюзы или судоподъёмник, рыбопропускные сооружения, водозаборные сооружения для ирригации и водоснабжения.

В русловых ГЭС иногда единственным сооружением, пропускающим воду, является здание ГЭС. В этих случаях вода последовательно проходит входное сечение с мусорозадерживающими решётками, спиральную камеру, гидротурбину, отсасывающую трубу, а по специальным водоводам между соседними турбинными камерами производится сброс паводковых расходов реки.

При более высоких напорах оказывается нецелесообразным передавать на здание ГЭС гидростатическое давление воды. В этом случае применяется тип приплотинной ГЭС, у которой напорный фронт на всём протяжении перекрывается плотиной, а

здание ГЭС располагается за плотиной, примыкает к нижнему бьефу.

На равнинных реках с большими расходами воды и широкими долинами основными бетонными сооружениями гидроузла являются водосбросные плотины и здания гидроэлектростанций (ГЭС), остальную часть напорного фронта перекрывают обычно земляными плотинами. Это вызвано тем, что по данным проектной практики при нескальных основаниях и указанных выше напорах на гидроузлы стоимость земляных сооружений на 1 погонный метр напорного фронта в несколько раз (примерно в 5–10) дешевле бетонных и железобетонных.

В отличие от земляных плотин и водопропускных сооружений, занимающих в речных гидроузлах на равнинных реках почти весь напорный фронт, судоходные, водозаборные и рыбопропускные сооружения, имея вдоль потока значительное протяжение, в напорном фронте занимают небольшое место. При этом их расположение в плане существенно зависит от гидравлического режима водопропускных сооружений гидроузла, а иногда и влияет на плановое положение последних.

На равнинных реках, в гидроузлах на нескальных основаниях в качестве судопропускных сооружений в настоящее время применяются исключительно судоходные шлюзы, при меньших напорах – однокамерные, при больших – многокамерные.

Рыбопропускные сооружения осуществлялись в гидроузлах на равнинных реках в виде рыбоходных каналов, лотков, рыбоподъемников – рыбных шлюзов, расположенных рядом со зданием гидроэлектростанции. Основным вопросом расположения в речном гидроузле рыбопропускных сооружений любого типа является создание у входа в них скоростей, привлекающих к ним рыбу.

Лесосплавные сооружения в виде лесосплавных лотков и плотоходов устраивают преимущественно на небольших гидроузлах, на малых реках, не образующих значительных водохранилищ (эти сооружения обычно не оказывают существенного влияния на компоновку гидроузла). На больших равнинных реках лесосплавные сооружения не применяются.

К проектированию сооружений речных гидроузлов всех классов предъявляют следующие основные требования:

1. Компоновка, выбор типов и основных параметров отдельных сооружений гидроузла должны производиться на основании технико-экономического сравнения вариантов с учетом:

- а) природных условий района, характеристики створа сооружений и наличия местных строительных материалов;
- б) изменений гидрологического режима реки (в том числе руслового, ледового и термического) в верхнем и нижнем бьефах;
- в) условий судоходства, лесосплава, водоснабжения, рыбного хозяйства и работы мелиоративных систем;
- г) перспективного развития энергопотребления, роста грузооборота транспортных объектов, развития орошения, обводнения и водоснабжения;
- д) условий производства работ;
- е) условий постоянной и временной эксплуатации сооружений.

При проектировании гидроузла нужно рассматривать возможность и технико-экономическую целесообразность совмещения сооружений, выполняющих различные эксплуатационные функции, а также возведения сооружений и ввода их в действие (выдачи энергии, забора воды, условий судоходства и т. д.) по очередям и при неполном напоре, с выполнением только таких объемов работ, которые необходимы для ввода соответствующей очереди.

2. Проекты гидротехнических сооружений речных гидроузлов должны обеспечивать:

- а) надежность и достаточные удобства их эксплуатации (постоянной и временной), в том числе режим уровней и расходов в нижнем бьефе, отвечающий требованиям всех водопотребителей;
- б) долговечность сооружений, соответствующую значению объектов, в состав которых входят эти сооружения;
- в) наиболее благоприятный гидравлический режим для характерных по интенсивности и повторяемости воздействий на сооружения условий эксплуатации, а также наиболее благоприятные условия для уменьшения вредного действия наносов, льда, шуги на сооружение и оборудование.

Компоновка и расположение гидротехнических сооружений в речных гидроузлах на равнинных реках в большой степени зависит от местных природных условий – орографических, гидроло-

гических и геологических, общей схемы и состава сооружений гидроузла, связанных с его назначением и водохозяйственным режимом, и многих других факторов.

Условия компоновки гидроузлов на равнинных реках настолько разнообразны, что охватить не только все, но даже большее количество возможных случаев какими-либо общими рекомендациями не представляется возможным. Поэтому приходится ограничиться изложением основных положений, из которых следует исходить при компоновках, в типичных, наиболее часто встречающихся условиях.

При проектировании выбор компоновки сооружений речных гидроузлов обычно производится в два этапа:

а) предварительный – при проектных проработках по выбору схемы водотока, створа и опорной отметки гидроузла – в основном для получения стоимостных показателей по сравниваемым вариантам и составления программы дальнейших изысканий;

б) окончательный – на выбранном створе, при принятой опорной отметке, установленной мощности гидроэлектростанции или размерах водозабора, полезных габаритах камер судопропускных сооружений и других выбранных исходных данных.

Предварительные компоновки гидроузла обычно выполняются на основе мелкомасштабных съемок, наличных гидрологических данных, материалов общих геологических изысканий и прикидных расчетов по сооружениям, проводимых при ориентировочных геотехнических показателях грунтов основания (сдвига, размыва и т. п.). Окончательная компоновка гидроузла производится на основе данных подробных изысканий, расчетов и лабораторных исследований.

В настоящее время на крупных речных гидроузлах, сооружаемых на равнинных реках на не скальных основаниях, применяются две основные схемы компоновки водопропускных сооружений (плотины и здания гидроэлектростанции) – русловая и пойменная, выбор между которыми в каждом конкретном случае определяется в основном технико-экономическими и производственными условиями их строительства на данном створе.

Русловая компоновка, применяемая в основном на низконапорных гидроузлах, характерна тем, что бетонные водосбросные

сооружения возводятся непосредственно в русле реки в две (реже в три) очереди, каждая из которых требует устройства котлованов, ограждаемых отдельными перемычками (рис. 5.4).

На таких гидроузлах пропуск высоких расчетных паводочных или паводочных расходов производится обычно без форсировки или при весьма небольшой форсировке уровня верхнего бьефа от бытового; поэтому и после возведения сооружений свободной должна оставаться большая часть живого сечения реки. Для этого плотины должны иметь низкие пороги, расположенные на отметках, близких к естественному дну реки на перекатах (с учетом их размыва в процессе эксплуатации).

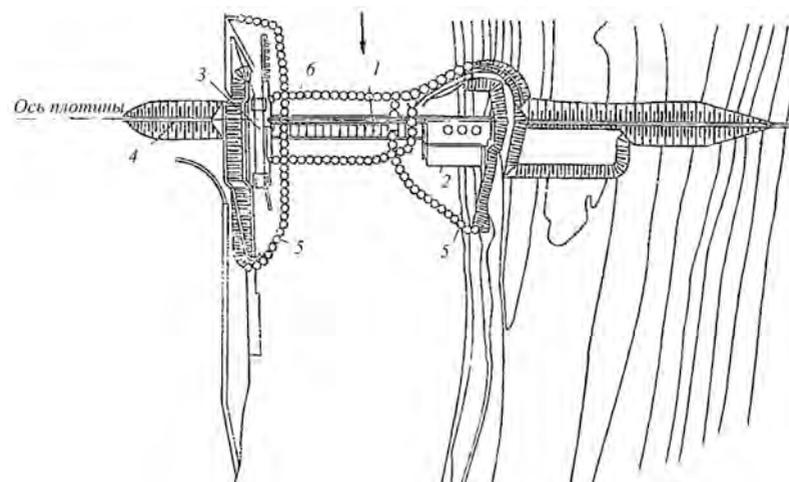


Рис. 5.4. Схема русловой компоновки низконапорного энергетическо-транспортного гидроузла:

1 – водосливная плотина; 2 – здание ГЭС; 3 – судоходный шлюз; 4 – земляная дамба; 5 – перемычки первой очереди; 6 – перемычки второй очереди

При данном типе плотины гидроагрегаты размещаются обычно в отдельном здании, входящем в состав напорного фронта гидроузла.

Гидроузлы энергетического и комплексного назначения, возводимые на равнинных реках, обычно выбираются в схемах использования водотока с таким напором, что в их верхних бьефах затопливается пойма, а иногда и надпойменная терраса.

При напорах на эти гидроузлы в 10–15 м и при значительном превышении поймы над меженными уровнями воды в реке применялись описанные выше русловые компоновки бетонных водопропускных сооружений, возводимых в две очереди.

Однако на крупных реках с большими колебаниями уровня воды, русла которых сложены к тому же легко размываемыми грунтами, при русловой компоновке сооружений перемычки получаются очень тяжелыми, а возведение бетонных сооружений в две очереди значительно увеличивает срок строительства. Поэтому русловые компоновки энергетических и комплексных гидроузлов при не скальных грунтах основания имеют ограниченное применение.

Пойменные компоновки бетонных водопропускных сооружений – водосбросной плотины и здания гидроэлектростанции – речных гидроузлов, возводимых на равнинных реках с высокими половодьями, получили широкое распространение (рис. 5.5).

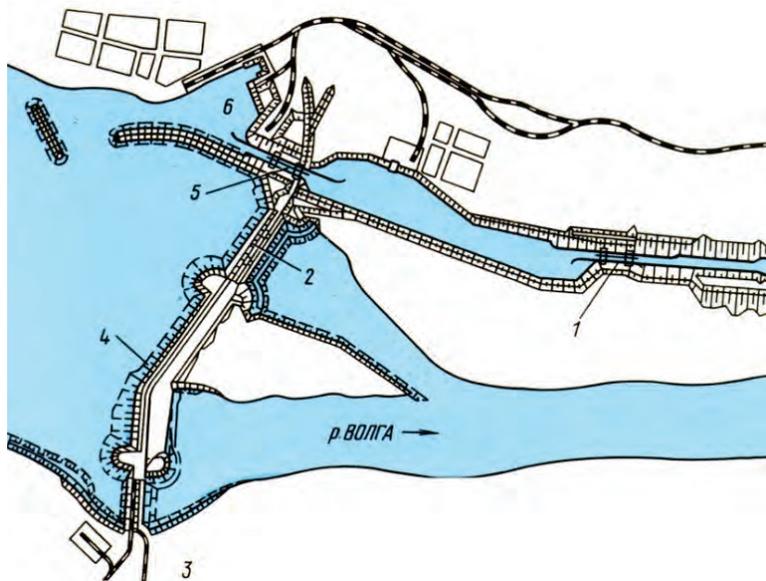


Рис. 5.5. Схема пойменной компоновки Жигулевского энергетическо-транспортного гидроузла на р. Волге с расположением водосбросной плотины и здания ГЭС на разных берегах реки:

1 – нижний судоходный шлюз; 2 – водосливная плотина; 3 – здание ГЭС;  
4 – земляная плотина; 5 – верхний шлюз; 6 – порт

Особенностью такой компоновки гидроузла является то, что все бетонные водопропускные сооружения возводятся на пойме реки вне ее основного меженного русла за общими ограждающими перемычками, а по руслу реки между продольной перемычкой и вторым берегом в течение всего периода строительства сооружений пропускаются расходы реки и суда. После готовности этих сооружений и выемки грунта из подводящих к ним и отводящих каналов через них пропускаются меженные расходы воды, а русло ее перекрывается в текущую воду. Такая компоновка сооружений в значительной мере обусловлена широким развитием производства земляных работ способом гидромеханизации, позволяющим быстро и относительно дешево производить выемку грунта из каналов на пойме и намыв грунта в русловую земляную плотину.

При выборе компоновки следует стремиться к тому, чтобы компоновка сооружений гидроузла обеспечивала при наименьших объемах работ и удовлетворительных гидравлических условиях эксплуатации сооружений благоприятные инженерно-геологические условия их оснований. Поэтому при технико-экономических расчетах, проводимых для выбора наилучшего решения вариантов компоновки бетонных водопропускных сооружений на различных грунтах, следует обязательно учитывать влияние геотехнических характеристик грунтов основания и на конструкции сооружений, и на длину водосбросного фронта.

При выборе расположения в гидроузле наиболее тяжелых бетонных водопропускных сооружений нужно учитывать инженерно-геологические характеристики грунтов, слагающих основания – литологический состав и однородность, фильтрационные свойства, сдвиговые и деформационные показатели, размываемость, химический состав и т. д. Что же касается земляных плотин, то они при любом расположении бетонных сооружений достаточно просто компонуются между ними. Выбор трасс земляных сооружений определяется в большинстве случаев местными топографическими (наиболее повышенными отметками поверхности земли) и геологическими условиями. При этом требуется лишь соблюдать на них минимальный радиус закруглений из условий пропуска через гидроузлы железнодорожных путей и автомобильных дорог, а также подвода их к от-

дельным сооружениям гидроузла (например, судоходным шлюзам, монтажным площадкам ГЭС и т. п.).

В связи с этим очертание напорного фронта гидроузла в плане может быть весьма разнообразным – и близким к прямолинейному, и ломаным (рис. 5.6).

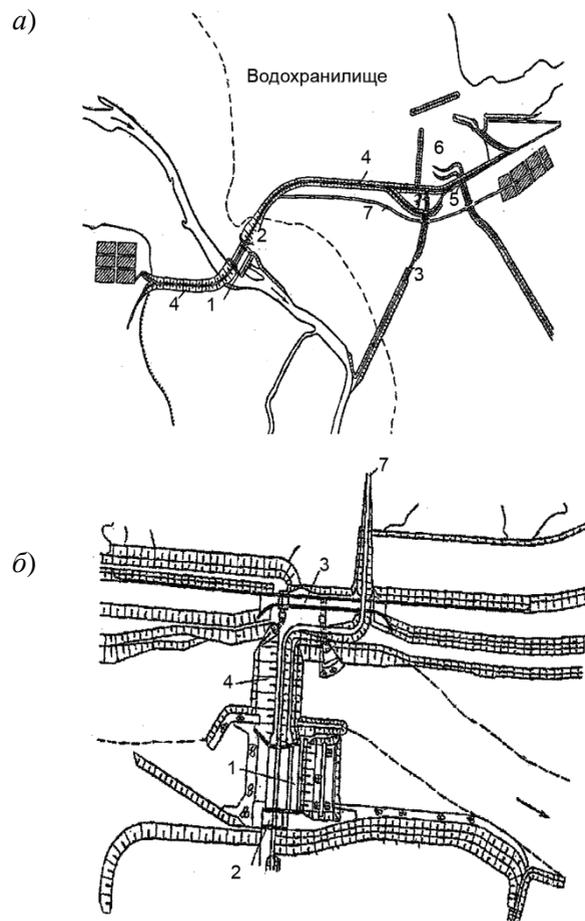


Рис. 5.6. Схема планового очертания напорного фронта гидроузлов:  
*а* – криволинейное, Цимлянский гидроузел; *б* – прямолинейное, Угличский гидроузел:  
 1 – водосбросная плотина; 2 – здание ГЭС; 3 – судоходные шлюзы; 4 – земляная плотина;  
 5 – водозаборное сооружение; 6 – аванпорт; 7 – автодорога

В комплексных средненапорных гидроузлах на равнинных реках со значительными водохранилищами все донные и практически все взвешенные песчаные фракции речных наносов осаждаются в верхнем бьефе гидроузла. Поэтому при наличии в составе таких гидроузлов водозаборных сооружений оросительных систем или промышленного водоснабжения расположение в плане этих сооружений обычно определяется в основном проектными отметками их водоотводящих трактов и рельефом местности по напорному фронту. В таких условиях забор из верхнего бьефа гидроузла необходимого количества воды часто осуществляется сооружением, расположенным вне напорного фронта гидроузла или на пойменном, малонапорном участке его дамб. Примером последнего является водозабор оросительной системы левобережья р. Дон на Цимлянском гидроузле (см. рис. 5.6, *а*).

При этом обычно не требуется особых мер для борьбы со льдом, наносами и плавающими предметами и мусором; расположение водозабора определяется в основном топографическими и геологическими условиями поймы, а его влияние на компоновку сооружений гидроузла обычно ограничивается трассой берегового участка земляной плотины или дамбы. Поэтому компоновка таких водозаборных сооружений вместе с отходящими от них водопроводящими трактами, а также их конструкции могут в большинстве случаев выбираться независимо от расположения и конструкций других бетонных сооружений речного гидроузла.

На выбор основной схемы гидроузла и компоновку его сооружений, возводимых на не скальных основаниях, кроме рассмотренных выше факторов, существенно влияют условия производства работ, в том числе главным образом условия:

*а*) ограждения котлованов и пропуска расходов речных вод и судоходства во время строительства;

*б*) подхода подъездных путей и размещения подсобно-вспомогательных предприятий на стройплощадке.

Расположение в плотинных гидроузлах всех гидротехнических сооружений по линии напорного фронта делает организацию работ по возведению таких гидроузлов связанной с обязательным пропуском расходов реки в строительный период в обход или через возводимые сооружения. Возведение отдельных сооружений

напорного фронта приходится так планировать во времени, чтобы был непрерывно обеспечен пропуск расходов реки, а вследствие этого все построение календарного плана строительства идет в разрезе гидрологических периодов – от одного половодья до другого.

При пойменной компоновке бетонных сооружений гидроузла пропуск расходов реки в период строительства производится по естественному руслу, обычно стесненному перемычками, расположенными на пойме. Однако при пойменной компоновке бетонных сооружений для пропуска через них расходов реки при перекрытии русла, а также в дальнейшем в начальный период эксплуатации приходится разрабатывать на пойме в верхнем бьефе подводящий канал к ним, а в нижнем – отводящий канал.

### Вопросы для самопроверки

1. Что такое гидроэнергетический узел?
2. Как определяется полезный, мертвый объем водохранилища, объем форсировки?
3. Какие расчетные расходы и напоры ГЭС используются при проектировании гидроэнергетического гидроузла?
4. Что такое гарантированная и установленная мощность ГЭС, как определяется?
5. Какой порядок выполнения водохозяйственных расчетов при проектировании гидроузла ГЭС?
6. Назовите факторы, которые необходимо учитывать при назначении отметки уровня мертвого объема (УМО).
7. Назовите виды компоновок гидроузла на равнинной реке, как производится выбор компоновки гидроузла при проектировании.

### Список рекомендуемой литературы к главе 5

1. **Арсеньев А.Г.** Основы водохозяйственного проектирования. Учебное пособие. Л.: Изд. ЛПИ. 1985.
2. **Бахтияров В.А.** Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. Л.: Гидрометеиздат. 1961.
3. **Непорожний П.С., Обрезков В.И.** Введение в специальность: Гидроэнергетика: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат. 1990.

4. **Гидротехнические** сооружения (справочник проектировщика) / Г.В. Железняков, Ю.И. Ибад-заде, П.Л. Иванов и др.: Под общ. ред. В.Г. Недриги. М.: Стройиздат. 1983.

5. **Гидротехнические** сооружения / Н.П. Розанов, Я.В. Бочкарев, В.С. Лапшенков и др.: Под ред. Н.П. Розанова. М.: Агропромиздат. 1985.

6. **Гидроэнергетика:** Учебник для вузов / А.Ю. Алесандровский, М.И. Кнеллер, Д.Н. Коробова и др. Под ред. В.И. Обрезкова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат. 1988.

7. **Волжско-Камский** гидроэнергетический каскад. Фонд «Юбилейная летопись». 2005.

8. **Февралев А.В.** Проектирование гидроэлектростанций на малых реках: Учебное пособие. г. Горький: ГИСИ им. В.П. Чкалова. 1990.

## Глава 6

### КОМПОНОВКА ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГИДРОУЗЛОВ НА ГОРНЫХ РЕКАХ. ДЕРИВАЦИОННЫЕ ГЭС

Строительство ГЭС на равнинных реках выводит из использования огромные территории плодородной земли, нарушает жизнь экосистемы реки. На горных реках гидроузлы удобны тем, что не связаны с затоплением больших территорий, но при этом имеется опасность из-за довольно высокой сейсмичности горных районов. Поэтому при выборе створа для строительства средненапорных и высоконапорных гидроузлов решающими факторами является топографические и геологические условия (включая фоновую сейсмичность). При этом пойма, расположение водосброса, ледовый и наносный режим не играют решающей роли при компоновке сооружений.

На средненапорных и высоконапорных гидроузлах на скальных основаниях применяется тип *приплотинной ГЭС*.

При значительных напорах, превышающих величину примерно 4-х диаметров реактивной турбины, нецелесообразно передавать на здание ГЭС гидростатическое давление воды. В этом случае строятся *приплотинные ГЭС*, при этом напорный фронт на всём протяжении перекрывается плотиной, а здание ГЭС размещается за плотиной. Компоновка сооружений узлов с приплотинной ГЭС зависит от ширины створа, типа плотины и напора. Здания приплотинных ГЭС располагаются в непосредственной близости от бетонных плотин, вода передается напорными водоводами. Здания ГЭС могут быть наземные, подземные, полуподземные, могут размещаться в теле бетонной плотины.

Компоновки различают обычные и в узких створах. Пример обычной – Красноярская ГЭС на р. Енисей (рис.6.1). Русло Енисея сложено из гранитов, ширина 750 м, высота 120 м. Плотина имеет высокий носок, отбрасывающий воду на 100 м от плотины, что предохраняет ее от подмыва. Здание ГЭС находится непосредственно за плотиной. Компоновка Красноярской ГЭС характерна для гидроузлов многоводных сибирских рек, протекающих в районе с резко континентальным климатом, тяжелыми условиями ледохода и имеющих крутые скальные берега.

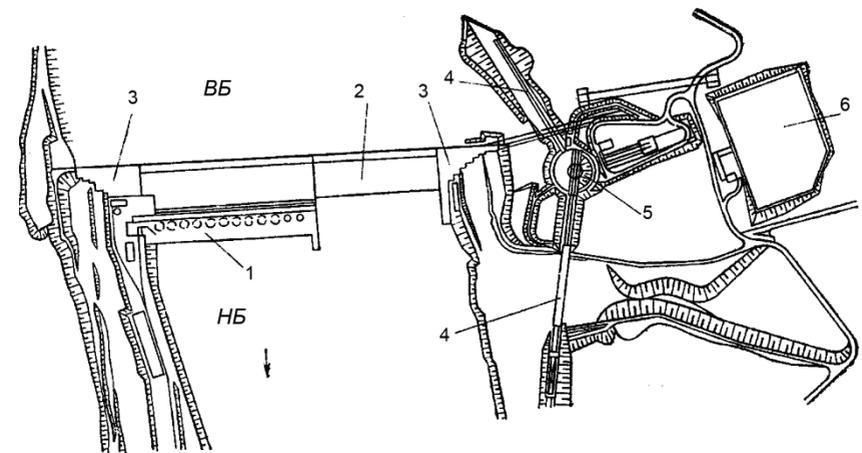


Рис. 6.1. Красноярский гидроузел:  
1 – здание ГЭС приплотинного типа; 2 – водосливная плотина; 3 – глухая бетонная плотина; 4 – наклонный судоподъемник; 5 – поворотный круг судоподъемника; 6 – ОРУ (открытые распределительные устройства)

Если фронт сооружений стеснен и не хватает места для размещения водосбросных сооружений в русле, а врезка бетонных сооружений оказывается слишком дорогой, применяются:

1. *Криволинейное в плане расположение плотины и здания ГЭС* (Саяно-Шушенская на Енисее).

Узкий створ предполагает криволинейное в плане размещение арочной плотины и здания ГЭС. Для гашения энергии за плотиной расположен водобойный колодец. В состав гидравлической трассы между верхним и нижним бьефом ГЭС такого типа входят

глубинный водоприёмник с мусорозадерживающей решёткой, турбинный водовод, спиральная камера, гидротурбина, отсасывающая труба. В качестве дополнительных, сооружений в состав узла могут входить судоходные сооружения и рыбоходы, а также дополнительный водосброс (рис. 6.2)

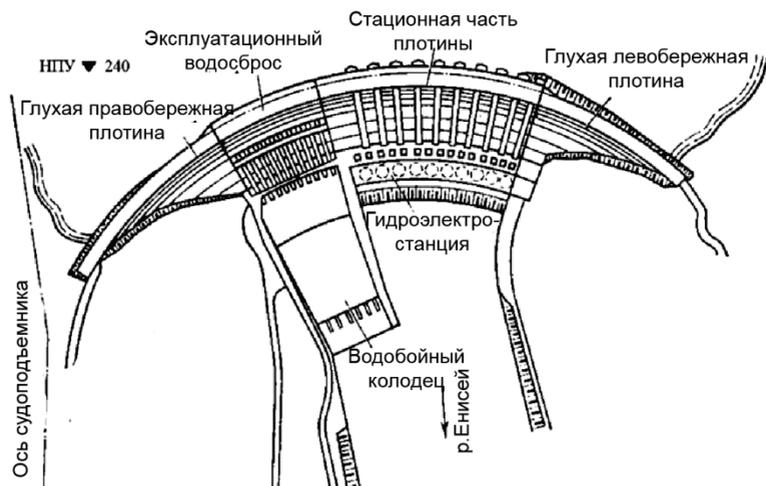


Рис. 6.2. Саяно-Шушенский гидроузел

2. *Двухрядное расположение агрегатов* – Токтогульская на р. Нарын (Киргизия) и Чиркейская на р. Сулак (Дагестан) (рис.6.3);

3. *Вынос водосбросных сооружений на берег* (туннельные и открытые водосбросы) – Сангтудинская ГЭС-1 на р. Вахш (Таджикистан). При расположении здания ГЭС вдоль русла реки подвод воды к турбинам и сброс из водохранилища осуществляется по напорным туннелям, прокладываемым в береговом склоне (Боулдер (Гувер) ГЭС, США) (рис.6.4).

4. *Водосливная ГЭС с переливом воды через усиленное верхнее перекрытие здания.* Схема водосливного здания ГЭС приведена на рис. 6.5. Водосливные ГЭС Бор, Эгель, Шастон построены во Франции, Салимэ ГЭС – в Испании, Ивайловград – в Болгарии (рис. 6.6) и т.д.

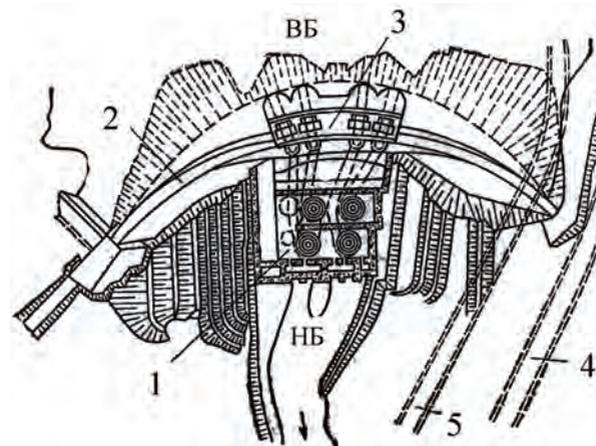


Рис. 6.3. Чиркейский гидроузел:

1 – здание ГЭС с двухрядным расположением агрегатов; 2 – арочная плотина; 3 – водоприемник; 4 – отводящий туннель от эксплуатационного водосброса; 5 – туннель для пропуска строительных расходов

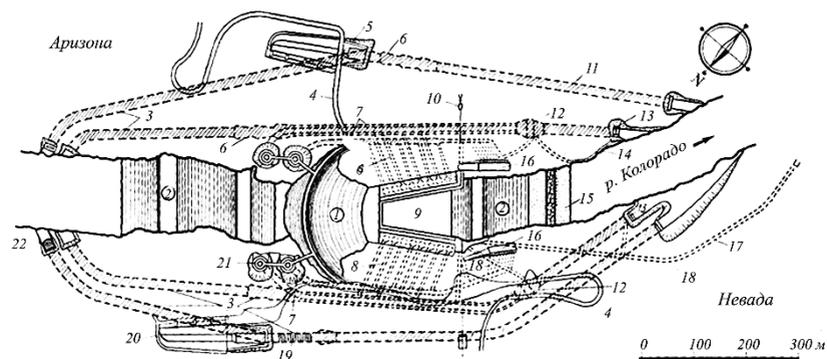


Рис. 6.4. Боулдер (Гувер) ГЭС, США:

1 – плотина; 2 – перемычка; 3 – строительный водосбросной туннель; 4 – автодорога; 5 – водослив «Аризона» с боковым отводом воды; 6 – бетонная пробка; 7 – стальной трубопровод; 8 – трубопроводы; 9 – здание ГЭС; 10 – кабель; 11 – туннель водосброса; 12 – водовыпуски в пробке туннеля; 13 – затвор; 14 – водоотвод; 15 – банкет; 16 – водосброс в стенке каньона; 17 – туннель к зданию ГЭС; 18 – штольни; 19 – временное водопропускное отверстие; 20 – водослив «Невада» с боковым отводом воды; 21 – башенные водоприемники; 22 – решетка

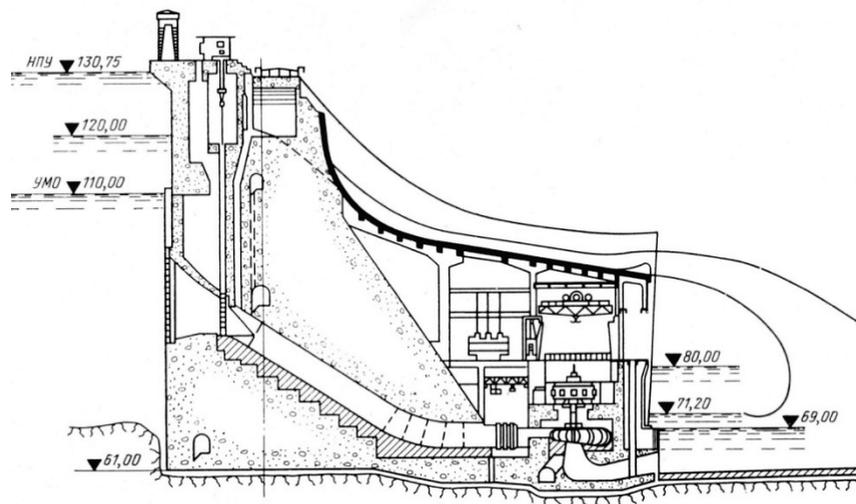


Рис. 6.5. Схема водосливного здания ГЭС (Ивайловград)



Рис. 6.6. ГЭС Ивайловград

Вид компоновки приплотинных ГЭС, соответствующий горным условиям, при сравнительно малых расходах реки, характерен для Нурекской ГЭС на р. Вахш (Таджикистан), проектной мощно-

стью 2700 Мвт с уникальной плотиной высотой 300 м (рис.6.7). Подвод воды к спиральным камерам турбин осуществляется туннелями, проложенными в береговом массиве. Здание ГЭС открытого типа располагается ниже плотины, вода подводится к турбинам по одному или нескольким напорным туннелям.

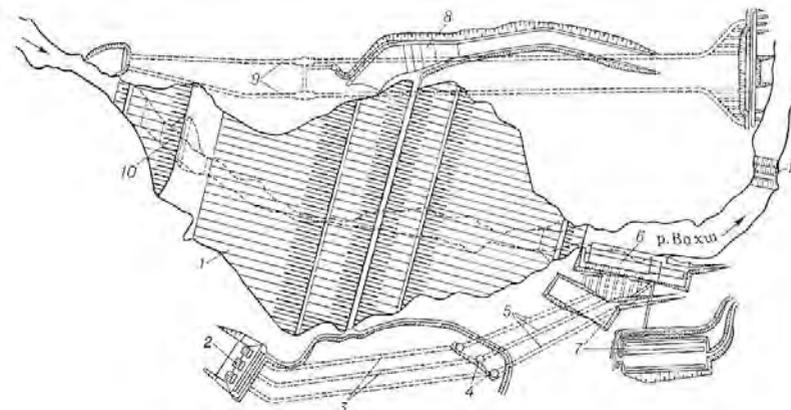


Рис. 6.7. Нурекская ГЭС на р. Вахш:

- 1 – плотина; 2 – водоприемник ГЭС; 3 – напорные водоотводящие туннели; 4 – уравнильные резервуары; 5 – турбинные водоводы; 6 – здание ГЭС; 7 – открытое распределительное устройство; 8 – открытый водосброс с отводящим каналом; 9 – строительные туннели; 10 – верховая и низовая перемычки.

### Деривационные ГЭС

При значительных уклонах реки в горной местности перепад уровня обычно создается за счет деривации – *открытой* (в виде канала) или *закрытой* (в виде трубопровода) с пологими уклонами – подводящими воду к ГЭС, расположенной на некотором расстоянии ниже места забора воды.

Режим стока горных рек зависит от их питания, в основном горно-снегового и ледникового. Так как снеготаяние в горах имеет затяжной характер, это обуславливает растянутость половодья. В этом случае в месте водозабора создается плотина небольшой высоты, обеспечивающая возможность поступления воды в деривацию. Для увеличения емкости водохранилища плотину устраивают в сжатом створе долины, выше которого имеется ее расширение. В ряде случаев регулирующее водохранилище сооружается выше

места водозабора на гидростанцию на той же реке или ее притоках (*верховые водохранилища*).

Гидроэнергетическое оборудование допускает отметки верхнего бьефа и напора в определенных пределах, что позволяет срабатывать водохранилище в периоды маловодья и наполнять в периоды многоводья, регулируя расходы ГЭС. Так как при сработке водохранилища снижается напор на ГЭС, что вызывает потери мощности и энергии, *оптимальная глубина сработки* устанавливается в проекте на основании технико-экономических расчетов, в которых сопоставляется энергетический и экономический эффект от регулирования стока с потерями от снижения напора.

Часть емкости водохранилища, которая находится в пределах принятой сработки и может быть использована для регулирования стока, называется *полезной емкостью*.

Емкость, расположенная ниже горизонта сработки – *мертвой емкостью*.

При данном гидрологическом режиме регулирующая способность водохранилища определяется *коэффициентом регулирования  $\alpha$* , равным отношению минимального зарегулированного расхода  $Q_p$  к среднемугодовому расходу  $Q_{ср}$ , т. е.  $\alpha = Q_p / Q_{ср}$ , и зависит от *коэффициента емкости водохранилища  $\beta$* , равного отношению полезной емкости водохранилища  $V_{пол}$  к объему годового стока  $W$ :  $\beta = V_{пол} / W_0$ .

Различают следующие виды регулирования: *сезонное*, заключающееся в перераспределении стока из многоводных сезонов года в маловодные, и *многолетнее*, состоящее в перераспределении стока из многоводных лет в маловодные. Многолетнему регулированию должно обязательно сопутствовать сезонное.

От этих двух видов регулирования, имеющих назначением выравнивание неравномерного естественного стока, принципиально отличается суточное и недельное регулирование, которое заключается в перераспределении равномерного стока в соответствии с неравномерным потреблением воды на гидростанции в различные часы суток и в рабочие и выходные дни недели.

Тот или иной вид регулирования на горных реках осуществляется при следующих примерных величинах коэффициента емкости:

суточное  $< 0,001$ , недельное  $0,005 - 0,01$ ; сезонное  $0,09 - 0,25$ , многолетнее  $> 0,25$ .

Кроме указанных видов регулирования стока на гидроузлах, часто осуществляется регулирование максимального стока за счет временного повышения (форсировки) горизонта воды водохранилища над нормальным подпорным при пропуске расчетного паводка с целью уменьшения размеров водосбросного сооружения.

Деривация применяется для создания напора преимущественно при сравнительно больших уклонах реки. Напор деривационных ГЭС составляет от 20–40 до 2000 м и более. В горных условиях деривация становится главным и наиболее выгодным способом создания напора. На равнинных реках применение деривации может оказаться целесообразным на участках с резкими изменениями продольного профиля реки: порожистые участки, водопады (Нарвская ГЭС на р. Нарва, рис. 6.8), а также в установках малой мощности. Вода из подпертого бьефа поступает в деривацию через водозаборное устройство (водоприемник).

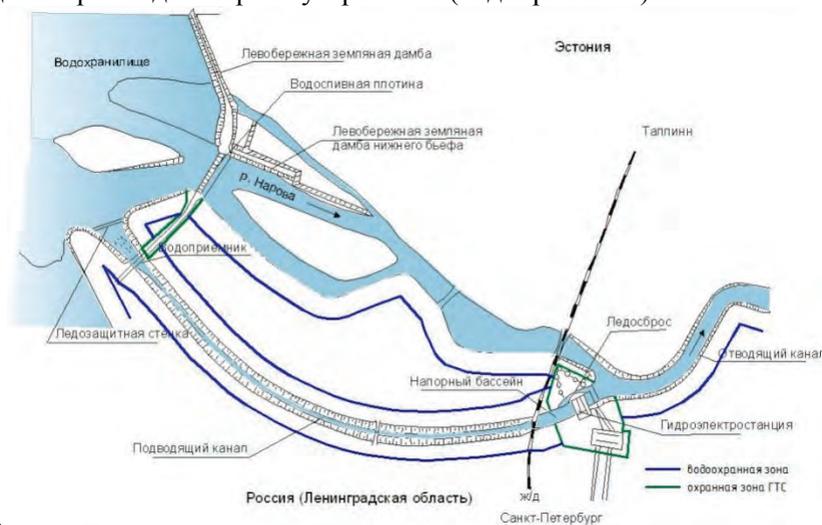


Рис. 6.8. Нарвская ГЭС

Вода в начале используемого участка реки отводится из речного русла водоводом, с уклоном, значительно меньшим, чем средний уклон реки на этом участке и со спрямлением изгибов и

поворотов русла. Конец деривации подводят к месту расположения здания ГЭС. Отработанная вода либо возвращается в реку, либо подводится к следующей деривационной ГЭС.

Деривация может быть *безнапорной* (рис. 6.9), в виде каналов или лотков, или *напорной* (рис. 6.10), в виде трубопроводов, а также *смешанного типа*.



Рис. 6.9. Деривационная ГЭС с каналом

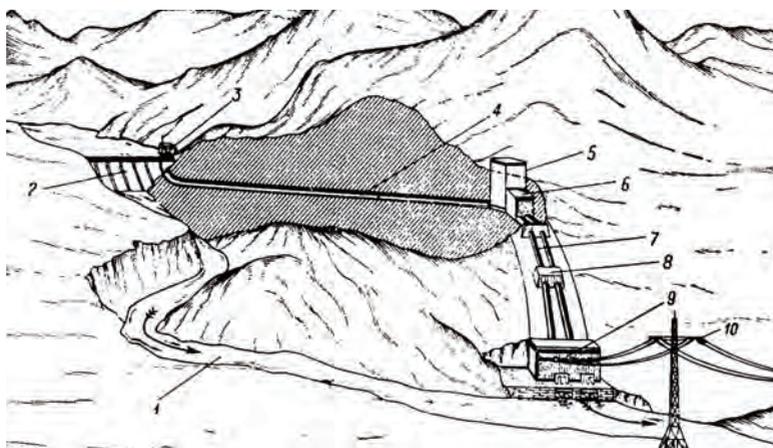


Рис. 6.10. Деривационная ГЭС с напорным подводящим туннелем в горном массиве:  
1 – русло реки; 2 – плотина; 3 – водоприемник; 4 – напорный туннель; 5 – уравнильный резервуар; 6 – помещение затворов; 7 – турбинные трубопроводы; 8 – анкерная опора; 9 – здание ГЭС; 10 – ЛЭП

Иногда, в зависимости от местных условий, здание ГЭС выгоднее располагать на некотором расстоянии от конца используемого участка реки вверх по течению (рис.6.11); деривация разделяется по отношению к зданию ГЭС на *подводящую и отводящую*.

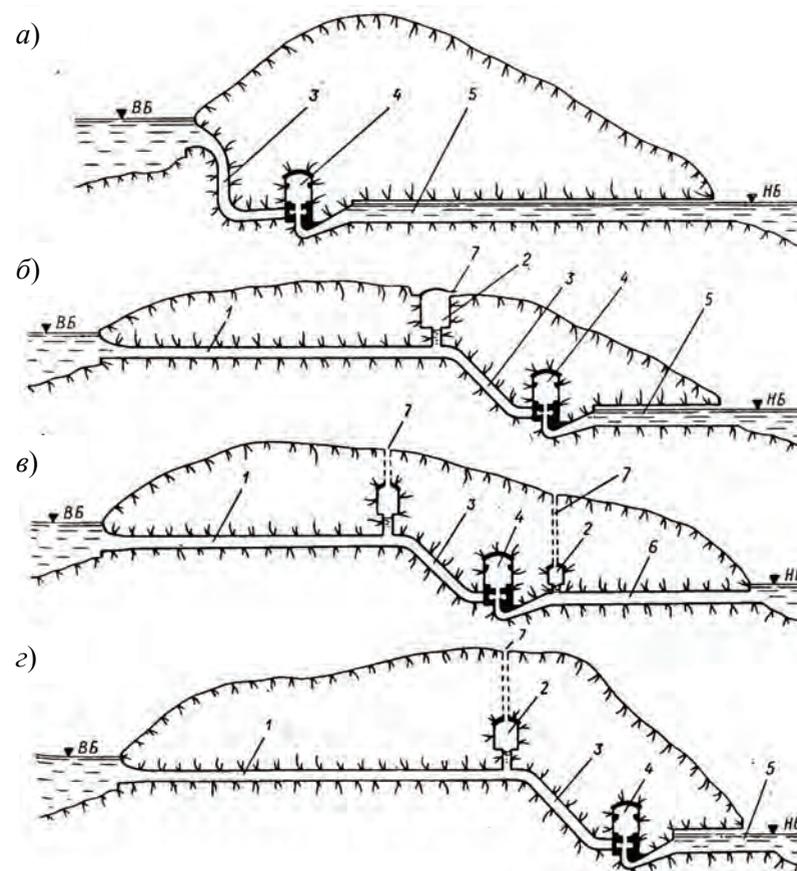


Рис. 6.11. Схема деривационных установок с подземным расположением машинного зала:

*а* – в начале туннеля; *б, в* – в средней части туннеля; *г* – в конце туннеля;  
1 – подводящий напорный туннель; 2 – уравнильный резервуар; 3 – турбинные водоводы;  
4 – машинный зал; 5 – безнапорный отводящий туннель; 6 – напорный отводящий туннель;  
7 – воздухопровод

В ряде случаев с помощью деривации производится переброска стока реки в соседнюю реку, имеющую более низкие отметки русла. Характерным примером является Ингурская ГЭС, где сток р. Ингури перебрасывается туннелем в соседнюю р. Эрисцкали.

Сооружения деривационных ГЭС (а также с плотинно-деривационной схемой концентрации напора) по местоположению и назначению разделяются на следующие *основные узлы*: головной узел; деривация; станционный узел.

#### Головной узел

Головной узел (рис. 6.12) объединяет сооружения, предназначенные для создания подпора в реке и направления потока в деривацию, очистки воды от сора и наносов, а иногда ото льда и шуги: плотину, водосбросные устройства, водоприемник (водозабор), отстойник, промывные и ледосбросные устройства. Такие сооружения, как отстойник, водосброс, шугосброс, могут размещаться, исходя из местных условий не только на головном узле, но и в различных местах трассы деривации.

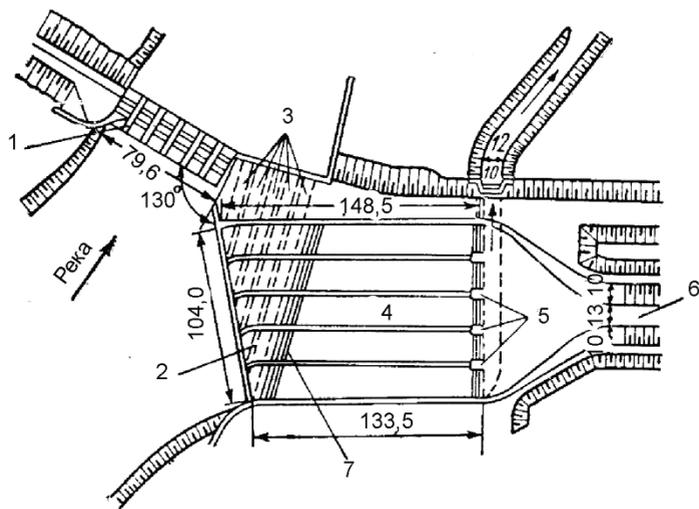


Рис. 6.12. Головной узел деривационной ГЭС с отстойником:  
1 – плотина; 2 – водозабор в деривацию ГЭС; 3 – донные промывные галереи;  
4 – отстойник; 5 – промывные галереи; 6 – деривационный канал ГЭС;  
7 – распределительные решетки

Компоновка головных узлов определяется типом и размерами плотины и водосбросных сооружений. Плотины возводятся, как правило, водосливные, с низкими порогами, оборудованные затворами или береговыми водосбросами.

Необходимость пропуска наносов, шуги и льда в нижний бьеф оказывает существенное влияние на расположение сооружений головного узла.

Расчетами устанавливается, какие по крупности и в каком количестве наносы могут быть пропущены в деривацию. Возможность попадания наносов в деривацию заставляет принимать ряд предупредительных мер. Одна из основных мер – пропуск возможно большего количества донных наносов через плотину. Для этого наиболее подходит плотина с низким порогом, перекрываемая затворами. Для пропуска донных наносов затворы открывают полностью или приподнимают частично. Лучшими будут затворы, поднимающиеся кверху: плоские, сегментные и цилиндрические.

Входное сечение водозабора должно иметь порог, возвышающийся не менее чем на 1–2 м над дном реки. Этот порог задерживает донные наносы, не позволяя им проникнуть в деривацию. Достигается это рациональным расположением порога и промывных отверстий плотины.

Для эффективной работы промывных галерей полезно создавать прямой вход потока в галереи, сократить их длину и по возможности избегать их поворотов. Схема с донными галереями целесообразна при наличии достаточного напора, превышающего 3 м, и при малых промывных расходах. На рис. 6.12 показана схема размещения отдельных сооружений головного узла ГЭС с безнапорной деривацией в виде деривационного канала. Для установки с напорной деривацией типичны сравнительно высокие плотины и большие колебания уровня воды в водохранилище. Глубинный водоприемник напорной деривации, как правило, размещается в стороне от плотины.

#### Деривация

Деривационные водоводы и сооружения на их трассе (собственно деривация) осуществляют подвод воды к станционному

узлу сооружений. Деривационные водоводы могут быть *напорными* (это туннели, трубопроводы) или *безнапорными* (каналы, туннели, лотки). На трассе безнапорной деривации устраивают ливне-спуски, акведуки, дюкеры, боковые водосбросы, пороги для защиты от наносов, защитные устройства от камнепадов, селей и другие сооружения. На трассе деривации, обычно в конце ее, могут устраиваться бассейны суточного регулирования.

Водопроводящие сооружения возводят в тех местах, где канал пересекает естественные или искусственные препятствия в виде балок, оврагов, водотоков, дорог и др.

Если канал пересекает ложбину или балку небольшой ширины и глубины, то возводят сооружение не на самом канале, а под ним в виде трубы – ливнепровода для пропуска талых и ливневых вод, проходящих через балку. Основным элементом этих сооружений является труба круглого или прямоугольного сечения или при больших расходах – несколько труб, преимущественно железобетонных или асбестоцементных, реже стальных.

При наличии дороги, оврага или реки, значительных по ширине и глубине, для перехода канала строят акведуки (мосты-водоводы).

*Дюкерами* называют трубопроводы, которые укладывают под руслом реки, каналом, под дорогой по дну глубокой и широкой долины для пропуска через них воды, идущей по каналу. Применяют дюкеры, когда каналы пересекаются с рекой или дорогой на близких уровнях и, следовательно, нельзя провести воду по акведуку. Кроме того, при широких и глубоких долинах дюкер экономичнее акведука (главным образом из-за значительной стоимости большого количества высоких опор в последнем). Трубопровод дюкера выполняют чаще из звеньев бетонных и железобетонных труб круглого или прямоугольного сечения.

*Безнапорная деривация* осуществляется при небольших колебаниях уровня воды в верхнем бьефе головного узла. Безнапорная открытая деривация применяется в предгорной относительно ровной местности, позволяющей построить на одном из берегов реки открытый канал. Трасса канала при его значительной длине обычно пересекает овраги, долины впадающих в основную реку ручьев и речек, хребты горных выступов, близко подступающих к

реке. Осуществление открытого канала на всем протяжении деривации приводит к его значительной извилистости для захода в глубокие впадины долин и обхода горных выступов. Для сокращения длины трассы приходится пересекать долины *акведуками*, а хребты – *туннелями*. Рационально выбрать местоположение и размеры этих сооружений можно лишь после изучения различных вариантов проектов с учетом как стоимости сооружений, так и потерь напора. Выбор берега, по которому будет проложена деривация, не всегда решается однозначно. Важную роль в выборе трассы играют геологические условия, которые должны быть достаточно разведаны по всем возможным вариантам. При пересечении трассой канала поперечно направленного горного хребта в нем прокладывается безнапорный туннель по кратчайшему направлению. Например, на Гюмушской ГЭС (Армения) безнапорная деривация длиной 20 км состоит из 12 км каналов и 8 км туннелей.

При больших колебаниях уровня воды в верхнем бьефе головного узла экономичной обычно оказывается *напорная деривация*. Напорная деривация осуществляется преимущественно в виде напорного туннеля, имеющего иногда вставки открытого напорного трубопровода, если трасса туннеля пересекается какими-то глубокими долинами. Есть примеры осуществления напорной деривации трубопроводом на всем протяжении, когда напор в деривации сравнительно невелик и ее трасса может быть проложена открыто с небольшими отклонениями в плане и в профиле от кратчайшей прямолинейной трассы.

#### *Станционный узел сооружений*

Станционный узел объединяет комплекс сооружений в конце деривационного тракта: напорный бассейн, аварийный водосброс, сор- и льдозащитные устройства – при безнапорной деривации, а при напорной – уравнивающий резервуар. Независимо от типа деривации к станционному узлу относятся турбинные водоводы, здание ГЭС (собственно станция), распределительное устройство, отводящий водовод (канал, туннель).

Схемы станционных узлов и компоновки сооружений могут быть крайне разнообразными в зависимости от топографических и геологических условий, напоров и расходов воды. Обычно все сооружения станционного узла целесообразно располагать на участ-

ке наиболее сосредоточенного падения местности, стремясь сократить длину турбинных трубопроводов. В случае экономической целесообразности здание ГЭС может размещаться в глубокой выемке, хотя это вызывает увеличение длины отводящей деривации. Пример станционного узла деривационной ГЭС с безнапорной деривацией приведен на рис. 6.13.

На монтажную площадку здания ГЭС и на площадку открытого распределительного устройства (ОРУ) должны быть подведены подъездные пути: железнодорожные или автодорожные. Бассейн суточного регулирования целесообразно располагать как можно ближе к напорному бассейну; иногда они конструктивно совмещаются. При высоких напорах здание ГЭС располагается иногда вдоль напорных трубопроводов рядом с ними, что в случае прорыва трубопровода должно обеспечить сохранность самого здания станции.

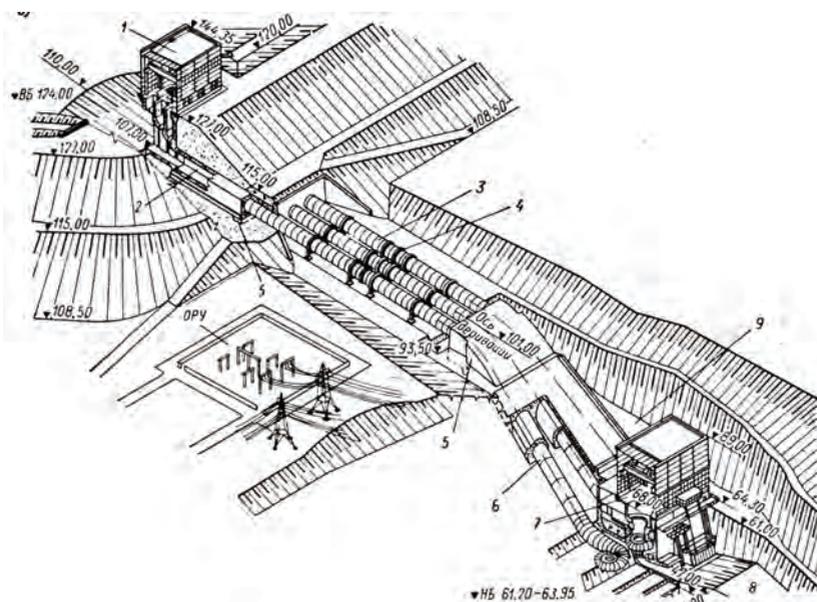


Рис. 6.13. Станционный узел деривационной ГЭС с безнапорной деривацией:  
1 – здание водоприемника; 2 – турбинные водоводы, железобетонные; 3 – то же стальные открытые; 4 – температурные компенсаторы; 5 – анкерные опоры; 6 – турбинные трубопроводы, стальные, обетонированные и засыпанные щебнем; 7 – здание ГЭС;  
8 – отводящий канал; 9 – аварийный отводящий канал

Отличительной особенностью станционного узла ГЭС с напорной деривацией обычно является наличие уравнительного резервуара. При не слишком большой амплитуде колебаний уровня верхнего бьефа уравнительный резервуар делается в виде открытой стоящей башни у выходного конца туннеля. Если потребная высота уравнительной башни превышает 30 м, она заменяется вертикальной или наклонной шахтой, размещаемой в горном массиве перед концом туннеля. На ГЭС Ингури высота вертикальной шахты составляет 140 м.

От уравнительного резервуара-шахты идет короткий участок напорного туннеля до выхода на дневную поверхность, где туннель разветвляется и переходит в турбинные трубопроводы. В их начале располагается помещение затворов, позволяющих отключить любой турбинный трубопровод в случае аварии или для ремонта.

В определенных условиях, характеризуемых сложным рельефом местности (очень крутые склоны) или особым геологическим строением, здание станции выполняется подземным, что может дать не только экономическое, но и единственно приемлемое решение. При этом в состав станционного узла сооружений входит отводящая безнапорная или напорная деривация. В последнем случае на выходе из отсасывающей трубы может оказаться необходимым уравнительный резервуар. При подземном расположении машинного зала в зависимости от конкретных условий применяются компоновки с головным, промежуточным или концевым расположением машинного зала (см.рис. 6.11).

### Вопросы для самопроверки

1. Приведите примеры компоновок гидроузлов на скальных основаниях в узких створах.
2. Когда применяется деривация для создания напора ГЭС?
3. Назовите основные узлы деривационной ГЭС, состав сооружений каждого узла.
4. Назовите гидротехнические сооружения узлов напорной и безнапорной деривационной ГЭС.

### Список рекомендуемой литературы к главе 6

1. **Гришин М.М.** Гидротехнические сооружения. Часть I. Часть II. М. Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре. 1955.
2. **Гидротехнические** сооружения (справочник проектировщика) / Г.В.Железняков, Ю.И. Ибад-заде, П.Л. Иванов и др.: Под общ. ред. В.Г. Недриги. М.: Стройиздат. 1983.
3. **Гидротехнические** сооружения / Н.П. Розанов, Я.В. Бочкарев, В.С. Лапшенков и др.; Под ред. Н.П. Розанова. М.: Агропромиздат. 1985.
4. **Гидроэнергетика:** Учебник для вузов / А.Ю. Алесандровский, М.И. Кнеллер, Д.Н. Коробова и др. Под ред. В.И. Обрезкова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат. 1988.

## Глава 7

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА ВОДОХРАНИЛИЩА КОМПЛЕКСНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Водоохранилище комплексного назначения* – водохранилище, предусмотренное для удовлетворения потребности в воде нескольких отраслей национальной экономики.

Водоохранилище с гидроузлом и участок нижнего бьефа, в пределах которого сказывается влияние изменения гидрологического режима, образуют *водохозяйственный комплекс* (ВХК).

Рекам России свойственно неравномерное распределение стока внутри года: весеннее половодье, проходящее в сравнительно небольшие промежутки времени, и затяжная летне-осенняя и зимняя межень. Большие паводки летом отмечаются только при интенсивных дождях и при хорошем предшествующем увлажнении водосбора.

Внутригодовое распределение стока рек по некоторым регионам России приведено в табл. 7.1.

Из таблицы видно, что на большинстве рек России более 50% объема годового стока приходится на 2–3 половодных месяца.

*Регулирование стока рек* осуществляется в связи с внутригодовой и многолетней изменчивостью речного стока, территориальной неравномерностью распределения стока для обеспечения населения и хозяйства страны необходимым количеством воды.

Требования различных отраслей к водопотреблению в разные сезоны года различны (рисунок).

Сопоставлением естественного природного стока с намечаемым режимом его использования определяется характер и мас-

штабы регулирования низкого стока и стока половодий и паводков.

### Внутригодовое распределение стока по некоторым регионам России

Регион	Сезонный сток, % от годового		
	весна	лето–осень	зима
Север европейской территории	55–65	25–35	10–20
Запад и юго-запад европейской территории	30–50	30–35	20–35
Южное Заволжье, Южное Приуралье	90–95	4–8	1–2
Крайний север и северо-восток Сибири	40–50	45–55	5
Западная Сибирь	45–55	35–45	10
Восточная Сибирь, Урал	70–80	15–25	5
Забайкалье, Яно-Индигорский район, Дальний Восток, Камчатка	30–40	55–65	5

В каждом регионе наибольшее развитие получают те отрасли водного хозяйства, которые отвечают естественноисторическим условиям и специализации хозяйства региона. Так, орошение и обводнение играют ведущую роль в зоне недостаточного увлажнения или в районах с неблагоприятным для растениеводства внутригодовым распределением осадков, например, в районах Южного Поволжья и др.

Гидроэнергетика получила большое развитие в тех районах, где имеются запасы водной энергии и большая потребность в электрической энергии для развития индустрии района, электрификации железнодорожного транспорта и др.

В районах с муссонным климатом (Дальний Восток), подверженных частым и разрушительным затоплениям дождевыми водами, одной из ведущих отраслей водного хозяйства является борьба с наводнениями.

В других природных и экономических условиях основным направлением в развитии водного хозяйства может быть водоснабжение, водный транспорт, рыбное хозяйство, рекреации и т.п.



Схема водопользования для различных отраслей хозяйства

Стремление получить от природных богатств наибольший эффект способствовало развитию комплексного использования водных ресурсов.

Комплексным называется такое использование водных ресурсов, при котором одновременно и наиболее целесообразно и с наименьшими затратами решаются задачи нескольких отраслей хозяйства.

Многоцелевое использование водохозяйственных объектов имеет большое преимущество по сравнению с их раздельным ис-

пользованием каждой отрасли, однако при этом возникает сложная задача увязки интересов различных участников комплекса. Решение этой задачи усложняется наличием противоречивости интересов разных отраслей.

Так, режим использования воды, например, гидроэнергетикой, резко отличается от режима ее использования на орошение. Требования водного транспорта также противоположны требованиям энергетике. Особенно резкие противоречия возникают между запросами гидроэнергетики и мелиорации в районах недостаточного увлажнения. Попуски воды из водохранилища для рыбохозяйственных, экологических, транспортных целей для гидроэнергетики являются ощутимой потерей в выработке электроэнергии.

*Оптимальное распределение водных ресурсов* региона между отраслями при наличии противоречивости интересов разных водопользователей возможно только с учетом требований комплексного использования водных ресурсов, их экономической эффективности, сохранения экологического благополучия.

*Водохранилище комплексного назначения* – водохранилище, предусмотренное для удовлетворения потребности в воде нескольких отраслей национальной экономики.

*Регулирование стока* – перераспределение во времени объема стока в соответствии с требованиями водопользования.

По степени перераспределения стока во времени различают следующие виды регулирования:

*Суточное регулирование* для перераспределения в течение суток равномерного стока реки в соответствии с неравномерным водопотреблением, например, для повышения расходов в часы утреннего и вечернего максимума за счет снижения водопотребления в ночные и обеденные часы. Данный вид регулирования стока используется в водоснабжении и энергетике, когда при недостатке воды в источнике суточное регулирование позволяет удовлетворить большее число водопотребляющих единиц, покрыть значительную часть графика электрической нагрузки. Полезный объем водохранилища должен быть больше объема избытков стока в ночные часы, когда расходы водопотребления меньше среднесуто-

чного расхода реки. Если у водопотребителя (например, деривационной ГЭС) есть водохранилище (бассейн) суточного регулирования (БСР), это может значительно уменьшить стоимость питающего его водоподводящего сооружения или насосной станции, так как в этом случае пропускная способность сооружения и производительность насосной станции должна рассчитываться не на максимальный расход, а на средний расход графика водопотребления.

*Недельное регулирование* предназначено для перераспределения в течение недели стока реки соответственно повышенному водопотреблению в рабочие дни и пониженному в нерабочие. Полезный объем, аналогично, должен быть больше объема избытка в нерабочие дни недели.

*Сезонное регулирование* обусловлено внутригодовой неравномерностью стока и несовпадением величины стока и водопотребления во времени. Это наиболее распространенный вид регулирования. Величина полезного объема определяется объемом дефицита стока (разность между используемым расходом и естественными расходами в период межени). Часть стока после заполнения объема водохранилища может быть сброшена вхолостую через водосброс. Объемы превышения и дефицита стока над потреблением в расчетном маловодном году сбалансируются в случае, когда зарегулированный расход равен среднегодовому расходу рассматриваемого года. Такое регулирование стока называется *годовым* и соответствует теоретическому пределу сезонного регулирования стока.

*Многолетнее регулирование* предназначено для перераспределения стока из многоводных и средневодных лет и периодов в маловодные. Полезный объем равен дефициту стока за маловодное *n*-летие расчетной обеспеченности. Этот дефицит покрывается из многолетних запасов воды, создаваемой в водохранилище за предшествующий маловодный период. Теоретическим пределом многолетнего регулирования является полное выравнивание стока до среднемноголетнего. В этом случае холостые сбросы отсутствуют, и весь сток реки (кроме потерь на фильтрацию и испарение) будет использован. Но добиться полного выравнивания стока возможно только ценой больших затрат на строительство сооружений, что нецелесообразно.

*Компенсирующее регулирование* применяется при расположении пункта водозабора или водопользования ниже водохранилища, если на участке между ними имеется значительный нерегулируемый сток, так называемый боковой приток. В таком случае в первую очередь используются расходы бокового притока. Попуски из водохранилища при этом дополняют расходы бокового притока до требуемых расходов воды в пункте водозабора. Расчет полезного объема водохранилища, осуществляющего компенсирующее регулирование бокового притока, проводится по расчетному маловодному году или расчетному маловодному периоду. Величина полезного объема водохранилища должна быть больше наибольшего объема дефицита притока в водохранилище.

Этот вид регулирования проводится в каскаде из нескольких водохранилищ. При этом верхнее водохранилище (головное) проводит глубокое регулирование стока, а нижерасположенные — только недельное и суточное.

*Вторичное (или повторное) регулирование стока* — вид регулирования, который вызывается, в основном, не режимом стока, а режимом регулирования на вышерасположенной водохозяйственной установке, не удовлетворяющим требованиям потребителей воды, расположенных ниже. Так, например, гидроэлектростанция, регулирующая сток на покрытие суточных, недельных и сезонных максимумов нагрузки, может не удовлетворять (по суточному, недельному и годовому графикам турбинных расходов) условиям водного транспорта, нижерасположенным водозаборами промышленного и сельскохозяйственного назначения и т.п. В таком случае требуется перерегулирование расходов ГЭС. Например, водохранилище Майнской ГЭС на р. Енисей выравнивает суточную и недельную неравномерность расходов вышерасположенной Саяно-Шушенской ГЭС, в результате ниже Майнской ГЭС создаются нормальные условия для судоходства.

*Непериодическое регулирование* отличается от предыдущих видов тем, что оно не имеет точно закрепленного графика работы водохранилища. Сработка и наполнение водохранилища осуществляются по мере надобности и возможности. Этот вид регулирования применяется преимущественно в лесосплаве и в специальных случаях на водном транспорте, а также в санитарных, сельскохозяйственных и рыбохозяйственных целях.

В водном транспорте непериодическое регулирование применяется при необходимости повысить сосредоточенными попусками на некоторое время судоходные глубины на нижележащих перекатах.

В санитарных целях кратковременными сосредоточенными попусками пользуются для временного затопления участков реки, зараженных личинками малярийного комара, с целью борьбы с очагами малярии. В последнее время практикуются попуски для регулирования качества речной воды, загрязненной промышленными и бытовыми стоками.

В сельском хозяйстве временными попусками пользуются для затопления пойменных луговых угодий и при лиманном орошении, а в рыбном хозяйстве — для повышения глубин в местах нерестилищ (в низовьях Волги, Дона и пр.).

### Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение водохранилища комплексного назначения, водохозяйственного комплекса (ВХК).
2. Чем вызвана необходимость регулирования речного стока?
3. Назовите виды регулирования речного стока, когда они применяются.
4. Как определяется полезный объем водохранилища при сезонном и многолетнем регулировании стока?
5. Как определяется полезный объем водохранилища при суточном и недельном регулировании стока?
6. Как определяется полезный объем водохранилища при компенсирующем регулировании стока?
7. Когда применяется непериодическое регулирование стока?

### Список рекомендуемой литературы к главе 7

1. **Арсеньев Г.С.** Основы управления гидрологическими процессами: водные ресурсы. Учебник. СПб.: Изд-во РГГМУ. 2005.
2. **Арсеньев Г.С.** Основы управления водными ресурсами водохранилищ. Учебное пособие. СПб.: Изд-во РГГМУ. 2003.
3. **Плешков Я.Ф.** Регулирование речного стока. Водохозяйственные расчеты. Л. Гидрометеиздат. 1971.
4. **Фашевский Б.В.** Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока. Минск: БелНИИНТИ. 1989.

## Глава 8

### РЕЖИМ РАБОТЫ ВОДОХРАНИЛИЩА КОМПЛЕКСНОГО НАЗНАЧЕНИЯ (ЭНЕРГЕТИКА, ТРАНСПОРТ). ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ВОДОХРАНИЛИЩА

Потребление воды неравномерно в течение года, недели, суток. Внутригодовые изменения в потребности воды обуславливаются сменой сезонов, недельная неравномерность – производственными условиями, суточная – как производственными так и бытовыми (уменьшение потребности в ночные часы). У разных отраслей неравномерность водопотребления выражена более или менее резко.

Рассмотрим особенности водопотребления и соответственно режима работы водохранилищ комплексного назначения для энергетики и транспорта.

#### Энергетика

Размеры энергопотребления зависят от потребителей и устанавливаются по удельным нормам. Удельные нормы для промышленных потребителей относят к единице выпускаемой продукции или на 1000 руб. стоимости валового выпуска продукта. В коммунальном хозяйстве – на одного жителя, для железных дорог – на 1 км пути и т.д.

При заданном развитии отрасли и существующим нормам определяют потребность в энергии для отдельных групп потребителей и в целом для населенного пункта.

Потребление энергии меняется внутри суток, недели, месяца и года. Основной характеристикой режима электропотребления являются графики нагрузки по району или энергосистеме (рис. 8.1).

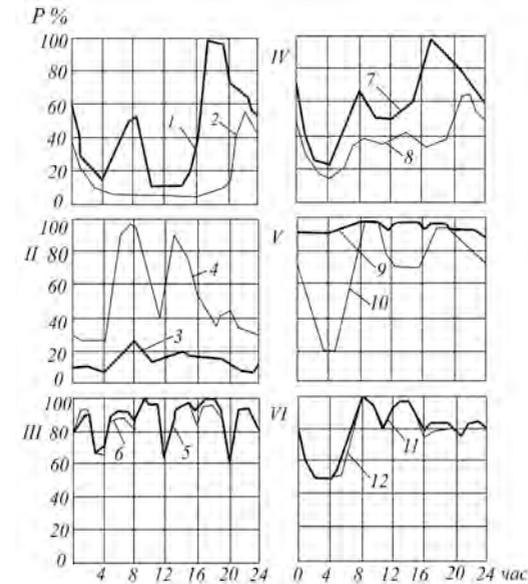


Рис. 8.1. Типовые суточные графики нагрузки:  
1 – освещение квартирное; II – сельское хозяйство; III – угледобыча;  
IV – суммарная городская коммунально-бытовая нагрузка;  
V – железные дороги; VI – машиностроение.  
1, 3, 5, 7, 9, 11 – зима; 2, 4, 6, 8, 10, 12 – лето

При составлении суммарного графика водопотребления при комплексном использовании график электрических нагрузок строится в виде графика расходов воды, используемой на ГЭС.

Средняя величина расхода в пределах расчетного интервала может быть найдена из формулы мощности

$$Q = N / KH,$$

где  $Q$  – расход ГЭС;  $N$  – мощность;  $H$  – напор;  $K$  – коэффициент мощности.

#### Водный транспорт

Требования водного транспорта сводятся к поддержанию в навигационный период необходимых для плавания: глубины, ширины и радиуса закругления, которые определяются местными условиями и габаритами судов.

Основным препятствием для водного транспорта являются перекаты, глубина на которых  $T_2$  в период межени увеличивается относительно глубины  $T_1$  в период паводка, так как уменьшаются скорости течения воды (рис. 8.2, 8.3). Улучшить положение можно шлюзованием или регулированием стока водохранилищами.

Регулирование стока увеличивает расходы воды и скорости течения в межень, уменьшает в паводок, шлюзование приводит к значительному уменьшению скоростей течения, особенно на участках верхних бьефов, ближайшим к подпорным сооружениям.

На перекатах, подверженных деформации, отметка гребня изменяется с изменением горизонта воды. Повышение гребня переката  $\Delta T = T_2 - T_1$  может достигать 3 м и более. На реках с зарегулированным стоком только пусками из водохранилищ не удастся обеспечить глубины на перекатах. При этом необходимо вести работы по дноуглублению и выправлению русла.

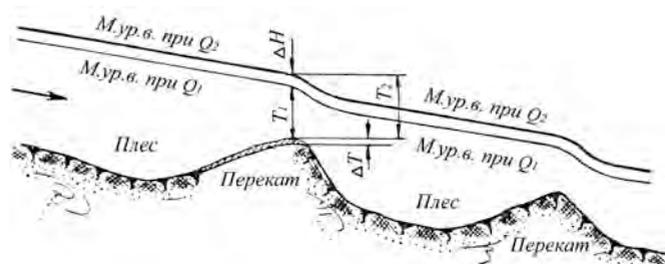


Рис. 8.2. Продольный профиль реки при зарегулированном расходе

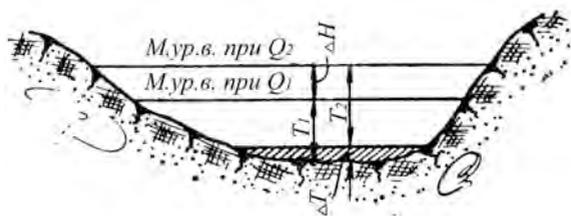


Рис. 8.3. Поперечный профиль реки при зарегулированном расходе

Обеспечиваемая на отдельном участке минимальная глубина судового хода называется *гарантированной глубиной*. Минималь-

ная гарантированная глубина судового хода в данном пункте реки отсчитывается от отметки низкого меженного горизонта, называемого проектным. Отметка проектного горизонта находится по многолетней кривой продолжительности средних суточных горизонтов за период навигации при определенной обеспеченности от 95 до 99% в зависимости от категории водного пути.

Расчетные судоходные уровни и габариты судопропускных сооружений устанавливаются по СП58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения (Актуализированная редакция СПиН 33-01-2003).

Увеличение судоходных глубин в нижнем бьефе за счет регулирования стока достигается повышением навигационного расхода.

Если намечается увеличить глубину  $H$  в нижнем бьефе на  $\Delta H$ , то горизонт повышают на  $\Delta Z = \Delta H/\alpha$ , коэффициент  $\alpha$  определяется расчетом, при этом расчетный расход увеличивается на  $\Delta Q = Q_2 - Q_1$ .

*Согласование пусков в нижний бьеф с учетом создания судоходных условий в НБ и эффективной энергоотдачи в систему*

Если при энергетическом использовании водотока водохранилище осуществляет суточное регулирование стока, то отметка в верхнем бьефе зависит от минимального расхода в часы провала суточного графика нагрузки и длительности этого провала. Допустимые величины минимального расхода воды и длительность устанавливается расчетами с учетом глубины на перекатах, пороге нижней головы шлюза, отметки горизонта у причальных сооружений. Минимальные навигационные горизонты водохранилища определяются на основе технико-экономических сравнений разных вариантов с учетом всех водопользователей.

*Имитационное моделирование режима водохранилищ комплексного назначения*

Обоснование оптимальных параметров гидроэнергетических объектов с водохранилищами комплексного назначения производится на основе анализа:

гидрологических условий и степени зарегулированности реки;

существующего состояния и перспективного развития экономики региона;

социальной сферы и водопотребления;

результатов выполнения водохозяйственных и водноэнергетических расчетов с обеспечением гарантированных расходов для водопользователей, гарантированной мощности и выработки ГЭС, гарантированных глубин для судоходства, устанавливаемых по маловодным годам соответствующей обеспеченности, экологических требований, защиты от наводнений и др.

В реальных условиях эксплуатационный режим водохранилищ отличается от проектного, что связано с изменением во времени физико-географических условий и объема стока, в связи с природными факторами, хозяйственной деятельностью на площади водосборного бассейна и т.д. Поэтому в процессе эксплуатации целесообразно периодически уточнять водохозяйственные показатели, для чего устанавливаются правила управления режимом водохранилища. Правила определяют режимы его работы и водоотдачу в различных условиях с учетом неравномерности внутригодового и многолетнего распределения стока, требования водопользователей. Такие правила выполняются в виде компьютерных программ или диспетчерских графиков.

Управление работой водохозяйственного комплекса возможно на основе использования *имитационной модели водохранилищ* в условиях взаимодействия всех водопользователей с учетом экологических требований и норм природопользования.

*Задача моделирования процессов* при эксплуатации водохранилищ в условиях комплексного использования водных ресурсов и состоит в максимально возможном и экологически обоснованном удовлетворении потребностей всех потенциальных водопользователей на основе прогнозов развития соответствующих отраслей хозяйства.

*Имитационное моделирование* – это численный эксперимент, в основе которого лежит математическая модель, реализованная в виде компьютерных программ. Управление экспериментом заключается в варьировании исходных данных и в изменении структуры модели на основании получаемых результатов.

Разработка водохозяйственной модели предусматривает систему критериев удовлетворения требований потребителей, необходимость обеспечения отраслевых и режимных попусков, вариантность принципиальной схемы и конкретного экономического и водохозяйственного эффекта в пределах принятой схемы.

В основе большинства моделей лежит постворный водохозяйственный баланс. Рассмотрим структуру имитационной модели и моделирующий алгоритм. Модель имеет блочную структуру.

#### **Блок формирования исходной информации:**

формирование и моделирование гидрометеорологических, гидрогеологических и других природных данных;

оценка боковой приточности между расчетными створами принятой расчетной воднобалансовой схемы.

подготовка данных по водопотреблению и потерям воды из водохранилищ на испарение и фильтрацию;

формирование требований режима стока в нижних бьефах с учетом отраслевых и экологических требований;

пропуск экстремальных половодий и паводков;

геометрия расчетных створов в виде таблиц, аппроксимирующих батиграфические кривые.

#### **Основная программа имитационной модели.**

##### **Группа воднобалансовых модулей**

*Главный программный модуль* включает ввод исходной информации и вызывает *главный расчетный программный модуль*, реализующий алгоритм многолетнего регулирования стока – многолетний баланс с замыканием ряда по объему наполнения водохранилища на начало и конец ряда.

Он включает блоки:

снижение гарантированной отдачи в соответствии с заданным диспетчерским графиком;

распределение дефицита между отраслевыми потребителями;

итерационное определение потерь из водохранилища.

##### *Вспомогательные программные модули:*

ранжирование членов ряда выходных показателей, линейной интерполяции;

статистическая обработка и анализ результатов, выдача сводной таблицы результатов;  
подготовка информации для группы модулей управления.

### Группа модулей управления стоком

Модуль выравнивания многолетней последовательности дефицитов в соответствии с задаваемой проектной кривой обеспеченности, он вызывает модуль построения линий диспетчерского графика водохранилища, формирует исходную информацию для главного расчетного модуля.

#### Моделирующий алгоритм

Последовательность расчетов:

1. Запускается главный программный модуль с группой балансовых модулей. При этом диспетчерский график не задается;
2. Полученная многолетняя последовательность дефицитов и значений наполнения водохранилища на начало расчетного периода времени передается в группу модулей управления, где в автоматическом режиме подбирается диспетчерский график;
3. Версия диспетчерского графика передается в группу балансовых модулей;
4. При неудовлетворительных результатах имитации выполняется корректировка входных параметров задаваемой кривой обеспеченности;
5. В группе модулей пересчитывается диспетчерский график.

Процедура повторяется до получения удовлетворительных результатов. Критерий – максимум суммарной отдачи при условии соблюдения системы ограничений по каждому виду потребителей.

Пример блок-схемы имитационной модели водохозяйственной системы приведен на рис. 8.4.

#### Волжско-Камский каскад

В качестве примера рассмотрим имитационную модель Волжско-Камского каскада ГЭС (рис. 8.5), предназначенную для анализа режима и построения правил управления каскадом в условиях территориального перераспределения стока.

Волжско-Камский каскад (рис. 8.6) включает 11 крупных водохранилищ, ГЭС общей мощностью 12 млн кВт вырабатывает

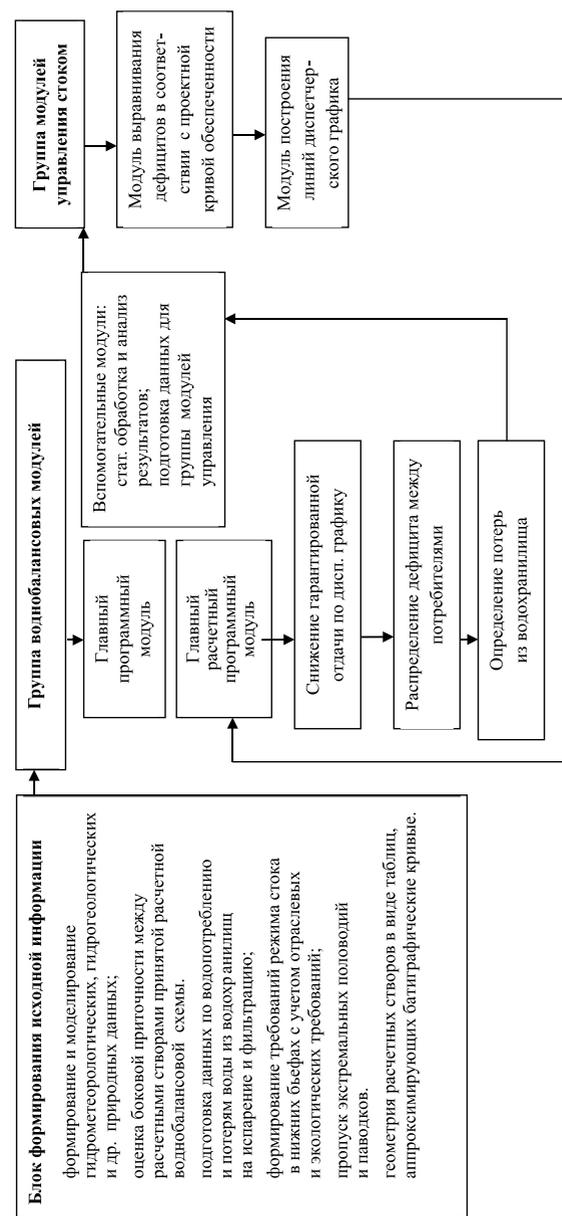


Рис. 8.4. Пример блок-схемы имитационной модели водохозяйственной системы

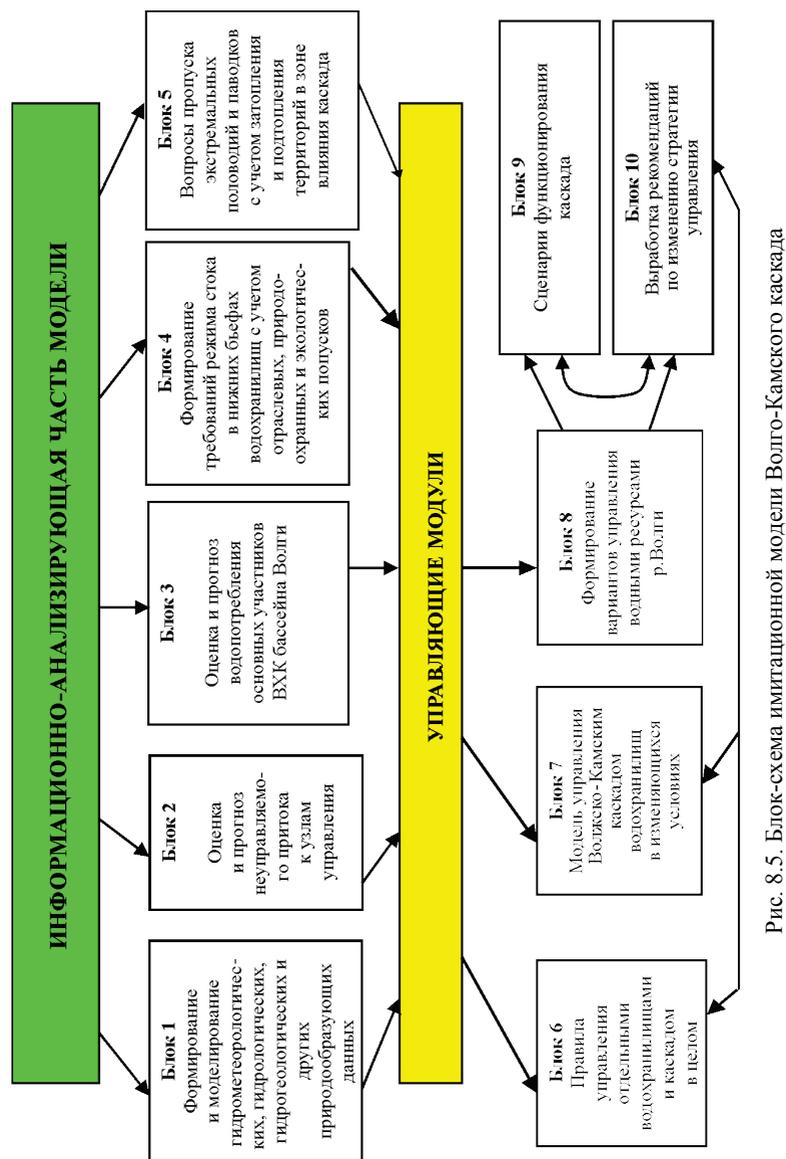
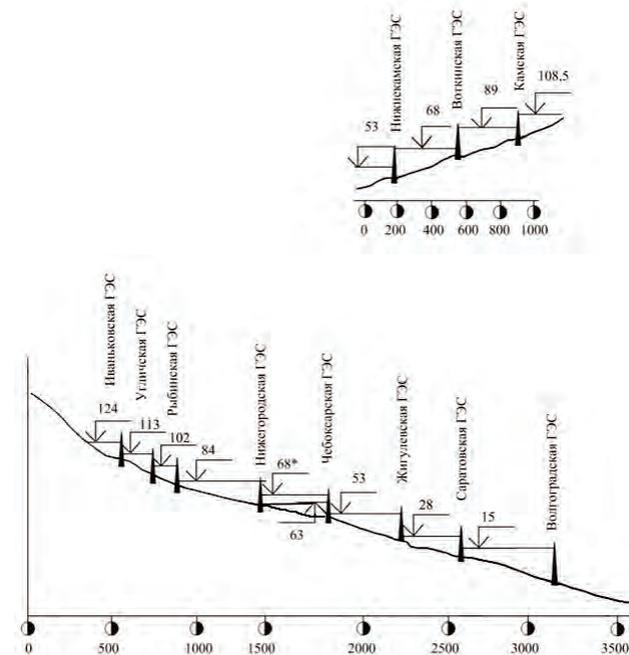


Рис. 8.5. Блок-схема имитационной модели Волго-Камского каскада

40 млрд кВт ч, на водный путь приходится более 75% речных перевозок РФ. Водоохранилища позволяют оросить 8 млн га земель, в водохранилищах вылавливается 300 тыс. центнеров рыбы. Отличительной особенностью Волжско-Камского каскада (ВКК) является сопряженность бьефов основных его водохранилищ, что превращает Волгу в систему подпертых бьефов. В экономическом плане ВКК является многофакторным объектом комплексного назначения при доминирующей роли гидроэнергетики, водного транспорта, рыбного и сельского хозяйства. Требования потребителей обуславливают формирование специальных попусков ниже Куйбышевского водохранилища.



\*Для Чебоксарской ГЭС 68 м – проектная отметка, существующая – 63 м

Рис. 8.6. Продольный профиль Волго-Камского каскада гидроэлектростанций

### Городецкий (Нижегородский) гидроузел

В состав сооружений Городецкого (Нижегородского) гидроузла (рис. 8.7) входят два однокамерных шлюза, разделённых про-

межуточным бьефом длиной 1,9 км, земляные плотины и дамбы, здание ГЭС, бетонная водосливная плотина, нижний подходной канал длиной 1,5 км.

До образования водохранилища среднемноголетний сток воды в створе составлял  $52,5 \text{ км}^3$ , а сток весеннего половодья  $35 \text{ км}^3$ , таким образом, в кратковременный период половодья проходило почти 70% годового стока. При этом в маловодные годы при падении расходов воды ниже  $600 \text{ м}^3/\text{с}$  транзитное судоходство практически прекращалось.

В настоящее время условия судоходства в нижнем подходном канале зависят от высоты уровня воды, обусловленной сбросами воды через Нижегородскую ГЭС.

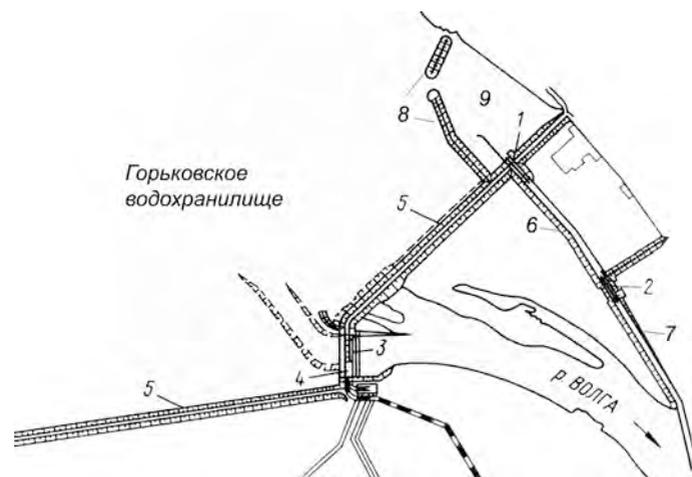


Рис. 8.7. Схема Городецкого гидроузла:

- 1, 2 – шлюзы; 3 – бетонная водосливная плотина; 4 – здание ГЭС; 5 – земляные плотины;  
6 – межшлюзовой бьеф; 7 – нижний подходной канал; 8 – дамбы аванпорта;  
9 – аванпорт

Если снижается среднесуточный расход воды через Нижегородскую ГЭС до 1 тыс. куб. м/с, то автоматически понижаются глубины для судов в этом районе: Городецкий гидроузел смогут проходить суда с осадкой не более 2,80 м, а четырехпалубные пассажирские суда и вовсе не смогут пройти этот участок Волги.

Уровень сбросов для Нижегородской ГЭС в свою очередь зависит от уровня воды в Рыбинском водохранилище и устанавливается Росводресурсами.

В связи с неполной готовностью зоны затопления и незавершенными работами по защите земель и населенных пунктов было решено заполнить в 1981 г. водохранилище на два-три года до промежуточной отметки 63 м. Однако гидроузел до сих пор продолжает работать при промежуточной непроектной отметке 63 м в неустойчивом режиме. В результате подпор водохранилища заканчивается в районе Нижнего Новгорода, тогда как участок Волги от Нижнего до Городца (около 50 км) остался в естественном маловодном состоянии.

За время эксплуатации ГЭС на участке р. Волги от существующего Городецкого гидроузла до г. Нижний Новгород развивается глубинная эрозия русла реки в среднем на 1 м, связанная с повышенным, по сравнению с расчетным, расходом воды в нижнем бьефе. Это привело к падению судоходных глубин в камерах шлюза и на перекатах. В результате гарантированная судоходная глубина на участке Городец – Нижний Новгород выдерживается в период навигации лишь два-три часа в сутки при расходе воды  $1100 \text{ м}^3/\text{с}$ . При этом уровень воды продолжает снижаться.

Для решения транспортной проблемы предложено четыре варианта:

поднятие уровня Чебоксарского водохранилища до проектной отметки нормального проектного уровня 68 м;

поднятие уровня Чебоксарского водохранилища до отметки проектного уровня 65 м с обустройством зоны затопления водохранилища и строительством низконапорного транспортного гидроузла;

строительство низконапорного транспортного гидроузла и обустройство Чебоксарского водохранилища до отметки проектного уровня 63 м;

строительство третьей нитки нижней ступени Городецких шлюзов с пониженным порогом.

На протяжении всего периода эксплуатации Городецкого гидроузла предпочтение отдавалось различным вариантам, и на сегодняшний день нет единого мнения специалистов для решения

этой проблемы во всех ее аспектах – обеспечения потребностей водного транспорта, энергетики с учетом интересов населения прибрежных территорий, экологических условий региона.

### Вопросы для самопроверки

1. Особенности режима работы водохранилищ комплексного назначения для энергетики и транспорта
2. Энергетика. От чего зависят размеры водопотребления различных отраслей.
3. Требования водного транспорта. Гарантированная глубина судового хода, как определяется?
4. Что такое имитационное моделирование режима водохранилищ комплексного назначения?
5. Лимитирующие факторы при использовании гидроузла для энергетики и судоходства?
6. Пример работы Городецкого (Нижегородского) гидроузла в современных условиях.

### Список рекомендуемой литературы к главе 8

1. **Арсеньев Г.С.** Основы управления гидрологическими процессами: водные ресурсы. Учебник. СПб.: изд.РГГМУ. 2005.
2. **Использование** водной энергии. Под ред.Д.С.Щавелева. Учебное пособие для вузов. Л.: Энергия. 1976.
3. **Проектирование** речных гидроузлов на нескальных основаниях. Под общ.ред. М.М.Гришина и А.В.Михайлова. М.: Энергия. 1967.
4. **Великанов А.Л., Коробова Д.Н., Пойзнер В.И.** Моделирование процессов функционирования водохозяйственных систем. М.: Наука. 1983.
5. **Гидроэнергетика** и комплексное использование водных ресурсов СССР / Под общей редакцией П.С. Непорожного. Изд.2-е, перераб. и доп., М.: Энергоиздат. 1982.
6. **Волжско-Камский** гидроэнергетический каскад. Фонд «Юбилейная летопись». 2005.
7. **Методические** основы водохозяйственных расчетов при проектировании водохозяйственных систем: Учебное пособие / Л.Т. Раткович, С.А. Соколова / Московский государственный университет природообустройства. 2002.

## Глава 9

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СУДОХОДНОГО КАНАЛА С ЕСТЕСТВЕННЫМ И ИСКУССТВЕННЫМ ПИТАНИЕМ ВОДРАЗДЕЛЬНОГО БЬЕФА

Реки и каналы, используемые комплексно, должны отвечать требованиям отраслей – участников водохозяйственного комплекса. Для судоходства часто используют крупные мелиоративные каналы (например, Каракумский), судоходные каналы используют для орошения (например, Волго-Донской) или водоснабжения (канал им. Москвы).

Режим судоходных рек в свободном состоянии и режим озер, используемых для судоходства, мало отличается от их естественного режима, поэтому их называют естественными водными путями. Шлюзованные реки, каналы, водохранилища создаются человеком, и режим их резко отличается от естественного, их называют искусственными водными путями. Реки с зарегулированным стоком, располагающиеся ниже питающих их водохранилищ, по своему режиму занимают промежуточное положение между естественными и искусственными водными путями.

Судоходные каналы делятся на соединительные – при соединении рек через водоразделы; обходные – в обход затруднительных для судоходства озер; спрямляющие – в обход излучин; подходные – на подходах к шлюзам, портам и т.д. При соединении бассейнов разных рек или морей через водоразделы выполняется шлюзование рек и устройство каналов. К числу таких водных соединений относятся Волго-Балтийский водный путь, Канал им. Москвы, Беломоро-Балтийский канал и др.

*Водораздельный бьеф* – участок судоходного канала, расположенный на водоразделе. Оба конца водораздельного бьефа заканчиваются шлюзовыми камерами.

Для поддержания судоходного уровня в канале и восполнения воды, расходуемой на шлюзование и идущей в потери, необходимо обеспечить питание канала, которое может быть естественным, искусственным и смешанным.

Естественное питание канала происходит, если достаточно естественного притока воды к водораздельному бьефу (Волго-Балтийский водный путь) или, когда канал сообщается со специальным водохранилищем, обеспечивающим компенсирующее регулирование притока к водораздельному бьефу в периоды, когда боковой приточности недостаточно (Панамский канал, Беломоро-Балтийский канал). Схема естественного питания водораздельного бьефа компенсирующим водохранилищем показана на рис. 9.1. Объем водохранилища должен быть таким, чтобы обеспечивать питание канала весь навигационный период, располагаться водохранилище должно выше наибольшего расчетного уровня в бьефе канала.

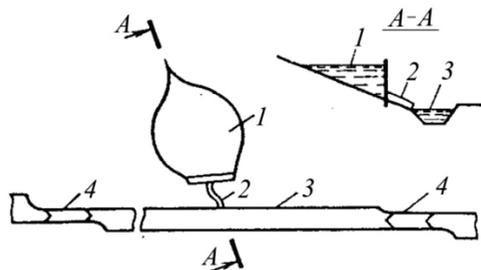


Рис. 9.1. Водораздельный бьеф канала с естественным питанием из водохранилища:

- 1 – водохранилище; 2 – питающий канал; 3 – водораздельный бьеф;  
4 – шлюзы, замыкающие бьеф

Пример водохранилища с естественным питанием без создания компенсирующего водохранилища – Волго-Балтийский водный путь (рис. 9.2), бывшая Мариинская система. На всем протяжении трассы Мариинской системы не было ни одной насосной станции. Для шлюзования использовались прилежащие озера, реки и даже ручейки.

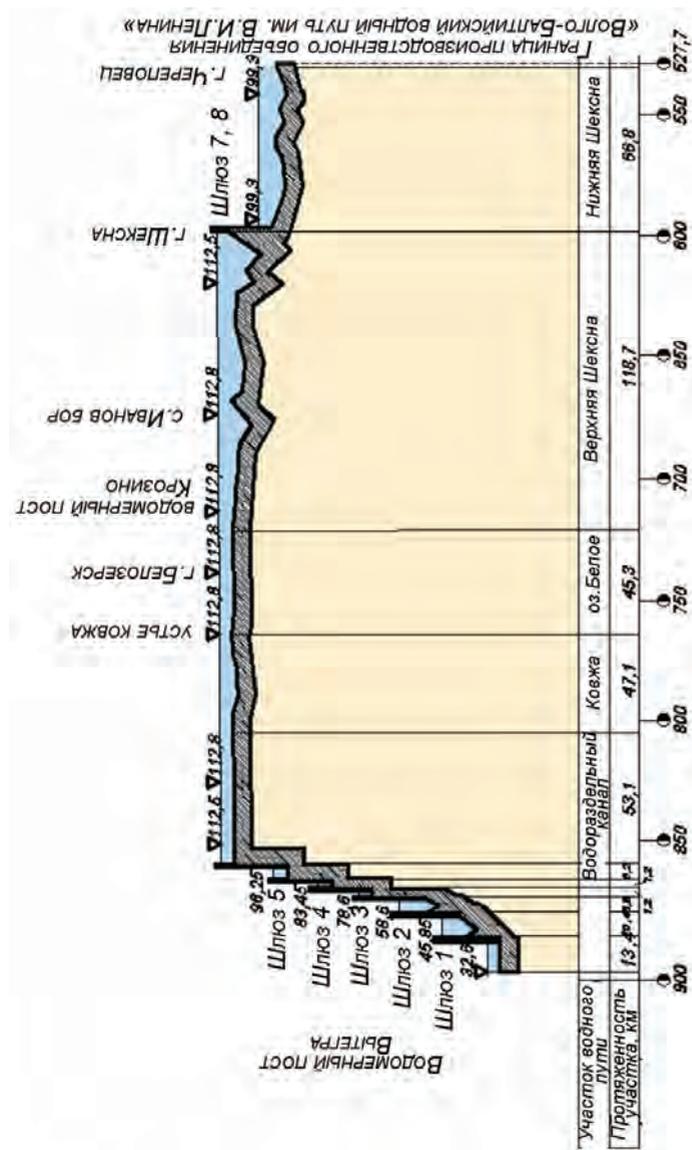


Рис. 9.2. Продольный профиль участка Волго-Балтийского водного пути от Онежского озера до Рыбинского водохранилища

Для жизнедеятельности Волго-Балтийского водного пути решающее значение имеет 37-километровый водораздел между верховьями рек Вытегры и Ковжи. Чтобы обеспечить его питание, требуется определенный горизонт воды. По составленному еще в 50-х годах проекту горизонт создавался подпором двух специально созданных для этой цели гидроузлов: Пахомовского – на севере и Шумкинского – на юге. В составе Шумкинского гидроузла предполагалось построить мощную насосную станцию. Но уже в ходе строительства был выработан новый технический проект, вносивший изменение в водораздельный участок. Шлюзы, замыкавшие собой короткий водораздельный бьеф, устранились. Подпорный горизонт распространился теперь от Череповецкого гидроузла через озеро Белое до 6-го шлюза Пахомовского гидроузла. Таким образом, создавался единый водораздельный бьеф длиной 265 км.

Водораздельный бьеф тянется от Пахомовского гидроузла на р. Вытегре до Череповецкого гидроузла на р. Шексне. Судходная трасса здесь проходит по водораздельному каналу от Пахомовского гидроузла до посёлка Анненский Мост, далее по р. Ковже, Белому озеру и Шексне. Трасса южного склона проходит по р. Шексне, находящейся в подпоре Рыбинского водохранилища.

Пример водораздельного бьефа с естественным питанием, в котором участвует водохранилище (Панамский канал), приведен на рис. 9.3. Дополнительное питание здесь осуществляется из водохранилища оз. Мадден (другое название – оз. Алахуэла), созданного плотиной Мадден.

Панамский канал соединяет Панамский залив Тихого океана с Карибским морем и Атлантическим океаном, расположен на Панамском перешейке, на территории Панамы. Длина – 81,6 км, в том числе 65,2 км по суше и 16,4 км по дну Панамской и Лимонской бухт (для прохода судов к глубокой воде). Водораздельный участок канала длиной 51 км, включающий искусственное озеро Гатун, лежит на высоте 25,9 м над уровнем моря. Все шлюзы канала – двухниточные, что обеспечивает возможность одновременного встречного движения судов по каналу.

*Искусственное питание* канала осуществляется перекачиванием воды из нижнего бьефа в верхний насосной станцией. Такое

питание связано со значительными эксплуатационными расходами. Работу насосной станции автоматизируют с управлением из центрального диспетчерского пункта, что исключает возможность переполнения или излишнего опорожнения бьефов и снижает эксплуатационные расходы.

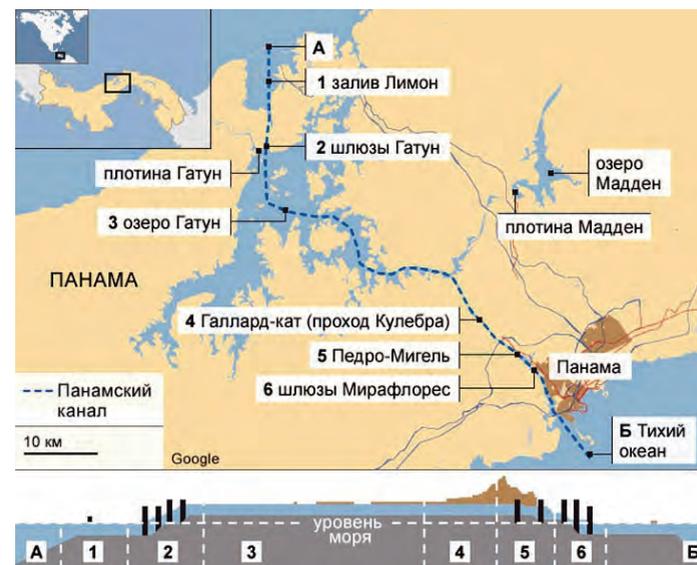


Рис. 9.3. Схема Панамского канала

Конструкции насосных станций различны. Целесообразно, чтобы станция была совмещена с водосбросом, который служит для регулирования уровня воды в бьефе. Иногда (при сбросе лишней воды из водораздельного бьефа) агрегаты насосной станции используют для выработки электроэнергии (работа в генераторном режиме).

Пример водораздельного бьефа с искусственным питанием – канал им. Москвы (рис. 9.4).

Канал является звеном единой глубоководной системы Европейской части России, связывающей Москву с Балтийским, Белым, Каспийским, Азовским и Черным морями. Длина канала – 128 км. Канал имеет два склона – южный, обращенный к р.Моск-

ва, и северный, обращенный к Волге, между которыми расположен водораздельный бьеф между Замоскворецким и Волжским бассейнами. На южном склоне (4 км) расположены два шлюза (№№ 7 и 8), опускающие суда на 36 м до уровня р. Москва. На водораздельном бьефе (50 км) от шлюза № 7 (Шукино) до шлюза № 6 (пос. Икша) образованы 5 водохранилищ: Химкинское, Клязьминское, Учинское, Пестовское и Икшинское. Высота водораздельного бьефа над уровнем моря 162 м. На северном склоне (74 км) расположены пять шлюзов (№№ 6, 5, 4, 3, 2), в которых суда опускаются на 38 м до уровня Ивановского водохранилища на Волге. Вода из Волги на водораздельный бьеф перекачивается насосными станциями, расположенными при всех пяти шлюзах северного склона.

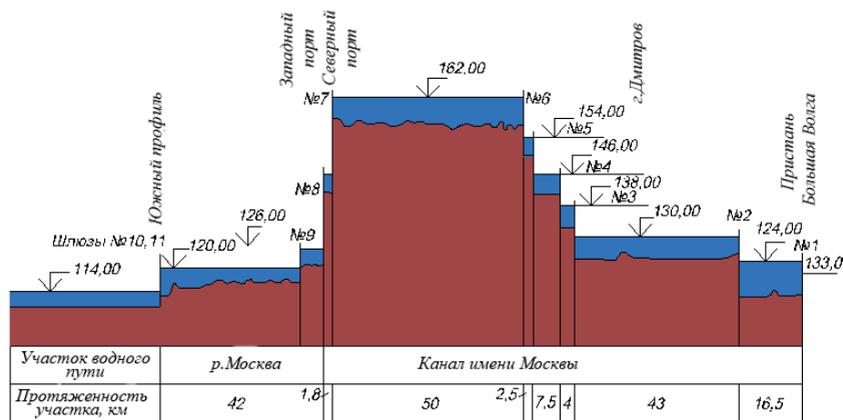


Рис. 9.4. Продольный профиль Канала им. Москвы с искусственным питанием водораздельного бьефа

### Назначение и конструкция судоводных шлюзов

Для вертикального транспортирования (подъема или спуска) судов и плотов у гидроузлов на реках или сооружений с перепадом уровней на каналах служат судоводные шлюзы. На рис. 9.5 изображена схема судоводного однокамерного одноступенчатого шлюза и конструкции его верхней и нижней голов. Основные элементы шлюза: подходные конструкции, верхняя и нижняя головы со шлюзовыми воротами и водоводами для наполнения и опорожнения, шлюзовая камера. Суда, заходя в камеру, швартуются за по-

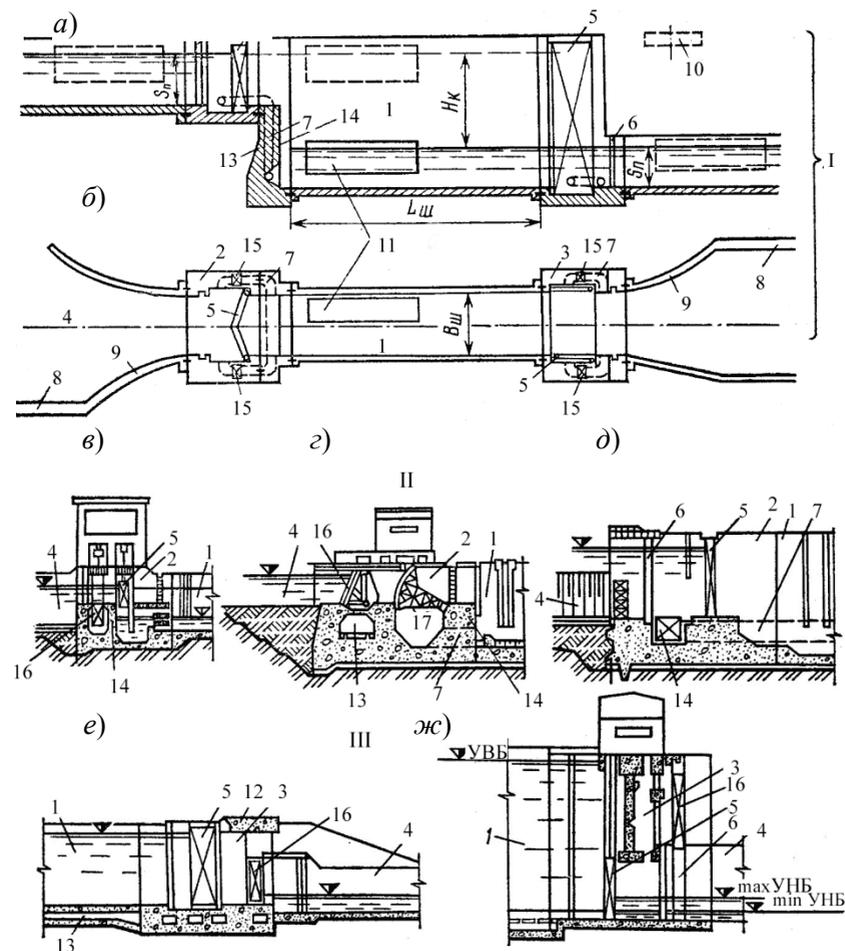


Рис. 9.5. Схема судоводного шлюза и конструкции его верхней и нижней голов: а – продольный разрез, б – план; в – верхняя голова с головным наполнением; г – то же, с сегментным подъемно-опускным основным затвором; д – то же, с водопроводными галереями в стенках камеры; е – нижняя голова с двухстворчатыми воротами и верхней распоркой-стяжкой между устоями; ж – то же, большого напора с подъемными воротами; з – то же, с двумя створчатыми воротами и верхней распоркой-стяжкой между устоями; 1 – шлюзовая камера; 2 и 3 – верхняя и нижняя головы шлюза; 4 – подходные каналы; 5 – ворота; 6 – пазы для ремонтных затворов; 7 – водопроводные галереи; 8 – причальные стенки; 9 – направляющие палы; 10 – возможное положение моста; 11 – шлюзующееся судно; 12 – распорка-стяжка (мост); 13 – галерея; 14 – стенка падения; 15 – затвор водопроводной галереи; 16 – ремонтный затвор; 17 – сегментный подъемно-опускной затвор;  $H_k$  – напор на камеру;  $S_n$  – глубина на пороге (королё)

движные рамы, так как при наполнении и опорожнении камеры в ней наблюдается течение.

В зависимости от грузооборота размеры камеры шлюза принимают по габаритам одного расчетного судна или группы судов, устанавливаемых в одну или две колонны. При очень большом грузообороте строят параллельные нитки шлюзов. В зависимости от преодолеваемого перепада между бьефами шлюзы могут быть одноступенчатыми или многоступенчатыми. Полезную длину камеры определяют по формуле

$$L_{\text{ш}} = \sum_1^k l_{\text{ст}} + (k + 1)\Delta l,$$

где  $\sum_1^k l_{\text{ст}}$  – сумма длин расчетных судов, составов или плотов, устанавливаемых при шлюзовании в кильватер;  $k$  – число одновременно шлюзующихся судов;  $\Delta l$  – запас в длине на интервалы между судами и конструкциями шлюза, м

$$\Delta l = 1 + 0,015l_{\text{ст}}.$$

Ширина камеры должна быть не менее

$$B_{\text{ш}} = \Sigma B_{\text{ст}} + 2\Delta b,$$

где  $\Sigma B_{\text{ст}}$  – сумма ширин одновременно шлюзующихся (рядом стоящих) судов и составов (с расчетной шириной);  $\Delta b$  – запас по ширине камеры, который принимают в шлюзах на внутренних водных путях шириной до 10 м не менее 0,2 м, шириной 10–18 м – 0,4 м, шириной более 18 м – 0,5 м.

Глубина на пороге определяется от наинизшего расчетного судоходного уровня и должна быть не менее

$$h_n = (1,2, \dots, 1,25) S_{\text{смакс}},$$

где  $S_{\text{смакс}}$  – наибольшая осадка расчетного судна (с грузом).

Вычисленные размеры округляют в сторону увеличения до регламентированных значений.

В месте расположения шлюза судоходная трасса должна иметь прямолинейный участок, включающий шлюз с его головами 2 и 3, причальные стенки 8, направляющие палы 9 (см.рис. 9.5). Длина прямолинейного участка для однокамерного шлюза

$$L_{\text{пр}} = (4 - 5) L_{\text{ш}}$$

В пределах голов шлюза размещается механическое оборудование.

Ворота служат затворами, воспринимающими давление воды между бьефами. Ворота открываются и закрываются только при выровненных уровнях перед и за воротами.

Время (минуты) наполнения и опорожнения камеры приближенно определяют по формуле

$$t_{\text{н,о}} = k \sqrt[3]{h_n B_{\text{ш}} L_{\text{ш}}}$$

Для шлюзов с *сосредоточенной* системой питания  $k = 0,27$ , с *распределительной* системой  $k = 0,19$ .

*Сосредоточенная система* питания имеет водоводы в пределах верхней и нижней голов шлюза (головная система). Такую систему применяют при напорах менее 15 м.

*Распределительная система* характерна тем, что наполняющая камеру вода впускается через отверстия по всей длине камеры, чем достигаются наименьшие динамические воздействия на корпуса судов. Такая система требует устройства галерей.

В конструктивном отношении головы судоходных шлюзов представляют собой неразрезные пространственные сильно армированные железобетонные конструкции, состоящие из фундаментной плиты и боковых устоев. Фундаментная плита обычно жестко связана с устоями. Если питание сосредоточенное, то используют подъемно-опускные плоские и сегментные затворы (см.рис. 9.5, в, з). Схема верхней головы при распределительной системе с галереями в устоях приведена на рис. 9.5, а, б, д. Уменьшение длины голов достигается применением плоских основных и ремонтных затворов. Обычно их применяют на верхних головах. Нижние головы подвержены весьма большим колебаниям уровней воды (см.рис. 9.5, е, ж), и из-за этого их затворы обычно выполняют либо в виде высоких двустворчатых ворот (малые и средние напоры), либо в виде подъемно-опускных ворот (напоры более 30 м). Статические условия работы нижних голов при больших напорах можно облегчить устройством распорок-затяжек между устоями (см.рис.9.5, е); в этом случае голова работает как замкнутая рама.

Количество воды, требующейся для шлюзования судов, зависит от порядка их шлюзования. При одностороннем шлюзова-

нии (например, из верхнего бьефа в нижний) перед выходом каждого судна (состава) из камеры ее нужно опорожнить, сбрасывая в нижний бьеф объем воды, называемый сливной призмой. При шлюзовании судов из нижнего бьефа в верхний перед входом каждого судна в камеру также необходимо сбрасывать сливную призму. Таким образом, при одностороннем шлюзовании на каждое шлюзование расходуется одна сливная призма. При двухстороннем шлюзовании на два шлюзования сбрасывается одна призма.

Объем воды, расходуемый на шлюзование за навигацию,

$$V = V_{\text{сл}} n_1 + \frac{1}{2} V_{\text{сл}} n_2,$$

где  $V_{\text{сл}}$  – объем сливной призмы;  $n_1$  и  $n_2$  – число одно- и двухсторонних шлюзований судов.

Для водораздельного бьефа канала со шлюзами по его концам объем воды, расходуемый на шлюзование, исчисляется для двух шлюзов. Шлюзы, расположенные ниже, используют воду, сброшенную из водораздельного бьефа.

Кроме расходов воды на шлюзование, происходят потери воды на испарение, фильтрацию в грунт, утечки через уплотнения ворот и затворов.

Потеря воды на испарение зависит от климатических условий. Среднесуточный слой испарения за навигацию составляет для северных местностей около 4 мм, для южных 5–6 мм. Расход испарившейся с поверхности канала и его водохранилищ воды за расчетный период

$$Q_{\text{и}} = \frac{\Delta E \Omega}{1000 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 T_p},$$

где  $Q_{\text{и}}$  – расход испарившейся воды, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta E$  – слой потерь на испарение за расчетный период, мм;  $\Omega$  – площадь зеркала канала и его водохранилища, м<sup>2</sup>;  $T_p$  – число суток в расчетном периоде.

Потери воды на фильтрацию в грунт обуславливаются положением уровня воды в канале по отношению к уровню грунтовых вод на прилегающей к каналу местности. Если грунтовые воды расположены на значительной глубине, то потери на фильтрацию для 1 м длины судоходного канала трапециевидного сечения

$$Q_{\text{ф}} = k(B_0 + Ah_k),$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации, м/с;  $B_0$  – ширина канала по зеркалу, м;  $A$  – коэффициент, зависящий от заложения откосов и отношения  $B_0/h_k$  (для судоходных каналов принимается обычно  $A=3$ );  $h_k$  – глубина воды в канале.

В случаях, когда грунтовые воды находятся выше уровня воды в канале, фильтрации воды из канала не будет.

Потери воды через уплотнения ворот и затворов

$$Q_{\text{упл}} = \frac{qp\sqrt{H}}{1000},$$

где  $q$  – удельный расход воды (принимается 0,3–0,5), л/с;  $p$  – периметр уплотнения для нижней головы шлюза, м;  $H$  – напор на сооружении, м.

Общий расход воды определяют как сумму расходов воды на шлюзование и потерь из канала на испарение, фильтрацию и утечки через уплотнения ворот и затворов.

Для сокращения потерь воды на испарение вдоль берегов сажают деревья и кустарники, обваловывают мелководные участки водохранилищ. Для уменьшения потерь на фильтрацию воды в грунте устраивают противофильтрационные глиняные донные и боковые глиняные экраны. Борьба с потерями на фильтрацию воды в уплотнениях затворов сводится к улучшению конструкции устройств, наблюдению за состоянием и своевременным ремонтом.

### Вопросы для самопроверки

1. Что такое водораздельный бьеф?
2. Водораздельный бьеф с естественным питанием. Приведите примеры.
3. Водораздельный бьеф с искусственным питанием. Приведите примеры.
4. Назначение и конструкция судоходных шлюзов.
5. Как определяется объем воды, необходимый для обеспечения водораздельного бьефа в период навигации?
6. Когда необходимо создание водохранилища для питания водораздельного бьефа? Как определяется объем такого водохранилища?

### Список рекомендуемой литературы к главе 9

1. **Михайлов А.В.** Гидросооружения внутренних путей, портов и континентального шельфа. Часть 1. Внутренние водные пути: учебник. М.: АСВ. 2004.
2. **Гришанин К.В. и др.** Водные пути. М.: Транспорт. 1986.
3. **Методические** основы водохозяйственных расчетов при проектировании водохозяйственных систем: Учебное пособие / Л.Т. Раткович, С.А. Соколова / Московский государственный университет природообустройства. 2002.
4. **Быков Л.С. и др.** Гидротехнические сооружения на внутренних водных путях. М.: Транспорт. 1987.
5. **Чекренев А.И.** Водные пути. Ч.1. М.: Гос.издательство водного транспорта. 1953.
6. **СП 101.13330.2012.** Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87.

## Глава 10

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИРРИГАЦИОННОГО ГИДРОУЗЛА

*Ирригация или орошение* – подвод воды на поля, испытывающие недостаток влаги, и увеличение её запасов в корнеобитаемом слое почвы в целях увеличения плодородия почвы.

На поливных землях, составляющих 13% обрабатываемой площади во всем мире, производится более половины сельскохозяйственной продукции.

*Ирригационный гидроузел* – комплекс гидротехнических сооружений, обеспечивающих забор воды из водоемов и водотоков для различных хозяйственных нужд – орошения земель, энергетики, водоснабжения и других целей. Как правило, гидроузлы имеют комплексное назначение, обеспечивая требования различных отраслей экономики.

Основная расчетная характеристика водозаборных гидроузлов – *коэффициент водозабора*  $k_c = Q_c/Q$ , где  $Q_c$  – расход, забираемый с помощью водозаборного сооружения;  $Q$  – расход реки в ВБ.

*Требования к ирригационным гидроузлам:*

- четко выполнять график водоподачи;
- предохранять магистральный канал (водовод) от попадания в него донных наносов, льда, шуги, плавающих тел;
- беспрепятственно пропускать паводковые и ливневые расходы, в том числе и внезапные;
- прекращать поступление воды в водоводы в случаях, предусмотренных правилами эксплуатации, и при техническом осмотре;

обеспечивать рыбоохранные и природоохранные мероприятия.

По виду используемого водоисточника мелиоративные гидроузлы делятся на речные и водохранилищные (озерные).

Водохранилищные ирригационные гидроузлы позволяют наиболее эффективно использовать водные ресурсы для орошения.

Значение водохранилищ для орошения можно оценить из следующих данных по водохранилищам в бассейне р. Сырдарья: Андижанское водохранилище на р. Карадарья дает прирост орошаемых земель 40 тыс. га, улучшение водообеспеченности орошаемых земель 400 тыс. га; Токтогульское на р. Нарын – 550 и 1340 млн га, всего по бассейну р. Сырдарьи (4 водохранилища) 1,160 млн га и 2,150 млн га.

В состав основных сооружений ирригационного водохранилища входят: земляная плотина, перегораживающая водоток; водосброс, служащий для сброса излишней воды из водоема за короткий период; водоспуск – для полной или частичной сработки объема водоема за относительно длительный период.

Место для устройства водохранилищ определяют с учетом ряда условий:

водосборная площадь должна обеспечивать необходимый сток для заполнения водохранилища наибольшей вместимости при минимальных длине, объеме плотины и площади зеркала воды;

грунты в основании плотины и ложа водохранилища должны быть достаточно водонепроницаемыми во избежание потерь воды (в противном случае необходимо проведение противофильтрационных мероприятий или отказ от данного места);

если в ложе водохранилища выклиниваются ключи, то их дебит должен быть учтен при определении его вместимости;

створ плотины выбирают в самом узком месте водотока для сокращения объема земляных работ, также необходимо предусмотреть место для устройства сбросного сооружения.

Местность, где устраивают орошение, делят на две зоны: водосборную площадь и площадь потребления воды. Чем выше на водотоке расположение водохранилища, тем меньше водосборная площадь и, следовательно, меньше возможная вместимость водо-

охранилища. При проектировании водохранилища проводят водохозяйственный расчет, при этом учитывают следующие факторы:

потребление воды и его режим;

нормы потерь воды на испарение, фильтрацию, на утечки через неплотности в сооружениях, на льдообразование; сток с водосбора и его параметры; расчетную обеспеченность стока;

условия заиления водохранилища и способы борьбы с ним.

Полный объем ирригационного водохранилища сезонного регулирования состоит из мертвого и полезного объемов и объема форсировки.

Мертвый объем водохранилища зависит от высоты всасывания насосов при машинном водоподъеме, рыборазведения, санитарных требований и заиления. Последние два условия являются определяющими. По санитарным условиям глубина воды в водохранилище при мертвом объеме не должна быть менее 2 м.

Мертвый объем водохранилища определяют из условия его заиления за срок службы (30–50 лет): за период эксплуатации объем отложившихся наносов не должен превышать мертвый объем.

Полезный объем водохранилища – объем воды между УМО и НПУ. Объем форсировки при пропуске половодья или паводков – объем водохранилища между НПУ и ФПУ.

Рабочая вместимость водохранилища равна стоку заданной обеспеченности или части его, задержанному в водохранилище

$$V_{\text{раб}} = S_p = K_p S_0,$$

где  $S_p$  – расчетный сток;  $S_0$  – средний весенний сток.

Полезная вместимость водохранилища равна разнице между рабочей вместимостью и объемом потерь. Ее устанавливают, исходя из потребности воды на орошение, водоснабжение, рыбоводство и прочие нужды.

Потребление воды зависит от характера использования водоема. При комплексном использовании его устанавливают в соответствии с нормами для водоснабжения населенных мест, нужд животноводства и потребности рыбного хозяйства.

*Водопотребление на орошение* определяют с учетом режима орошения сельскохозяйственных культур.

*Потери воды на испарение* относят к площади зеркала водохранилища. Для поверочных расчетов объема водохранилища можно использовать карты испарения, справочные данные.

К непроизводительным потерям относят потери воды на *фильтрацию через тело плотины и ложе водоема*, которые зависят от геологического строения подстилающих пород, их гранулометрического состава и фильтрационных свойств.

*Гидрогеологические условия* могут быть хорошими, средними и тяжелыми.

*Хорошие* – водонепроницаемые грунты ложа водохранилища, близкие грунтовые воды, потери воды составляют 0–0,5 м (слой воды в год).

*Средние* – потери воды из водохранилища 0,5–1 м.

*Тяжелые* – проницаемые водоносные породы, потери воды из водохранилища составляют 1–2 м.

Для уменьшения фильтрации применяют следующие приемы:

*уплотнение грунта* уменьшает потери в 15–30 раз, грунт укатывают послойно или уплотняют ударами на глубину 0,5–1,0 м;

*солонцевание* – внесение в поверхностный слой грунта ложа водохранилища поваренной соли, сверху укладывается слой песка – фильтрация уменьшается в 1,5–2 раза;

*кольматаж* – в поток вводятся глинистые или илистые частицы, что позволяет уменьшить фильтрацию через ложе водохранилища в 10 раз;

*оглеение грунта* (то есть почвы), формирующегося в результате жизнедеятельности анаэробных бактерий. Органические вещества вносятся в виде соломы, камыша, которые укладываются на откосы и дно водоема под слой грунта. В результате образуются газы, растворимые вещества, спирты, кислоты. Водонепроницаемый слой увеличивается в течение нескольких лет в 4–5 раз. Коэффициент фильтрации снижается в десятки и сотни раз. В южных районах процесс оглеения происходит наиболее полно и быстро;

*Потери на льдообразование* ( $V_{\text{лед}}$ , м<sup>3</sup>) определяют в зависимости от площади водоема в начале и в конце ледостава и толщины льда по формуле:

$$V_{\text{лед}} = 0,9(F_1 - F_2)h_{\text{л}},$$

где 0,9 – удельная масса льда;  $F_1$  – площадь зеркала водоема в начале ледостава, м<sup>2</sup>;  $F_2$  – площадь зеркала водоема в конце ледостава, м<sup>2</sup>;  $h_{\text{л}}$  – максимальная толщина ледяного покрова для данного района, м.

Таким образом, общие потери  $V_{\text{потерь}}$  (м<sup>3</sup>) составляют

$$V_{\text{потерь}} = V_{\text{ис}} + V_{\text{ф}} + V_{\text{лед}},$$

где  $V_{\text{ис}}$  – потери воды на испарение;  $V_{\text{ф}}$  – потери воды на фильтрацию;  $V_{\text{лед}}$  – потери на льдообразование.

*Объем воды на орошение* площади ( $V_{\text{ор}}$ , м<sup>3</sup>) определяют по формуле:

$$V_{\text{ор}} = \frac{M_{\text{ср.вз.}} \omega_{\text{ор}}}{\eta},$$

где  $\omega_{\text{ор}}$  – орошаемая площадь, га;  $\eta$  – КПД оросительной системы;  $M_{\text{ср.вз.}}$  – средневзвешенная оросительная норма (м<sup>3</sup>/га), определяемая по формуле

$$M_{\text{ср.вз.}} = \frac{\alpha M_1 + \dots + \alpha M_n}{100},$$

где  $M_1, M_2, \dots, M_n$  – оросительные нормы отдельных сельскохозяйственных культур, вычисленные для года 75%-ной обеспеченности по влажности;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_n$  – процент площади, занимаемой данной сельскохозяйственной культурой в севообороте на орошаемом участке.

Объем воды для водоснабжения и обводнения, ( $V_{\text{вод}}$ , м<sup>3</sup>), равен:

$$V_{\text{вод}} = \sum_1^n QT,$$

где  $n$  – количество водопотребителей;  $Q$  – норма водопотребления, м<sup>3</sup>/сут;  $T$  – продолжительность периода потребления воды из водоема, сут.

*Состав основных сооружений* водозаборного гидроузла зависит:

от типа водозабора;

от способа подачи воды в систему;

от гидрологического и руслового режимов реки и прочих местных условий.

В общем случае в состав *ирригационного гидроузла* входят: руслорегулирующие дамбы в верхнем и нижнем бьефах; глухая и водосбросная плотины (при плотинном водозаборе); водозаборные сооружения (водоприемники); наносоперехватывающие, промывные и шугосбросные устройства; решетки для задержания мусора; отстойники для очистки воды от донных наносов.

На реках, имеющих рыбохозяйственное значение, предусматривают рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. В состав сооружений гидроузла комплексного назначения могут входить судоходные, энергетические, лесопропускные и другие сооружения.

*Компоновка гидроузлов* должна обеспечивать условия совместной работы этих сооружений, наиболее полно удовлетворяющие технико-экономическим требованиям. Основа выбора рациональной компоновки – технико-экономическое сравнение возможных вариантов. Предпочтение отдают варианту, в котором наиболее полно соблюдены *требования охраны окружающей среды* и обеспечены при прочих равных условиях и наилучших технико-экономических показателях надежность эксплуатации основных сооружений, удобство монтажа и ремонта оборудования, экономия материальных ресурсов, перспективы развития орошения.

Топографические и геологические условия на участке размещения створа гидроузла должны обеспечить:

- минимальную длину фронта напорных сооружений;
- отсутствие значительных подтоплений и затоплений территорий;
- возможность размещения жилого поселка и основных подсобных предприятий, а также создания сети дорог;
- благоприятное геологическое строение оснований сооружений;

сохранение ландшафта и природных условий произрастания естественной растительности в зоне строительства гидроузла.

*Плотинные водозаборные гидроузлы* устраивают, когда бытовые уровни реки недостаточны для самотечной подачи воды в каналы. При этом:

- сокращается холостой самотечный участок магистрального канала;
- повышается качество забираемой воды;
- уменьшается влияние водоотбора на режим реки;
- улучшаются условия судоходства.

При совпадении гидрографа реки с графиком водопотребления плотинные водозаборы возводятся *без регулирования стока*.

На горных, предгорных и равнинных участках рек применяются различные типы водозаборов. По уклонам дна реки выделяются участки: горный  $i > 0,05$ , предгорный  $i = 0,05 - 0,001$ , равнинный  $i < 0,001$ ).

*Боковой водозабор* располагают на прямолинейных участках рек с подачей воды на один берег водоотбор из источников под углом к оси потока. Применяют его в основном на предгорных и равнинных реках, реже – на горных. Достоинство бокового водозабора – простота конструкции и эксплуатации; недостаток – пропуск значительного количества наносов.

По условиям борьбы с поступлением донных наносов боковые водозаборы делятся:

- с фронтальной промывкой наносов;
- с горизонтальным полком;
- с донными промывными галереями;
- с наносоперехватывающими галереями;
- бычковые.

*Фронтальный водозабор* – забор происходит по направлению основного потока воды; особенность – водоотбор из верхних слоев воды. Используется преимущественно на равнинных реках, допускаются предгорные участки рек.

- Типы фронтального водозабора:
- двухъярусные;

с карманом;  
 с наносоперехватывающими галереями;  
 с донными промывными галереями;  
 ферганский – с криволинейным подводным руслом (предгорные участки);

*Решетчатый* водозабор забирает воду с определенной глубины или со дна (горные, селеносные и неселеносные). Недостаток – пропуск наносов в водоприемники, забивка решеток мусором.

*Компоновка ирригационного гидроузла с водохранилищем* определяется главным образом условиями борьбы с наносами.

Соответственно, русловые гидроузлы имеют *две основные схемы компоновки*:

1. Специальных устройств по борьбе с наносами не требуется, режим наносов на компоновку не влияет. В этом случае основное условие – *плавный подход потока и трассы водоотводящих трактов*;

2. Водозаборы сочетаются со специальными устройствами, направленными на борьбу с наносами – *промывные устройства для гидравлического удаления наносов*. Типов компоновок таких водозаборов много, их отличия в том, как осуществляется *забор воды, промыв порога, взаимное расположение водозаборных и водобросных отверстий*.

*Заиление водохранилища* – это процесс заполнения емкости водохранилища наносами, уменьшение объема водохранилища за счет роста абсолютных отметок дна. Основные причины заиления:

- поступление с водосбора взвешенных наносов;
- ветровой перенос летучих песков с суши, выпадение в осадок химических соединений;
- биомасса водной растительности;
- размыв берегов волновыми процессами;
- вымывание торфа из-под плавающих болот, которые условно находятся за границей водохранилища.

В условиях подпора реки плотиной и образования водохранилища скорость течения воды в реке уменьшается, влекомые и

взвешенные наносы, переносимые рекой, осаждаются в ложе водохранилища. В верхней части задерживаются более крупные донные наносы, а мелкие по мере уменьшения скорости течения откладываются в средней и нижней частях с постепенным уменьшением величины фракций до илистых у самой плотины. В результате происходит постепенное и непрерывное заиление водохранилища. Это влечет за собой утрату его регулирующего значения и не позволяет обеспечить водой потребителей в нужные сроки и в требуемых количествах.

Сроком службы водохранилища в отношении его заиления называется период, в течение которого заносится мертвый объем водохранилища. Этот период в зависимости от соотношения объемов водохранилища и годового твердого стока может исчисляться годами, десятилетиями и сотнями лет. Известны случаи почти полного заиления водохранилищ в течение 3–5 лет. Так, Штеровское водохранилище на р. Миус в Донбассе за первые пять лет эксплуатации заилено на 85%, а водохранилище Рионской ГЭС в Грузии за 10 лет эксплуатации заилено на 83%.

У большинства равнинных водохранилищ в первые годы их существования донные отложения формируются преимущественно за счет продуктов разрушения берегов и дна. С течением времени их количество убывает, и начинают преобладать наносы, поступающие с поверхностным стоком. За первые 12 лет существования Угличского водохранилища (1939–1951 гг.) среднегодовое количество обрушенного грунта превышало суммарный сток взвешенных наносов в 2,3 раза, в последующее десятилетие они были примерно одинаковы, а в начале 60-х годов количество наносов начало превышать поступление материала за счет береговой абразии.

У горных водохранилищ, берега которых сложены скальными породами, это соотношение существенно отличается. На Мингечаурском водохранилище среднегодовое поступление грунта от абразии берегов составляет только 9,1%, а с речным стоком – 89,8%.

Торфяная взвесь также участвует в формировании донных отложений. Ее количество за первые 25 лет существования Рыбинского водохранилища составило около 5% от общей суммы наносов.

Продукты распада фитопланктона и высших растений также служат заметным источником пополнения донных отложений. Их количество в водохранилищах зоны умеренного климата составляет 1–6% от общей суммы наносов, а у водохранилищ, расположенных в районах с аридным и тропическим климатом, очевидно, может быть и больше.

В водохранилищах образуются и хемогенные взвеси, однако в настоящее время о роли их в балансе отложений нет данных.

У водохранилищ аридной зоны, расположенных в песчаных пустынях, важным источником донных отложений может быть эоловый перенос песчаных и пылевых отложений.

#### Расчет срока службы водохранилища по его заилению

При расчете заиленивания водохранилищ требуются исходные данные: мутность, механический состав наносов, расход воды, параметры водохранилища, плотность наносов.

Первичными источниками сведений о мутности потока являются гидрологические ежегодники.

*Расчеты проводятся для случаев:*

ведутся наблюдения за твердым стоком;  
наблюдения отсутствуют.

Расчет выполняется для среднего по водности года. Срок службы  $T$  равен

$$T = V_m / G,$$

где  $G$  – годовой сток наносов в единице объема, приведенный к состоянию уплотненных наносов, определяется по данным наблюдений или расчетным формулам;  $V_m$  – мертвый объем водохранилища.

Данные наблюдений над твердым стоком приводятся в виде удельной мутности воды г/л ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ).

Зная величину расхода воды  $Q$ , можно перейти к весовому количеству взвешенных наносов, переносимых рекой  $P_n$  в год.

По удельному весу наносов  $\gamma_n$  и пористости  $n$  (отношение объема пор к общему объему) можно перейти от веса наносов к объему  $G$

$$G = P_n / \gamma_n(1 - n),$$

где  $\gamma_n$  составляет обычно  $2,0\text{--}2,8 \text{ т}/\text{м}^3$ , а  $n = 0,3\text{--}0,4$ .

В среднем между  $G$  и  $P_n$  существует зависимость:  $G = 0,75 P_n$ .

Недостаточная разработка методики измерения стока наносов и их подсчета может привести к грубым ошибкам при расчете заиленивания водохранилищ.

В условиях равнинных рек расход донных наносов составляет около 5–10% от расхода взвешенных. Для горных рек расход донных наносом может играть решающую роль при заилении водохранилища.

Для уменьшения заиленивания водохранилищ, бьефов, бассейнов, каналов необходимо:

поддерживать такие режимы их работы, которые создают возможность максимального транзита поступающего твердого стока;

каналы в период поступления в них воды повышенной мутности должны работать в близком к постоянному режиму с возможно большим расходом воды;

промывать бьефы, водохранилища, пороги водоприемников, осветлять воду в отстойниках;

применять берегоукрепительные и наносоудерживающие устройства или удалять наносы механическими средствами;

ежедневно срабатывать бьефы до минимально возможной отметки (для водохранилищ суточного регулирования).

Для каждого конкретного водохранилища способы борьбы с заилениванием выбираются исходя из местных условий и на основании технико-экономического обоснования.

Благоприятные условия для транзитного пропуска наносов через водохранилище обеспечиваются при сниженном уровне верхнего бьефа. Поскольку наибольшее количество твердого стока проходит в паводочный период, к моменту наступления паводка водохранилище должно быть опорожнено до минимального уровня (в пределах проектной призмы регулирования), при котором обеспечивается, согласно гидрологическому прогнозу, его последующее наполнение.

Пропуск паводка следует осуществлять при минимальных уровнях верхнего бьефа, наполнение проводить в возможно более поздний срок, на спаде паводка.

Для водохранилищ суточного регулирования необходимо обеспечивать режимы ежедневной сработки бьефа до минимально возможной отметки, предусмотренной правилами эксплуатации данного водохранилища. Такие режимы исключают интенсивное и значительное заиливание регулирующей емкости.

В периоды, когда приток воды в реке не может быть полностью использован для выработки электроэнергии, избыток следует использовать для смыва отложившихся наносов в нижний бьеф и промыва порогов водоприемных устройств.

Пропуск излишков воды предпочтительнее проводить через донные отверстия с низким расположением порога.

### Вопросы для самопроверки

1. Что такое ирригационный гидроузел? Как определяется основная характеристика водозабора?
2. Назовите требования к ирригационным гидроузлам.
3. Какие сооружения входят в состав ирригационного гидроузла?
4. Какие требования предъявляются к выбору створа плотины при создании ирригационного водохранилища?
5. Какие ограничения следует соблюдать при определении мертвого объема и отметки УМО ирригационного водохранилища?
6. Как определяется объем ирригационного водохранилища?
7. Что такое оросительная норма для сельскохозяйственных культур? Как она определяется?
8. Как определяется средневзвешенная оросительная норма для сельскохозяйственных культур?
9. Какие есть способы уменьшения потерь на фильтрацию из водохранилища?
10. Какие условия определяют выбор компоновки ирригационного гидроузла?
11. Как происходит заиливание водохранилища? Какие меры при проектировании водохранилища и его эксплуатации позволяют уменьшить заиливание?

### Список рекомендуемой литературы к главе 10

1. **Бабиков Б.В.** Гидротехнические мелиорации: Учебник для вузов. 4-е изд., стер. СПб: Издательство «Лань». 2005.
2. **Бахтиаров В.А.** Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. Л.: Гидрометеиздат. 1961.
3. **Маркин В.Н., Раткович Л.Д., Соколова С.А.** Разработка водохозяйственных мероприятий в бассейне реки. Учебное пособие. М.: МГУП. 2009.
4. **Маслов Б.С., Минаев И.В., Губер К.В.** Справочник по мелиорации. М.: Росагропромиздат. 1989.
5. **Мелиорация** и водное хозяйство. 4. Сооружения: М 47 Справочник / Под ред. П.А. Полад-заде. М.: Агропромиздат. 1987.
6. **Межгосударственная** координационная водохозяйственная комиссия Центральной Азии (МКВК). Проект «Региональная информационная база водного сектора Центральной Азии» (CAREWIB). Опыт борьбы с заиливанием водохранилищ. Обзор. Составитель К.А. Юлдашева. Ташкент. 2011.

## Глава 11

### ЗАЩИТА ВОДЫ, ПОДАВАЕМОЙ ПОТРЕБИТЕЛЮ, ОТ НАНОСОВ (ОРОШЕНИЕ)

Поток, насыщенный взвешенными наносами, поступает через водозаборные сооружения в канал к водозабору с мутностью, соответствующей мутности речной воды. Так как скорости в каналах обычно меньше скорости в реке, взвешенные наносы частично осаждаются, приводя каналы к заилению. От крупнозернистых наносов освобождаются обычно на гидроузле, их сбрасывают в нижний бьеф через водосбросную плотину с низкой отметкой порога.

Для последующей очистки воды от наносов и предотвращения заиления ирригационных каналов устраивают отстойники – бассейны, в которых при малых скоростях движения потока часть наносов осаждается. Отстойники служат для осветления воды и выпуска ее в канал с мутностью, при которой оставшиеся наносы транспортируются во взвешенном состоянии. В отстойниках может также отстаиваться шуга при режиме задержания ее перед водозабором. Как правило, организуют многоступенчатую защиту от наносов. В то же время вода, очищенная от очень мелких фракций наносов, может размывать подводящие ирригационные каналы, вызывать деформацию их русел и вторичное насыщение воды наносами.

*Ирригационные отстойники* классифицируются по местоположению, конструкции, способу удаления наносов.

#### Классификация отстойников

##### 1. По местоположению.

При плотинном водозаборе возможны следующие основные схемы расположения отстойников (рис. 11.1):

а) в составе гидроузла в верхнем бьефе отстойник является составной частью водозабора и предназначается для осаждения только крупных фракций наносов от 0,5 мм и более;

б) в составе гидроузла на берегу возможно размещение отстойника при плотинных водозаборах на предгорных и равнинных участках рек при сравнительно больших напорах для обеспечения самотечного гидравлического смыва наносов из отстойника;

в) на канале вблизи гидроузла можно разместить отстойник при низконапорных плотинах, отнесение отстойника от гидроузла связано с условиями гидравлической промывки;

г) на значительном удалении от гидроузла отстойники размещают при двух и трехступенчатом осветлении воды.

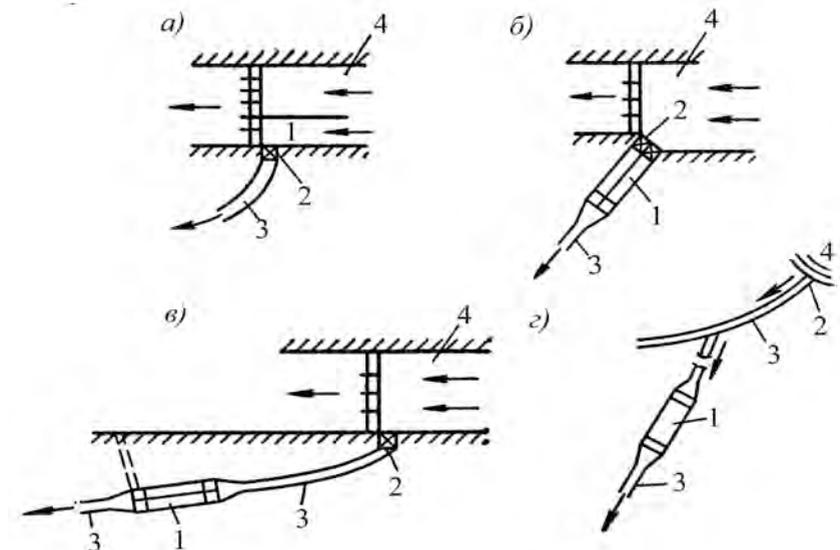


Рис.11.1. Классификация отстойников по местоположению:  
 а – в составе гидроузла в верхнем бьефе; б – в составе гидроузла на берегу;  
 в – на канале вблизи гидроузла; г – на канале в значительном удалении от гидроузла:

1 – отстойник; 2 – водозабор; 3 – магистральный канал; 4 – водохранилище

## 2. По конструкции:

однокамерные;  
 многокамерные;  
 озерные.

### Однокамерный отстойник

Однокамерный отстойник – это бетонный или железобетонный бассейн, в начале и в конце которого установлены шлюзы-регуляторы для управления потоком. Бортовые стенки могут быть вертикальными или наклонными. Дно имеет продольный уклон. В отстойниках с периодической промывкой в общем объеме камер можно выделить так называемый мертвый объем, в пределах которого происходит осаждение взвешенных наносов (рис. 11.2, 11.3).

Различия в конструкциях однокамерных отстойников обусловлены в основном схемами их промывки или очистки. Они бывают с гидравлической самотечной промывкой и с механической очисткой; небольшие по длине отстойники с гидравлической промывкой строят из бетона и железобетона. Большие ирригационные отстойники делают без облицовки грунта. Периодически промываемые отстойники можно строить с обводным каналом.

Существенный недостаток однокамерного отстойника состоит в прекращении на время промывки (второй такт работы отстойника) подачи воды потребителю. Если по условиям эксплуатации перерыв в подаче воды в канал недопустим, параллельно камере отстойника устраивают обводной канал, по которому на время промывки подается вода потребителю. Так как через обвод подается неосветленная вода с повышенной мутностью, канал за отстойником заиляется и наступает момент, когда требуется его очистка. Для регулирования подачи воды по обводному каналу в начале и в конце его ставят шлюзы-регуляторы.

### Многокамерные отстойники

При двух и более камер отстойники называют многокамерными. Их можно рассматривать как систему параллельно присоединенных друг к другу однокамерных отстойников. Он устойчиво обеспечивает необходимое осветление потока, легко настраивается на нормальную работу, имеет возможности для осмотра и ремонта камер и гидромеханического оборудования, поддается автоматизации и телеуправлению.

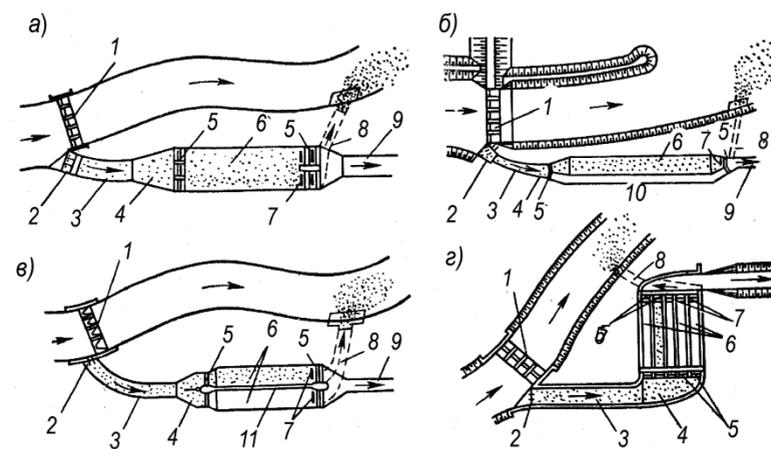


Рис. 11.2. Типы отстойников и составные элементы:

а – однокамерный; б – однокамерный с обводным каналом; в – двухкамерный; г – многокамерный;  
 1 – плотина; 2 – головное сооружение; 3 – подводящий канал; 4 – аванкамера; 5 – затворы отстойника; 6 – камера отстойника; 7 – затвор промывной галереи; 8 – промывной коллектор; 9 – магистральный канал; 10 – обводной канал; 11 – разделительная стенка

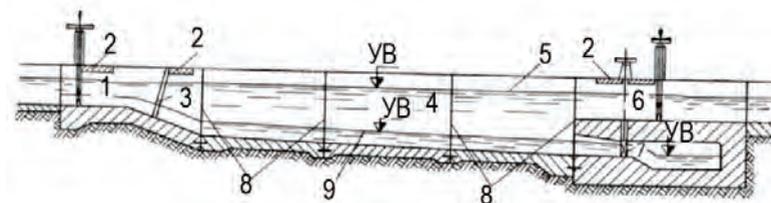


Рис. 11.3. Продольный разрез отстойника с периодической промывкой:

1 – входной шлюз-регулятор; 2 – служебные мостики; 3 – уравнивательная решетка; 4 – камера; 5 – уровень воды в камере во время осаждения наносов; 6 – выходной шлюз-регулятор; 7 – затворы промывного шлюза-регулятора; 8 – деформационные швы; 9 – уровень воды в камере во время ее промывки

Такие отстойники обеспечивают непрерывную подачу осветленной воды потребителю, так как во время промывки одной камеры (а промывают их последовательно одну за другой) работают остальные камеры, хотя и с некоторой перегрузкой по сравнению с

расчетными условиями. Ширину одной камеры определяют расчетом; обычно ее ширина не превышает 3–4 м, из условия необходимого растекания воды она не должна быть больше 1/3 ее длины.

Ширина отстойника больше подводящего канала, поэтому перед входным порогом устраивают аванкамеру, в которой поток плавно расширяется (с центральным углом не более 40–45°). Расширение должно обеспечивать одинаковые расходы воды в камерах, в необходимых случаях в аванкамере делают отдельные стенки.

Число камер определяют при проектировании технико-экономическим сравнением. При промывке одной камеры остальные работают в режиме форсированных расходов, что ухудшает отстой наносов. Глубину камер нужно проектировать возможно меньшей (короче путь выпадения песчинок), в среднем не более 4–5 м. Камеры разделяются между собой стенками, которые должны быть устойчивыми и прочными при опорожнении одной из соседних камер.

Отстойные камеры ограничиваются нижним оголовком, который сопрягает глубокую отстойную камеру с каналом. В нижнем оголовке имеются пазы для затворов, перекрывающих вход в каналы в промывные галереи; здесь же размещается сборная галерея, отводящая при промывке камеры пульпу за пределы отстойника. Далее сборная галерея переходит в пульповод, сопрягающийся с нижним бьефом гидроузла.

В режиме отстоя затворы на входе в камеру и выходе из нее открыты. За время продвижения потока в камере часть наносов выпадает на ее дно. За выходными затворами поток из камеры сливается с общим потоком из других камер и направляется в канал. При этом в отстойнике осаждаются не все наносы, а только лишь часть, которая является излишней нагрузкой по сравнению с транспортирующей способностью защищаемых каналов.

При увеличении объема осевших в камере наносов мутность воды на выходе из нее увеличивается. При достижении предельного объема осевших наносов камеру переводят в режим промыва.

Для этого ее отделяют от общего потока затворами, открывают затвор промывной галереи, камеру опорожняют, приоткрывают входной затвор для пропуска промывного расхода воды. Ис-

течение из-под щита и уклон дна камеры должны обеспечивать формирование потока со скоростью более 2 м/с, при которой происходит насыщение его наносами. Далее смесь воды и наносов движется в сборную галерею и по пульповоду в НБ гидроузла или в отведенное для отвала грунта место.

При многих достоинствах многокамерные отстойники относительно дорогие сооружения, поэтому часто проектируют и строят однокамерные отстойники.

*Озерные отстойники.* Замкнутые естественные понижения местности (впадины), соответствующим образом приспособленные для осаждения взвешенных наносов, называют озерными отстойниками. Их применяют преимущественно на второй ступени осветления воды, но не исключается их использование и как головных. Существенное преимущество озерных отстойников заключается в отсутствии затрат на удаление наносов, поскольку в основу их работы положен принцип полного заиления.

При применении озерных отстойников, требующих небольших единовременных затрат на устройство, снижаются эксплуатационные расходы, упрощается наблюдение за работой отстойников, сокращается отчуждение полезных сельскохозяйственных земель, а после заиления отстойников вся площадь, занятая ими, используется в полезных целях.

### 3. По способу удаления наносов:

с гидравлическим промывом (периодическим или непрерывным);

с механизированной очисткой;

с комбинированной очисткой.

### *Отстойники с гидравлическим промывом*

При перепаде уровней в отстойнике и в реке более 1–1,5 м отстойники можно очищать от осевших наносов путем непрерывного или периодического гидравлического промыва.

### *Отстойники с периодическим промывом*

Отстойники с периодической промывкой (см.рис. 11.2, 11.3) работают в два такта. В первом из них, по времени более продолжительном, происходит осаждение части взвешенных наносов из потока, поступающего из реки, и одновременно подача осветленной воды в канал. Как только расчетные фракции взвешенных

наносов, принятые к осаждению, начнут попадать в канал за отстойником, подачу воды потребителю прекращают, после чего наступает второй такт работы отстойника – смыв отложившихся наносов. Таким образом, в течение всего времени работы отстойника один такт сменяется другим.

Как правило, очистку отстойников рассматриваемого типа осуществляют гидравлическим способом. Наносы, смытые водой, через промывные устройства сбрасывают в реку.

#### *Отстойники непрерывного действия*

Отстойник непрерывного действия состоит из тех же элементов, что и отстойник с периодической промывкой. Это – сопрягающие участки, входные и выходные шлюзы-регуляторы, камеры, промывные устройства и промывной водовод, примыкающий к ним. Сопрягающие участки, входной и выходной шлюзы-регуляторы у этого отстойника такие же, как и у отстойника с периодической промывкой, конструктивные особенности имеют только камеры и промывные устройства.

Несмотря на более сложные конструкции, отстойники непрерывного действия имеют ряд преимуществ: непрерывность отстоя и промыва наносов, а также подачи воды в канал; возможность использования для промыва гидравлической энергии потока при перепадах уровней, начиная с 1–1,5 м; более простые условия механизации и телеуправления; отсутствие кратковременных резких нагрузок и перегрузок.

Особенность работы отстойника заключается в том, что одновременно с осаждением и удалением взвешенных наносов происходит подача осветленной воды потребителю. Отстойник не имеет *мертвого объема* для осаждения наносов и длина его камер меньше, чем у отстойников с периодической промывкой.

У отстойника непрерывного действия (рис. 11.4, 11.5) в средней части камеры вдоль отстойника устроена сборно-промывная галерея небольшого сечения, покрытая сверху горизонтальной решеткой. На начальном участке камеры имеется торцевое отверстие для подачи воды. Транспортирующие скорости обеспечиваются напорным потоком в галерее при сравнительно небольшом промывном расходе. Для активизации поступления наносов в промывные галереи на дне устраиваются дополнительные ребра, призмы или промывные шахты.

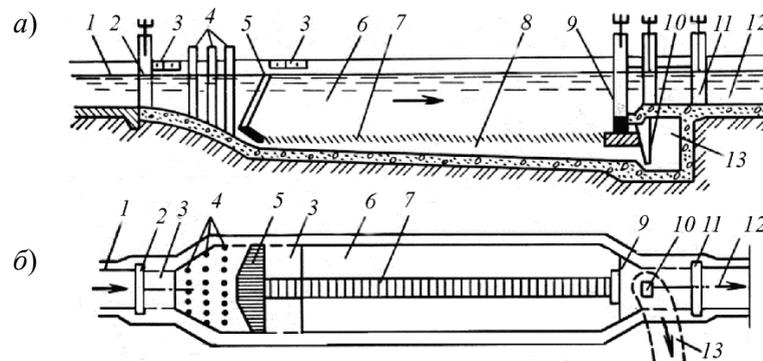


Рис. 11.4. Отстойник с непрерывным промывом.

*а* – продольный разрез; *б* – план;

1 – подводный канал; 2 – затвор на входе в отстойник; 3 – служебный мостик; 4 – распределительные решетки; 5 – мелкая сороудерживающая решетка; 6 – камера отстойника; 7 – решетка донной галереи; 8 – донная галерея; 9 – затвор отверстия для сброса шуги; 10 – затвор промывной галереи; 11 – затвор на выходе из камеры отстойника; 12 – магистральный канал; 13 – промывные галереи

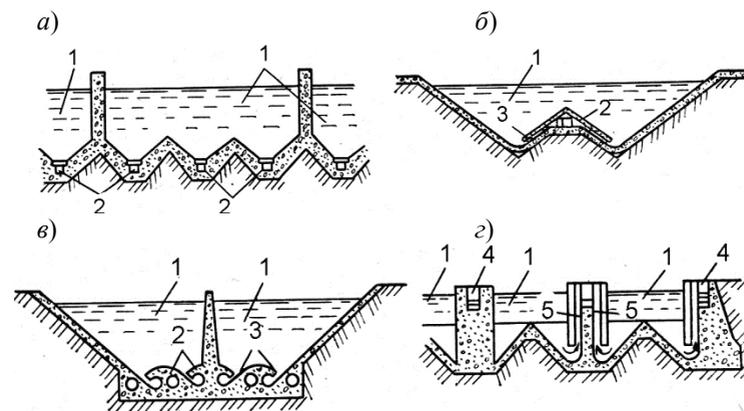


Рис. 11.5. Конструкции отстойников с непрерывным промывом:

*а* – с ребристым дном; *б*, *в* – с двухсторонними скатами; *г* – с вертикальными промывными шахтами;

1 – камера отстойника; 2 – сборно-промывные галереи; 3 – промывные щелевые отверстия; 4 – отводящие лотки; 5 – вертикальные шахты-колодцы

### Грунтовые отстойники с механической очисткой

Если перепад воды уровней в отстойнике и в реке менее одного метра, то отстойники очищают экскаваторами или земснарядами.

Если камеры получаются длинными (более 100 м), то имеет смысл выполнить отстойник в земляном русле. Осадок из таких отстойников удаляют механизмами. Конструктивно такой отстойник представляет собой расширенный и углубленный участок магистрального канала в земляном русле длиной до 1 км и более. Такие отстойники устроены в низовьях р. Амударьи.

Наиболее удобна очистка отстойников земснарядами. После ориентировочного определения габаритов отстойника, выбора типа земснарядов и их числа размеры отстойника корректируют из условия удобства работы выбранной конструкции земснаряда и технологической схемы очистки.

На простейших грунтовых отстойниках нет никаких регулирующих устройств и конструкций. Регулирование степени осветления потока в процессе эксплуатации осуществляется только объемом отстойника, то есть интенсивностью очистки его от осадка.

### Отстойники с комбинированной очисткой

В отстойниках с комбинированной очисткой отложения промывают при закрытых затворах в конце камеры пропуском воды из-под щита входного отверстия отстойников. Наносы через промывную галерею смываются в сбросной колодец, откуда землесосами перекачиваются в НБ или на площадь отвала грунта (рис. 11.6 и 11.7).

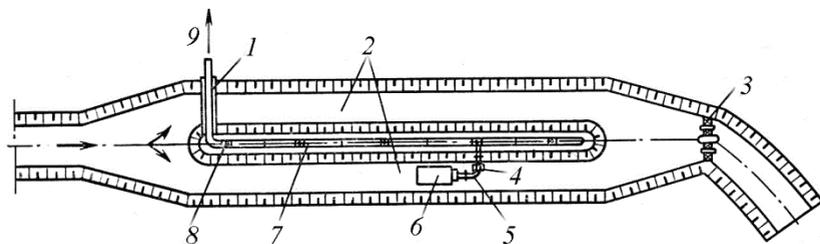


Рис.11.6. Двухкамерный отстойник с механической очисткой наносов:

1 – эстакада; 2 – камера отстойника; 3 – регулирующее сооружение; 4 – понтон; 5 – плавучий пульпопровод; 6 – земснаряд; 7 – стационарный пульпопровод; 8 – гидранты для присоединения плавучего пульпопровода; 9 – сброс пульпы в реку

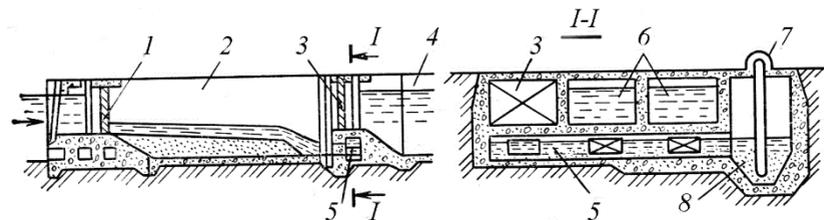


Рис.11.7. Отстойник с камерами периодического действия и комбинированной системой удаления наносов:

1, 3 – затворы на входном и водосливном порогах; 2 – камера периодического промывания отстойника; 4 – отводящий канал; 5 – промывная галерея; 6 – работающая камера; 7 – насос; 8 – сбросной колодец

### Характеристики взвешенных наносов

*Гидравлическая крупность наносов*  $\omega$  – скорость осаждения взвешенных наносов в спокойной воде измеряется в см/с; мм/с; реже – в м/с. Гидравлическая крупность зависит от размеров и формы частиц, удельного веса, температуры воды.

*Мутность* – содержание взвешенных частиц грунта в единице объема воды, может быть выражена через *весовую мутность*  $\rho$  (кг в  $1 \text{ м}^3$ ), *объемную мутность*  $\mu$  (литры взвешенных наносов в  $1 \text{ м}^3$  воды).

*Транспортирующая способность потока*  $\rho_{\text{тр}}$  – предельное весовое количество перемещаемых потоком взвешенных наносов, выражается в единицах мутности. Зависит от гидравлических характеристик потока (уклона, скорости, глубины) и состава наносов. Поток в размываемом русле насыщается наносами до величины транспортирующей способности; если мутность больше – наносы осаждаются. Транспортирующая способность (критическая мутность) потока зависит от уклона, скорости, глубины потока и состава наносов.

*Взвешивающая скорость потока*  $v_{\text{в}}$  – вертикальная составляющая скорости в потоке, обеспечивающая перемещение твердых частиц. Наносы перемещаются вверх, если  $v_{\text{в}} > \omega$ . При  $v_{\text{в}} < \omega$  наносы перемещаются вниз и осаждаются на дно – происходит процесс заиления русла. Взвешивающая скорость  $v_{\text{в}}$  зависит от продольной скорости.

*Распределение взвешенных наносов по глубине потока* подчиняется определенной закономерности. При расчетах отстойников обычно применяют некоторую модель, в какой-то степени отвечающую условиям фактического распределения наносов по глубине потока. При расчетах отстойников часто применяют прямоугольную эпюру. Такая эпюра хотя и не всегда соответствует фактическому распределению наносов, однако позволяет значительно упростить расчеты, а для отстойников, в которых преобладают мелкие наносы, практически отвечает действительному распределению наносов по глубине потока.

*Исходные данные для проектирования отстойников*

Для проектирования отстойников необходимы данные:

об уровнях в реке или канале (куда будет присоединяться отстойник);

о расходах воды;

о мутности потока;

о фракционном составе наносов;

о требованиях к отстойнику в отношении необходимого осветления потока и режима промывок;

о шуге.

Строительство отстойника не обязательно при мутности водотока менее  $0,5 \text{ кг/м}^3$ , в конкретных случаях необходимость отстойника может быть обоснована технико-экономическими расчетами.

*Состав расчетов.* При проектировании отстойников выполняют гидравлические, фильтрационные и статические расчеты. Основными расчетами, определяющими размеры отстойника и режим его работы, являются гидравлические, которые рассмотрены ниже. Фильтрационные и статические расчеты выполняют по общепринятой методике для гидротехнических сооружений.

*Допущения при расчетах.* Для расчета отстойников применяют некоторую модель с упрощениями реального движения наносов. Основные допущения при таком расчете:

а) поверхность воды в камерах при осаждении наносов горизонтальна;

б) взвешенные наносы в потоке, поступающем в камеру, принимаются распределенными в виде прямоугольной эпюры;

в) мутность потока, входящего в головной отстойник, постоянна и равна мутности речной воды;

г) средние скорости потока в камере отстойника при осаждении наносов одинаковы по сечению и в плане;

д) смыв отложившихся наносов, то есть работа отстойника во втором такте, происходит при равномерном движении;

е) размеры камер отстойника определяют по параметрам, отнесенным к среднему сечению.

*Исходные данные для гидравлического расчета отстойника*

1. Расходы, определяемые по графику водопотребления;

2. Расчетная мутность речной воды;

3. Гранулометрический состав взвешенных наносов (задается в табличной форме или в виде интегральной кривой);

4. Диаметр частиц взвешенных наносов, подлежащих осаждению в камерах;

5. Уровни верхнего бьефа плотинных гидроузлов и уровни нижнего бьефа у устья промывного водовода.

Учитывая, что при расчете отстойников переменных величин больше, чем имеется уравнений для их определения, некоторые из этих переменных задают, руководствуясь нормативными указаниями и опытом проектирования. К числу задаваемых переменных величин при проектировании головных отстойников, предназначенных для осаждения крупных фракций, относятся:

1. Средняя глубина воды в камерах отстойника (принимается в пределах 3–5 м);

2. Средняя продольная скорость потока при осаждении взвешенных наносов  $v_{пр}$  (принимается в пределах 0,2–0,4 м/с);

3. Промывной расход при гидравлическом смыве наносов  $Q_{пр}$  (принимается в зависимости от расхода воды при работе камеры в первом такте  $Q_k$ :  $Q_{пр} = (1 - 1,5)Q_k$ ;

4. Гидравлическая крупность частиц наносов  $\omega_{макс} = 0,05 \text{ м/с}$ .

Отклонение от приведенных величин при надлежащем обосновании допускается в обе стороны.

Движение воды в отстойнике происходит со скоростями, при которых турбулизирующие возмущения обладают малой энергией. Расчет осаждения наносов в этих условиях выполняют, как при ламинарном режиме течения.

Площадь поперечного сечения камеры отстойника в первом приближении принимается  $\Omega_{\text{отст}} = Q_{\text{макс}}/v$  (где  $Q_{\text{макс}}$  – расход максимального водопотребления;  $v$  – средняя продольная скорость потока при осаждении взвешенных наносов  $v_{\text{пр}}$ , принимаемая в пределах 0,2–0,4 м/с).

Ширина камеры отстойника  $B_{\text{отст}}$  зависит от ширины водозабора (подводящего канала), для уменьшения скорости в отстойнике принимается больше в  $n$  раз (на практике  $n = (2 - 3)$ ).

Глубина (высота) отстойника  $h_{\text{ср}} = \Omega_{\text{отст}}/B_{\text{отст}}$ .

Одна из важных характеристик отстойника – его *проточность*, определяемая отношением объема воды в отстойной камере к расходу:  $t_0 = W_h/Q_h$  (с). Это время, в течение которого вода в камере будет полностью заменена другой и происходит отстаивание наносов.

Длину камеры отстойника  $l$  определяют по расчетному времени осаждения наносов с заданной наименьшей гидравлической крупностью осаждающихся частиц  $\omega_{\text{макс}}$ . Время для осаждения такого зерна  $t_0 = h_{\text{ср}}/\omega_{\text{макс}} = W_k/Q_k = lb_k h_{\text{ср}}/Q_k$

$$l_{\text{макс}} = \frac{Q}{b\omega_{\text{макс}}} = vt_0,$$

где  $Q$  – расход воды в камере;  $b$  – ширина камеры;  $\omega_{\text{макс}}$  – гидравлическая крупность частиц;  $h_{\text{ср}}$  – средняя глубина камеры;  $v$  – скорость потока.

Если длина камеры  $l_{\text{макс}}$ , то после небольшого времени осаждения объем ее за счет заиления уменьшается и в канал будут поступать наносы с крупностью больше  $\omega_{\text{макс}}$ .

Поэтому объем камеры обычно делают больше на величину допустимого объема заиления

$$L = kl_{\text{макс}}, \quad \text{где } k = 1,2 - 1,5.$$

*Степень осветления воды* – отношение мутности потока на выходе из отстойника к мутности его на входе. Она зависит от требований водопотребителя.

В ирригации степень осветления воды принимают исходя из транспортирующей способности каналов за отстойниками. Ирри-

гационные отстойники предназначены для осаждения мелких фракций взвешенных наносов (диаметр которых не превышает 0,1 мм), составляющих значительную долю общей мутности потока (до 70% и даже больше). В соответствии с поставленными условиями степени осветления воды рассчитывают и размеры отстойника. Длина головных отстойников, предназначенных для осаждения крупных фракций наносов, получается сравнительно небольшой – около 100 м. Оросительные же отстойники, в которых осаждаются мелкие фракции наносов с целью уменьшения мутности, имеют длину 3–4 км и более. Значительная длина ирригационных отстойников составляет одну из их особенностей.

### Вопросы для самопроверки

1. Назовите основной принцип работы отстойника для орошения.
2. Как классифицируются отстойники по местоположению?
3. Как классифицируются отстойники по конструкции?
4. Как классифицируются отстойники по способу удаления наносов?
5. Назовите характеристики взвешенных наносов.
6. Как определяются параметры ирригационного отстойника?

### Список рекомендуемой литературы к главе 11

1. **Бабиков Б.В.** Гидротехнические мелиорации: Учебник для вузов. 4-е изд., стер. СПб: Издательство «Лань». 2005.
2. **Гидротехнические сооружения.** Учеб. пособие для вузов. Под ред. Н.П. Розанова. М.: Стройиздат. 1978.
3. **Гидротехнические сооружения** / Г.В. Железняков, Ю.И. Ибадзаде, П.Л. Иванов и др.: Под общ. ред. В.Г. Недриги. М.: Стройиздат. 1983.
4. **Гидротехнические сооружения** / Н.П. Розанов, Я.В. Бочкарев, В.С. Лапшенков и др.; Под ред. Н.П. Розанова. М.: Агропромиздат. 1985.
5. **Гидротехнические сооружения:** Учеб. для вузов: 1 и 2 части / Л.Н. Рассказов, В.Г. Орехова, Ю.П. Правдивец и др.: Под ред. Л.Н. Рассказова. М.: Стройиздат. 1996.
6. **Маслов Б.С., Минаев И.В., Губер К.В.** Справочник по мелиорации. М.: Росагропромиздат. 1989.
7. **Мелиорация** и водное хозяйство. 4. Сооружения: М 47 Справочник / Под ред. П.А. Полад-заде. М.: Агропромиздат. 1987.

## Глава 12

### **СОХРАНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЕЧНОЙ ИХТИОФАУНЫ ПРИ СОЗДАНИИ ВОДОХРАНИЛИЩ**

Строительство гидроузлов приводит к изменению сложившихся природных условий обитания рыб.

Все реки России связаны с морями и составляют единую экологическую цепь ихтиофауны. Рыбы делятся на проходные, полупроходные и жилые (местные).

Проходные рыбы (осетр, белуга, севрюга, лососевые и др.) идут на нерест из морей в верховья рек, где имеются необходимые условия для инкубации икры, роста личинок и мальков. Полупроходные рыбы, к которым относятся сазан, лещ, судак, вобла, рыбец, тарань, нерестятся на залитых в половодье лугах в поймах больших и малых рек. Жилые (местные) виды рыб постоянно живут в реках и не мигрируют на нерест.

К элементам режима нерестилищ относят скорости течения потока, глубину, температуру воды, газовый режим, состояние дна, наносный режим и прозрачность воды, качество воды. Только при благоприятных условиях по всем этим показателям происходят нерест, инкубация икринок, развитие личинок и мальков. В дальнейшем мальки сносятся течением по реке до моря (скат рыбной молоди), где они вырастают до взрослых особей.

При регулировании речного стока изменяется гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режимы рек. Изменяются сроки и объемы паводков, глубины и скорости течения, температура воды, ее химический состав. Препятствуют пути миграции рыб к местам нереста. После наполнения водохранилищ сокращаются естественные площади нерестилищ.

В нижних бьефах гидроузлов в результате регулирования стока и безвозвратного отбора воды также уменьшаются площади нерестилищ. Неполное и недостаточное по времени покрытие водой мест нереста рыб приводит к гибели отложенной икры, личинок и мальков.

Условия ската рыбной молоди ухудшаются из-за возможности попадания мальков в водозаборные устройства, водосбросы, насосные и гидроэлектрические станции.

Для уменьшения отрицательных последствий возведения речных гидроузлов на ихтиофауну необходимо проводить следующие специальные мероприятия:

мероприятия для сохранения ихтиофауны водохранилищ (активные и пассивные);

пропуск рыбы через гидроузлы с помощью рыбопропускных сооружений;

защита рыбы (взрослых рыб и рыбной молоди) от попадания в водозаборные и рыбопропускные сооружения, а также в другие опасные для нее места.

Эти мероприятия при согласовании с органами рыбоохраны необходимо предусматривать при проектировании напорных гидроузлов в проектах и сметах.

В условиях комплексного использования водохранилищ гидроэнергетических объектов проведение мероприятий по сохранению ихтиофауны водохранилищ часто сталкиваются с интересами других водопользователей. Взаимоотношения между водопользователями регламентируются Правилами эксплуатации водохранилища, которые должны обеспечивать интересы всех водопользователей и благополучное состояние экосистем.

Научно обоснованное регулирование уровня режима водохранилищ и попусков в нижний бьеф может существенно повысить эффективность естественного воспроизводства рыб.

Проблема повышения эффективности рыбохозяйственного освоения водохранилищ гидроэнергетических объектов, предотвращения ситуаций, приводящих к гибели рыбы, важна не только с позиции экономики. Решение этой проблемы также связано с

обеспечением эффективного функционирования структур и взаимосвязей в водных экосистемах для сохранения генофонда животного мира рек, являющегося составной частью биосферы планеты.

Для водохранилищ характерна приуроченность нерестовых, промысловых, зимовальных скоплений рыб к отдельным участкам, что обусловлено различной интенсивностью гидробиологических процессов и биопродуктивности этих участков акватории.

Эффективность естественного воспроизводства массовых промысловых видов рыб в водохранилище достигается, если площади нерестилищ, защищенные от негативных воздействий, составляют не менее 10–15% акватории. В подавляющем числе водохранилищ России эти условия не соблюдаются, и продуктивные нерестилища составляют около 1%. Остальную часть мелководий обычно составляют песчаные или илисто-песчаные пляжи, лишенные растительности, убежищ для молоди и кормовых организмов.

Меры для реконструкции перспективных для рыбного хозяйства участков водохранилища делятся на активные и пассивные.

*Пассивные меры:*

устройство нерестилищ с рыбохозяйственными каналами к ним и при необходимости искусственным субстратом для нереста (искусственными каменистыми рифами, нерестовыми полями из синтетических материалов);

создание нагульных участков для молоди;

строительство убежищ для мирных рыб;

обустройство мест зимовки;

укрепление и улучшение кормовой базы рыб путем осуществления акклиматизации кормовых организмов;

в целях предотвращения в водохранилищах заморозов разработка методов насыщения воды кислородом путем аэрации;

в зимний период вскрытие ледовых площадей заморных участков с помощью ледоколов или применение аэрационных устройств.

*Активные меры:*

строительство рыбоводных заводов и рыбопитомников;

создание нерестово-выростных хозяйств;

организация на мелководьях и в заливах водохранилищ товарных рыбных хозяйств для выращивания ценных пород рыб;

направленное формирование ихтиофауны водохранилищ путем зарыбления молодь леща, судака, сазана, дальневосточных растительноядных рыб, осетровых и сиговых.

Специальные рыбохозяйственные сооружения гидроузлов по назначению делятся на две основные группы: *рыбопропускные* и *рыбозащитные*.

Рыбопропускные сооружения по характеру работы и конструктивным особенностям делятся на следующие группы:

рыбопропускные сооружения, в которых рыба самостоятельно преодолевает напор, к ним относятся рыбоходы лотковые, прудковые, лестничные, угреходы;

рыбопропускные сооружения, в которых перемещение в верхний бьеф осуществляется путем шлюзования или транспорта ее в специальных контейнерах, к таким сооружениям относятся рыбопропускные шлюзы, механические рыбоподъемники, плавучие рыбоподъемники.

Рыбопропускные сооружения проектируют для обеспечения пропуска проходных, полупроходных, а в некоторых случаях и жилых рыб из нижнего бьефа гидроузла в верхний. В зависимости от напора на гидроузле и видов пропускаемых рыб применяются различные типы рыбопропускных сооружений (рыбоходы, шлюзы, рыбоподъемники, рыбонакопители), область применения которых приводится в СП 101.13330.2012.

Выбор типа рыбопропускного сооружения проводится индивидуально для каждого гидроузла. Для обоснования выбора местоположения в гидроузле и типа рыбопропускных сооружений должны быть установлены: видовой, размерный состав и численность рыб, сезонная и суточная динамика хода рыб; характерные скорости течения для каждого вида (пороговая, привлекающая, сносящая, бросковая); горизонты (уровни) их продвижения; прогноз трасс движения и мест концентрации рыб в зоне гидроузла.

Для сооружений I и II классов при отсутствии перечисленных данных должны быть проведены соответствующие наблюдения и изыскания.

Рыбоходы делают при напоре на гидроузле до 20 м. При этом скорость течения в рыбоходах должна быть менее некоторого порога, который может преодолеть рыба. Для отдельных видов рыб пороговая скорость различна. В ходе предпроектных изысканий необходимо провести специальные исследования видового состава рыб и определить минимальное значение пороговой скорости для проектирования конструкции рыбохода.

Рыбоходы в зависимости от конструкции подразделяются на лотковые, прудковые и лестничные.

Лотковые рыбоходы представляют собой быстротоки (каналы), обычно прямоугольного сечения с уклоном дна, обеспечивающим необходимые скорости потока, преодолеваемые рыбой (рис.12.1). Рыбоходы, сопрягающие бьефы с уклонами 0,05–0,20, получаются длинными. При скоростях, близких к пороговым, рыбы не могут пройти весь рыбоход, поэтому его разделяют на ряд участков, в которых зоны с этими скоростями чередуются с зонами отдыха. Кроме того, после прохождения рыбы из нижнего бьефа в верхний, она должна иметь достаточно силы, чтобы отойти от плотины и водосбросов на безопасное расстояние. Для обеспечения постоянной глубины и ограничения скорости в лотковых рыбоходах устраивают искусственную шероховатость разных видов. В таких рыбоходах допускают уклон дна 1:10–1:7, а напоры до 5–7 м. Для уменьшения скорости течения воды до 0,8–2 м/с в лотковых рыбоходах устраиваются неполные поперечные перегородки различных конструкций. Рыба броском проскакивает зону с большими скоростями и попадает в водоворотную зону. Далее она ориентируется, находит транзитную струю, преодолевает ее и снова оказывается в водоворотной зоне. Через 7–10 перегородок нужно делать бассейны отдыха с малыми скоростями (с горизонтальным дном).

На территории бывшего СССР лотковые рыбоходы построены на р. Нарва (угреход); на р.Буг (Александровский гидроузел, для осетровых); на р. Волхов (для сигов); на р. Кура (Земо-Авчальский гидроузел, для лосося).

Рыбоходы с шероховатостью в виде специальных зубьев, распространенные за рубежом, в нашей отечественной практике оказались неэффективными (например, на Волховском гидроузле).

Прудковые рыбоходы состоят из ряда бассейнов (прудков), соединенных между собой короткими каналами с повышенными уклонами (рис. 12.2). Такие рыбоходы устраивают на берегу в естественном грунте в обход плотины, создавая привычные условия для рыбы и с возможностью отдыха в прудках. Прудковые рыбоходы рекомендуется устраивать при напорах до 10 м (СП 101.58.13330.2012).

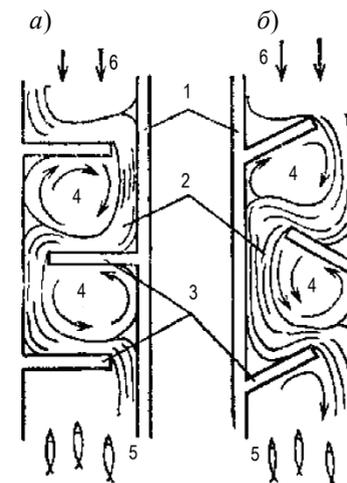


Рис. 12.1. Схемы лотковых рыбоходов (план):

1 – стенки наклонного лотка; 2 – зона транзитной струи; 3 – поперечные стенки; 4 – водоворотная зона; 5 – направление движения рыбы; 6 – направление течения

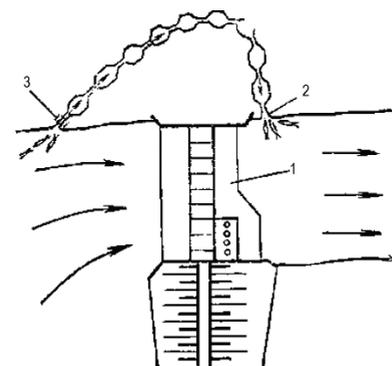


Рис. 12.2. Прудковый рыбоход:

1 – гидроузел; 2 – устье рыбохода (вход); 3 – выходной оголовок

Лестничные рыбоходы (рис. 12.3) имеют не наклонный, а ступенчатый лоток. Они состоят из отдельных бассейнов шириной 1,2–3,5 м, длиной 2–2,5 м, глубиной воды 1,2–1,75 м. При этом перепад составляет 0,3–0,5 м для осетровых и лососевых и 0,15–0,25 м для судака, рыбца, сельди и т. д. В поперечных стенках, разделяющих бассейны, устраивают вливные отверстия, которые располагают поочередно то у правой, то у левой стенок (для осетровых – у дна, для сельди – у поверхности).

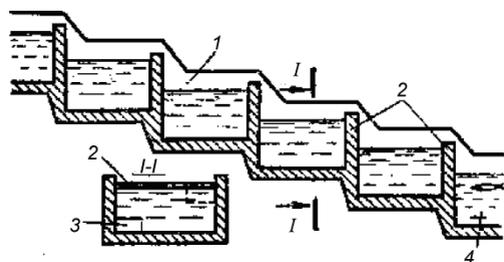


Рис. 12.3. Лестничный рыбоход:  
1 – продольные стенки; 2 – поперечные стенки; 3 – вливные отверстия,  
4 – направление движения рыбы.

Лестничные рыбоходы до сего времени являются наиболее пригодными и распространенными для пропуска многих пород рыб (осетровых, лососевых, сиговых и др.). Их применяют на гидроузлах с напорами до 20 м. Удачным примером рыбохода такого типа может служить лестничный рыбоход Кегумского гидроузла на р. Даугава, который преодолевает напор в 16 м, состоит из трех лестничных маршей общей длиной 240 м и 81-ой ступени. Скорость течения во вливных отверстиях достигает 1,5 м/с. Такие конструкции успешно работают на Нижне-Тулумской ГЭС на р. Тулома, Боневильском гидроузле на р. Колумбия (США).

На р. Тулома в Мурманской области построен каскад ГЭС и на них устроены два рыбохода – верхний и нижний. Нижне-Тулумская ГЭС была построена в 1937 г. Она стала барьером на пути рыбы, идущей на нерест из Кольского залива в р. Тулома. На Нижне-Тулумской ГЭС было построено рыбопропускное сооружение в виде бетонного тоннеля, разделённого на отдельные бассейны железобетонными стенками с вливными отверстиями (рис.

12.4). На рыбоходе общей протяженностью 513 м устроено 64 колодца. Уклон дна рыбохода 1:25, высота подъёма 16–20 м. В рыбоходе 49 бассейнов размером 3×6 м, глубиной 0,9 м и 9 бассейнов для отдыха рыб размером 4,5×8 м, глубиной 1,5 м.



Рис. 12.4. Рыбоход Нижне-Тулумской ГЭС

Так как рыбоход работает в приливы и отливы, в нём имеются три входных отверстия, расположенных на различных уровнях. Семга поднимается из нижней точки рыбохода к верхней и направляется дальше в верховье реки на нерест, обходя плотину гидроэлектростанции. Для создания естественного течения воды в бетон дна утоплены булыжные камни.

Более 70 лет семга, которая всегда нерестится лишь в той реке, где родилась, обходит турбины Нижне-Тулумской ГЭС. А поздней осенью, после нереста, взрослые особи, а вместе с ними и мальки движутся обратно по реке. В это время на гидростанции останавливают одну из турбин, чтобы рыба могла беспрепятственно скатиться в море.

Вторая станция каскада (подземная Верхне-Тулумская) расположена в 65 км от Нижне-Тулумской ГЭС. Она строилась сов-

местными усилиями российских и финских специалистов. Все 4 агрегата ГЭС были приняты в эксплуатацию 27 октября 1965 г. До сооружения ГЭС р. Тулома в этом месте на отрезке в 2,5 км имела перепад 28 м. Когда же построили плотину, разместив машинный зал под землей, напор воды составил здесь 60 м.

Недостатком большинства рыбопропускных сооружений являются именно малые “побудительные” расходы воды, что затрудняет рыбе нахождение “нужной” струи в нижнем бьефе, особенно когда работает ГЭС. Не всегда строительство рыбоходов решает поставленные задачи. Система ГЭС и рыбоходов на р. Даугава, несмотря на удачный рыбоход Кегумской ГЭС, из-за строительства других ГЭС привела к прекращению хода рыбы. Так же неудачей закончилось строительство рыбоходного сооружения на Волховской ГЭС. И сейчас популяция волховского сига поддерживается искусственным разведением на Волховском рыбноводном заводе.

*Угреходы* служат для пропуска угрей при их возвращении из морей в подпертые бьефы рек. В отличие от других пород проходных рыб угорь всю жизнь проводит в реках и озерах, а для размножения мигрирует в моря и океан. Прибалтийский угорь из рек Даугава, Нарва, Гауя мигрирует для нереста через Атлантический океан в Саргасово море. При этом он способен обходить гидроузлы, переползая 1–2 км по влажной траве. Возвращение угря в “материнскую” реку длится 3 года. За это время он преодолевает различные гидротехнические препятствия через угреходы. Конструктивно угреходы представляют собой лотки сечением 150×300 мм с продольным уклоном 1:6, наполовину заполненные мелкой галькой.

*Гидравлические рыбоподъемники (рыбоходные шлюзы)* – конструкции, сходные по типу и принципу работы с судоходными шлюзами, но имеющие меньшие по сравнению с ними размеры. В зависимости от напора камера рыбоходного шлюза может быть горизонтальной (для низконапорных гидроузлов), наклонной и вертикальной (для средне- и высоконапорных гидроузлов). Гидравлические рыбоподъемники с горизонтальной камерой построены в составе Кочетовского, Николаевского и Константиновского гидроузлов на р. Дон и Федоровского на р. Кубань. Принципиальная тех-

нологическая схема работы таких конструкций включает следующие операции: привлечение и накопление рыбы, перевод рыбы в рабочую камеру, шлюзование, учет рыб, вывод рыб в верхний бьеф. Для выполнения этих операций предусмотрены соответствующие конструктивные элементы: система питания, обеспечивающая подачу воды в сооружение в необходимом для привлечения рыбы количестве; рыбонакопитель, служащий для привлечения и накопления рыбы; побудительное устройство (обычно в виде сетки) для перевода рыб в рабочую камеру – место непосредственного шлюзования; ихтиологическая площадка – место учета рыб; низовой и верхней затворы камеры шлюза. Гидравлические рыбоподъемники успешно работают на гидроузлах Торр-Эчилти (с 1955 г., Шотландия) и Верхне-Тулумской ГЭС (с 1965 г.).

Гидравлические рыбоподъемники с вертикальной шлюзовой камерой (шахтой) выполнены в составе Волгоградского (рис. 12.5) и Цимлянского гидроузлов.

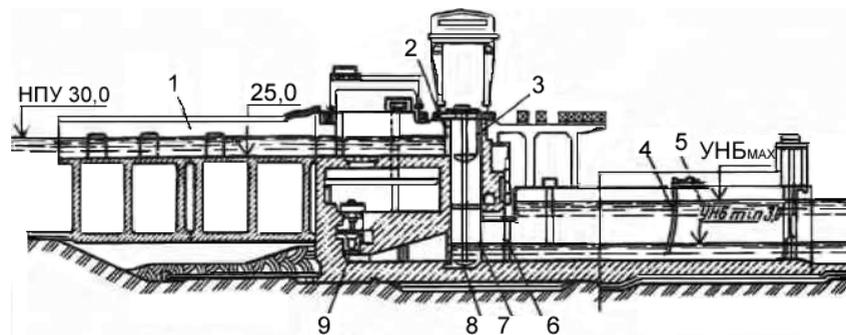


Рис. 12.5. Схема гидравлического рыбоподъемника Волгоградского гидроузла:

- 1 – выходной лоток; 2 – затвор верхнего бьефа камеры; 3 – вертикальная побудительная решетка; 4 – побудительная решетка; 5 – входной лоток; 6 – затвор нижнего бьефа камеры; 7 – рыбоподъемная камера; 8 – горизонтальная побудительная решетка камеры; 9 – гидроагрегат, через который пропускается вода для привлечения рыбы

Для привлечения рыбы в низовой входной лоток используется поток воды, проходящей через гидроагрегат. Рыба входит в низовой лоток, соединенный с нижним бьефом. Затем она попадает в рабочую камеру, имеющую горизонтальную и вертикальную

побудительные решетки. После подъема в рабочей камере до уровня верхнего бьефа рыба выходит в верхний бьеф гидроузла через верховой выходной лоток.

Преимуществом гидравлических рыбоподъемников по сравнению с другими типами рыбопропускных сооружений является то, что они могут использоваться на гидроузлах любого напора для пропуска рыб всех пород, идущих как вверх, так и вниз по течению.

Плавающие рыбопропускные сооружения в нашей стране разработаны и испытаны на Усть-Маньчском и Кочетковском гидроузлах на Дону (рис. 12.6). Они состоят из рыбонакопителя и контейнера для транспортировки рыбы. Рыбопропускной шлюз Кочетковского гидроузла является, несмотря на ряд конструктивных недостатков, наиболее эффективным рыбопропускным сооружением Донского каскада гидроузлов. В среднем за год через это сооружение проходит порядка 650 тыс. различных рыб, в том числе около 1 тыс. осетровых.

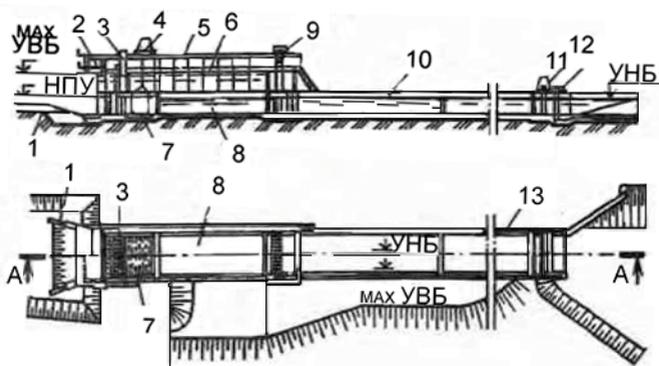


Рис. 12.6. Рыбопропускной шлюз Кочетковского гидроузла на р.Дон:  
1 – верховой лоток; 2 – пульт управления и ихтиологическая лаборатория; 3 – верховой затвор; 4 – подъемник; 5 – эстакада подъемника; 6 – грузовая площадка; 7 – ихтиологическая площадка; 8 – шлюзовая камера; 9 – низовой затвор; 10 – рыбонакопитель; 11 – побудительное устройство; 12 – концевой упор; 13 – рельсовый путь

Рыбонакопитель устанавливают в нижнем бьефе гидроузла на якорях в местах наибольшей концентрации рыбы. Так как ры-

бонакопительный лоток открыт с обоих торцов, поток воды от ГЭС или водосбросной плотины проходит через него транзитом, привлекая рыбу. Если поток оказывается недостаточным по скорости, включаются насосные установки, рассчитанные на дополнительное увеличение скоростей.

Плавающие рыбоподъемники обладают возможностью их установки независимо от компоновки и состава гидроузла, обеспечивая автономностью работы, не связанной с дополнительными пропусками воды из водохранилища, мобильностью, позволяющей устанавливать их в местах наибольшего скопления рыбы, значительно меньшей стоимостью. К недостаткам можно отнести невозможность их применения на высоконапорных узлах при отсутствии судоподъемника.

Специальные сооружения гидроузлов (судоходные шлюзы, здания ГЭС) при соблюдении определенных требований также могут использоваться для пропуска рыбы.

На водных объектах рыбохозяйственного значения с разнообразной по видовому составу ихтиофауной и при каскадном расположении гидроузлов рекомендуется использовать рыбоподъемные сооружения.

Число рыбопропускных сооружений в комплексе гидроузла и их местоположение определяется из условия обеспечения привлечения рыбы со всех установленных основных участков ее концентрации в нижнем бьефе.

Компоновка рыбопропускных сооружений в створе гидроузла зависит от гидравлических условий в зоне подхода рыб к гидроузлу. Если скорости потока ниже сносящих по всей ширине отводящего канала, то рыбопропускные сооружения размещаются в секциях или между секциями водосбросных сооружений (ГЭС, плотин). При скоростях потока выше сносящих по фронту водосбросных сооружений и ниже сносящих на периферии основного потока рыбопропускные сооружения устраивают по торцам водосброса, против зон со скоростями, равными привлекающим. При скоростях потока выше сносящих по всей ширине отводящего канала рыбопропускные сооружения проектируют в нижнем бьефе на таком расстоянии от гидроузла, где скорости течения ниже сносящих.

Расстояние от водосбросных сооружений гидроузла до входа в рыбонакопитель выбирают такое, при котором скорости потока не превышают сносящих скоростей для всех привлекаемых рыб. На входе в рыбонакопитель необходимо обеспечить гидравлическое и конструктивное сопряжение его днища с дном реки без образования водоворотных зон и обратных течений. Шлейф привлекающих скоростей из рыбонакопителя должен достигать прогнозируемых ихтиологическими исследованиями участков концентрации рыб или трасс их движения в нижнем бьефе.

#### *Рыбозащитные сооружения и устройства*

Рыбозащитные сооружения и устройства служат для предотвращения попадания рыбы в водозаборы, опасные зоны ГЭС и водосбросов. При проектировании рыбозащитных устройств гидротехники должны учитывать не только геологические, гидрологические и гидравлические особенности участка проектирования, но и поведение рыб на подходе к водозаборному сооружению. Также нужно учитывать сохранность живых организмов после контакта с рыбозащитным сооружением. Выбор конструкции сооружений должен быть обоснован изучением видового состава, поведения рыб и, следовательно, выполняться в тесном сотрудничестве со специалистами-ихтиологами.

#### *Биологическое обоснование проектирования рыбозащитных сооружений*

Методы рыбозащиты основываются на использовании:

- а) данных о биологии и распределении рыб на разных стадиях развития;
- б) данных о поведении рыб, попавших в зону действия водозаборного сооружения;
- в) данных о физических явлениях, действующих на рыб в зоне водозабора.

При исследовании распределения рыб в местах предполагаемого водозабора учитывают сезонные и суточные изменения концентрации рыб, вертикальное и горизонтальное их размещение. Сезонное изменение концентрации рыб характеризуется высокими скоплениями производителей, а затем и молоди на нерестилищах, в связи с чем устройство водозаборов на местах нереста рыб запрещается.

При проектировании водозаборных сооружений необходимо учитывать суточный ритм активности рыб, так как ночью рыба теряет зрительную ориентацию, и возможность попадания ее в водозабор резко возрастает. Эти данные следует использовать при составлении суточного графика работы насосных станций.

Знание горизонтального и вертикального распределения рыб в водоемах позволяет правильно выбрать тип водозабора и конструкцию рыбозащитного сооружения в каждом отдельном случае. Наибольшие концентрации молоди отмечаются на стрежне реки или у пологих берегов на мелководьях, хорошо прогреваемых солнцем и богатых кормом. Каждый вид рыб имеет свои закономерности распределения молоди: карповые и окуневые скатываются в поверхностном слое; скат осетровых происходит до глубин 5–10 м на участках с сильным течением и песчано-галечным грунтом без заиления; лососевые скатываются как в поверхностных слоях, так и в толще воды, придерживаясь участков с наиболее сильным течением. По мере роста молодь всех видов рыб опускается до глубины 7–8 м.

Для защиты рыб применяют конструкции, создаваемые с учетом особенностей восприятия различных раздражителей органами чувств рыб: зрением, слухом, обонянием, а также их двигательной активности.

При проектировании рыбозащитных сооружений особенно важно знание плавательной способности рыб (времени, в течение которого рыба может поддерживать определенную скорость движения) и критических скоростей течения (минимальные скорости, при которых рыба сносится потоком). Кроме того, необходимо учитывать, что наибольший рыбозащитный эффект может дать лишь комплексное воздействие на различные органы чувств рыб.

Увеличение числа водозаборов и возрастание объема воды, отбираемой из поверхностных источников, приводят к нарушению не только их гидрологического режима, но и экологического равновесия. Особо ощутимые отрицательные последствия экологического воздействия водозаборов возможны на реках, имеющих рыбохозяйственное значение. Водохозяйственные и рыбопромысловые цели в таком случае взаимосвязаны и рассматриваются в двух аспектах: техническом – предотвращение попадания рыбы (в ос-

новном взрослых особей) в водоприемные устройства, способного создать помехи в работе водозабора и очистных сооружений; экологическом – предотвращение попадания рыбы (главным образом молоди) в водоприемные устройства.

Все рыбозащитные сооружения по принципу действия делятся на три группы: *механические, гидравлические и физиологические*.

*Механические рыбозащитные сооружения.* Наибольшее применение в нашей стране и за рубежом нашли механические рыбозаградители. Они представляют собой механическую преграду перед водозаборным сооружением. В зависимости от характера преграды различают фильтрующие и сетчатые рыбозаградители. По способу отведения рыбы выделяют рыбозаградители с рыбоотводом и без рыбоотвода. Все механические рыбозащитные сооружения состоят из несущей конструкции, преграждающего устройства, фильтрующих элементов, очистного устройства и подъемно-транспортного оборудования. Наиболее просты в эксплуатации и эффективны фильтры. Простейшими фильтрующими устройствами являются укрепленные наброски из хвороста, камней, фильтрующие дамбы из камня.

Форма, размеры и пористость используемого в фильтрующих устройствах материала выбираются исходя из условия, чтобы скорость фильтрации была в 2 раза меньше критической скорости течения для рыб. В целях недопущения засорения фильтрующих устройств предусматривают съемные конструкции или промывку обратными токами.

Сетчатые рыбозащитные устройства выполняют в виде неподвижных плоских сеток или вращающихся сетчатых барабанов или конусов. Сетки изготовляют из металла или синтетических материалов (капрона, нитрона, лавсана).

Рыбозащитное сооружение с плоскими сетками включает опорную в виде эстакады с пазами конструкцию, устанавливаемую в потоке под углом. В пазы эстакады вставляют раму с сетчатым полотном и сороудерживающей решеткой. Рыбозащитное полотно очищается водоструйным очистным устройством. Для очистки сороудерживающей решетки применяют специальные очистительные машины или грейферы.

В зависимости от специфики условий рыбозащитное сетчатое полотно закрепляют на вращающихся элементах: цилиндрическом барабане или усеченном конусе. Вращение барабана и конуса обеспечивается электродвигателями или гидромоторами. Отвод рыб осуществляется через донные отверстия или отверстия в устьевой части конуса.

К числу наиболее часто используемых на практике рыбозащитных устройств относятся сетчатые конусы. Принцип действия конусного рыбозаградителя: рыба с водой, прошедшая через сороудерживающую решетку, попадает в сетчатый конус, вода профильтровывается и поступает в подводный канал, рыба вместе с током воды при вращении конуса относится к его вершине и попадает в рыбоотвод.

Перемещающиеся ленточные сетки представляют собой конвейерную сетку, состоящую из рамок, обтянутых сетчатым полотном. Лента монтируется на выносных эстакадах или на берегу, приводится в движение электродвигателем, очищается щеткой. Ленточные сетки могут перемещаться в горизонтальной или вертикальной плоскостях. В США успешно используется горизонтально перемещающаяся лента.

*Гидравлические рыбозащитные сооружения* представляют собой устройства, создающие на пути движения рыбы гидравлические условия (соответствующую скоростную структуру или препятствие), отпугивающие и направляющие ее в сторону рыбопропускного сооружения. К гидравлическим рыбозащитным сооружениям относятся *запаны, отбойные козырьки, зонтичные и жалюзийные рыбозаградители*. Принцип действия гидравлических рыбозащитных сооружений заключается в создании впечатления наличия в воде сплошного препятствия. При виде его рыба останавливается, ориентируется головой против течения и при обеспечении соответствующей направленности течения сносится к рыбоотводу.

Рыбозащитное сооружение заглубленного типа применяют в случаях вынужденного расположения водозабора на местах нереста и нагула ценных промысловых рыб. Оно представляет собой оголовок, вынесенный на глубину 7–8 м и снабженный сверху козырьком. Забор воды осуществляется через боковые окна, оборудованные грубой решеткой. Допустимая входная скорость на ре-

шетке 0,2 м/с. При этом попадание в водозабор молоди из верхних слоев воды исключается, на глубине же больше 7 м молодь рыбы обычно отсутствует. Строительство и эксплуатация таких водозаборов требует больших капитальных затрат, связанных с выполнением специальных подводно-строительных работ, и значительных текущих расходов на водолазные работы по очистке решеток. Таким образом, данный метод рыбозащиты может быть рекомендован лишь в исключительных случаях, когда водозабор нельзя перенести в другое место.

*Жалюзийный рыбозаградитель* представляет собой расположенную под углом к потоку несущую конструкцию, на которой навешены секции жалюзи. Пластины жалюзийной решетки размещены таким образом, что создается впечатление наличия в воде сплошной стенки. Рыба видит преграду, останавливается, располагается головой против течения воды и относится к рыбоотводу. Биологическая основа действия жалюзийных установок состоит в комплексном воздействии на зрение, слух и органы боковой линии рыб. В жалюзийной установке очень важно создать оптимальные подходные скорости, так как при высоких скоростях рыба травмируется о жалюзи, при низких свободно проходит через них. Для успешной работы рыбоотвода скорость течения в нем должна превышать скорость подходного потока.

Значительная часть молоди погибла на сетках, особенно на крупных водозаборах. Именно поэтому актуальна разработка беззатратных рыбозащитных устройств, основанных на том, что в среде обитания при определенных условиях существует характерное только для этих условий распределение молоди рыб.

Инженерными средствами (например, путем формирования в зоне водозабора определенной гидравлической структуры потока с заданными скоростями течений, с помощью лотков-концентраторов и т. д.) можно искусственно создавать необходимые и оптимальные условия для защиты распределения молоди, концентрировать ее на небольших по ширине и глубине участках. Из этих зон по рыбоотводу в обход источника опасности молодь направляют в водоем.

*Физиологические рыбозащитные сооружения* используют поведенческие реакции рыб на различные раздражители, вызыва-

ющие испуг или привлечение (зрение, слух, органы боковой линии, осязание). Физиологические рыбозащитные сооружения предотвращают попадание рыбы в водозабор, не препятствуя движению воды. К ним относят электрические, световые, звуковые, воздушно-пузырьковые и другие рыбозаградители.

Наиболее известны *электрические рыбозаградители*. Они используют принцип отпугивания рыбы созданием электрических полей высокого напряжения. Рыбозаградитель представляет собой систему заглубленных в воду электродов на плавучих или стационарных элементах. Реакция на электрическое поле зависит от вида рыб и их возраста. Это необходимо учитывать при разработке рыбозащитных сооружений. Рыба в электрическом поле стремится от катода к аноду, причем чем меньше рыба, тем большее напряжение нужно для ее отпугивания. Реакция на электрическое поле зависит также от вида рыбы; например, некоторые донные рыбы не чувствительны к его воздействию.

Электрорыбозаградители не могут быть использованы для защиты ранней молоди, так как при этом пришлось бы увеличить напряжение электрического поля, что вызвало бы гибель крупных рыб, попавших в зону действия рыбозаградителя.

Возможность использования *световых методов* рыбозащиты экспериментально доказана для молоди леща, уклей, воблы и других рыб, за исключением осетровых.

Управлять поведением рыб с помощью звука можно лишь при условии использования биологически значимых акустических сигналов: угрозы, боли, опасности, питания и др.

Принцип действия *воздушно-пузырькового* заградителя заключается в создании сплошной воздушно-пузырьковой завесы на пути движения рыбы. Этот метод рыбозащиты основан на том, что рыба зрительно воспринимает завесу как плотную стенку; кроме того, она механически выносятся к поверхности пузырьками воздуха и вертикальным потоком воды. В темноте эффективность воздействия пузырьков воздуха на рыб резко снижается. На водозаборе Руставского гидроузла на р. Куре установлено РЗУ, представляющее собой комбинацию забральной стенки (запани) с воздушно-пузырьковой завесой.

Воздушно-пузырьковый заградитель установлен в 2012 г. на водозаборе Красноярской ГРЭС-2. Перед водоприемником форми-

руется рыбозащитная преграда, которая образуется при всплытии воздушных пузырьков различных размеров, генерируемых при смешивании воды и воздуха. Пузырьки равномерно распределяются по дну реки с помощью аэрирующих коллекторов. Для питания РЗУ используется вода береговой насосной станции. РЗУ обладает функциональной эффективностью защиты молоди рыб не ниже 70%.

Основные принципы работы РЗУ Красноярской ГРЭС-2:

а) непрерывная водовоздушная завеса воспринимается рыбами как непреодолимое препятствие (зрительный фактор);

б) низкочастотные колебания, возникающие при формировании воздушных пузырьков, близки к биологически ощутимым сигналам опасности (акустический фактор); уже на некотором расстоянии от завесы рыбы воспринимают звуки, образованные выходящими из перфорированных отверстий аэрирующих коллекторов водовоздушной завесы, реагируют на них и удаляются от источника звука;

в) интенсивные восходящие водовоздушные струи, истекающие из сопел аэрирующих коллекторов, оказывают механическое воздействие на тактильные органы рыб.

В ходе разработки проекта РЗУ рассматривалась ее альтернатива – комплекс компенсирующих мероприятий с помощью зарыбления реки Кан мальками карпа, а затем осетровых рыб, выращиваемых на базе рыбоводного комплекса ГРЭС. По сопоставленной экономической эффективности, выполненной в ходе предпроектной разработки, такой метод был бы экономически выгоднее. Но органами надзора такой вариант был отклонен, как противоречащий Российскому законодательству, в соответствии с которым эксплуатация водозаборов без рыбозащиты не допускается.

Однако ни одно из описанных выше сооружений не является универсальным. Недостатками существующих физиологических рыбозащитных сооружений являются их значительная стоимость и сложность эксплуатации.

Наиболее эффективны рыбозащитные устройства комплексного типа, предусматривающие защиту водозаборов как от рыбной молоди (в основном гидравлические), так и от взрослых рыб, разработанные в тесном сотрудничестве гидротехников и ихтиологов.

Конструктивно-функциональные требования к рыбозащитным сооружениям сформулированы в СП 101.13330.2012.

### Вопросы для самопроверки

1. Назовите активные и пассивные меры для сохранения и восстановления рыбных запасов при создании водохранилищ.
2. Как обеспечивается биологическое обоснование проектирования рыбозащитных сооружений?
3. Назовите механические рыбозащитные устройства. Когда они могут применяться?
4. Назовите гидравлические рыбозащитные устройства, основной принцип их действия.
5. Назовите физиологические рыбозащитные устройства, ограничения для их применения.

### Список рекомендуемой литературы к главе 12

1. **Гидротехнические** сооружения / Г.В. Железняков, Ю.И. Ибадзаде, П.Л. Иванов и др.: Под общ. ред. В.Г. Недриги. М.: Стройиздат. 1983.
2. **Гидротехнические** сооружения / Н.П. Розанов, Я.В. Бочкарев, В.С. Лапшенков и др.; Под ред. Н.П. Розанова. М.: Агропромиздат. 1985.
3. **Гидротехнические** сооружения: Учеб. для вузов: 1 и 2 части / Л.Н. Рассказов, В.Г. Орехова, Ю.П. Правдивец и др.: Под ред. Л.Н. Рассказова. М.: Ассоциация строительных вузов. 2008.
4. **Гирса И. И.** Биологические основы привлечения рыб на свет // Биологические основы управления поведением рыб. М.: 1970. С. 191–225.
5. **Павлов Д. С.** Биологические основы управления поведением рыб в потоке воды. М. 1979.
6. **Павлов Д. С., Пахорук А. М.** Биологические основы защиты рыб от попадания в водозаборные сооружения. М. 1973; 2-е издание перераб. 1983.
7. **СП 101.13330.2012.** Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87.

## Глава 13

### **ОХРАНА ВОД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОУЗЛОВ КОМПЛЕКСНОГО НАЗНАЧЕНИЯ. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ВОДОХРАНИЛИЩА**

При проектировании гидроузлов комплексного назначения необходимо учитывать их влияние на окружающую среду в период строительства и эксплуатации и предусматривать необходимые мероприятия для минимизации отрицательного влияния на окружающую среду.

В составе проектной документации разрабатывается «Перечень мероприятий по охране окружающей среды», где отдельно разрабатываются мероприятия по поддержанию нормативных показателей качества воды как на период строительства, так и на период эксплуатации объекта капитального строительства. В составе проектной документации особое внимание уделяется увязке возможных воздействий на качество воды в зонах санитарной охраны имеющихся водозаборов, разрабатывается программа экологического мониторинга.

Нормативными документами, регламентирующими качество воды водохранилищ и их санитарную охрану, являются ГОСТ 2761-84, СанПиН 2.1.4.1110-02, СанПиН 2.1.5.980-00.

Поддержание поверхностных и подземных вод в состоянии, соответствующем требованиям законодательства, обеспечивается путем установления и соблюдения нормативов допустимого воздействия на водные объекты, а также установлением целевых показателей.

Нормативы допустимого воздействия на водные объекты разрабатываются на основании предельно допустимых concentra-

ций химических веществ, радиоактивных веществ, микроорганизмов и других показателей качества воды в водных объектах.

Сброс сточных, дренажных вод регулируется предусмотренными в статье 35 ВК РФ лимитами водоотведения и нормативами (предельно допустимыми и временно согласованными).

Целевые показатели качества воды в водных объектах (ЦП) – значения физических, химических, радиационных, микробиологических характеристик воды в водном объекте, а также характеристик состояния водной экосистемы, которые должны быть достигнуты в установленные сроки: долгосрочные – на 10–20 лет, краткосрочные – на 5 лет.

Целевые показатели качества воды в водных объектах разрабатываются уполномоченными Правительством Российской Федерации федеральными органами исполнительной власти для каждого речного бассейна или его части с учетом природных особенностей речного бассейна, а также с учетом условий целевого использования водных объектов, расположенных в границах речного бассейна.

Использование гидроэкосистем человеком приводит к изменению многочисленных показателей, характеризующих состояние воды как природного ресурса. В процессе хозяйственного использования происходит загрязнение воды, изменяются гидробиологические режимы, осуществляется безвозвратный отъем водного стока.

Наиболее чувствительными к изменению состояния водных ресурсов являются живые организмы, включая человека, поэтому они лимитируют качество воды – совокупность физико-химических и биологических показателей, определяющих пригодность воды для использования.

На сегодняшний день определились два различных подхода к оценке качества воды, которые условно можно назвать водохозяйственным и экологическим.

Водохозяйственное значения качества воды основано на определении пригодности данного вида природных ресурсов для конкретных видов природопользования. При этом для каждого конкретного вида водопользования имеются определенные нормативы. Наиболее строгие требования предъявляются к качеству во-

ды, предназначенной для хозяйственно-питьевых нужд населения, а также в рыбном хозяйстве. Менее жесткие требования для сельскохозяйственных потребителей. Промышленное использование воды предъявляет требования в зависимости от конкретных отраслей промышленности.

К основным показателям, нормирующим содержание примесей в воде, относятся лимитирующие показатели: запахи, привкусы, содержание взвешенных веществ, окраска, температура, реакция, содержание растворенного кислорода. Предельно допустимая концентрация (ПДК) установлена более, чем по 600 показателям, БПК, наличие возбудителей заболеваний и ядовитых веществ.

Требования к качеству воды предъявляются также в зависимости от категории водопользователей. К первой категории хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования относится использование водного объекта в качестве источника централизованного или нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также предприятий пищевой промышленности. Ко второй категории – использование объекта для купания, спорта и отдыха населения, а также находящихся в черте населенных пунктов. К первой категории рыбохозяйственного водопользования относится использование водных объектов для сохранения и воспроизводства ценных пород рыб, ко второй — для других рыбохозяйственных целей.

Нормативы качества воды по лимитирующим показателям вредности загрязнений в водоемах имеют существенный недостаток. Борьба с загрязнениями осуществляется непосредственно на самом предприятии, на котором устанавливаются очистные сооружения, затем рассчитывается разбавление стоков в реках, озерах, водохранилищах с учетом самоочищающей их способности. При таком подходе ответственность загрязнения водных ресурсов перекладывается на водоохранные мероприятия и саму природу, не затрагивая вредные технологии производства. Такая технология широко распространена в нашей стране, когда предприятия вкладывают средства в строительство очистных сооружений, а не в развитие новых безотходных технологий. При этом не учитывается то обстоятельство, что строительство и эксплуатация очистных сооружений также являются дополнительной антропогенной нагрузкой на при-

роду. Негативные результаты природоохранной деятельности, основанные на поддержании ПДК в природной среде, требуют пересмотра подхода к нормированию качества среды, начиная с технологических процессов. Такие нормы называются *эмиссионные*, так как ограничивают выброс в окружающую среду вредных веществ без учета их очистки. Например, показателями эмиссионных нормативов могут быть удельные характеристики вредных веществ, используемые для производства единицы продукции.

Другой недостаток такого подхода заключается в том, что за критерии оценки качества воды принимаются “внешние” по отношению к экосистеме потребители, при этом не учитывается состояние гидробионтов, от которых зависит протекание в воде процессов самоочищения. При экологическом подходе к оценке качества воды используются различные системы оценок, основанные на выделении организмов-индикаторов (сапробиологический анализ). Под влиянием загрязняющих веществ одни виды микроорганизмов исчезают, другие развиваются в массовых количествах. Так, например, речные раки покидают места обитания при появлении загрязняющих веществ в таких концентрациях, которые не улавливаются при гидрохимическом анализе. В зависимости от характерных видов-индикаторов или групп и их относительного количества водоем может быть отнесен к определенному классу.

При проектировании водохозяйственных систем прогноз качества воды дается на период строительства и период эксплуатации отдельно, на основании чего определяются основные мероприятия по поддержанию качества воды в соответствии с нормативными показателями и охрана вод от загрязнения.

В период строительства происходят изменения природных условий, в том числе гидрологического режима реки и качества воды, на что влияет:

отвод земель под строительство, в результате чего изменяется поверхностный сток с территории;

организация карьеров, отвалов, временных дорог, инженерных коммуникаций, ЛЭП, временных стройбаз и жилпоселков, других объектов инфраструктуры;

пропуск строительных расходов;

выполнение строительных работ по основным сооружениям гидроузла;

подготовка ложа водохранилища и выполнение защитных сооружений, включая берегоукрепление, дамбы для защиты территории и объекты от затопления и др.;

позэтапное заполнение водохранилища.

При строительстве гидроузлов на равнинных реках, где в основании сооружений в основном залегают мягкие грунты, преобладают земляные работы, выполняемые землеройными машинами или гидромеханизацией, а при строительстве в горных районах, в условиях скальных оснований, разработка котлованов выполняется буровзрывным способом. При выполнении земляных работ происходит повышение мутности воды в реке. При строительстве гидроузлов необходимо обеспечить санитарный попуск в нижний бьеф.

В современных условиях, исходя из необходимости охраны природы, в реках нужно резервировать остаточный экологический сток. Величина остаточного экологического стока зависит от типа реки, водной и околоводной флоры и фауны. Под экологическими попусками подразумеваются минимальные попуски по условиям охраны речных экосистем ниже створов регулирования стока.

Санитарные попуски как элемент экологических мероприятий должны обеспечивать разбавление поступающих в источники загрязнений от сточных, дренажных, ливневых, а также термальных вод. При минимально допустимых расходах воды не должно быть обратных, под влиянием ветра, течений, а должна гарантироваться такая проточность, которая исключает промерзание рек зимой (кроме тех, которые промерзают в естественных условиях). Последнее достигается при средних скоростях течения не менее 0,3 м/с.

В настоящее время нет единого подхода к определению величины расхода санитарных попусков. Различные нормативы устанавливают требования к величине санитарных попусков от минимального среднесуточного расхода воды 95% обеспеченности, минимального среднесуточного или среднемесячного, в зависимости от зарегулированности реки или от сезона.

В составе материалов по выбору площадок для строительства водохранилищ должны быть представлены:

*водохозяйственный расчет* режимов работы водохранилища с учетом обеспечения санитарных расходов (попусков) в нижнем бьефе;

*прогноз качества воды в водохранилище* с учетом влияния на него различных элементов затапливаемой территории: остаточной растительности, почвогрунтов, торфяников, заболоченных территорий и т.д.

Мероприятия, предусмотренные проектом для достижения нормативных показателей качества воды в водохранилище и нижнем бьефе, должны осуществляться *с опережением сроков возведения основных гидротехнических сооружений и завершиться до начала заполнения водохранилища.*

В период строительства проводится мониторинг окружающей среды, что позволяет своевременно выявить отклонения от проектных параметров и подготовить решения для предупреждения отрицательных последствий.

*Государственный мониторинг водных объектов*, являясь составной частью системы государственного мониторинга окружающей природной среды, включает мониторинг поверхностных водных объектов суши и морей, мониторинг подземных водных объектов, мониторинг водохозяйственных систем и сооружений.

Государственный мониторинг предусматривает:

1) постоянные наблюдения за состоянием водных объектов качественными и количественными показателями как поверхностных, так и подземных вод;

2) сбор, хранение и обработку данных наблюдений;

3) создание и ведение банков данных;

4) оценку, составление прогнозов изменения состояния водных объектов и передачу соответствующей информации правительственным органам Федерации и ее субъектам.

Государственный мониторинг водных объектов осуществляет Министерство природных ресурсов (МПР), Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) и другие специально уполномоченные государственные органы в области охраны окружающей среды.

Для недопущения загрязнения окружающей среды при строительстве на территории временных жилищных поселков и строй-

баз должна быть создана система канализации с обработкой стоков на очистных сооружениях, очистка других сточных вод, вывозка бытовых отходов.

*Материалы, используемые при строительстве.* Химические добавки и реагенты должны проходить экологическую экспертизу, в процессе которой рассматриваются как сами материалы, так и результаты их взаимодействия с водой и грунтами оснований.

В период строительства существенное влияние на окружающую среду в первую очередь оказывают работы по подготовке зоны водохранилищ.

Для того, чтобы уменьшить отрицательное влияние затопления территории на качество воды водохранилища, проводятся мероприятия по санитарной подготовке территории затопления.

В комплекс мероприятий по санитарной подготовке территории затопления входят:

санитарная очистка территорий населенных пунктов, предприятий, зданий и сооружений, подлежащих выносу, а также мест массового загрязнения. На территории населенных пунктов, полностью или частично выносимых из зоны затопления, подлежат удалению мосты, телеграфные столбы, фундаменты и другие сооружения, выступающие над землей более чем на 50 см, осуществляется вывоз мусора с последующей переработкой и обезвреживанием, обработка зон свалок, территорий промышленных объектов, территорий животноводческих комплексов и пр.;

очистка от древесной и кустарниковой растительности;

мероприятия в местах захоронений;

подготовка прибрежных участков водохранилищ около населенных пунктов (санитарных зон).

*В период проведения строительных работ не допускается:*

осуществлять сброс в водные объекты сточных вод, не подвергшихся санитарной очистке, обезвреживанию, а также сточных вод, не соответствующих требованиям технических регламентов;

производить забор (изъятие) водных ресурсов из водного объекта в объеме, оказывающем негативное воздействие на водный объект;

осуществлять сброс в водные объекты сточных вод, в которых содержатся возбудители инфекционных заболеваний, а также вредные вещества, для которых не установлены нормативы предельно допустимых концентраций.

*Мероприятия по затопляемым торфяным массивам* проектируются на основе разрабатываемых прогнозов их всплывания на 20-летний период, с учетом влияния затопленного торфа на качество воды в водохранилище и сплавинообразования.

Для предотвращения загрязнения, засорения и истощения вод на всех водных объектах в зоне влияния водохранилищ устанавливаются, в соответствии с Водным Кодексом Российской Федерации, (ст. 65), водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы.

*Водоохранными зонами* являются территории, которые примыкают к береговой линии морей, рек, ручьев, каналов, озер, водохранилищ и на которых устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиления указанных водных объектов и истощения их вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира.

В границах водоохранных зон устанавливаются *прибрежные защитные полосы*, на территориях которых вводятся дополнительные ограничения хозяйственной и иной деятельности.

Ширина водоохранных зон и защитных полос устанавливается Водным кодексом РФ. Ширина водоохранной зоны озера Байкал установлена Федеральным законом от 1 мая 1999 г. № 94-ФЗ «Об охране озера Байкал».

В границах водоохранных зон запрещаются:

использование сточных вод для удобрения почв;

размещение кладбищ, скотомогильников, мест захоронения отходов производства и потребления, радиоактивных, химических, взрывчатых, токсичных, отравляющих и ядовитых веществ;

осуществление авиационных мер по борьбе с вредителями и болезнями растений;

движение и стоянка транспортных средств (кроме специальных), за исключением их движения по дорогам и стоянки на доро-

гах и в специально оборудованных местах, имеющих твердое покрытие.

В границах водоохранных зон допускаются проектирование, размещение, строительство, реконструкция, ввод в эксплуатацию, эксплуатация хозяйственных и иных объектов при условии оборудования их сооружениями, обеспечивающими охрану водных объектов от загрязнения, засорения и истощения вод в соответствии с водным законодательством и законодательством в области охраны окружающей среды.

В процессе эксплуатации водного объекта проводятся наблюдения за соблюдением нормативного качества и очисткой поступающих сточных вод, соблюдением установленных лимитов на забор воды из водного объекта, объемов и параметров качества сбрасываемых в водный объект сточных вод. Все зарегистрированные водопользователи ежемесячно отчитываются перед региональными бассейновыми водными управлениями по установленной форме.

При эксплуатации водохранилищ поверхностные воды должны охраняться от засорения, истощения и загрязнения. Для предупреждения засорения осуществляют мероприятия, которые исключают попадание в них мусора, твердых отходов и других предметов, отрицательно воздействующих на качество вод и условия обитания гидробионтов. Строгий контроль за минимально допустимым стоком вод, ограничение их нерационального потребления способствуют защите поверхностных вод от истощения.

При эксплуатации водохранилищ основными источниками загрязнения воды являются:

1. Хозяйственно-бытовые сточные воды городов и поселков городского типа со слаборазвитой промышленностью, а также сельских населенных мест;
2. Смешанные сточные воды большинства населенных мест городского типа, в которых, кроме хозяйственно-бытовых сточных вод, значительный удельный вес (до 40–50%) составляют стоки промышленных предприятий;
3. Сточные воды промышленных предприятий, в которых хозяйственно-бытовые сточные воды полностью отсутствуют, либо их объем незначителен;

4. Условно чистые воды промышленных предприятий;
5. Нагретые воды от охлаждения различных агрегатов тепловых электростанций и промышленных предприятий;
6. Стоки крупных животноводческих комплексов по производству свинины, говядины, молока;
7. Дренажные и сбросные воды с орошаемых земель;
8. Воды шахтного водоотлива;
9. Балластные, промывные воды нефтеналивных и других судов, а также сточные воды и отбросы водного транспорта;
10. Поверхностный сток (ливневые и снеговые воды с территории населенных мест, промышленных предприятий и животноводческих ферм; с полей и лесов, обработанных пестицидами; с полей, на которые вносились минеральные и органические удобрения и пр.);
11. Загрязнения и засорения, вносимые в результате молевого сплава древесины;
12. Радиоактивные загрязнения.

Комплекс мероприятий по охране вод от загрязнения при эксплуатации водохранилищ разнообразен. Выбор зависит от характера, условий и источника образования загрязнений. Первоочередными являются те водоохранные меры, которые позволяют сократить объем и снизить степень загрязнения сточных вод, а также исключить необходимость сброса их в реки и водоемы.

Основными водоохранными мерами являются:  
 нормирование водопотребления и водоотведения;  
 совершенствование производства и соблюдение технологической дисциплины;  
 обратное водоснабжение;  
 замена водяного охлаждения воздушным и испарительным;  
 утилизация ценных веществ;  
 организация бессточного производства.

При использовании водохранилищ для хозяйственно-питьевого водоснабжения качество воды имеет первостепенное значение. *Качество воды зависит:*  
 от природных условий бассейна;

от размещения водозаборного сооружения, типа и конструкции;

от хозяйственной деятельности;

от проводимых мероприятий по улучшению качества воды.

Правильно выбранная конструкция и местоположение водозаборного сооружения (в плане и по глубине) позволяют обеспечивать бесперебойное снабжение потребителя водой возможно лучшего качества.

Глубинное положение водозабора на реке определяется условием, что расстояние от низа льда (в зимний период) до верха приемных окон водозабора было не менее 0,2–0,3 м, а порог между дном реки и низом приемных окон (необходимый для исключения попадания в водозаборные сооружения донных наносов) составлял не менее 0,7–1 м.

Условия работы водозаборных сооружений на водохранилищах, озерах и морях резко отличается от условий работы сооружений на реках. Существенные осложнения создают здесь возникающие на больших акваториях волнения и течения. Течения переносят наносы, лед, планктон, водоросли и могут вызвать размыв и перемещение берегов. Поэтому места забора воды выносятся за пределы зон течения воды. Волнение обуславливает необходимость заглубления места забора воды. Так, расстояние между верхом приемных окон и уровнем воды должно быть не меньше половины высоты волны. При этом порог между дном и низом приемных окон должен составлять 2–7 м.

Место расположения сооружения в плане следует выбирать как можно ближе к потребителю, на устойчивом участке водоема, в районе наименьшего загрязнения водоема (на реках выше населенных пунктов, промышленных предприятий и мест сбора сточных вод), вне участков ледяных заторов и интенсивного движения донных наносов.

Для отбора воды обычно используют плесовые участки реки, расположенные выше мест образования полыней зимой, а также участки, находящиеся выше мест впадения в реку притоков и оврагов. Выбранное место должно обеспечивать бесперебойную работу водного транспорта и лесосплава, быть увязано с трассами водоводов для перекачки воды от источника к потребителю или

очистным сооружениям. Водозаборы хозяйственно-питьевых водопроводов должны располагаться выше (по течению реки) выпусков сточных вод, населенных пунктов, стоянок судов, лесных бирж, товаротранспортных баз и складов. Размещение водозаборов систем хозяйственно-питьевого водоснабжения в акваториях портов, бухтах, на участках возможного разрушения берега и отложения наносов, у подножия холмов и крутых косогоров в сейсмических районах запрещается. Не рекомендуется располагать водозаборы в местах интенсивного движения донных наносов, в верховьях водохранилищ, устьях подпертых рек, ложбинах зимовья рыб, на участках возникновения зажоров, заторов и замерзания рек, а также в местах нагона плавника, водорослей и различного сора.

В водохранилищах и озерах водозаборы необходимо размещать в местах, укрытых от волн и вне зоны замутнения воды при волнениях. Отбор воды рекомендуется осуществлять на глубинах, не меньших утроенной высоты волны. На крупных озерах водозаборы рекомендуется размещать в бухтах, огражденных акваториях или за пределами зоны прибоя.

Для первоначальной защиты водозаборов от плавающей древесины и мусора служит забрательная стенка, расположенная перед водозаборным отверстием и погруженная нижней гранью ниже УМО.

В водохранилищах летом, особенно в период паводков, вода может содержать повышенное количество взвешенных и плавающих веществ (водоросли, траву, листья, плавающую древесину и т.д.) и, следовательно, возникает необходимость дополнительной ее очистки. Для этого в комплекс водозаборов включают специальные сооружения, позволяющие совмещать технологию отбора и очистки. Водоочистное сооружение в данном случае представляет собой шлюз-отстойник из двух-трех секций с попутным (поверхностным) отбором осветленной воды (каждая секция имеет свою водосборную камеру). Для предварительной грубой механической очистки воды от крупного мусора водоприемные отверстия водозаборов оборудуют сороудерживающими решетками и сетками.

### Вопросы для самопроверки

1. Как применяются нормативы допустимого воздействия на водные объекты?
2. Что такое целевые показатели качества воды в водных объектах?
3. Как определяются эмиссионные нормы качества воды?
4. Назовите основные факторы изменения качества воды в период строительства гидроузла.
5. Что такое экологические и санитарные попуски, как они определяются?
6. Что включает государственный мониторинг водных объектов?
7. Как определяется ширина водоохранных зон и прибрежных защитных полос водотока?
8. Назовите основные факторы, влияющие на качество воды в период эксплуатации гидроузла, основные источники загрязнений.
9. Какие водоохранные меры применяются при эксплуатации ГТС гидроузла?
10. Назовите основные принципы размещения водозаборного сооружения в составе гидроузла.

### Список рекомендуемой литературы к главе 13

1. **Емельянов А.Г.** Основы природопользования: Учеб. для студ. высших учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия». 2004.
2. **Кавешников Н.Т.** Менеджмент водохозяйственного производства и охраны окружающей среды. М.: Колос. 2008.
3. **Колесников С.И.** Экологические основы природопользования. М.: ИКЦ «Март». Г. Ростов-на-Дону: «Март». 2005.
4. **Львович А.И.** Защита вод от загрязнения. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
5. **Яковлев С.В.** Рациональное использование водных ресурсов: Учеб. для вузов по спец. «Водоснабжение, канализация, рац. использ. и охрана водных ресурсов». 1991.
6. **Фашчевский Б.В.** Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока. г. Минск.: БелНИИНТИ. 1989.
7. **Шамилева И. А.** Экология: Учеб. пособие для студ. пед. вузов. М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС. 2004.
8. **Водный** кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ.

9. **Салова Т.Ю., Громова Н.Ю., Шкрабак В.С., Курмашев Г.А.** Основы экологии. Аудит и экспертиза техники и технологии: Учебник для вузов. СПб: Изд-во «Лань». 2004.
10. **Федеральный** закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения.
11. **СанПиН 2.1.5.980-00.** Гигиенические требования к охране поверхностных вод.
12. **СанПиН 2.1.4.1110-02.** Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения.
13. **ГОСТ 17.1.5.02-80.** Охрана природы. Гидросфера. Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов.
14. **ГОСТ 2761-84.** Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения.

## Глава 14

### **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОТИВОПАВОДКОВОЙ ЕМКОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ, ВОДОХРАНИЛИЩА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И ПРОТИВОПАВОДКОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ. ПАВОДКОВЫЕ ВОДОСБРОСЫ В ПЛОТИНАХ**

Гидроузлы с водохранилищами сезонного и многолетнего регулирования существенно меняют режим попусков в нижний бьеф в период паводков, уменьшая величины расходов, сбрасываемых в нижний бьеф, по сравнению с естественным стоком. Это приводит в условиях средних и особенно маловодных лет к сокращению площади и длительности паводковых затоплений. В условиях многоводных лет в период прохождения паводков обеспечивается резкое уменьшение размеров затоплений и ущерба окружающей среде, а в условиях маловодных лет в меженный период – гарантированный санитарно-экологический попуск.

Последствия изменения режимов попусков в нижний бьеф в период прохождения паводков существенно зависят от особенностей природных условий.

В зонах избыточного увлажнения при сокращении площади и длительности затопления при прохождении весенних паводков улучшаются условия и повышается продуктивность пойменных лугов, например, на р. Обь в Западной Сибири (Россия).

В регионах, для которых также характерны летние паводки, изменение режимов прохождения паводков с уменьшением величины расходов может положительно влиять на сельскохозяйственное использование земель, защищая пойменные земли от затопления в период вегетации растений, когда затопление может привести к их гибели. Летние паводки наблюдаются на реках в Закарпатье (Украина), на Дальнем Востоке.

На многих гидроэнергетических объектах защита от наводнений долины реки ниже гидроузла является одной из важнейших функций, для чего предусматривается в полезном объеме водохранилища объем для регулирования паводков, который должен быть сработан до сезона паводков. Так, на Асуанском водохранилище в Египте из полезного объема  $132 \text{ км}^3$  для регулирования паводков предназначено  $44 \text{ км}^3$  (33 %), а из водохранилища самой мощной ГЭС «Три ущелья» («Санься») в Китае для регулирования паводков определен объем  $22,2 \text{ км}^3$  (при полезном объеме  $39,3 \text{ км}^3$ ). В то же время создание противопаводковой емкости водохранилища значительно снижает эффективность капиталовложений в строительство объекта. По этой причине не начато строительство Селемджинской, Дальнореченской, Гилюйской ГЭС и ряда других объектов.

Наибольшего внимания и подготовки требует пропуск паводков через сооружения гидроузла (около 23 % аварий на гидроузлах связаны именно с пропуском паводков), включая:

пропуск паводков через водосбросные сооружения гидроузла и агрегаты ГЭС в соответствии с регламентом;

форсировку уровня выше НПУ при работе всех водосбросных отверстий и агрегатов ГЭС при пропуске высоких паводков (обычно выше 1 % обеспеченности) с трансформацией их водохранилищем в соответствии с регламентом, предусмотренным правилами эксплуатации.

В зависимости от топографической характеристики водохранилищ и располагаемой полезной емкости проектная величина форсировки уровней над НПУ может быть разной. Например 10 см на водохранилище Иовской ГЭС (р. Иова), 1,0 м на Бухтарминском гидроузле (р. Иртыш) 5,5 м на Вилуйском гидроузле (р. Вилуй).

Объем водохранилища над НПУ предназначается только для дополнительной срезки максимальных расходов и не используется для повышения низкого меженного стока. Поэтому после прохождения пика половодья необходимо произвести его сработку (на спаде половодья).

Расчет противопаводковой емкости водохранилища проводится в зависимости от проектного режима регулирования.

Для водохранилища сезонного регулирования расчет проводится в такой последовательности:

1. Определяется максимальный проектный уровень воды в нижнем бьефе, который нужно обеспечить для защиты территории в нижнем бьефе от затопления;

2. По связи графиков уровней и расходов определяется максимальный проектный расход в нижнем бьефе гидроузла;

3. Для основного и поверочного расчетного случая, в зависимости от класса проектируемых ГТС, определяется проектный максимальный расход;

4. Определяется проектный гидрограф максимального притока воды к расчетному створу – для основного и поверочного расчетного случая;

5. С использованием графиков объемов водохранилища проводится воднобалансовый расчет с учетом притока к водохранилищу, забора воды водопользователями при комплексном использовании водохранилища, холостого сброса до максимального проектного расхода в нижний бьеф по условию незатопления территорий;

6. В результате расчета будет определен требуемый объем для аккумуляции воды в чаше водохранилища;

7. В расчетах предусматривается, что при пропуске максимального расхода воды при НПУ (основной расчетный случай), должны быть открыты все отверстия водосбросных сооружений, ГЭС должна работать с полной отдачей, пропуск максимального расхода воды поверочного расчетного случая предусматривается при ФПУ;

8. По топографическим характеристикам водохранилища, с учетом местных условий и действующих нормативов определяются отметки УМО, НПУ, ФПУ, мертвого, полного, полезного объемов водохранилища и объема дополнительной противопаводковой призмы (форсировки).

При расчете водохранилища многолетнего регулирования для пропуска половодья или паводков предусматривается сработка водохранилища до отметки УНС (уровня нормальной сработки). Кроме того, в зависимости от назначения конкретных водохрани-

лищ и выполняемых ими задач, могут быть установлены следующие характерные уровни воды в водохранилище:

уровень принудительной предполоводной сработки на конкретную календарную дату (УПС);

максимальный допустимый уровень наполнения водохранилища при пропуске паводков при неполном использовании всей пропускной способности гидроузла, уровень противопаводковой призмы водохранилища (УПП);

минимальный навигационный уровень воды в водохранилище (МНУ).

#### Нормативные документы, регламентирующие пропуск половодий и паводков

Пропуск половодий и паводков через гидротехнические сооружения регламентируется следующими действующими нормативными документами:

Согласно Водному кодексу Российской Федерации, использование водохранилищ осуществляется в соответствии с правилами использования водных ресурсов водохранилищ и правилами технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ.

Правилами использования водных ресурсов водохранилищ определяется режим их использования, в том числе режим наполнения и сработки водохранилищ. Правилами технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ определяется порядок использования их дна и берегов.

Ежегодные вероятности превышения расчетных максимальных расходов воды устанавливаются в соответствии с СП 58.13330.2019.

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

\*С учетом требований гарантийной поправки в соответствии с СП 33-101-2003.

Исходными данными для проведения расчетов регулирования водохранилищем половодий и паводков редкой повторяемости являются: кривая объемов водохранилища в зависимости от подпорных уровней; гидрографы притока воды в водохранилище раз-

личной обеспеченности; вариантно-задаваемые кривые пропускной способности гидротехнических сооружений.

Кривая объемов водохранилища соответствует горизонтальной поверхности воды и называется статической кривой объемов. Расчеты пропуска высоких вод с использованием статических кривых объемов водохранилища значительно упрощаются. Однако они допустимы только для гидроузлов, подпор которых у плотины значительно превышает подъем воды в реке при прохождении высоких половодий и паводков в естественных условиях, при этом негоризонтальность водной поверхности водохранилища незначительна и неучет ее практически не оказывает влияния на точность проводимых расчетов.

Гидрографы притока воды в водохранилища при проектировании рассчитываются и строятся в соответствии с СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик».

Сброс воды из водохранилища производится через отверстия, предназначаемые для пропуска полезно используемых расходов воды  $Q_{\text{п}}$  (гидроэлектростанция, шлюз, забор воды на водоснабжение и орошение) и через отверстия, предназначенные для пропуска избыточной воды  $Q_{\text{вс}}$  (водосливы и водоспуски).

Трансформация гидрографов весенне-летних половодий рассчитывается по уравнению неразрывности вида

$$\Delta V = (Q_{\text{пр}} - Q_{\text{сбр}})\Delta t,$$

где  $\Delta V$  – приращение объема водохранилища за расчетный интервал времени  $\Delta t$ ;  $Q_{\text{пр}}$  и  $Q_{\text{сбр}}$  – соответственно средние значения приточных и сбросных расходов за рассматриваемый интервал  $\Delta t$ ;  $Q_{\text{сбр}}$  – сумма расходов через ГЭС или другие отверстия, полезно использующих воду, и расходов через водослив или водоспуск ( $Q_{\text{сбр}} = Q_{\text{п}} + Q_{\text{вс}}$ ).

Расчеты пропуска половодий выполняются, как правило, по срезочной схеме, которая сводится к следующему: от отметки ежегодной сработки водохранилища до отметки НПУ, в зависимости от интенсивности наполнения водохранилища, в нижний бьеф гидроузла сбрасывается расход воды либо гарантированный, либо соответствующий полной пропускной способности ГЭС. Полное

раскрытие водосброса предусматривается при наполнении водохранилища до НПУ. Однако в ряде случаев, для снижения величины форсировки уровней над НПУ, при пропуске расчетного половодья допускается открытие водосброса при отметке ниже НПУ.

Расходы притока определяются по расчетному гидрографу. Так как приращение уровней у плотины на текущие  $\Delta t$  не известно, расчет пропуска половодья осуществляется методом последовательного приближения в табличной форме в следующей последовательности: задается уровень у плотины на конец периода  $\Delta t$ ,  $Z_{\text{кз}}$ , определяется средний уровень  $Z_{\text{ср}} = (Z_{\text{н}} + Z_{\text{кз}})/2$ ; по  $Z_{\text{ср}}$  определяется средний расход водосброса  $Q_{\text{ср}}$ , затем рассчитывается суммарный расход стока из водохранилища  $Q_{\text{сбр}} = Q_{\text{п}} - Q_{\text{ср}}$ ; разность расходов притока и сброса дает расход аккумуляция (приращение)  $Q_{\text{акк}} = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{сбр}}$ ; приращение объема водохранилища на конец  $\Delta t$   $\Delta V_{\text{к}} = V_{\text{п}} + \Delta V_{\text{акк}}$ ; по  $V_{\text{к}}$  с кривой объемов снимается  $Z_{\text{к}}$ . Если  $Z_{\text{к}}$  не совпадает с  $Z_{\text{кз}}$ , расчет повторяется до совпадения этих величин. По результатам расчета строятся графики. В результате расчетов пропуска половодий и паводков различной обеспеченности и определения при этом максимальных зарегулированных расходов воды строятся кривые обеспеченности максимальных естественных и зарегулированных расходов в створе гидроузла.

При сооружении водохранилищ на равнинных реках, когда величина подпора у плотины соизмерима с естественным подъемом уровня при прохождении половодий и паводков, негоризонтальность водной поверхности значительна. Недоучет ее может привести к завышению ФПУ водохранилища или количества водопропускных отверстий. В этом случае расчеты пропуска высоких вод производятся по динамической кривой объемов водохранилища. Расчет и построение кривой объемов с учетом негоризонтальности водного зеркала является задачей речной гидравлики. Схема расчета пропуска половодий и паводков та же, что и по статической кривой объемов.

### Противопаводковые водосбросы в плотинах

*Водосбросы* – сооружения для сброса из водохранилища излишков воды и льда в период прохождения паводков.

При возведении гидроузлов предусматривают пропуск воды и льда, строительных расходов, для чего устраивают временные (строительные) водосбросы, которые обычно стремятся совместить с каким-либо эксплуатационным водопропускным сооружением, например, с водоспуском.

Для пропуска паводков редкой повторяемости устраивают *резервные водосбросы* типа “предохранительной пробки”, включающиеся в работу только в чрезвычайных условиях повышения уровня воды в верхнем бьефе.

По наличию затворов различают водопропускные сооружения: с затворами – *регулируемые*, без затворов – *нерегулируемые* (автоматические).

По условиям движения воды водопропускные сооружения могут быть *безнапорные* (с движением воды со свободной поверхностью) и *напорные*.

*Расчетные расходы и уровни воды.* Расчетные расходы воды, подлежащие пропуску в процессе эксплуатации через водопропускные сооружения каждого конкретного гидроузла, определяются методами гидрологии с учетом водохозяйственного режима и возможности использования проектируемых и действующих водохранилищ для трансформации речного стока и уменьшения (“срезки”) паводкового расхода. Расчетные максимальные расходы воды назначают исходя из ежегодной вероятности превышения (обеспеченности), устанавливаемой в зависимости от класса сооружений для двух расчетных случаев – основного и поверочного.

Пропуск расхода воды, отвечающего *основному расчетному случаю*, осуществляется при *нормальном подпорном уровне* (НПУ) верхнего бьефа через все турбины ГЭС и через все водопропускные сооружения при полном их открытии и нормальном режиме эксплуатации.

Пропуск расхода воды, отвечающего *поверочному расчетному случаю*, обеспечивается при наивысшем технически и экономически обоснованном *форсированном подпорном уровне* (ФПУ) всеми водопропускными сооружениями, включая турбины ГЭС, водозаборные сооружения оросительных систем и систем водоснабжения, судоходные шлюзы, рыбопропускные сооружения и резервные водосбросы. При этом допускается уменьшение выра-

ботки электроэнергии, нарушение нормальной работы водозаборных сооружений, повреждение резервных водосбросов, размыв русла и берегов в нижнем бьефе без угрозы основным сооружениям и селитебным территориям.

Число и размеры водосбросных сооружений определяются исходя из условий пропускa расхода воды основного и поверочного расчетного случая.

Движение льда в водохранилище начинается при средней скорости подхода воды к плотине более 0,5–1,35 м/с, при меньших скоростях лед остается и тает в водохранилище. Если движение льда возможно, то ширину водосбросного фронта назначают до 0,5–0,6 ширины водохранилища перед плотиной, а ширину пролетов – не менее 10 м для рек южных районов и не менее 18 м для рек северных районов. Ширина соросбросных отверстий, как правило, не должна превышать 10 м по условиям расчистки забившегося пролета.

Водосбросные сооружения по расположению входного отверстия, особенностям работы и гидравлического расчета подразделяют на *поверхностные, глубинные, донные, двухъярусные и многоярусные*.

*Поверхностные водосбросы:*

практического профиля – на гидроузлах с бетонными плотинами любого типа;

с широким порогом – на низконапорных гидроузлах;

с тонкой стенкой – на низких плотинах;

полигональным профилем – на низконапорных гидроузлах.

Основная формула для расчета расхода воды через *поверхностный водосброс*

$$Q = m \sqrt{2g} H_0^{3/2} b,$$

где  $m$  – коэффициент водосброса, зависящий от конструкции;  $b$  – ширина водосбросного фронта;  $H_0$  – напор на пороге водосброса.

*Глубинные и донные водосбросы:*

Основная формула для расчета расхода воды через *донный водосброс*

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH},$$

где  $\mu$  – коэффициент донного водосброса;  $\omega$  – площадь входного отверстия;  $H$  – действующий напор, который отсчитывается от центра тяжести при свободном истечении, от верхней кромки отверстия при истечении без подтопления, от уровня воды в створе отверстия при затопленном истечении.

### Вопросы для самопроверки

1. Как осуществляется пропуск максимальных расходов половодья и паводков через водопропускные сооружения гидрозла?
2. Какова последовательность расчета противопаводковой емкости водохранилища?
3. Назовите основные нормативные документы, регламентирующие пропуск половодий и паводков.
4. Как определяются расчетные вероятности максимальных расходов при проектировании водопропускных сооружений?
5. Какие уровни воды в водохранилище соответствуют основному и поверочному расчетному случаю?
6. Назовите виды поверхностных водосбросов. Какая основная расчетная формула для расхода воды через поверхностный водосброс?
7. Назовите виды глубинных и донных водосбросов. Какая основная расчетная формула для глубинного и донного водосбросов?

### Список рекомендуемой литературы к главе 14

1. **Емельянов А.Г.** Основы природопользования: Учеб. для студ. высших учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия». 2004.
2. **Кавешников Н.Т.** Менеджмент водохозяйственного производства и охраны окружающей среды. М.: Колос. 2008.
3. **Колесников С.И.** Экологические основы природопользования. М. ИКЦ «Март». г. Ростов-на-Дону: «Март». 2005.
4. **Львович А.И.** Защита вод от загрязнения. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
5. **Яковлев С.В.** Рациональное использование водных ресурсов: Учеб. для вузов по спец. «Водоснабжение, канализация, рац. исполъз. и охрана водных ресурсов». 1991.
6. **Фашевский Б.В.** Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока. Минск: БелНИИНТИ. 1989.
7. **Шамилева И. А.** Экология: Учебное пособие для студ. пед. вузов. М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС. 2004.
8. **Водный кодекс** Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ.

## Глава 15

### СПОСОБЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДДЕРЖАНИЯ ПОСТОЯННОГО УРОВНЯ ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ. РАСЧЕТ ВОДОХРАНИЛИЩА И СИСТЕМЫ СБРОСА ВОДЫ

В некоторых случаях требуется автоматически поддерживать уровень воды в водохранилище:

- на реках с быстро наступающими паводками;
- на деривационных ГЭС – для недопущения подъема воды в напорном бассейне выше НПУ;
- в каскаде малых ГЭС – для транзитного пропуска расчетного расхода воды ниже данной ГЭС при ее остановке;
- при повышении уровня в водохранилищах многолетнего регулирования – при пропусках паводков редкой повторяемости (резервный водосброс).

*Способы поддержания постоянного уровня воды в водохранилище:*

- паводковые водосбросы с отметкой гребня на уровне НПУ;
- сифонные водосбросы;
- водосбросы с автоматическими затворами;
- резервные водосбросы “предохранительные пробки” (дамбы из размываемых грунтов).

*Расчет водохранилища и системы сброса воды*

Эксплуатационное наполнение водохранилищ сезонного регулирования по проекту производится до отметки НПУ, сработка проходит до УМО. Водоохранилища многолетнего регулирования наполняются до НПУ в наиболее многоводные годы и сбрасыва-

ются до УМО при наступлении нескольких многоводных лет подряд. Процессы наполнения-сработки должны обеспечить наивыгоднейший режим регулирования стока реки. В «Правилах использования водных ресурсов водохранилищ» устанавливаются режимы наполнения и сработки водохранилищ в зависимости от водности года. Чрезвычайное наполнение водохранилища происходит при пропуске паводий и паводков редкой повторяемости. В процессе трансформации таких паводков и паводий допускается повышение уровня водохранилища до ФПУ (поверочный расчетный случай).

Расчет водохранилища при проектировании проводится следующим образом:

- выбирается расчетный створ;
- определяется возможный диапазон НПУ;
- назначается УМО;
- определяется полный и полезный объемы (с учетом водопотребления и потерь);
- определяется вид регулирования стока (сезонное, многолетнее);
- ведется расчет регулирования с учетом трансформации паводков.

Объем водохранилища должен обеспечить аккумуляцию и пропуск расхода основного расчетного случая (в соответствии с СП 58.13330.2012).

#### Трансформация паводков

При приближенных расчетах регулирования паводкового стока применяют упрощенный прием, введенный в практику Д.И. Кочериным. Он основан на том, что расчетный гидрограф представляется в форме треугольников или трапеций. На рис. 15.1 представлен схематизированный гидрограф притока в виде треугольника:

- повышенный расход воды используется для выработки энергии и водопотребления;
- наполнение и сброс воды начинается, когда расход притока равен максимально используемому расходу  $I$ ;
- по мере наполнения расход увеличивается до пика в точке 3;

$$Q_x = Q_{\max} - Q_{\text{и}}$$

$$W_x = W - W_{\text{и}} - V_{\text{тр}},$$

где объем половодья  $W$  измеряется площадью всего треугольника;  $W_{\text{и}}$  – полезно используемый объем воды (трапеция);  $V_{\text{тр}}$  – объем водохранилища, необходимый для трансформации.

Максимальная величина трансформированного расхода  $Q_{\text{тр}} = Q_x + Q_{\text{и}}$ .

Решая задачу в отношении максимального сбросного расхода получим:

$$Q_{\text{сб}} = (Q_{\max} - Q_{\text{и}}) \left( 1 - \frac{W_{\text{тр}}}{W - W_{\text{и}}} \right).$$

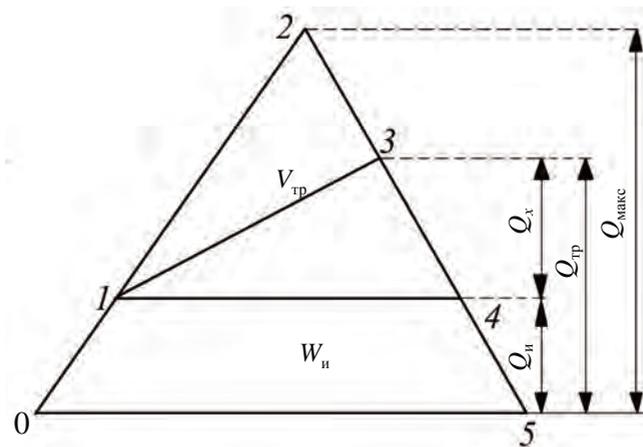


Рис. 15.1. Схема расчета пропуска паводков ( по Д.И.Кочерину) при треугольной форме гидрографа

На рис. 15.2 представлены водопропускные сооружения, применяемые для пропуска воды из водохранилища.

Число и размеры водопропускных сооружений определяются, исходя из условий пропуска основного расчетного случая.

*Паводковые водосбросы* для увеличения пропускной способности устраивают с увеличенным напорным фронтом – полигональные, закругленные; скошенные, сложной формы.



Рис. 15.2. Схема водопропускных отверстий:

1 – паводковый водосброс без затворов с порогом на уровне НПУ;  
2 – водослив с затвором; 3 – поверхностное глубокое отверстие с затвором; 4 – глубинное отверстие; 5 – донное отверстие; 6 – туннель; 7 – береговой водосброс

#### Резервные водосбросы “предохранительные пробки”

Крупные гидроузлы с глухими плотинами из грунтовых материалов обычно имеют водосбросы с большой пропускной способностью. Стоимость таких сооружений весьма высока, и при этом может оказаться, что за весь период существования гидроузла водосброс ни разу не будет работать на полную мощность. В связи с этим часто предусматривают несколько водосбросов: один основной, который будет работать достаточно часто, и один или два резервных, которые будут работать редко или вообще не будут работать за весь период существования гидроузла. Резервные водосбросы делают простыми и дешевыми.

Резервный водосброс может быть выполнен в виде каменной дамбы с гребнем, располагающимся на отметке, близкой к ФПУ. Сбрасываемый через этот водосброс расход поступает в реку по оврагу или отводящему каналу ниже створа гидроузла. Применение такого технического решения позволяет снизить стоимость водосбросных сооружений.

#### Водосбросы с автоматическими затворами:

сегментные затворы с противовесом;  
секторные поплавковые;  
клапанные уравновешивающие затворы.

Сегментные затворы передают давление воды на быки и устои, совершая вращательное движение.

Для автоматического действия затвор снабжается противовесом в виде груза, располагаемым на продолжении опорных ног за шарниром, чем до минимума снижается требуемое подъемное усилие, которое реализуется при давлении воды на особые клапаны или поплавки. Так, в системе, показанной на рис. 15.3, противовес затвора связан тягами *a*, *б* с клапаном *0*, *б*, вращающимся вокруг оси *0*, в особых шахтах быков; при повышении горизонта воды верхнего бьефа сверх НПУ вода из верхнего бьефа поступает по трубам на клапан *0*, *б*, заставляя его опускаться, а затвор открываться; при установлении нормального подпорного горизонта поступление воды прекращается, вода из шахты уходит в нижний бьеф, что заставляет затвор опускаться и закрывать отверстие.

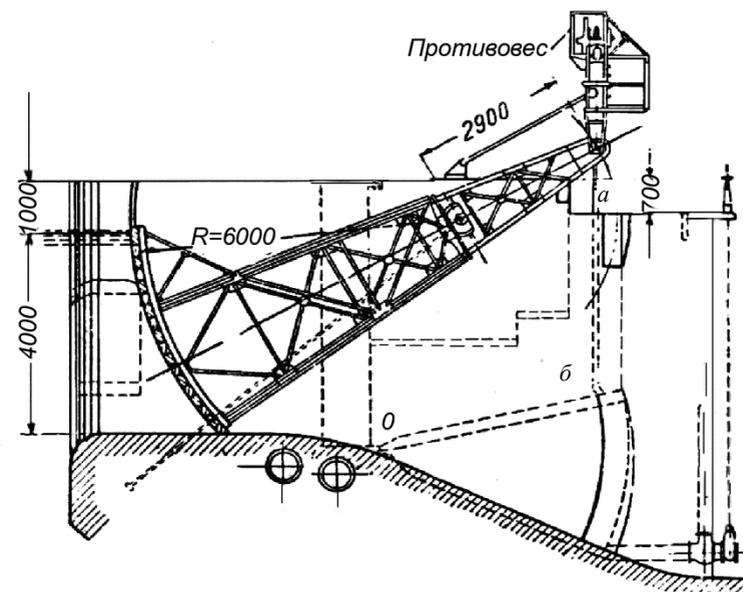


Рис. 15.3. Автоматический сегментный затвор

Пролеты перекрываемых этими затворами отверстий достигают 36 м при высоте 5–7 м, наибольшая высота осуществленного затвора – 10 м при пролете 12 м.

*Секторными* называются затворы, имеющие поперечное сечение в виде сектора. Затворы, имеющие обшивку со всех сторон, называются поплавковыми, так как находящийся внутри их воздух придает им плавучесть. Они закрепляются на пороге плотины на горизонтальной оси, вращаясь вокруг которой могут частично и полностью опускаться в специальную нишу.

Ось вращения затвора находится с низовой или с верховой его стороны.

Затвор находится в равновесии и может быть выведен из него в новое положение благодаря давлению воды, заполняющей нишу в пороге плотины, называемую камерой давления. Давление воды в этой камере может изменяться от величины, соответствующей уровню ВБ, до соответствующей УНБ или до 0, что позволяет устанавливать затвор в нужном положении.

#### *Затворы с низовой осью вращения*

В случае перелива воды через затвор часть воды из камеры давления выпускается, и затвор меняет положение (рис. 15.4).

На затвор, находящийся в верхнем положении (рис. 15.4, а) действуют следующие силы: давление воды на напорную грань со стороны верхнего бьефа  $w_1$ , на низовую грань затвора  $w_2$  и собственный вес затвора  $G$ . При переливе воды через гребень (рис. 15.4, б) – давление воды  $w_3$  и давление на низовую грань. В случае перелива воды через затвор часть воды из камеры давления выпускается, и затвор меняет положение.

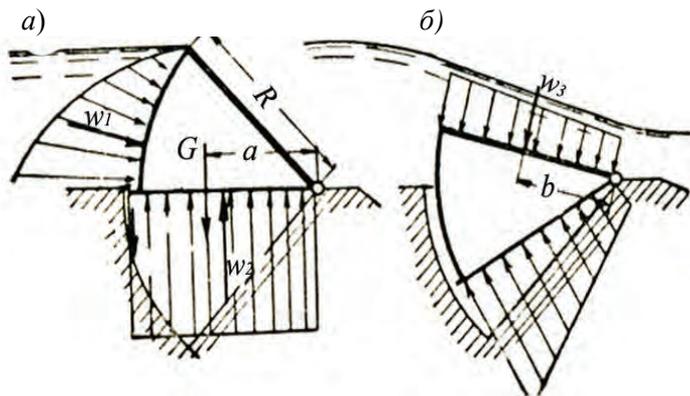


Рис. 15.4. Схема силовых воздействий на секторный поплавокый затвор

Подъем затвора из низшего положения осуществляется путем воды из верхнего бьефа в камеру давления.

#### *Затворы с верхней осью вращения*

Затворы с верхней осью вращения (рис. 15.5) распространены в США и называются драм-гейт (барабанные).

На рис. 15.5, а и 15.5, б показан механизм перелива воды через затвор при увеличении напора воды, где  $w_1$  – давление воды на напорную грань,  $w_2$  – на низовую грань,  $G$  – вес затвора. При такой конструкции затвора его напорную грань можно увеличить по высоте, при этом создается больший напор воды без изменения размера самого затвора (рис. 15.5, в).

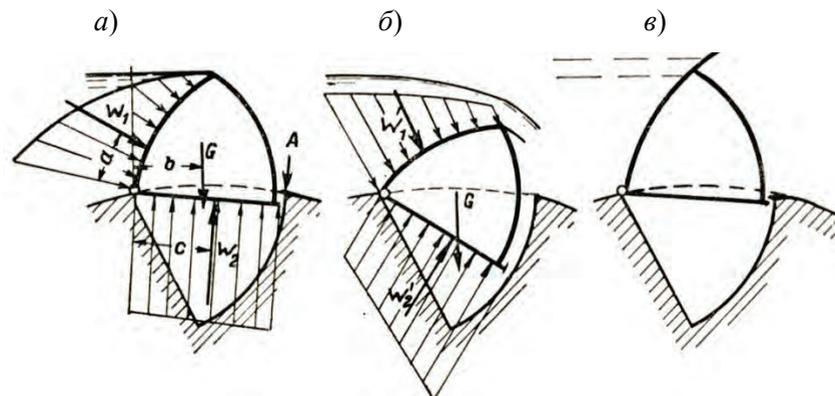


Рис. 15.5. Схема силовых воздействий на секторный поплавокый затвор с верхней осью вращения

*Клапанные уравновешенные затворы (автоматически действующие).*

Клапанный затвор представляет собой плоский щит, вращающийся вокруг горизонтальной оси, укрепленной на пороге плотины и удерживаемый в поднятом состоянии или подкосом, или давлением воды на уравновешивающие затвор его части. Затвор передает давление на порог плотины.

*Затворы, уравновешенные гидравлически.* Затворы, уравновешенные гидравлически, представляют собой клапаны, вращающиеся на горизонтальной оси, помещенной примерно в середине затвора. Напор поддерживается верхней частью затвора, нижняя

его часть находится в особой нише порога плотины (камера давления), отделенной от воды верхнего и нижнего бьефов плитой. При подъеме горизонта воды верхнего бьефа вода поступает в сифон (в устье), откуда через особую галерею в камеру давления, и затвор наклоняется для пропуски увеличивающегося расхода воды. При уменьшении затвора и установлении нормального уровня ВБ истечение через сифон прекращается, затвор закрывается. Такие затворы имеют пролеты 7–10 м при высоте 5–6 м, они пригодны для пропуска паводков на небольших реках с малым количеством наносов (рис. 15.6).

*Затворы, уравновешенные снизу противовесами*, имеют шарнир в нижней своей части, укрепленный на пороге плотины. Верхняя часть затвора шарнирно соединена со штангами, которые шарнирно связаны с коромыслом противовеса. Ось коромысла находится в нише порога под затворами на опорах. Плечи коромысла и противовес подбираются так, чтобы затвор уравновешивался в любом положении. Такие затворы могут перекрывать пролеты до 20 м при высоте до 3,5 м на повышенных порогах плотин (рис. 15.7).

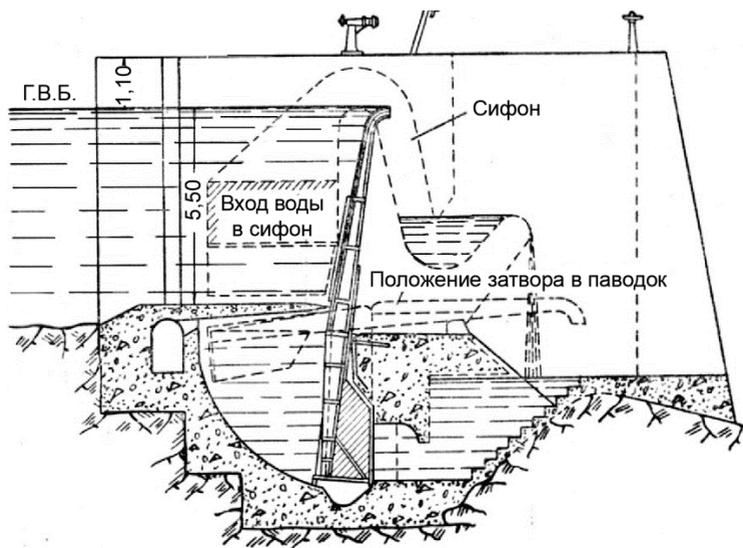


Рис. 15.6. Клапанный гидравлически уравновешенный затвор

### Сифонные водосбросы

В гравитационных плотинах при стесненном фронте водослива, а также в тех случаях, когда нужно достигнуть автоматического действия водослива при малых колебаниях уровня верхнего бьефа, целесообразно устраивать сифонные водосбросы.

Сифонный водосброс представляет собой водовод прямоугольного или круглого сечения в теле плотины (рис. 15.8), входная часть которого расширена и заглублена под уровень НПУ настолько, чтобы при сбросе воды не образовались воронки понижения горизонта воды и не проникал воздух внутрь сифона; порог (гребень) сифонного водовода располагается на уровне НПУ.

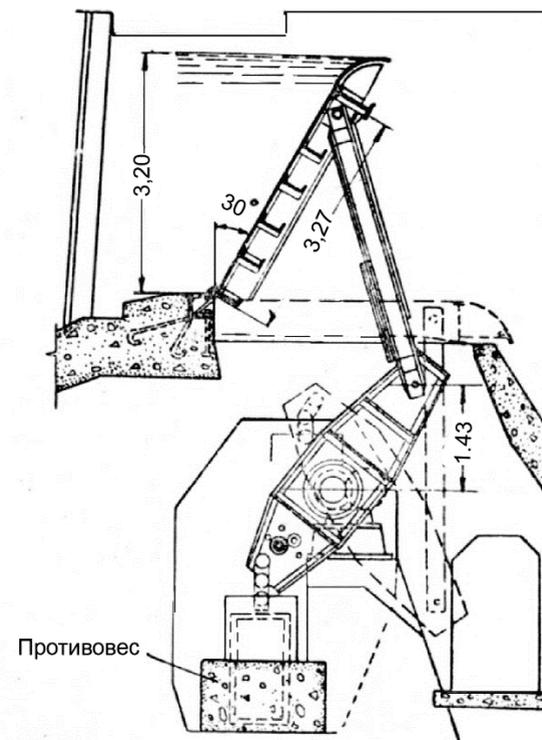


Рис. 15.7. Клапанный затвор, уравновешенный снизу противовесом (Чипеева)

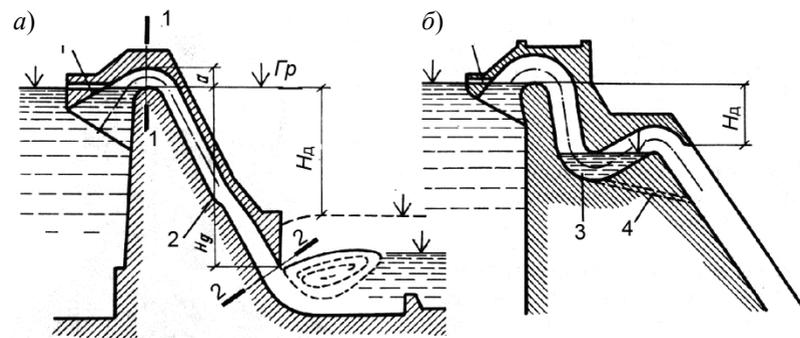


Рис. 15.8. Сифонные водосбросы:

*a* – с изгибом для отброса струи; *b* – с колодезем;

1 – отверстие для срыва вакуума; 2 – плоскость (носик) для отброса струи при зарядке сифона; 3 – колодезь с водяным замком; 4 – труба опорожнения колодца

Расход воды через сифон сечением при выходе в нижний бьеф  $a_n \times b_n$  определяется по формуле

$$Q = \mu a_n b_n \sqrt{2gH_0}.$$

Напор считается от уровня верхнего бьефа до центра выходного сечения сифона в нижнем бьефе, если оно не затоплено, или до горизонта воды нижнего бьефа, если вода из сифона выходит под уровень нижнего бьефа

$$H_0 = H + v_0^2 / 2g,$$

где  $v_0$  – скорость течения воды на подходе к сифону;  $\mu$  – коэффициент расхода, обычно в сифоне при напоре  $H_0 < 10$  м  $\mu = 0,8 - 0,85$ , при  $H_0 = 10 - 15$  м коэффициент снижается до  $0,6 - 0,7$ .

Удельный расход воды через трубу сифона на практике назначают до  $20 - 25$  м<sup>3</sup>/с, что соответствует напору  $4,5 - 5,0$  м на гребне открытого водослива.

Сифонные водосбросы автоматически включаются в работу при повышении уровня верхнего бьефа сверх заданного. Гребень сифона для этой цели располагают на отметке нормального подпорного уровня. Сифон начинает устойчиво работать полным сечением тогда, когда уровень в верхнем бьефе превысит отметку

гребня сифона на  $0,2 - 0,3$  м. При этом в трубу сифона перестает поступать воздух через специальные отверстия, вследствие чего он выключается из работы, как обычный водослив. Включение сифона – переход его в напорный режим работы – обеспечивается созданием в нем вакуума, что достигается за счет выноса воздуха потоком, движущимся через сифон.

С верхней стороны сифон автоматически изолируется от атмосферы кромкой входного отверстия – капором. Со стороны нижнего бьефа выходное отверстие сифона либо заглубляют под уровень, либо доступ воздуха предотвращают водяной завесой, создаваемой с помощью носка, отклоняющего поток в сторону потолка нисходящей ветви сифона, или приданием нисходящей ветви обратного наклона. Воздух из замкнутого пространства выносятся струей воды, сифон заряжается – начинает работать под напором.

Режим зарядки можно улучшить развитием козырька капора или устройством специальной забральной стенки.

Сифоны можно выполнять как самостоятельные водосбросы и как головные части комбинированных водосбросов.

К достоинствам сифонов относят автоматизм их действия, пропуск расходов при малых высотах призмы форсировки ( $0,1 - 1,0$  м), возможность сооружения водосброса после введения в эксплуатацию глухой грунтовой плотины, а также возможность использования сифонов при реконструкции водосбросов в целях увеличения их пропускной способности.

Недостатки сифонов: сложность эксплуатации в зимний период и при необходимости пропуска льда и других плавающих предметов; вибрация отдельных частей; значительные давления и вакуумы на поверхностях крутых изгибов труб сифона при высоких скоростях течения в нем; необходимость в применении сложной опалубки и существенного армирования стенок.

### Вопросы для самопроверки

1. В каких случаях требуется автоматически поддерживать уровень в верхнем бьефе?

2. Как производится расчет водохранилища и системы сброса воды?
3. Как выполняется расчет трансформации паводков методом Д.И. Кочерина?
4. Назовите основные виды водопропускных сооружений.
5. Что такое резервные водосбросы “предохранительные пробки”, когда они могут быть использованы?
6. Назовите виды автоматических затворов водосбросов, особенности их использования.
7. Как работают сифонные водосбросы, когда они применяются?

### Список рекомендуемой литературы к главе 15

1. **Иванов А.Н., Неговская Т.А.** Гидрология и регулирование стока. М.: Колосс. 1979.
2. **Ляпичев Н.Н.** Методика регулирования стока и водохозяйственных расчетов. М: Стройиздат. 1972.
3. **Плешков Я.Ф.** Регулирование речного стока. Водохозяйственные расчеты. Л.: Гидрометеиздат. 1971.
4. **Арсеньев Г.С.** Основы управления гидрологическими процессами: водные ресурсы. Учебник. СПб.: Из-во РГГМУ. 2005.
5. **Колесников С.И.** Экологические основы природопользования. М.: ИКЦ «Март». г.Ростов-на-Дону. 2005.
6. **Гидроэнергетика** и комплексное использование водных ресурсов СССР / Под общей редакцией П.С.Непорожного. Изд.2-е. перераб. и доп., М.: Энергоиздат. 1982.
7. **Гидротехнические** сооружения / Г.В. Железняков, Ю.И. Ибадзаде, П.Л. Иванов и др.: Под общ. ред. В.Г. Недриги. М.: Стройиздат. 1983.
8. **Гидротехнические** сооружения / Н.П. Розанов, Я.В. Бочкарев, В.С. Лапшенков и др.; Под ред. Н.П. Розанова. М.: Агропромиздат. 1985.
9. **Гидротехнические** сооружения: Учеб. для вузов: 1 и 2 части / Л.Н. Рассказов, В.Г. Орехова, Ю.П. Правдивец и др.: Под ред. Л.Н. Рассказова. М.: Стройиздат. 1996.
10. **СП 58.13330.2012.** Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003.
11. **СП 33-101-2003.** Определение основных расчетных гидрологических характеристик.

## Глава 16

### **ПРАВИЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ. ДИСПЕТЧЕРСКИЙ ГРАФИК ВОДОХРАНИЛИЩА. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ГРАФИКА. ПОРЯДОК ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРАФИКОВ**

После того, как запроектирована водохозяйственная система, определены ее основные технико-экономические показатели, основной задачей становится определение функционирования системы в течение пускового периода и в период нормальной эксплуатации.

Основным документом, регламентирующим принципы и методы управления речным стоком с учетом интересов водопользователей и безопасности подпорных сооружений гидроузла, населения и хозяйства в его нижнем бьефе, являются «Правила использования водохранилища», включающие в себя «Правила использования водных ресурсов водохранилища» и «Правила технической эксплуатации и благоустройства водохранилища». Эти документы разрабатываются в соответствии со статьей 45 Водного кодекса РФ и утверждаются соответствующими органами.

Правилами использования водных ресурсов водохранилищ определяется режим их использования, в том числе режим наполнения и сработки водохранилищ. Правилами технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ определяется порядок использования их дна и берегов.

Перечень водохранилищ, в отношении которых разработка Правил использования водохранилищ осуществляется для каждого водохранилища, установлен Распоряжением Правительства РФ от 14.02.2009 № 197-р «О перечне водохранилищ». Использование водохранилищ, не указанных в Перечне, осуществляется в соот-

ветствии с типовыми правилами использования водохранилищ, которые утверждены Приказом Минприроды РФ от 24.08.2010 № 330 «Об утверждении типовых правил использования водохранилищ».

Для проектируемого (строящегося) водохранилища проект правил его использования разрабатывается заказчиком (застройщиком) строительства водохранилища одновременно с проектной документацией на его строительство.

Согласно «Правилам использования водных ресурсов» назначается отдача воды из водохранилища (в зависимости от времени года и от запаса воды в водохранилище) на текущую дату.

Основным содержанием «Правил использования водных ресурсов» являются, с одной стороны, диспетчерские графики, представляющие собой временные связи между энергоотдачей, заборами воды в верхнем бьефе, пусками воды в нижний бьеф и уровнями воды в водохранилище, с другой. Диспетчерские графики могут быть представлены в графической, табличной или аналитической форме. Они могут строиться как для отдельных водохранилищ, так и для систем (групп) водохранилищ. Диспетчерские графики используются, как правило, для водохранилищ, осуществляющих недельное, сезонное и многолетнее регулирование речного стока.

Основные функции диспетчерского графика:

- обеспечение нормальной гарантированной отдачи;
- обеспечение сокращенной гарантированной отдачи;
- недопущение глубоких перебоев благодаря своевременному переходу водохозяйственных установок на сниженное потребление;
- минимизация холостых сбросов;
- недопущение или снижение опасности при прохождении высоких половодий (паводков) за счет противопаводочной емкости и водосбросных сооружений.

*Исходные данные для составления графика*

1. Основные характеристики плана водохозяйственного использования (гарантированная отдача, расход полной производительности установки, регулирование, водопотребление).

2. Размеры полезной емкости водохранилища.

3. Гидрологическая характеристика водотока за период наблюдений.

При построении диспетчерского графика на оси ординат откладываются объемы или соответствующие им уровни водохранилища, на оси абсцисс – время года. Уровень воды в водохранилище на диспетчерском графике соответствует уровню воды у плотины гидроузла или в какой-либо другой характерной точке водохранилища, либо среднему уровню воды в водохранилище.

В качестве характеристик зон диспетчерского графика задаются расходы воды, подаваемые водопользователям и/или расходы сбросов воды в нижние бьефы регулирующих гидроузлов. В качестве вторичной зоны диспетчерского графика может быть использована мощность ГЭС.

При построении диспетчерских графиков для каскада водохранилищ в качестве второй координаты используется суммарный полезный объем водохранилищ системы, а в качестве характеристик зон – суммарный расход отдачи системы и его распределение по отдельным водохранилищам и гидроузлам в зависимости от уровней воды в конкретных водохранилищах.

Координатное поле диспетчерского графика (рис. 16.1) разделяется характерными линиями на зоны, каждой из которых соответствует определенный режим работы водохранилища:

неиспользуемый объем водохранилища – находится ниже уровня мертвого объема;

зона перебоев или сниженной относительно гарантированной отдачи водохранилища. Внутри этой зоны могут выделяться подзоны, характеризующиеся линиями перехода на разные величины сниженной отдачи; верхнюю границу этой зоны называют противоперебойной линией;

зона гарантированного режима (гарантированной отдачи) является наиболее ответственной зоной, где назначается гарантированная отдача воды. Внутри этой зоны возможна разбивка на подзоны, в случае наличия нескольких участников водохозяйственного комплекса, для которых они и определяются;

зона отдач сверхгарантированных (избыточных отдач). В этой зоне выделяют подзоны с различными значениями повышенной отдачи. При наличии ГЭС выделяют подзону загрузки ГЭС на полную мощность. Линию перехода на полную мощность (нижнюю границу подзоны загрузки) называют противосбросной линией. Верхней границей зоны повышенных отдач является отметка нормального подпорного уровня;

зона противопаводковой призмы выделяется для водохранилищ, одной из основных функций которых является защита нижнего бьефа гидроузла водохранилища от наводнений. В этой зоне назначаются максимальные допустимые (по условиям незатопления и неподтопления) расходы воды в нижний бьеф;

зона максимальных сбросов (принудительной сработки водохранилища). В этой зоне по условиям безопасности сооружений гидроузла открываются все водосбросные отверстия. В верхней части этой зоны может выделяться подзона, в которой включается и сброс воды через сооружения, непосредственно для этого не предназначенные (например, судоходные шлюзы при их наличии в составе гидроузла). Могут также выделяться подзоны с постепенным наращиванием открытых затворов водосбросов. Верхней границей этой зоны является отметка форсированного подпорного уровня (ФПУ), который не превышает в условиях любой водности, вплоть до расчетной поверочной.

Параметры интервалов регулирования – периодов, на которые устанавливается режим работы водохранилища, назначаются исходя из фазы водности внутри водохозяйственного года. Для периода половодья их продолжительность составляет одну декаду или одну пентаду, в период межени – один месяц или одну декаду. Даты начала интервалов регулирования соотносятся с календарными датами таким образом, чтобы даты начала (и окончания) календарных месяцев не попадали внутрь интервала регулирования.

Для обеспечения надежной работы энергосистемы в период пропуска максимальных расходов воды и интенсивного роста притока воды к водохранилищу интервал регулирования определяется равным одним суткам или менее того.

### *Порядок назначения режимов работы водохранилища по диспетчерским графикам*

1. Отдача водохранилища назначается исходя из расчетного значения уровня воды в нем на конец конкретного интервала регулирования таким образом, чтобы средние за интервал значения расходов воды (отдач) были равны соответствующим значениям той зоны (подзоны) диспетчерского графика, в пределах которой окажется расчетная отметка уровня воды в конце интервала регулирования. Таким образом, изменение режима работы водохранилища может осуществляться до пересечения линий, разграничивающих режимные зоны диспетчерского графика.

2. При назначении режимов работы водохранилища на поле диспетчерского графика наносится отметка уровня воды, по которому осуществляется ведение режима работы рассматриваемого водохранилища на начало расчетного интервала времени (интервала регулирования) и определяется режимная зона, в которой начинает работать гидроузел в этот интервал времени. В соответствии с определенной зоной определяются средний в интервале расход в нижнем бьефе гидроузла и расходы подачи воды потребителям. Расчет отметки уровня воды на конец интервала регулирования выполняется по заданному расходу в нижний бьеф, расходам подачи воды потребителям и притоку в водохранилище (прогнозируемому или оценочному).

При построении диспетчерских графиков устанавливаются следующие порядки, допуски и ограничения:

допускаемые на конец расчетного интервала отклонения от устанавливаемых диспетчерскими правилами отметок уровней воды и соответствующих им расходов;

порядок использования гидрологических прогнозов притока воды в рассматриваемое водохранилище;

ограничения на внутрисуточные и внутринедельные изменения режимов работы гидроузлов;

условия и порядок введения ограничений на режимы работы гидроузлов зимой;

особенности пропуска максимальных расходов (половодья и паводков) через гидроузлы.

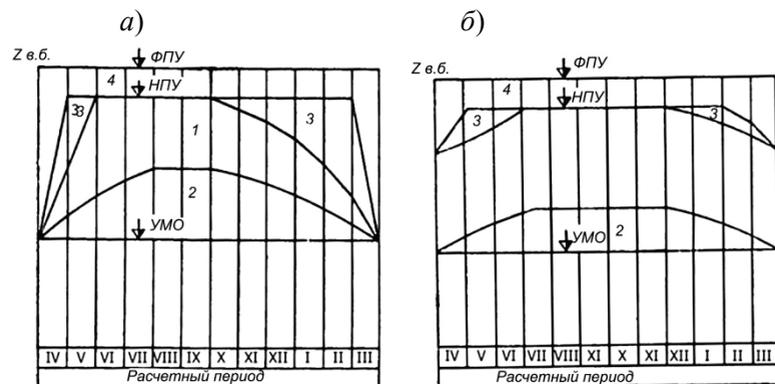


Рис. 16.1. Диспетчерские графики работы водохранилищ:

- a* – годового регулирования; *б* – многолетнего регулирования стока;  
 1 – зона гарантированной отдачи; 2 – зона перебоев или сниженной, относительно гарантированной, отдачи; 3 – зона отдачи сверхгарантированной;  
 4 – зона максимальных сбросов (принудительной сработки водохранилища)

К характерным линиям диспетчерского графика относятся следующие:

1. *Противоперебойная линия*, представляющая собой верхнюю границу гарантированной отдачи и отделяющая зону гарантированной отдачи от зоны повышенной отдачи. Состоит из двух ветвей:

ветвь опорожнения (сработки), ограничивающая упомянутую зону в период межени и не допускающая чрезмерной сработки водохранилища;

ветвь весеннего наполнения, обеспечивающая к концу половодья необходимый запас воды в водохранилище для поддержания отдачи в межень.

2. *Линия урезанной или пониженной отдачи*, представляющая собой нижнюю границу гарантированной отдачи.

3. *Противосбросовая (противосбросная) линия* представляет собой нижнюю границу зоны с отдачей, повышенной в пределах максимального водопотребления установки (во избежание сбросов) и состоящая из двух ветвей:

ветвь предполоводного опорожнения, обеспечивающая сработку к началу половодья всей полезной емкости водохранилища для аккумуляции высоких вод;

ветвь наполнения, предотвращающая чрезмерно быстрое наполнение водохранилища (во избежание сбросов).

Противоперебойная и противосбросовая (противосбросная) линии своими ветвями охватывают весь сезонный объем водохранилища (полезный объем при сезонном регулировании и сезонную составляющую объема при многолетнем регулировании).

#### Сток фаз, используемый для расчета основных линий диспетчерского графика при сезонном регулировании стока

Линия диспетчерского графика	Сток фазы	Порядок расчета
Противоперебойная	а) ветвь сработки	С конца межени ходом назад от уровня УМО или сработанного полезного объема
	б) ветвь наполнения	С конца половодья ходом назад от уровня НПУ или наполненного полезного объема
Противосбросовая	а) ветвь сработки	С конца межени ходом назад от уровня УМО или сработанного полезного объема
	б) ветвь наполнения	С конца половодья ходом назад от уровня НПУ или наполненного полезного объема
Линия ограничений	Межень расчетной обеспеченности $p(M_p)$	С конца межени ходом назад

Все характерные линии строятся навстречу ходу времени, то есть ходом назад, причем ветви наполнения противоположной линии строятся от НПУ до уровня ежегодной сработки водохранилища  $Z_{\text{еж.срб}}$  (до УМО при сезонном регулировании и до уровня

**Сток фаз, используемый для расчета основных линий диспетчерского графика при многолетнем регулировании стока**

Линия диспетчерского графика	Сток фазы	Порядок расчета
Противоперебойная	а) ветвь сработки	С конца межени ходом назад от уровня ежегодной сработки или сработанной сезонной составляющей полезного объема
	б) ветвь наполнения	С конца половодья ходом назад от уровня НПУ или наполненного полезного объема
Противосбросовая	а) ветвь сработки	С конца межени ходом назад от уровня ежегодной сработки или сработанной сезонной составляющей полезного объема
	б) ветвь наполнения	С конца половодья ходом назад от уровня НПУ или наполненного полезного объема
Линия ограничений	Межень года со стоком, равным отдаче (гарантированному расходу воды)	С конца межени ходом назад от уровня УМО или сработанного полезного объема

опорожнения сезонной составляющей при многолетнем регулировании), а ветви сработки тех же линий от  $Z_{\text{еж.срб}}$  до НПУ.

На практике границы фаз чаще всего совмещают с началом месяцев и выбирают по данным средних многолетних месячных расходов воды.

Статистические характеристики для сезонных объемов стока (весна, межень) и расчетные величины определяются в жестких декадных датах с таким расчетом, чтобы половодье вмещалось в весенний сезон при ранних и поздних датах его начала. Одновременно с назначением жестких дат весеннего сезона определяются постоянные границы межени.

Элементы диспетчерских графиков образуются построением огибающих соответствующих линий сработки и наполнения водохранилища. Расчет и построение элементов диспетчерских графиков начинается с ветви сработки противоположной линии, поскольку при таком порядке расчета, помимо основной задачи – построения противоположной линии – уточняется сезонный объем (рис. 16.2).

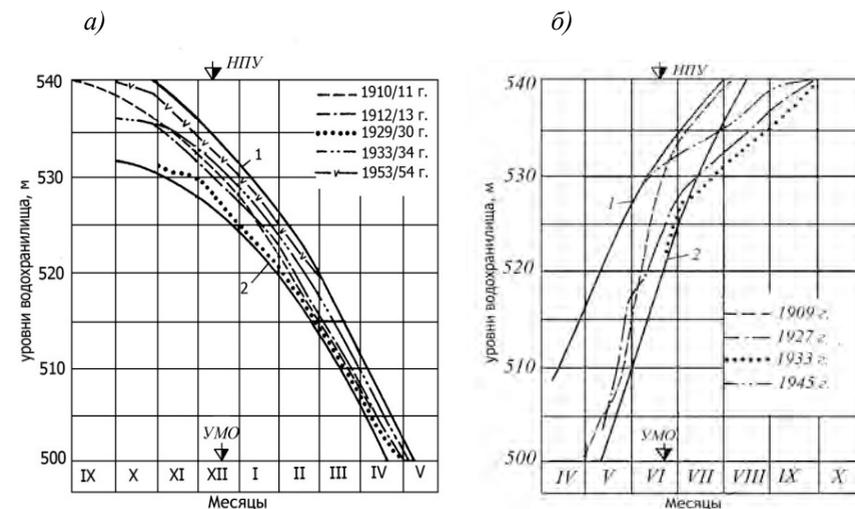


Рис.16.2. Построение ветвей противоположной линии диспетчерского графика: а – ветви сработки: 1 – верхняя огибающая; 2 – нижняя огибающая; б – ветви наполнения при раннем (1) и позднем (2) половодье

Построенные указанным путем отдельные элементы сводятся в единый диспетчерский график, на основе которого осуществляются расчеты регулирования и эксплуатации водохранилища.

*Порядок использования графиков, корректировка графиков с учетом изменения стока*

Порядок использования водных ресурсов водохранилища должен быть установлен в соответствии с диспетчерскими графиками.

При уровне воды в водохранилище, соответствующем одной из зон диспетчерского графика, назначается режим работы водохранилища ГЭС.

Если уровень воды в водохранилище имеет отметку, находящуюся вблизи нижней границы зоны гарантированной отдачи, а тенденция хода уровня приведет его к отклонению вниз, за пределы зоны гарантированной отдачи, необходимо скорректировать отдачу из водохранилища с тем, чтобы обеспечить урезанную гарантированную отдачу потребителям согласно установленному приоритету. Аналогично, если отметка уровня вблизи верхней границы зоны повышенной отдачи, необходимо провести коррекцию работы водохранилища.

Диспетчерские графики подлежат пересмотру и уточнению по мере изменения:

- условий работы ГЭС;
- глубины регулирования стока;
- гидрологических характеристик реки;
- состава регулирующих сток водохранилищ в бассейне реки;
- состава водопользователей;
- требований участников ВХК и т. д.

*Пример составления графиков на гидроузле с глубокой сработкой (Саяно-Шушенский гидроузел)*

Водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС полезным объемом  $15,8 \text{ км}^3$ , осуществляет годовое регулирование стока (рис. 16.3). Водные ресурсы его используются многопланово – водоснабжение, судоходство, снижение угрозы наводнений, выработка электроэнергии.

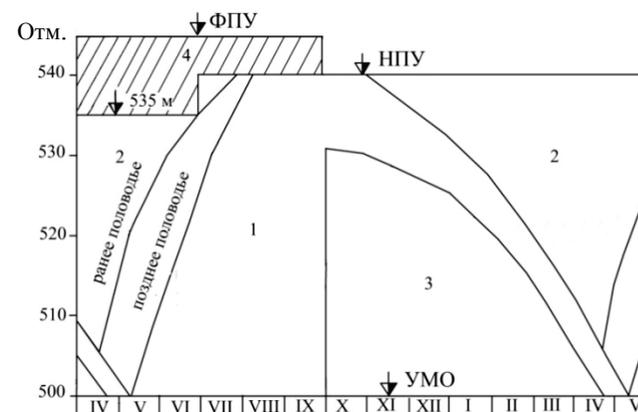


Рис. 16.3. Диспетчерский график управления работой водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС:

1 – зона гарантированной отдачи ( $Q=Q_{\text{гар}}$  в летний период и  $N=N_{\text{гар}}$  в зимний период);  
2 – зона повышенной отдачи; 3 – зона урезанной отдачи; 4 – зона работы водосброса и ГЭС

Требования судоходства обеспечиваются навигационными попусками из водохранилища в период с мая по октябрь на уровне естественных расходов  $1100 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Расчеты выполняются в следующем порядке (см. рис. 16.2):

*1. Противоперебойная линия – ветвь сработки*

Для расчета ветви сработки противоперебойной линии отобраны годы со стоком межени, близким к 95% обеспеченности. Сток перечисленных межени приводится к  $W_{\text{мпр}}$  умножением на соответствующие коэффициенты приведения.

Расчет ветвей сработки ведется ходом назад от отметки, соответствующей УМО=500 м с момента, когда расходы на подъеме половодья равны  $Q_{\text{гар}}=1140 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $Q_{95\%}$ ).

Каждой межени-модели соответствует своя линия сработки водохранилища. Верхняя огибающая всех межени принимается за ветвь сработки противоперебойной линии диспетчерского графика, нижняя огибающая принимается за линию урезанной отдачи.

*2. Противоперебойная линия – ветвь наполнения*

Для расчета ветви наполнения отобрано 5 лет с объемом стока половодья, близким к расчетному, обеспеченностью 95%. По

всем годам проведены расчеты ходом назад, то есть от заполненного до НПУ водохранилища. Наполнение начинается с объема 31,34 км<sup>3</sup>, то есть при НПУ = 540 м. Каждому половодью отвечает своя линия наполнения и в совокупности обрисовывается широкая полоса. Верхняя огибающая принимается за ветвь наполнения противоперебойной линии при раннем половодье, а нижняя — при позднем половодье.

3. Все линии совмещаются на графике. В результате получен диспетчерский график управления работой водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС. На диспетчерском графике с мая по октябрь выделена зона с расходами, обеспечивающими условия навигации в верхнем бьефе.

### Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные функции диспетчерского графика.
2. Какие исходные данные требуются для составления диспетчерского графика?
3. Назовите характерные зоны диспетчерского графика.
4. Назовите характерные линии диспетчерского графика.
5. Когда диспетчерские графики подлежат пересмотру и уточнению?
6. Какая линия диспетчерского графика соответствует верхней границе гарантированной отдачи?
7. Какая линия диспетчерского графика соответствует нижней границе гарантированной отдачи?

### Список рекомендуемой литературы к главе 16

1. **Плешков Я.Ф.** Регулирование речного стока. Водохозяйственные расчеты. Л.: Гидрометеиздат. 1971.
2. **Арсеньев Г.С.** Основы управления гидрологическими процессами: водные ресурсы. Учебник. СПб.: изд. РГГМУ. 2005.
3. **Колесников С.И.** Экологические основы природопользования. М.: ИКЦ «Март». г. Ростов-на-Дону. 2005.
4. **Гидроэнергетика** и комплексное использование водных ресурсов СССР / Под общей редакцией П.С. Непорожного. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Энергоиздат. 1982.

5. **Водный** кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ, ст.45.
6. **Методические** указания по разработке правил использования водохранилищ, утв. Приказом Минприроды от 26.01.2011 № 17.
7. **Распоряжение** Правительства РФ от 14.02.2009 N 197-р «О перечне водохранилищ».
8. **Положение** о разработке, согласовании и утверждении правил использования водохранилищ, в том числе типовых правил использования водохранилищ.
9. **Приказ** Минприроды РФ от 24.08.2010 N 330 «Об утверждении типовых правил использования водохранилищ» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 17.09.2010 № 18461).

## Глава 17

### НАБЛЮДЕНИЯ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ ЗА ПЕРЕРАБОТКОЙ БЕРЕГОВ. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ БЕРЕГОВ ОТ ПЕРЕРАБОТКИ

Создание водохранилищ оказывает влияние на экзогенные геологические процессы, вызывая изменение формы (переработку) берегов. Берегами водохранилищ становятся поверхности пойменных и надпойменных террас, коренные берега долин.

При образовании водохранилищ в результате изменения уровней, фильтрационного режима, волновых воздействий и т.д. идет процесс переформирования берегов, особенно интенсивно протекающий в первые годы после заполнения водохранилища.

Величина переработки существенно зависит от геологического строения береговой зоны: минимальная при скальных грунтах, значительно возрастает при мягких грунтах и может достигать 1–2% площади затопления. При неблагоприятных инженерно-геологических условиях создание водохранилища может привести к обрушению береговых массивов, что может представлять угрозу безопасности гидроузла и привести к аварийной ситуации.

Различают четыре стадии эволюции берегов и котловин равнинных водохранилищ:

1. Начальная стадия, связанная с периодом первоначального наполнения водохранилищ, когда происходят интенсивные переформирования склонов и береговой полосы;
2. Стадия преобладания абразионно-аккумулятивных процессов в прибрежной зоне и интенсивного переформирования ложа;
3. Стадия преобладания неволновых аккумулятивных процессов в прибрежной зоне и слабого преобразования рельефа глубоководной зоны;

4. Стадия разделения водохранилища на отдельные изолированные котловины.

В развитии берегов и котловин, характерном для горных водохранилищ, выделяются три стадии:

1. Начальная стадия, связанная с периодом первоначального наполнения, характеризуется перестройкой первичного рельефа котловины; сопровождается значительными изменениями береговой полосы (оползни, обвалы и т. п.), а также интенсивным заилением русла в верховой зоне;

2. Стадия активного переформирования берегов и заиления котловин;

3. Стадия отмирания, полного заиления и занесения водохранилища, формирования речного водотока.

В развитии берегов и котловин озерных водохранилищ стадия интенсивного переформирования берегов и ложа сменяется стадией затухания переработки берегов и слабого преобразования ложа.

При создании крупных водохранилищ рассматриваются три основных этапа: проектирование, строительство и эксплуатация.

При проектировании собирают и изучают топогеодезический, метеорологический, гидрологический, геолого-геоморфологический, инженерно-геологический и гидрогеологический материалы ранее проведенных работ и исследований. В составе проектной документации разрабатывают проект мониторинга, в который входят основные положения наблюдений за состоянием береговой линии водохранилища.

Мероприятия по защите берегов от переработки (как в верхнем так и в нижнем бьефах гидроузлов) разрабатывают в составе проектной документации.

Натурные наблюдения за состоянием береговой линии водохранилищ должны быть организованы со времени образования водохранилищ и продолжаться в течение всего времени строительства ГТС и эксплуатации комплекса.

Объем и периодичность натуральных наблюдений первоначально устанавливаются проектом, в дальнейшем могут быть внесены изменения на основании результатов наблюдений в зависи-

мости от состояния берегов и изменений технических требований к контролю.

В состав наблюдений должны входить плановые и внеочередные осмотры после чрезвычайных стихийных явлений (паводки низкой обеспеченности, штормы, землетрясения) или аварий.

Для контроля за развитием русловых процессов и оценки их влияния на переработку берегов должны проводиться следующие наблюдения:

- за режимами водотока и расходами воды;
- за состоянием берегов в зоне расположения гидротехнических сооружений, волновыми процессами;
- за процессами льдо- и шугообразования в зимний период, заторными и зажорными явлениями;
- за отложением наносов, размывами подводных частей сооружений, креплением дна и откосов.

Для контроля за состоянием водохранилища должна регулярно поступать гидрологическая и метеорологическая информация от органов Роскомгидромета, с которым заключается соглашение (договор) на передачу следующих материалов:

- текущие гидрологические данные по водотоку и прогнозы по ним;
- текущие метеорологические данные и прогнозы по ним;
- предупреждения о возможных стихийных бедствиях, их сроках и силе.

Наблюдения за деформацией берегов водохранилища под воздействием ветровых волн производятся нивелировкой надводных и промерами подводных частей берегов на закрепленных створах.

На участках с обнаруженными значительными размывами промеры производятся в дополнительных точках с таким расчетом, чтобы зафиксировать границы и местоположение всей зоны размывов.

В водохранилищах, расположенных в зонах многолетнемерзлых пород, следует вести наблюдения за криогенными процессами (оттаивание мерзлых пород) и деформациями в ложе водохранилища, зоне сработки, береговых прибрежных зонах, районе гидроузла и ограждающих дамб.

Весенний технический осмотр проводится с целью освидетельствования технического состояния сооружений после таяния снега или зимних дождей, установления объемов работ по текущему ремонту в летний период и выявления необходимости капитального ремонта.

Осенний технический осмотр проводится ежегодно за 1,5 месяца до наступления морозов.

### *Мероприятия по защите берегов от переработки*

#### *1. Прогноз переработки берегов*

Прогноз переработки берегов выполняется при проектировании и играет важную роль, так как на его основе выполняется планирование рационального использования и охраны прибрежных территорий. Прогноз используется для решения вопроса о необходимости применения берегозащитных сооружений и мероприятий.

По пространственному признаку прогнозы следует подразделять на региональные, охватывающие всю береговую зону водохранилища или значительную ее часть, и локальные, приуроченные к небольшому по протяженности участку, где планируется осуществление конкретных инженерных мероприятий.

Для прогноза переработки берегов на проектируемых водохранилищах при отсутствии фактических данных о развитии процессов переработки берегов применяют метод аналогий, используя в качестве объектов-аналогов водохранилища, расположенные в сходных климатических и инженерно-геологических условиях из числа эксплуатируемых водохранилищ. Подбор аналогов наиболее эффективен для малых и средних водохранилищ, так как каждое из крупных водохранилищ обладает существенной индивидуальной спецификой.

Характер и динамика переработки берегов, размер зоны переработки зависят от ряда основных факторов. В группу основных *гидрометеорологических факторов* входят:

- ветроволновой режим водохранилища;
- уровневый режим;
- скоростной и ледовый режимы;
- вдольбереговые движения наносов;

при расположении водохранилищ в районах с суровым климатом, наличием многолетнемерзлых пород – развитие криогенных процессов, активизирующихся при создании водохранилища в связи с отепляющим воздействием воды водохранилища.

В группу *геологических и геоморфологических факторов* входят:

геологическое строение, включая комплексы горных пород, условия их залегания; для скальных пород – тектонические структуры, трещиноватость, современные тектонические движения, физико-механические свойства пород;

геологические процессы, включая оползни, обвалы, карст;

гидрогеологические условия и их изменения, связанные с урвневным режимом водохранилищ;

форма, высота, крутизна, изрезанность берегового склона.

К прочим факторам относятся задернованность склонов, зарастание дна и подводных отмелей водной растительностью, оказывающей волногасящий эффект.

Под их воздействием происходит переформирование профиля берега в условиях водохранилища в результате волновой абразии, оползневых, обвальных, просадочных, суффозионных, эрозийных и других процессов в зоне уреза уровней воды; процессов аккумуляции образовавшегося грунтового материала в приустьевой зоне в подводной части с переносом части материала волновыми течениями в сторону водохранилища (что приводит к его заилению) и вдольбереговыми течениями – на другие участки. Процессы абразии и аккумуляции приводят к образованию двух основных групп берегов: абразионных и абразионно-аккумулятивных.

Процесс аккумуляции возрастает, если грунт крупнозернистый, и уменьшается, если грунт мелкозернистый. Развитие процессов аккумуляции усложняется при значительных и частых сработках уровней водохранилища, когда происходит размыв отмели. Во взаимодействии волн с берегом образовавшаяся береговая отмель по мере ее роста начинает выполнять волногасящую роль.

Процесс переработки берегов существенно зависит от показателей размываемости и растворимости, исходя из чего можно выделить породы очень легко размываемые, к которым относятся

мелко- и среднезернистые пески и супеси, и легко размываемые – лессовые породы.

При эксплуатации водохранилищ урвневый и волновой режимы обычно существенно отличаются от проектных в условиях реального стока реки в разные годы и, соответственно, изменяющегося водопотребления. Урвневый режим оказывает существенное влияние на переформирование берегов, особенно в условиях глубоких и узких водоемов со сработкой в десятки метров (что характерно для многих водохранилищ в горных и предгорных районах). В таких условиях волновой режим может выполнять подчиненную роль, а значительную роль играют геологические факторы, включая выветривание пород в зоне изменения уровней, неравномерное обводнение склона, гидродинамическое давление, активизацию оползневых, карстовых и др. процессов.

Важнейшее значение для повышения достоверности прогноза переработки берегов водохранилищ имеет разработка максимально приближенных к реальным условиям инженерно-геологических моделей строения склонов и процессов переработки.

Прогноз зоны переработки берегов обычно выполняется за 10 и 50 лет эксплуатации водохранилища. Из зоны десятилетней переработки обычно выносятся, а земли отчуждаются.

При прогнозировании динамики переформирования берегов на длительный период целесообразно периодически уточнять прогноз на основе данных натурных наблюдений за фактическим ходом переработки.

Опыт длительной эксплуатации крупных водохранилищ показал, что во времени процессы переформирования берегов постепенно затухают, хотя во многих случаях эти процессы характеризуются неравномерностью и нестационарностью, не имеют резко выраженного затухающего характера и определяются конкретными условиями. Как показывают многолетние наблюдения на Камском водохранилище, процесс переработки закарстованных берегов идет с незатухающей интенсивностью.

## 2. Мониторинг состояния берегов

В составе мониторинга следует проводить комплекс натуральных наблюдений за режимом грунтовых вод, инженерно-геоло-

гических процессов на берегах водохранилищ и пр., анализ развития деструктивных процессов переработки берегов и прогноз неблагоприятных явлений.

### 3. Крепление берегов водохранилища для защиты от переработки

Для защиты от переработки прибрежной зоны широко используются различные типы креплений (железобетонные, из камня, биологические – путем посадки быстрорастущих берегоукрепляющих растений, подпорные стенки, буны, волноломы).

В состав крепления откоса входят пять конструктивных частей (рис. 17.1):

основное покрытие (крепление), защищающее земляной откос в зоне наиболее интенсивного механического действия волн, льда и других факторов, могущих вызвать его размыв;

переходная часть в виде подготовки или обратного фильтра, которая служит, главным образом, для сопряжения покрытия с земляным откосом, для защиты от выноса (суффозии) частиц грунта откоса при проницаемом покрытии или для дренирования берегового откоса при высоком уровне грунтовых вод и резком колебании уровня водоема;

облегченное крепление или покрытие с соответствующей подготовкой на откосе и дне в зоне ослабленных механических влияний действующих факторов;

упор внизу основного крепления для предотвращения сползания покрытия по откосу и сопряжения основного крепления с облегченным на дне или на откосе;

парапет, позволяющий снизить отметку верхней границы крепления.

Сборное железобетонное покрытие с открытыми швами обычно выполняют из плит, соединяемых шарнирными связями из арматуры, что придает конструкции гибкость и повышенную водонепроницаемость.

Основное покрытие из каменной наброски выполняют с использованием сортированного или несортированного по фракциям материала. Применение однородного сортированного камня требует специального технико-экономического обоснования, особен-

но при высоте расчетных волн, достигающих и превышающих 2 м, когда используются камни значительной крупности.

Переходную часть крепления – подготовку под сплошными и сквозными покрытиями выполняют однослойной из разнозернистого материала или слоистой из двух-трех слоев различного по крупности материала, подобранного по типу обратного фильтра или по правилам, учитывающим условия волнового воздействия.

Облегченное крепление подводного откоса и покрытие дна или защитную пригрузку применяют ниже основного крепления, где вследствие уменьшенной интенсивности воздействий волн, льда и других факторов не требуются более капитальные конструкции. Облегченное покрытие обычно выполняют из одного слоя разнозернистого щебня, гравия, галечника или набросанного мелкого камня, реже – из железобетонных плит. Зерновой состав материала этого покрытия должен обеспечивать достаточную его устойчивость от размыва и препятствовать суффозии грунта откоса через пригрузку. Облегченное крепление вдоль нижней границы сопрягают зубом с земляным откосом, а вдоль верхней границы сопрягают с упором основного крепления.

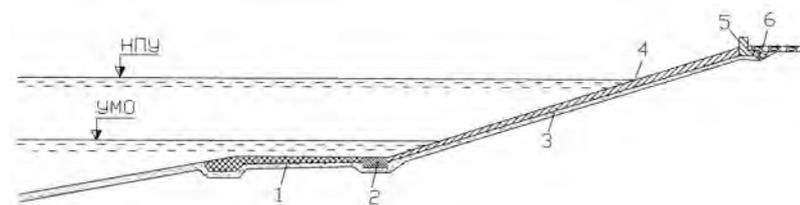


Рис.17.1. Пример конструкции откосного крепления из монолитного или сборного омоноличиваемого железобетона на подготовке:

1 – облегченное крепление; 2 – упор основного крепления; 3 – подготовка; 4 – основное железобетонное покрытие; 5 – парапет; 6 – засыпка из рядового щебня или крупнообломочного грунта

Упоры креплений при сплошных монолитных и сборных железобетонных покрытиях выполняют в виде заглубленных в грунт железобетонных плит или железобетонных блоков, а иногда в виде каменных призм или ряда свай. Высота упора не должна быть меньше суммарной толщины плиты покрытия и подготовки.

При устройстве упора в виде плиты ширину ее назначают не менее 1,5–2 м.

Под упорные плиты укладывают подготовку из рядового щебня или гравия толщиной слоя 15 см. Между упорной плитой и облегченным креплением дна устраивают прорезь, заполняемую камнем. Нижний ряд плит покрытия соединяют с упорами жесткими связями.

Монолитные сплошные железобетонные покрытия применяют при высоте расчетной волны более 2 м и сложении откосов из грунтов, требующих достаточно жестких креплений.

Сборные железобетонные покрытия из омоноличиваемых плит применяют при необходимости сокращения сроков строительства и комплексной механизации работ, требовании водо- и грунтопроницаемости покрытия.

Сборные железобетонные покрытия из плит с открытыми швами применяют при значительной неравномерности осадки откоса; интенсивном изменении уровня воды в водоеме и в грунте откоса; выходе на откос фильтрующихся или изливающихся подземных вод; агрессивном действии сред; необходимости укрепления подводных откосов; производстве работ в зимнее время; необходимости сокращения сроков строительства и комплексной механизации работ; условиях эксплуатации, отрицательно влияющих на прочность и долговечность омоноличивающего заполнителя швов.

Каменную наброску применяют при значительной агрессивности воды – среды, содержащей вредные химические примеси большой концентрации; сложении откосов из грунтов с растворимыми вредными примесями; повышенных требованиях по долговечности покрытия; значительной неравномерности осадки откосов; необходимости укрепления подводных откосов; производстве работ в зимнее время.

Для оценки эффективности построенных берегозащитных сооружений и их влияния на природную среду и экологическую обстановку на защищаемом участке побережья и соседних с ним в проекте необходимо предусмотреть организацию наблюдений за работой и состоянием берегозащитных сооружений, природными и антропогенными (техногенными) факторами, воздействующими на них и береговую зону, а также за экологической обстановкой.

Такие наблюдения осуществляются на всех стадиях строительства и эксплуатации берегозащитных сооружений.

### Вопросы для самопроверки

1. От каких природных и антропогенных факторов зависит переработка береговой линии водохранилища?
2. Назовите стадии эволюции берегов и котловин равнинных водохранилищ.
3. Назовите стадии эволюции берегов и котловин горных водохранилищ.
4. Как определяется состав и периодичность наблюдений за береговой линией при проектировании водохранилищ?
5. Какие наблюдения должны проводиться для контроля развития русловых процессов и оценки их влияния на переработку берегов?
6. Какие наблюдения проводятся в период строительства и эксплуатации гидроузла за береговыми примыканиями гидротехнических сооружений?
7. Какие мероприятия проводятся для защиты берегов водохранилища от переработки?
8. Какие виды креплений берегов водохранилищ используются для защиты от переработки?
9. Какие конструктивные части входят в состав крепления берегового откоса водохранилища?
10. Когда применяются сборные железобетонные покрытия из омоноличиваемых плит, из плит с открытыми швами, каменная наброска?

### Список рекомендуемой литературы к главе 17

1. **Мелиорация** и водное хозяйство. 4. Сооружения: Справочник / Под ред. П.А.Полад-Заде. М.: Агропромиздат. 1987.
2. **Гидротехнические** сооружения / Г.В.Железняков, Ю.И.Ибад-Заде, П.Л.Иванов и др.: Под общ.ред.В.Г.Недриги. М.: Стройиздат. 1983.
3. **Гидроэнергетика** и комплексное использование водных ресурсов СССР / Под общей редакцией П.С.Непорожного. Изд.2-е. перераб. и доп. М.: Энергоиздат. 1982.
4. **Сольский С. В., Ладенко С. Ю., Моргунов К. П.** Инженерная мелиорация: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Издательство «Лань». 2018.
5. **Методические** рекомендации по прогнозированию перестроения водохранилищ. П 30-75 ВНИИГ. Л.: ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева. 1975.
6. **Словарь-справочник** гидротехника-мелиоратора. М.: Гос. изд-во сельскохозяйственной литературы. 1955.
7. **Правдивец Ю. П.** Инженерно-мелиоративные сооружения. М.: АСВ. 1998.
8. **Будин А.Я., Демина Г.А.** Набережные: Справ. пособие. М.: Стройиздат. 1979.

## Глава 18

### **БЕЗОПАСНОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ. УЧЕТ ОПАСНЫХ СЦЕНАРИЕВ РАЗРУШЕНИЯ ПОДПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОУЗЛОВ**

Гидроузлы с большими водохранилищами несут потенциальную угрозу окружающей среде в случае их разрушения, соизмеримую с такими природными катастрофами, как наводнения. Аварии приводят к тяжелейшим последствиям для окружающей среды, включая гибель людей, огромные материальные потери, экологические нарушения и др.

Все случаи аварий, их причины тщательно анализируются специалистами, в том числе Международной комиссией по Большим плотинам (ICOLD). На основе такого анализа, накопления знаний вырабатываются рекомендации, направленные на повышение надежности гидротехнических сооружений. Из всех больших плотин, построенных до 1900 г., было разрушено 4%, до 1950 г. – 2,2%, в период 1950–1986 гг. – 0,5%.

В последние десятилетия в гидротехническом строительстве наблюдается тенденция увеличения высоты плотин и объемов водохранилищ, многие из которых аккумулируют десятки кубических километров воды. Более того, большие плотины возводятся во все более сложных природных условиях, и с учетом значительного возрастания нагрузок на сооружения напорного фронта, ложе и берега водохранилища возрастает возможность их повреждений и аварий.

Поэтому вопросы обеспечения безопасности напорных сооружений гидроузлов являются главнейшими при проектировании, строительстве и в процессе эксплуатации.

Обеспечение безопасности гидроэнергетических сооружений регламентируется законодательством всех стран. Основным правовым актом в области обеспечения безопасности гидротехнических сооружений в Российской Федерации является Федеральный Закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений». Закон регулирует отношения, возникающие при осуществлении деятельности по обеспечению безопасности при проектировании, строительстве, вводе в эксплуатацию, эксплуатации, реконструкции, восстановлении, консервации и ликвидации гидротехнических сооружений, устанавливает обязанности органов государственной власти, собственников гидротехнических сооружений и эксплуатирующих организаций по обеспечению безопасности этих сооружений.

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

*Обеспечение безопасности гидротехнического сооружения* – это разработка и осуществление мер по предупреждению аварий гидротехнического сооружения.

Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений (управление риском аварий) включает следующие основные этапы:

- сбор и анализ информации о гидротехнических сооружениях;
- анализ риска аварий гидротехнических сооружений;
- оценка риска и, при необходимости, регулирование (уменьшение) риска путем разработки и осуществления мер по предупреждению аварий гидротехнических сооружений.

На этапе проектирования ГТС целью анализа риска может быть:

- идентификация возможных опасностей и сравнительная оценка риска аварий ГТС для различных вариантов его размещения и проектных решений при обосновании оптимального варианта;

- обоснование приемлемости риска аварий проектируемого ГТС для персонала, населения, имущества и окружающей природной среды территории;

обеспечение информацией для разработки инструкций по обеспечению безопасности проектируемого ГТС, планов ликвидации аварийных ситуаций, планов действий в чрезвычайных ситуациях и т.д.;

обоснование страховых тарифов и ставок для заключения договора страхования гражданской ответственности объекта – владельца ГТС;

разработка декларации безопасности проектируемого ГТС.

Предварительный анализ опасностей и разработка сценариев аварий на ГТС разрабатываются в документе «Расчет вероятного вреда при аварии ГТС».

Расчет вероятного вреда при аварии ГТС разрабатывается для сценариев наиболее тяжелой и наиболее вероятной аварий для определения размера вероятного вреда в денежном отношении.

*Аварийные ситуации* могут быть следствием природных факторов в результате землетрясений, паводков, превышающих расчетные значения, ошибок при проектировании, строительстве и эксплуатации, диверсий.

*Основными причинами аварий плотин* являются:

перелив воды через гребень плотины при больших паводках в связи с недостаточной пропускной способностью водосбросов;

неблагоприятные воздействия фильтрационного потока в теле плотины и ее основании и вызванные этим суффозионные процессы;

суффозия (механическая и химическая) – изменение гранулометрического состава и структуры грунта вследствие выноса фильтрационным потоком его отдельных частиц или растворения содержащихся в грунте водорастворимых солей или их вымыва, в результате чего возможно нарушение прочности грунта;

недостовверная оценка инженерно-геологических условий;

старение материалов сооружений;

грубые нарушения правил эксплуатации гидроузлов и водохранилищ;

отсутствие или низкий профессиональный уровень контроля и оценки состояния гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации, несвоевременное принятия мер по предотвращению аварийной ситуации.

Анализ данных отказов, повреждений и аварийных ситуаций на ГЭС мира показали, что они были вызваны:

природными процессами (паводки, землетрясения, оползни и обвалы) – 30 %;

техноприродными процессами (фильтрация, суффозия, эрозия, осадка, просадка, деформации сдвига, криогенные процессы) – 46%;

техногенными процессами, связанными с дефектами проекта, строительства и оборудования) – 24 %.

Следует отметить, что до 40 % происшедших инцидентов и аварий плотин, так или иначе связаны с нарушениями в работе контактной зоны плотины и ее основания.

Австрийский геотехник Л. Мюллер писал: «...Плотина должна вступить с основанием в брак, однако большей частью это брак бывает неравным: она молода и красива, стройна и хорошо сложена, он дряхл и слаб, его лицо посечено морщинами и трещинами. Ему достаются все тяготы, которые он терпеливо переносит, будучи к счастью умнее, чем все ее расчеты, и сам справляется с трудностями. Если же он становится слабым, он получает инъекции. Если же, несмотря ни на что, он теряет внутреннее равновесие, то он разрушается. Тогда приходит конец и ее существованию».

Именно зона сопряжения плотин с основанием требует особого внимания при обеспечении их безопасности.

Наиболее серьезные последствия имеют аварии, связанные с прорывом напорного фронта ГТС и оползнями.

#### *Прорыв напорного фронта гидроузла*

Прорыв напорного фронта гидроузлов приводит к человеческим жертвам, огромным материальным потерям, к тяжелейшим последствиям для окружающей среды. На урбанизированной территории, в зоне возможных затоплений часто находится множество промышленных предприятий, складов различных материалов, отходов производства и других объектов, разрушение которых может принять масштабы экологической катастрофы трансграничного характера.

В 1923 г. в результате разрушения арочно-гравитационной плотины Глено (Италия) высотой 75 м погибло около 500 чел., в

1927 г. разрушение гравитационной плотины Сент-Френсис (США) высотой 63 м привело к гибели свыше 400 чел., убытки составили 10 млн долларов.

В 1976 г. разрушение грунтовой плотины Титон (США) высотой 93 м принесло ущерб до 1 млрд долларов, человеческие жертвы оказались относительно небольшими благодаря своевременному оповещению населения в опасной зоне.

Авария развивалась следующим образом. При наполнении водохранилища в 150 м ниже плотины появились ключи, расход по которым начал увеличиваться. Затем в основании плотины появилось отверстие, через которое стала вытекать мутная вода с глинистыми частицами. Расход воды увеличился до 20 м<sup>3</sup>/с. Началась сработка нижележащих водохранилищ и эвакуация населения. На верхней грани появилась воронка, через которую уходила вода, гребень плотины провалился. В течение часа с водой вынесло около 3000 м<sup>3</sup> грунта, и плотина разрушилась.

Стоимость строительства плотины составляла 40 млн долларов, а последствия аварии обошлись в 25 раз дороже стоимости сооружения.

При проектировании плотины были допущены ошибки: суглинистое ядро по проекту положили на скальный грунт основания, но при этом суглинок не мог заполнить все неровности и трещины в скале, он завис и образовал полости – пути сосредоточения фильтрации. В результате развития суффозии произошел смыв, вынос частиц, при этом авария нарастала катастрофически. Возник так называемый арочный эффект – грунт завис над твердыми стенками, а сжимающие напряжения не передавались на основание плотины. Постепенно суглинистое ядро было размыто восходящими потоками воды. Только верхняя часть плотины еще держалась в виде арки.

Первым признаком развития аварии был выход ключей ниже плотины. В это время фильтрация воды развивалась по трещинам в скальном основании, затем трещины забились суглинком ядра и начали забиваться поры аллювия, после чего вода устремилась по контакту с аллювием в основание плотины и ядра. Это привело к проседанию тела плотины, развитию воронки в верхней грани и, в результате, к прорыву напорного фронта. Если бы при проектиро-

вании плотины был предусмотрен обратный фильтр (переходный слой) между суглинистым ядром и основанием плотины, авария бы не произошла.

В 1959 г. в результате аварии арочной плотины Мальпасе (Франция) высотой 66 м был разрушен город Фрежюс. В этой аварии погибло более 500 чел. Река Рейран, на которой была построена плотина, полностью высыхает в течение летних месяцев и становится многоводной зимой и весной. Чтобы обеспечить круглый год водопотребление, было решено построить плотину. Геологические изыскания, выполненные в 1946 г., показали, что основание имеет сложную структуру и не подходит для строительства, тем не менее, было решено возвести арочную плотину. Арочная плотина выгнута вверх по течению, при этом давление воды приводит к увеличению давления в береговых примыканиях. Поэтому важное значение для строительства такой плотины имеет геологическое строение основания.

Множество факторов, которые повлияли на эту аварию, сегодня кажутся очевидными. Геологическое строение скального основания не было достаточно исследовано из-за недофинансирования. Но было известно, что в 4-х км ниже по течению плотины велась добыча антрацита (каменного угля), и можно было предположить, что строение основания плотины может привести впоследствии к проблемам. В основании плотины были выявлены суглинистые прослойки в серых кристаллических сланцах и сланцах с большими областями мягкого белого флюорита. В регионе с погодными крайностями (жаркое засушливое лето и зима с проливными дождями) такое строение основания могло вызвать осложнения при эксплуатации плотины, так как различные виды скального грунта на изменение температуры и влажности реагируют по-разному.

Плотину строили два с половиной года. Начатое в день «Жертв первоапрельской шутки» в 1952 г. строительство приостанавливалось несколько раз из-за недостатка финансирования и трудовых споров, длительных периодов отсутствия цемента. Это привело к неомогенной структуре плотины. После строительства плотины в 200 м от нее строили эстакаду, и взрывы при строительстве не могли не оказать влияния на плотину.

Плотина была построена в декабре 1954 г., и водохранилище заполнилось за следующие пять лет. Дожливой осенью, в ноябре 1959 г., вода была все еще на 7 м ниже НПУ, когда небольшая фильтрация была обнаружена по правому берегу. Расходы фильтрации росли быстро, указывая на серьезную опасность, но население не было уведомлено.

Сильный ливень начался 19 ноября и продолжался до декабря, свой вклад внесла волна прилива на средиземноморское побережье 2-го декабря. Водоохранилище заполнилось впервые, вода подошла к гребню плотины. Смотритель плотины пытался сообщить властям, но телефоны не работали из-за забастовки телефонной компании. Когда он наконец дозвонился и попросил разрешения открыть дополнительно затворы, чтобы выпустить часть воды, но власти, чтобы не допустить повреждения новых опор моста, построенного для автострады в 700 м ниже по течению, разрушения не дали.

После большого количества осмотров днем, затвор был наконец открыт в 18:00, и уровень воды начал понижаться. Это было слишком мало и слишком поздно. В 12:13 плотину прорвало, образовалась водяная стена 40 м высотой, которая обрушилась на долину. Непосредственно ниже плотины были несколько зданий, деревни Malpasset, Vozon и участок строительства автострады. Когда произошел прорыв, масса воды оторвала и унесла 600-тонные блоки цемента на 1,7 км вниз по течению, разрушая всё на своем пути. Большинство находящихся здесь людей погибло, включая всю деревню Malpasset и рабочих строительства.

В результате осмотра обломков плотины было обнаружено, что бетон по-прежнему сцеплен с гнейсом. Это свидетельствовало о том, что причиной аварии не была потеря контакта между плотиной и коренной породой. Основная причина катастрофы была установлена лишь через несколько лет. Было обнаружено, что водопроницаемость некоторых пород резко снижалась при сжатии, причем наибольший эффект наблюдался в микротрещиноватых породах таких, как гнейс. Растягивающее напряжение вызывало увеличение проницаемости. Под воздействием давления плотины произошло сжатие гнейса, и его проницаемость уменьшилась примерно до одной сотой от её обычного значения. Сам разлом со-

держал линзы непроницаемых глинистых грунтов и под плотиной создался почти непроницаемый для воды барьер.

Для зоны растяжения в гнейсе под краевой частью водохранилища была характерна повышенная водопроницаемость, через эту зону и передавалось поровое давление воды. В результате в почти водонепроницаемом гнейсе под плотиной возникла огромная сила, направленная вверх параллельно ослабленному разлому, которая совместно с воздействием порового давления “вытолкнула” плотину. Причиной обрушения было окончательное заполнение водохранилища, вызвавшее несколько более сильную деформацию плотины и подстилающих пород и приведшее к образованию трещин в дне водохранилища, что способствовало более быстрой передаче давления воды.

Обеспечить безопасность на плотине Мальпассе можно было лишь путем сооружения системы дренажа под плотиной, что препятствовало бы росту давления поровых вод. В настоящее время устройство дренажа в основании сооружения предусматривается во всех плотинах такого типа.

В 1975 г. самая разрушительная авария плотины Баньцяо высотой 118 м произошла в Китае. Разрушение плотины произошло в результате выпадения за один день годовой нормы осадков и переполнения водохранилища, которое привело к переливу через гребень плотины, прорыву напорного фронта и образованию прорывной волны высотой до 7 м и шириной 10 км. В результате аварии погибло 26 тыс. человек, еще 145 человек погибло после аварии из-за голода и эпидемий.

В настоящее время нельзя полностью исключать возможность аварии плотины, хотя для современных плотин их вероятность мала, в среднем одна серьезная авария на 1000 плотин, среди которых возможны и аварии с тяжелыми последствиями для окружающей среды.

*В соответствии с требованиями безопасности при проектировании выполняется оценка последствий аварийной ситуации с прорывом напорного фронта гидроузла, включающая:*

определение возможных причин возникновения аварии с прорывом напорного фронта;

определение сценариев развития аварии – наиболее вероятного и максимального по последствиям;

определение возможного распространения и параметров волн прорыва на всем протяжении реки ниже гидроузла;

оценка зоны затопления волнами прорыва и возможные последствия для населения и окружающей среды.

В современных условиях система мониторинга на базе контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) в большинстве случаев позволяет заблаговременно выявить возможные нарушения и принять меры для недопущения аварийных ситуаций.

В составе проекта (12 раздел для нелинейных объектов строительства) предусматривается разработка следующих документов:

Декларация безопасности ГТС;

Критерии безопасности ГТС;

Расчет размера вероятного вреда при аварии ГТС.

*Размыв берегов, образование оползней*

Создание глубоких водохранилищ со значительной сработкой уровней в долинах с крутыми склонами при неблагоприятных инженерно-геологических условиях приводит под влиянием техногенных воздействий к активизации древних и образованию современных оползней. Причем к самым тяжелым авариям приводят оползни, которые произошли в период эксплуатации гидроузла.

Многие аварии гидроузлов вызваны оползнями в зоне береговых склонов водохранилища и непосредственно в пределах гидроузла. Объем таких оползней может составлять миллионы и десятки миллионов кубических метров скальной породы. Максимальный объем в 1500 млн м<sup>3</sup> имеет древний оползень, обнаруженный на береговом склоне водохранилища Ревельсток (Канада).

Оползень объемом 3 млн м<sup>3</sup> в 1959 г. разделил на две части водохранилище гидроузла Понтезей (Италия), существенно уменьшив его объем.

Оползень объемом 1,2 млн м<sup>3</sup>, вызванный обильными дождями, в 1983 г. на гидроузле Гуавьо (Колумбия) перекрыл автодорогу и обрушился на служебные помещения, в результате чего погибло 140 человек.

Обрушение береговых склонов водохранилищ в результате оползней могут вызвать образование высоких волн в водохранилище, как это было в 1963 г. в водохранилище арочной плотины Вайонт (Италия) на р. Вайонт в провинции Венеция. Плотина, построенная в 1961 г. высотой 261,6 м, длиной по гребню 190 м и шириной 3,9 м, считается одной из самых изящных в мире.

9 октября 1963 г. около 22:35 здесь произошла одна из самых крупных аварий в истории гидротехнического строительства, унесшая жизни, по разным оценкам, от 2 до 3 тысяч человек. В чашу водохранилища за 20–30 с обрушился огромный горный массив длиной 2 км, площадью 2 км<sup>2</sup> и объемом около 0,2–0,3 км<sup>3</sup>, который до этого находился в состоянии незначительной подвижности.

Чаша водохранилища оказалась заполненной горной породой до высоты 175 м над уровнем воды. Оползень вызвал перелив воды через гребень плотины объемом более 50 млн м<sup>3</sup>. Водяной вал, прошедший со скоростью около 12 м/с по нижележащим территориям, имел высоту до 90 м. Было разрушено несколько сёл и деревень, хотя с момента возникновения оползня до полного разрушения объектов в нижнем бьефе прошло всего 7 мин.

Основными причинами, послужившими началом оползня, считаются:

поднятие горизонта грунтовых вод в долине, вызванное строительством плотины;

продолжительные дожди летом 1963 г.

Плотина устояла, хотя и выдержала нагрузку в несколько раз превышающую расчетную. На уровне гребня было смыто лишь около метра бетонной кладки.

Аварийные ситуации на гидроузлах могут возникать также из-за крупных оползней, перекрывающих речные долины выше по течению и образующих временные озера. Так, крупный оползень объемом 40 млн м<sup>3</sup>, вызванный дождями, в 1987 г. перекрыл р. Адда выше водохранилища Вальтеллина (Италия), образовав озеро объемом 20 млн м<sup>3</sup>. В связи с угрозой его прорыва 80 тыс. человек было эвакуировано, а для снижения уровня озера был прорыт канал длиной 7 км, выполнены туннели для пропуска паводковых вод.

Важнейшей задачей является раннее выявление в процессе изысканий оползнеопасных участков в зоне водохранилища и гидроузла и разработка в проекте необходимых мероприятий по недопущению образования оползней при строительстве и эксплуатации гидроузла, а также системы контроля за их поведением.

В составе проектной документации должен быть разработан «Проект мониторинга безопасности ГТС», в составе которого предусматриваются наблюдения за берегами водохранилища, участками береговых примыканий ГТС с учетом природно-климатических, гидрологических, гидрогеологических, геоморфологических факторов зоны влияния ГТС и водохранилища.

#### *Сейсмические явления*

Большинство высоких плотин с крупными водохранилищами построено в горных и предгорных районах, характеризующихся высокой сейсмичностью.

При возведении плотин в горных условиях с глубокими водохранилищами значительно уменьшаются отрицательные факторы воздействия на окружающую среду, включая резкое сокращение площади затопления земель, переселения населения и др. В сейсмически активных районах эксплуатируются многие ГЭС с крупными водохранилищами емкостью свыше 1 км<sup>3</sup> и высокими плотинами, например, арочные Ингурская (Грузия) высотой 271 м, Чиркейская (Россия) высотой 236 м, гравитационная Токтогульская (Киргизстан) высотой 215 м, арочно-гравитационная Саяно-Шушенская (Россия) высотой 244 м, грунтовая Нурекская (Таджикистан) высотой 300 м, практически все плотины Японии. Важнейшей задачей является обеспечение сейсмостойкости таких плотин при землетрясениях. Для этого в проекте проводится расчет устойчивости сооружений с учетом сейсмических нагрузок, при разработке конструкций ГТС предусматриваются дополнительные меры для обеспечения устойчивости напорных сооружений.

Землетрясения представляют собой движение земной поверхности, вызванные воздействием сейсмических волн.

Известны примеры, когда причиной разрушения гидротехнических сооружений являлись именно сильные землетрясения. Так, на гравитационной плотине Койна в Индии, построенной в 1962 г., высотой 103 м в 1967 г., после заполнения водохранилища

на 100 м, землетрясение амплитудой 6,3 по шкале Рихтера вызвало серьезные повреждения плотины и человеческие жертвы. В результате заполнения водой образовавшегося водохранилища огромное давление воды на грунт привело нижележащие горные породы в напряженное состояние, что и послужило причиной землетрясения.

Повреждения и аварии плотин, вызванные землетрясениями, составляют 1% от их общего числа.

#### *Карст*

Карстовые явления, связанные с работой подземных вод, развиваются в растворимых породах, в первую очередь, это известняки, гипсы, соленосные породы. С проблемой карста приходится сталкиваться на многих гидроузлах.

Изменение гидрогеологических условий, вызванное подпором подземных вод и фильтрацией из водохранилища, может существенно влиять на интенсивность и характер карстовых процессов, приводя к образованию полостей, провальных воронок и, в конечном счете, к аварийным ситуациям.

Поэтому обычно избегают возводить гидроузлы на участках, где имеют место карстовые явления, а при обнаружении в процессе строительства гидроузлов карста в большинстве случаев строительство прекращалось.

Однако в ряде случаев гидроузлы возводились в условиях карстовых явлений после проведения тщательных исследований и выполнения необходимых инженерных мероприятий в их основании, направленных на обеспечение водонепроницаемости, например, плотина Жениссия (Франция), возведенная на известняках с карстовыми пустотами, заполненными глинами; арочная плотина Кастигон (Франция) высотой 100 м; плотина Дуглас (США). Все они нормально эксплуатируются.

На ГЭС Хоабинь на р. Да (Вьетнам) с контрфорсной плотинной высотой 128 м, в напорный фронт входит водораздельный массив закарстованных известняков шириной 600 м, в котором карстующиеся породы составляют 78% общего объема массива. ГЭС Хоабинь является объектом исключительно сложным по совокупности природных, производственных и эксплуатационных условий, таких как:

тропический климат с годовой суммой осадков 2000 мм;  
8-балльная сейсмичность района;

наличие карстовых и оползневых явлений в зонах бортовых примыканий плотины;

наличие водопроницаемых аллювиальных отложений в основании плотины на русловом участке мощностью до 60 м.

Самая опасная верхняя зона массива характеризовалась частыми крупными сообщающимися, частично заполненными карстовыми полостями и пещерами, сильной закарстованностью зон тектонических разломов, высокой проницаемостью по сосредоточенным путям фильтрации. Для снижения фильтрационных потерь, недопущения суффозионного выноса заполнителя карстовых полостей и возникновения прогрессирующей фильтрации из водохранилища в массиве был выполнен комплекс противофильтрационных мероприятий, включая цементационную завесу, заполнение бетоном крупных карстовых полостей, участки бетонных стенок. Опыт безаварийной эксплуатации ГЭС Хоабинь с 1994 г. свидетельствует об эффективности этих мероприятий.

При наличии участков закарстованных пород в ложе водохранилища во многих случаях требовалось выполнение на этих участках большого объема противофильтрационных мероприятий включая цементационную завесу, заполнение бетоном крупных карстовых полостей, участки бетонных стенок.

#### *Мероприятия по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений*

В законодательных и нормативных актах всех стран регламентируются требования по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений и надзору за их безопасностью.

Основными принципами в обеспечении безопасности гидротехнических сооружений являются предупреждение аварий и эффективное снижение опасности, если невозможно избежать аварии.

Проблема безопасности гидротехнических сооружений является комплексной и связана с их проектированием, строительством и эксплуатацией.

При проектировании должны быть разработаны решения, обеспечивающие безопасную длительную эксплуатацию сооружений, для чего необходимо:

выявить и учесть при изысканиях и проектировании особенности и неблагоприятные факторы природных условий района створа гидроузла и водохранилища, зоны их влияния, включая гидрологические, климатические, инженерно-геологические, сейсмические условия;

использовать данные натурных наблюдений на строящихся и эксплуатируемых аналогичных сооружениях, результаты анализа повреждений и аварий плотин;

применять современные методы расчета и модельных исследований для обоснования параметров конструкций сооружений и их оснований, мероприятия в зоне водохранилища, нижнего бьефа, определения максимального расчетного паводкового расхода;

выбрать оптимальное местоположение створа, компоновку, типы и технологии возведения сооружений, исходя из нормативных требований обеспечения безопасности и условий экономической эффективности;

разработать систему контроля, включая КИА, за состоянием сооружений;

разработать правила эксплуатации и критерии безопасности сооружений.

При проектировании высокой Асуанской плотины (Египет), в случае разрушения которой была бы волна прорыва из огромного водохранилища объемом 168,9 км<sup>3</sup>, способная привести к катастрофическим разрушениям в долине Нила, где сосредоточено основное население страны, учитывая высочайшую ответственность плотины, сейсмичность района, были приняты дополнительные меры по обеспечению надежности, в том числе:

ширина гребня увеличена до 40 м и он поднят на 13 м выше максимального уровня воды;

созданы две дублирующие системы противофильтрационной защиты;

в расчетах прочности и устойчивости приняты коэффициенты запаса более высокие, чем рекомендуемые нормами.

В период строительства должны быть обеспечены:

выполнение работ опытным и квалифицированным персоналом;

соответствие выполняемых работ проекту, включая конструктивные решения, технологию возведения, качество используемых материалов;

после вскрытия котлованов – анализ и оценка соответствия реальных инженерно-геологических условий принятым при проектировании;

организация наблюдений за состоянием сооружений, откосов котлованов, карьеров и горных выработок;

постоянный контроль за качеством строительных работ.

В практике гидротехнического строительства в основном успешно применяются разнообразные укрепительные мероприятия по обеспечению устойчивости оползневых склонов. К ним относятся изменение конфигурации склона (со срезкой его верхней части и пригрузкой нижней части), применение различных типов анкеров, устройство контрфорсов, подпорных стенок, цементация, дренирование массива и др. Укрепительные мероприятия применены на многих гидроузлах, которые успешно эксплуатируются, причем в большинстве случаев используются комбинированные способы крепления с выполнением комплекса укрепительных мероприятий.

На Саяно-Шушенской ГЭС (Россия) для обеспечения устойчивости обвалоопасных массивов, расположенных над монтажной площадкой и зданием служебно-производственного корпуса, была выполнена подпорная стенка с заанкеренными контрфорсами.

Обнаружение в период строительства ухудшения инженерно-геологических условий, включая оползнеопасные участки, во многих случаях требовало изменения проектных решений по конструкции сооружений, технологии возведения, перехода на новый створ. Так, обнаруженные в процессе строительства плотины Клайд (Новая Зеландия) оползневые участки, не выявленные при проектировании, потребовали выполнения дополнительных укрепительных мероприятий и увеличения сроков на два года, что вызвало удорожание строительства на 116 млн. долларов.

Для обеспечения безопасности при эксплуатации гидротехнических сооружений и водохранилищ с учетом опасных природных и техногенных воздействий на прилегающих к ним территориях необходимо:

соблюдать нормы и правила эксплуатации с выполнением обслуживания квалифицированным персоналом;

планово проводить ремонтные и профилактические работы;

в составе мониторинга осуществлять постоянный контроль за состоянием гидротехнических сооружений, природных и техногенных воздействий на них, на основе которого регулярно выполнять оценку безопасности сооружений;

по результатам контроля своевременно выполнять уточнение критериев безопасности;

в случае снижения безопасности гидротехнических сооружений выполнить анализ причин снижения, своевременно осуществить разработку и реализацию мер по обеспечению их состояния требованиям безопасности и предотвращению аварий;

поддерживать в постоянной готовности системы оповещения о чрезвычайных ситуациях;

незамедлительно информировать государственные органы об угрозе аварии, а в случае непосредственной угрозы прорыва напорного фронта гидроузла – население и организации в зоне возможного затопления.

В практике эксплуатации крупных гидротехнических сооружений было много случаев, когда своевременное обнаружение нарушения условий нормальной эксплуатации и принятие необходимых мер, включая частичное или полное опорожнение водохранилищ, выполнение укрепительных и восстановительных мероприятий, позволило избежать тяжелых аварийных ситуаций. Например, в связи с раскрытием трещин и повышением фильтрации в основании арочной плотины Кельнбрайн (Австрия) высотой 200 м, были выполнены восстановительные работы на сумму 160 млн. долларов при стоимости плотины 130 млн. долларов.

Развитие знаний и компьютерных технологий в настоящее время позволяет осуществлять действенный контроль за безопасностью гидротехнических сооружений на базе компьютерных программ, используя данные КИА, с анализом неблагоприятных факторов, их причин, что дает возможность оперативно принять решения по мерам для обеспечения безопасности. Такой контроль входит в состав системы мониторинга окружающей среды.

Серьезной проблемой обеспечения безопасности является старение плотин в процессе эксплуатации. Значительная часть больших плотин имеет возраст свыше 50 лет, во многих случаях их параметры не соответствуют требованиям современных нормативов. Необходимы проверка их действительного состояния, надежности работы, всесторонний анализ выявленных недостатков и повреждений, разработка проекта усиления их конструкции, ликвидации повреждений и выполнение современной системы контроля, чтобы обеспечить безопасность и продлить срок эксплуатации до 100 лет и более.

В системе обеспечения безопасности гидротехнических сооружений большое значение имеет обязательный государственный надзор, который осуществляется в процессе проектирования, строительства и эксплуатации, в том числе при получении разрешения на строительство, ввод в эксплуатацию объекта. Такой надзор также включает периодическую проверку при эксплуатации состояния гидротехнических сооружений и соответствия требованиям безопасности.

Обеспечение безопасности ГТС в РФ осуществляется на основании следующих общих требований Федерального Закона №117-ФЗ:

обеспечение допустимого уровня риска аварий ГТС (*допустимый уровень риска* – значение риска аварии ГТС, установленное нормативными документами, *риск аварии* ГТС – мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии ГТС и тяжесть ее последствий для здоровья, жизни людей, имущества и окружающей природной среды);

предоставление деклараций безопасности ГТС;

осуществление федерального государственного надзора в области безопасности ГТС;

непрерывность эксплуатации ГТС согласно разработанным регламентам;

осуществление мер по обеспечению безопасности ГТС, в том числе установление критериев их безопасности, оснащение техническими средствами для постоянного контроля за состоянием, обеспечение необходимой квалификации работников, обслуживающих ГТС (*критерии безопасности* – предельные значения

количественных и качественных показателей состояния ГТС и условий его эксплуатации, соответствующие допустимому уровню аварии ГТС, утвержденные в установленном порядке);

необходимость заблаговременного проведения комплекса мероприятий по максимальному уменьшению риска возникновения чрезвычайных ситуаций на ГТС;

ответственность за действия (бездействие), которые повлекли за собой снижение безопасности ГТС ниже допустимого уровня.

На стадиях проектирования, строительства, ввода в эксплуатацию, вывода из эксплуатации ГТС, реконструкции, консервации, капитального ремонта собственник или эксплуатирующая организация разрабатывает декларацию безопасности ГТС – документ, в котором обосновывается безопасность ГТС и определяются меры по обеспечению безопасности с учетом класса ГТС.

Наглядным примером того, к чему может привести строительство ГТС без соблюдения норм и контроля со стороны государства, может служить негативный опыт строительства плотин, дамб и других гидротехнических сооружений в Китае в 60-е годы прошлого века, в так называемый период Великого скачка.

Возведенные тогда сооружения во многих районах Китая представляют большую угрозу для населения. Это относится, прежде всего, к небольшим сооружениям на малых водохранилищах емкостью от 1 до 10 млн м<sup>3</sup>. Только в одной провинции Хэнань, например, из 110 построенных таких плотин и дамб к 1966 г. половина разрушилась. К 1973 г. насчитывалось 10 тыс. малых водохранилищ, из них 4,5 тыс. (более 40%) были построены с серьезными нарушениями. Выбор створа плотин не отвечал геологическим условиям и требованиям безопасности. Значительная часть сооружений находилась в аварийном состоянии из-за проектных ошибок, низкого качества строительства и неудовлетворительной эксплуатации.

### Вопросы для самопроверки

1. Назовите основной федеральный закон в области обеспечения безопасности ГТС в Российской Федерации.

2. Назовите основные причины аварий плотин.
3. Какие причины могут привести к прорыву напорного фронта плотин?
4. Как в проекте гидроузла учитываются последствия вероятной аварии с прорывом напорного фронта сооружений?
5. Как учитывается при проектировании опасность оползней на участке размещения гидроузла?
6. Как учитывается в проекте сейсмичность района проектирования?
7. Как учитываются в проекте карстовые явления на участке проектирования гидроузла?
8. Что такое допустимый риск аварий ГТС?
9. Какие основные принципы обеспечения безопасности при эксплуатации ГТС?

### Список рекомендуемой литературы к главе 18

1. **Федеральный** закон Российской Федерации от 21.07.1997 № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений».
2. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 № 87 «Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».
3. **Постановление** Правительства РФ № 1303 от 06.11.1998. «Об утверждении Положения о декларировании безопасности гидротехнических сооружений».
4. **Приказ** Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 02.07.2012 г. № 377 «Об утверждении формы декларации безопасности гидротехнических сооружений (за исключением судоходных гидротехнических сооружений)», зарегистрирован в Минюсте России 23.07.2012 № 24978.
5. **Векслер А. Б., Ивашинов Д. А., Стефанишин Д. В.** Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. СПб.: Изд.-во ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева». 2002.
6. **Малик Л.К.** Чрезвычайные ситуации, связанные с гидротехническим строительством (ретроспективный обзор) // Гидротехническое строительство. 2009. № 12.

### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПОСОБИИ

*бьеф* – часть водотока, примыкающая к водоподпорному сооружению;

*верхний бьеф* – бьеф с верхней стороны водоподпорного сооружения;

*взвешенные наносы* – наносы, переносимые водным потоком во взвешенном состоянии;

*влекомые наносы* – наносы, перемещаемые водным потоком в придонном слое;

*водное хозяйство* – деятельность в сфере изучения, использования, охраны водных объектов, а также предотвращения и ликвидации негативного воздействия вод;

*водные пути* – участки водоемов и водотоков, используемые для судоходства и лесосплава;

*водные ресурсы* – поверхностные и подземные воды, которые находятся в водных объектах и используются или могут быть использованы;

*водный баланс* – соотношение прихода и расхода воды с учетом изменения ее запасов за выбранный интервал времени для рассматриваемого объекта

*водный объект* – природный или искусственный водоем, водоток либо иной объект, постоянное или временное сосредоточение вод в котором имеет характерные формы и признаки водного режима;

*водный режим* – изменение во времени уровней, расхода и объема воды в водном объекте;

*водовод* – гидротехническое сооружение для подвода и отвода воды в заданном направлении;

*водовыпуск* – гидротехническое сооружение для осуществления попусков из верхнего бьефа канала или водоема;

*водозаборное сооружение* – гидротехническое сооружение для забора воды в водовод из водоема, водотока или подземного водоисточника;

*водопользователь* – физическое лицо или юридическое лицо, которым предоставлено право пользования водным объектом;

*водопотребление* – потребление воды из систем водоснабжения;

*водоприемник* – часть водозаборного сооружения, служащая для непосредственного приема воды из водоема, водотока или подземного водоисточника;

*водораздел* – граница между смежными водосборами;

*водосбор* – часть земной поверхности и толща почв и горных пород, откуда вода поступает к водному объекту;

*водосброс* – гидротехническое сооружение для пропуска воды, сбрасываемой из верхнего бьефа во избежание его переполнения;

*водоспуск* – гидротехническое сооружение для опорожнения водохранилища или канала;

*водохозяйственная система* – комплекс водных объектов и предназначенных для обеспечения рационального использования и охраны водных ресурсов гидротехнических сооружений;

*водохранилище* – искусственный водоем, образованный водоподпорным сооружением на водотоке с целью хранения воды и регулирования стока

*гидрограф* – хронологический график изменения расходов воды в данном створе водотока;

*гидрологический режим* – совокупность закономерно повторяющихся изменений состояния водного объекта, присущих ему и отличающих его от других водных объектов;

*гидротехнические сооружения* – плотины, здания гидроэлектростанций, водосбросные, водоспускные и водовыпускные сооружения, туннели, каналы, насосные станции, судоводные шлюзы, судоподъемники; сооружения, предназначенные для защиты от наводнений, разрушений берегов и дна водохранилищ,

рек; сооружения (дамбы), ограждающие хранилища жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных организаций; устройства от размывов на каналах, а также другие сооружения, здания, устройства и иные объекты, предназначенные для использования водных ресурсов и предотвращения негативного воздействия вод и жидких отходов, за исключением объектов централизованных систем горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и (или) водоотведения, предусмотренных Федеральным законом от 7 декабря 2011 года № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении»;

*гидроузел* – комплекс гидротехнических сооружений, объединенных по расположению и целям их работы;

*гидроэнергетика* – отрасль науки и техники, охватывающая вопросы использования потенциальной энергии воды в водоемах и водотоках для производства электроэнергии;

*дамба* – Гидротехническое сооружение в виде насыпи для защиты территории от наводнений, для ограждения искусственных водоемов и водотоков, для направленного отклонения потока воды;

*декларация безопасности гидротехнического сооружения* – документ, в котором обосновывается безопасность гидротехнического сооружения и определяются меры по обеспечению безопасности гидротехнического сооружения с учетом его класса;

*деривация* – система водоводов для отвода воды из естественного русла с целью создания сосредоточенного перепада уровней воды;

*использование водных объектов (водопользование)* – использование различными способами водных объектов для удовлетворения потребностей Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, физических лиц, юридических лиц;

*донные наносы* – наносы, формирующие речное русло, пойму или ложе водоема и находящиеся во взаимодействии с водными массами;

*зажор* – скопления шуги с включением мелкобитого льда в русле реки, вызывающее стеснение водного сечения и связанный с этим подъем уровня воды;

*затор* – скопление льдин в русле реки во время ледохода, вызывающее стеснение водного сечения и связанный с этим подъем уровня воды;

*комплексный гидроузел* – гидроузел, сооружаемый для участников водохозяйственного комплекса;

*кривая расходов* – кривая связи между расходами и уровнями воды для данного сечения водотока;

*критерии безопасности гидротехнического сооружения* – предельные значения количественных и качественных показателей состояния гидротехнического сооружения и условий его эксплуатации, соответствующие допустимому уровню риска аварии гидротехнического сооружения и утвержденные в установленном порядке федеральными органами исполнительной власти, уполномоченными на осуществление федерального государственного надзора в области безопасности гидротехнических сооружений, в составе декларации безопасности гидротехнического сооружения;

*ледовый режим* – совокупность закономерно повторяющихся процессов возникновения, развития и разрушения ледяных образований на водных объектах;

*максимальный сток* – речной сток, наблюдающийся в половодье и паводки;

*максимальный судоходный уровень* – наивысший уровень воды на водном пути, при котором возможен проход расчетного судна;

*межень* – фаза водного режима реки, ежегодно повторяющаяся в одни и те же сезоны, характеризующаяся малой водностью, длительным стоянием низкого уровня, и возникающая вследствие уменьшения питания реки;

*мелиорация* – отрасль народного хозяйства, охватывающая вопросы улучшения природных условий используемых земель;

*мертвый объем водохранилища* – часть полного объема водохранилища, которая в нормальных условиях работы не используется для регулирования стока.

*минимальный сток* – наименьший по величине речной сток, обычно наблюдающийся в межень;

*минимальный судоходный уровень* – наименьший уровень воды на водном пути, при котором возможен проход расчетного судна.

*наносы* – твердые частицы, образованные в результате эрозии водосборов и русел, а также абразии берегов водоемов, переносимые водотоками, течениями в озерах, морях и водохранилищах, и формирующие их ложе;

*наполнение водохранилища* – повышение уровня воды в водохранилище после окончания строительства или после его опорожнения;

*напор* – давление воды, выражаемое высотой водяного столба над рассматриваемым уровнем

*негативное воздействие вод* – затопление, подтопление, разрушение берегов водных объектов, заболачивание и другое негативное воздействие на определенные территории и объекты;

*нижний бьеф* – бьеф с низовой стороны водоподпорного сооружения;

*норма гидрологических величин* – среднее арифметическое значение характеристик гидрологического режима за многолетний период такой продолжительности, при увеличении которой полученное среднее значение существенно не меняется;

*нормальный подпорный уровень (НПУ)* – наивысший проектный подпорный уровень верхнего бьефа, который может поддерживаться в нормальных условиях эксплуатации гидротехнических сооружений;

*обеспечение безопасности гидротехнического сооружения* – разработка и осуществление мер по предупреждению аварий гидротехнического сооружения;

*обеспеченность гидрологической величины* – вероятность того, что рассматриваемое значение гидрологической величины может быть превышено;

*объем призмы форсировки* – дополнительный объем воды, вмещающийся в водохранилище между нормальным и форсированным уровнями;

*озеро* – естественный водоем с замедленным водообменом;

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

*оросительная система* – система гидротехнических сооружений для орошения земель;

*отстойник* – гидротехническое сооружение для осаждения взвешенных в воде наносов;

*охрана водных объектов* – система мероприятий, направленных на сохранение и восстановление водных объектов;

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

*переформирование берегов водохранилищ* – изменения первоначальной формы береговых склонов, подтопленных при образовании водохранилища, выражающиеся в разрушении надводной части склона волнами и образовании аккумулятивной береговой отмели;

*плотина* – водоподпорное сооружение, перегораживающее водоток и его долину для подъема уровня воды;

*подпор* – подъем уровня воды, возникающий вследствие преграждения или стеснения русла водотока или изменения условий стока подземных вод;

*подтопление* – повышение уровня воды водотока, водоема или подземных вод, приводящее к образованию свободной поверхности воды на участке территории;

*полезный объем водохранилища* – часть полного объема водохранилища, используемая для регулирования стока, заключенная между нормальным подпорным уровнем и уровнем мертвого объема;

*полный объем водохранилища* – объем, заключенный между нормальным подпорным уровнем воды и ложем водохранилища;

*половодье* – фаза водного режима реки, ежегодно повторяющаяся в данных климатических условиях в один и тот же сезон, характеризующаяся наибольшей водностью, высоким и длительным подъемом уровня воды, и вызываемая снеготаянием или совместным таянием снега и ледников, различают половодья весеннее, весенне-летнее и летнее;

*полюнья* – пространство открытой воды в ледяном покрове, образующиеся под влиянием динамических и термических факторов;

*попуск из водохранилища* – периодическая или эпизодическая подача воды из водохранилища для регулирования расхода воды в нижнем бьефе или уровня воды в самом водохранилище;

*расход воды* – объем воды, протекающий через живое сечение потока в единицу времени;

*регулирование речного стока* – перераспределение во время объема речного стока в замыкающем створе, выражающееся в его увеличении или уменьшении в отдельные периоды по сравнению с ходом поступления воды на поверхность водосбора. Перераспределение по времени стока рек в соответствии с требованиями различных отраслей хозяйства;

*режим работы водохранилища* – способ и условия эксплуатации водохранилища в целях его бесперебойной работы и эффективного использования;

*река* – водоток значительных размеров, питающийся атмосферными осадками со своего водосбора и имеющий четко выраженное русло;

*речной бассейн* – территория, поверхностный сток вод с которой через связанные водоемы и водотоки осуществляется в море или озеро;

*сброс из водохранилища* – удаление неиспользуемой части стока из водохранилища;

*собственник гидротехнического сооружения* – Российская Федерация, субъект Российской Федерации, муниципальное образование, физическое лицо или юридическое лицо независимо от его организационно-правовой формы, имеющие права владения, пользования и распоряжения гидротехническим сооружением;

*сработка водохранилища* – уменьшение запасов воды в водохранилище в течение интервала времени, когда расходы воды из водохранилища превышают приток;

*уровень воды* – высота поверхности воды в водном объекте над условной горизонтальной плоскостью сравнения;

*уровень мертвого объема (УМО)* – наинизший уровень воды в водохранилище, допустимый по условиям нормальной эксплуатации гидротехнического сооружения;

*фаза водного режима реки* – характерное состояние водного режима реки, повторяющееся в определенные гидрологические сезоны в связи с изменением условий питания, основными фазами водного режима реки являются половодье, паводок, межень;

*форсированный подпорный уровень (ФПУ)* – подпорный уровень выше нормального, допускаемый в верхнем бьефе в особых условиях эксплуатации гидротехнических сооружений при сбросе паводков малой обеспеченности;

*чрезвычайная ситуация* – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии гидротехнического сооружения, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или ущерб окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей;

*шлюзование рек* – способ увеличения глубин водных путей посредством образования подпертых плотинами бьефов и соединения их шлюзами;

*шуга* – сплывший на поверхность или занесенный вглубь потока внутриводный лед в виде комьев, ковров, венков и подледных скоплений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А.** Водоохранилища. М: Мысль. 1987.
2. **Андрейнов В.Г.** Гидрологические расчеты при проектировании малых и средних ГЭС. Под ред. Д.Л. Соколовского и К.П. Воскресенского. Л.: Гидрометеиздат. 1957.
3. **Арсеньев А.Г.** Основы водохозяйственного проектирования. Учебное пособие. Л.: Изд-во ЛПИ.
4. **Арсеньев Г.С.** Основы управления водными ресурсами водохранилищ. Учебное пособие. СПб.: Изд-во РГГМУ. 2003.
5. **Арсеньев Г.С.** Основы управления гидрологическими процессами: водные ресурсы. Учебник. СПб.: изд. РГГМУ. 2005.
6. **Бабиков Б.В.** Гидротехнические мелиорации: Учебник для вузов. 4-е изд., стер. СПб: Издательство «Лань». 2005.
7. **Бахтияров В.А.** Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. Л.: Гидрометеорологическое издательство. 1961.
8. **Большакова В.В., Иванов А.Н.** Сборник задач по гидрометрии, инженерной гидрологии и регулированию стока. Учебное пособие для строительных вузов. М. Высшая школа. 1975.
9. **Бужин В.А.** Опасные гидрологические явления. Учебное пособие. СПб: изд. РГГМУ. 2008.
10. **Буслаев И.В.** Сложные водохозяйственные системы (методы гидрологического обоснования, моделирования и оптимизации решений). Алма-Ата. «Наука» КазССР. 1980.
11. **Быков Л.С. и др.** Гидротехнические сооружения на внутренних водных путях. М.: Транспорт. 1987.
12. **Великанов А.Л., Коробова Д.Н., Пойзнер В.И.** Моделирование процессов функционирования водохозяйственных систем. М.: Наука. 1983.
13. **Водный кодекс** Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ.
14. **Волжско-Камский** гидроэнергетический каскад. Фонд «Юбилейная летопись». 2005.
15. **Гаврилов А.М.** Основы учета стока на гидроэлектростанциях (Пособие для гидрологов). Л.: Гидрометеорологическое изд-во. 1965.
16. **Гидротехнические сооружения.** Учеб. пособие для вузов. Под ред. Н.П.Розанова. М.: Стройиздат. 1978.
17. **Гидротехнические сооружения** / Г.В. Железняков, Ю.И. Ибадзаде, П.Л. Иванов и др.: Под общ. ред.В.Г. Недриги. М.: Стройиздат. 1983.

18. **Гидротехнические** сооружения / Н.П. Розанов, Я.В. Бочкарев, В.С. Лапшенков и др.; Под ред. Н.П. Розанова. М.: Агропромиздат. 1985.
19. **Гидротехнические** сооружения: Учеб. для вузов: 1 и 2 части / Л.Н. Рассказов, В.Г. Орехова, Ю.П. Правдивец и др.: Под ред. Л.Н. Рассказова. М.: Стройиздат. 1996.
20. **Гидротехнические** сооружения: Учеб. для вузов: 1 и 2 части / Л.Н. Рассказов, В.Г. Орехова, Ю.П. Правдивец и др.: Под ред. Л.Н. Рассказова. М.: Стройиздат. 1996.
21. **Гидроэлектростанции** малой мощности: Учеб. пособие / Под ред В.В.Елистратова. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та. 2005.
22. **Гидроэнергетика** и комплексное использование водных ресурсов СССР / Под общей редакцией П.С.Непорожнего. Изд.2-е, перераб. и доп. М.: Энергоиздат. 1982.
23. **Гидроэнергетика** и окружающая среда / Под общ. ред. Ю.Ландау, А.Сиренко: Монография. К.Либра. 2004.
24. **Гидроэнергетика**: Учебник для вузов / А.Ю. Алесандровский, М.И. Кнеллер, Д.Н. Коробова и др. Под ред.В.И. Обрезкова.-2-е изд., перераб. и доп. М.6 Энергоатомиздат. 1988.
25. **Гинко С.С.** Основы гидротехники. Гидрометеиздат. Л. 1958.
26. **Голованов А.И., Кожанов Е.С., Сухарев Ю.И.** Ландшафтоведение. М: КолоС. 2008.
27. **ГОСТ 17.1.5.02-80.** Охрана природы. Гидросфера. Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов.
28. **ГОСТ 19179-73.** Гидрология суши. Термины и определения.
29. **ГОСТ 19185-73.** Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения.
30. **Градостроительный** кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 года № 190-ФЗ.
31. **Гришин М.М.** Гидротехнические сооружения. Часть I. Часть II. М.: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре. 1955.
32. **Доклад** о состоянии и охране окружающей среды Республики Крым в 2013 г. Роскомприроды Крыма.
33. **Емельянов А.Г.** Основы природопользования: Учеб. для студ. высших учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия». 2004.
34. **Замарин Е.А.** Проектирование гидротехнических сооружений. Изд 2-е, перераб. и доп., М., гос.изд-во сельскохозяйственной литературы. 1949.
35. **Использование** водной энергии. Под ред.Д.С. Щавелева. Учебное пособие для вузов. Л.: «Энергия». 1976.
36. **Кавешников Н.Т.** Менеджмент водохозяйственного производства и охраны окружающей среды. М.: КолоС. 2008.

37. **Кавешников Н.Т., Карев В.Б., Кавешников А.Н.** Управление природопользованием; под ред. Н.Т. Кавешникова. М.: КолоС. 2006.
38. **Колесников С.И.** Экологические основы природопользования. М.: ИКЦ «МарТ». г.Ростов-на-Дону. «МарТ». 2005.
39. **Колосов М. А.** Водохранилища-«ловушки» для защиты от наводнений // Наука и жизнь. 2003 . №1. С. 140-141.
40. **Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.** Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. М.: Наука. 1982.
41. **Курганов А.М.** Водозаборные сооружения систем коммунального водоснабжения. Учеб. пособие / Изд-во «АСВ». СПбГАСУ. М.: СПб. 1998.
42. **Лесной кодекс** Российской Федерации" от 04.12.2006 № 200-ФЗ.
43. **Львович А.И.** Защита вод от загрязнения. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
44. **Малинин Н.К.** теоретические основы гидротехники.: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат. 1985.
45. **Маркин В.Н., Раткович Л.Д., Соколова С.А.** Разработка водохозяйственных мероприятий в бассейне реки. Учебное пособие. М.: МГУП. 2009.
46. **Маслов Б.С., Минаев И.В., Губер К.В.** Справочник по мелиорации. М.: Росагропромиздат. 1989.
47. **Мелиорация** и водное хозяйство. 4. Сооружения:М 47 Справочник / Под ред. П.А. Полад-заде. М.: Агропромиздат. 1987.
48. **Методика** расчета водохозяйственных балансов водных объектов (утв. приказом МПР РФ от 30 ноября 2007 г. N 314).
49. **Методика** расчета гидрологических характеристик техногенно-нагруженных территорий. СТП ВНИИГ 210.01.НТ-05 / СПб: ОАО ВНИИГ им. Б.Е.Веденева. 2005.
50. **Методические** основы водохозяйственных расчетов при проектировании водохозяйственных систем: Учебное пособие / Л.Т. Раткович, С.А. Соколова / Московский государственный университет природообустройства. 2002.
51. **Методические** рекомендации по прогнозированию переформирования водохранилищ. П 30-75 ВНИИГ, Л.ВНИИГ им. Б.Е.Веденева. 1975.
52. **Методические** указания по оценке влияния гидротехнических сооружений на окружающую среду. РД 153-34.2-02.409-2003 / ВНИИГ им. Б.Е. Веденева. 2003.
53. **Михайлов А.В.** Гидросооружения внутренних путей, портов и континентального шельфа. Часть 1. Внутренние водные пути: учебник. М.: АСВ. 2004.

54. **Михалев М.А.** Инженерная гидрология: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2006.
55. **Непорожний П.С., Обрезков В.И.** Введение в специальность: Гидроэнергетика: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат. 1990.
56. **Обеспеченность** населения и экономики Крыма водными ресурсами в условиях отсутствия поступления в Крым днепровской воды по Северо-Крымскому каналу. Государственный комитет по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым. 30.06.2015.
57. **Плешков Я.Ф.** Регулирование речного стока. Водохозяйственные расчеты. Л.: Гидрометеоздат. 1971.
58. **Попова В.Я., Беликов М.П.** Гидротехнические сооружения. Учебник для техникумов. М.: Стройиздат. 1973.
59. **Постановление** Правительства Российской Федерации № 20 от 19.01.2006 г. «Об инженерных изысканиях для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства».
60. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 02.11.2013 № 986 «О классификации гидротехнических сооружений».
61. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 05.03.2007 № 145 «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий».
62. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 № 87 «Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».
63. **Проектирование** гидротехнических сооружений: Учебник для высш. с.-х. учеб. Заведений / И.М. Волков, П.Ф. Кононенко, И.К. Федичкин М.: Колос. 1977.
64. **Проектирование** речных гидроузлов на нескальных основаниях. Под общ. ред. М.М. Гришина и А.В. Михайлова. М.: Энергия. 1967.
65. **Раткович Л.Д., Соколова С.А.** Водохозяйственная система с водохранилищем многолетнего регулирования стока и каналом межбасейновой переброски. Учебное пособие. М.: МГУП. 2006.
66. **Рациональное** использование водных ресурсов: Учеб. для вузов по спец. «Водоснабжение, канализация, рац. использ. и охрана водных ресурсов» / С.В. Яковлев, И.В. Прозоров, Е.Н. Иванов, И.С. Губий. М.: Высш. школа. 1991.
67. **Роговский Т.Т., Поздин В.А., Ярушин М.И.** Механизация, организация и производство гидротехнических работ. М.: изд-во «Колос». 1965.

68. **Руководство** по расчетам фильтрационной прочности напорных грунтовых сооружений ГАЭС. П-93-81 ВНИИГ, Л. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 1981.
69. **Салова Т.Ю., Громова Н.Ю., Шкрабак В.С., Курмашев Г.А.** Основы экологии. Аудит и экспертиза техники и технологии: Учебник для вузов. СПб.:Издательство «Лань». 2004.
70. **СанПиН 2.1.5.980-00.** Гигиенические требования к охране поверхностных вод.
71. **СанПиН 2.1.4.1110-02.** Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения.
72. **СО 34.21.308-2005.** Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения.
73. **СП 101.13330.2012.** Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87.
74. **СП 116.13330.2012.** Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003.
75. **СП 31.13330.2012.** Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84\*.
76. **СП 32.13330.2012.** Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85.
77. **СП 33-101-2003.** Определение основных расчетных характеристик. М.: 2004.
78. **СП 38.13330.2018.** Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82\*.
79. **СП 47.13330.2016.** Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.
80. **СП 58.13330.2019.** Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003.
81. **СП 80.13330.2016.** Гидротехнические сооружения речные. Актуализированная редакция СНиП 3.07.01-85.
82. **Суворов А.К.** Геология с основами гидрологии. М.: КолоС. 2007.
83. **Фашевский Б.В.** Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока. Минск: БелНИИНТИ. 1989.
84. **Февралев А.В.** Проектирование гидроэлектростанций на малых реках: Учебное пособие. Горький, ГИСИ им.В.П. Чкалова. 1990. 79 с.

85. **Федеральный закон** «Об экологической экспертизе» от 23 ноября 1995 года № 174-ФЗ.

86. **Федеральный закон** Российской Федерации «О безопасности гидротехнических сооружений» №117-ФЗ.

87. **Чеботарев А.И.** Гидрологический словарь. Л. Гидрометеиздат. 3-е изд., перераб. и доп. 1978.

88. **Чекрнев А.И.** Водные пути. Ч.1. М.: Гос.издательство водного транспорта. 1953.

89. **Чугаев Р.Р.** Земляные гидротехнические сооружения (Теоретические основы расчета): «Энергия». Ленинградское отд.-е. 1967.

90. **Шамилева И. А.** Экология: Учеб.пособие для студ.пед.вузов. М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС. 2004.

91. Интернет-ресурсы сайтов

<https://www.pinterest.com>, <http://industrial-disasters.ru>,

<http://www.thehindu.com>, <http://dic.academic.ru>,

<http://www.wood.3dn.ru>, <http://www.stadyo.ru>,

<http://www.cawater-info.net>, <http://www.t.osannas.ru>,

<http://podrobnosti.mk.ua>, <http://gtproekt.com>, <http://rive-forum.ru>,

<http://thuydien.sweb.cz>, <http://vv-travel.ru>, <http://protown.ru>,

<http://ocean-media.su>, <http://ddxt.gov.35.ru>.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. Водохранилища и гидроузлы как элемент водохозяйственных систем. Общие сведения .....	4
2. Проектирование водохозяйственных систем. Состав проекта. Исходные данные для проектирования. Изыскания при проектировании .....	21
3. Основные этапы проектирования: обоснование инвестиций, проектная документация, рабочая документация. Технический регламент. ....	35
4. Методика гидролого-водохозяйственного обоснования проектов гидроузлов комплексного назначения .....	50
5. Определение основных параметров гидроэнергетического гидроузла и выбор типа его компоновки. Компоновка гидроузла на равнинной реке .....	56
6. Компоновка гидроэнергетических гидроузлов на горных реках. Деривационные ГЭС .....	76
7. Распределение и регулирование стока водохранилища комплексного назначения .....	93
8. Режим работы водохранилища комплексного назначения (энергетика, транспорт). Имитационное моделирование режима водохранилища .....	100
9. Определение основных параметров судоходного канала с естественным и искусственным питанием водораздельного бьефа .....	113
10. Определение основных параметров ирригационного гидроузла .....	125

11. Защита воды, подаваемой потребителю, от наносов (орошение) .....	138
12. Сохранение и восстановление речной ихтиофауны при создании водохранилищ .....	152
13. Охрана вод при проектировании гидроузлов комплексного назначения. Мероприятия по защите одных ресурсов водохранилища .....	172
14. Расчет параметров противопаводковой емкости водохранилищ. Водоохранилища энергетического и противопаводкового назначения. Паводковые водосбросы в плотинах .....	186
15. Способы автоматического поддержания постоянного уровня воды в водохранилище. Расчет водохранилища и системы сброса воды .....	195
16. Правила использования водохранилищ. Диспетчерский график водохранилища. Исходные данные для составления графика. Порядок использования графиков .....	207
17. Наблюдения на водохранилищах за переработкой берегов. Мероприятия по защите берегов от переработки ...	220
18. Безопасность гидротехнических сооружений. Учет опасных сценариев разрушения подпорных гидротехнических сооружений при проектировании гидроузлов .....	230
Основные понятия, используемые в Пособии .....	249
Список литературы .....	257

Технический редактор *Т.М. Бовичева*  
Компьютерная верстка *Н.Н. Седова*

Подписано в печать 08.07.2020. Формат 60x90 1/16.  
Бумага типографская №1. Печать цифровая.  
Печ.л. 16,625. Уч.-изд.л. 15,275. Тираж 100. Заказ 19.

Издательство АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»  
Типография ООО «ПК Марка»  
195220, Санкт-Петербург, Гжатская ул., 21