

# **ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

## **Лекция 4**

**Лектор: д.т.н., проф.  
Абросимов Леонид Иванович**

- **Гидроэнергетика** — область хозяйственно-экономической деятельности человека, совокупность больших естественных и искусственных подсистем, служащих для преобразования энергии водного потока в электрическую энергию.
- На 2006 год гидроэнергетика обеспечивает производство до 88 % возобновляемой и до 20 % всей электроэнергии в мире, установленная гидроэнергетическая мощность достигает 777 ГВт.
- В Советский период развития энергетики упор делался на особую роль единого народнохозяйственного плана электрификации страны — ГОЭЛРО, который был утвержден 22 декабря 1920 года.

Крупнейшими производителями гидроэнергии являются следующие страны (на 2008 год)

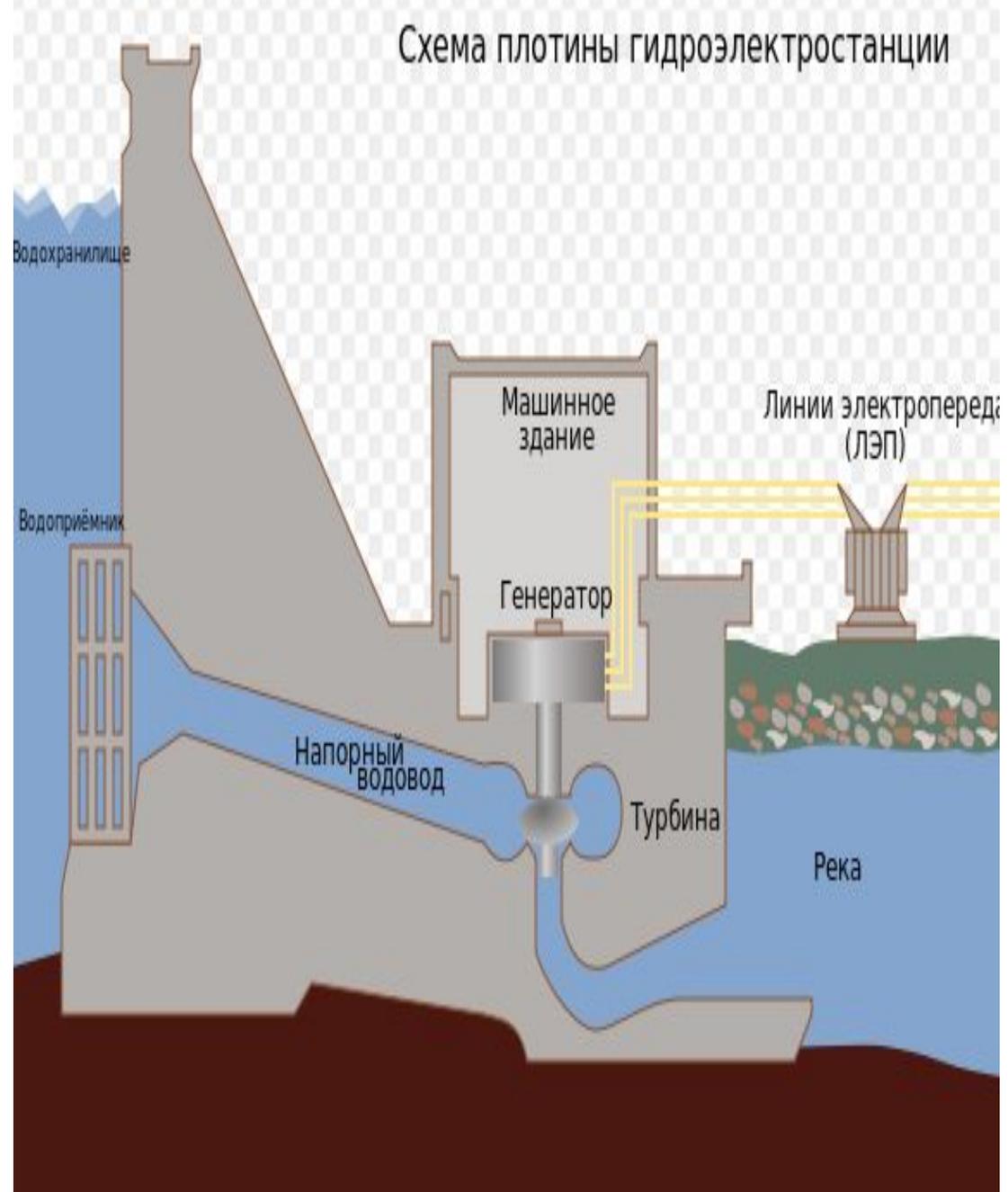
Страна	Потребление гидроэнергии в ТВт·ч	Страна	Потребление гидроэнергии в ТВт·ч
1. Китай	585	7. Индия	116
2. Канада	369	8. Венесуэла	87
3. Бразилия	364	9. Япония	69
4. США	251	10. Швеция	66
5. Россия	167	11. Франция	63
6. Норвегия	140		

## Гидроэлектростанция (ГЭС)

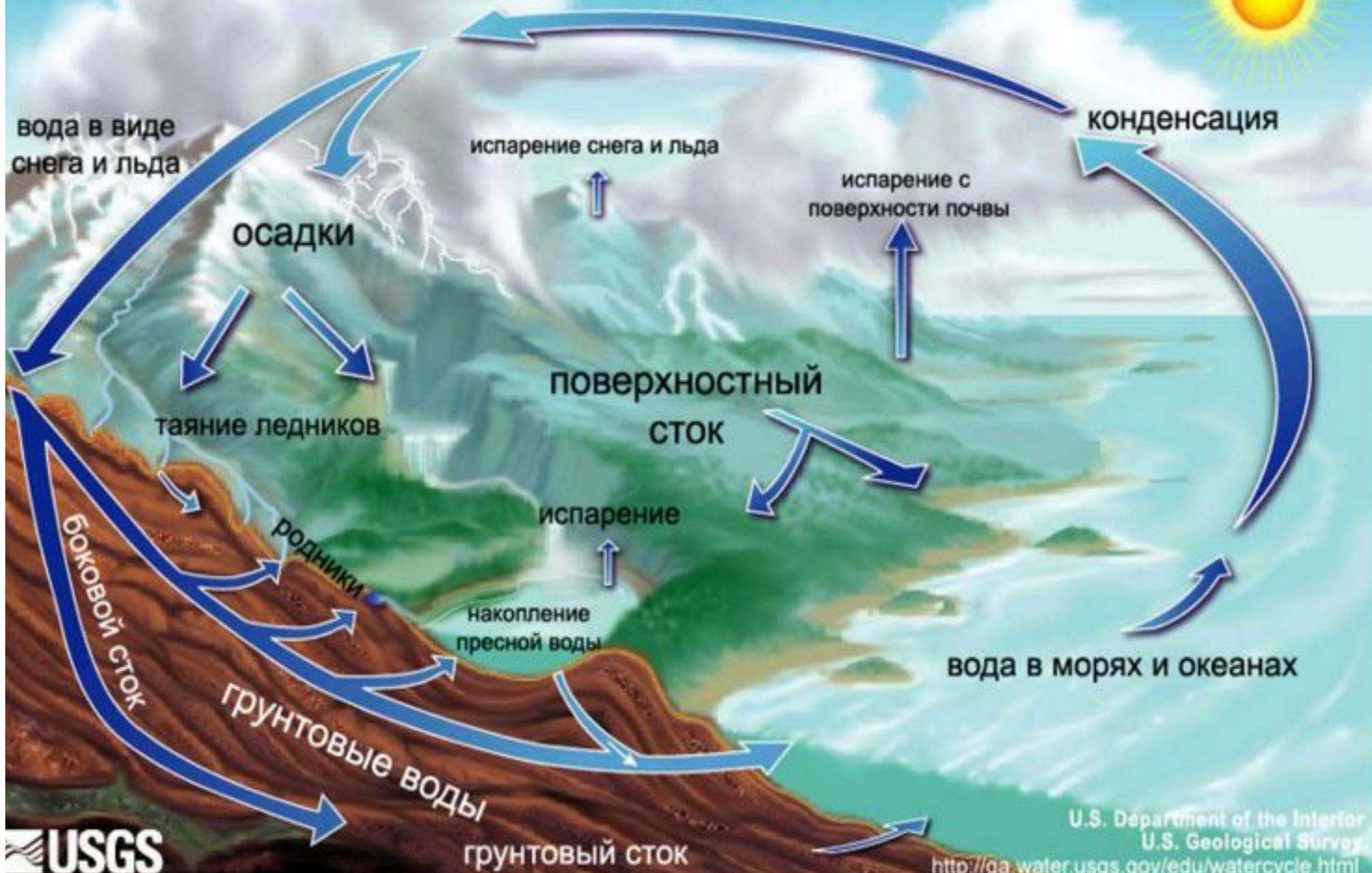
— электростанция, использующая в качестве источника энергии энергию водных масс в русловых водотоках и приливных движениях.

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 каньонобразные виды рельефа.

Схема плотины гидроэлектростанции



# Круговорот воды в природе



Энергия Солнца является источником жизни на нашей планете. Солнце нагревает атмосферу и поверхность Земли. Благодаря солнечной энергии дуют ветры, осуществляется круговорот воды в природе, нагреваются моря и океаны, развиваются растения, животные имеют корм. Именно благодаря солнечному излучению на Земле существуют ископаемые виды топлива



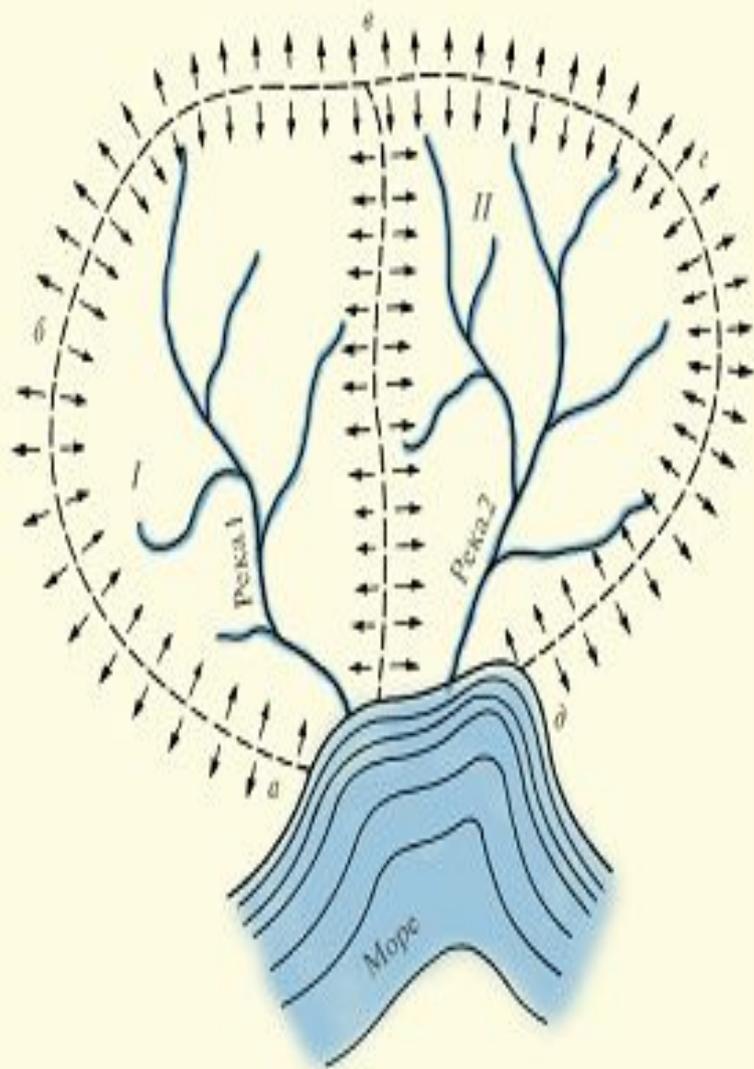
- Солнце - гигантский "термоядерный реактор", работающий на водороде и ежесекундно путем плавления перерабатывающий 564 млн. тонн водорода в 560 млн. тонн гелия. Потеря четырех миллионов тонн массы равна  $9 \cdot 10^{16}$  ГВтч энергии (1 ГВт равен 1 млн. кВт). За одну секунду энергии производится больше, чем шесть миллиардов АЭС смогли бы произвести за год. Благодаря защитной оболочке атмосферы только часть этой энергии достигает поверхности Земли.
- Расстояние между центрами Земли и Солнца равно в среднем  $1,496 \cdot 10^8$  км.
- Ежегодно Солнце посылает к Земле около  $1,6 \cdot 10^{18}$  кВтч лучистой энергии или  $1,3 \cdot 10^{24}$  кал тепла. Это в 20 тыс. раз больше современного мирового энергопотребления. Вклад Солнца в энергетический баланс земного шара в 5000 раз превышает суммарный вклад всех других источников.
- Такого количества тепла хватило бы, чтобы растопить слой льда толщиной 35 м. покрывающий земную

## ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

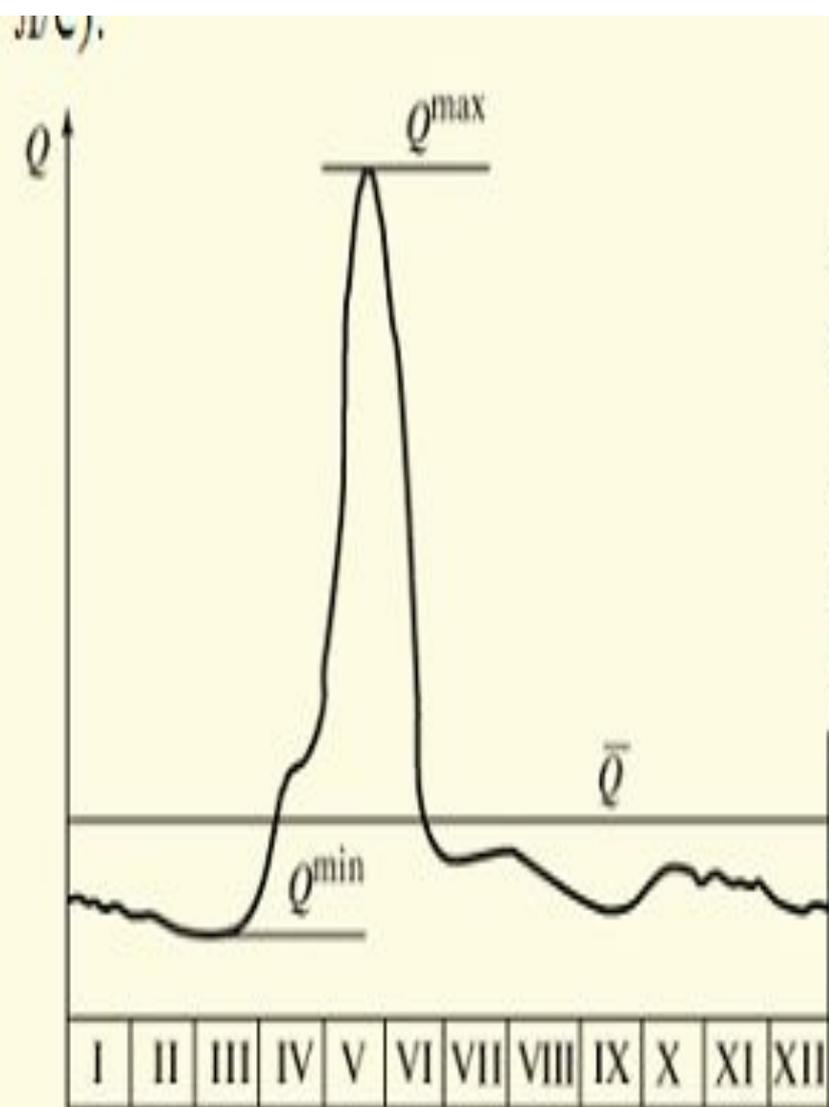
Гидравлическая энергия является *возобновляемым источником энергии.*

Территория, с которой стекает вода в реку, называется *водосборным бассейном* данной реки. Линия — *а, б, в, г, д*, проходящая по повышенным местам и отделяющая друг от друга соседние бассейны, называется *водораздельной линией* или *водоразделителем*

К водосборному бассейну моря относятся водосборные бассейны всех рек, впадающих в данное море



Водосборы (бассейны) рек



Типичный гидрограф реки снегового питания

Количество воды, протекающей через поперечное сечение водотока в 1 с, называется *расходом воды*  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$  или л/с).

Хронологический график изменения расходов воды во времени называется *гидрографом*.

Гидрограф характеризуется *максимальным, минимальным и средним значениями расхода* воды за рассматриваемый период.

Суммарный объем воды, прошедший через поперечное сечение водотока от какого-либо начального момента времени  $t_0$  до некоторого конечного  $t_k$ , называется *стоком*  $W$ .

## Данные о речном стоке отдельных стран мира

Страна	Площадь территории, млн км <sup>2</sup>	Суммарный средний многолетний объем стока, км <sup>3</sup> /год	Удельная водность в среднем за год с 1 км <sup>2</sup> , л/с
Россия	17,075	4000	7,4
Бразилия	8,51	5300	11,9
США	9,36	2850	9,8
Китай	9,90	2600	8,3
Канада	9,98	1500	24,0
Норвегия	0,32	368	35,8
Франция	0,551	343	19,7
Югославия	0,256	123	15,2
Польша	0,312	58	5,9

# Гидроэнергетические ресурсы

- Водоток разбиваем на ряд участков, начиная от истока до устья. Определяем полную энергию потока жидкости в начальном  $\mathcal{E}_1$  и конечном  $\mathcal{E}_2$  створах участка.  $\mathcal{E}_{1-2} = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = \rho g W H_{1-2}$
- где  $\rho$  — плотность жидкости;  $g$  — ускорение свободного падения;  $W$  — объем стока жидкости на участке;  $H_{1-2}$  — удельная потенциальная энергия потока жидкости, называемая *напором* и численно равная падению уровня свободной поверхности водотока на данном участке. Разделив  $\mathcal{E}_{1-2}$  на время  $t$ , получим среднюю мощность  $N_{1-2}$  водотока на данном участке
- $N_{1-2} = \mathcal{E}_{1-2}/t = \rho g H_{1-2} W/t = \rho g H_{1-2} Q_{1-2}$
- *Потенциальные гидроэнергетические ресурсы* определяют по формуле
- $\mathcal{E} = 8760 \sum_i 9,81 \rho Q_i H_i$

# ТИПЫ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Гидроэнергетическая установка (ГЭУ) предназначена для преобразования механической энергии водного потока в электрическую энергию или, наоборот, электрическая энергия преобразуется в механическую энергию воды.

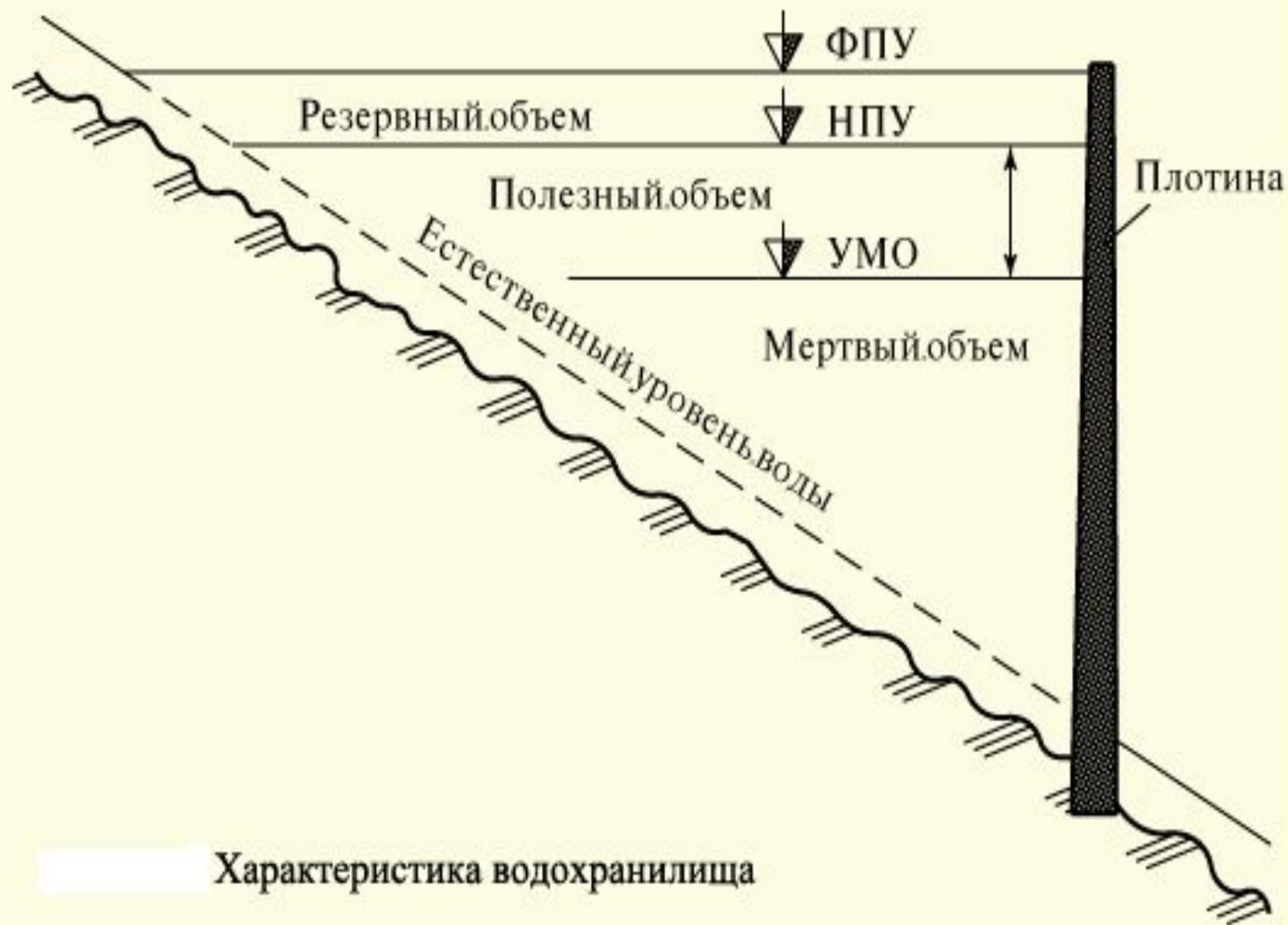
Гидроэнергетическая установка состоит из гидротехнических сооружений, энергетического и механического оборудования.

Различают следующие основные типы гидроэнергетических установок:

- гидроэлектростанции (ГЭС);
- насосные станции (НС);
- гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС);
- комбинированные электростанции ГЭС—ГАЭС;
- приливные электростанции (ПЭС).

- **Гидроэлектростанция (ГЭС)** — электростанция, использующая в качестве источника энергии энергию водных масс в русловых водотоках и приливных движениях. 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.
- Основными сооружениями ГЭС на равнинной реке являются *плотина*, создающая водохранилище и сосредоточенный перепад уровней, т.е. напор, и *здание ГЭС*, в котором размещаются гидравлические турбины, генераторы, электрическое и механическое оборудование.
- В случае потребности строятся *водосбросные* и *судоходные* сооружения, водозаборы для систем орошения и водоснабжения, рыбопропускные сооружения и т.п

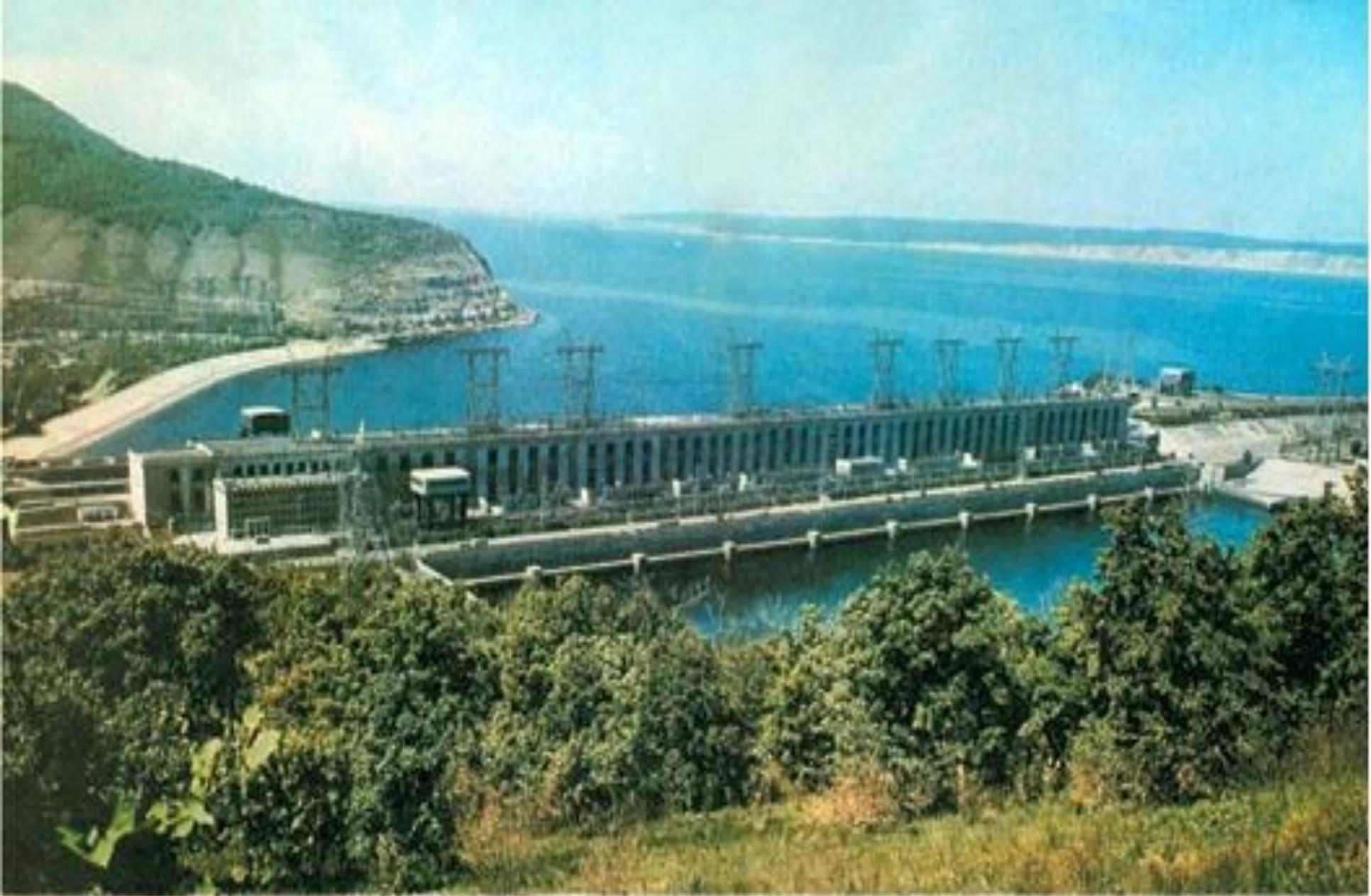
- **Водохранилищем** называется искусственный водоем, образующийся перед плотиной. Основное отличие водохранилища от естественного водоема (озера, пруда) заключается в его возможности регулирования (перераспределения) речного стока и уровневого режима.
- **Регулирование стока** — это процесс перераспределения 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. *Нормальным подпорным уровнем* (НПУ) называется максимальный уровень воды, при котором ГЭС и все сооружения гидроузла могут работать сколько угодно длительно. Объем водохранилища при отметке НПУ называется *полным объемом*. Минимальный уровень водохранилища, до которого возможна его сработка при нормальной эксплуатации, называется *уровнем мертвого объема* (УМО). Ниже этого уровня возможна лишь *аварийная сработка водохранилища*.
- Объем воды между НПУ и УМО называется *полезным*, так как



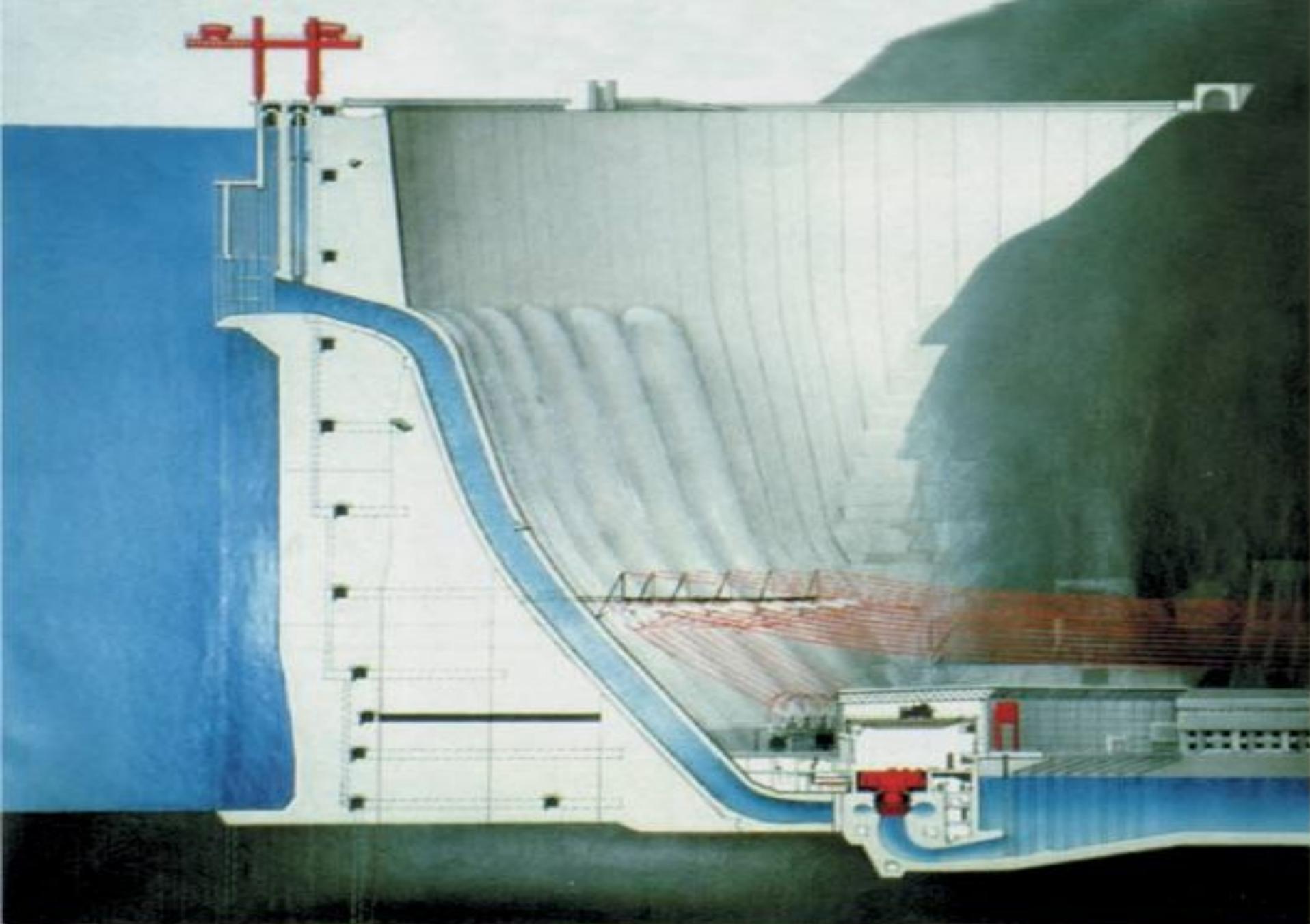
Характеристика водохранилища

# Гидроэлектрические станции также разделяются в зависимости от принципа использования природных ресурсов.

- **плотинные ГЭС.** Напор воды в ГЭС создается посредством установки плотины, полностью перегораживающей реку, или поднимающей уровень воды в ней на необходимую отметку. Такие гидроэлектростанции строят на многоводных равнинных реках, а также на горных реках, в местах, где русло реки более узкое, сжатое.
- **приплотинные ГЭС.** Строятся при более высоких напорах воды. Река полностью перегораживается плотиной, а здание ГЭС располагается за плотиной, в нижней её части. Вода подводится к турбинам через специальные напорные тоннели
- **деривационные ГЭС** строят в тех местах, где велик уклон реки. Необходимая концентрация воды в ГЭС такого типа создается посредством деривации. Вода отводится из речного русла через специальные водоотводы, уклон которых значительно меньший, 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 создается более высокая плотина, и создается водохранилище — такая схема еще называется смешанной деривацией, так как используются оба метода создания необходимой концентрации воды.



Вид на Волжскую ГЭС со стороны нижнего бьефа



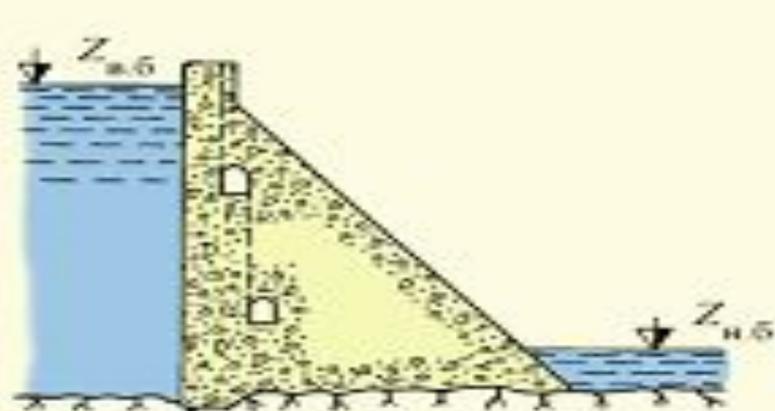
Разрез по стационарной плотине и зданию ГЭС

# ПРИНЦИП РАБОТЫ ГЭС

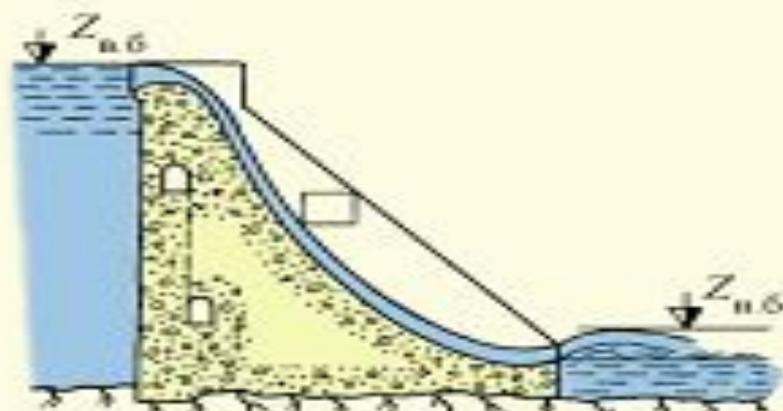
- Цепь гидротехнических сооружений обеспечивает необходимый напор воды, поступающей на лопасти гидротурбины, которая приводит в действие генераторы, вырабатывающие электроэнергию.
- Необходимый напор воды образуется посредством построенной плотины, и как следствие концентрации реки в определенном месте, или деривацией — естественным током воды. В некоторых случаях для получения необходимого напора воды используют совместно и плотину, и деривацию.
- Непосредственно в самом здании гидроэлектростанции располагается все энергетическое оборудование. В зависимости от назначения, оно имеет свое определённое деление. В машинном зале расположены гидроагрегаты, непосредственно преобразующие энергию тока воды в электрическую энергию. Есть еще всевозможное дополнительное оборудование, устройства управления и контроля над работой ГЭС, трансформаторная станция, распределительные устройства и многое другое.

# ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ ГЭС

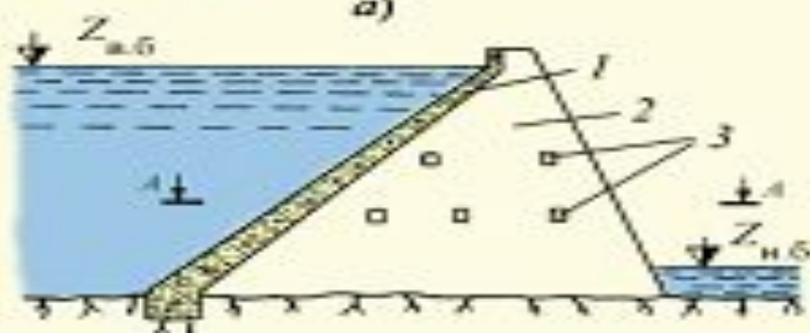
- При создании водохранилища ГЭС плотины являются основными гидротехническими сооружениями и входят в состав напорного фронта. Существуют две группы плотин: бетонные (железобетонные) и грунтовые.
- **Бетонные плотины** подразделяются на гравитационные, контрфорсные и арочные.
- *Гравитационная плотина* является массивной, ее устойчивость обеспечивается собственным весом (гравитацией).
- Плотина, не допускающая перелив воды через гребень (рис. а), называется глухой.
- Плотина, выполненная с поверхностным водосливом или заглубленными (донными) отверстиями для пропуска воды (рис. б), называется водосливной.
- *Контрфорсная плотина* (рис. в) выполняется в виде вертикальных железобетонных ребер 2 (контрфорсов), на которые со стороны верхнего бьефа наклонно укладываются железобетонные плиты 1, воспринимающие давление воды. Контрфорсы соединяются между собой балками жесткости 3. В узких ущельях на скальном основании возводят *арочные плотины* (рис. г). Арочная плотина, выполненная в виде свода, воспринимает давление воды и передает часть нагрузки на скальные берега и скальное основание.



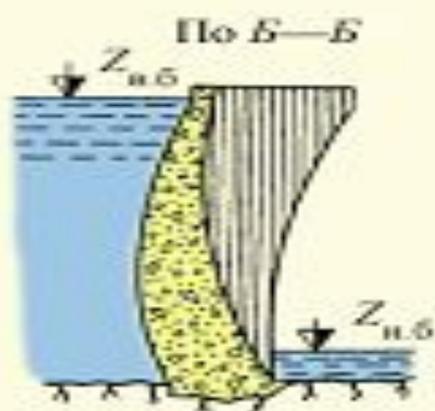
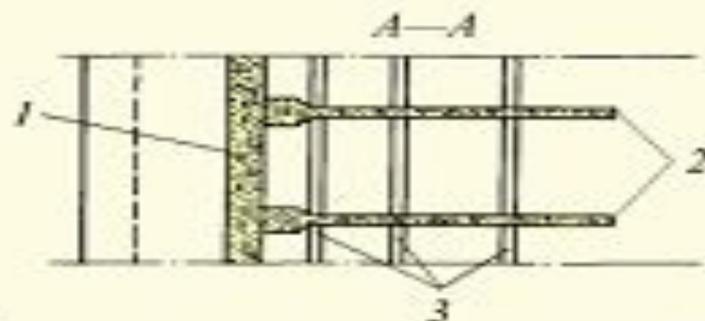
а)



б)



в)



Плотины



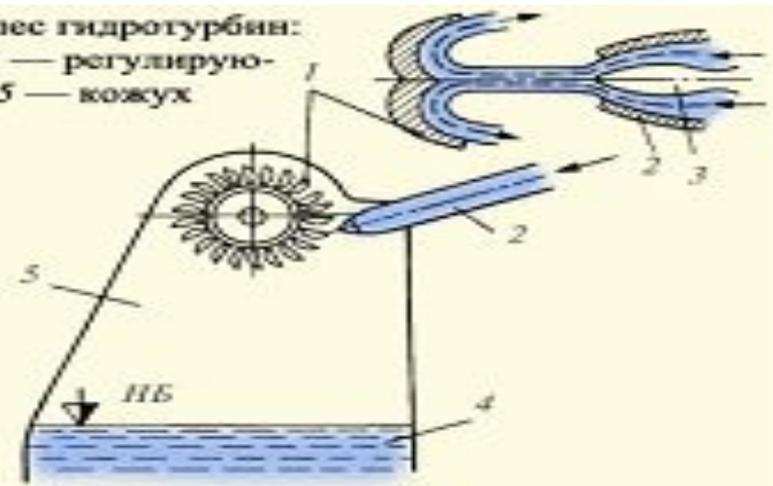
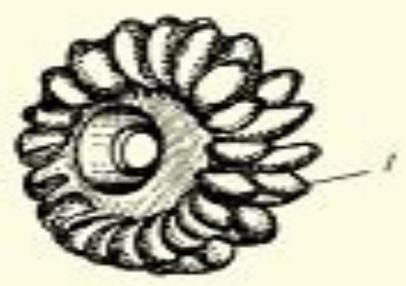
е)

# Арочная водосливная плотина

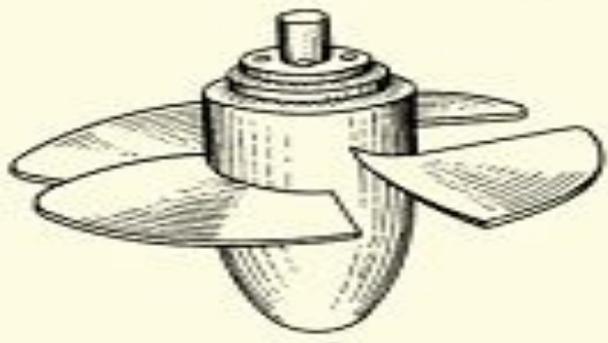


Водосливная плотина

Общий вид рабочих колес гидротурбин:  
 1 — рабочее колесо; 2 — сопло; 3 — регулирующая игла; 4 — отводящий канал; 5 — кожух

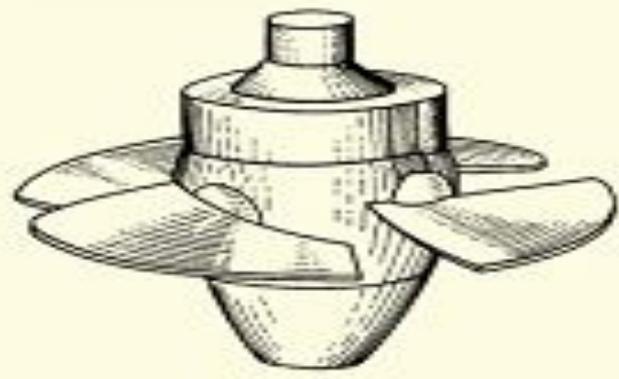


а)



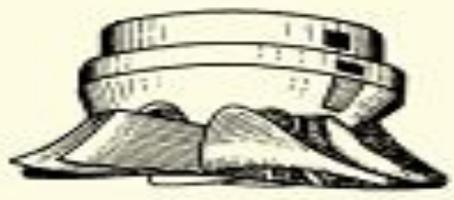
б)

в)

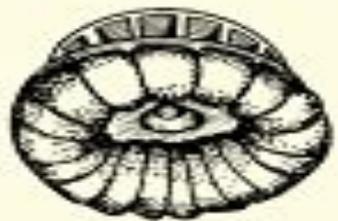


г)

д)



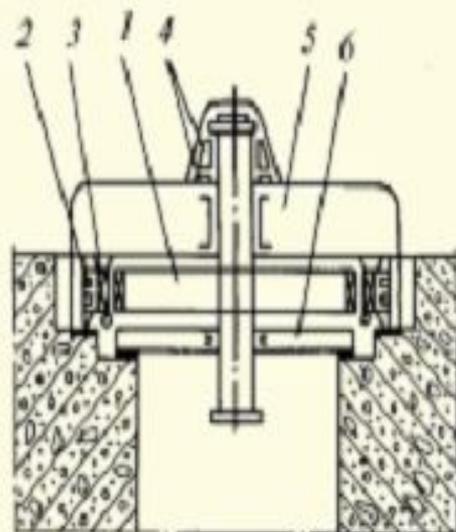
е)



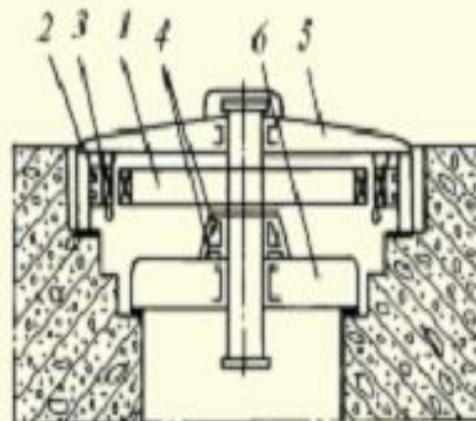
ж)



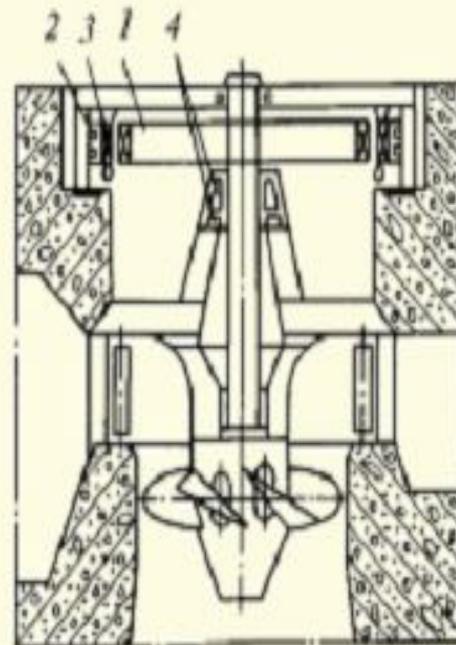
**Гидрогенераторы** подразделяются на вертикальные и горизонтальные. **Вертикальные синхронные генераторы ГЭС** выполняются: **подвесного** типа (рис. а), **зонтичного** типа с опорой на нижнюю крестовину (рис. б) или зонтичного типа с опорой на крышку турбины (рис. в).



а)



б)



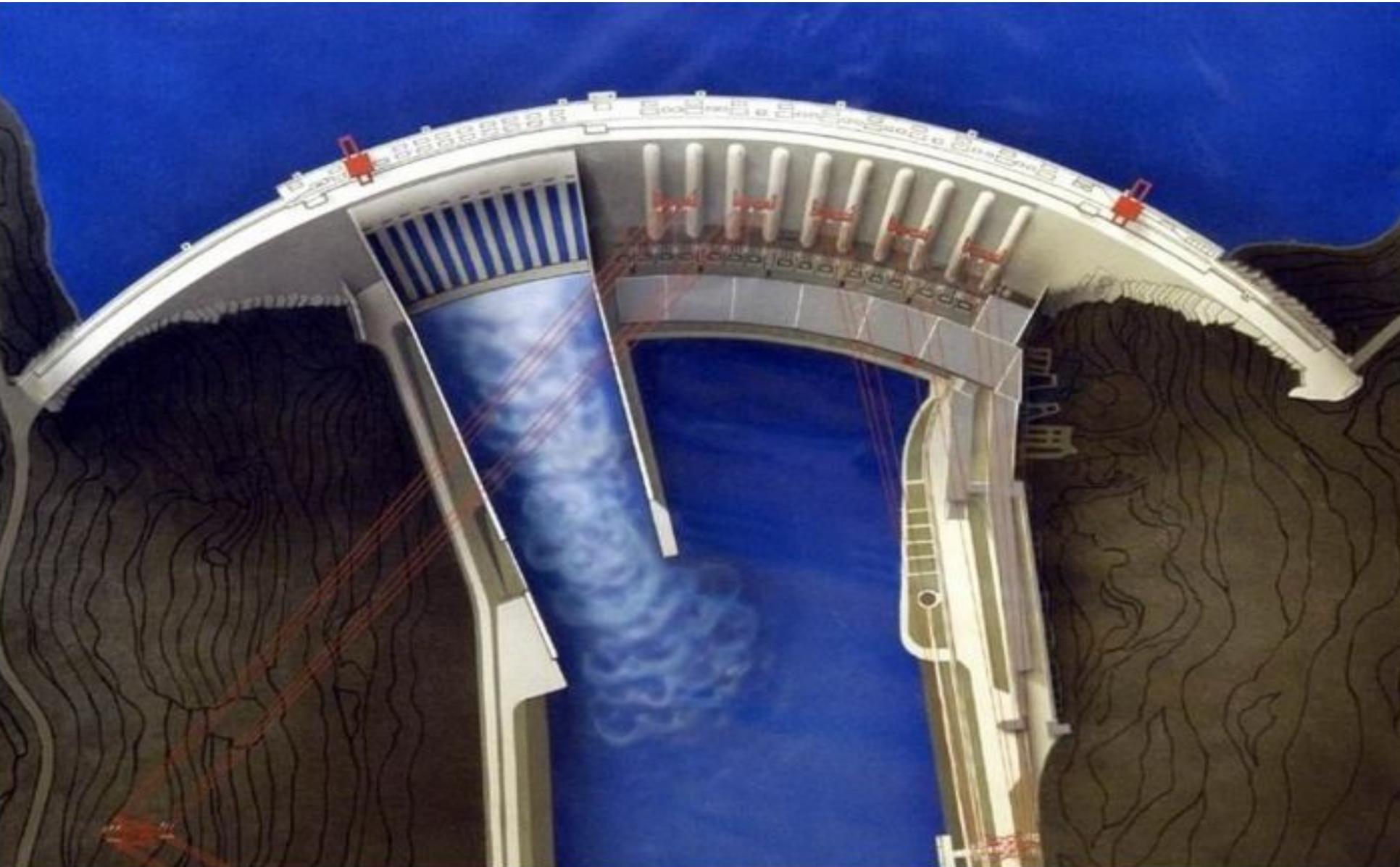
в)

Схемы вертикальных синхронных генераторов:

- 1 — ротор; 2 — статор; 3 — обмотка статора;
- 4 — подпятник; 5 — верхняя крестовина;
- 6 — нижняя крестовина

- **Саяно-Шушенская гидроэлектростанция** имени П. С. Непорожного — крупнейшая по установленной мощности электростанция России, 9-я — среди действующих гидроэлектростанций в мире (на январь 2016 г.). Расположена на реке Енисей, на границе между Красноярским краем и Хакасией, у посёлка Черёмушки, возле Саяногорска.
- Является верхней ступенью Енисейского каскада ГЭС.
- Уникальная арочно-гравитационная плотина станции высотой 242 м — самая высокая плотина России и одна из высочайших плотин мира. Название станции происходит от названий Саянских гор и расположенного неподалёку от станции села Шушенское.
- Строительство Саяно-Шушенской ГЭС, начатое в 1963 году, было официально завершено только в 2000 году.
- 17 августа 2009 года на станции произошла крупнейшая в истории российской гидроэнергетики авария, ставшая причиной гибели 75 человек. Восстановление станции завершилось 12 ноября 2014 года.

Саяно-Шушенская ГЭС представляет собой мощную высоконапорную гидроэлектростанцию приплотинного типа. Конструктивно сооружения ГЭС разделяются на плотину, здание ГЭС с корпусами вспомогательного назначения



- В здании ГЭС размещено 10 гидроагрегатов, **мощностью 640 МВт** каждый, с радиально-осевыми турбинами РО-230/833-0-677, работающими при расчётном напоре 194 м (**рабочий диапазон напоров — от 175 до 220 м**). Номинальная частота вращения гидротурбины — 142,8 об/мин, максимальный расход воды через турбину — 358 м<sup>3</sup>/с, КПД турбины в оптимальной зоне — около 96 %, **общая масса оборудования гидротурбины — 1440 т**. Рабочее колесо гидротурбины — неразъёмной цельносварной конструкции из нержавеющей стали, имеет диаметр **6,77 м**.

- Турбины приводят в действие синхронные гидрогенераторы зонтичного типа СВФ1-1285/275-42 УХЛ4 с диаметром ротора **10,3 м**, выдающие ток напряжением 15,75 кВ. Гидрогенераторы имеют водяное охлаждение. По результатам испытаний гидроагрегата номер 5, мощность была зафиксирована (722,8 МВт) 16/11/2013 2:09 +8 по местному времени, по московскому времени 15/11/2013 22:09, являясь таким образом,



Саяно-Шушенской ГЭС в действии (2010)



## • Тесты 4

- Определите понятие *гидроэнергетические ресурсы*
- Определите понятие *водосборный бассейн*
- Определите понятие *Гидрограф Расход*
- Определите понятие *Расход*
- Определите понятие *сток*
- Принципы работы ГЭС
- От чего зависит полная энергия потока жидкости?
- Определите понятие *Напор*
- Определить скорость воды в турбине при расходе  $Q = 250 \text{ м}^3/\text{с}$  и сечении потока  $S = 6 \text{ м}^2$
- Определить, на сколько % изменится мощность гидротурбины, если напор