

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

**Гидравлические  
электрические станции**



## **Оглавление**

- 1 **Аннотация**
- 2 **Глоссарий**
- 3 **Введение**
- 4 **Базовые принципы энергетики**
- 5 **Место ГЭС в энергобалансе**
- 6 **Классификация ГЭС**
- 7 **Классификация водохранилищ**
- 8 **Классификация турбин**
- 9 **Типы плотин ГЭС**
- 10 **Некоторые аспекты эксплуатации ГЭС**
- 11 **Сценарии убытков на ГЭС**
- 12 **Заключительные положения**

## Аннотация

Необходимость электрической энергии для современного производства и быта человека общеизвестна. Электрическую энергию производят на электрических станциях, использующих различные виды природной энергии.

Промышленное значение имеет тепловая энергия сжигания органического топлива, гидравлическая энергия рек, энергия деления атома ядра (ядерного топлива), в последнее два десятилетия существенную роль начинает играть «зелёная» энергетика. Основными являются тепловые электрические станции на органическом топливе (ТЭС), производящие около 75 % электроэнергии в мире.

В целях более объективной оценки рисков на объектах энергетике и формирования единого подхода российского страхового рынка компания АО «РНПК» выпускает серию публикаций посвящённых энергетической промышленности России. В рамках данной серии будут изданы следующие документы:

1. Тепловые Электрические Станции;
2. Гидравлические Электрические Станции;
3. Атомные Электрические Станции;
4. Альтернативная энергетика;
5. Мусоросжигательные электрические станции;
6. Электрические сети.

В данных документах затронуты аспекты оценки рисков при страховании имущества, позднее они будут дополнены оценкой рисков при проведении СМР.

## Глоссарий

**Бьеф** – часть водного потока, примыкающая к гидротехническому сооружению. Выше по течению располагается верхний бьеф, за плотиной – нижний бьеф

**ВИЭ** – возобновляемые источники энергии

**ГТС** – гидротехническое сооружение - объект (сооружение) для использования водных ресурсов, а также для борьбы с вредным воздействием вод

**ГРАМ** – групповое регулирование активной мощности

**ГЭС** – гидравлическая электростанция

**ЕЭС** – единая энергосистема

**ОДУ** – объединенное диспетчерское управление

**Поверхность депрессии (кривая депрессии)** – верхняя граница фильтрации. Ниже депрессионной кривой все поры грунта тела плотины заполнены движущейся с той или иной скоростью фильтрационной водой. Выше депрессионной кривой находится зона капиллярного поднятия воды, в которой водой заполнены только мелкие поры-капилляры.

**Понур** - водонепроницаемое покрытие дна водохранилища, примыкающее к плотине и предназначенное для удлинения пути фильтрации воды под сооружением и снижения фильтрационного давления на его подошву. Устройством П. достигается уменьшение скорости и расхода профильтровавшейся воды и, следовательно, опасности разрушения основания сооружения фильтрационным потоком. Для устройства П. применяют глину, глинобетон, битумные материалы, торф, бетон, железобетон. П. из железобетонных плит (с арматурой, вводимой в тело плотины) может воспринимать часть горизонтальных усилий, действующих на сооружение, и тем самым увеличивать его устойчивость на сдвиг (т. н. анкерный П.)

**Потерна** – инспекционная галерея внутри плотины или под основанием здания ГЭС, предназначенная для размещения устройств инструментального контроля гидротехнического сооружения, проведения визуальных инспекций, а также для сбора и отвода протечек

**ТЭС** – тепловая электростанция

**ЦДУ** – центральное диспетчерское управление

## **Введение**

В текущем документе рассматриваются вопросы оценки рисков эксплуатации гидравлических электростанций (далее – ГЭС). Приведена классификация ГЭС по различным признакам, освещены некоторые особенности их эксплуатации и рассмотрены основные сценарии возникновения максимальных возможных убытков.

## Базовые принципы энергетики:

1. Электричество вырабатывается в генераторах. Турбина, будь она газовая, паровая или гидравлическая, вращает генератор. Для вращения валов турбин используется газ, пар или вода. Природный газ подаётся на электростанции из магистральных газопроводов. Пар производится в паровых котлах за счёт сжигания природного топлива или в атомных реакторах за счёт цепной реакции деления урана. Вода на ГЭС поступает из водохранилищ/рек;
2. Произвести электричество впрок, в промышленных масштабах, невозможно, в каждый момент времени его производится ровно столько, сколько потребляется;
3. Для производства электричества используется три вида топлива: твердое (уголь и все его виды, уран), жидкое (нефть (на Кубе сжигают сырую нефть на ТЭС), мазут, дизельное топливо, керосин), газообразное (природный газ). На каждой ТЭС в обязательном порядке есть основной и резервный вид топлива, в отдельных случаях имеется ещё и аварийное топливо. Как пример, все паровые котлы на природном газе могут сжигать и мазут, также все котлы на пылеугольном топливе могут сжигать мазут.
4. Генераторами вырабатывается переменный ток, который используется всюду – чайник, станок, кондиционер, пылесос и прочие. Частота тока в России – 50 Гц. Все генераторы на тепловых электростанциях России вращаются со скоростью **1500 или 3000 об/мин**. На ГЭС скорость вращения роторов генераторов ниже, но частота тока та же за счёт использования многополюсных генераторов. Также есть постоянный ток – он используется в смартфонах, аккумуляторах. Его вырабатывают генераторы постоянного тока и солнечные панели. Можно трансформировать постоянный ток в переменный и обратно.
5. Поддержание значения частоты тока является одной из важнейших задач энергосистемы. Частота напрямую зависит от вырабатываемой активной мощности. Оперативным управлением режимом работы Единой энергосистемы занимается служба, которая называется Системный Оператор, а высшим иерархическим звеном управления является Центральное диспетчерское управление ЕЭС России. Единая энергосистема России разбита на несколько объединённых энергосистем – ОЭС Урала, Востока, Сибири, Средней Волги, Юга, Центра, Северо-Запада. В каждой ОЭС функционируют вторые по иерархии диспетчерские центры – Объединённые диспетчерские управления (ОДУ). При этом необходимо учесть, что возможности энергосистем передавать выработанную мощность ограничены пропускной способностью линий электропередач, да и с экономической точки зрения передавать мощность, выработанную, скажем, в Сибири на Урал невыгодно из-за потерь энергии на передачу. Поэтому правило энергобаланса может быть сформулировано следующим образом: потребление мощности в отдельном регионе должно быть равно произведённой мощности в том же регионе с учетом пропускной способности линий электропередачи. Поддержание частоты и контроль мощности, передаваемой по линиям электропередачи является одними из задач, решаемых Системным Оператором.

## Место ГЭС в энергобалансе

Под понятием ГЭС подразумевается электростанция, в качестве источника энергии использующая энергию водного потока и преобразующая механическую энергию воды в электрическую энергию.

В структуре установленной мощности электростанций регионов мира на конец 2018 года на долю ГЭС приходилось от 5,2 % на Ближнем Востоке до почти 51 % в Центральной и Южной Америке. Диапазон изменения этой доли в структуре установленной мощности крупных стран: например, в Бразилии – доля ГЭС достигает 63,7 %, а в Саудовской Аравии ГЭС отсутствуют. Наибольший удельный вес ГЭС в странах мира (179 стран), составляющий практически 100 % приходится на Парагвай, где установленная мощность всех электростанций 8761 МВт, в том числе ГЭС – 8760 МВт. В России, обладающей вторым в мире потенциалом гидроресурсов, работает более 170 ГЭС, общая мощность которых составляет около 50 ГВт, они вырабатывают 98 % электроэнергии на основе ВИЭ. В 2021 году выработка ГЭС составила 209.5 миллиардов кВт\*ч или 18.5% от общей выработанной электроэнергии.



Рис. 1. Установленная мощность электростанций ЕЭС России по видам генерации, %. Источник: Системный оператор ЕЭС России.

**ГЭС обладают своими преимуществами и недостатками. К преимуществам можно отнести следующее:**

Низкая себестоимость электроэнергии. В отсутствие топливной составляющей себестоимость выработанной на ГЭС электроэнергии примерно в шесть раз ниже, чем на тепловых электростанциях, и втрое ниже, чем на атомных.

Работа ГЭС не сопровождается выделением угарного газа и углекислоты, окислов азота и серы, пылевых загрязнителей и других вредных отходов, не загрязняет почву. Некоторое количество тепла, образующегося из-за трения движущихся частей турбины, передается протекающей воде, но это количество редко бывает большим.

Производительность ГЭС легко контролировать, изменяя объем воды, подводимый к турбинам. ГЭС наилучшим образом подходят для регулирования нагрузки в энергосистеме, имея практически 100 % диапазон регулирования мощности и наибольшие по сравнению с другими электростанциями скорости ее изменения (в некоторых случаях до 500 МВт/мин). Время пуска гидроагрегата, включая синхронизацию, составляет 30...50 с. Для сравнения, регулировочный диапазон энергоблока ТЭС ограничен значением его технологического минимума нагрузки (как правило, это 50% от установленной мощности), время пуска энергоблока измеряется часами, а скорость регулирования нагрузки составляет около 5% от установленной мощности в минуту. Высокая маневренность ГЭС позволяет контролировать значение частоты тока в энергосистеме, поскольку этот параметр напрямую зависит от активной мощности, вырабатываемой/потребляемой в энергоузле. Для оперативного управления этим процессом крупные системообразующие ГЭС оборудуются специальными автоматическими системами группового регулирования активной мощности (ГРАМ), к которым по решению диспетчера ОДУ подключаются генераторы ГЭС. Данные системы, в зависимости от значения частоты, автоматически дают команду на загрузку или разгрузку управляемых ими гидроагрегатов, что позволяет избежать размещения резерва по мощности на ТЭС, или, по крайней мере, понизить значение этого резерва, что положительно сказывается на технико-экономических показателях ТЭС.

Другой важной чертой ГЭС является возможность беспрепятственного перевода их генераторов в режим синхронного компенсатора – устройства, вырабатывающего реактивную мощность. Реактивная мощность – это, наряду с активной мощностью, часть полной мощности, вырабатываемой генераторами. Она не совершает работу, но расходуется для зарядки емкостей и намагничивания катушек индуктивности. От значения вырабатываемой и потребляемой реактивной мощности напрямую зависит значение напряжения в контрольных точках энергосистемы. Все генераторы ТЭС также могут вырабатывать или при необходимости потреблять ее в том или ином объеме и поддерживать таким образом значение напряжения в контрольных точках энергосистемы. Но возможности генераторов ТЭС ограничены их конструктивным исполнением, у гидрогенераторов же таких ограничений нет. Поэтому в случае, если в выработке активной мощности необходимости нет, а регулировать напряжение на шинах станции необходимо, то гидрогенераторы легко переводятся в режим синхронного компенсатора.

Вода – возобновляемый источник энергии. Гидрологический цикл (круговорот воды в природе) пополняет источники потенциальной энергии за счет дождей, снегопадов и водостока.

Вода в искусственных водохранилищах, как правило, чистая, так как примеси осаждаются на дне. Эту воду можно использовать для питья, мытья, купания и ирригации.

Водоохранилища ГЭС используются в качестве меры защиты от паводковых явлений и наводнений, принимая в себя излишнюю воду и постепенно сбрасывая ее после прохождения пика приточности.

## Недостатки гидроэлектростанций:

За счет необходимости возведения плотин удельные (на 1 МВт установленной мощности) затраты на строительство ГЭС серьезно превышают вложения в тепловые, солнечные и ветроэлектростанции, а в некоторых случаях могут оказаться даже дороже атомных.

Большинство мест, подходящих для строительства крупных ГЭС, уже использовано, а строительство в труднодоступных и потенциально опасных районах, например, с сейсмической активностью, в разы увеличивает затраты.

Большие водохранилища затопляют значительные участки земли, которые могли бы использоваться с другими целями. Будучи заполненными, водохранилища резко меняют климат вокруг себя. Это особенно хорошо заметно на примере ГЭС, расположенных в условиях вечной мерзлоты: незамерзающие водохранилища привели к оттаиванию вечномерзлых грунтов. Порой заполнение водохранилища в сочетании с неурегулированными претензиями местного населения может привести к усилению социальной напряженности в регионе.

Разрушение или авария плотины большой ГЭС практически неминуемо вызывает катастрофическое наводнение ниже по течению реки.

Сооружение ГЭС неэффективно в равнинных районах.

Протяженная засуха снижает и может даже прервать производство электроэнергии ГЭС.

Уровень воды в искусственных водохранилищах постоянно и резко меняется.

Плотина снижает уровень растворенного в воде кислорода, поскольку нормальное течение реки практически останавливается. Это может привести к гибели рыбы в искусственном водохранилище и поставить под угрозу растительную жизнь в самом водохранилище и вокруг него.

## Классификация ГЭС

Существует несколько признаков, по которым делятся гидроэлектростанции: в зависимости от мощности, в зависимости от напора, в зависимости от принципа использования природных ресурсов. Непосредственно от напора зависит тип применяемых на электростанции гидротурбин. Также в зависимости от размещения электростанции изменяется и тип плотины электростанции.

В зависимости от **вырабатываемой мощности** станции делятся на:

- станции большой мощности (более 25 МВт);
- станции средней мощности (от 5 до 25 МВт);
- станции малой мощности (до 5 МВт).

В зависимости от **используемого напора воды** станции делятся на:

- высоконапорные (60 м и выше);
- средненапорные (от 25 до 60 м);
- низконапорные (от 3 до 25 м).

В зависимости от **принципа использования природных ресурсов**, можно выделить следующие ГЭС:

**русловые (плотинные) ГЭС.** Это наиболее распространённые виды гидроэлектрических станций. Напор воды в них создаётся посредством установки плотины, полностью перегораживающей реку, или поднимающей уровень воды в ней на необходимую отметку. При этом само здание ГЭС является частью плотины. Такие гидроэлектростанции строят на многоводных равнинных реках, а также на горных реках, в местах, где русло реки более узкое, сжатое. В России примерами русловых ГЭС являются все без исключения электростанции, расположенные на Волге.



*Рис. 2. Волжская ГЭС им. В. И. Ленина*

**приплотинные ГЭС.** Строятся при более высоких напорах воды. В этом случае река полностью перегораживается плотиной, а само здание ГЭС располагается за плотиной, в нижней её части. Вода, в этом случае, подводится к турбинам через специальные напорные тоннели, а не непосредственно, как в русловых ГЭС. В качестве примера можно привести Саяно-Шушенскую или Зейскую ГЭС.



*Рис. 3 Бурейская ГЭС.*

**деривационные ГЭС.** Такие электростанции строят в тех местах, где велик уклон реки. Необходимый напор воды в ГЭС такого типа создаётся посредством деривации. Вода отводится из речного русла через специальные водоотводы. Последние – спрямлены, и их уклон значительно меньше, нежели средний уклон реки. В итоге вода подводится непосредственно к зданию ГЭС. Деривационные ГЭС могут быть разного вида – безнапорные или с напорной деривацией. В случае с напорной деривацией, водовод прокладывается с большим продольным уклоном. В другом случае в начале деривации на реке создаётся более высокая плотина, и создаётся водохранилище – такая схема ещё называется смешанной деривацией, так как используются оба метода создания необходимого напора воды.



*Рис. 4 Зеленчукская ГЭС-ГАЭС*

**гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС).** Такие станции способны аккумулировать вырабатываемую электроэнергию и пускать её в ход в моменты пиковых нагрузок. Принцип работы следующий: в определённые периоды (не пиковой нагрузки), агрегаты ГАЭС работают как насосы от внешних источников энергии и закачивают воду из нижнего водохранилища в специально оборудованный верхний бассейн. Когда возникает потребность, вода из него поступает в напорный трубопровод и приводит в действие турбины.



*Рис. 5 Загорская ГАЭС.*

В состав гидроэлектрических станций, в зависимости от их назначения, также могут входить дополнительные сооружения, такие как шлюзы или судоподъемники, способствующие навигации по водоёму, рыбопропускные, водозаборные сооружения, используемые для ирригации, и многое другое.

Для более эффективного использования стока воды на длинных реках станции могут располагаться каскадом – одна за другой. Примером может служить Волжско-Камский каскад ГЭС, объединяющий 11 гидроузлов. ГЭС, входящие в каскад, используют как сток ГЭС, расположенной выше по течению, так и приточность рек и ручьев, впадающих в реку в промежутке между двумя ГЭС. Иногда каскад состоит из двух электростанций, расположенных вблизи. В этом случае нижняя по течению ГЭС использует только сток от верхней по течению станции и называется **контррегулирующей** ГЭС. Примерами контррегуляторов служат Майнская ГЭС, использующая сток Саяно-Шушенской ГЭС, или Нижне-Бурейская ГЭС, работающая на стоке от Бурейской ГЭС.

## Классификация водохранилищ

В большинстве случаев строительство ГЭС сопровождается образованием водохранилищ. В России собственником водохранилищ является государство, и при строительстве и дальнейшей эксплуатации ГЭС именно оно отвечает как за определение будущих размеров водохранилища, реализацию компенсирующих мероприятий (напр., возмещение вреда населению, вызванного затоплением мест проживания и деятельности) и подготовку ложа водохранилища к его заполнению, так и за его функционирование в ходе деятельности ГЭС (контроль приточности, мониторинг гидрогеологического состояния вокруг водохранилищ, очистка водохранилищ от мусора и т. д.).

Если говорить о характеристиках водохранилищ, то существует набор специальных терминов, характеризующих их допустимые водные запасы и уровни уреза воды:

**Нормальный подпорный уровень (НПУ)** – оптимальная наивысшая отметка водной поверхности водохранилища, которая может длительно поддерживаться подпорным сооружением;

**Форсированный подпорный уровень (ФПУ) или горизонт форсировки** – отметка водной поверхности водохранилища, превышающая НПУ, который, при проектировании гидроузла с известной пропускной способностью, определяется, исходя из площади водохранилища и максимально возможного притока воды. Превышение этого уровня может привести к переливу через гребень плотины и к другим аварийным ситуациям;

**Уровень мёртвого объёма (УМО) или горизонт сработки водохранилища** – отметка водной поверхности, соответствующая наибольшему опорожнению водохранилища. Рассчитывается в соответствии с условиями заиления, необходимым уровнем воды для зимовки рыб, обеспечению экологических условий, технологическими особенностями подпорных сооружений и характеристиками притока в водоем;

**Мёртвый объём водохранилища** – объём водоёма ниже отметки горизонта сработки водохранилища (УМО);

**Полезный объём водохранилища** – часть объёма водоема между отметками оптимального наивысшего уровня горизонта (НПУ) и уровнем максимальной сработки водоёма (УМО);

**Емкость форсировки или регулирующая емкость водохранилища** – часть объёма водоема между отметками ФПУ и НПУ, предназначенная для уменьшения максимального расхода через гидроузел во время весеннего половодья или дождевых паводков;

**Объём или полный объём водохранилища** – данная величина равна сумме мёртвого и полезного объёмов.

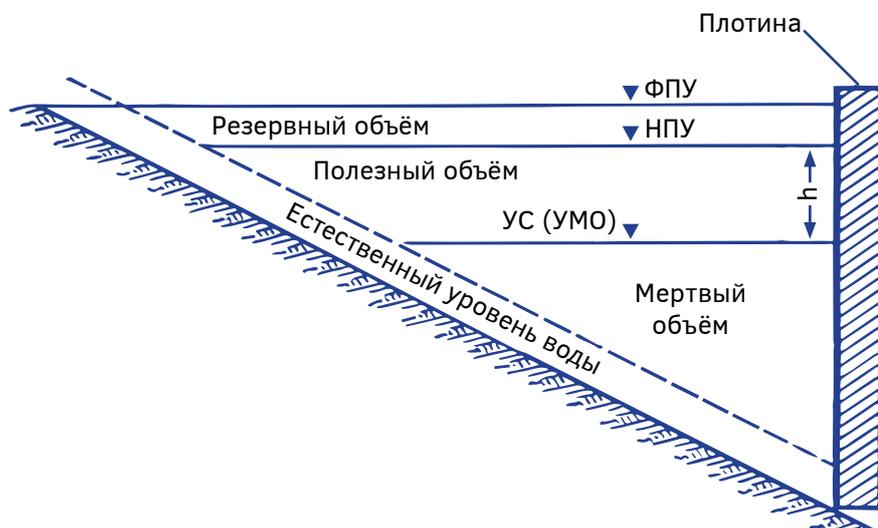


Рис. 6 Параметры водохранилища, контролируемые на ГЭС

**Регулирование стока** – это процесс перераспределения его водохранилищем в соответствии с требованиями водохозяйственного комплекса (энергетика, водоснабжение, орошение, судоходство, борьба с наводнениями, рыбное хозяйство и т.п.). Речной сток аккумулируется в водохранилище в периоды, когда естественная приточность воды превышает потребности в ней, и расходуется в периоды, когда потребность в воде превышает приточность.

Период аккумуляции речного стока называется **наполнением водохранилища**, а период отдачи наполненной воды – **сработкой водохранилища**.

Различают основные и специальные виды регулирования стока.

К основным видам регулирования стока относят: суточное, недельное, годовое и многолетнее.

Суточное регулирование предназначено для обеспечения неравномерного расхода воды через агрегаты ГЭС в соответствии с требованиями суточных колебаний нагрузки энергосистемы при сравнительно постоянном в течение суток притоке воды. При суточном регулировании цикл регулирования составляет одни сутки и к концу цикла уровень воды в верхнем бьефе возвращается к исходному положению – УМО. Уровень воды в нижнем бьефе будет соответствовать поступающему расходу в нижний бьеф. Благодаря суточному регулированию в часы малой нагрузки ГЭС в верхнем бьефе запасается избыточный приток, а в часы повышенной нагрузки он срабатывается. Если объем водохранилища достаточен для аккумуляции всего избыточного притока, то этот весь приток используется для увеличения мощности ГЭС по сравнению с мощностью ГЭС при только естественном притоке.

Суточное регулирование позволяет повысить участие ГЭС в покрытии пиков нагрузки и обеспечить более целесообразный равномерный режим работы тепловых и атомных электростанций.

На режим суточного регулирования ГЭС иногда накладываются ограничения неэнергетических участников комплексного гидроузла (судоходство, рыбное хозяйство, водозабор в нижнем бьефе и т.п.).

**Недельное регулирование** обеспечивает неравное потребление воды агрегатами ГЭС в течение недели в соответствии с требованием недельных колебаний нагрузки энергосистемы. В выходные дни нагрузка в энергосистеме падает. В этот период ГЭС может снизить свою мощность, а получающийся избыток воды аккумулируется в водохранилище. В рабочие дни ГЭС может увеличить мощность за счет сработки запасенных в водохранилище объемов воды.

При недельном регулировании режим работы ГЭС с увеличенной мощностью, как правило, не сопровождается увеличением выработки электроэнергии. Выработка электроэнергии может увеличиться только в случае сокращения

холостых сбросов воды за счет емкости водохранилища. На режим недельного регулирования ГЭС могут также накладываться ограничения неэнергетических участников водохозяйственного комплекса.

**Годичное (сезонное) регулирование** позволяет перераспределять сток воды в течение года в соответствии с потребностями энергосистемы и водопотребителей. Цикл регулирования равен 1 году. В многоводные периоды водохранилище наполняется, а в маловодные – срабатывается. Для проведения годичного регулирования требуется объем водохранилища, составляющий 5–10 % среднегодового стока при частичном (сезонном) и 40–60 % при полном годичном регулировании.

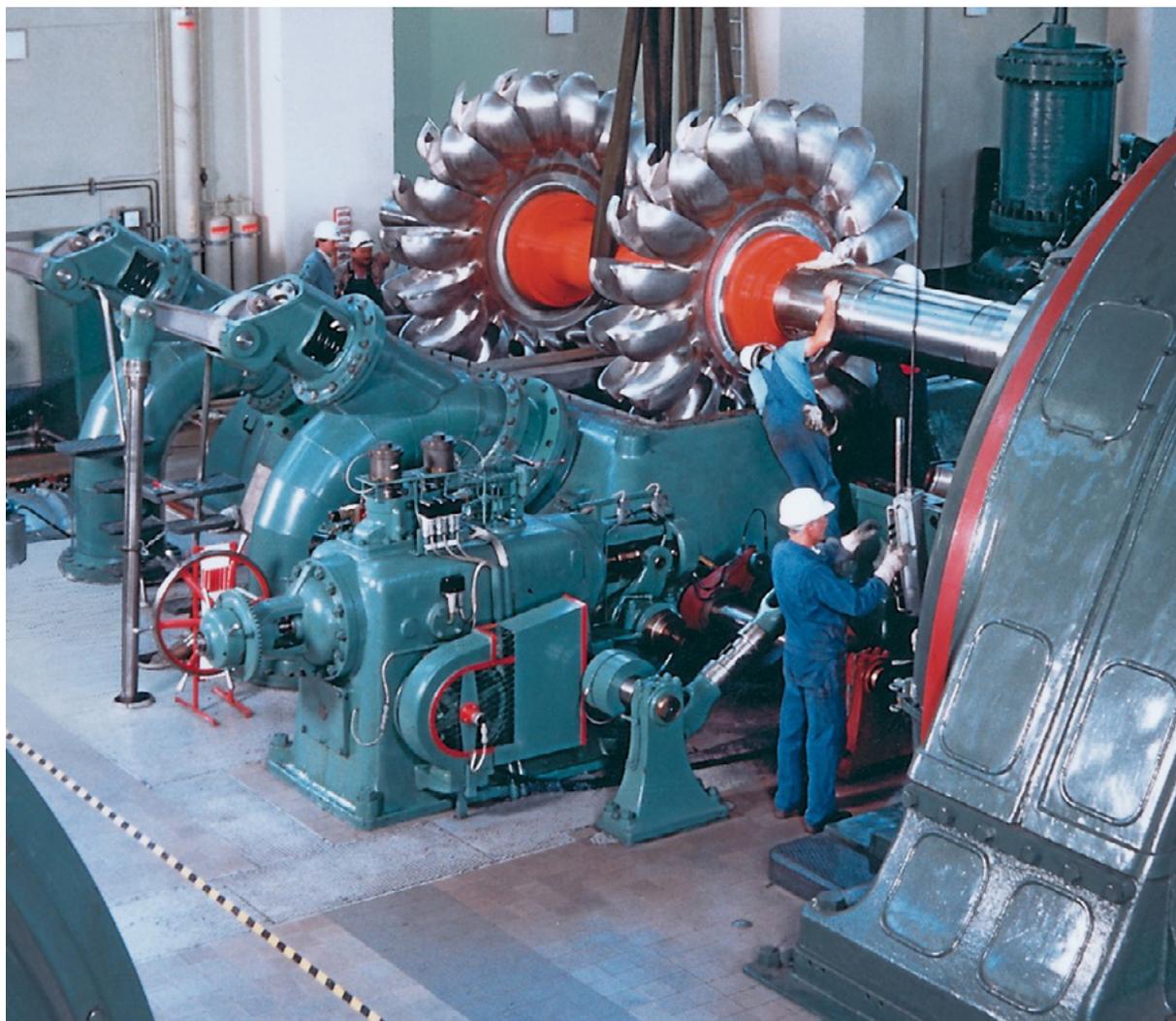
Водоохранилище годичного регулирования позволяет осуществлять суточное и недельное регулирование.

**Многолетнее регулирование** предназначено для увеличения расхода ГЭС и выработки электроэнергии в маловодные годы за счет стока многоводных лет. При многолетнем регулировании водохранилище наполняется в течение ряда многоводных лет и срабатывается в течение маловодного периода.

## Классификация турбин

В зависимости от напора на ГЭС применяются разные типы турбин. В отечественной гидроэнергетике наибольшее распространение получили три вида гидротурбин: ковшовые (турбины Пелтона), радиально-осевые (турбины Фрэнсиса) и поворотные-лопастные (турбины Каплана). Основным элементом любой гидротурбины является рабочее колесо, приводимое в движение потоком воды. Гидротурбины, использующие только кинетическую энергию потока, относятся к активным турбинам. Те из них, которые хоть частично используют потенциальную энергию столба воды перед ними, называются реактивными.

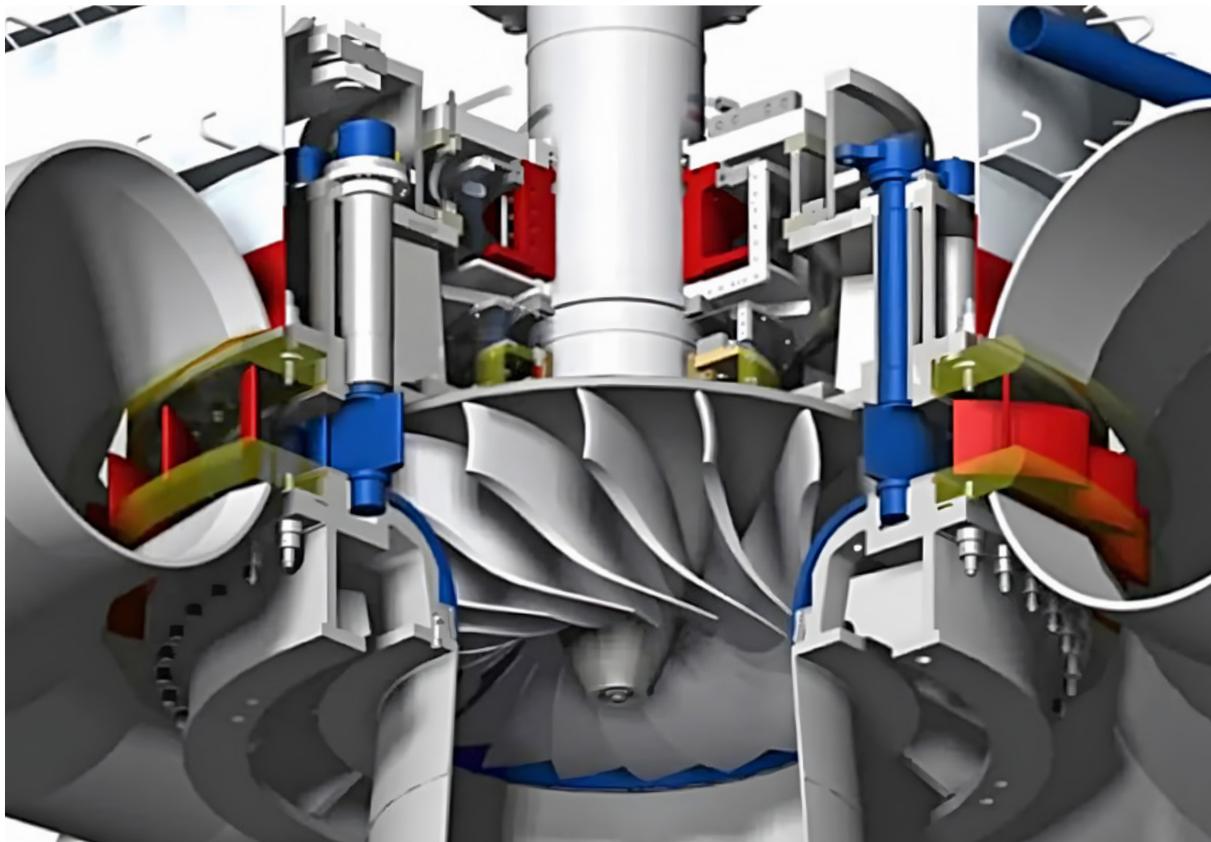
### **Ковшовые турбины относятся к активным турбинам.**



*Рис. 7 Горизонтальная двухколесная ковшовая гидротурбина*

Вода подается в ковши через специальные сопла в радиальном направлении. Выработка турбины зависит от того, с какой скоростью подается на нее вода. Давление воды перед рабочим колесом и после него равно атмосферному. Такие турбины применяются при больших (от 200 м) напорах воды. Скорость потока воды изменяется путем перемещения игольчатого клапана, расположенного внутри сопла. При напорах до 700 метров ковшовые турбины конкурируют с радиально-осевыми, при бо́льших напорах их использование безальтернативно. Как правило, ГЭС с ковшовыми турбинами построены по деривационной схеме, поскольку получить столь значительные напоры при помощи плотины проблематично. Крупнейшие в мире ковшовые турбины установлены на швейцарской ГЭС Бьедрон, их мощность составляет 423 МВт. Эта же ГЭС является мировым рекордсменом по напору на гидроагрегатах, составляющему 1 869 м.

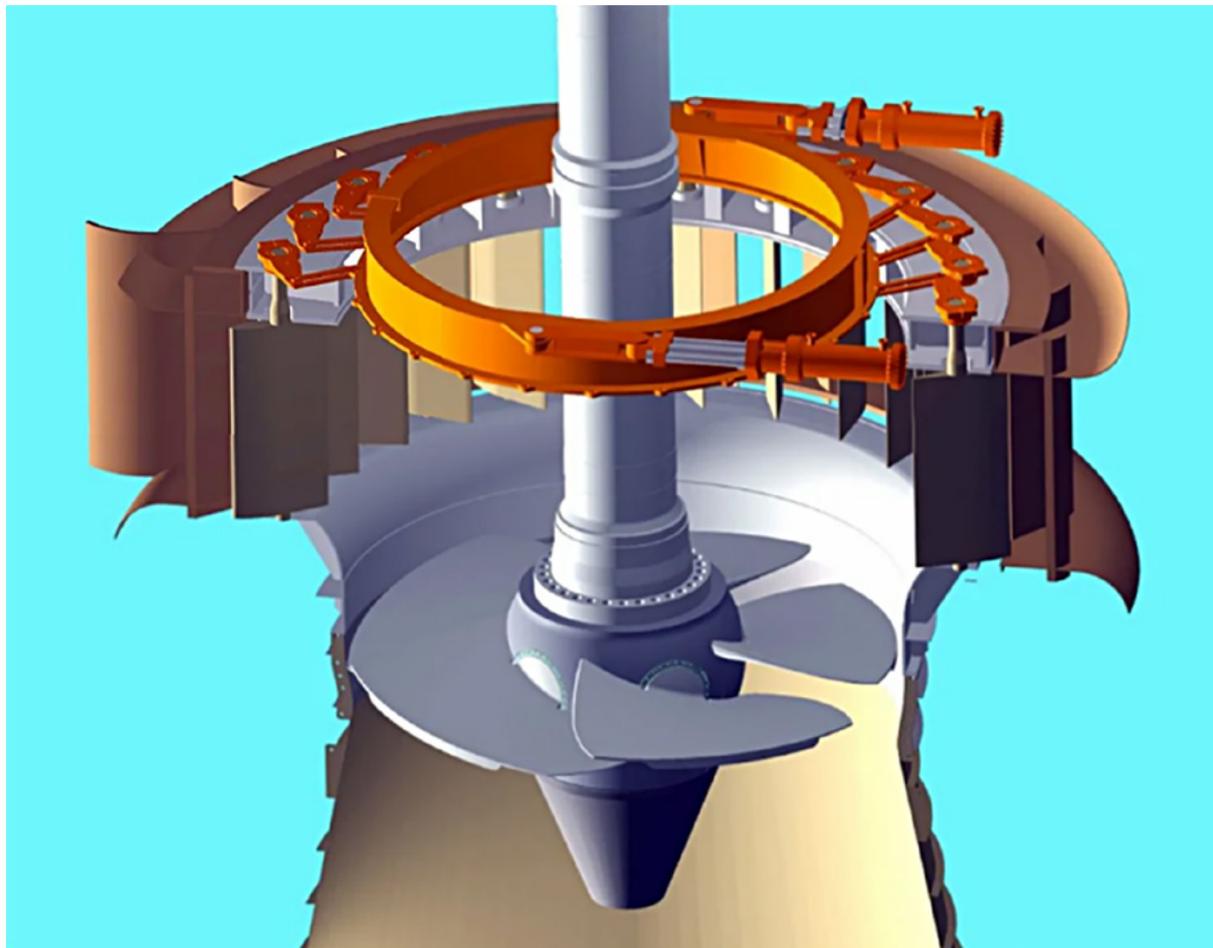
**Радиально-осевые турбины** являются турбинами скорее активно-реактивного типа.



*Рис. 8 Радиально-осевая турбина*

Вода поступает в рабочее колесо турбины из спиральной камеры через статор турбины (отмечен на рисунке красным цветом), чьи колонны придают потоку нужное направление, в радиальном направлении (активная часть). Внутри рабочего колеса поток воды меняет направление движения с радиального на осевое (реактивная часть) и отводится от рабочего колеса с помощью отсасывающей трубы, представляющей собой расширяющийся водовод (диффузор), обеспечивающий плановое снижение скорости до выхода потока в нижний бьеф, что позволяет уменьшить кинетическую энергию потока при выходе из турбины и за счет этого повысить ее к.п.д. Регулирование мощности турбины осуществляется за счет изменения угла открытия лопаток направляющего аппарата (отмечены на рисунке синим цветом). Турбины этого типа применяются при напорах до 600 м, оптимальным является напор 50-300 м. Однако существуют и исключения из этого правила. Так, на Волховской ГЭС, напор которой составляет всего 11.5 м установлены турбины этого типа. Радиально-осевые турбины – самые мощные, так, на ГЭС Гранд Кули в США установлены турбины мощностью 805 МВт. В России турбины этого типа установлены практически на всех высоконапорных приплотинных ГЭС (Саяно-Шушенская ГЭС, Чиркейская ГЭС, Бурейская ГЭС и т. д.).

Для работы с низкими (до 40-50 м) напорами применяются **поворотно-лопастные турбины**.



*Рис. 9 Поворотно-лопастная турбина*

Поворотно-лопастная турбина является реактивной турбиной, у которой поток воды проходит через рабочее колесо строго в осевом направлении, а лопасти рабочего колеса могут поворачиваться вокруг своей оси в зависимости от напора, благодаря чему изменяется мощность гидротурбины. Помимо лопастей рабочего колеса, мощность турбины также регулируется при изменении количества потока воды, проходящего через лопатки направляющего аппарата. Как правило, турбины этого типа устанавливаются вертикально, но для напоров 3-10 м существует вариант их горизонтального расположения в своеобразной капсуле. Тогда эти турбины называются **капсульными**.

Впрочем, существует вариант применения таких турбин для высоких напоров. Такие турбины называются **диагональными** или турбинами Дериаца.



*Рис. 10 Диагональная турбина*

Оси лопастей таких турбин расположены не перпендикулярно к оси ротора, а под углом 30-60°. Поток воды в них движется по поверхностям, близким к коническим. Применяются диагональные гидротурбины обычно при напорах от 30 до 200 метров. Они конкурируют по своим характеристикам на низких напорах с поворотно-лопастными, а на высоких напорах - с радиально-осевыми турбинами. В России подобные турбины установлены на Зейской ГЭС.

## Типы плотин ГЭС

Плотина – это основной тип водоподпорных сооружений, перегораживающих водоток и его долину для подъема уровня воды, сосредоточения напора и создания водохранилища. Водное пространство, расположенное выше плотины, называется верхним бьефом, ниже плотины – нижним бьефом. Разность уровней верхнего и нижнего бьефов называется напором. Грань плотины, обращенная к воде, называется напорной, или верхней, а грань, обращенная к нижнему бьефу, – низовой. Верх плотины называется гребнем, а линия сопряжения ее с основанием - подошвой, по способу пропуска через них воды плотины делятся на глухие (не допускающие перелива воды через их гребень) и водосливные.

Плотины ГЭС служат для создания необходимого напора для гидротурбин. Однако вместе с этим они могут выполнять ряд вспомогательных функций. Так, многие плотины играют роль противопаводковых защитных устройств. Это особенно важно для регионов с сильными паводками, вызванными сезонными ливнями или таянием снега. В этом случае плотины аккумулируют излишне поступающую воду в создаваемых ими водохранилищах, позволяя постепенно пропустить ее через рабочие колеса гидротурбин в более спокойные периоды. Одна из важных инженерных задач проектирования ГЭС – выбор типа плотины, поскольку, как правило, именно плотина является наиболее дорогостоящим сооружением.

В зависимости от используемого материала все плотины можно разделить на два класса: бетонные и грунтовые. Бетонные плотины в сравнении с грунтовыми обладают большей надежностью и лучше приспособлены для пропуска воды, но они более дорогие, поэтому плотины из местных материалов (грунтовые плотины) во многих случаях вполне конкурентоспособны.

**Бетонная плотина** – тип плотины, основные конструкции которой выполнены из бетона. Эти плотины сооружают глухими (не пропускающими воду) и водосбросными. В зависимости от способа восприятия нагрузки бетонные плотины ГЭС делятся на несколько видов: арочные, гравитационные, арочно-гравитационные и контрфорсные.

## Арочные плотины.



*Рис. 11 Арочная плотина Чиркейской ГЭС*

Это криволинейные в плане плотины, работающие как горизонтально расположенная арка и передающие горизонтальную нагрузку от давления воды берегам. Арочные плотины обычно строят в горных районах, в ущельях. Скальные породы основания должны удовлетворять требованиям прочности, водонепроницаемости и надежности упора плотины. Несмотря на малую толщину, арочные плотины, даже при огромной высоте, представляют вполне надежную упругую конструкцию и обладают более высокими запасами прочности, чем другие типы плотин, если прочность скального массива, воспринимающего нагрузку от плотины, не нарушена. Подтверждением тому служит катастрофа на ГЭС Вайонт в Италии: после схода большого горного массива образовавшаяся волна, имевшая высоту примерно на 30 м выше гребня плотины, перехлестнула ее и уничтожила городок Лонгароне, расположенный в долине реки, однако у самой плотины лишь незначительно пострадал оголовок. Идеальными местами для устройства таких плотин являются узкие глубокие ущелья с симметричными берегами из твердых скальных пород.

## Гравитационные плотины



Рис. 12 Гравитационная плотина Братской ГЭС

Для обеспечения устойчивости гравитационных плотин используется только сила трения по основанию. Существует несколько разновидностей гравитационных бетонных плотин, но всех их объединяет одно: в разрезе они представляют, как правило, прямоугольный треугольник, обращенный вертикальным катетом в сторону напорного фронта.

- Гравитационные плотины могут размещаться как на скальном, так и на грунтовом основании. Отношение толщины плотины по основанию к её высоте зависит от подстилающих пород грунта и изменяется от 0,6 для скального основания и до 1,2 – для глиняного. Так, водосбросные плотины русловых ГЭС выполняются гравитационными.
- Благодаря простоте конструкции, гравитационные бетонные плотины являются одними из самых распространенных, но и одновременно самыми дорогими плотинами из-за большого количества бетона, уходящего на их строительство.

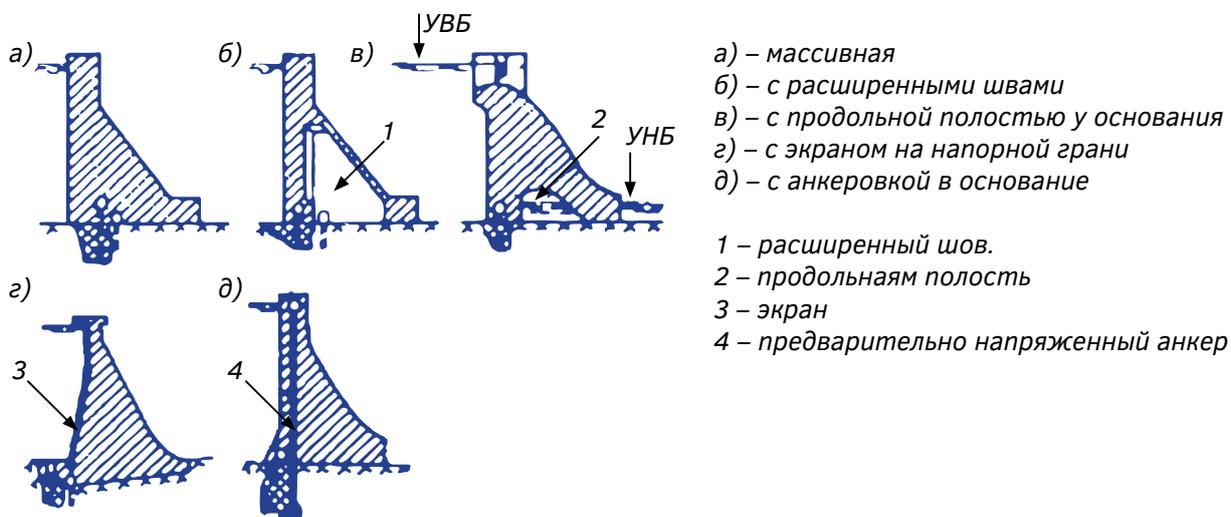


Рис. 13 Разрез гравитационной плотины

## Арочно-гравитационные плотины

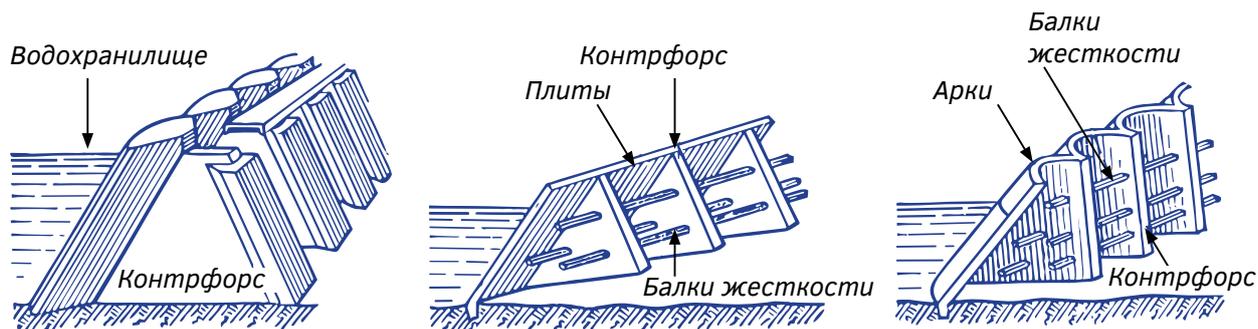


*Рис. 14 Арочно-гравитационная плотина Саяно-Шушенской ГЭС*

Арочно-гравитационные плотины сочетают в себе свойства арочных и гравитационных плотин, обеспечивая свою устойчивость как за счет геометрии, так и за счет веса их массивного основания. Такие плотины строятся в случае, если материал берегов не позволяет применение арочных плотин.

## Контрфорсные плотины

Контрфорсные плотины являются, пожалуй, самыми технически сложными их всех типов плотин. Как и гравитационные, они передают нагрузку на основание, но делают это с помощью специальных подпорных стенок – контрфорсов. Такая конструкция позволяет существенно сократить требуемое количество бетона (а соответственно и стоимость), по сравнению с обычной гравитационной плотиной на 20-40%, а иногда и на 60%). В то же время, контрфорсные плотины гораздо сложнее гравитационных в строительстве и более требовательны к качеству грунтов основания.



а) - массивно-контрфорсная, б) - с плоскими перекрытиями, в) - многоарочная

Рис. 15 Типы контрфорсных плотин.

Единственная ГЭС в России с контрфорсной плотиной – Зейская – имеет массивно-контрфорсную плотину.



Рис. 16 Массивно-контрфорсная плотина Зейской ГЭС

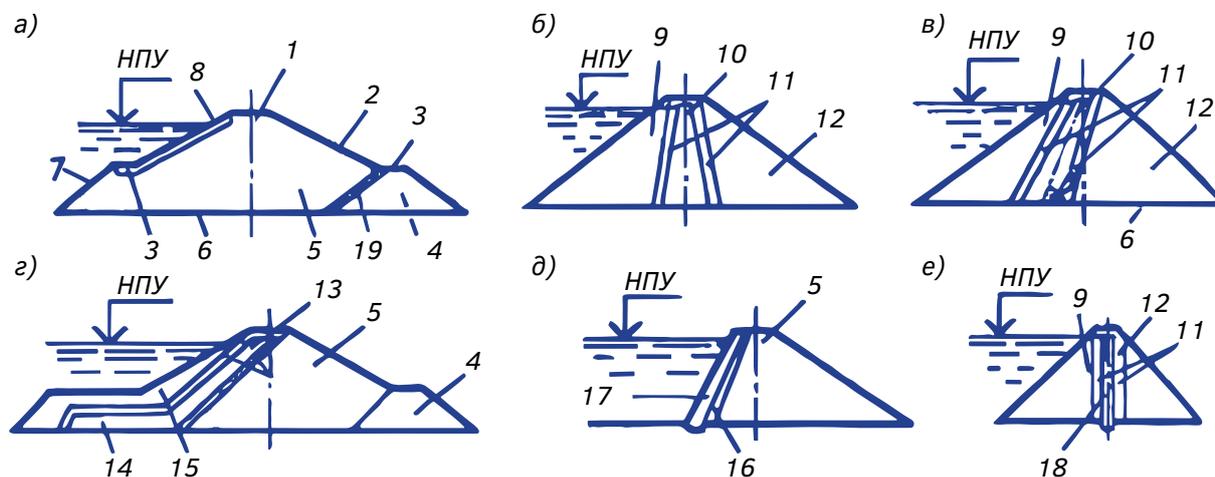
## Грунтовые плотины

Грунтовые плотины - наиболее распространенный тип плотин, что объясняется возможностью полной механизации технологического процесса по возведению плотины от разработки грунта в карьере до укладки его в тело плотины, широким разнообразием конструкций плотин, которые позволяют использовать для тела плотины практически любые грунты, находящиеся вблизи створа. Кроме того, при возведении грунтовых плотин предъявляются меньшие требования к деформируемости основания, чем плотин других типов. Их строят даже на очень слабых илистых основаниях. Широко распространено применение грунтовых плотин в районах с высокой сейсмичностью.

Грунтовые плотины по используемым материалам классифицируют на земляные, в которых основной объем тела плотины (более 50%) выполняется из мелкозернистых грунтов; каменноземляные, в которых основной объем тела плотины выполняется из крупнозернистых грунтов или горной массы скального грунта, а противофильтрационное устройство - из мелкозернистого грунта; каменные, в которых основное тело плотины, как и у каменноземляных плотин, выполняется из крупнозернистого материала, а противофильтрационное устройство (если оно требуется) - из негрунтовых материалов.

Все грунтовые плотины относятся к гравитационным.

Все эти плотины имеют трапецевидное поперечное сечение с прямолинейным или ломаным очертанием верхового и низового откосов.



а) однородные, б) с центральным ядром, в) с наклонным ядром, г) с грунтовым экраном, д) с негрунтовым экраном, е) с диафрагмой

1 – гребень плотины; 2 – низовой откос; 3 – берма; 4 – дренажная призма; 5 – грунтовая призма; 6 – подошва плотины; 7 – верховой откос; 8 – крепление верхового откоса; 9 – верховая упорная призма, 10 – ядро; 11 – переходные зоны; 12 – низовая упорная призма; 13 – грунтовый экран; 14 – понур; 15 – пригрузка, 16 – подготовка под негрунтовым экраном; 17 – негрунтовый экран; 18 – диафрагма; 19 – фильтр

Рис. 17 Типы грунтовых плотин.

По методам производства работ плотины бывают насыпные, намывные, набросные, взрывонабросные, из сухой кладки камня. Могут иметь место и комбинации видов производства работ по плотине.

Насыпные плотины бывают: с механическим уплотнением грунта, возводимые послойной отсыпкой с укаткой или тромбованием слоев; возводимые отсыпкой грунта в воду без механического уплотнения; возводимые отсыпкой большими слоями (10 - 50 м) насухо или с уплотнением струей воды из гидромонитора.

Ядро или экран плотины являются основными элементами, предотвращающими фильтрацию воды сквозь тело плотины. Каждый из этих элементов имеет свои преимущества, учитываемые на стадии проектирования.

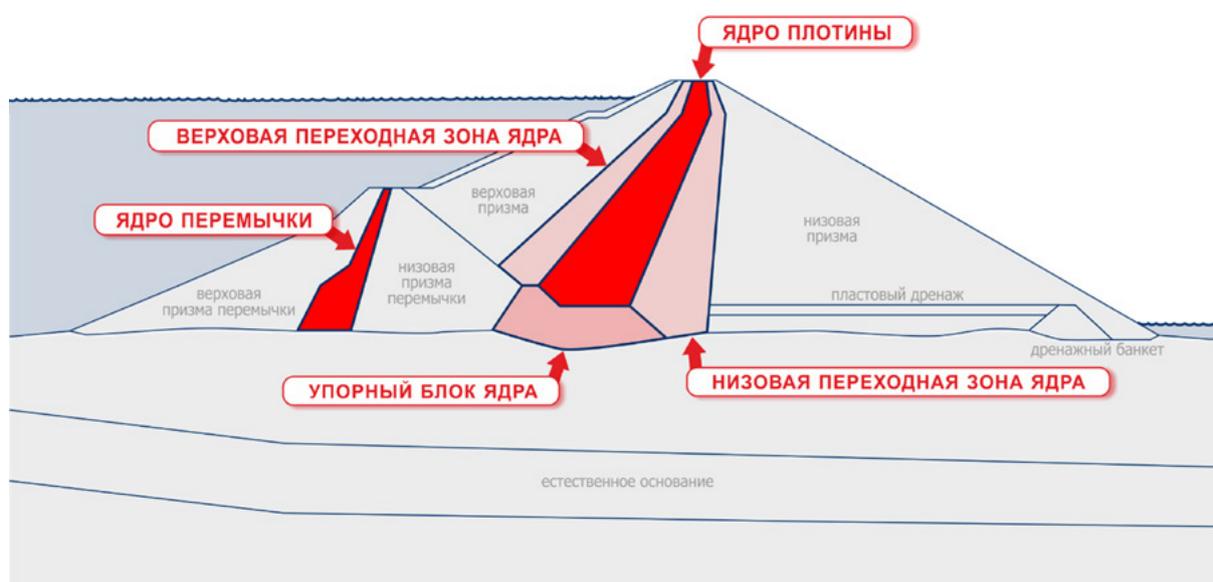


Рис. 18 Плотина с ядром

Достоинствами ядра являются:

1. Ядро лучше сопрягается с берегами реки (особенно, если берега крутые) и с бетонными сооружениями.
2. Ядро менее чувствительно к осадкам естественного основания. Т.е. при сильно деформируемом основании использование в проекте ядра предпочтительнее экрана. Эта особенность ядра ещё более выражена при сравнении ядра с негрунтовыми противофильтрационными элементами – асфальтобетонными диафрагмами и полиэтиленовыми пленками.
3. Ядро дешевле экрана, т.к. почти всегда характеризуется меньшими объемами укладываемого грунта.
4. Для ядра необязательны высокие прочностные свойства камня упорных призм плотины, т.к. ядро по сути является самонесущей конструкцией, а экран опирается на основное тело плотины.

5. Применение в проектной документации особой разновидности ядра – наклонного ядра – позволяет сделать круче низовой откос плотины (из-за снижения противодействия). Однако при этом усложняется сопряжение ядра с берегами и устройство переходных зон.
6. Ядро лучше защищено от атмосферного воздействия, в частности – от отрицательных температур воздуха. Это особенно важно, если проектируемая плотина располагается в суровых климатических условиях

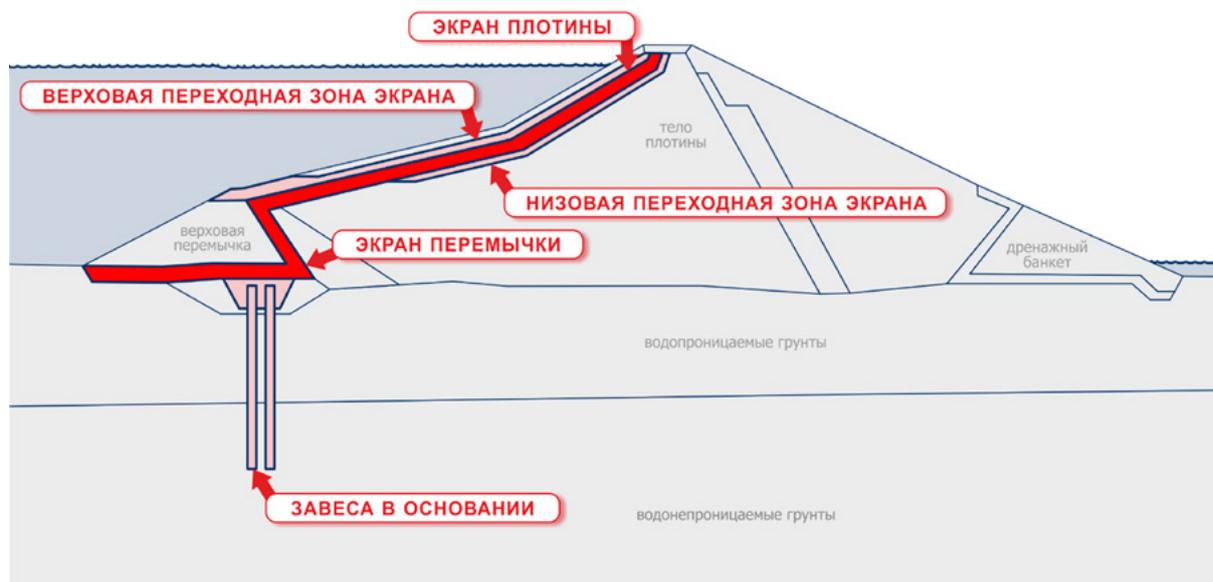


Рис. 19 Плотина с экраном

Как видно из рис. 19, экран устраивается со стороны верховой призмы плотины. При этом для предотвращения фильтрации воды под плотинной строится специальная водонепроницаемая стена, упирающаяся в водонепроницаемые грунты, которая называется цементационной завесой.

Экран, несмотря на множество преимуществ ядра, обладает не меньшим числом факторов, влияющих на выбор именно экрана в качестве противофильтрующего элемента:

1. Экран уменьшает объем грунта плотины, находящийся в водонасыщенном состоянии;
2. Экран обеспечивает лучшую доступность для его осмотра и ремонта.
3. Экран позволяет уменьшить расход грунта, необходимого для устройства понура (см. рис. 17 г, поз. 14).
4. Экран дает возможность вести опережающую отсыпку основного тела плотины (ядро требует одновременной отсыпки). Это является важным в условиях дождливого климата, т.к. позволяет прекратить отсыпку экрана, а отсыпку тела плотины продолжать.

5. Экран позволяет отсыпать основное тело плотины вне зависимости от выполнения цементационной завесы. Это возможно благодаря тому, что цементационная завеса располагается под основанием экрана, т.е. вне основного тела плотины.
6. Экран допускает возможность пропуска паводка строительного периода непосредственно через гребень недостроенной плотины.
7. Экран позволяет начать эксплуатацию частично наполненного водохранилища при меньшем объёме отсыпки основного тела плотины. Тем самым уже на стадии разработки проектной документации могут быть улучшены условия для ввода гидроузла в эксплуатацию несколькими очередями.
8. Наличие экрана позволяет вести отсыпку основного тела плотины более широким фронтом (на большей площади). Результатом этого становится рост интенсивности работ по отсыпке, и, следовательно, сокращение сроков строительства.
9. Плотины, проектом которых предусматривалось устройство экрана, несколько более сейсмостойки, чем плотины, запроектированные с ядром.

## **Некоторые аспекты эксплуатации ГЭС**

Наряду с общими вопросами эксплуатации электростанций (организация эксплуатации, технического обслуживания и ремонта основного и вспомогательного оборудования, организация безопасного производства работ, подготовка персонала, действия при возникновении технологических нарушений в электрической части энергосистемы и т. д.) особого внимания заслуживает мониторинг состояния гидротехнических сооружений ГЭС (плотины, деривационные туннели, водосбросы и т. п.). Все гидротехнические сооружения ГЭС должны обладать свойствами, обеспечивающими защиту жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов.

Контроль безопасности ГЭС является одним из важнейших направлений эксплуатации ГЭС. Для этого на каждой электростанции создается служба мониторинга гидротехнических сооружений. В зависимости от класса плотин контролю подлежат:

для грунтовых плотин :

- осадки гребня и основания;
- горизонтальные перемещения гребня;
- фильтрационные (пьезометрические) напоры в области фильтрации;
- положение поверхности депрессии фильтрационного потока;

- фильтрационный расход через плотину и основание;
- градиенты фильтрационных напоров в теле плотины, на противофильтрационных элементах, в основании;
- проявления очагов сосредоточенной фильтрации, суффозии грунта, трещин и просадок грунта, повреждений волновых креплений откосов, заилений дренажных устройств.

для бетонных и железобетонных плотин:

- напряжения и деформации в теле плотины и в основании;
- усилия в арматуре в ответственных железобетонных элементах;
- противодействие воды на подошву плотины;
- фильтрационные расходы, напоры и градиенты напоров в областях фильтрации;
- отложения донных наносов грунта, кроме высоконапорных сооружений, построенных на реках с незначительной мутностью;
- осадки плотины и основания;
- горизонтальные перемещения гребня;
- раскрытия швов и трещин;
- размывы в нижнем бьефе;
- образование трещин, деструктивные разрушения бетона.

Для оценки состояния гидротехнического сооружения необходимо контролировать также действующие на сооружение нагрузки и воздействия, к числу которых относятся :

- гидростатическое давление со стороны верхнего и нижнего бьефов (уровни воды, графики наполнения и сброски водохранилища);
- температура окружающей среду (воздуха, воды);
- давление наносов (их уровень и механические характеристики);
- воздействие льда на сооружение и механическое оборудование;

- динамические воздействия на сооружение (от сбрасываемого потока воды, работы гидроагрегатов, железнодорожного и автомобильного транспорта, промышленных взрывов);
- сейсмические воздействия (динамические перемещения, скорости, ускорения основания во время сейсмособытия).

Также оценке подлежат не только количественные, но и качественные показатели ГТС:

- наличие и развитие просадок или пучения грунта на гребне, бермах или откосах грунтовых сооружений;
  - оползни, в том числе локальные, откосов плотин и береговых склонов, абразия берегов, оврагообразование;
  - деформация, износ и коррозия бетонных, железобетонных и металлических элементов сооружений;
  - повреждения волнозащитных креплений откосов плотин;
  - наличие полостей и каверн в основании и теле сооружений;
  - наличие и развитие трещин и других повреждений на гранях сооружений, в зонах сопряжения элементов сооружений и оснований с различными механическими и фильтрационными свойствами, а также в подземных выработках;
  - протечки в потернах сооружений, следы выщелачивания бетона;
  - засорение, зарастание, перемерзание дренажных устройств;
  - наледи на выходах фильтрующей воды;
  - высачивание воды и намокание откосов и склонов, заболачивание, появление ключей и грифонов;
  - наличие мутности фильтрующей воды;
  - механические повреждения элементов водосбросного тракта и размывы русла в нижнем бьефе;
  - работоспособность затворов, гидромеханического, кранового и электро-механического оборудования;
  - состояние систем инструментального контроля;
  - ориентировочные объемы и уровень наносов в верхнем бьефе.
-

Напорные и безнапорные водоводы нуждаются в контроле за состоянием облицовки и фильтрацией воды. Стальные трубопроводы, особенно если они проложены на нескальных грунтах, требуют контроля за осадками, за состоянием компенсаторов; необходима регулярная антикоррозионная защита (окраска) трубопроводов. Контроль водоводов очень важен для деривационных ГЭС. Так, на упомянутой выше ГЭС Бьедрон, которая была запущена в 1998 г., в декабре 2000 г. на водоводе, соединённом с водохранилищами Клезон, Дикс и снабжающем водой турбины ГЭС, произошёл разрыв, который привел к полному останову станции. Станция частично восстановила свою работоспособность лишь спустя девять лет. В отечественной практике показателен случай на Зеленчукской ГЭС-ГАЭС: во время пробного заполнения одного из двух напорных туннелей вода просочилась через его облицовку, что привело к сильному обводнению грунта холма, внутри которого располагался туннель. В результате произошел оползень, а пуск станции был задержан из-за работ по восстановлению туннеля.

В процессе декларирования безопасности для каждой ГЭС определяются критерии безопасности ГТС, при этом вводится два вида критериев: первого уровня - K1 и второго уровня - K2.

K1 – первый (предупреждающий) уровень значений диагностических показателей, при достижении которого устойчивость, механическая и фильтрационная прочность ГТС и его основания еще соответствуют условиям нормальной эксплуатации;

K2 – второй (предельный) уровень значений диагностического показателя, при превышении которого состояние сооружения становится предаварийным, в котором дальнейшая эксплуатация ГТС в проектном режиме недопустима.

Данные критерии подлежат периодическому пересмотру в ходе получения очередной декларации промышленной безопасности ГЭС.

Важным фактором, обеспечивающим надежную и безотказную работу ГЭС является энергоснабжение вспомогательного оборудования, отвечающего за безопасное состояние электростанции. Особенно ясно это стало после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС, в ходе которой источники электроснабжения устройств жизнеобеспечения (аварийные затворы, дренажные насосы, системы управления гидроагрегатами), расположенные на нижних отметках здания ГЭС, оказались затоплены, что привело к значительному увеличению поступившей в здание воды и к гибели большого количества людей, чего можно было бы избежать при нормальной организации электроснабжения. Энергетики извлекли из этой трагедии урок: в настоящее время станции оборудуются аварийными источниками электроснабжения жизненно важных систем, а, скажем, электрические щитки дренажных насосов располагаются на незатапливаемых отметках, в то время как сами насосы имеют погружное исполнение. Это принесло свои плоды: во время обрушения затвора водосливной плотины Нижне-Бурейской ГЭС, сопровождающегося поступлением воды на нижние отметки здания ГЭС, дренажные насосы остались работоспособными, и затопления нижних отметок удалось избежать.

## Сценарии убытков на ГЭС

Сценарии максимальных возможных убытков зависят от используемых на станции гидротехнических сооружений. Следует отметить, что вероятность возникновения рассматриваемых ниже ситуаций не оценивается.

Для приплотинных ГЭС с бетонными плотинами основным является сценарий аварии гидроагрегата и поступления воды в машинный зал через напорный водовод, повреждением электрической части остальных гидрогенераторов, утратой оборудования, расположенного ниже возможного уровня поступления воды и некоторого повреждения здания ГЭС. Данный сценарий стал основным после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС, в ходе которой рабочее колесо турбины, вылетев из корпуса, упало обратно и перегородило сечение отсасывающей трубы, что и привело к поступлению воды в машинный зал. Согласно этому сценарию, предполагается полное разрушение одного гидроагрегата, затопление водой нижних отметок здания ГЭС, выход воды на уровень верхней площадки обслуживания гидроагрегатов и ее прорыв в сторону нижнего бьефа через легкобрасываемые конструкции здания ГЭС.

При этом учитывается, что сама плотина остается неповрежденной.

Обоснованием именно такого сценария является факт, что бетонная плотина ГЭС является очень надежным сооружением. По данным Международного комитета по большим плотинам<sup>1</sup> (ICOLD), из 1500 бетонных гравитационных плотин и плотин из каменной кладки, построенных после 1930 года, высотой более 30 м разрушилась одна. Из 600 арочных плотин высотой более 30 м разрушились две. В обоих случаях (разрушение плотин Сент-Френсис в 1928 г. и Мальпасе в 1959 г.) разрушение произошло после первого заполнения водохранилищ и резкого увеличения фильтрации из-за неизученного состояния грунтов в основании плотин. Обе эти плотины не имели отношения к ГЭС. Таким образом, можно говорить о том, что на протяжении последних 60 лет большие бетонные плотины не разрушались.

В современной истории имели место несколько случаев перелива бетонных плотин (Вайонт, 1963 г., Саяно-Шушенская ГЭС, 1979 г.), однако в обоих случаях наблюдались лишь незначительные повреждения гребней, в то время как сами плотины оставались неповрежденными.

Убыток от перерыва в производстве оценивается исходя из количества гидроагрегатов ГЭС и степени их повреждения. Предполагается, что в течение первых шести месяцев станция будет простаивать для ремонта здания ГЭС и основного оборудования, а также для замены вспомогательного оборудования. Далее отремонтированные гидроагрегаты будут вводиться в эксплуатацию по одному каждые два месяца. Для более точной оценки желательно проведение страхового осмотра. Так, к примеру, на Саяно-Шушенской ГЭС, где генераторы подключены к силовым трансформаторам попарно, от коротких замыканий

---

<sup>1</sup> *Bulletin №99/1995 «DAM FAILURES STATISTICAL ANALYSIS»*

на выводах из-за залива водой пострадали 50% генераторов, поскольку при возникновении замыкания срабатывала защита трансформатора и отключала весь блок (трансформатор и два генератора).

Для ГЭС, имеющих в своем составе грунтовые плотины, риск их утраты выше, поэтому сценарием развития аварии для них является размыв в результате, скажем, перелива из-за резкого увеличения приточности (паводок, ливневые дожди). В этом случае оценивается стоимость самой плотины, поскольку предполагается, что бетонные конструкции (водосливная плотина, здание ГЭС), повреждены не будут.

Размер убытка от перерыва в производстве оценивается исходя из сроков восстановления поврежденной плотины, однако очевидно, что этот процесс займёт не один год.

## **Заключительные положения**

Страховой осмотр – сюрвей, предоставляет информацию о типичных рисках конкретного объекта и является основой для дальнейшей работы андеррайтера. В связи с тем, что ГЭС являются сложными (в техническом плане) объектами, то проведения сюрвея на них необходимо для более прозрачного понимания риска андеррайтером.

В риск-инженерных отчётах даётся информация об объекте, его расположении и техническом оснащении, на основании чего инженер делает заключение о подверженности объекта различным рискам. Также в отчёте указываются сценарии и ущерб вероятных убытков, которые помогают андеррайтеру в расчёте ценообразования, расчёту лимитов и условий.

При проведении сюрвея на ГЭС следует обращать внимание на следующие факторы анализа риска, которые могут повлиять на качество риска:

1. Оборудование должно быть осмотрено на предмет технического состояния и соответствия нормативам РФ (ПТЭ), а также на предмет его модернизаций/усовершенствований и историй поломок;
  2. Анализ оборудования в части его режимов работы (базовая/пиковая нагрузка, количество пусков и остановов);
  3. Наличие адекватной системы мониторинга состояния оборудования. Лучшей практикой в этом вопросе является система прогностики состояния оборудования;
  4. Наличие сил и средств для осуществления технического обслуживания и ремонта оборудования;
  5. Наличие критических запасных частей на территории (или вблизи) электростанции;
-

6. Объем информации, собираемый для анализа состояния ГТС, уровень автоматизации контрольно-измерительной аппаратуры, привлечение сторонних организаций для анализа полученной информации и прогнозирования состояния ГТС на основе полученных данных;
7. Оценка процедур проверки и испытаний технологических защит оборудования;
8. Оценка оснащённости и состояния противопожарных систем (датчиков, насосов и пр. оборудования);
9. Защита от природных рисков (наводнение, землетрясений, сели и пр.);
10. Контроль приточности. Несмотря на то, что водохранилища относятся к зоне управления федеральными структурами, прогноз приточности в них важен для прогноза выработки ГЭС, а также для оценки способности ГЭС принять тот или иной объем поступающей в водохранилище воды.