

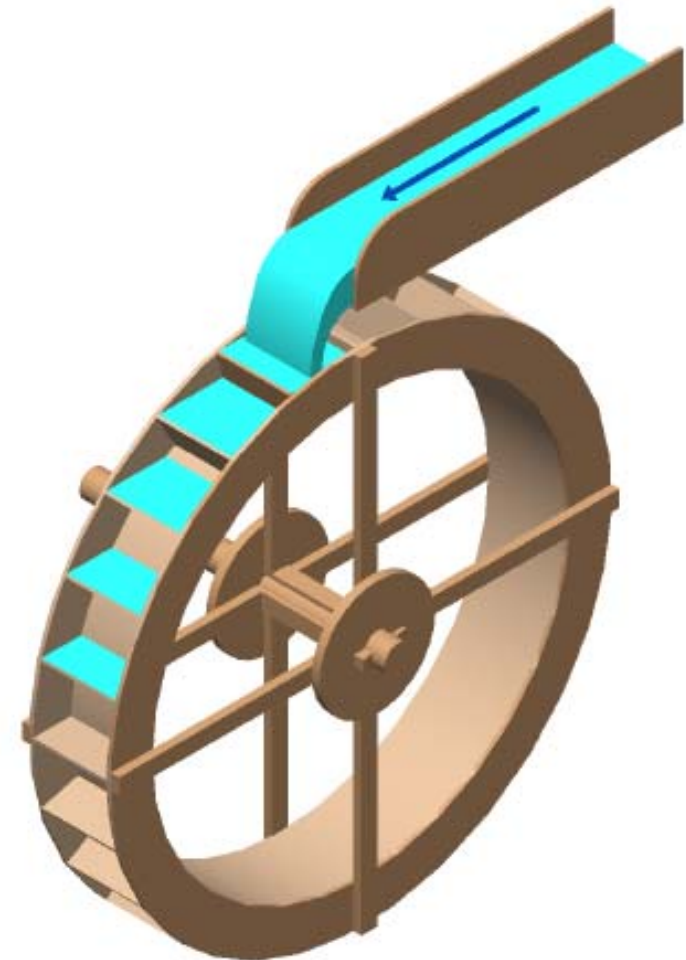
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВОДЫ

1. Энергия рек

Устройства, в которых энергия воды используется для совершения работы, принято называть водяными (или гидравлическими.) двигателями.

Простейшие и самые древние из них – водяные колеса. Различают колеса с верхним, средним и нижним подводом воды.

В современной гидроэлектростанции масса воды с большой скоростью устремляется на лопатки турбин. Вода из-за сетки и регулируемый затвор – по стальному ковшу, в котором установлен генератор. Механическая энергия турбины передается генераторам и в них производится электричество. После совершения работы вода стекает в расширяющийся туннель, теряя при этом скорость.



Классификация ГЭС

Гидроэлектростанции классифицируются **по мощности**:

- ❖ мелкие (с установленной электрической мощностью до 0,2 МВт)
- ❖ малые (до 2 МВт),
- ❖ средние (до 20 МВт)
- ❖ крупные (свыше 20 МВт)

Гидроэлектростанции классифицируются **по напору**:

- ❖ низконапорные ГЭС (напор до 10 м)
- ❖ среднего напора (до 100 м)
- ❖ высоконапорные (свыше 100 м).

В редких случаях плотины высоконапорных ГЭС достигают высоты 240 м. Такие плотины сосредоточивают перед турбинами водную энергию, накапливая воду и поднимая ее уровень

Особенности ГЭС

- ❖ Себестоимость электроэнергии на ГЭС существенно ниже, чем на всех иных видах электростанций
- ❖ Генераторы ГЭС можно достаточно быстро включать и выключать в зависимости от потребления энергии
- ❖ Возобновляемый источник энергии
- ❖ Значительно меньшее воздействие на воздушную среду, чем другими видами электростанций
- ❖ Строительство ГЭС обычно более капиталоемкое
- ❖ Часто эффективные ГЭС более удалены от потребителей
- ❖ Водохранилища часто занимают значительные территории
- ❖ Плотины зачастую изменяют характер рыбного хозяйства, поскольку перекрывают путь к нерестилищам проходным рыбам, однако часто благоприятствуют увеличению запасов рыбы в самом водохранилище и осуществлению рыбоводства.
- ❖ Мощность современных ГЭС, спроектированных на высоком инженерном уровне, превышает 100 МВт, а К.П.Д. составляет 95% (водяные колеса имеют К.П.Д. 50...85%).
- ❖ Такая мощность достигается при довольно малых скоростях вращения ротора (порядка 100 об/мин), поэтому современные гидротурбины поражают своими размерами.

Например, рабочее колесо турбины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина имеет высоту около 10 м и весит 420 т

Крупнейшие гидроэлектростанции России

Наименование	Мощность, <u>ГВт</u>	Среднегодовая выработка, млрд <u>кВт·ч</u>	Собственник	География
Саяно-Шушенская ГЭС	6,40	23,50	<u>ОАО РусГидро</u>	р. <u>Енисей</u> , г. <u>Саяногорск</u>
Красноярская ГЭС	6,00	20,40	<u>ОАО «Красноярская ГЭС»</u>	р. <u>Енисей</u> , г. <u>Дивногорск</u>
Братская ГЭС	4,50	22,60	<u>ОАО Иркутскэнерго</u> , <u>РФФИ</u>	р. <u>Ангара</u> , г. <u>Братск</u>
Усть-Илимская ГЭС	4,32	21,70	<u>ОАО Иркутскэнерго</u> , <u>РФФИ</u>	р. <u>Ангара</u> , г. <u>Усть-Илимск</u>
Богучанская ГЭС*	3,00	17,60	<u>ОАО «Богучанская ГЭС»</u> , <u>ОАО РусГидро</u>	р. <u>Ангара</u> , г. <u>Кодинск</u>
Волжская ГЭС	2,54	12,30	<u>ОАО РусГидро</u>	р. <u>Волга</u> , г. <u>Волжский</u>
Жигулёвская ГЭС	2,30	10,50	<u>ОАО РусГидро</u>	р. <u>Волга</u> , г. <u>Жигулевск</u>
Бурейская ГЭС*	2,00	7,10	<u>ОАО РусГидро</u>	р. <u>Буряя</u> , пос. <u>Талакан</u>
Чебоксарская ГЭС	1,40**	3,31**	<u>ОАО РусГидро</u>	р. <u>Волга</u> , г. <u>Новочебоксарск</u>
Саратовская ГЭС	1,36	5,35	<u>ОАО РусГидро</u>	р. <u>Волга</u> , г. <u>Балаково</u>
Зейская ГЭС	1,33	4,91	<u>ОАО РусГидро</u>	р. <u>Зея</u> , г. <u>Зея</u>
Нижнекамская ГЭС	1,25**	2,67**	<u>ОАО «Генерирующая компания»</u> , <u>ОАО «Татэнерго»</u>	р. <u>Кама</u> , г. <u>Набережные Челны</u>
Загорская ГАЭС	1,20	1,95	<u>ОАО РусГидро</u>	р. <u>Кунья</u> , пос. <u>Богородское</u>
Воткинская ГЭС	1,02	2,60	<u>ОАО РусГидро</u>	р. <u>Кама</u> , г. <u>Чайковский</u>
Чиркейская ГЭС	1,00	2,47	<u>ОАО РусГидро</u>	р. <u>Сулак</u>

Крупнейшие ГЭС в мире

Наименование	Мощность <u>ГВт</u>	Среднегодовая выработка, млрд <u>кВт·ч</u>	География
<u>Санься</u>	22,40	100,00	р. <u>Янцзы</u> , г. <u>Сандоупин</u> , <u>Китай</u>
<u>Итайпу</u>	14,00	100,00	р. <u>Парана</u> , г. <u>Фос-ду-Игуасу</u> , <u>Бразилия/Парагвай</u>
<u>Гури</u>	10,30	40,00	р. <u>Карони</u> , <u>Венесуэла</u>
<u>Тукуруи</u>	8,30	21,00	р. <u>Токантин</u> , <u>Бразилия</u>





2. Энергетические ресурсы океана

2.1. Тепловая энергия океана

Известно, что запасы энергии в Мировом океане колоссальны, ведь две трети земной поверхности (361 млн. км²) занимают моря и океаны:

- Тихий океан 180 млн. км²
- Атлантический – 93 млн. км²
- Индийский – 75 млн. км²

Так, тепловая (внутренняя) энергия, соответствующая перегреву поверхностных вод океана по сравнению с донными, скажем, на 20 градусов, имеет величину порядка 10^{26} Дж.

Кинетическая энергия океанских течений оценивается величиной порядка 10^{18} Дж.

Однако, пока что люди умеют использовать лишь ничтожные доли этой энергии, да и то ценой больших и медленно окупающихся капиталовложений, так что такая энергетика до сих пор казалась малоперспективной

В августе 1979 г. вблизи Гавайских островов начала работать теплоэнергетическая установка мини-ОТЕС. Пробная эксплуатация установки в течение трех с половиной месяцев показала ее достаточную надежность. При непрерывной круглосуточной работе не было срывов, если не считать мелких технических неполадок, обычно возникающих при испытаниях любых новых установок. Ее полная мощность составляла в среднем 48,7 кВт, максимальная – 53 кВт; 12 кВт (максимум 15) установка отдавала во внешнюю сеть на полезную нагрузку, точнее – на зарядку аккумуляторов. Остальная вырабатываемая мощность расходовалась на собственные нужды установки. В их число входят затраты энергии на работу трех насосов, потери в двух теплообменниках, турбине и в генераторе электрической энергии. Три насоса потребовались из следующего расчета: один – для подачи теплой воды из океана, второй – для подкачки холодной воды с глубины около 700 м, третий – для перекачки вторичной рабочей жидкости внутри самой системы, т. е. из конденсатора в испаритель. В качестве вторичной рабочей жидкости применяется аммиак.

Установка мини-ОТЕС смонтирована на барже. Под ее днищем помещен длинный трубопровод для забора холодной воды. Трубопроводом служит полиэтиленовая труба длиной 700 м с внутренним диаметром 50 см. Трубопровод прикреплен к днищу судна с помощью особого затвора, позволяющего в случае необходимости его быстрое отсоединение. Полиэтиленовая труба одновременно используется и для закоривания системы труба–судно. Оригинальность подобного решения не вызывает сомнений, поскольку якорные постановки для разрабатываемых ныне более мощных систем ОТЕС являются весьма серьезной проблемой.

Впервые в истории техники установка мини-ОТЕС смогла отдать во внешнюю нагрузку полезную мощность, одновременно покрыв и собственные нужды. Опыт, полученный при эксплуатации мини-ОТЕС, позволил быстро построить более мощную теплоэнергетическую установку ОТЕС-1 и приступить к проектированию еще более мощных систем подобного типа.

Новые станции ОТЕС на мощность во много десятков и сотен мегаватт проектируются без судна. Это – одна грандиозная труба, в верхней части которой находится круглый машинный зал, где размещены все необходимые устройства для преобразования энергии. Верхний конец трубопровода холодной воды расположится в океане на глубине 25...50 м. Машинный зал проектируется вокруг трубы на глубине около 100 м. Там будут установлены турбоагрегаты, работающие на парах аммиака, а также все остальное оборудование. Масса всего сооружения превышает 300 тыс. т. Труба-монстр, уходящая почти на километр в холодную глубину океана, а в ее верхней части что-то вроде маленького островка. И никакого судна, кроме, конечно, обычных судов, необходимых для обслуживания системы и для связи с берегом.

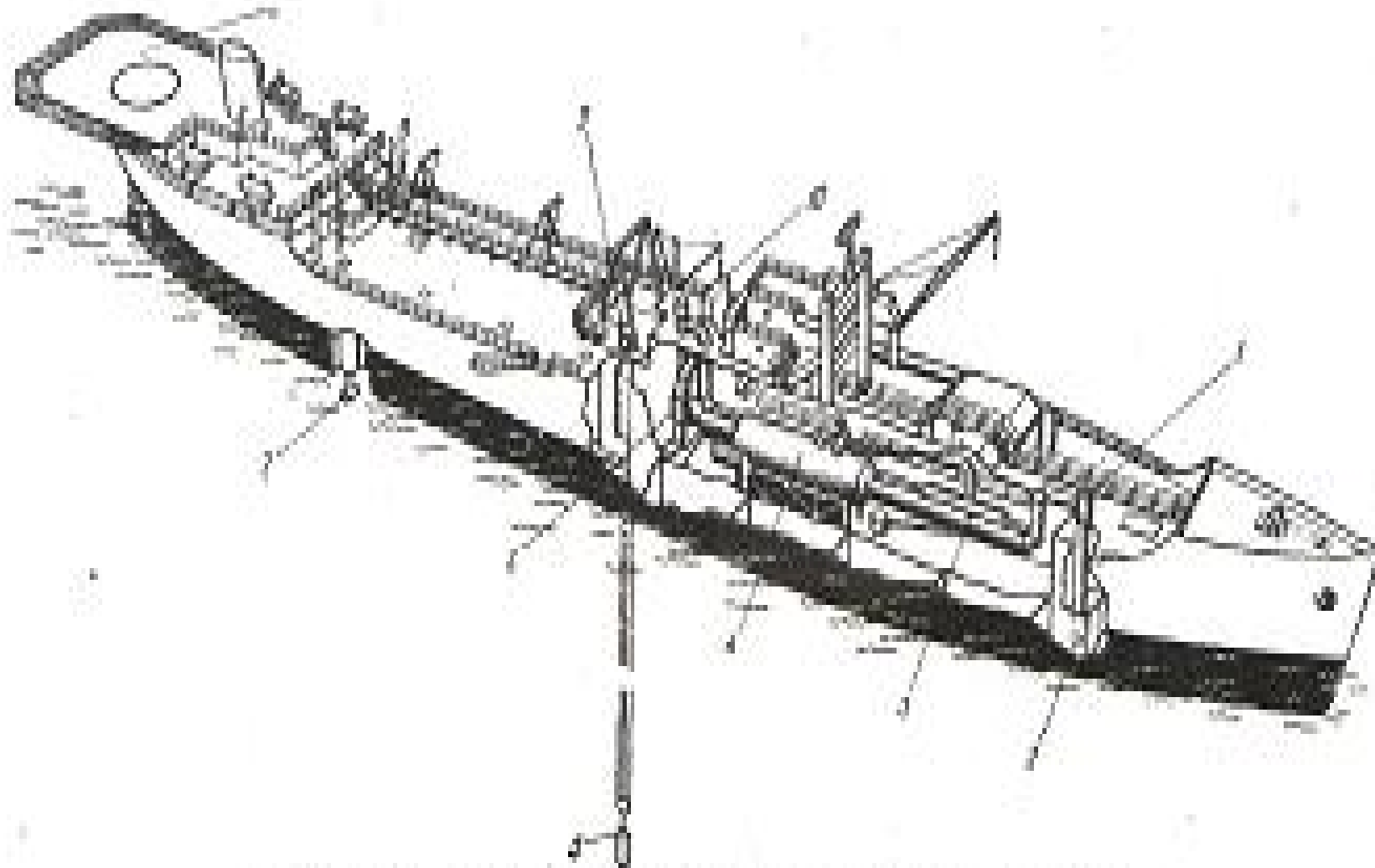


Рис. 21. Опытная океанская терминальная станция ОТЭС-1, общий вид [78]

1 — пиле плавки талой воды; 2 — пиле талой воды; 3 — индикатор; 4 — индикатор; 5 — труборяд для плавки плавкой воды; 6 — пиле талой воды; 7 — водородно-кислородная дуга; 8 — индикатор плавки; 9 — пиле талой воды; 10 — лаборатория контроля конструкции

К настоящему времени имеются ряд патентных разработок и экспериментальных установок, которые могут стать основой для развития новой отрасли гидроэнергетики, использующей тепловую энергию, аккумулированную океаном. Освоение тепловой энергии океана по программе Ocean Thermal Energy Conversion (ОТЕС) входит в национальные программы таких стран как США, Франция, Япония, Швеция, Индия.

К сожалению, такая огромная страна как Россия в этом списке отсутствует. Впервые идею использования тепловой энергии океана предложил французский ученый Д Арсонваль, и хотя прошло уже много времени, эта идея так и находится на уровне экспериментальных работ.

Принципиальное техническое решение о применении тепловых машин в освоении тепловой энергии океана принято давно и это никаких сомнений не вызывает. В данном случае тепловая машина работает в основном по циклу Ренкина (замкнутый цикл), у которого в качестве рабочего тела применяется легкокипящая жидкость.

Науке известны три типа установок:

- с открытым циклом
- с закрытым циклом
- гибридный

Основная из них, установка с открытым циклом, разрабатывалась более ста лет назад.

Все три существующих типа предусматривают подъем холодной воды к поверхности океана.

Но поскольку для работы в условиях океана интерес могут представлять только крупные тепловые гидроэлектростанции мощностью от 1000 МВт, то количество воды, необходимой для работы таких станций, должно измеряться десятками и сотнями миллионов тонн в час.

Такое количество воды при подъеме на поверхность требует много энергии и при этом способно выделить в атмосферу большое количество растворенных на глубине вредных газов.

Резюмируя, можно выделить **главные недостатки существующих установок:**

1. Большие энергетические потери на транспортировку сырья с глубины, позволяющие установкам работать при разности температур не ниже 20⁰С.
2. Сложность подачи сырья, ограничивающая объемы производства.
3. Необходимость иметь стартовые энергетические мощности.
4. Проблемы, связанные с выделением углекислого газа растворенного в глубинных слоях океана.

Именно в силу этих недостатков проведенные экспериментальные работы по освоению тепловой энергии океана привели лишь к весьма скромным результатам на маломощных установках, работающих с положительным выходом энергии при температурном градиенте не ниже 20⁰С.

Результаты работ, проводимых в прошлом веке по теме ОТЕС (Ocean Thermal Energy Conversion) были не слишком успешными.

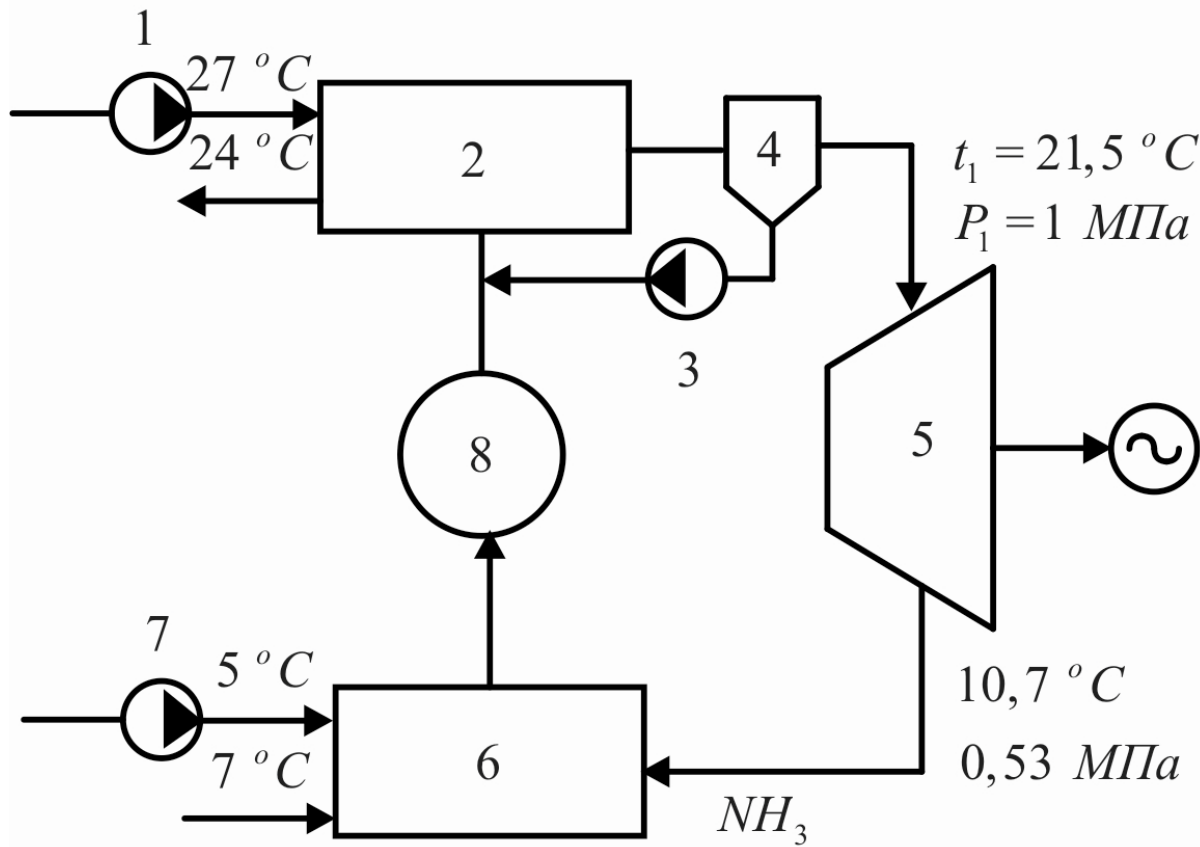
КПД тепловой энергии тропического океана, как источника энергии, составляет 6-8%.

Основные принципиальные схемы ОТЭС

Для преобразования энергии перепада температур в океане в настоящее время предложено несколько типов устройств.

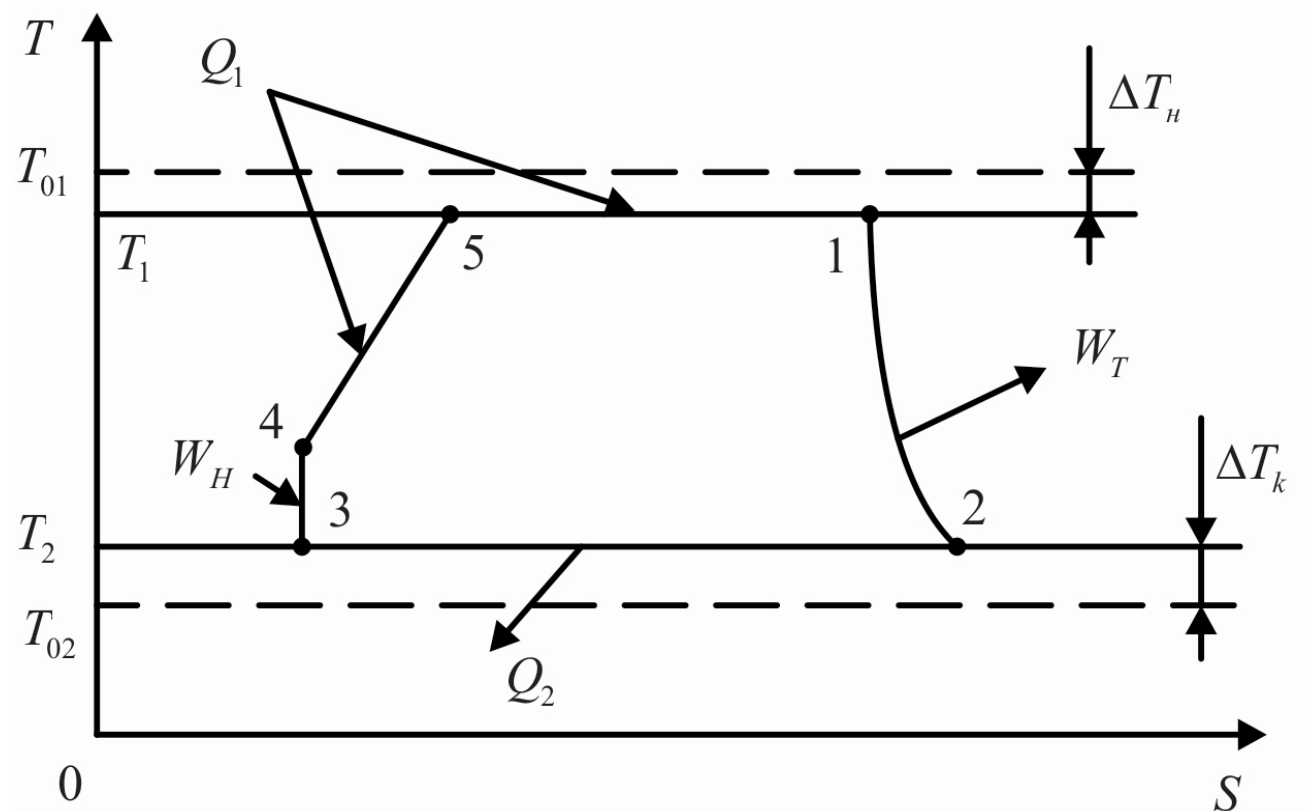
- наибольший объем исследований ведется по разработке систем, действующих по двухконтурной схеме с промежуточным рабочим телом на основе термодинамического цикла Ренкина
- устройств, выполненных по одноконтурной схеме и работающих непосредственно на морской воде (открытый цикл Клода)
- к основным на сегодняшний день (имеются в виду промышленно разрабатываемые установки) можно причислить и устройства, работающие по одноконтурной схеме, но нагруженные на обычную гидравлическую турбину (цикл Фетковича).
- далее следует целый ряд модификаций схем тепловых машин, использующих кроме того и другие перепады температур (воздух-вода, точнее атмосфера-гидросфера, гидросфера-литосфера), а также системы для непосредственного преобразования тепловой энергии в электрическую.

Схема установки, работающей по двухконтурной схеме с промежуточным рабочим телом на основе термодинамического цикла Ренкина



- 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

Термодинамический цикл такой тепловой машины (цикл Ренкина)



Полезная работа, совершаемая паром в турбине, определяется ветвью 1-2, на участке 2-3 происходит конденсация, затем насосом рабочее тело подается в испаритель 3-4, где нагревается (ветвь 4-5) и испаряется (ветвь 5-1). Таким образом, подвод рабочего тела к системе тепла осуществляется на ветви 3-4-5, а отвод – на ветви 2-3. Дополнительную работу придется затрачивать на закачку конденсата в испаритель (3-4) и на подачу воды в нагреватель и холодильник

Максимальный теоретический КПД такой системы определяется разностью температур воды, подаваемой в нагреватель и холодильник, как КПД эквивалентного цикла Карно

$$\eta_k = \frac{T_{01} - T_{02}}{T_{01}}$$

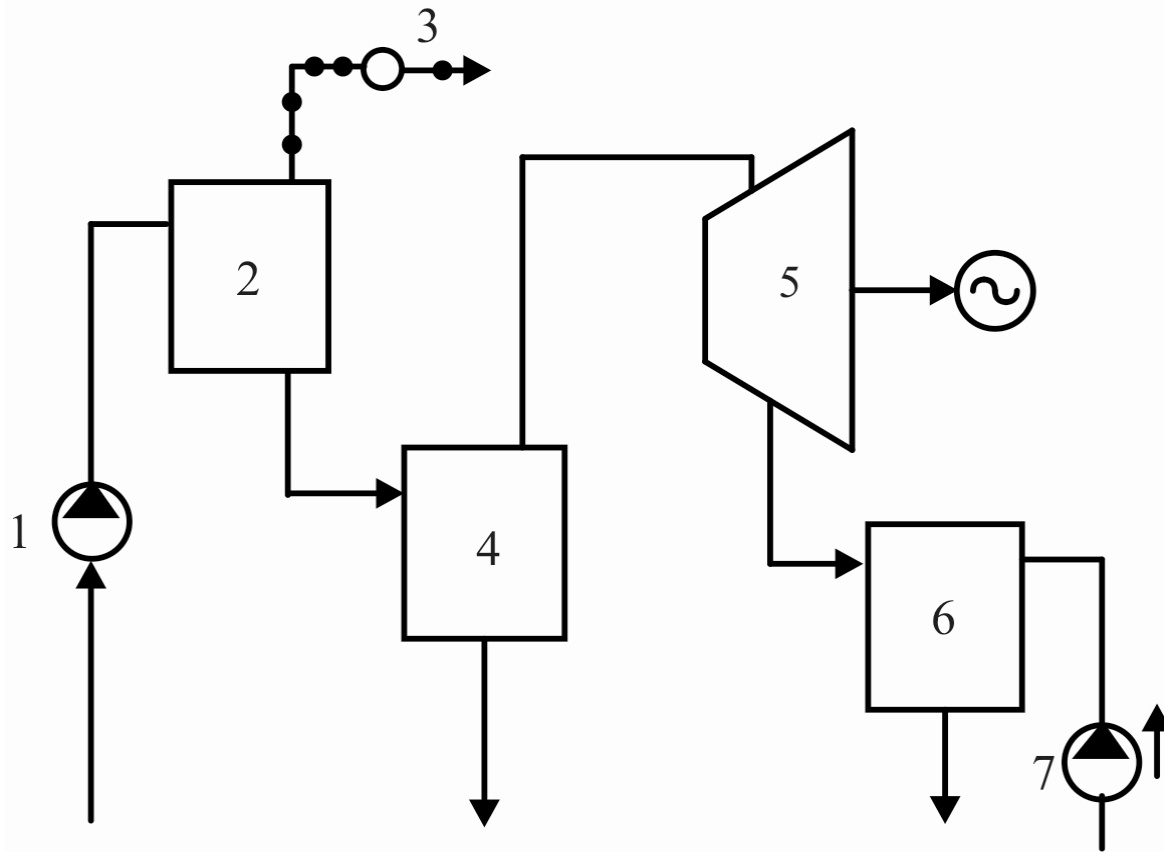
Для перепадов температур между поверхностными и глубинными слоями воды в пределах от 15 до 26°С он соответственно изменяется в диапазоне от 5 до 9%. Реальный КПД, как правило, существенно ниже. Это связано с конструктивными ограничениями, не позволяющими в реальной установке довести температуру паров и конденсата до температуры теплых и холодных вод соответственно.

Можно подсчитать, что при теоретическом КПД, равном 7,3%, на турбине получаем величину примерно в 2 раза меньшую – 3,6%. Причем она не учитывает еще потерь на собственные нужды станции, которые сведут КПД до величины, меньшей 2,5%. Это, в свою очередь, означает, что для получения 1 МВт «полезной» мощности через теплообменники такой станции должно пройти не менее 40 МВт тепловой мощности. Именно поэтому ОТЭС требуют огромных расходов теплой и холодной воды, измеряемых в тысячах кубометров в секунду.

Для того чтобы представить себе, что же такое реальная промышленная ОТЭС, достаточно указать такие ориентировочные цифры: станция мощностью 40 МВт (плавучая) должна иметь водоизмещение примерно 70 тыс.т, диаметр трубопровода холодной воды 10 м и рабочую поверхность теплообменника около 45 тыс.м².

Соответственно, для станции с полезной мощностью 500 МВт водоизмещение будет составлять примерно 500 тыс.т (водоизмещение современного супертанкера). Трубопровод должен иметь диаметр не менее 30 м, площадь теплообменника будет около $2 \cdot 10^6$ м².

Схема ОТЭС, работающей по открытому циклу (цикл Клода):



- 1 – насос теплой воды;
- 2 – деаэратор;
- 3 – вакуумный насос;
- 4 – испаритель;
- 5 – турбина с электрогенератором;
- 6 – конденсатор;
- 7 – насос для подъема холодной воды

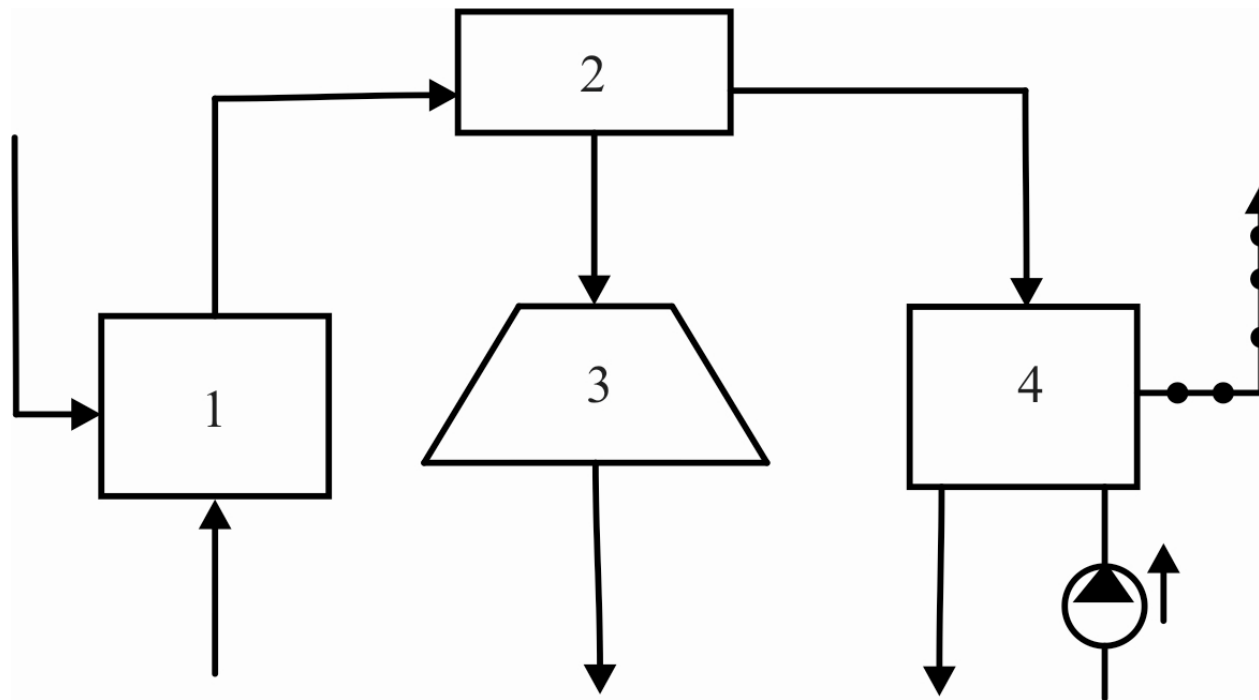
В качестве рабочего тела здесь использована морская вода, подаваемая в испаритель через деаэратор, освобождающий воду от растворенных в ней газов. Предварительно из полостей испарителя и конденсатора удаляется воздух, так что давление над поверхностью жидкости определяется только давлением насыщенных паров, которое сильно зависит от температуры.

При характерных для ОТЭС температурах этот перепад составляет примерно 1,6 кПа (при замкнутом цикле на аммиаке около 500 кПа), под действием этого перепада пары воды приводят в движение турбину, попадают в конденсатор, где и превращаются в жидкость.

Основное отличие цикла как раз и состоит в малости перепада давлений, что требует использования соответствующих гигантских турбин диаметром в несколько десятков метров. Это, пожалуй, основной технический недостаток систем открытого цикла.

Основное же их достоинство – отсутствие гигантских нетехнологичных теплообменников. Кроме того, при работе систем открытого цикла могут быть получены большие количества пресной воды, что немаловажно в жарком поясе планеты.

Обобщенная схема двухфазной термоэнергетической установки



(схема Бека):

1 – парогенератор;

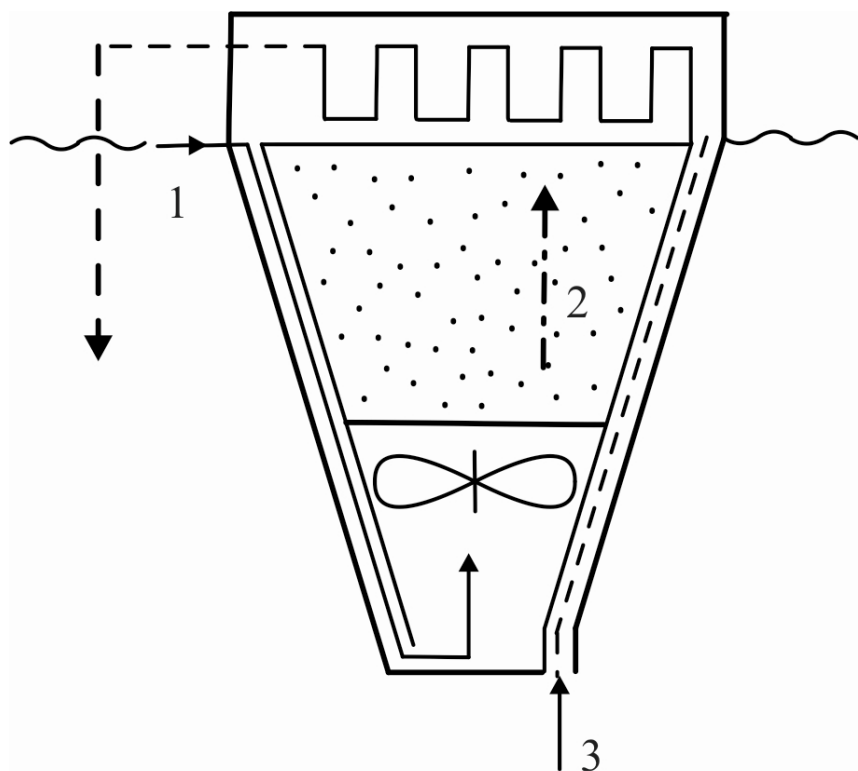
2 – накопитель;

3 – гидравлическая турбина;

4 – конденсатор

В основе способа преобразования энергии – подобие существующего в природе круговорота воды под действием солнечной радиации. Подъем воды на требуемый уровень осуществляется путем либо создания в столбе кавитационных пузырьков, либо вспениванием (эффекты аналогичные подъему жидкости с помощью эрлифта), либо созданием разрежения над ее поверхностью за счет образования тумана. Гидротурбина при этом может быть установлена непосредственно в трубопроводе теплой воды, забираемой с поверхности.

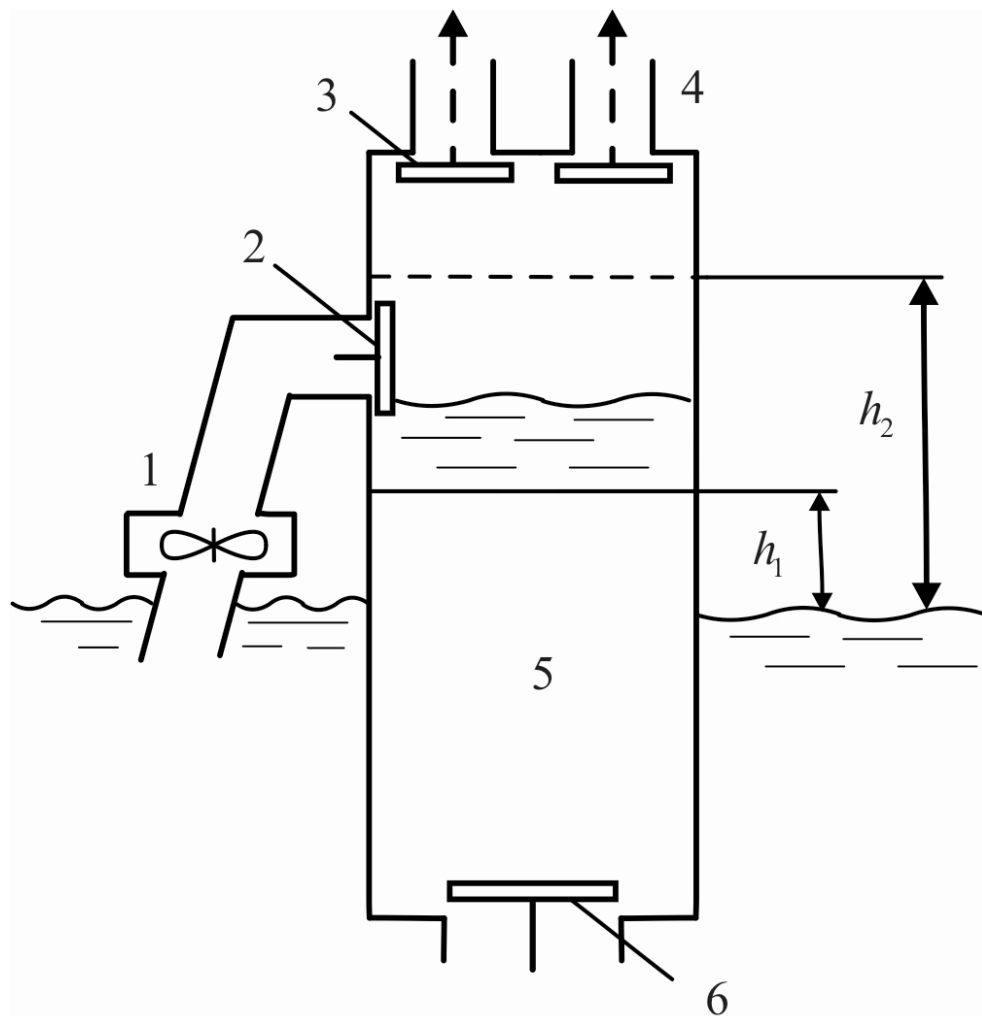
Вариант схемы парожидкостного устройства



- 1 – теплая вода;
- 2 – парожидкостная смесь (туман);
- 3 – холодная вода.

Парожидкостная смесь, с удельным объемом от 200 до 3000 см³/г, содержащая капельки воды размером около 200 мкм, поднимаясь в поле отрицательного градиента температур, выполняет работу по прокачиванию теплой поверхностной воды через турбину. Общая проблема при реализации подобных устройств в промышленных масштабах (лабораторные образцы уже осуществлены) – возможная нестабильность тумана, пены, кавитационных пузырьков

Преобразователь Фетковича



- 1 – гидравлическая турбина;
- 2 – клапан турбины;
- 3, 4 – клапаны испарителей
теплой и холодной воды;
- 5 – рабочая камера;
- 6 – обратный клапан рабочей
камеры

Это система периодического действия, основанная на поочередном подключении внутренней полости рабочей камеры к блокам испарения теплой и холодной воды, в результате чего в первой создается разрежение, под действием которого и засасывается забортная вода. После подъема на максимальный уровень вода сбрасывается через турбину.

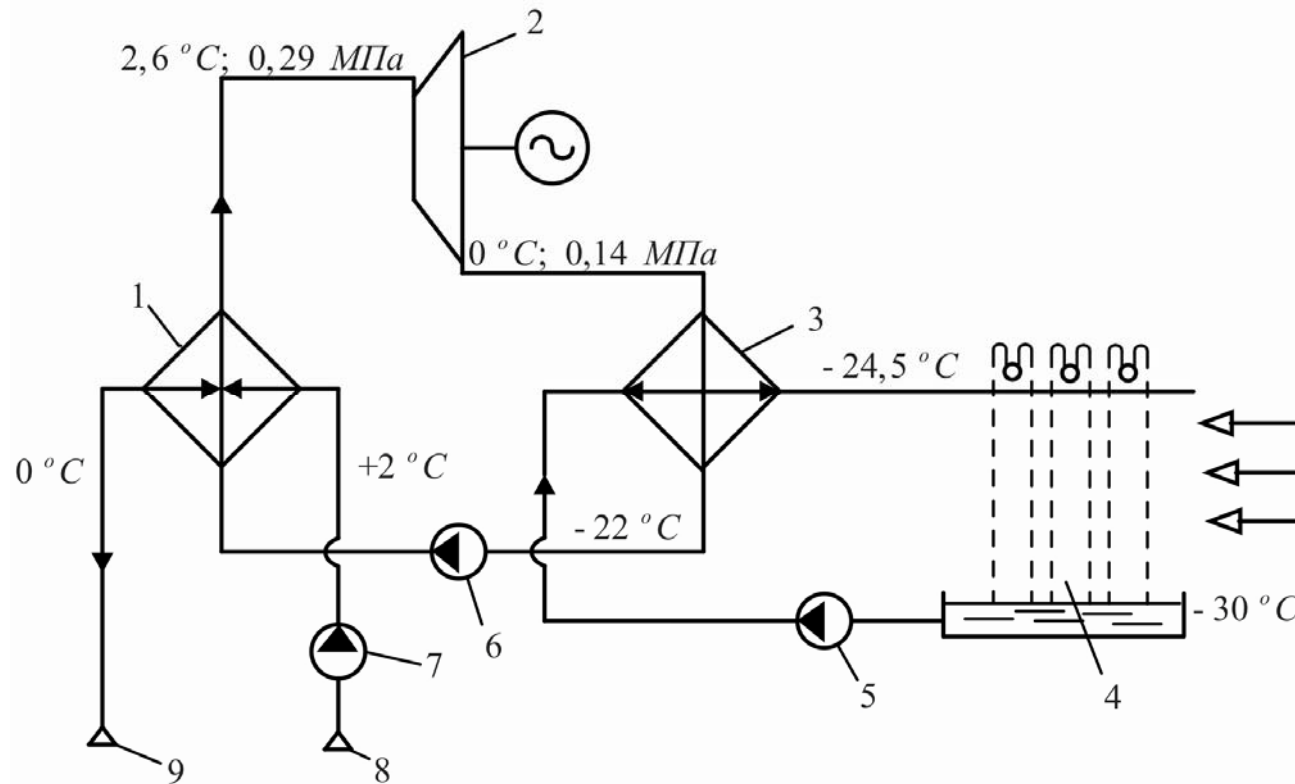
Использование перепада температур океан-атмосфера

Идея использования перепада температур между холодным воздухом и незамерзающей (теплой) водой подо льдом Арктики впервые была высказана во Франции А. Баржо, развившим идею Д'Арсонваля по преобразованию тепловой энергии, запасенной в океане. В нашей стране с ее протяженным арктическим шельфом работы в этой области всегда вызывали интерес. Достаточно указать на проекты Г. Покровского (1901-1979 гг.), на работы, выполненные под руководством В.И. Марочка во Владивостоке, на проведенные там же исследования А.К. Ильина и В.В. Тикменова.

Особенность работы таких станций – так называемый «треугольный» цикл: нагрев и испарение рабочего тела в результате политропного процесса, адиабатное расширение через турбину, изотермическое сжатие при подаче в испаритель с одновременным отводом избыточного тепла в холодильнике. КПД такого цикла, как показано в одной из работ А. К. Ильина, ниже термического КПД цикла Карно примерно в 2 раза.

Удельная мощность, получаемая с 1 м² площади океана при разности температур воды и воздуха, равной
10 °С составляет примерно 18 кВт/м²
20 °С – 60 кВт/м²,
30 °С – 125 кВт/м²

Схема арктической ОТЭС на перепаде вода-воздух

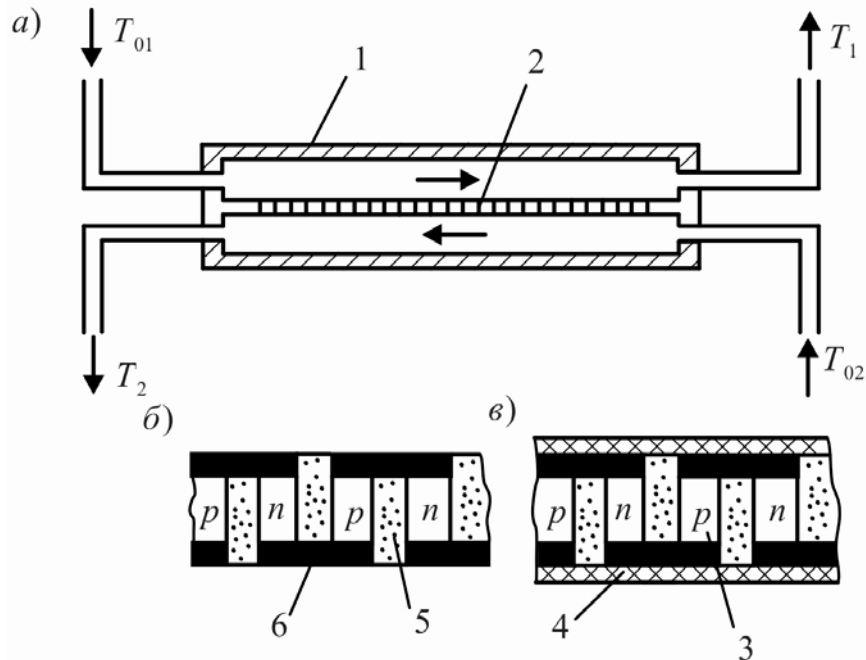


- 1 – испаритель основного контура;
- 2 – турбина с электрогенератором;
- 3 – конденсатор;
- 4 – теплообменник контура охлаждения промежуточного рабочего тела;
- 5 – насос для подачи хладагента;
- 6 – насос для подачи рабочего тела;
- 7 – насос для подачи морской воды;
- 8 – водозаборник;
- 9 – патрубок сброса отработанной воды

Прямое преобразование тепловой энергии

Схема ОТЭС на термоэлектрических преобразователях.

В основе ее действия – явление Зеебека, заключающееся в возникновении разности потенциалов в электрической цепи, составленной из материалов с различной концентрацией носителей заряда, места соединений которых нагреты до разных температур.



- 1 – кожух;
- 2 – термоэлектрический генератор;
- 3 – полупроводниковые элементы с p-n проводимостью;
- 4 – поверхностное изолирующее покрытие;
- 5 – изолятор;
- 6 – соединительные шины

Схема ОТЭС с прямым преобразованием тепловой энергии в электрическую:

а – устройство отдельного блока;

б, в – варианты устройства термоэлектрического преобразователя

2.2. Энергия приливов и отливов

Ритмичное движение морских вод вызывают силы притяжения Луны и Солнца. Поскольку Солнце находится от Земли в 400 раз дальше, гораздо меньшая масса Луны действует на земные воды вдвое сильнее, чем масса Солнца. Поэтому решающую роль играет прилив, вызванный Луной (лунный прилив).

В морских просторах приливы чередуются с отливами теоретически через 6 ч 12 мин 30 с.

Если Луна, Солнце и Земля находятся на одной прямой (так называемая сизигия), Солнце своим притяжением усиливает воздействие Луны, и тогда наступает сильный прилив (сизигийный прилив, или большая вода). Когда же Солнце стоит под прямым углом к отрезку Земля-Луна (квадратура), наступает слабый прилив (квадратурный, или малая вода). Сильный и слабый приливы чередуются через семь дней.

Однако истинный ход прилива и отлива весьма сложен. На него влияют особенности движения небесных тел, характер береговой линии, глубина воды, морские течения и ветер.

Самые высокие и сильные приливные волны возникают в мелких и узких заливах или устьях рек, впадающих в моря и океаны. Приливная волна Индийского океана катится против течения Ганга на расстояние 250 км от его устья. Приливная волна Атлантического океана распространяется на 900 км вверх по Амазонке. В закрытых морях, например Черном или Средиземном, возникают малые приливные волны высотой 50...70 см.

Максимально возможная мощность в одном цикле прилив – отлив, т. е. от одного прилива до другого, выражается уравнением

$$W = \rho g S R^2,$$

где

ρ – плотность воды

g – ускорение силы тяжести

S – площадь приливного бассейна

R – разность уровней при приливе

Как видно из (формулы, для использования приливной энергии наиболее подходящими можно считать такие места на морском побережье, где приливы имеют большую амплитуду, а контур и рельеф берега позволяют устроить большие замкнутые «бассейны».

Мощность электростанций в некоторых местах могла бы составить 2...20 МВт.

Первая морская приливная электростанция мощностью 635 кВт была построена в 1913 г. в бухте Ди около Ливерпуля.

В 1935 г. приливную электростанцию начали строить в США. Американцы перегородили часть залива Пассамакводи на восточном побережье, истратили 7 млн. долл., но работы пришлось прекратить из-за неудобного для строительства, слишком глубокого и мягкого морского дна, а также из-за того, что построенная неподалеку крупная тепловая электростанция дала более дешевую энергию.

Аргентинские специалисты предлагали использовать очень высокую приливную волну в Магеллановом проливе, но правительство не утвердило дорогостоящий проект.

С 1967 г. в устье реки Ранс во Франции на приливах высотой до 13 метров работает ПЭС мощностью 240 тыс.кВт с годовой отдачей 540 тыс.кВт·ч.

Советский инженер Бернштейн разработал удобный способ постройки блоков ПЭС, буксируемых на плаву в нужные места, и рассчитал рентабельную процедуру включения ПЭС в энергосети в часы их максимальной нагрузки потребителями. Его идеи проверены на ПЭС, построенной в 1968 году в Кислой Губе около Мурманска; своей очереди ждет ПЭС на 6 млн.кВт в Мезенском заливе на Баренцевом море.

Кислогубская ПЭС



Мощность станции - 1,7 МВт (первоначально 0,4 МВт). Станция установлена в узкой части губы Кислая, высота приливов в которой достигает 5 метров.

Конструктивно станция состоит из двух частей - старой, постройки 1968 года, и новой, постройки 2006 года.

Новая часть присоединена к одному из двух водоводов старой части.

В здании ПЭС размещено два ортогональных гидроагрегата - один мощностью 0,2 МВт (диаметр рабочего колеса 2,5 м, находится в старом здании) и один ОГА-5,0м мощностью 1,5 МВт (диаметр рабочего колеса 5 м, находится в новом здании). Гидротурбины изготовлены ФГУП «ПО Севмаш»

Мезенская ПЭС

Мезенская ПЭС проектируется на побережье Белого моря в Мезенском заливе, где сосредоточены основные запасы приливной энергии Европейской части России и величина прилива достигает 10,3 м. Было рассмотрено 8 вариантов расположения ПЭС. За базисный был принят наиболее выдвинутый в море створ, позволяющий разместить здание ПЭС и водосливную плотину на естественных глубинах. Площадь отсекаемого будущей плотиной бассейна - 2640 кв. км. Возможная мощность ПЭС была определена в 19,7 млн. кВт с выработкой 49,1 млрд. кВт-ч электроэнергии. Расчеты энергоэкономической эффективности ПЭС в первой четверти нового века определили ее мощность в 11,4 млн. кВт с выработкой 38,9 млрд. кВт-ч при 3400 часах годового использования. Энергию планируется использовать на внутреннем и внешнем рынках Северо-западного региона, в объединениях энергосистем «ЕЭС России» и Европейского сообщества.

Приливная электростанция (ПЭС) - электростанция, преобразующая энергию морских приливов в электрическую. ПЭС использует перепад уровней «полной» и «малой» воды во время прилива и отлива. Перекрыв плотиной, залив или устье впадающей с море (океан) реки (образовав водоём, называют бассейном ПЭС), можно при достаточно высокой амплитуде прилива (> 4 м) создать напор, достаточный для вращения гидротурбин и соединённых с ними гидрогенераторов, размещенных в теле плотины.

При одном бассейне и правильном полусуточном цикле приливов ПЭС может вырабатывать электроэнергию непрерывно в течение 4-5 ч с перерывами соответственно 2-1 ч четырежды за сутки (такая ПЭС называется однобассейновой двустороннего действия).

Для устранения неравномерности выработки электроэнергии бассейн ПЭС можно разделить плотиной на два или три меньших бассейна, в одном из которых поддерживается уровень «малой», а в другом - «полной» воды; третий бассейн - резервный; гидроагрегаты устанавливаются в теле разделительной плотины. Но и эта мера полностью не исключает пульсации энергии, обусловленной цикличностью приливов в течение полумесячного периода.

Соотношения, позволяющие оценить мощность приливных течений, подобны тем, которые используются в ветроэнергетике, при этом следует иметь в виду, что плотность воды во много раз выше плотности воздуха, а скорости течения воды сравнительно низки.

Плотность мощности потока воды, Вт/м² $q = \rho \frac{V^3}{2}$

В случае приливного или речного течения при скорости, например, 3 м/с

$$q = 1000 \cdot \frac{3^3}{2} = 13500 \text{ Вт /м}^2$$

Только часть полной энергии потока может быть преобразована в полезную.

Как и для ветра, это значение не может превышать 60%.

На практике оказывается, что его можно довести максимум до 40%.

Капитальные затраты на создание подобных устройств в расчете на 1 кВт установленной мощности достаточно высоки, поэтому их строительство целесообразно лишь в отдаленных районах с высокими скоростями приливных течений, где любые альтернативные источники энергии еще более дороги

Схема извлечения приливной энергии

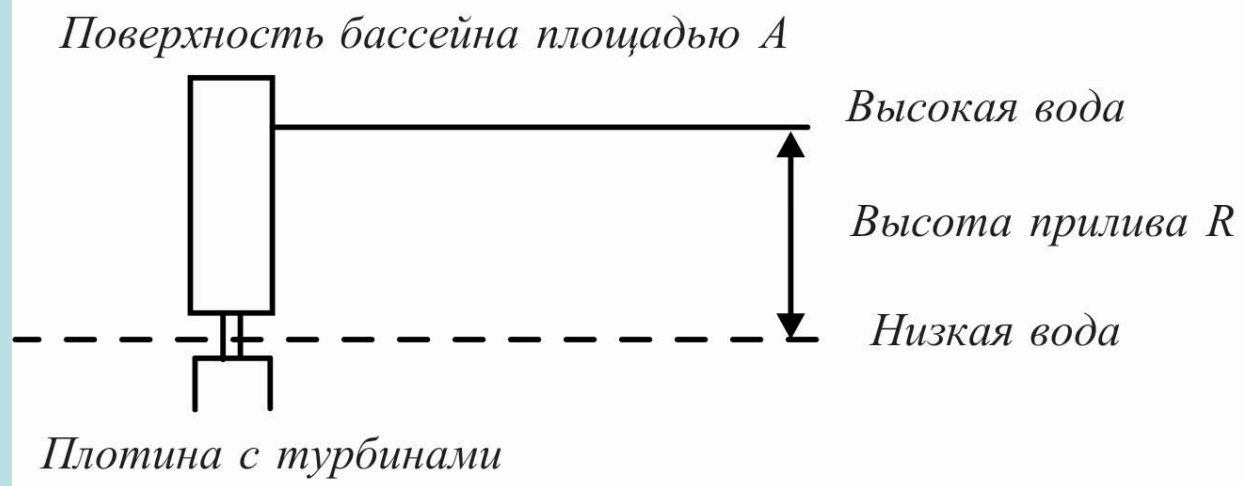
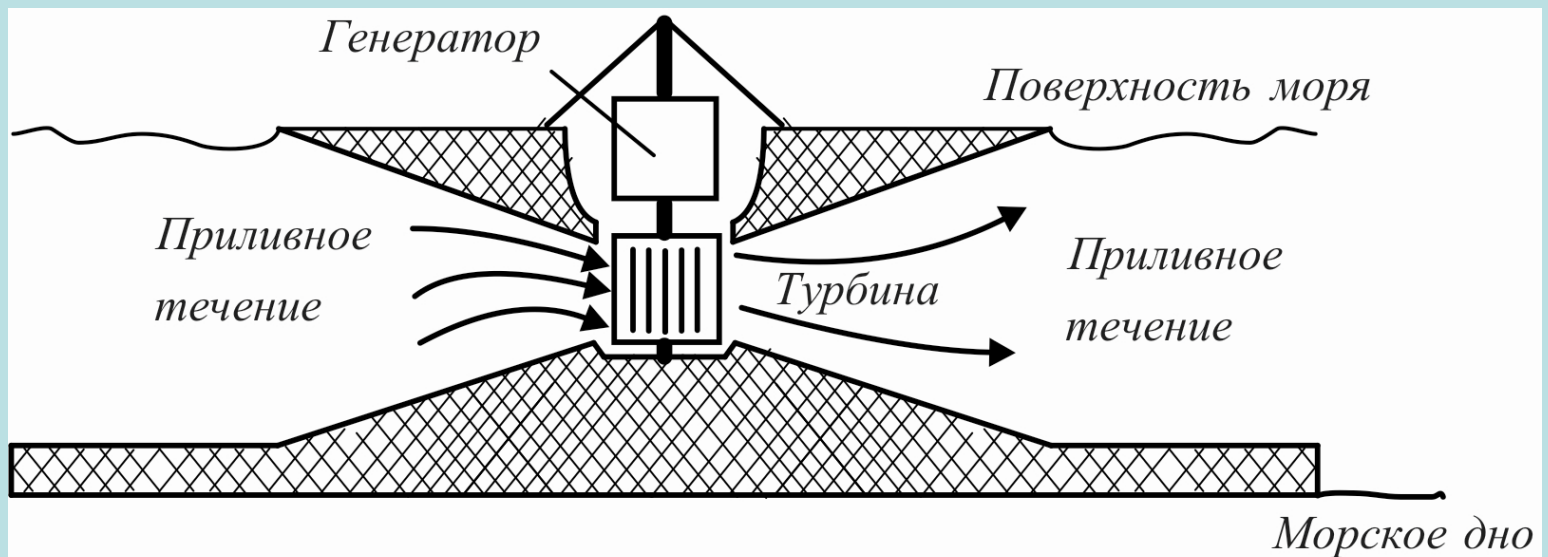


Схема электростанции на приливном течении



Экологическая безопасность ПЭС:

- ❖ наплавной способ строительства дает возможность не возводить в створах ПЭС временные крупные стройбазы, не сооружать перемычки, что способствует сохранению окружающей среды в районе ПЭС
- ❖ исключен выброс загрязняющих веществ в атмосферу
- ❖ не образуются радиоактивные и тепловые отходы
- ❖ не требуется добыча, транспортировка, переработка, сжигание и захоронение топлива, затопление территорий
- ❖ плотины ПЭС биологически проницаемы, на них не стоят задачи создавать напор на продолжительный срок, бороться с фильтрацией
- ❖ пропуск рыбы через ПЭС происходит практически беспрепятственно, при холостом режиме работы турбинных агрегатов при открытых затворах обеспечивается пропуск через плотину рыб, совершающих нерестовые и кормовые миграции
- ❖ натурные испытания (исследования Полярного института рыбного хозяйства и океанологии) на Кислогубской ПЭС не обнаружили погибшей рыбы или ее повреждений
- ❖ основная кормовая база рыбного стада - планктон: на ПЭС гибнет 5-10% планктона, а на ГЭС - 83-99 %
- ❖ ледовый режим в бассейне ПЭС смягчается, т.к. формирование сплошного ледяного покрова маловероятно

2.3. Энергия волн

2.3.1. Принцип действия волновых электростанций

1. Использование вертикальных подъемов и спадов волны для при вода в действие водяных или воздушных турбин, соединенных с электрогенераторами.
2. Использование горизонтального перемещения волн с помощью устройств флюгерного типа для получения через специальную передачу вращательного движения.
3. Концентрация волн в сходящемся канале, в котором их кинетическая энергия поддерживала бы напор воды, достаточный для привода в действие турбины.

Одно из устройств первой группы представляет собой вертикальную трубу, погруженную нижним открытым концом в достаточно спокойные слои моря и закрытую сверху. Труба закреплена на поплавке. В верхней ее части, в "волновой" камере, вода имеет свободную поверхность. При подъеме волны уровень свободной поверхности в "волновой" камере поднимается и сжимает воздух, который приводит в действие воздушную турбину, соединенную с электрогенератором. При спаде волны через атмосферный клапан в "волновую" камеру засасывается новая порция воздуха. И далее процесс повторяется. Период колебаний уровня воды - 5-6 с.

2.3.2. Преобразователи, использующие энергию колеблющегося водяного столба

При набегании волны на частично погруженную полость, открытую под водой, столб жидкости в полости колеблется, вызывая изменения давления в газе над жидкостью. Пустота может быть связана с атмосферой через турбину. Поток может регулироваться так, чтобы проходить через турбину в одном направлении, или может быть использована турбина Уэлса.

Уже известны по крайней мере два примера коммерческого использования устройств на этом принципе – сигнальные буи, внедренные в Японии Масудой (рис. 9.12) и в Великобритании сотрудниками Королевского университета Белфаста. Более крупное и впервые включенное в энергосеть устройство построено в Тофтестоллене (Норвегия) фирмой Kvaerner Brug A/S. Основной принцип действия колеблющегося столба показан на рис. 9.13. В Тофтестоллене он используется в 500-киловаттной установке, построенной на краю отвесной скалы. Кроме того, национальная электрическая лаборатория (NEL) Великобритании предлагает конструкцию, устанавливаемую непосредственно на морском дне.

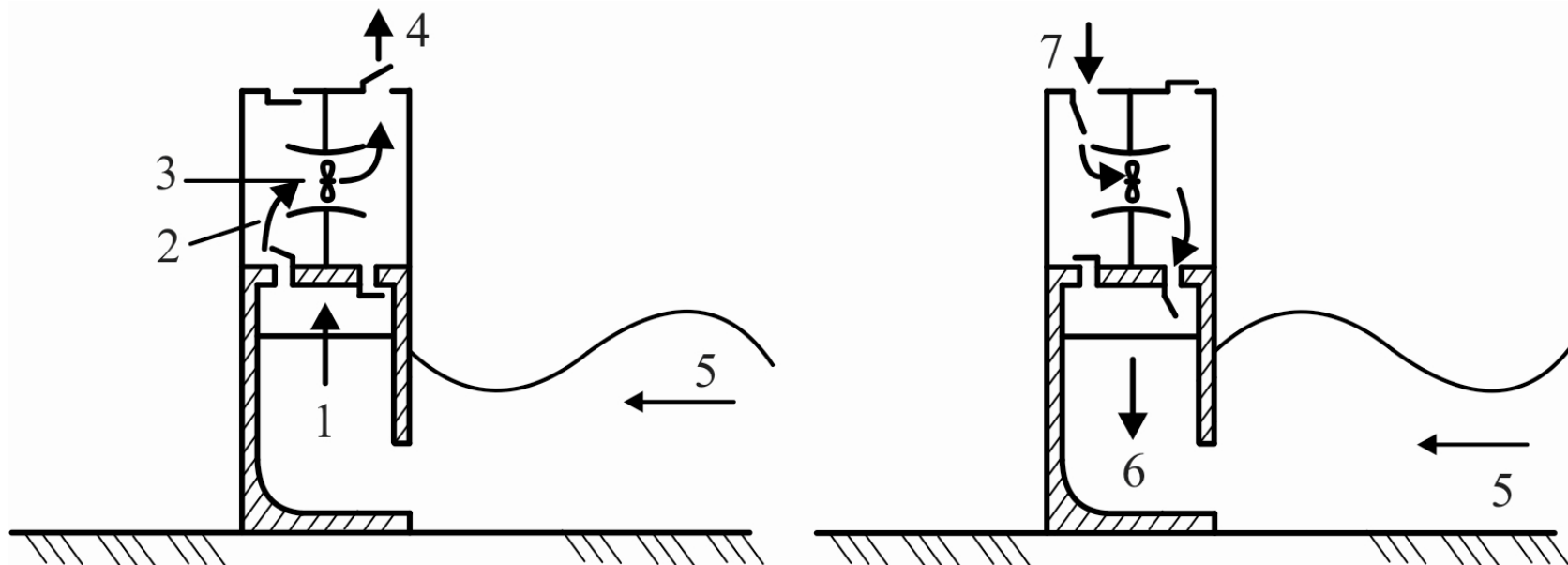
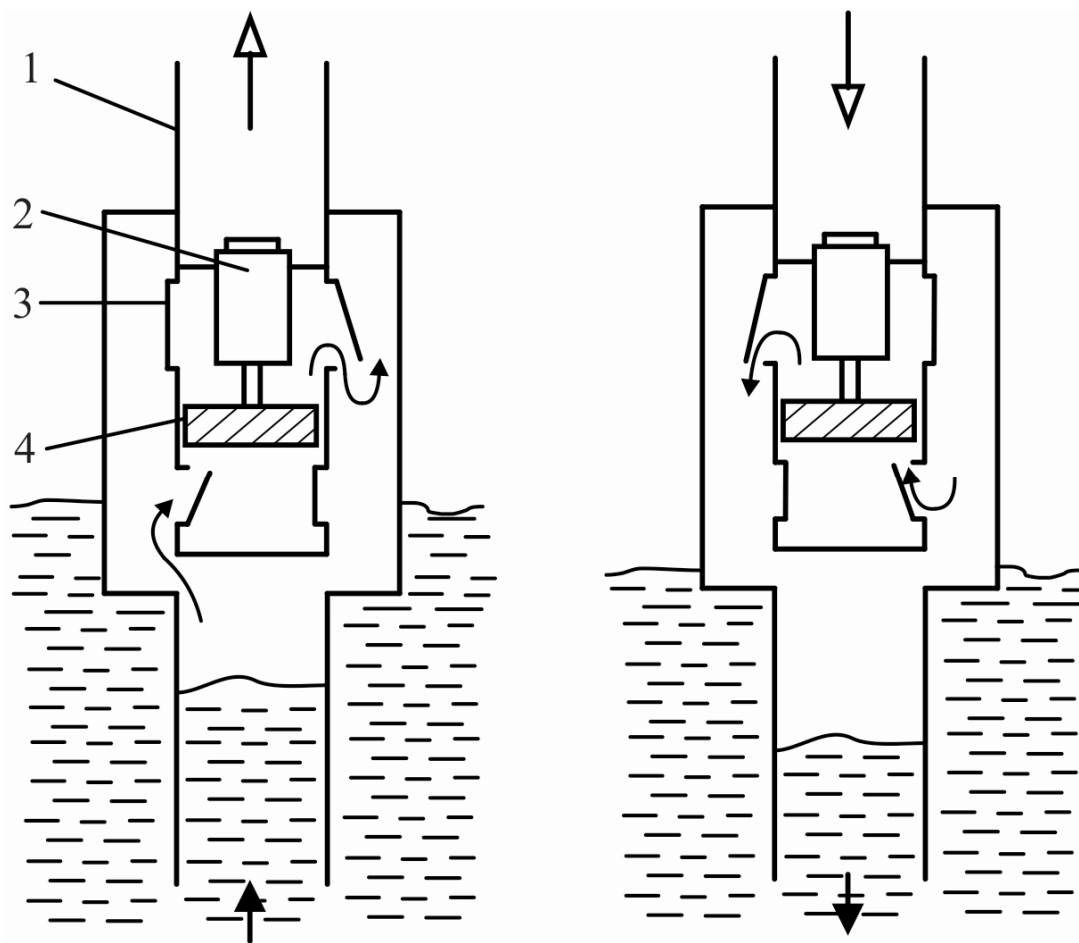


Схема установки, в которой используется принцип колеблющегося водного столба (разработана Национальной инженерной лабораторией NEL, Великобритания, размещается непосредственно на грунте, турбина приводится в действие потоком одного направления):

1 – волновой подъем уровня; 2 – воздушный поток; 3 – турбина; 4 – выпуск воздуха; 5 – направление волны; 6 – опускание уровня; 7 – впуск воздуха.



Пневмобуй Масуды:
 1 – корпус;
 2 – электрогенератор;
 3 – клапан;
 4 – воздушная турбина

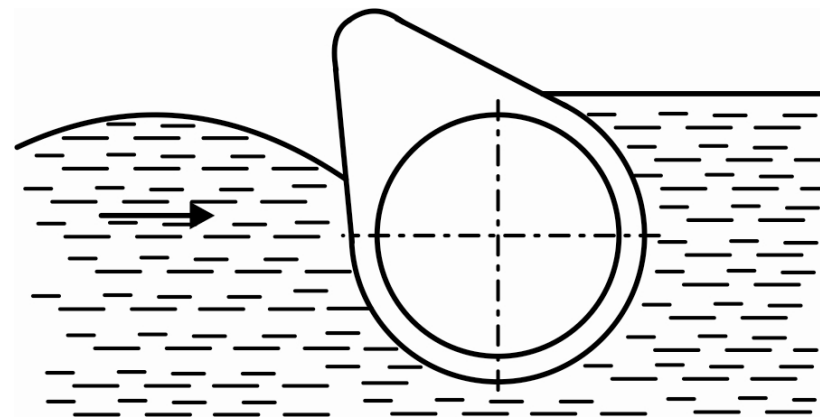
Главное преимущество устройств на принципе водяного колеблющегося столба состоит в том, что скорость воздуха перед турбиной может быть значительно увеличена за счет уменьшения проходного сечения канала. Это позволяет сочетать медленное волновое движение с высокочастотным вращением турбины. Кроме того, здесь создается возможность удалить генерирующее устройство из зоны непосредственного воздействия соленой морской воды.

2.3.3. Преобразователи, отслеживающие профиль волны

В этом классе преобразователей остановимся в первую очередь на разработке профессора Эдинбургского университета Стефана Солтера, названной в честь создателя «*утка Солтера*».

Техническое название такого преобразователя – колеблющееся крыло.

Форма преобразователя обеспечивает максимальное извлечение мощности.



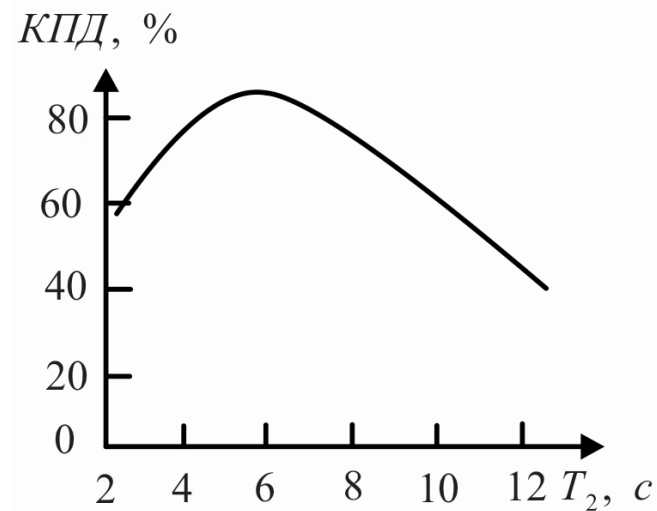
Волны, поступающие слева, заставляют утку колебаться.

Цилиндрическая форма противоположной поверхности обеспечивает отсутствие распространения волны направо при колебаниях утки вокруг оси.

Мощность может быть снята с оси колебательной системы с таким расчетом, чтобы обеспечить минимум отражения энергии.

Отражая и пропуская лишь незначительную часть энергии волн (примерно 5%), это устройство обладает весьма высокой эффективностью преобразования в широком диапазоне частот возбуждающих колебаний

Эффективность «утки Солтера»
(диаметр 15 м, ось зафиксирована)

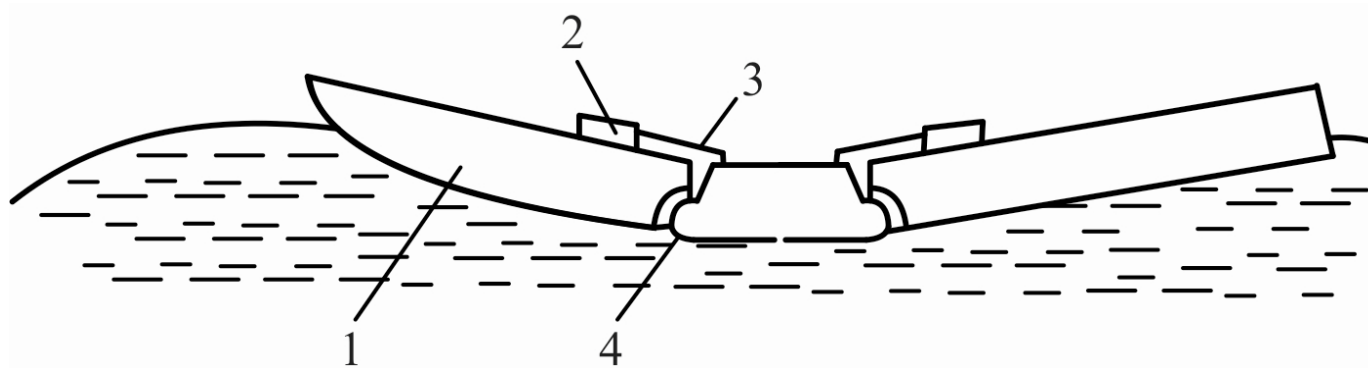


Наиболее серьезными недостатками для «уток Солтера» оказались следующие:

- необходимость передачи медленного колебательного движения на привод генератора;
- необходимость снятия мощности с плавающего на значительной глубине устройства большой протяженности;
- вследствие высокой чувствительности системы к направлению волн необходимость отслеживать изменение их направления для получения высокого КПД преобразования;
- затруднения при сборке и монтаже из-за сложности формы поверхности «утки».

Другой вариант волнового преобразователя с качающимся элементом – **контурный плот Коккерелла**.

Контурный плот – многозвенная система из шарнирно соединенных секций. Как и «утка», он устанавливается перпендикулярно к фронту волны и отслеживает ее профиль.



Вариант выполнения контурного плота Коккерелла: 1 – колеблющаяся секция; 2 – преобразователь; 3 – тяга; 4 – шарнир

Детальные лабораторные испытания модели плота в масштабе 1/100 показали, что его эффективность составляет около 45% (-).

Это ниже, чем у «утки» Солтера (но плот привлекает другим достоинством: близость конструкции к традиционным судостроительным) (+).

Изготовление таких плотов не потребует создания новых промышленных предприятий и позволит поднять занятость в судостроительной промышленности (+).

Пилотный проект **волновой электростанции** компания Ocean Power Delivery реализовала в Европейском морском энергетическом центре на островах Orkney в северной Шотландии.

Первая коммерческая **волновая электростанция** уже запущена в пяти километрах от северного побережья Португалии. Электростанция, созданная по заказу концерна Enersis, состоит из трех конвертеров мощностью 750 кВт каждый. Суммарная мощность станции составляет 2,25 МВт, вырабатываемой электроэнергии достаточно для снабжения полутора тысяч домов на побережье.

Впечатляет экологический эффект от использования конвертеров **Pelamis**: использование одного модуля мощностью 750 кВт в течении года позволяет отказаться от сжигания такого количества органического топлива, которое дало бы выброс 2000 тонн парникового газа CO₂!

Сейчас идет подготовка к реализации второй фазы проекта **Pelamis** в Португалии. Это строительство электростанции мощностью 22,5 МВт, которой будет достаточно для электроснабжения 15 000 домов. Она сможет спасти атмосферу планеты от выброса 60 000 тонн CO₂. Станция займет около одного квадратного километра площади океана.

Будут реализованы еще два проекта: один - Pelamis - в Шотландии по заказу компании ScottishPower (станция мощностью 3 МВт) и один - в Англии (компания E-on, 5 МВт).

Потенциал **технологии Pelamis** огромен. Подсчитано, что двадцать волновых электростанций мощностью по 30 МВт могут обеспечить электроэнергией такой крупный город, как Эдинбург.

В перспективе человечество может обеспечить все прибрежные города энергией волн!

Что же представляет собой **конвертер волновой энергии Pelamis**? Это длинный (120 метров), круглый в сечении цилиндр диаметром 3,5 метра, состоящий из трех модулей, соединенных подвижной связью. В каждом модуле установлен электрогидравлический генератор мощностью 250 кВт, специально разработанный компанией ABB.

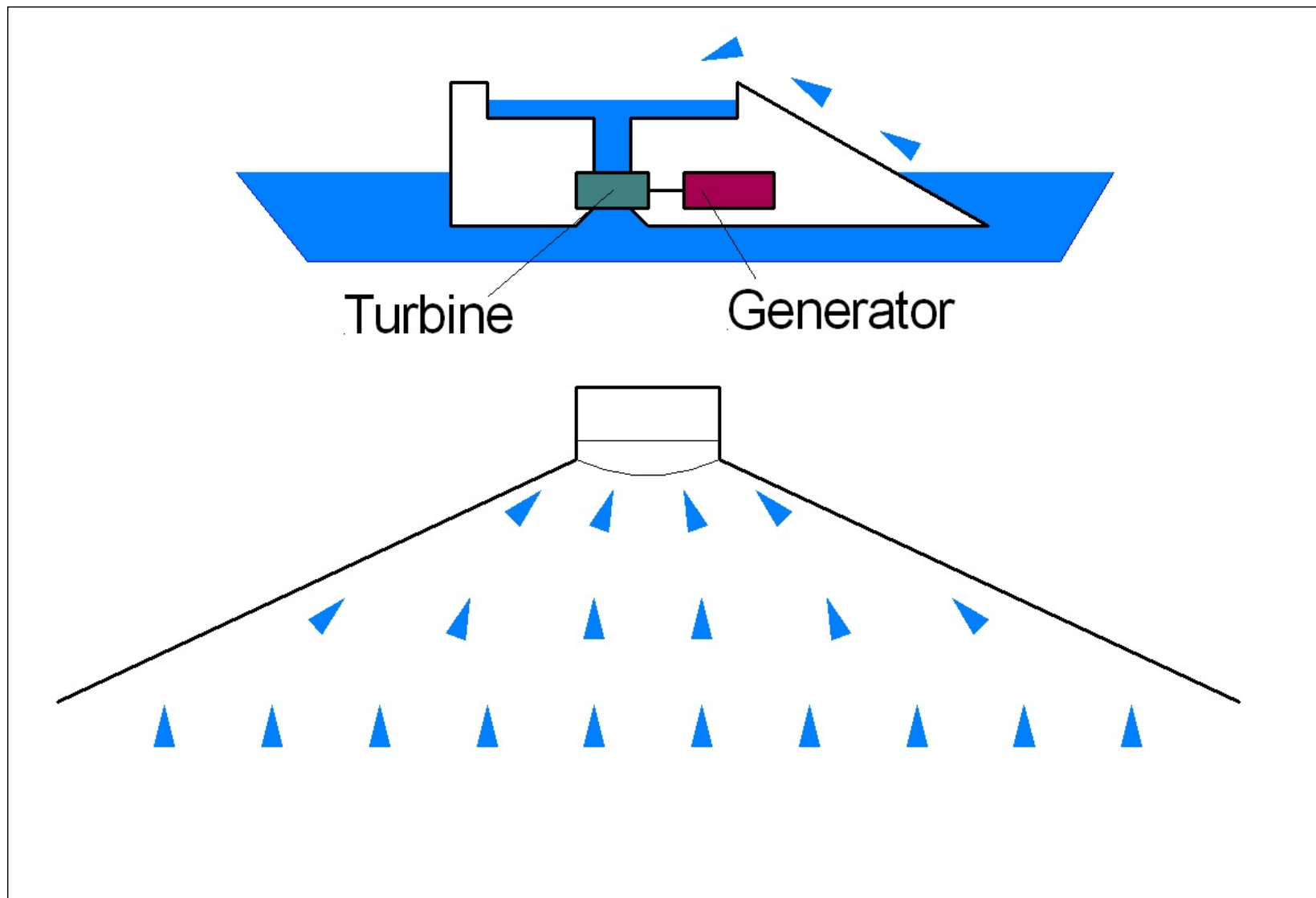


Сборка конвертера волновой энергии Pelamis



2.3.4. Концентрация волн в сходящемся канале

Движение океанских волн сопровождается выделением фантастических объемов энергии. Однако человечество пока так и не научилось эффективно перерабатывать эту энергию для своих целей. Одна из успешнейших на данный момент попыток – волновая электростанция Oceanlinx в акватории города Порт-Кембла, Австралия.

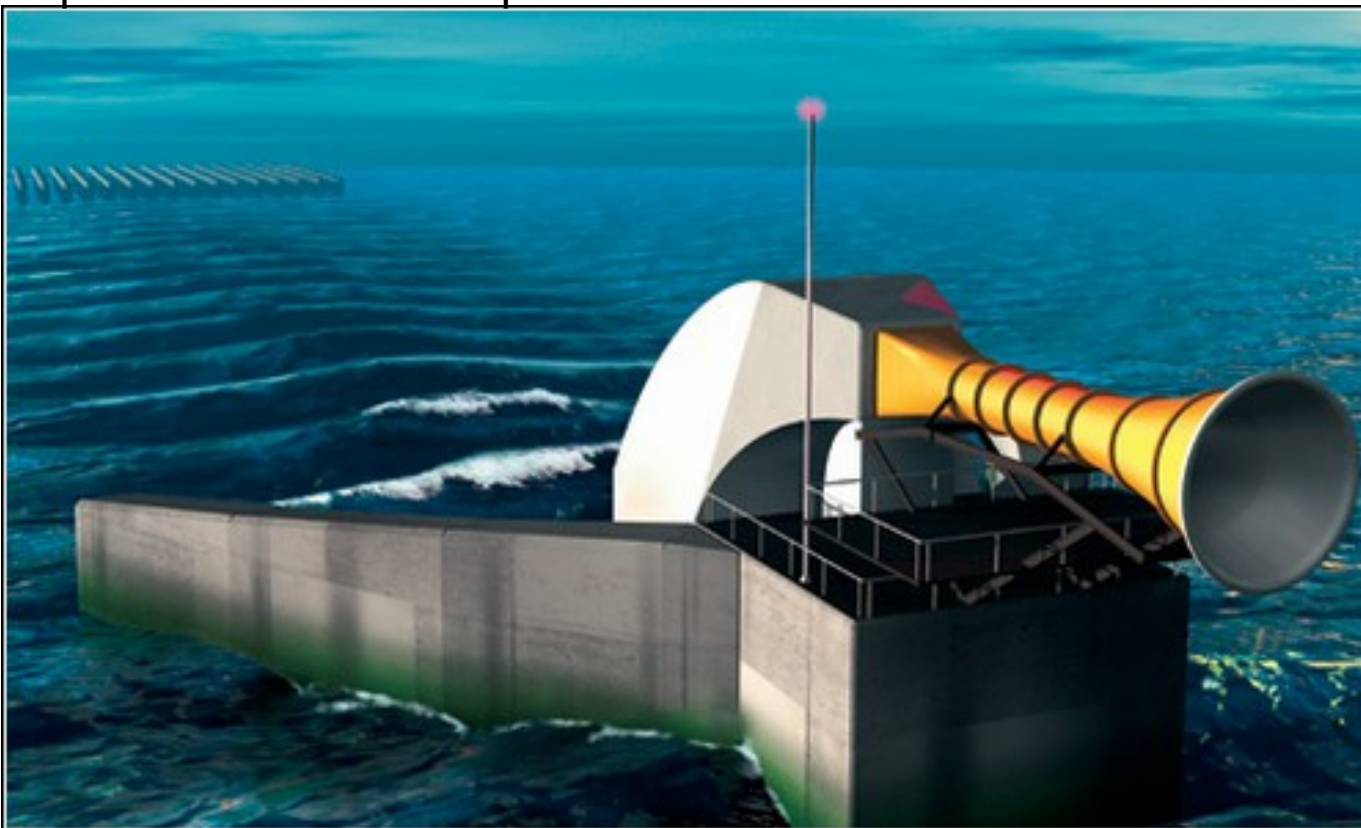


Волновая электростанция Oceanlinx.

Основным элементом, определяющим эффективность работы волновой электростанции, является турбина. Из-за того, что направление движения волн и их сила постоянно меняются, обычные турбины для выработки волновой электроэнергии непригодны. Поэтому на станции Oceanlinx используется турбина Denniss-Auld с регулируемым углом поворота лопастей.

Одна силовая установка Oceanlinx обладает мощностью (в пиковом режиме) от 100 кВт до 1,5 МВт. Установка в Порт-Кембла поставляет в электросеть города 450 кВт электричества.

Принцип работы волновой электростанции заключается в том, что проходящие через нее волны толчками заполняют водой специальную камеру, вытесняя содержащийся в этой камере воздух. Сжатый воздух под давлением проходит через турбину, вращая ее лопасти. В результате вырабатывается электричество.





2.3.4. Подводные устройства

Преимущества подводных устройств состоят в том, что эти устройства позволяют избежать штормового воздействия на преобразователи.

Однако при их использовании увеличиваются трудности, связанные с извлечением энергии и обслуживанием.

Для примера можно рассмотреть преобразователь типа «бристольский цилиндр», относящийся к группе устройств, работающих под действием скоростного напора в волне.

Наполненный воздухом плавучий корпус (цилиндр), имеющий среднюю плотность 0,6-0,8 т/м³, закреплен под водой на опорах, установленных на грунте.

Цилиндр колеблется в волне, совершая движение по эллиптической траектории и приводя в действие гидравлические насосы, вмонтированные в опоры и преобразующие энергию движения цилиндра.

Перекачиваемая ими жидкость может подаваться по трубопроводам на генераторную станцию, единую для нескольких цилиндров.

Одно из преимуществ идеи «бристольского цилиндра» то, что после настройки на оптимальную частоту он не отражает энергию других частот, а дает ей возможность распространяться далее, где ее могут поглотить другие преобразователи, например цилиндры с другой частотой.

"Архимедово волновое качание" (Archimedes Wave Swing — AWS), по словам авторов разработки, самую мощную и производительную волновую электростанцию: 150 мегаватт на квадратный километр.

Принципиальное отличие AWS от всех остальных проектов в этой области в том, что они... невидимы и никому не мешают. Потому как находятся под водой на глубине порядка 40-50 метров. Причём от верхушки сооружения до поверхности будет оставаться примерно 6 метров, что одинаково хорошо как с эстетической, так и с практической точки зрения.

Ну, с эстетической-то понятно (лицезреть AWS в действии смогут разве что дайверы).

А что с практической? Дело в том, что большинство проектов волновых и приливных электростанций работает на поверхности воды или даже на побережье, что, несомненно, мешает передвижению судов, да и самим устройствам вредит — любое сильное волнение или, что ещё хуже, шторм быстро выводят механизмы из строя.

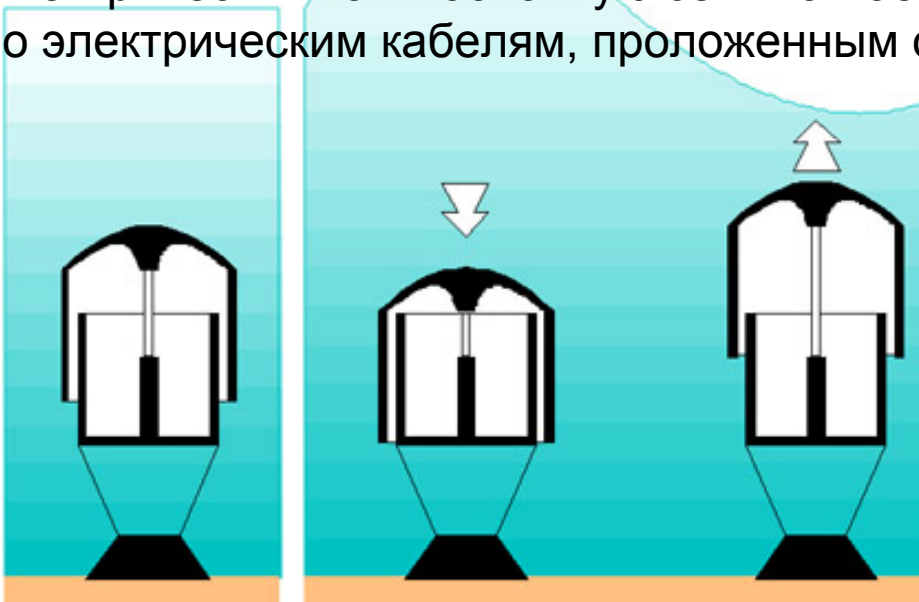
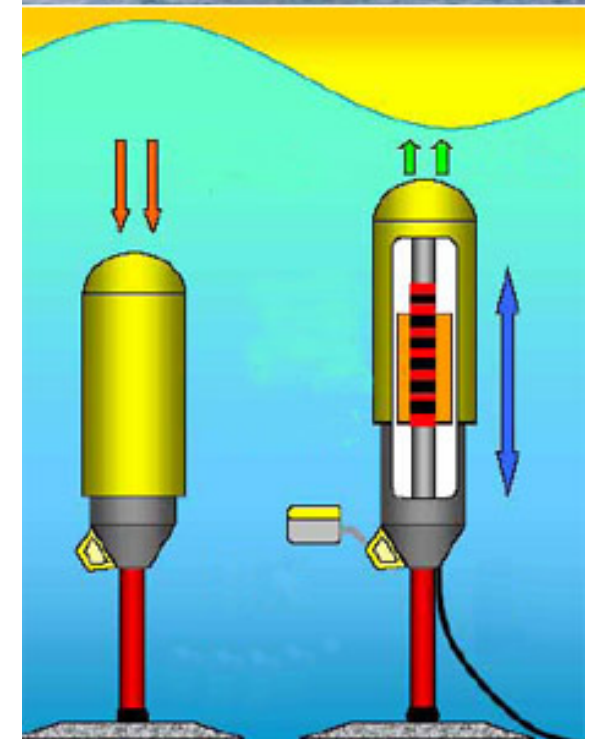
Пилотный проект из пяти "бочек" был запущен в октябре 2004 года у берегов Португалии и в течение двух недель прошёл все испытания весьма успешно.



Собственно сама AWS представляет собой цилиндр диаметром 12 и высотой 30 метров. Весит такой гигантский буй примерно 800 тонн и способен вырабатывать энергию для 500 домов, то есть выдаёт до 12 гигаваатт-часов в год. Соответственно, рассчитанная стоимость одного киловатт-часа по нынешнему курсу порядка - 13 российских рублей. Дороговато, но авторы системы говорят, что с её масштабированием цена киловатта будет снижаться. Цилиндр пустотелый, а его внутренность заполнена газом. Нижняя часть цилиндра крепится ко дну, верхняя же находится в "свободном плавании", то есть может двигаться вверх-вниз относительно нижней части.

Принцип действия прост как всё гениальное: проходящая над буйком волна "давит" на верхнюю часть цилиндра, заставляя её проседать под своей тяжестью, а газ внутри — сжиматься. Как только волна уходит, давление понижается, и верхняя часть цилиндра поднимается обратно.

Такое механическое движение вверх-вниз преобразуется в электричество с помощью линейного генератора (обычных катушки и магнита), по тому же принципу, что и в этом проекте. Электрический ток в основную сеть на побережье пересылается по электрическим кабелям, проложенным от каждой AWS по дну.





В то же время система AWS, сделанная из тех же материалов, что и подводные части нефтяных вышек, находится в глубоких, спокойных водах.

Другие плюсы этого проекта: дешевизна оборудования, большее количество производимой энергии на той же площади (в сравнение с другими источниками природной энергии), безопасность для окружающей среды, простота монтажа и обслуживания.



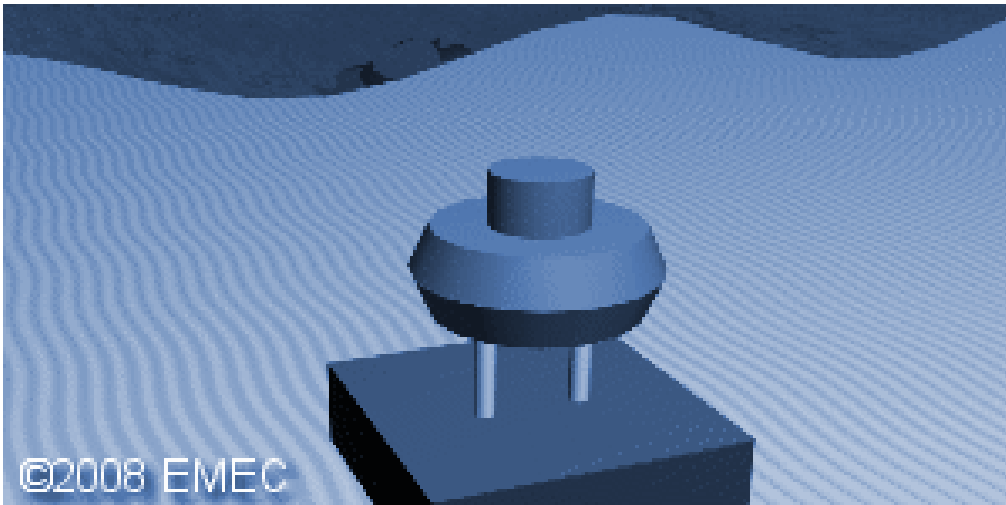
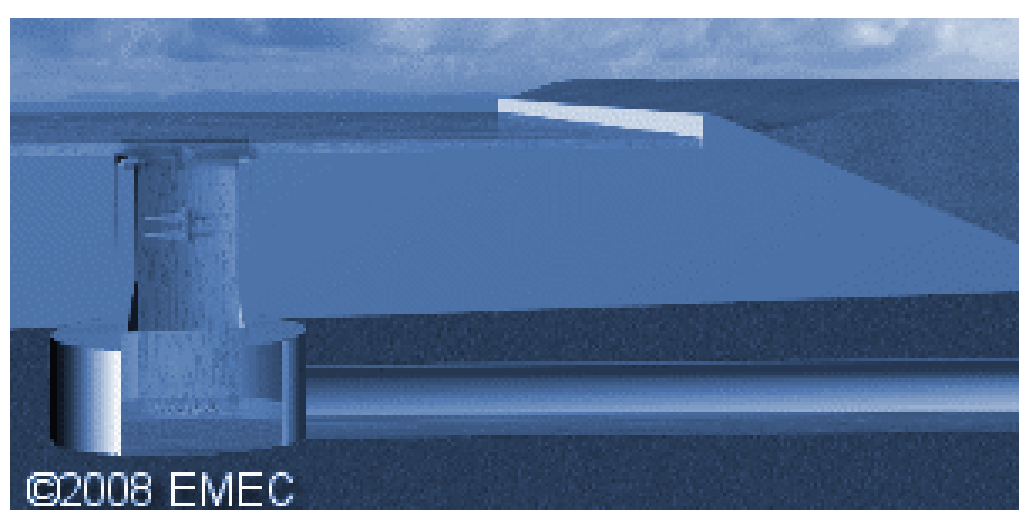
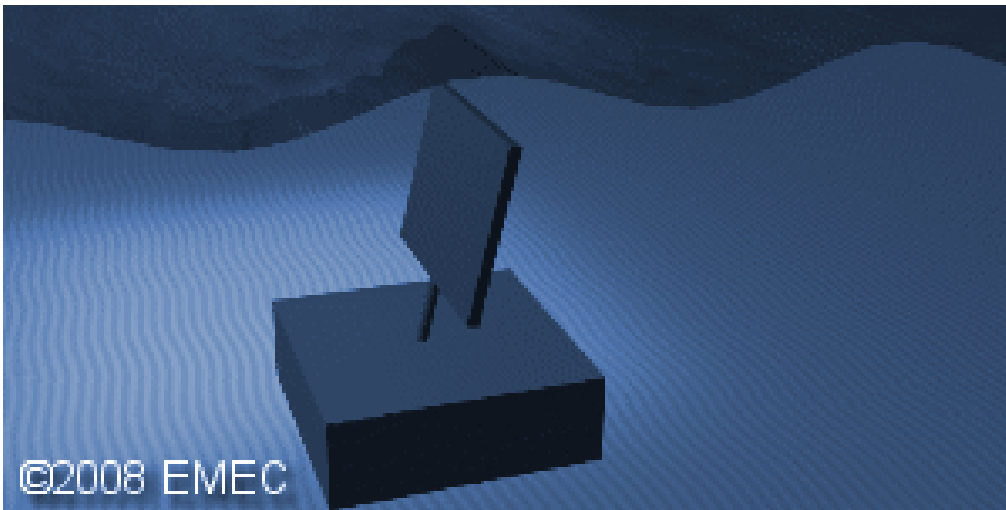
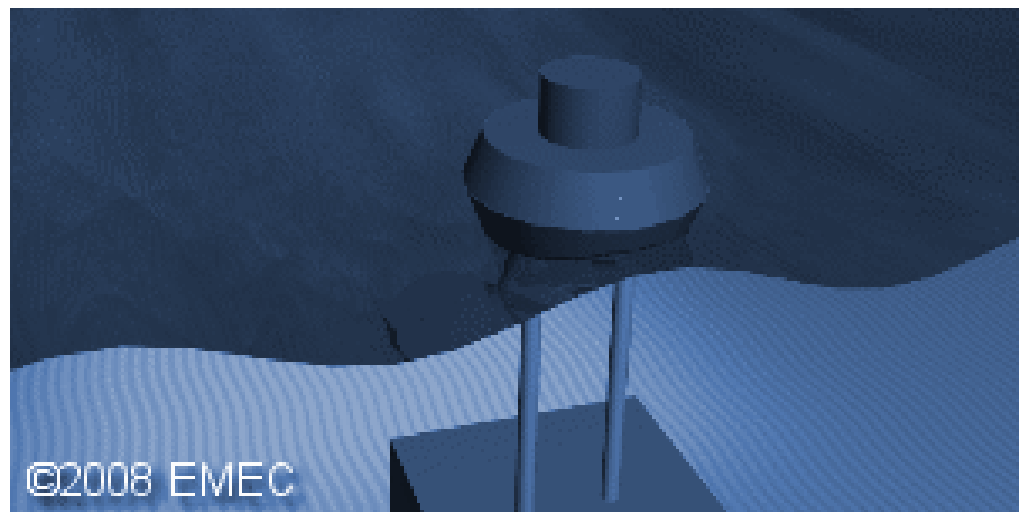
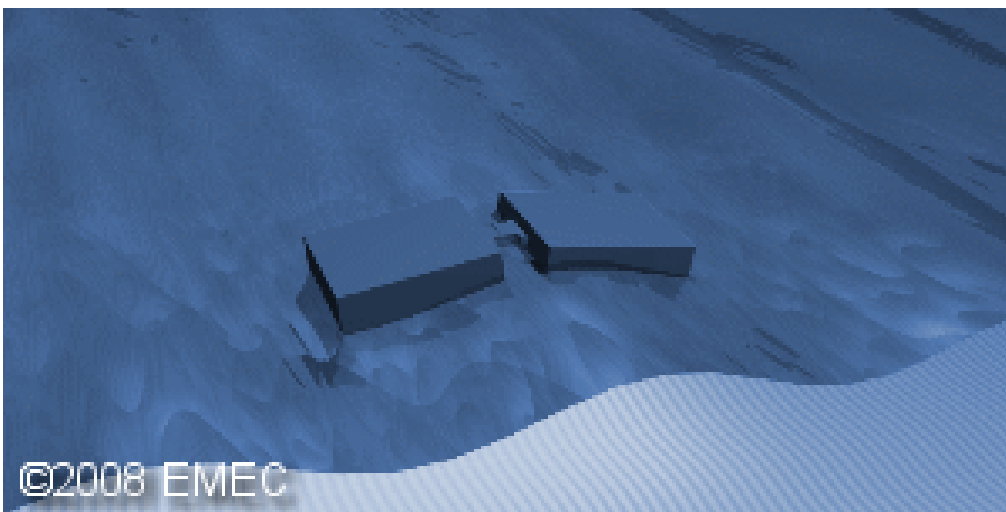
Стоит одна такая "бочка" порядка 4 миллионов евро и рассчитана на непрерывную работу в течение восьми лет.

Конечно, построить ферму из нескольких AWS, которая бы качественно и, главное, бесперебойно снабжала город (или даже города) энергией можно не везде.

Наиболее подходящими считаются западное побережье Великобритании, Португалии и Испании, тихоокеанское побережье Канады и США (от Ванкувера до Сан-Франциско), Чили и даже Южной Африки и Новой Зеландии — прежде всего за счёт того, что здесь волнение на море не затухает 24 часа в сутки.

К другим обязательным требованиям относится подходящий рельеф дна (глубины до 80-90 метров в местах, где проходят морские пути, и рельеф, позволяющий прокладывать кабели к побережью).

Кроме того, желательно, чтобы волновые "фермы" находились не далее чем в 12 часах плавания от ближайшего промышленного порта.



2.4. Использование энергии океанских течений

Механическая мощность, которую можно извлечь из океанского течения, определяется тем же соотношением, которое используется для оценки этой величины в ветроэнергетике:

$$P = \eta A \rho \frac{V^3}{2}$$

Коэффициент преобразования энергии, зависящий от типа турбины, для выполнения приближенных расчетов можно принять равным 0,6 для свободно вращающегося рабочего колеса и 0,75 для того же колеса в насадке.

Строительство крупных ветровых турбин (диаметром до 200 м) практически невозможно из-за ограничений, связанных с прочностью материалов и массовыми характеристиками подобных устройств.

Для турбин, работающих в морской среде, массовые ограничения менее существенны из-за действия на элементы конструкций силы Архимеда. Повышенная плотность воды позволяет, кроме того, уменьшить столь существенное для воздушных турбин воздействие вибраций, вызывающих усталостное разрушение материалов.

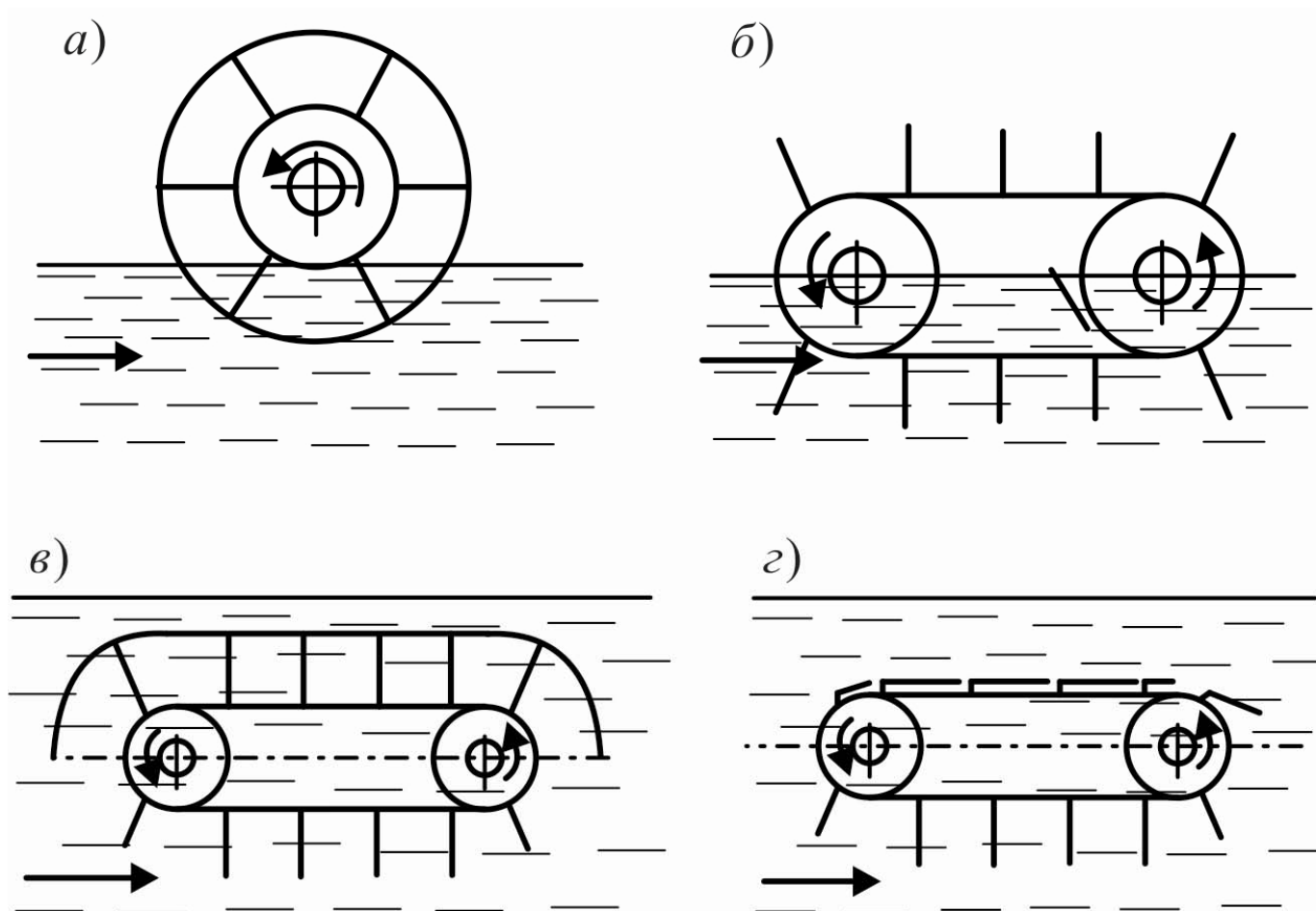
Достоинства океанских течений в качестве источников энергии по сравнению с ветровыми потоками:

- отсутствие резких изменений скорости (сравните с изменениями скорости при порывах ветра, при ураганах и т.п.).
- при достаточном заглублении в толщу воды турбины ОГЭС надежно защищены от волн и штормов на поверхности.

В качестве **недостатков** преобразователей энергии океанских течений следует отметить

- ❖ для эффективного использования течений в энергетике необходимо, чтобы они обладали определенными характеристиками. В частности, требуются достаточно высокие скорости потоков, устойчивость по скорости и направлению, удобная для строительства и обслуживания география дна и побережья.
- ❖ удаленность от побережья влечет удорожание транспортировки энергии и обслуживания этих станций, как, впрочем, и любых других.
- ❖ большие глубины требуют увеличения затрат на сооружение и обслуживание якорных систем, малые – создают помехи судоходству.
- ❖ именно географические факторы не позволяют сейчас говорить о строительстве ОГЭС в открытом океане, где несут свои воды наиболее мощные течения. При средних и малых глубинах, особенно в местах образования приливных течений, важную роль играет топография дна.
- ❖ необходимость создавать и обслуживать гигантские конструкции в морской воде, подверженность этих конструкций обрастанию и коррозии, трудности передачи энергии.

Для характеристики схем установки преобразователей можно выделить две основные схемы – сооружений, закрепляемых на морском дне, и сооружений, плавающих в толще воды и заякоренных к дну.



- а – колесо-прототип;
- б – ленточное колесо на плавучем основании;
- в – ленточное колесо в толще потока;
- г – ленточное колесо со складными лопастями

Вариант 1

- 1. Преобразователи, отслеживающие профиль волны. Принцип действия, их достоинства и недостатки в сравнении друг с другом.**
- 2. Мощность Приливной ЭС в одном цикле прилив – отлив,**
- 3. Основные принципиальные схемы ОТЭС.**

Вариант 2

- 1. Преобразователи, использующие энергию колеблющегося водяного столба. Принцип действия, их достоинства и недостатки в сравнении друг с другом.**
- 2. Достоинства и недостатки установок, использующих тепловую энергию океана**
- 3. Схема ОТЭС, работающей по циклу Ренкина. Принцип действия. + и -. Экономичность.**

Вариант 3

- 1. Преобразователи, использующие концентрацию волн в сходящемся канале. Принцип действия, их достоинства и недостатки в сравнении друг с другом.**
- 2. Достоинства и недостатки приливных электростанций**
- 3. Схема Бека. Схема. Принцип действия. + и -. Экономичность.**

Вариант 4

- 1. Подводные устройства, для использования энергии волн. Принцип действия, их достоинства и недостатки в сравнении друг с другом.**
- 2. Достоинства и недостатки волновых ЭС**
- 3. Цикл Клода. Схема. Принцип действия. + и -. Экономичность.**