

Дисциплина «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»

для специальности «Теплоэнергетика»

Дисциплина «Проектирование и эксплуатация установок возобновляемой энергетики»

для специальности «Электроэнергетика»

Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникации

Кафедра «Энергетические системы»

**Калытка Валерий Александрович**

Доктор PhD; ассоциированный профессор (доцент); доцент кафедры «Энергетические системы»

# Лекция № 7. Гидроэнергетика. Принцип работы ГЭС



# Гидроэнергетика. Принцип работы ГЭС

- Цель лекции:
- Перечень видеоматериалов:



# ОСНОВЫ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

# Что такое гидроэнергетика?

**Гидроэнергетика** — область хозяйственно-экономической деятельности человека, совокупность больших естественных и искусственных подсистем, служащих для преобразования **ГИДРОЭНЕРГИИ** в электрическую энергию.

# Что такое гидроэнергия?

**Гидроэнергия** — энергия, сосредоточенная в потоках водных масс в русловых водотоках и приливных движениях. Первый широко используемый для технологических целей вид энергии.

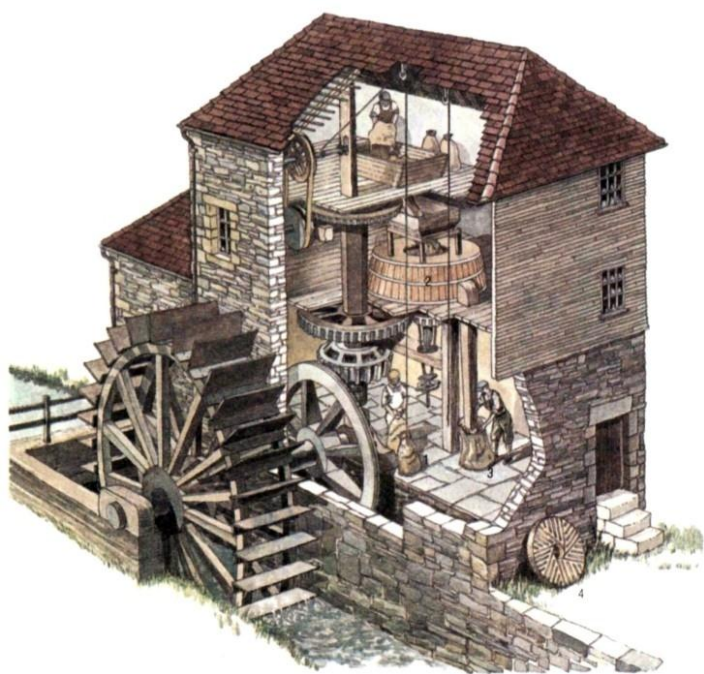
До середины XIX века для этого применялись водяные колёса, преобразующие энергию движущейся воды в механическую энергию вращающегося вала.

До конца XIX века энергия вращающегося вала использовалась непосредственно, например для размолва зерна на водяных мельницах или для приведения в действие кузнечных мехов и молота. Сейчас практически вся механическая энергия, создаваемая гидротурбинами, преобразуется в электроэнергию.

# Использование гидроэнергии

**XIX век**

**Водяная мельница**



**Сегодня ГЭС**

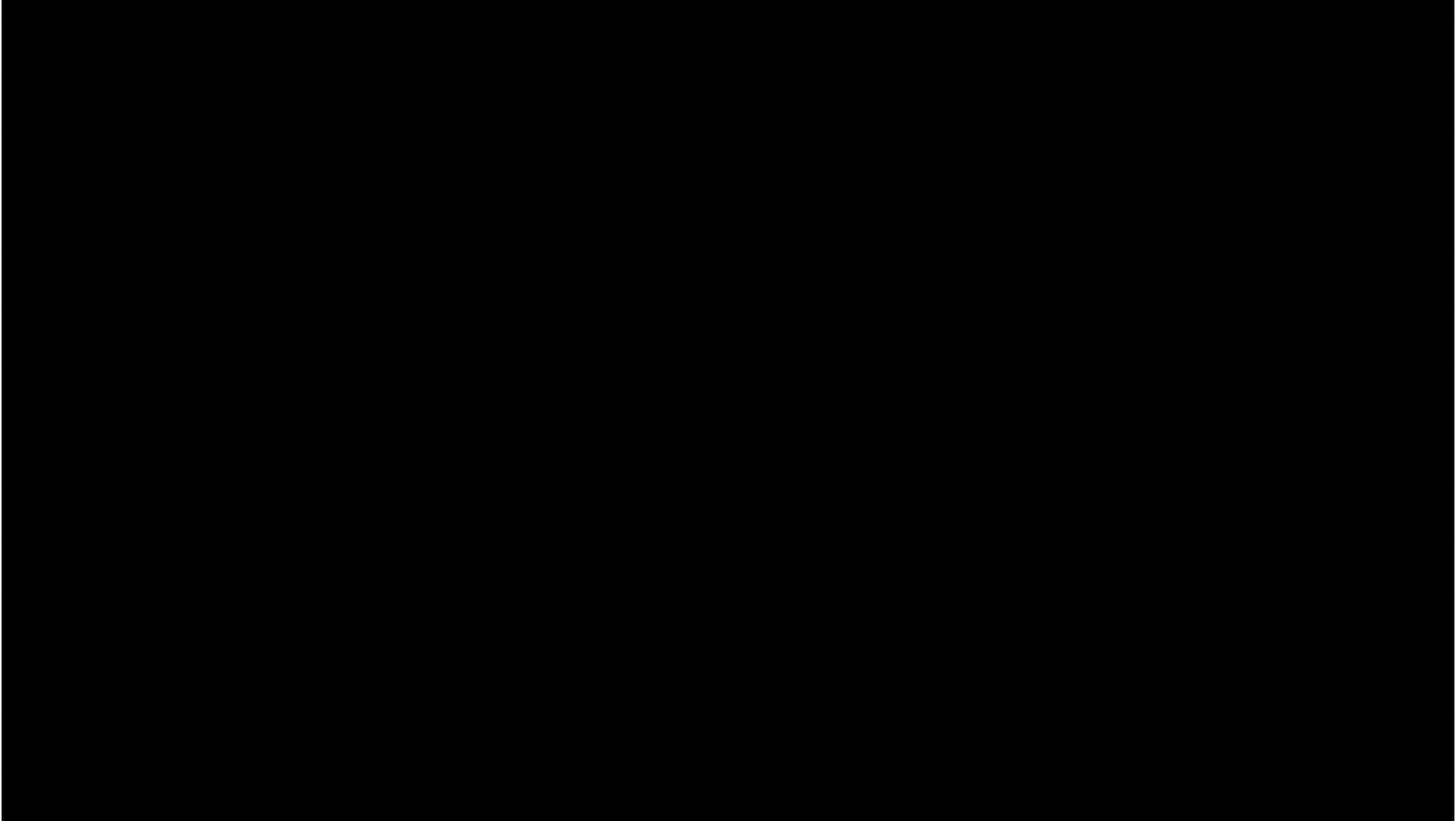
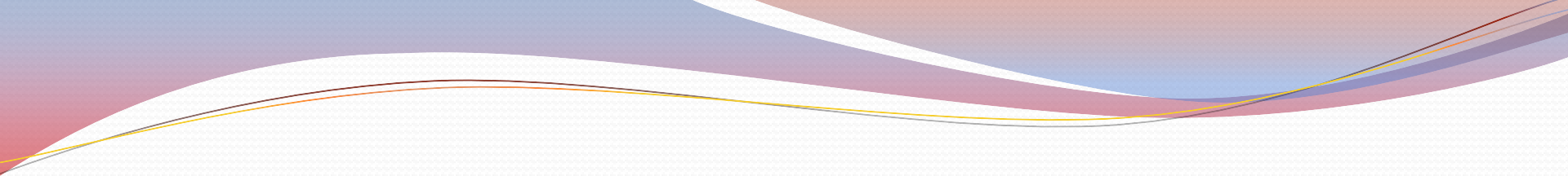


# Что такое ГЭС?

- Гидроэлектростанция (ГЭС) — электростанция, в качестве источника энергии использующая энергию водного потока. Гидроэлектростанции обычно строят на реках, сооружая плотины и водохранилища.

Для эффективного производства электроэнергии на ГЭС необходимы два основных фактора: гарантированная обеспеченность водой круглый год и возможно большие уклоны реки, благоприятствуют гидростроительству каньонообразные виды рельефа.





Наука 2.0 - Элементарноо ГЭС

# Основные понятия

- **Бьеф** (фр. bief) — часть реки, канала, водохранилища или другого водного объекта, примыкающая к гидротехническому сооружению.
- **Гидроагрегат** (от гидро... и агрегат) — агрегат, состоящий из гидротурбины и гидрогенератора.
- **Гидроагрегат** (от гидро... и агрегат) — агрегат, состоящий из гидротурбины и гидрогенератора.
- **Гидроузел** — комплекс или группа гидротехнических сооружений, объединённых по расположению, целям и условиям их работы.
- **Гидротурбина** - ротационный двигатель, преобразующий механическую энергию воды в энергию вращающегося вала.
- **Деривация** — отвод воды от русла реки по каналу.
- **Плотина** — гидротехническое сооружение, перегораживающее водоток или водоём для подъёма уровня воды.

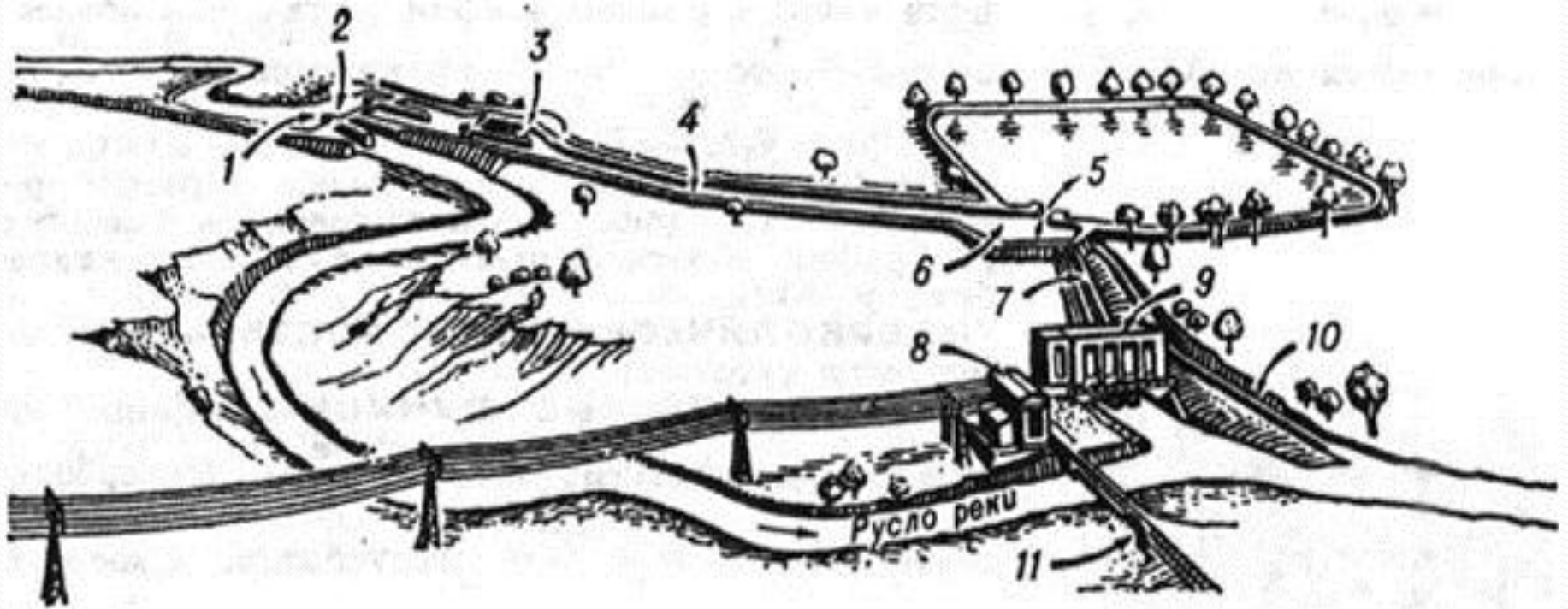
# Типы ГЭС

- Деривационная ГЭС
- Руслловая ГЭС
- Приплотинная
- Гидроаккумулирующая ГЭС (ГАЭС)

# Деривационная ГЭС

Гидроэлектрическая станция, напор которой обеспечивается в основном посредством деривации. Вода из речного русла отводится деривационным каналом (безнапорная деривация), туннелем или напорным трубопроводом (напорная деривация) к станционному узлу, где за счёт естественного понижения местности создаётся перепад уровней между верхним и нижним бьефами. После использования в гидроагрегатах вода отводится в реку либо к следующей деривационной ГЭС. Строятся главным образом на горных реках.

# Общее устройство деривационной ГЭС



1 - плотина;  
2 - водоподъёмник;  
3 - отстойник;  
4 - деривационный канал;  
5 - бассейн суточного регулирования;  
6 - напорный бассейн;

7 - турбинный водовод;  
8 - распределительное устройство;  
9 - здание ГЭС;  
10 - водосброс;  
11 - подъездные пути

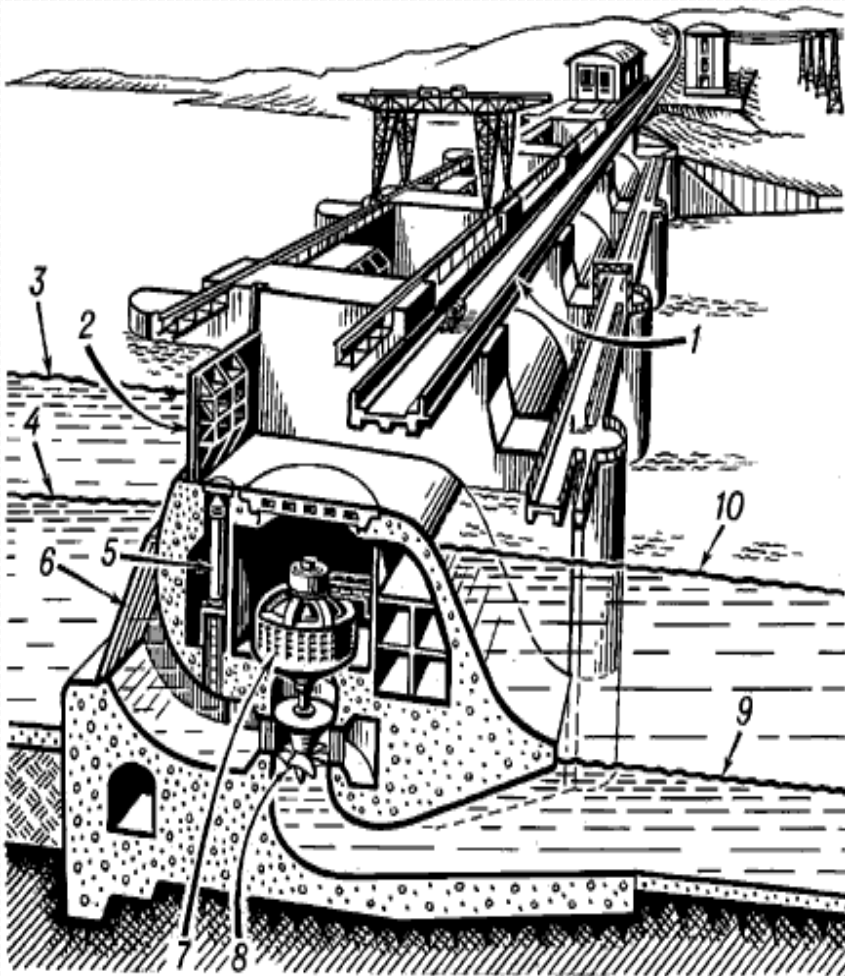


Зеленчукская ГЭС деривационного типа расположена в Северо-Кавказском Федеральном округе, Карачаево-Черкесская Республика, на территории Зеленчукского и Карачаевского районов.

# Русловая ГЭС

Гидроэлектрическая станция, сооружения которой располагаются в основном в пределах речного русла и лишь частично выходят на берега. Напор создаётся плотиной, водосбросными сооружениями и зданием гидроэлектрической станции, образующими напорный фронт; таким образом одна из стен здания станции воспринимает статичный напор воды. Русловые гидроэлектрические станции сооружают обычно при напорах не более 30 м.

# Общее устройство русловой ГЭС



- 1 - плотина;
- 2 - затворы;
- 3 - максимальный уровень верхнего бьефа;
- 4 - минимальный уровень верхнего бьефа;
- 5 - гидравлический подъёмник;
- 6 - сороудерживающая решётка;
- 7 - гидрогенератор;
- 8 - гидравлическая турбина;
- 9 - минимальный уровень нижнего бьефа;
- 10 - максимальный паводковый уровень



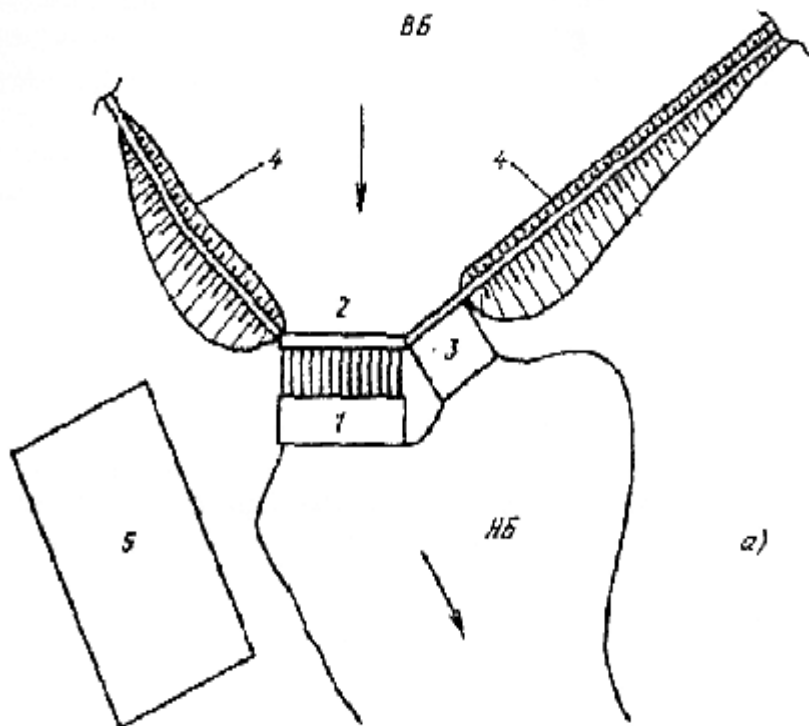


Саратовская ГЭС руслового типа расположена на границе Среднего и Нижнего Поволжья, в 1129 км выше устья р. Волга, у города Балаково, на левобережной пойме.

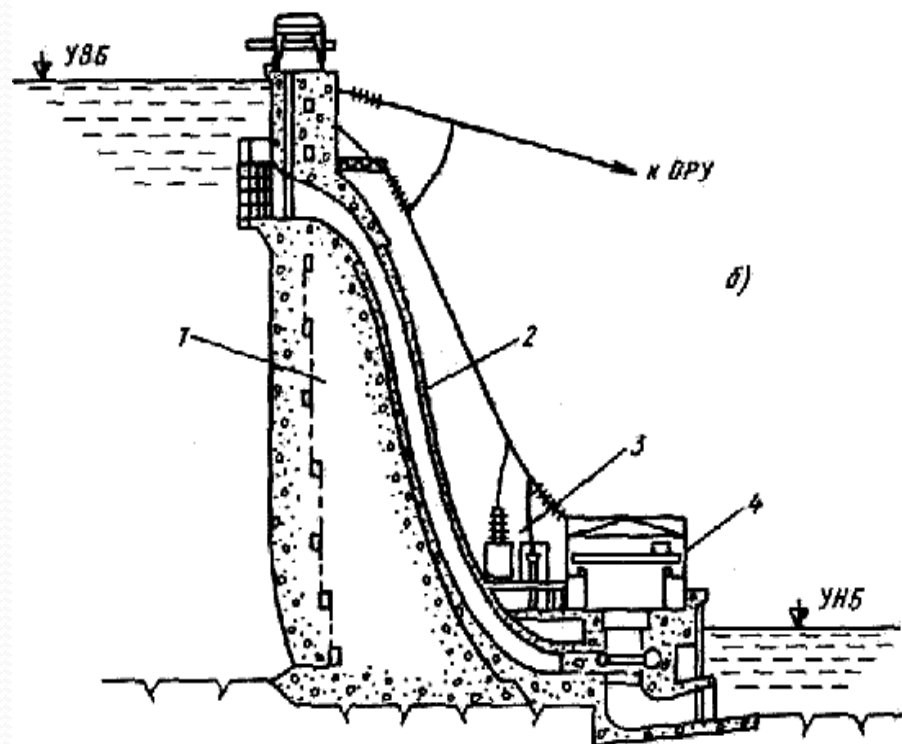
# Приплотинная ГЭС

Гидроэлектрическая станция, напор которой создаётся посредством плотины, а машинный зал и здание гидроэлектрической станции вынесены за пределы плотины. Статичный напор воды воспринимается щитовой стенкой, в которой берут начало турбинные водоводы. Приплотинные гидроэлектростанции сооружают при напорах от 30 до 200 м.

# Общее устройство приплотинной ГЭС



- а) 1 - здание ГЭС;  
2 - стационарная бетонная плотина;  
3 - бетонный водослив;  
4 - каменно-набросные плотины;  
5 - ОРУ ВН и СВН.



- б) 1 - плотина;  
2 - водовод;  
3 - площадка электротехнического оборудования высокого напряжения;  
4 - здание машинного зала ГЭС.

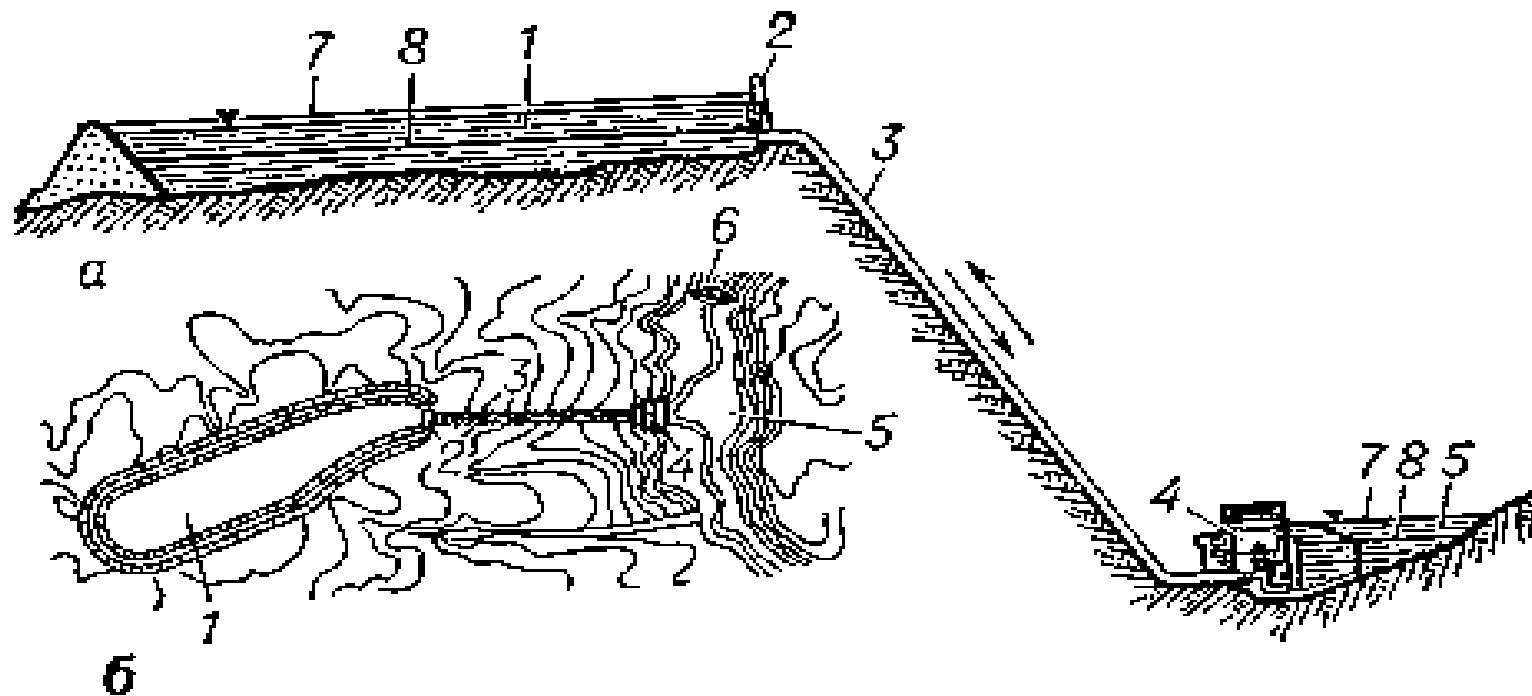


Красноярская ГЭС приплотинного типа на Енисее в 40 километрах от Красноярска, вблизи города Дивногорска Красноярского края.

# Гидроаккумулирующая ГЭС (ГАЭС)

Гидроэлектрическая станция, принцип действия которой заключается в преобразовании электрической энергии, получаемой от другой электростанций, в потенциальную энергию воды; при обратном преобразовании накопленная энергия отдаётся в энергосистему главным образом для покрытия пиков нагрузки. Гидротехнические сооружения ГАЭС состоят из двух бассейнов, расположенных на разных уровнях, и соединительного трубопровода.

# Общее устройство гидроаккумулирующей ГЭС (ГАЭС)



а — вертикальный разрез;

б — план;

1 — верхний аккумулирующий бассейн;

2 — водоприёмник;

3 — напорный водовод;

4 — здание электростанции;

5 — нижнее питающее водохранилище;

6 — плотина с водосбросом;

7 — нормальный подпорный уровень воды;

8 — уровень сработки.



Загорская ГАЭС гидроаккумулирующая электростанция на реке Кунье у посёлка Богородское в Сергиево-Посадском районе Московской области.

# Типы турбин ГЭС

- Поворотно-лопастная турбина
- Радиально-осевая турбина
- Ковшовая турбина



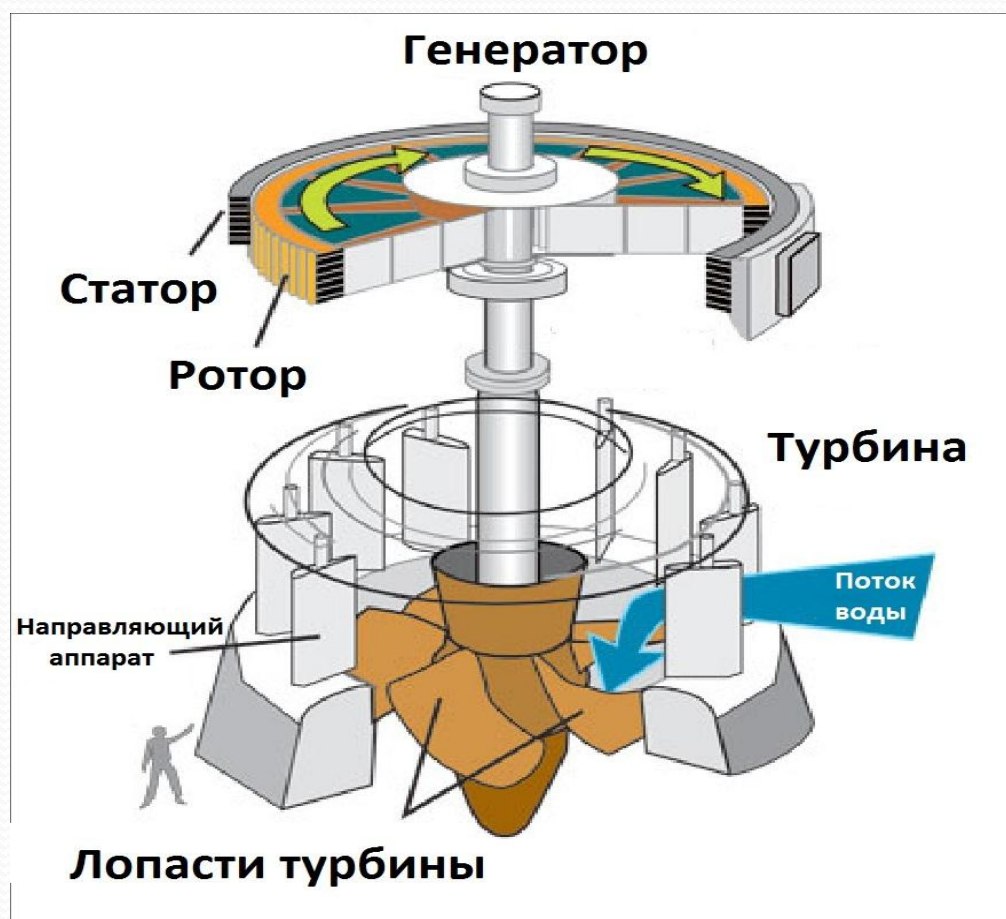
# Поворотно-лопастная турбина (турбина Каплана)

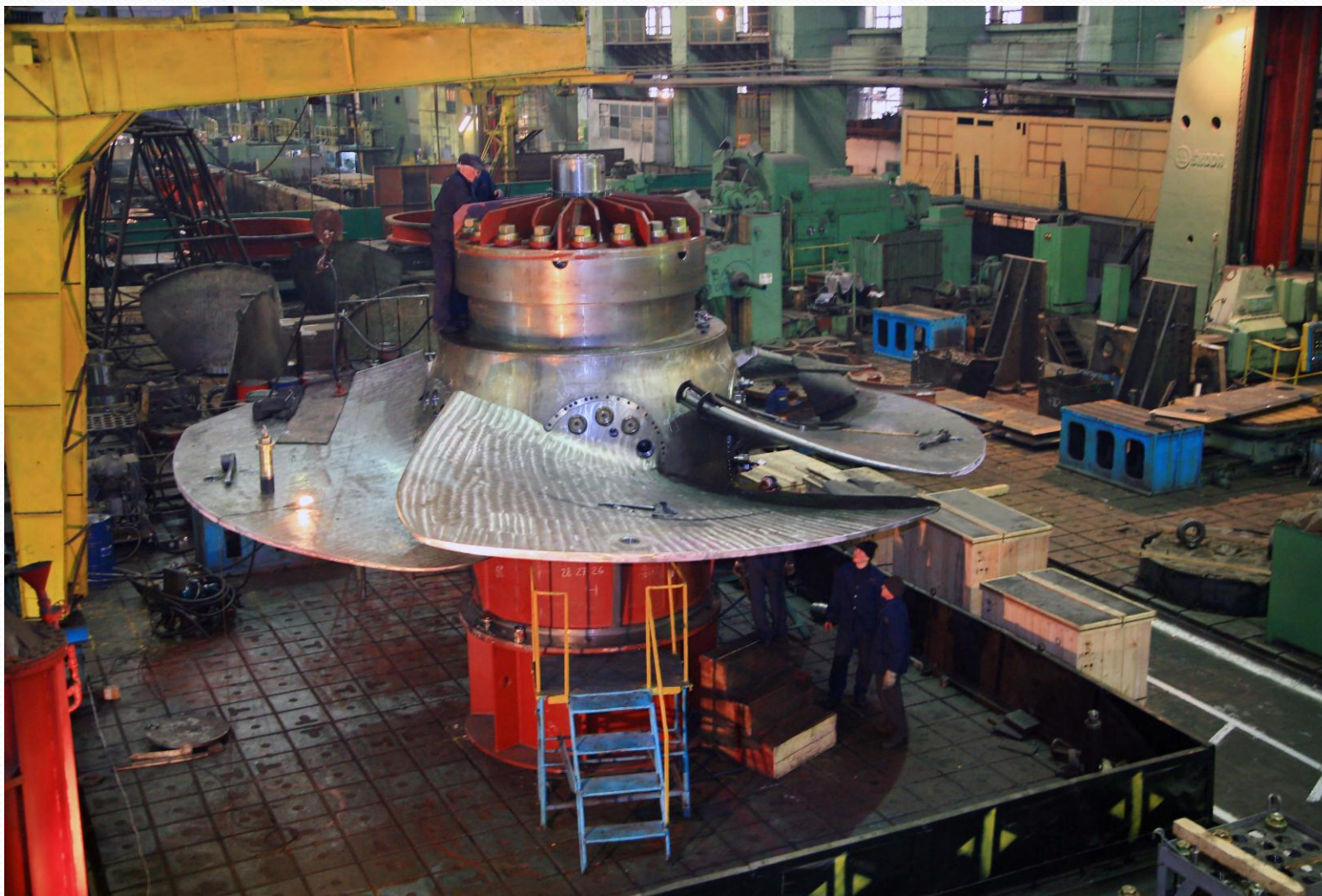
Гидротурбина, лопасти которой могут поворачиваться вокруг своей оси одновременно, за счёт чего регулируется её мощность. Также мощность может регулироваться с помощью лопаток направляющего аппарата. Лопасти гидротурбины могут быть расположены как перпендикулярно её оси, так и под углом. Последняя разновидность называется диагональной турбиной.

Запатентована в 1920 году австрийским инженером Виктором Капланом, благодаря чему во многих странах мира эта турбина носит имя изобретателя. Однако имя Каплана носит также турбина без возможности поворота лопастей.

Поток воды в поворотной-лопастной турбине движется вдоль её оси. Ось турбины может располагаться как вертикально, так и горизонтально. При вертикальном расположении оси поток перед поступлением в рабочую камеру турбины закручивается в спиральной камере, а затем спрямляется с помощью обтекателя. Это необходимо для равномерной подачи воды на лопасти турбины, а значит, уменьшения её износа.

# Устройство поворотно-лопастной турбины (турбины Каплана)





Поворотно-лопастное рабочее колесо для гидротурбины Новосибирской ГЭС

# Радиально-осевая турбина (турбина Френсиса)

В рабочем колесе турбин данного типа поток сначала движется радиально (от периферии к центру), а затем в осевом направлении (на выход).

Ротором турбины является рабочее колесо, соединенное с валом турбины. Рабочее колесо, как правило, состоит из ступицы, комплекта лопастей и обода. Ступица колеса соединяется с валом турбины. Все детали колеса соединены между собой неподвижно, — это обеспечивает ему хорошие прочностные свойства. Колесо является рабочим органом турбины, преобразующим энергию потока в механическую. Статором является несущий элемент проточной части турбины, содержащий профилированные колонны, которые придают необходимое направление потоку воды. Также в статор входит направляющий аппарат. Направляющий аппарат турбины является рабочим органом, изменяющим закрутку потока и регулирующим расход турбины за счет поворота лопаток. Снаружи к статору подсоединяется спиральная камера, которая предназначена для подвода воды к направляющему аппарату турбины. Особая форма камеры с уменьшающимися сечениями служит для равномерного распределения потока по всей окружности статора.

Турбина была разработана американским инженером Джеймсом Френсисом в XIX веке.

Основным преимуществом турбин данного типа является самый высокий оптимальный КПД из всех существующих типов. Недостаток — менее пологая рабочая характеристика, чем у поворотно-лопастной гидротурбины.

# Устройство Радиально-осевой турбины (турбины Френсиса)





Радиально-осевое рабочее колесо для гидротурбины Саяно-Шушенской ГЭС

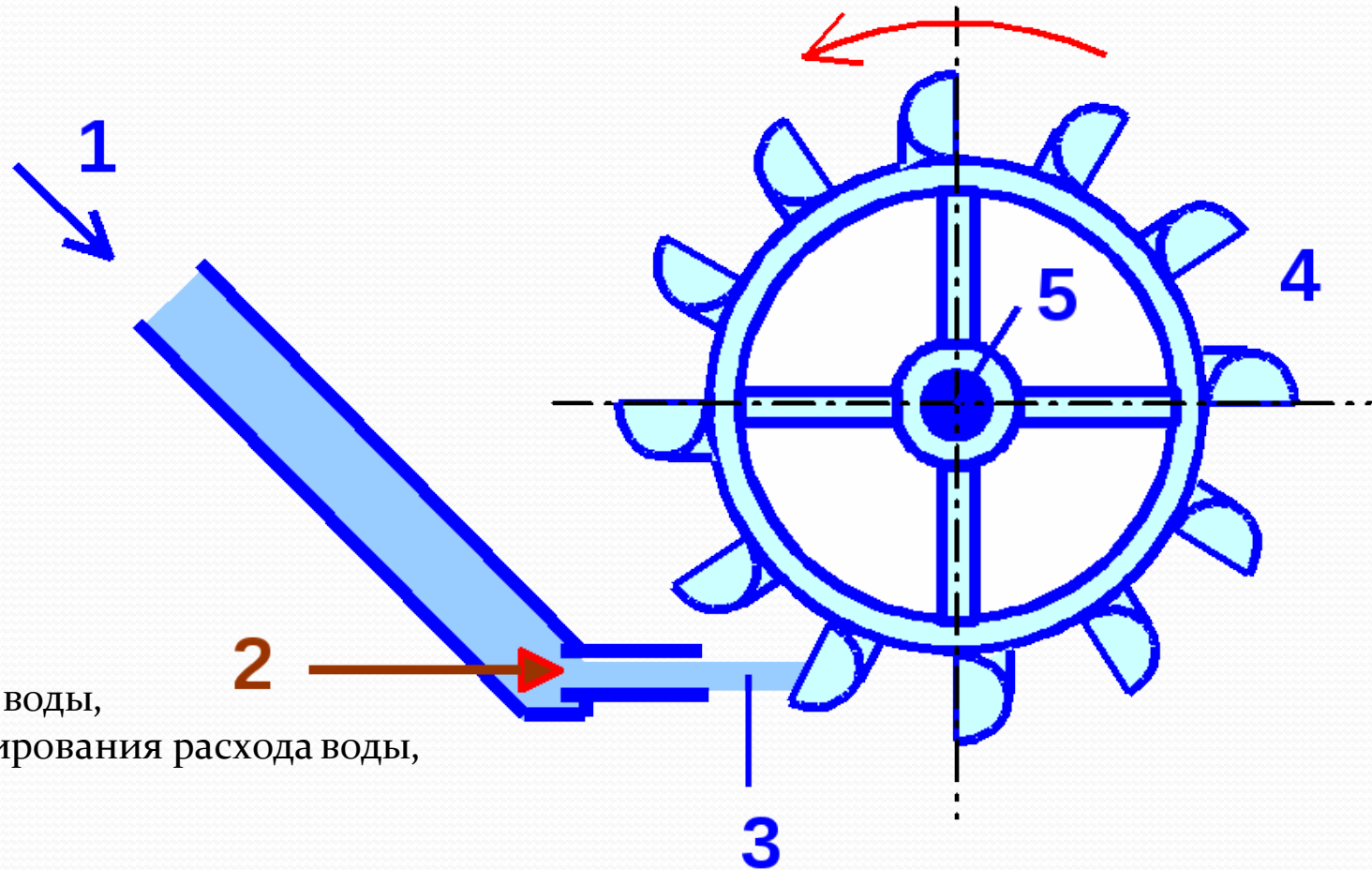
# Ковшовая турбина (турбина Пелтона)

Гидравлическая турбина, используемая при очень больших напорах. Патент на ковшовую турбину был выдан американскому инженеру А. Пелтону в 1889 году.

Ковшовые турбины конструктивно сильно отличаются от наиболее распространенных гидротурбин, у которых рабочее колесо находится в потоке воды. В ковшовых турбинах вода подается через сопла по касательной к окружности, проходящей через середину ковша. При этом вода, проходя через сопло, формирует струю, летящую с большой скоростью и ударяющую о лопатку турбины, после чего колесо проворачивается, совершая работу. После отклонения одной лопатки под струю подставляется другая. Процесс использования энергии струи происходит при атмосферном давлении, а производство энергии осуществляется только за счет кинетической энергии воды. Лопатки турбины имеют двояковогнутую форму с острым лезвием посередине; задача лезвия — разделять струю воды с целью лучшего использования энергии и предотвращения быстрого разрушения лопаток.

Преимуществами ковшовых турбин является возможность использования очень больших напоров, а также небольших расходов воды. Недостатки турбины — неэффективность при небольших напорах, невозможность использования как насоса, высокие требования к качеству подаваемой воды.

# Устройство ковшовой турбины (турбины Пелтона)



- 1 - труба подведения воды,
- 2 - устройство регулирования расхода воды,
- 3 - струя воды,
- 4 - рабочее колесо,
- 5 - вал





Ковшовое рабочее колесо для гидротурбины Мойнакской ГЭС

# Типы гидроузлов

- Низконапорные
- Средненапорные
- Высоконапорные

# Низконапорный гидроузел

Концепция низконапорного руслового гидроузла предусматривает создание на равнинной реке ГЭС с напором в несколько метров, чье водохранилище как правило укладывается в зону естественного затопления поймы при сильных паводках. Такие гидроузлы имеют следующие **преимущества**:

- \* Небольшая площадь затопления, в которую как правило не попадают застроенные земли. Следовательно, никого переселять не надо, влияние на экосистемы куда менее значительно.
- \* В низконапорные плотины гораздо проще интегрировать рыбоходы, да и вниз через турбины рыба проходит с меньшим травматизмом.

## **Недостатки низконапорных гидроузлов:**

- \* Такие ГЭС образуют небольшие водохранилища, пригодные в лучшем случае для суточного регулирования стока, а то и вовсе работающие на водотоке. В результате, выработка подобных ГЭС сильно зависит от сезона и погодных условий – в маловодные периоды она резко падает.
- \* Эффективность использования стока такими ГЭС гораздо меньше, чем классическими – не имея возможности аккумулировать сток в половодье и паводки, они вынуждены сбрасывать массу воды вхолостую.
- \* Не имея емкого водохранилища, такие гидроузлы не могут бороться с наводнениями.
- \* С точки зрения судоходства сооружение нескольких низконапорных гидроузлов вместо одного большого приводит к увеличению времени на шлюзование – вместо одного шлюза нужно проходить несколько.
- \* Низконапорные ГЭС умеют существенно большую удельную стоимость.



Пример низконапорной русловой гидроэлектростанции – ГЭС Иффецхайм на Рейне, введена в эксплуатацию в 1978 году.

# Средненапорный гидроузел

Средненапорные гидроузлы (напор 10-40 метров) сооружаются на равнинных реках, преимущественно в пределах их русла, главным образом, для транспортных или энергетических целей (ГЭС), а также для борьбы с наводнениями.

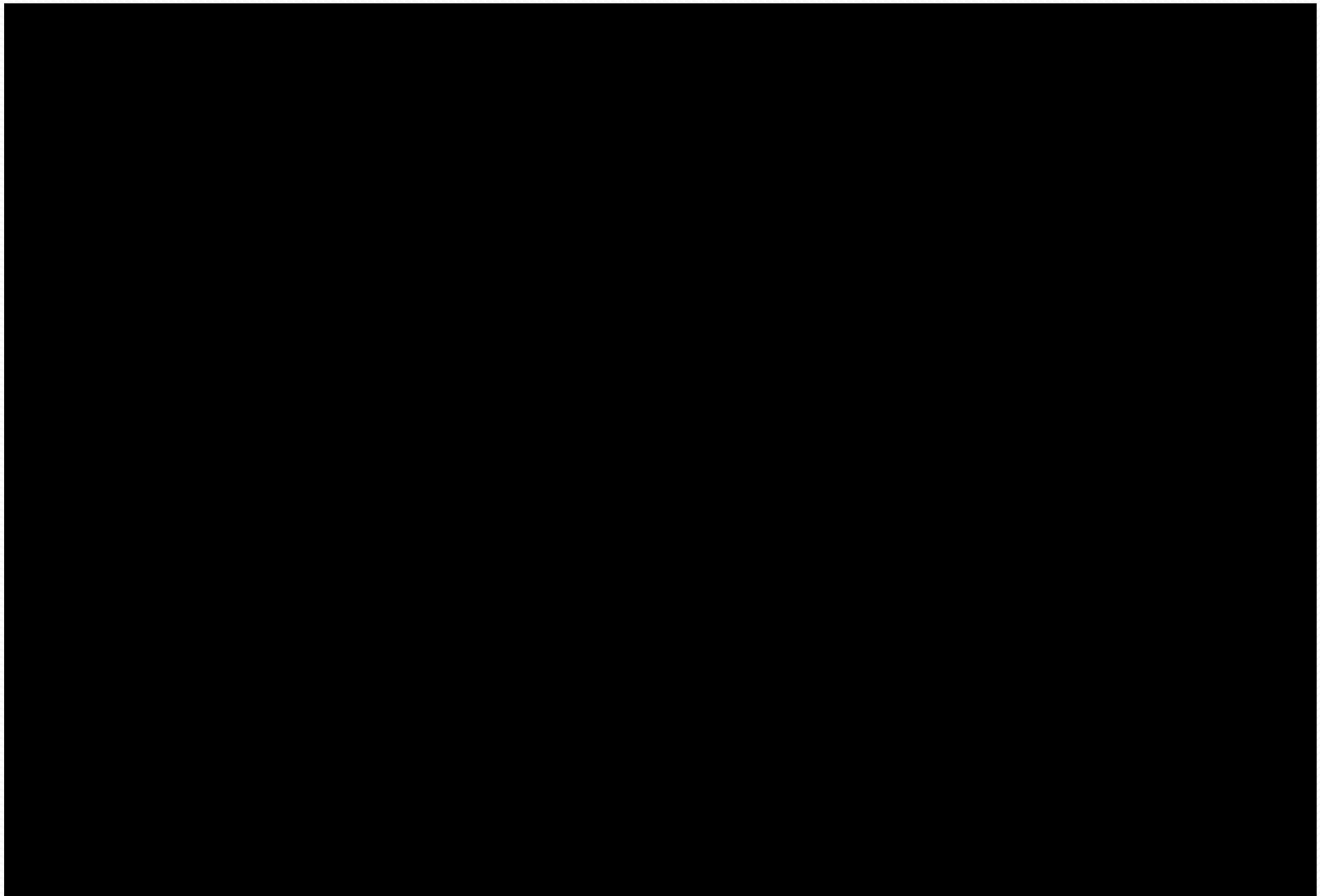
Средненапорные гидроузлы, связанные обычно с затоплением поймы, существенно изменяют гидрологический режим реки. Благодаря возможности сезонного регулирования стока реки колебания уровней верхнего бьефа обычно составляют 5—15 м, что позволяет иногда снижать пропускаемые в нижний бьеф наводочные расходы за счет их аккумуляции в водохранилище.

Различают две основные схемы компоновки средненапорных гидроузлов — с размещением водосбросных сооружений в русле и на пойме. При русловой компоновке эти сооружения возводят в две-три очереди за перемычками при одновременном пропуске речных вод через свободную часть русла.

При пойменном способе, предложенном и неоднократно примененном в СССР, с размещением водопропускных сооружений на берегу отпадает надобность в высоких перемычках и менее стесняется течение реки в паводок, но зато необходимо устройство низового и верхового подводящих каналов для соединения водопропускных сооружений с руслом реки.



Волжская ГЭС — средненапорная гидроэлектростанция на реке Волге в Волгоградской области, в городе Волжском. Крупнейшая гидроэлектростанция в Европе.



Жигулёвская гидроэлектростанция — средненапорная ГЭС на реке Волга в Самарской области, у городов Жигулёвск и Тольятти.

# Высоконапорный гидроузел

Высоконапорные гидроузлы (с напором более 40 метров) обычно служат для комплексных целей.

Высоконапорные гидроузлы возводятся в горных ущельях с крутыми береговыми склонами. Передача больших нагрузок от высоких сооружений требует прочных скальных или полускальных оснований, за исключением земляных и набросных плотин, для которых такие условия не обязательны.

При размещении гидроузла в глубоких каньонах плотины занимают основную часть водонапорного фронта, а стоимость их возведения составляет 70—90% от стоимости гидроузла в целом. Водосбросы устраиваются или в теле плотины, или на берегу.

В высоконапорных гидроузлах для защиты от обвалов, оползней, камнепадов и прочего и для укорочения отводящего тракта иногда строят подземные гидроэлектростанции.





Бурейская высоконапорная ГЭС расположена на р. Бурее, в 280 км от г. Благовещенска, и предназначена для энергоснабжения промышленности Дальнего Востока.

# Принцип выработки электричества на ГЭС

Работа гидроэлектростанций основана на использовании кинетической энергии падающей воды. Для преобразования этой энергии применяются турбина и генератор. Сначала эти устройства вырабатывают механическую энергию, а затем уже электроэнергию. Турбины и генераторы могут устанавливаться непосредственно в дамбе или возле неё. В некоторых случаях используется трубопровод, посредством которого вода, находящаяся под давлением, подводится ниже уровня дамбы или к водозаборному узлу ГЭС.

Индикаторами мощности гидроэлектростанций являются две переменные: расход воды, который измеряется в кубических метрах и гидростатический напор. Последний показатель представляет собой разность высот между начальной и конечной точкой падения воды. Проект станции может основываться на каком-то одном из этих показателей или на обоих.

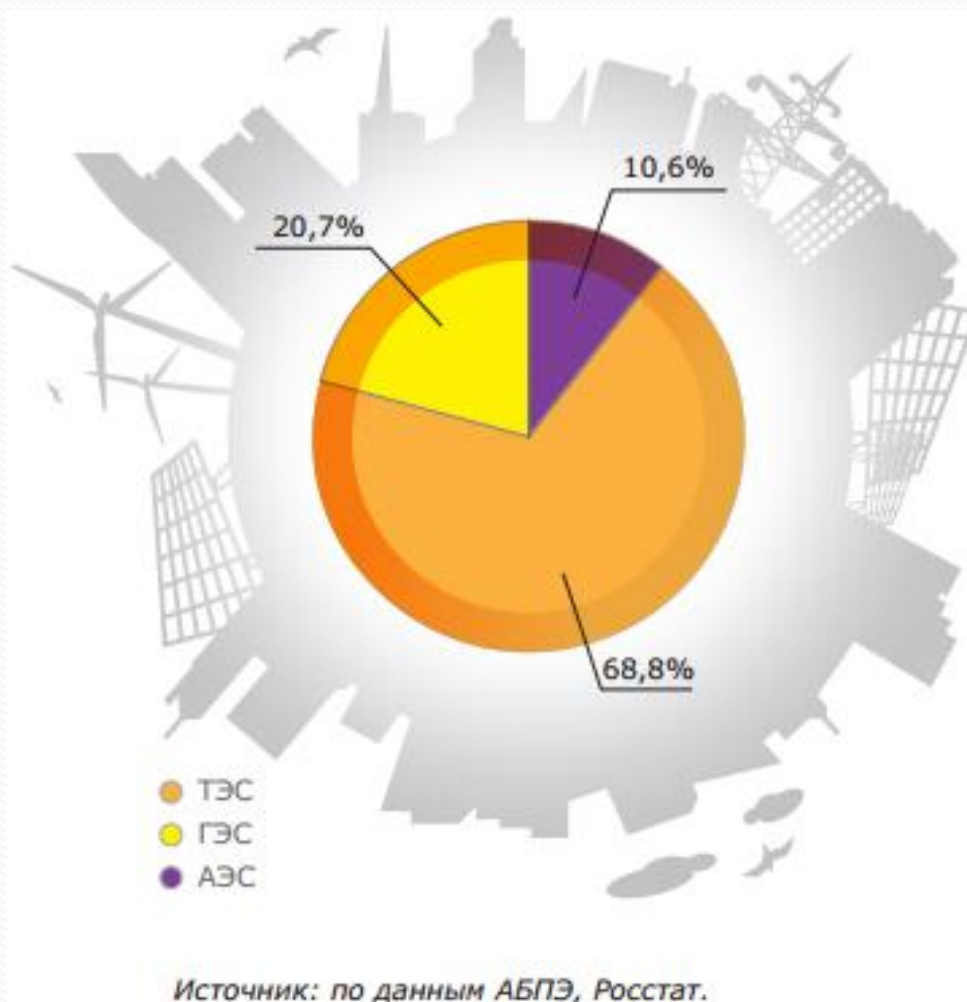
Современные технологии производства гидроэлектроэнергии позволяют получать довольно высокий КПД. Иногда он в два раза превышает аналогичные показатели обычных теплоэлектростанций. Во многом такая эффективность обеспечивается особенностями оборудования гидроэлектростанций. Оно очень надёжно, да и пользоваться им просто.

## Схема гидроэлектростанции



Принцип работы ГЭС достаточно прост. Цепь гидротехнических сооружений обеспечивает необходимый напор воды, поступающей на лопасти гидротурбины, которая приводит в действие генераторы, вырабатывающие электроэнергию.

# Структура установленной мощности электростанций России по видам генерации



# Перспективы гидроэнергетики

Потенциал гидроэнергетики можно определить, суммировав все существующие на планете речные стоки. Расчёты показали, что мировой потенциал равен пятидесяти миллиардам киловатт в год. Но и эта весьма впечатляющая цифра составляет лишь четверть от количества осадков, ежегодно выпадающих во всём мире.

С учётом условий каждого конкретного региона и состояния мировых рек действительный потенциал водных ресурсов составляет от двух до трёх миллиардов киловатт. Эти цифры соответствуют годовой выработке энергии в 10 000 – 20 000 миллиардов киловатт в час.

Чтобы осознать потенциал гидроэнергетики, выраженный этими цифрами, следует сопоставить полученные данные с показателями нефтяных теплоэлектростанций. Чтобы получить такое количество электроэнергии, станциям, работающим на нефти, требовалось бы около сорока миллионов баррелей нефти каждый день.

Что касается России, то технически возможный гидроэнергетический потенциал наших рек составляет по расчетам экспертов 1670 млрд. кВт/ч. Этот показатель почти в полтора раза превышает объем энергопотребления страны. При этом степень его использования действующими ГЭС составляет всего 10,5%. Согласно программе развития единой энергосистемы России на 2012-2018 годы, вводы мощности на ГЭС России в этот период предусматриваются в объеме 3830,2 МВт.

# Список использованных материалов

1. Непорожний П.С., Обрезков В.И.; «Введение в специальность: гидроэлектроэнергетика.» изд. Москва, 1982 г.
2. Дробнис В.Ф. «Гидравлика и гидравлические машины», изд. Москва, 1987 г.
3. Дж. Трайделл, А. Уей "Возобновляемые источники энергии". М: Энергоиздат, 1990г.
4. Беляев Ю. М." Концепция альтернативной экологически безопасной энергетики". Краснодар: "Сов. Кубань", 1998г.
5. <http://www.rushydro.ru/>
6. <http://ru.wikipedia.org/>
7. <http://ru.teplowiki.org/>
8. <http://greenevolution.ru/>
9. <http://visual.merriam-webster.com/>