

Использование энергии водных ресурсов

«Хотя в мире нет предмета, который был бы слабее и нежнее воды, но она может разрушить самый твердый предмет»

древнекитайский философ Лао-цзы (IV–III вв. до н. э.)

1. Водные ресурсы

Запасы воды в гидросфере

Составляющие гидросферы	Объем воды, тыс. км³	% общего объема
Мировой океан	1370323,2	93,96
Подземные воды	60000	4,12
В том числе активного водообмена	4000	0,27
Ледники	24000	1,65
Озера	280	0,019
Почвенная влага	85	0,006
Пары атмосферы	14	0,001
Речные воды	1,2	0,0001
Итого в запасы воды в гидросфере	1454193	100

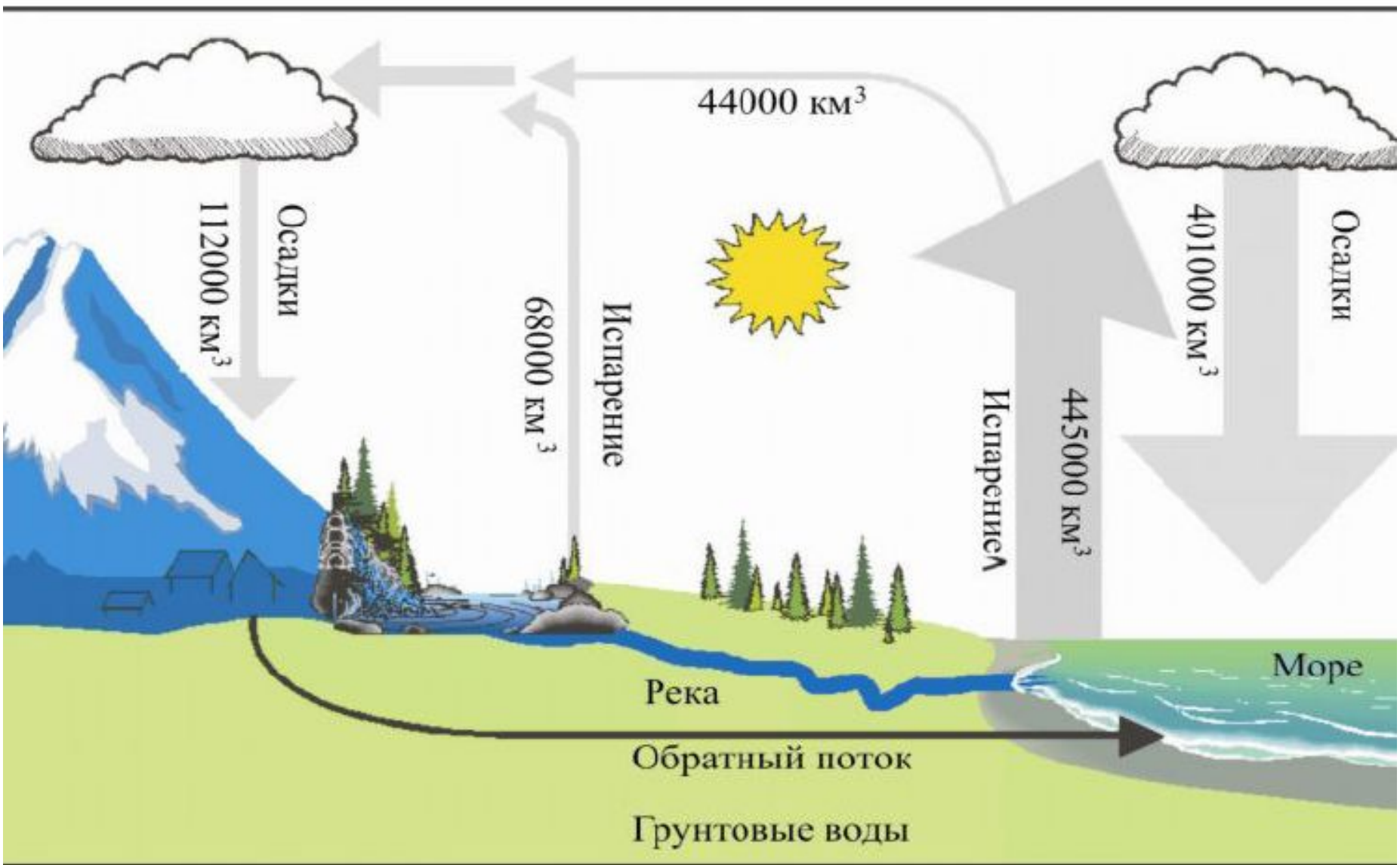


Рис. Круговорот воды в природе

Доля выработки электроэнергии за счет ГЭУ

Страна	Парагвай	Норвегия	КР	Бразилия	Венесуэла	Канада	Швейцария	Швеция	Россия	КНР	США
%	99,9	98,9	90	83,3	66,8	58,3	53,9	42,2	18,8	15,8	6,5

Гидроэнергетические ресурсы речного стока

Гидравлическая энергия рек представляет собой работу, которую совершает текущая в них вода.

Силой, осуществляющей работу водного потока, является собственный вес воды.

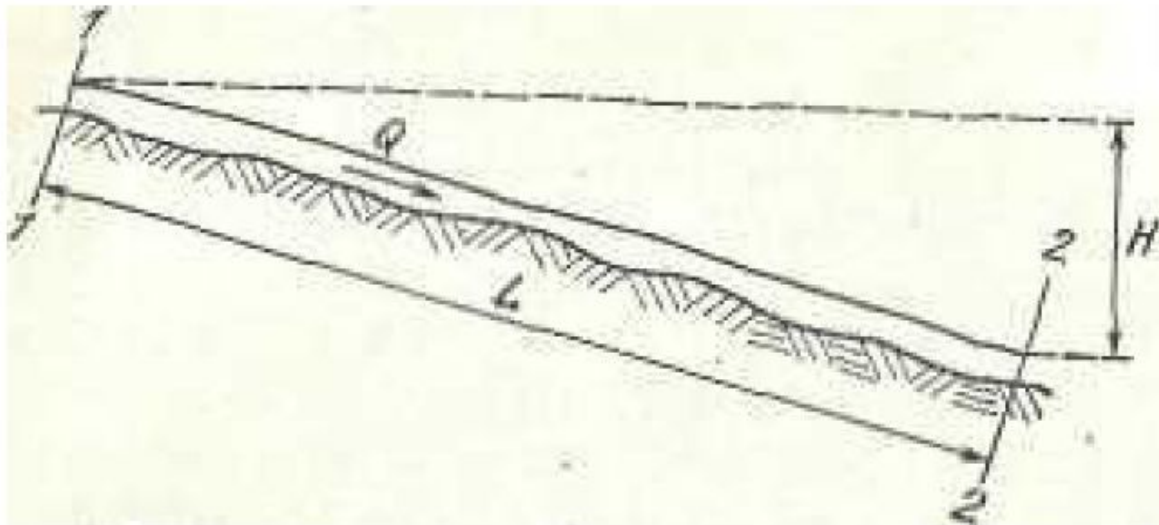


Рис. Схематический продольный профиль участка реки

$$N_{вод} = g_3 \cdot Q \cdot H \cdot \rho_{воды} = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \rho_{воды},$$

Q - расход воды через турбину, м³/с;

H - падение участка водотока (напор), м;

$\rho_{воды}$ - плотность воды

$g_3 = 9,81$ - ускорение свободного падения, м/с²;

Энергия морей и океанов

Энергия Мирового океана включает в себя энергию ветровых волн, океанических течений, приливов, прибоев, градиентов солености и теплоты.

Приливная энергия:

Средняя потенциальная мощность за приливной период:

$$N_{\text{прил}} = \frac{\rho_{\text{воды}} \cdot g_z \cdot H^2 \cdot A}{2 \cdot \tau},$$

где H - высота прилива, м; A - площадь бассейна, м²; τ - период естественного прилива (для полусуточного составляет 12 ч. 25 мин.), с;

Энергия волн морей и океанов.

Полная энергия волны складывается из потенциальной и кинетической энергий:

$$E = E_n + E_k = \frac{\rho_{\text{воды}} \cdot g_3 \cdot H^2 \cdot \lambda \cdot b}{8},$$

где H - высота волны, м; λ - длина волны, м;
 b - ширина фронта волны, м;

Добавить (из учебника Власов, doc)

- Энергия морских течений
- Тепловая энергия океана

Для преобразования энергии волн в электрическую энергию используются семь волновых эффектов:

- Периодическое изменение уровня воды в точке относительно стабилизированного тела;
- Разность фаз колебаний уровня воды в пространственно разнесенных точках;
- Разность фаз колебаний гидростатического давления в пространственно разнесенных точках;
- Разность фаз колебаний суммарного давления воды в пространственно разнесенных точках;
- Наклоны волновой поверхности;
- Концентрация волновой энергии по фронту или по глубине;
- Комбинации различных эффектов.

2. Гидроэнергетические установки и их ТИПЫ

- Гидроэнергетические установки (ГЭУ) - это совокупность компонентов, связанных между собой и служащих для преобразования энергии (кинетической и потенциальной) в электрическую или наоборот.
- В зависимости от преобразования и использования гидравлической энергии различают следующие основные типы ГЭУ:
 - *гидроэлектростанции (ГЭС)*
 - *насосные станции (НС)*
 - *гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)*
 - *приливные электростанции (ПЭС)*
 - *волновые гидроэлектростанции (ВГЭС)*
 - *малые гидроэлектростанции (МГЭС)*

Гидроэлектрическая станция (ГЭС) –

гидроэнергетическая установка, включающая в себя плотину, которая перегораживает реку и создает подъем уровня воды, и здание станции, в котором размещаются гидравлические турбины, генераторы и другое электрическое и механическое оборудование.

Схема плотины гидроэлектростанции



Мощность $N_{гэс}$ (Вт) гидроэлектростанции:

$$N_{гэс} = g_3 \cdot Q_{гэс} \cdot H_{гэс} \cdot \rho_{воды} \cdot \eta_{гэс},$$

где $Q_{гэс}$ - расход воды через турбину, м³/с;

$H_{гэс}$ - напор, разница уровней верхнего и нижнего бьефом, м;

$\eta_{гэс}$ - общий КПД гидроэлектростанции.

Крупнейшие по мощности ГЭС мира

	Название	Страна	Река	Год постройки	Общая мощность, тыс. МВт	Максимальная выработка электроэнергии, млрд кВт·ч
1	Санься («Три ущелья»)	Китай	Янцзы	2003	18,3 (октябрь 2008 г.)	80,8
2	Итайпу	Бразилия/ Парагвай	Парана	1984	14	94,7
3	Гури (Симон Боливар)	Венесуэла	Карони	1978	10,2	46
4	Тукуруи	Бразилия	Токантинс	1984	8,4	21
5	Саяно-Шушенская	Россия	Енисей	1978	6,4	26,8
6	Красноярская	Россия	Енисей	1967	6	20,4
7	Гран-Кули	США	Колумбия	1942	6*	
8	Робер-Бурасса	Канада	Ла-Гранд	1979	5,6	...
9	Чёрчилл-Фолс	Канада	Чёрчилл	1971	5,4	35
10	Лонгтан	Китай	Хуншуйхэ	2009	4,9	18,7
11	Братская	Россия	Ангара	1961	4,5	22,6

* По некоторым оценкам 6,8 тыс. МВт.

Крупнейшие гидроэлектростанции России:

По состоянию на 2010 год в России имеется 15 действующих, достраиваемых и находящихся в замороженном строительстве гидравлических электростанций свыше 1000 МВт и около сотни гидроэлектростанций меньшей мощности.

Наименование	Мощность, ГВт	Ср.год. выработка, млрд кВт-ч	Расположение
Саяно-Шушенская ГЭС	0,00 (6,40)*	23,50	р. Енисей, г. Саяногорск
Красноярская ГЭС	6,00	20,40	р. Енисей, г. Дивногорск
Братская ГЭС	4,52	22,60	р. Ангара, г. Братск
Усть-Илимская ГЭС	3,84	21,70	р. Ангара, г. Усть-Илимск
Богучанская ГЭС	3,00	17,60	р. Ангара, г. Кодинск
Волжская ГЭС	2,55	12,30	р. Волга, г. Волжский
Жигулёвская ГЭС	2,32	10,50	р. Волга, г. Жигулевск
Бурейская ГЭС	1,98	7,10	р. Бурей, пос. Талакан
Чебоксарская ГЭС	1,40	3,31	р. Волга, г. Новочебоксарск
Саратовская ГЭС	1,27	5,35	р. Волга, г. Балаково
Зейская ГЭС	1,33	4,91	р. Зея, г. Зея
Нижекамская ГЭС	1,25	2,67	р. Кама, г. Набережные Челны
Загорская ГАЭС	1,20	1,95	р. Кунья, пос. Богородское
Воткинская ГЭС	1,02	2,60	р. Кама, г. Чайковский
Чиркейская ГЭС	1,00	2,47	р. Сулак

Крупнейшие гидроэлектростанции России



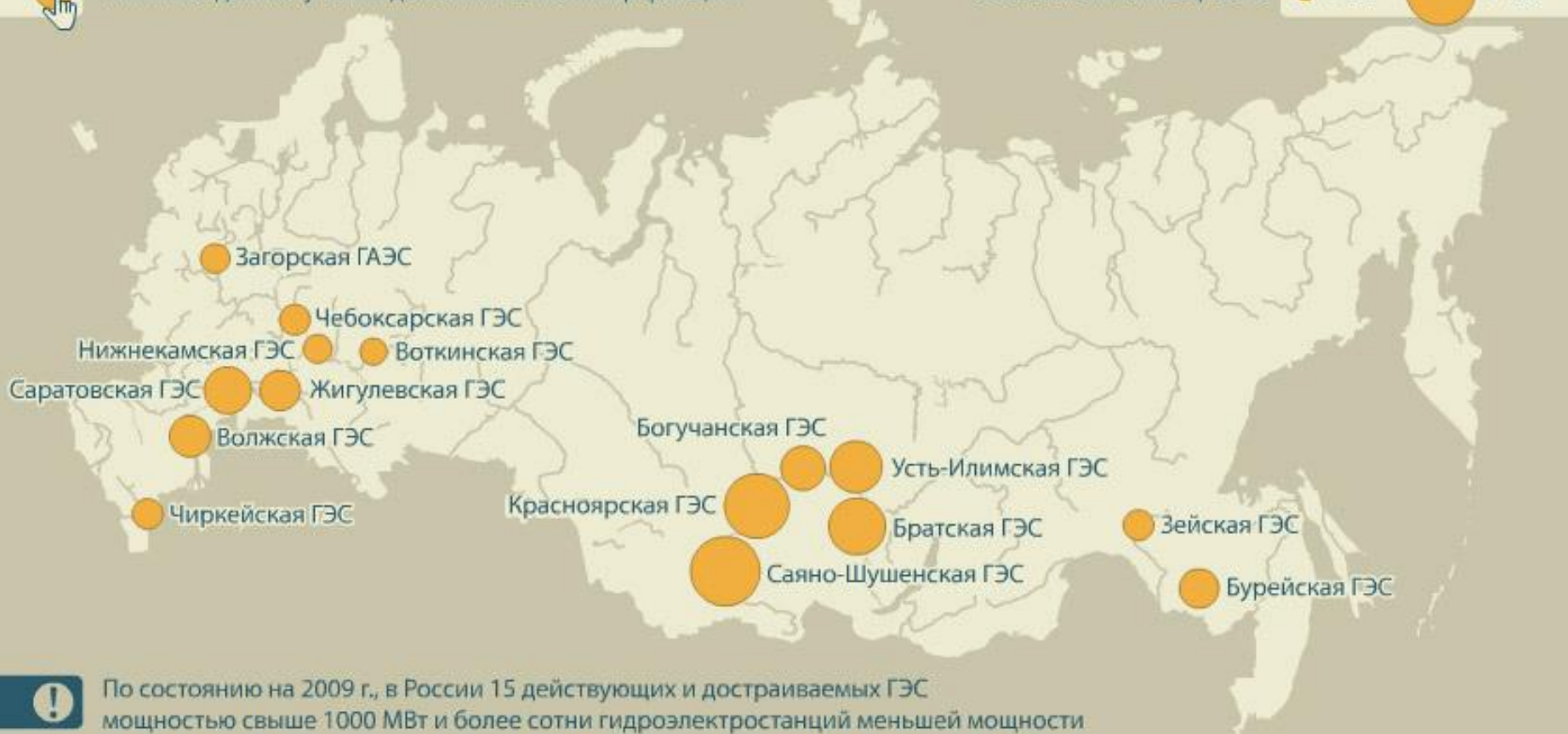
Кликните для получения дополнительной информации

Установленная мощность

● 1 ГВт



● 7 ГВт



По состоянию на 2009 г., в России 15 действующих и достраиваемых ГЭС мощностью свыше 1000 МВт и более сотни гидроэлектростанций меньшей мощности

По способу создания напора ГЭС различают три основные схемы: плотинная, деривационная и плотинно-деривационная <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/section-2/2-4>

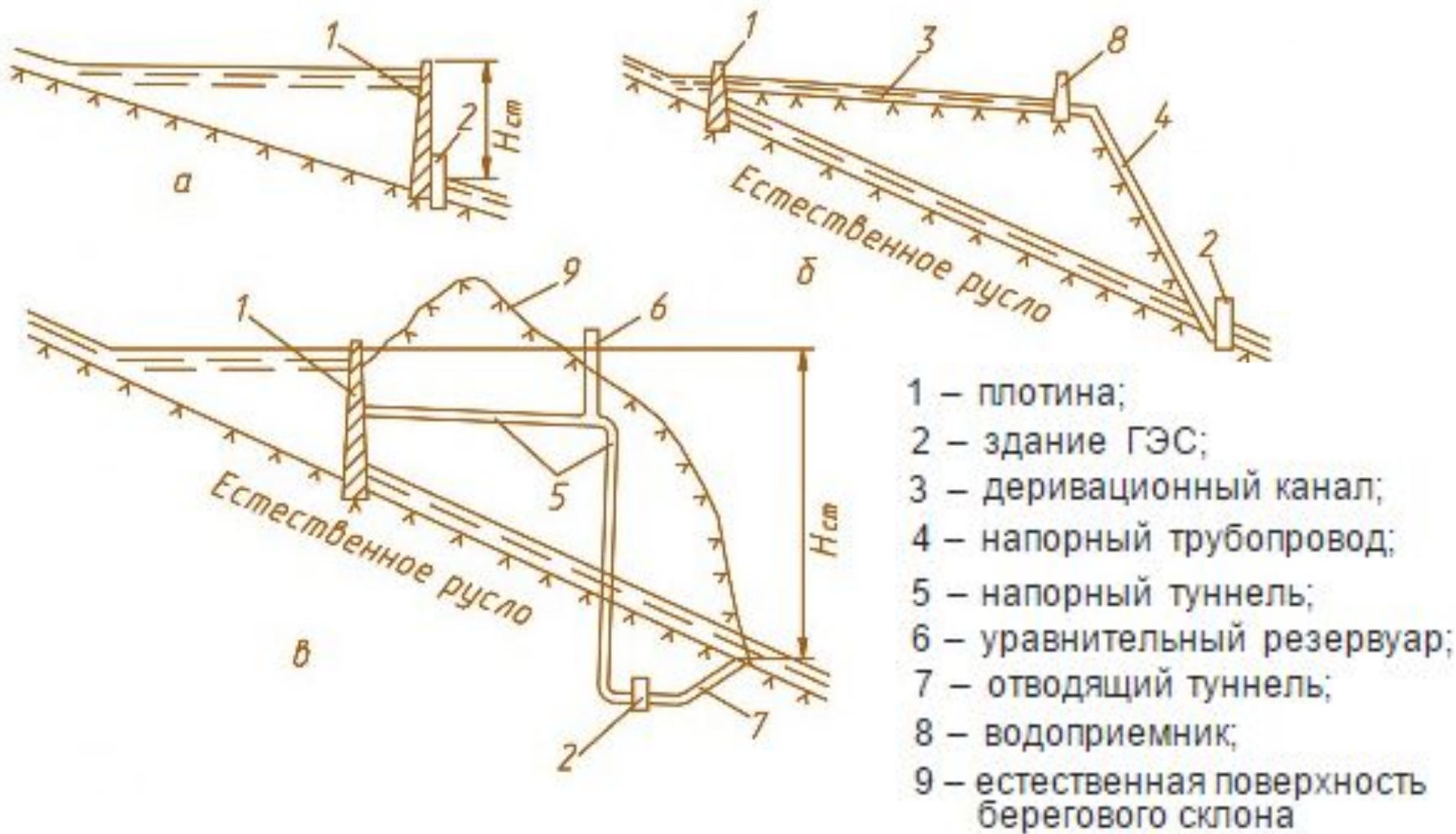
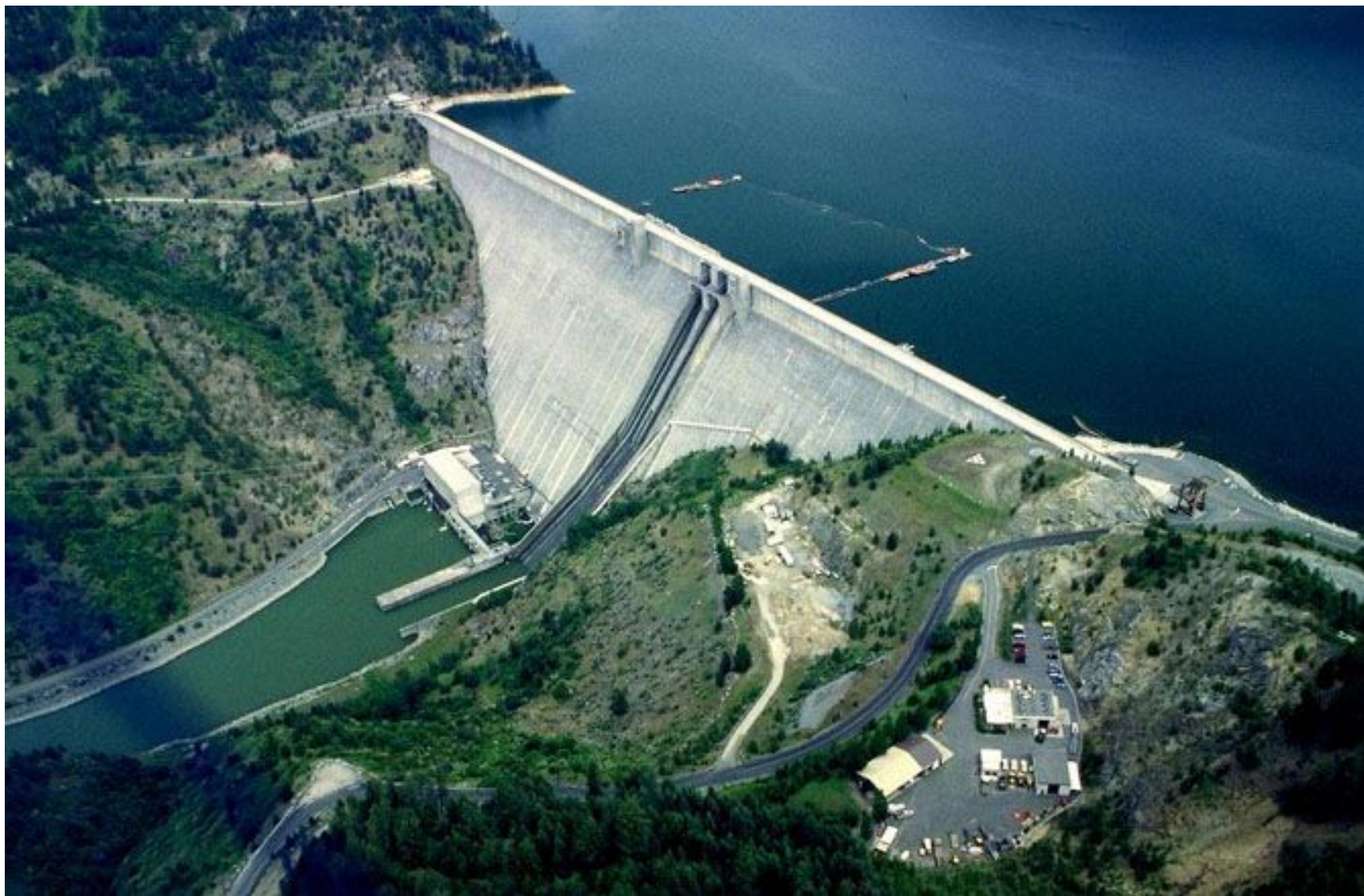


Рис. Принципиальные схемы ГЭС: а) плотинная; б) деривационная; в) комбинированная



Плотина Дворжак, в 219 метров высотой– третья самая высокая плотина в США и самая высокая прямоосная дамба в Западном полушарии.



Теребля-Рикская ГЭС (за зданием ГЭС виден «выходной портал» туннеля и металлический водовод длиной 350 м)

Насосная станция – гидроэнергетическая установка, предназначенная для перекачки воды с низких отметок на высокие и для перемещения воды в удаленные пункты.

Потребляет электрическую энергию, которая преобразуется в полезную для перекачки воды.

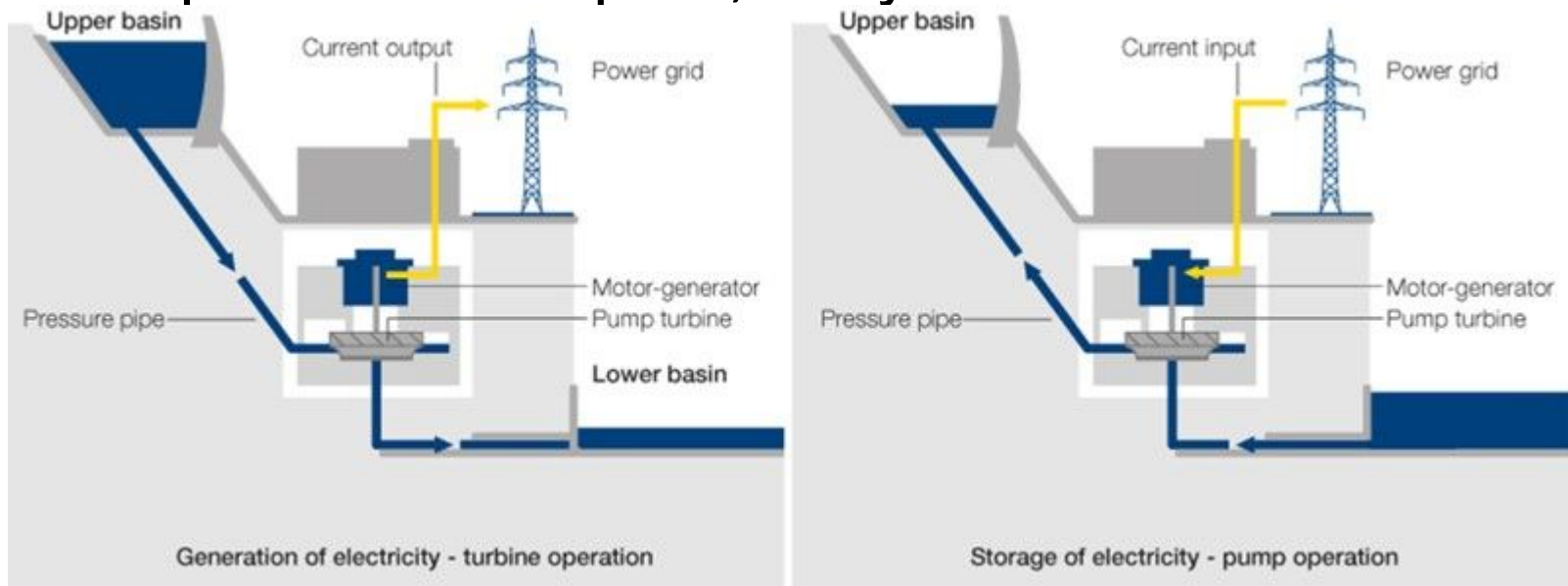
гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) –

гидроэнергетическая установка, совмещающая работу гидроэлектростанции и насосной станции

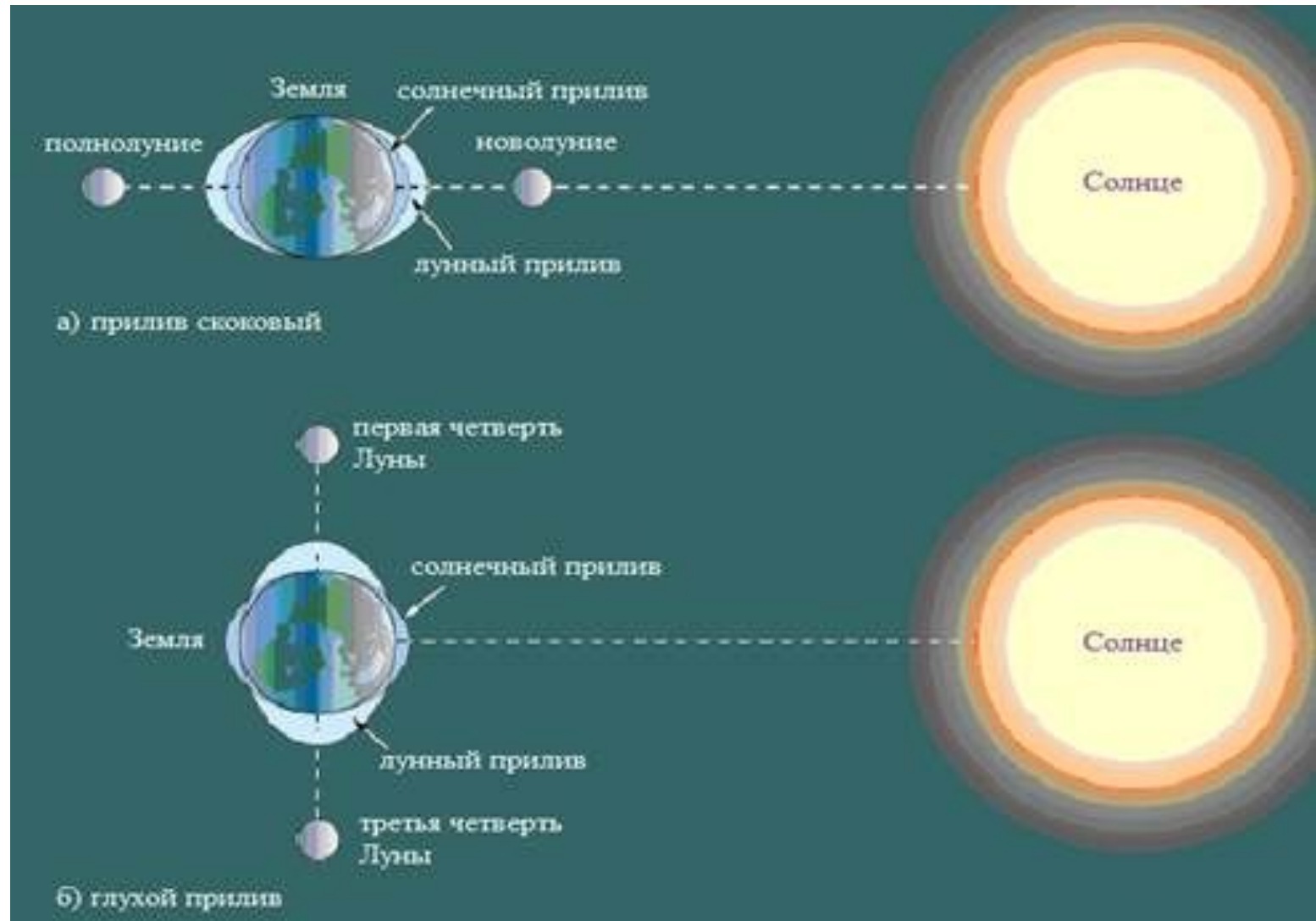
В часы пониженных нагрузок энергосистемы – режим насосной станции (потребляет электроэнергию)

В пики энергопотребления - режим ГЭС (вырабатывает электроэнергию)

Вследствие потерь ГАЭС отдает в систему около 70-75% электрической энергии, получаемой ею из системы.



Приливные электростанции (ПЭС) – используют приливные колебания уровня моря, которые обычно происходят два раза в сутки.

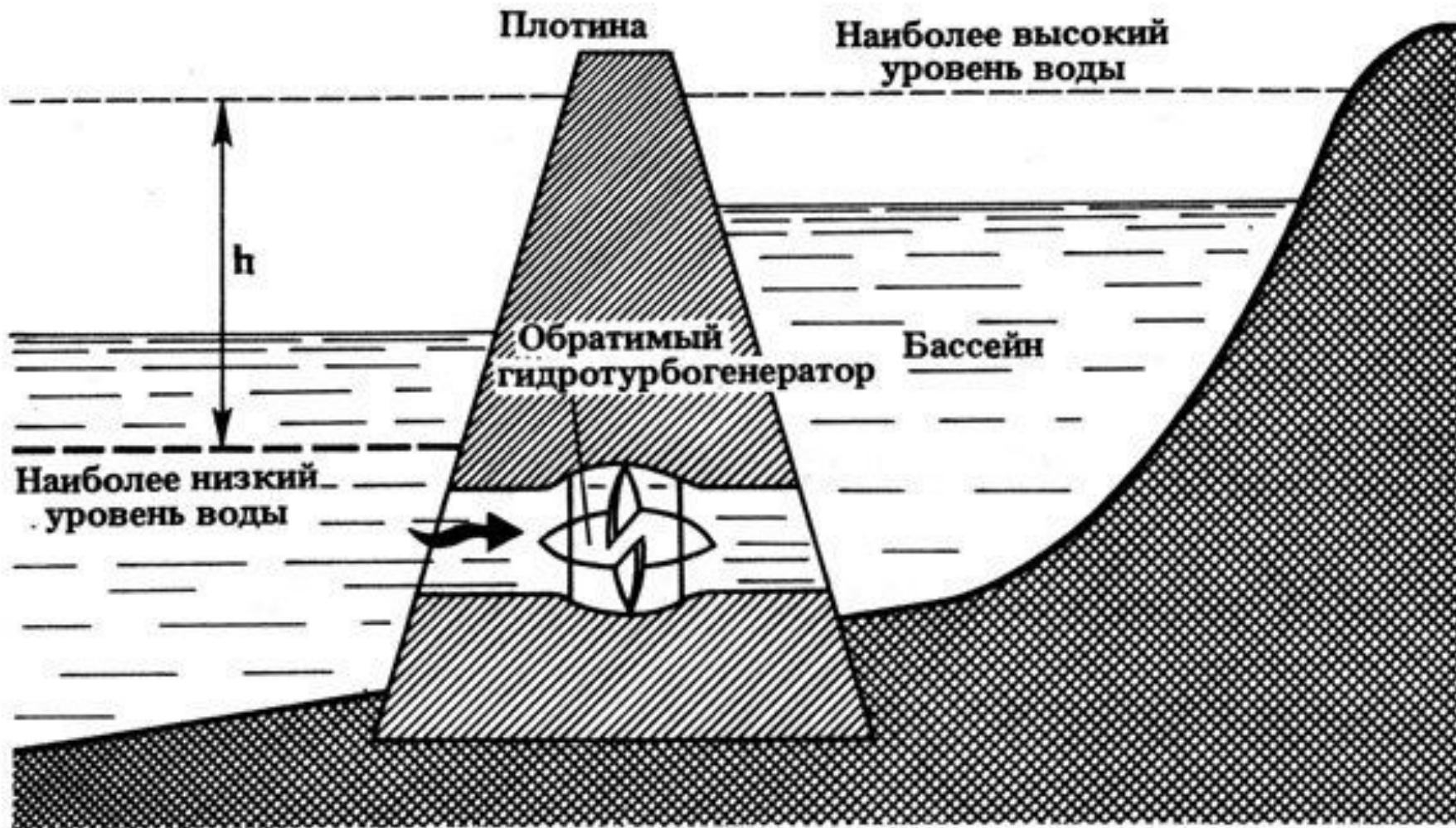


Максимальный прилив, м

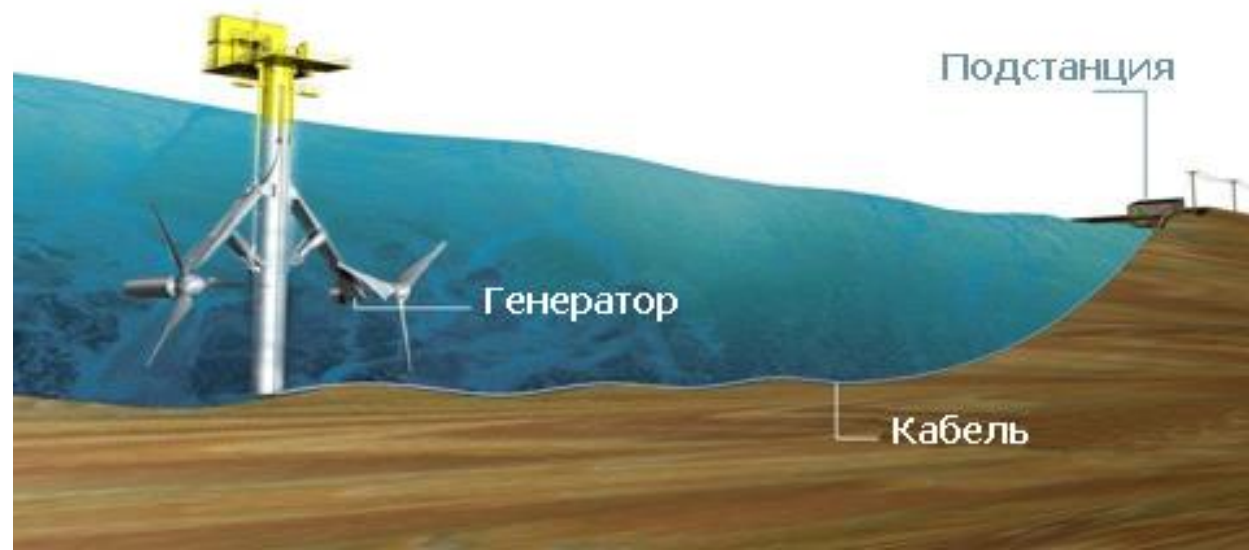
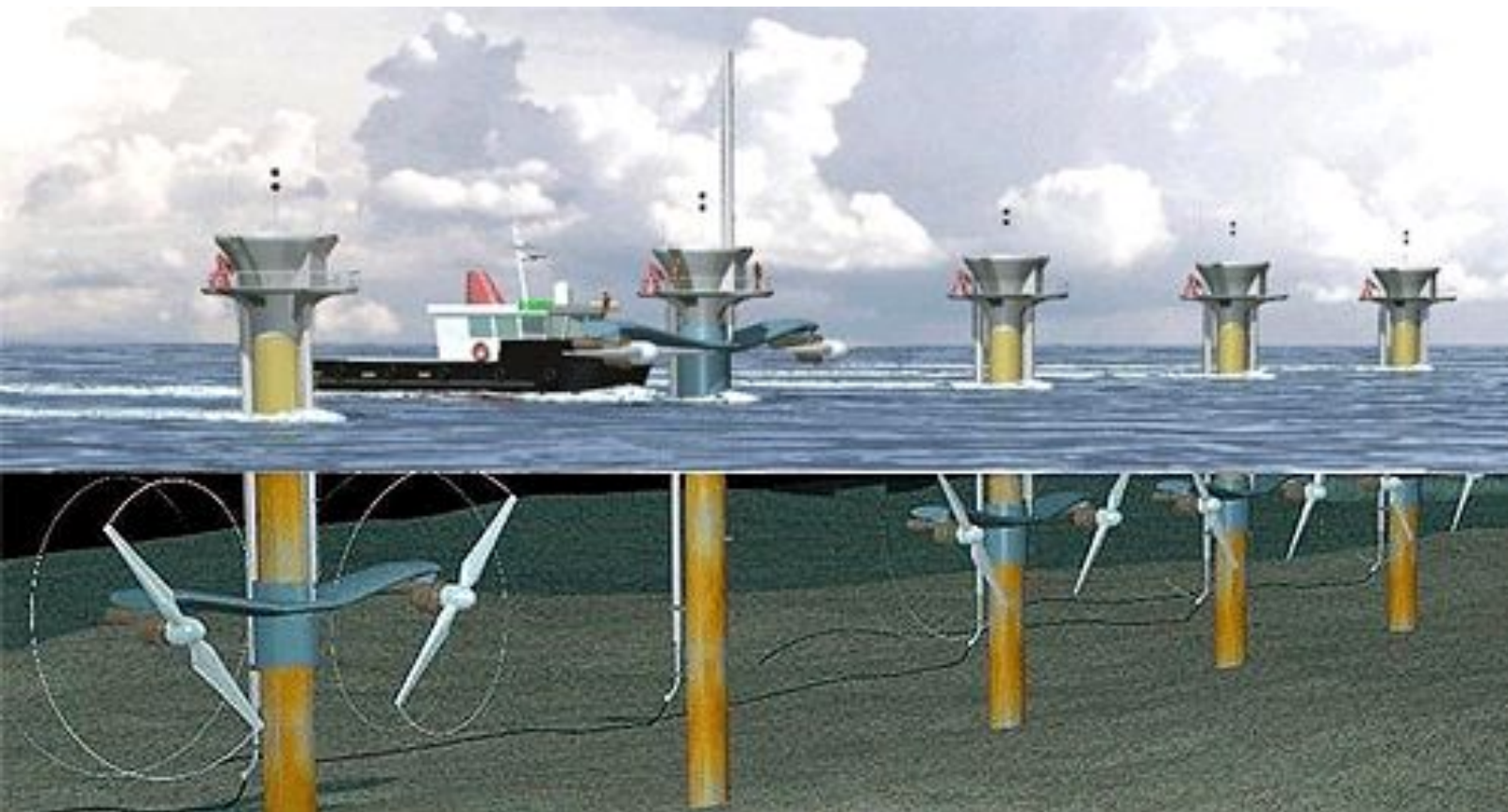


В России, определена целесообразность строительства в XXI веке семи ПЭС в створах Баренцева, Белого и Охотского морей:

- Кислогубская
- Малая Мезенская
- Северная (проект)
- Мезенская (проект)
- Пенжинская (южный створ) (проект)
- Пенжинская (северный створ) (проект)
- Тугурская (проект)



Приливной потенциал бассейна: $W_{\text{пот}} = 1,97 \times 10^6 \times H_{\text{ср}}^2 \times A$,
 где $H_{\text{ср}}$ - средняя величина приливной волны,
 A – площадь бассейна

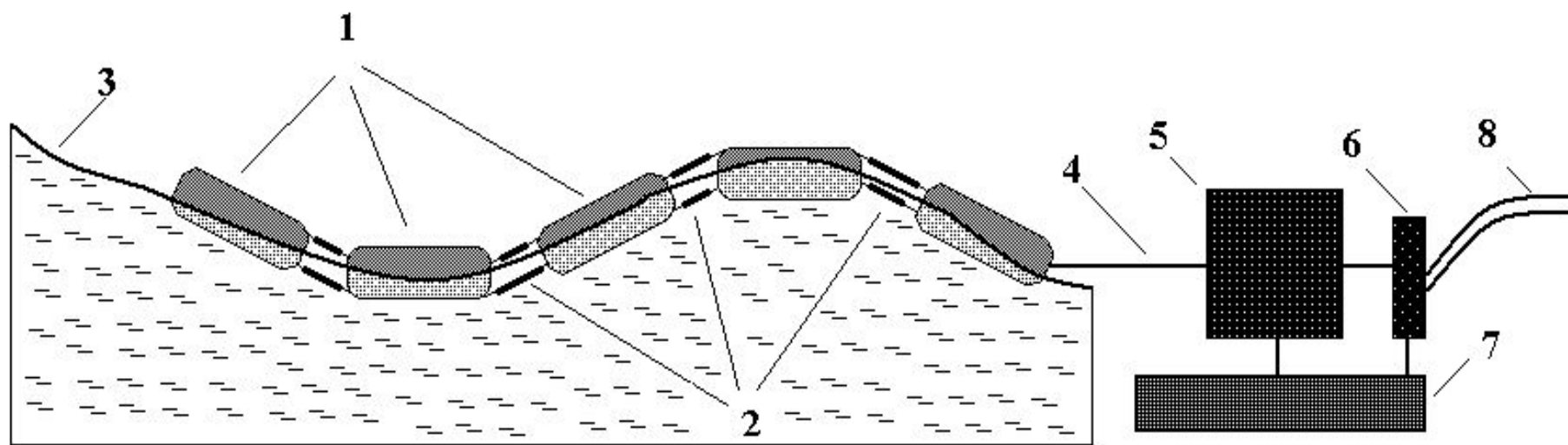
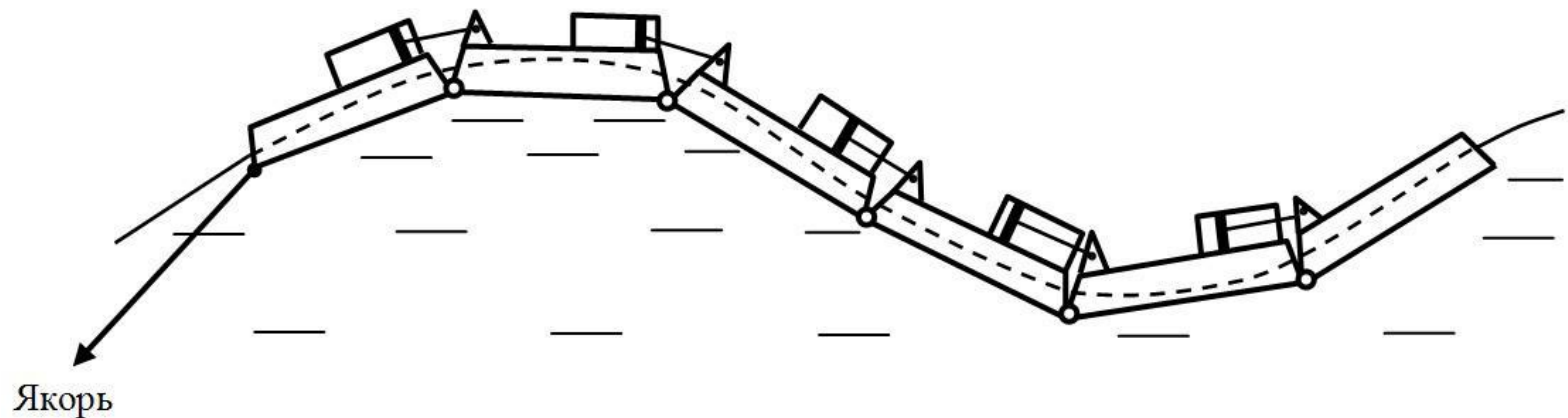


с 1968 года действует экспериментальная приливная электростанция в Кислой губе на побережье Баренцева моря, мощность 1,7 МВт, высота приливов - 5 метров, диаметр рабочего колеса 5 м



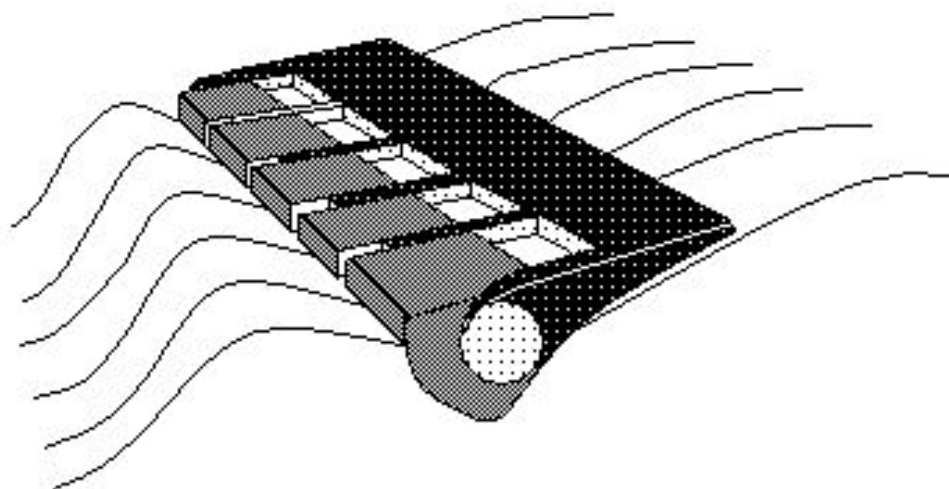
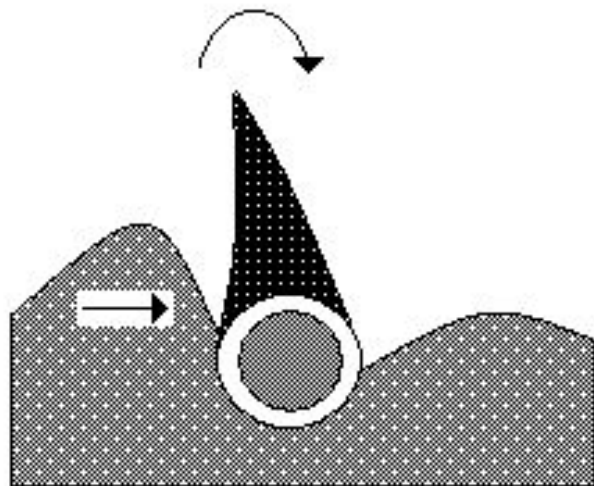
Волновая гидроэлектростанция (ВГЭС) -
электростанция, расположенная в водной среде, целью
которой является
получение электроэнергии из кинетической энергии волн.

контурный (шарнирный) плот Кокерелля

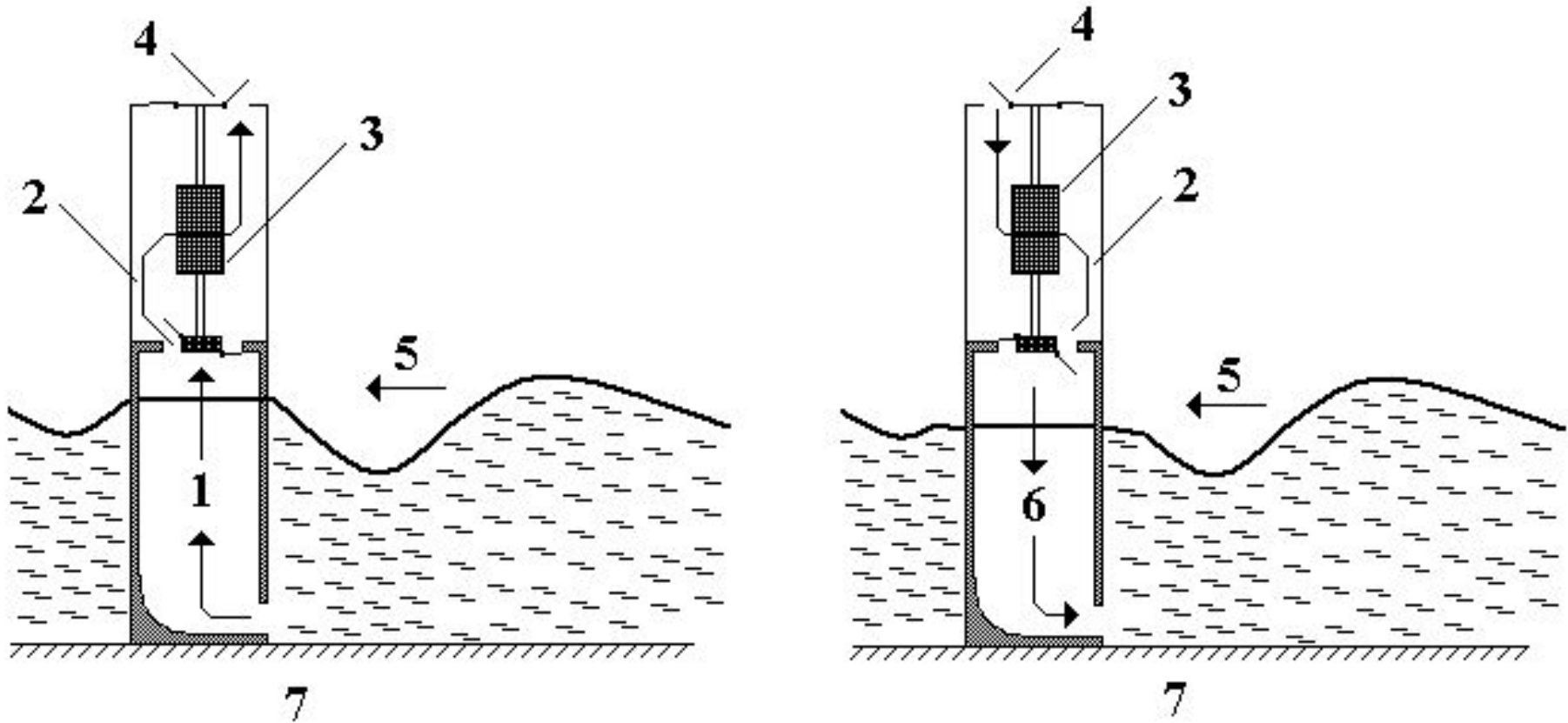


1 – плавающие поплавковые преобразователи; 2 – гидравлические поршни; 3 – поверхность волны; 4 – гидромагистраль; 5 – главный корпус; 6 – контрольно распределительное устройство; 7 – аккумулирующее устройство; 8 – отвод к потребителю.

утка солтера (колеблющееся крыло)



буй масуды



- 1 – волновой подъем уровня; 2 –воздушный поток;
3 –турбина; 4 –система впуска и выпуска воздуха;
5 – направление волны; 6 –опускание волнового уровня;
7 – морское дно.

Энергия морских течений.

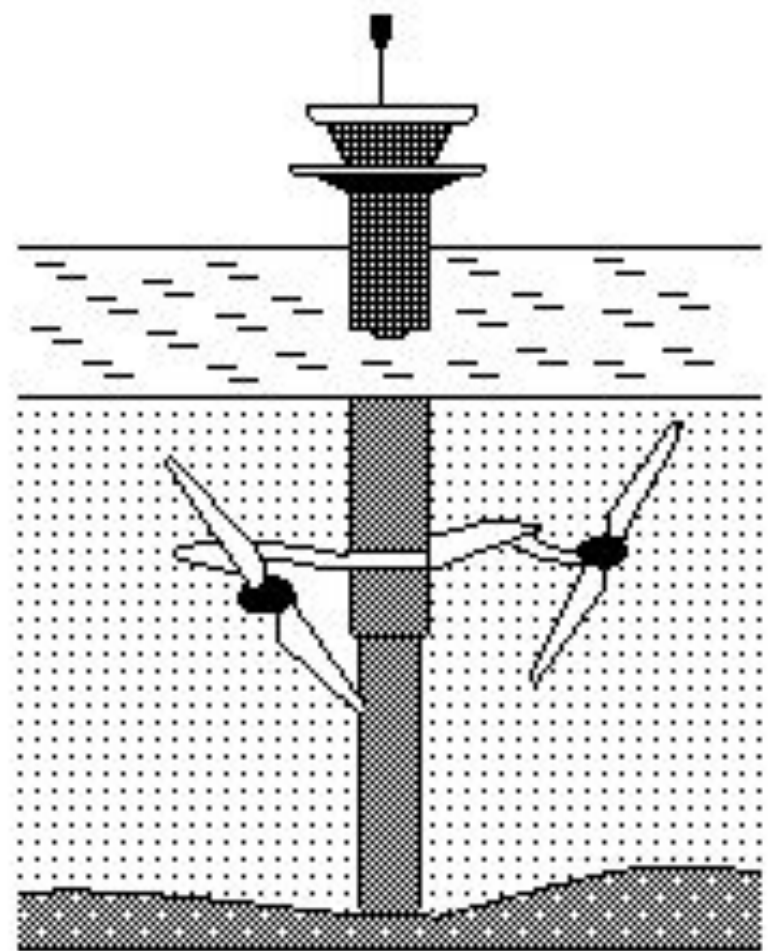
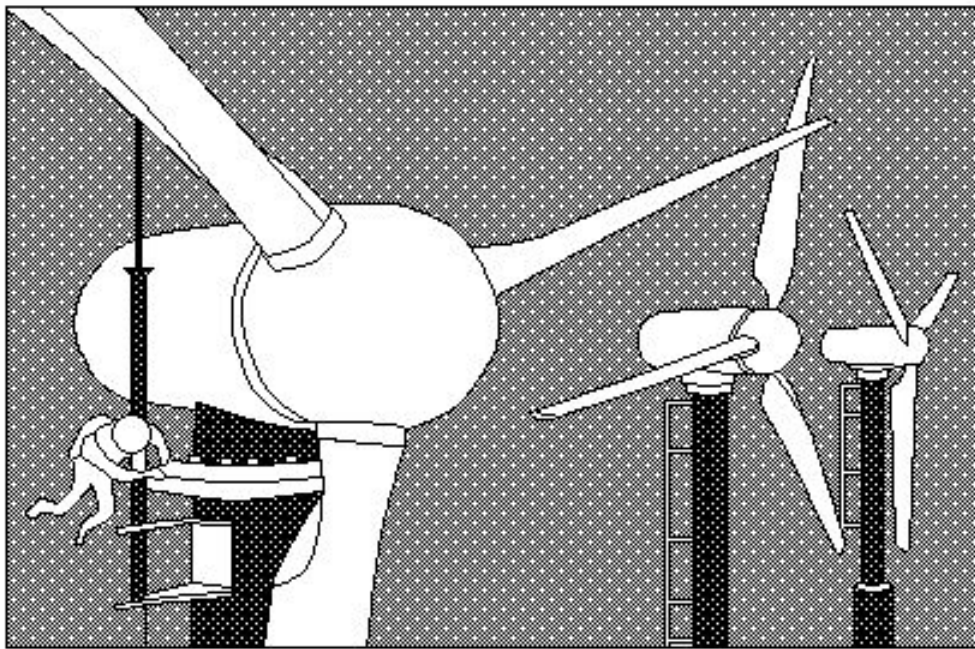
- Морское течение – Гольфстрим. Ширина течения - 60 км, глубина до 800 м, а поперечное сечение 28 км^2 .

Энергию E , которую несет такой поток воды со скоростью $0,9 \text{ м/с}$, можно выразить при помощи выражения:

$$E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \rho Sv^3$$

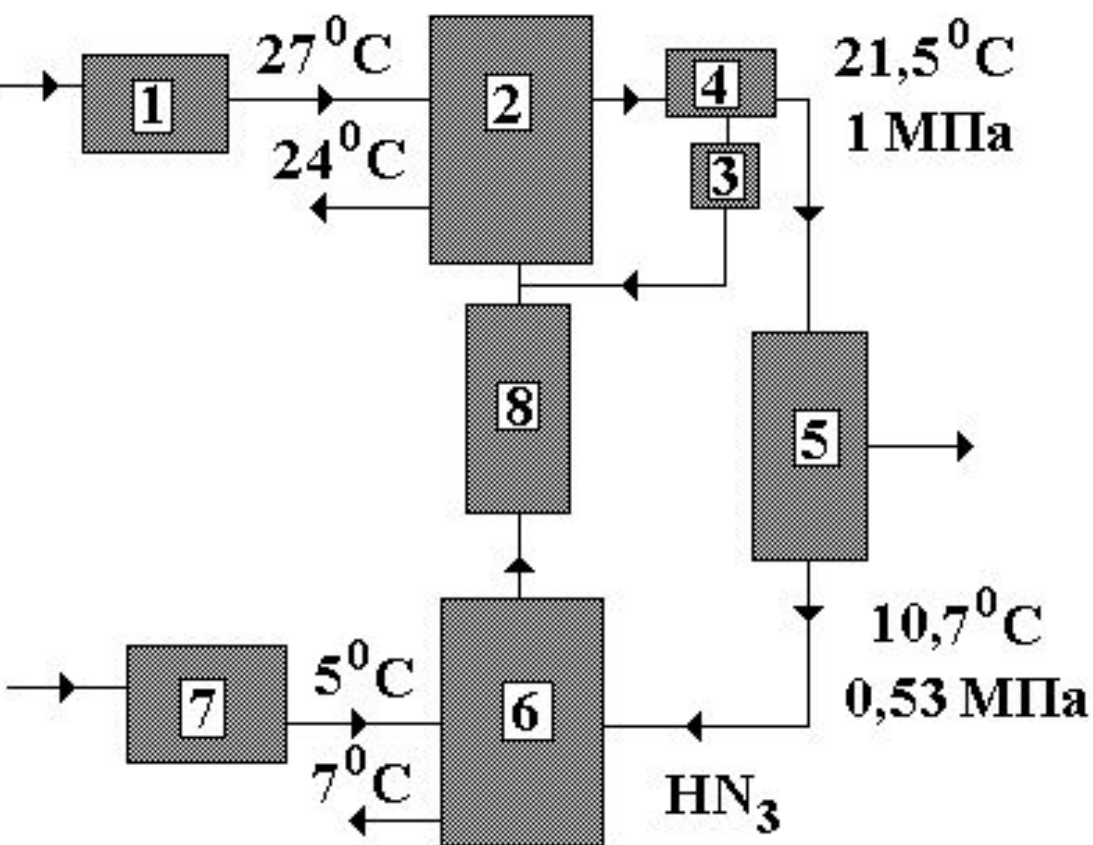
m – масса воды; ρ – плотность воды; где: m – масса воды (кг), ρ – плотность воды (кг/м³), S – площадь поперечного сечения сечения (м²), v – скорость течения.

Подставив, выражение для энергии, соответствующие величины, получим: $E=50.103 \text{ МВт}$.



Тепловая энергия океана

Технология преобразования тепловой энергии океана (ОТЕС) в электрическую использует разницу температур в воде на поверхности океана и глубоких слоях воды для производства электроэнергии.

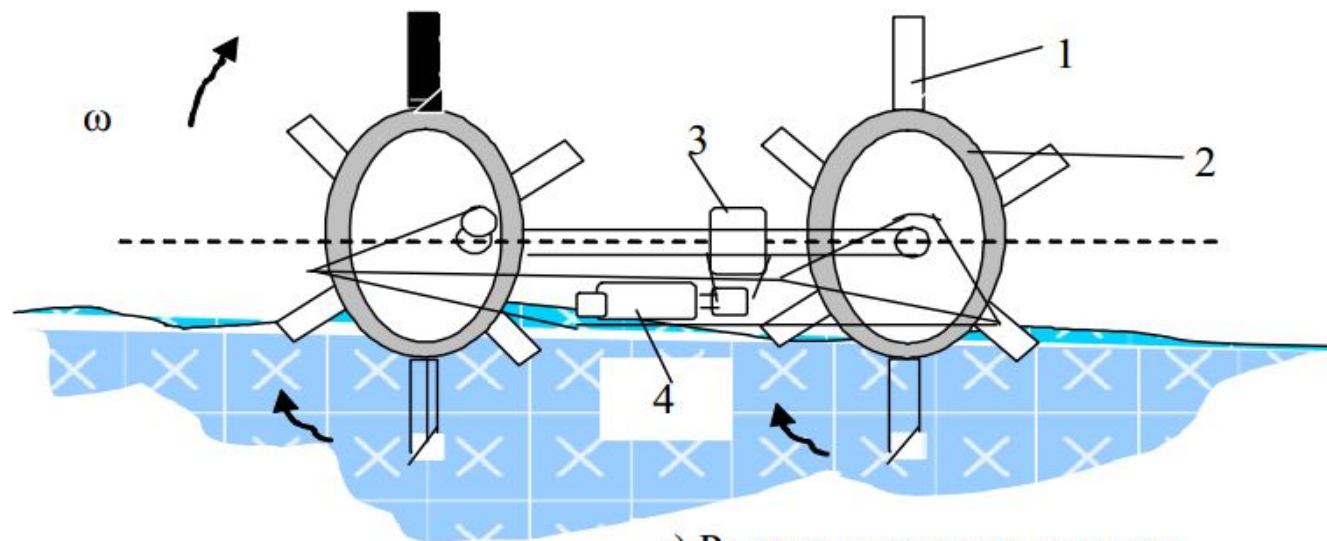


- 1 – насос теплой воды;
- 2 – испаритель;
- 3 – насос осушителя парообразного рабочего тела;
- 4 – осушитель;
- 5 – турбина с электрогенератором;
- 6 – конденсатор;
- 7 – насос для забора холодной воды;
- 8 – насос для подачи рабочего тела.

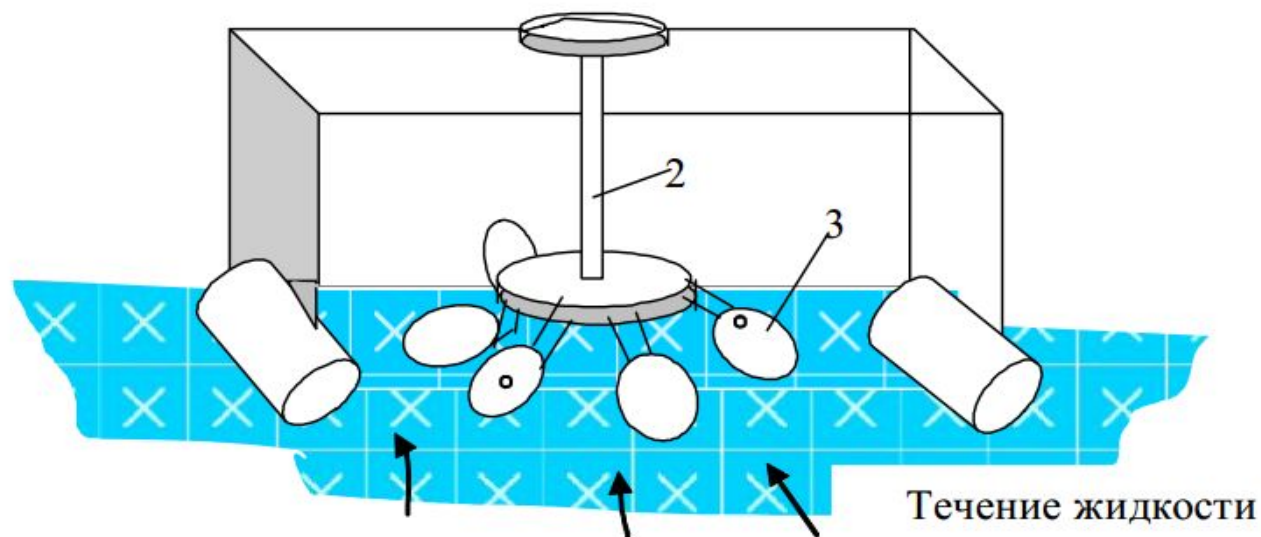
Малые ГЭС (МГЭС)

По существующей классификации к малым относятся ГЭС мощностью до 10-15 МВт, в том числе

- малые ГЭС - от 1 до 10 МВт.
- мини-ГЭС - от 0,1 до 1 МВт.
- микро-ГЭС - мощностью до 0,1 МВт.



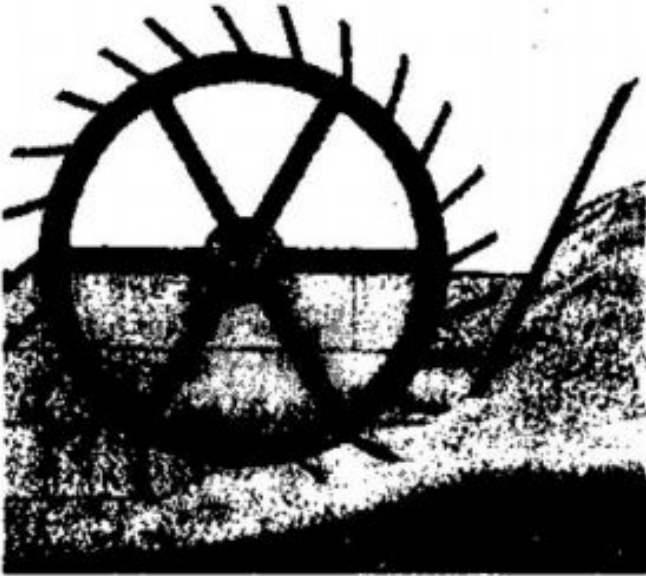
а) Равнинная гидроустановка



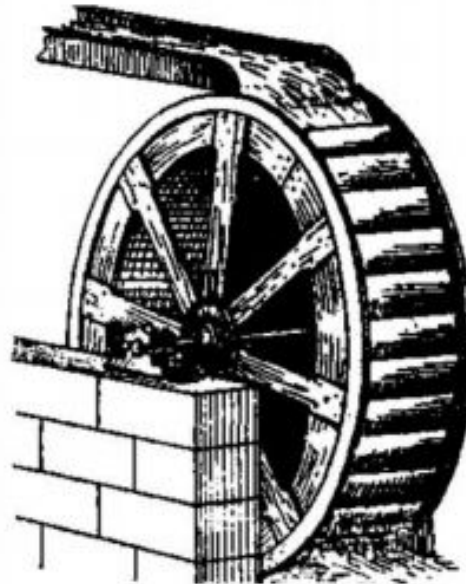
б) Гидроэнергетическая установка.

Рис. Конструкции использующие энергию малых водотоков

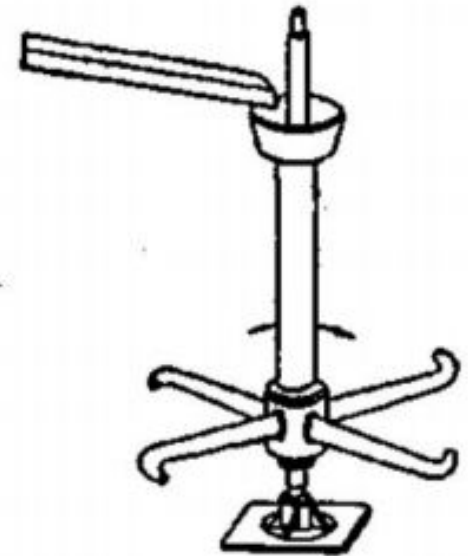
3. От водяного колеса к турбине



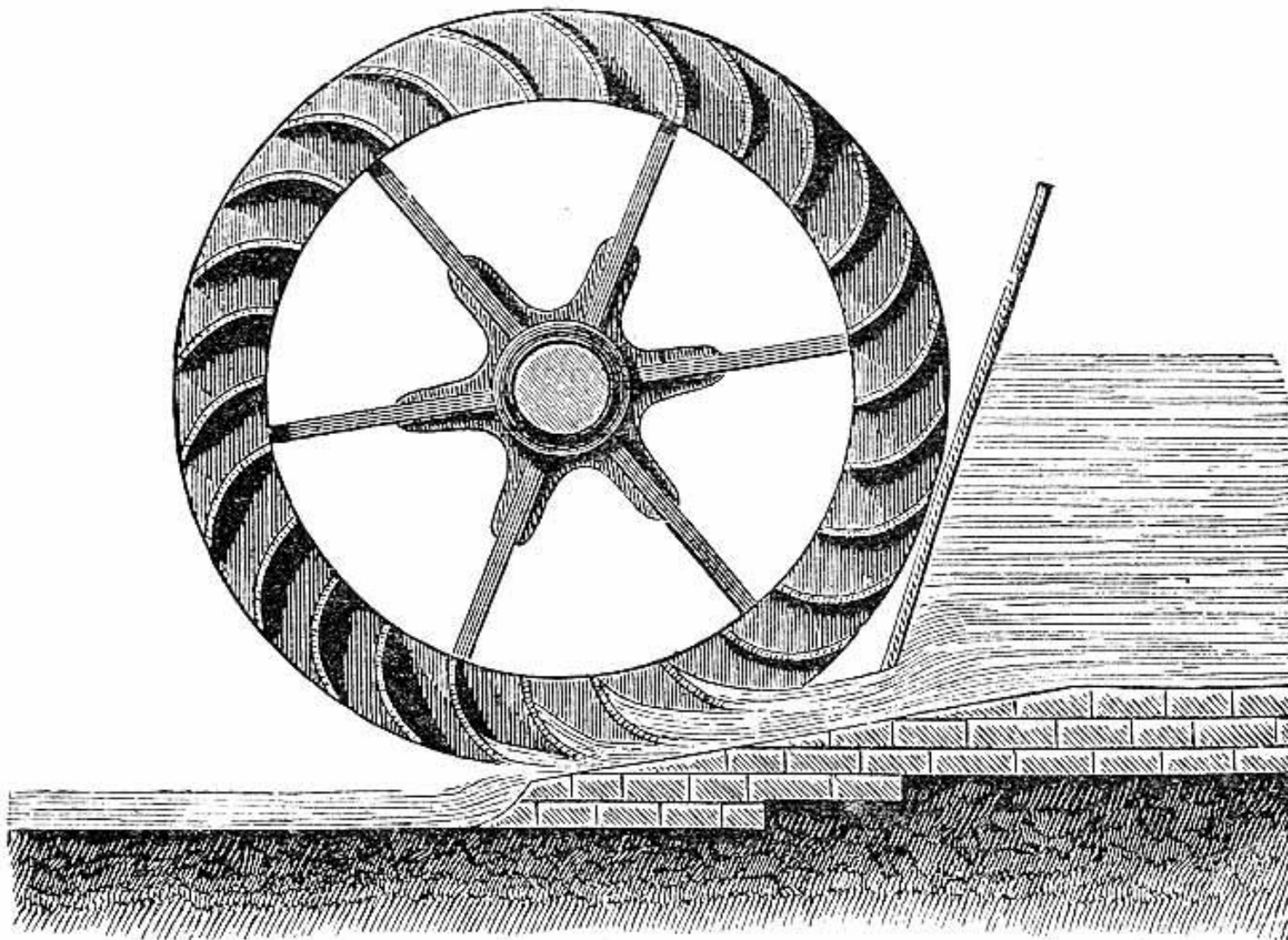
Нижнебойное (подливное)
водяное колесо



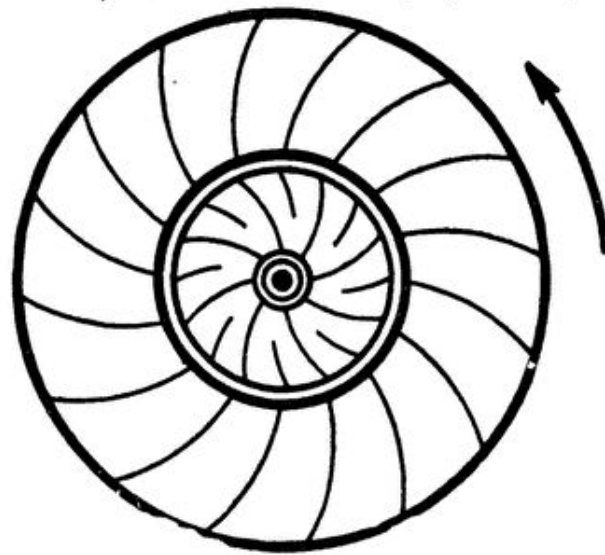
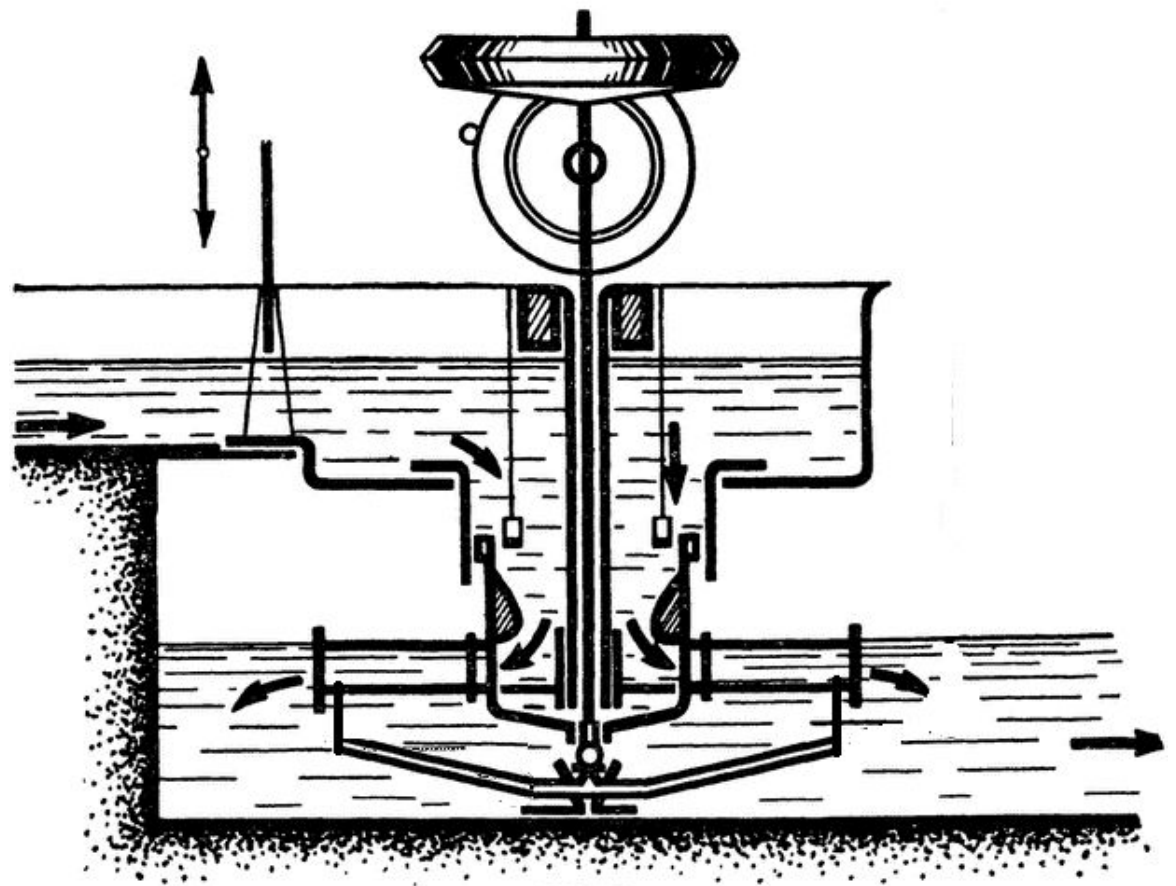
Верхнебойное (наливное)
водяное колесо



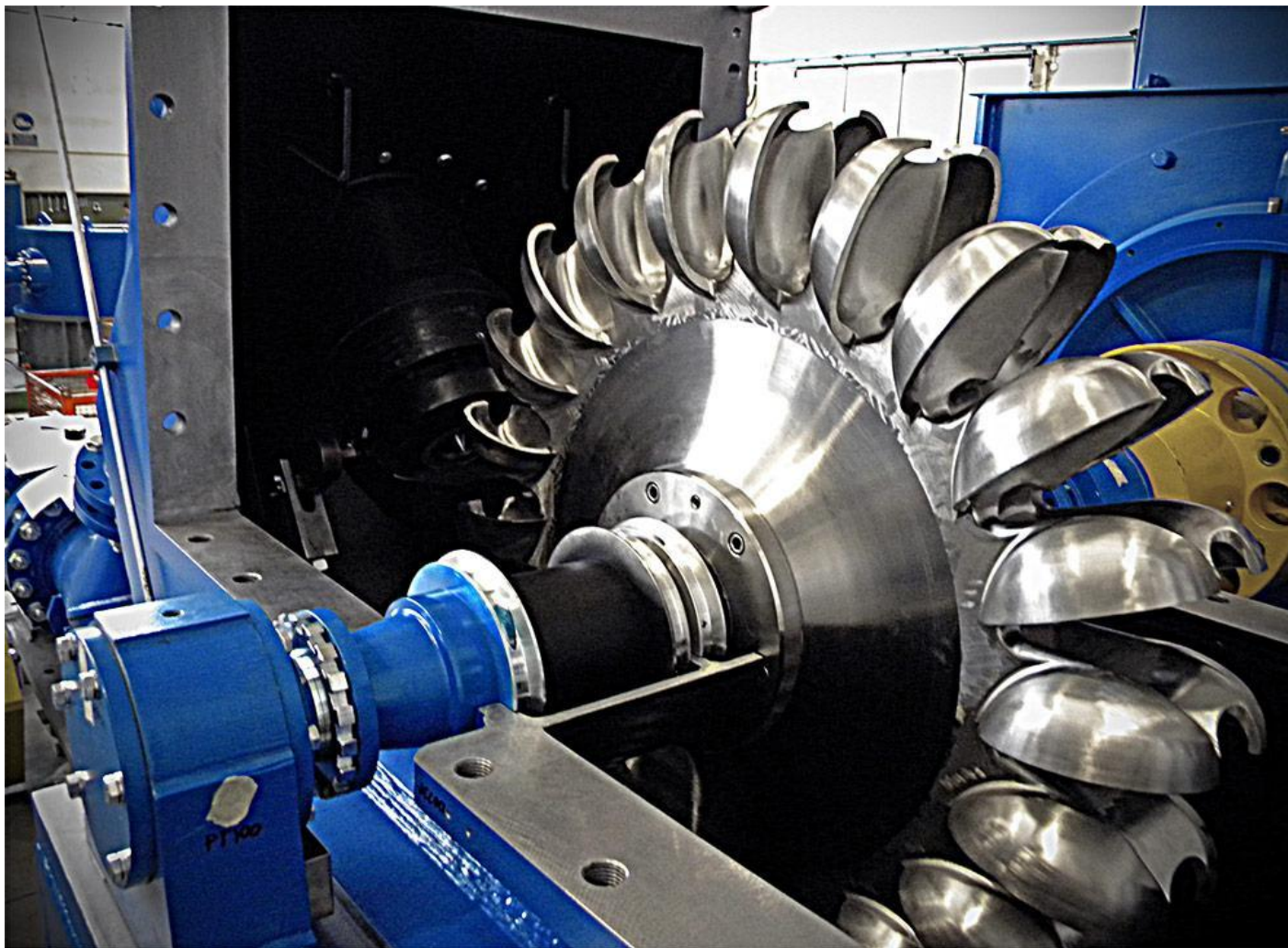
Колесо Сегнера с четырьмя
водоотводными трубками



Подливное колесо Понселе



Турбина Фурнейрона,
1832 г.



Турбина Пельтона, 1884 г.

4. КОМПОНЕНТЫ

гидроэлектростанций

Гидротурбина – предназначена для преобразования механической энергии, протекающей через нее воды в полезную энергию на вращающемся валу.

По действию воды на рабочее колесо, гидравлические турбины можно разделить на два вида:

- активные (водоструйные)
- реактивные (работающие с избытком давления)

Виды гидротурбин:

- Ковшовая турбина (турбина Пельтона)

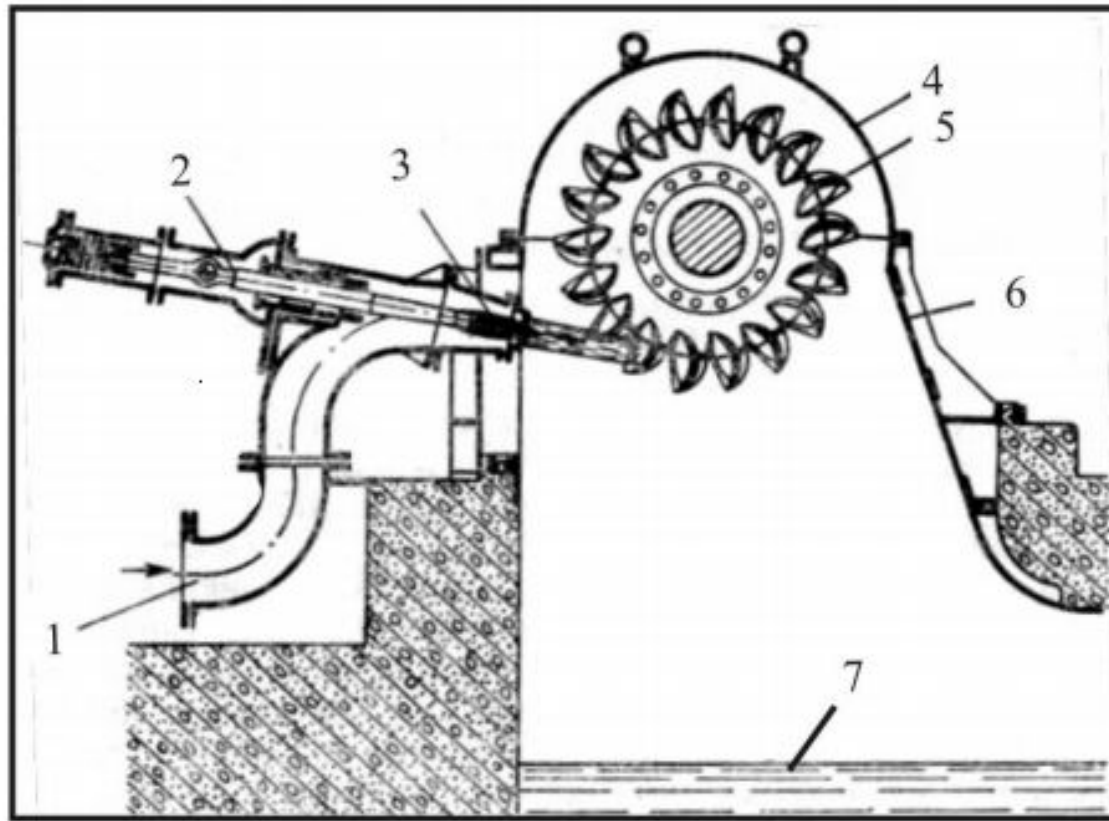


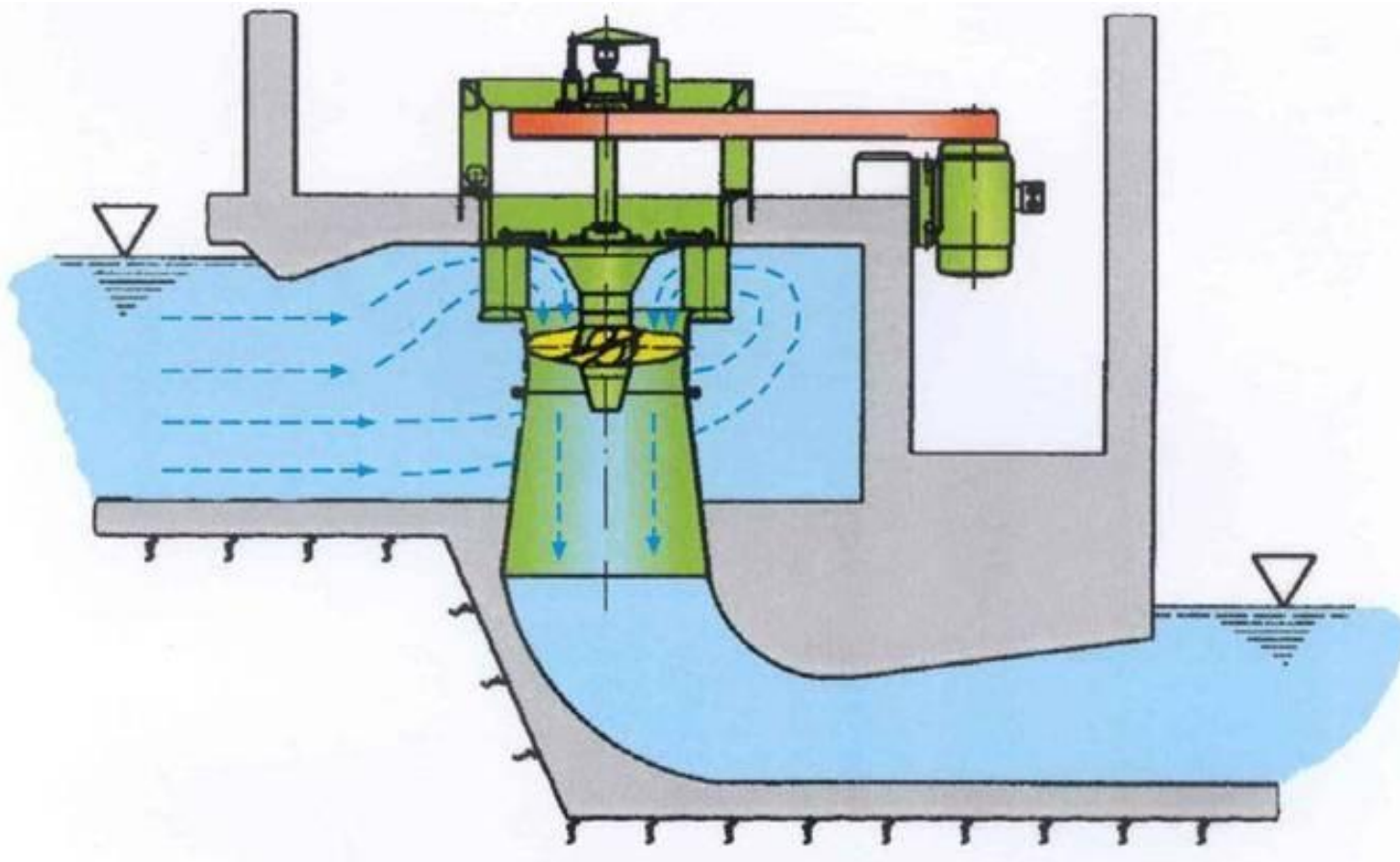
Рис. Схема ковшовой гидротурбины с горизонтальным валом

$$v_c = \varphi \sqrt{2g_3 H_{гэс}},$$

$\varphi = 0,98 \div 0,99$ коэффициент скорости,

$H_{гэс}$ напор

- Осевые турбины – поток воды подводится к колесу и отводится от него по цилиндрическим поверхностям, параллельным оси турбины



- Радиально –осевые турбины – поток подводится к рабочему колесу по радиальным к оси турбины поверхностям, а отводится параллельно оси турбины
- Диагональные турбины – поток подводится к рабочему колесу и отводится от него по конусным поверхностям, образующим с осью турбины некоторый угол

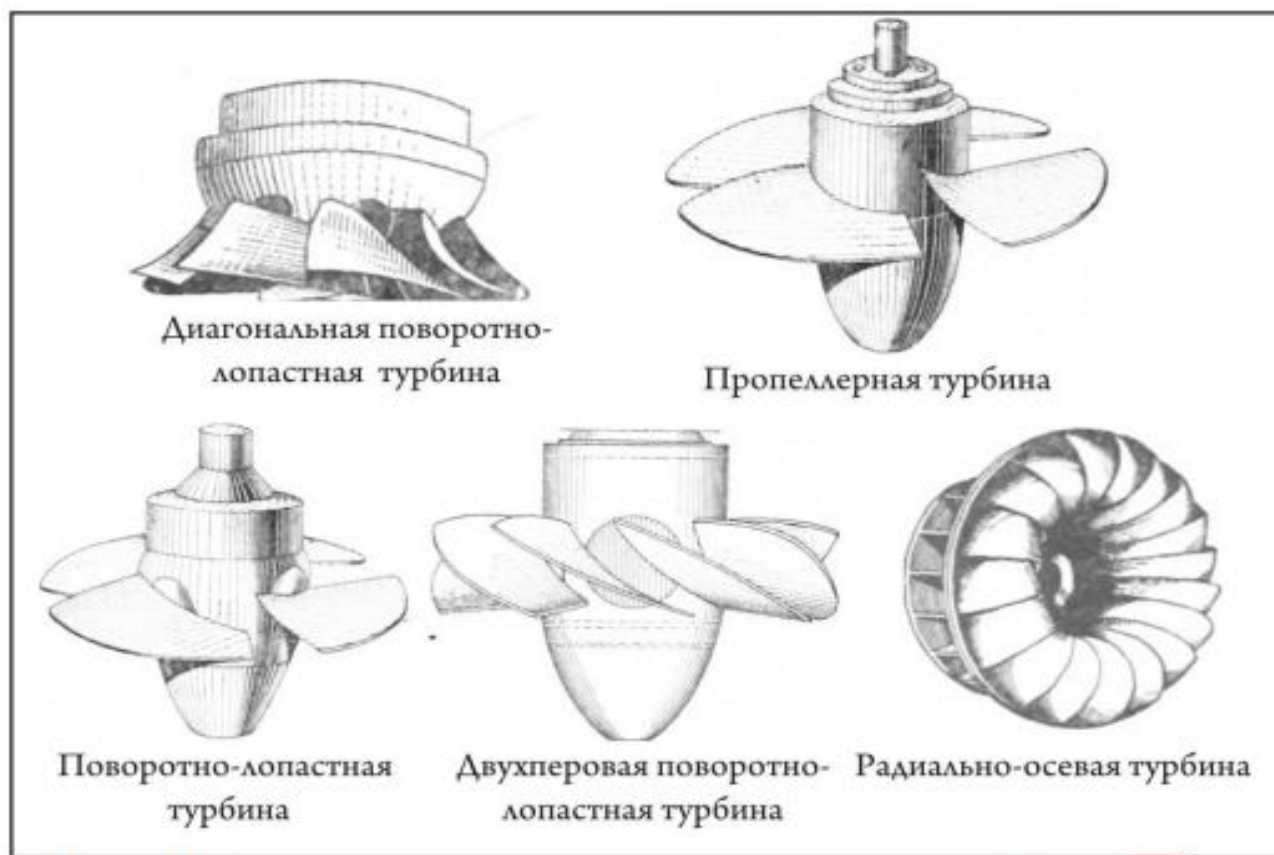
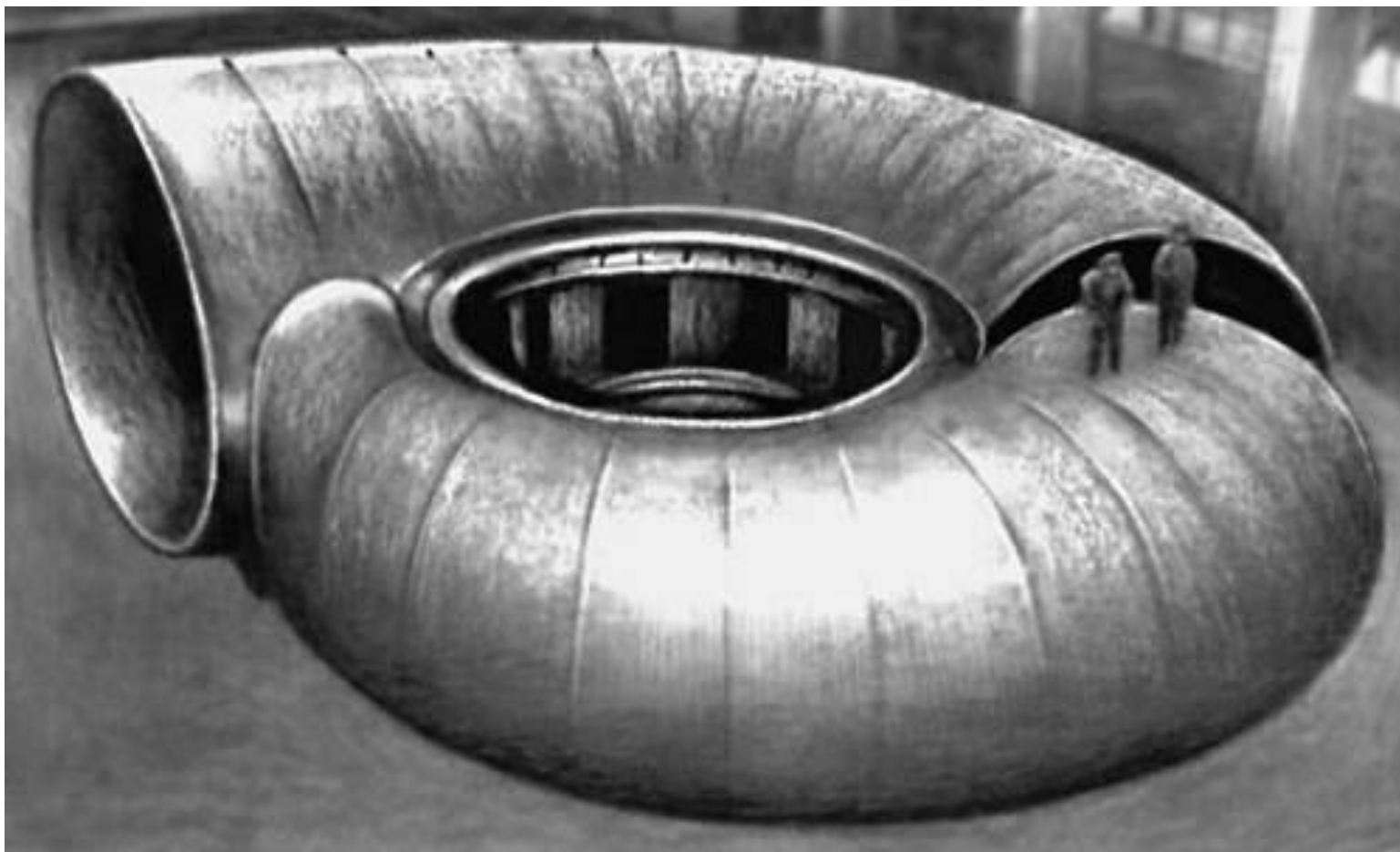


Рис. Рабочие колеса реактивных турбин

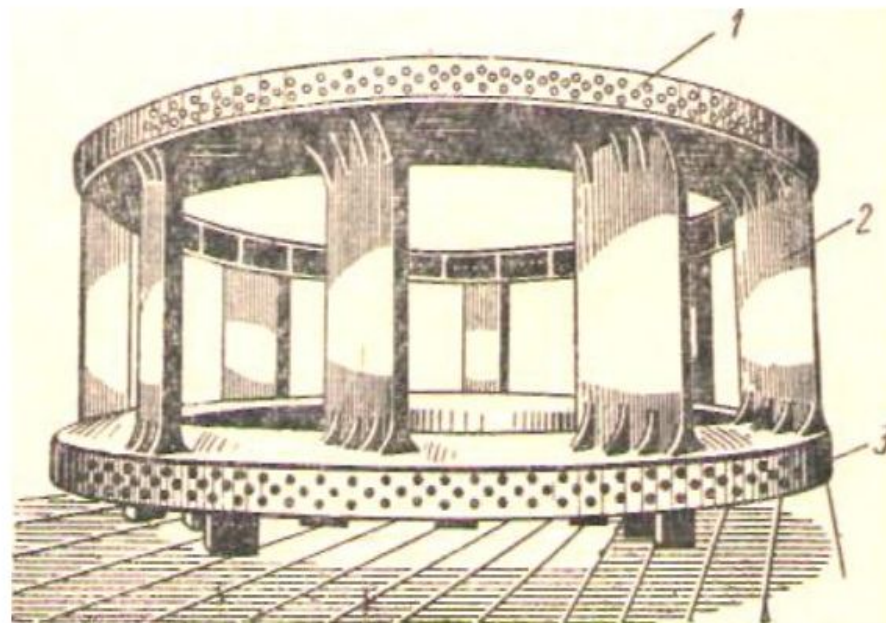
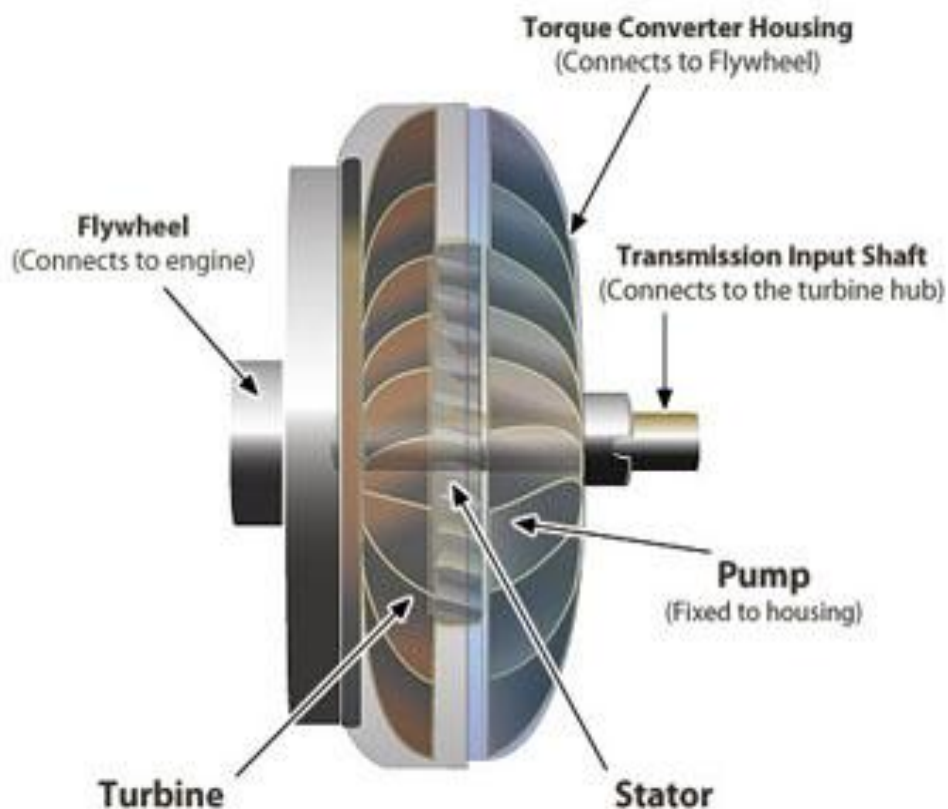
Турбинная камера -

устройство для подвода и равномерного распределения

воды по окружности направляющего аппарата гидравлической турбины.



Статор турбины – служит для передачи на фундамент установки нагрузок от веса неподвижных и вращающихся частей агрегата, осевого гидравлического давления воды на рабочее колесо и веса бетонного перекрытия.



- Направляющий аппарат – изменяет величину и направление скоростей в потоке.
- Рабочее колесо – лопасти+ступица+обод
- Отсасывающая труба – отвод воды от рабочего колеса

Гидроэнергетика Петрозаводска

- началом электрификации Петрозаводска принято считать 1902 год, когда ниже Лобановской плотины (район нынешнего моста между улицами Антикайнена и Мерецкова) поставили турбину мощностью 125 киловатт. Спустя четыре года ее заменили на две 150-киловаттные, и тогда же электрическое освещение появилось в первых шести домах города. А также в заводской больнице.



- массовое бытовое применение электричества в городе началось лишь через 4 года, когда стараниями городской думы была построена плотина и электростанция у Пименовского моста (от Музыкального театра по ул. Луначарского). торжественный пуск состоялся 14 октября (1 по старому стилю) 1910 года.



5. Гидрология – основа для проектирования ГЭС

Гидрология («гидро»- вода, «логос» - учение) - наука, занимающаяся изучением природных вод, явлений и процессов, в них протекающих, а также процессов, определяющих распространение вод по земной поверхности в толще почвогрунтов, и закономерностей, по которым эти процессы развиваются.

Уравнение водного баланса бассейна какой-либо реки в среднем для многолетнего периода:

$$y = x_o - z_{uc},$$

где y - высота речного стока, мм; x_o - осадки, мм; z_{uc} - испарение, мм.

Объем стока, м³: можно выразить через высоту речного стока y , м, и площадь водосбросного бассейна F , м²:

$$W = \frac{F \cdot y}{10^3}.$$

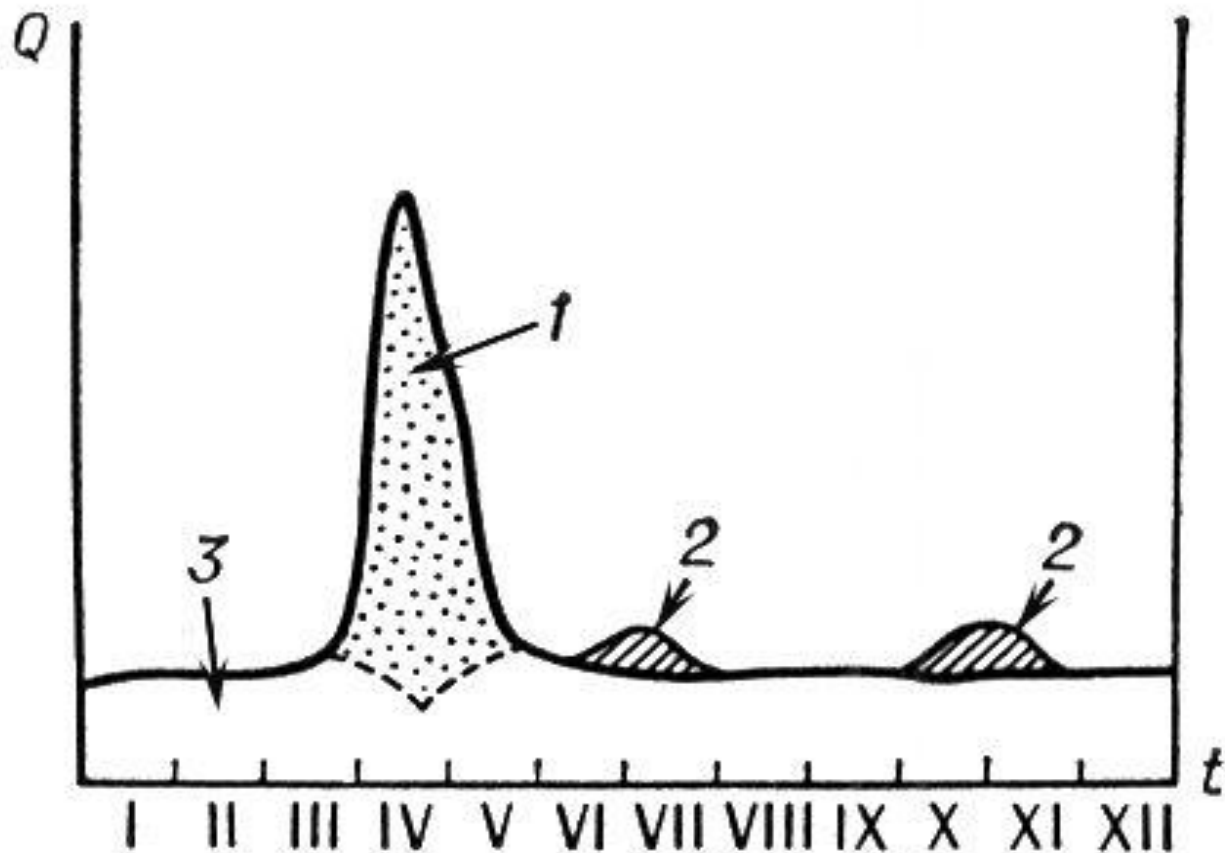
Коэффициент стока - это отношение стока к осадкам. Коэффициент стока показывает, какая часть осадков превращается в сток. На территориях стран СНГ в северных и восточных районах коэффициент стока варьируется в пределах 0,6 - 0,7, а для центральной Азии 0,2 – 0,3.

$$K_{ст} = \frac{y}{x_o}.$$

Расход воды, м³/с, - это мгновенный (секундный), среднесуточный, среднедекадный, среднемесячный, среднегодовой, среднемноголетний, т.е. средний расход воды за тот или иной промежуток времени. Основной характеристикой реки является среднемноголетний расход, проходящий по реке в среднем за многолетний период наблюдений.

Модуль стока, л/с·км², - расход воды, поступающей в реку с единицы площади водосбора. Вычисляется как мгновенный расход, характеризующий интенсивность питания реки в каждый данный момент времени, так и средний расход, соответствующий среднему за этот период расходу воды в реке.

Для наглядного изображения колебаний стока рек служит специальная система графиков. Основным исходным графиком является хронологический график изменения расходов воды в реке - *гидрограф*.



Гидрограф речного стока: 1 — снеговое питание реки;
2 — дождевое питание; 3 — грунтовое (подземное) питание.

Межень - период внутригодового цикла, в течение которого устойчиво наблюдается низкая водность, возникающая вследствие уменьшения притока воды с водосборной площади.

Половодье - фаза водного режима реки, характеризующаяся наибольшей в году водностью, высоким и длительным подъемом уровня, обычно сопровождаемым выходом реки из русла на пойму. Вызывается главным источником питания реки: на равнинных реках - снеготаянием (весеннее половодье), на высокогорных - таянием снега и ледников (летнее половодье).

Паводок - быстрый, сравнительно кратковременный подъем уровня воды в каком-либо фиксированном створе реки, завершающийся почти столь же быстрым спадом и, в отличие от половодья, возникающий нерегулярно; поднятие уровня и увеличение расхода воды при паводке могут в отдельных случаях превышать уровень и наибольший расход половодья.

Для проектирования и эксплуатации гидроэлектростанций необходимо иметь данные о следующих элементах режима рек:

- А) уровень, скорости течения и расходов воды в реке;
- Б) термический и ледовый режим реки.
- В) перемещения и характеристики наносов.