

УДК 621.311

**ЭНЕРГИЯ ПРИЛИВОВ. ПРИЛИВНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.  
TIDAL ENERGY. TIDAL POWER PLANTS.**

С.А. Афанасьев

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
S. Afanasiev

Supervisor – S. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В статье рассматривается устройство и принцип работы приливных электростанций (ПЭС) как одного из перспективных источников возобновляемой энергии. Описаны типы турбин, применяемых на ПЭС, такие как турбины Пелтона, Каплана, Френсиса и Горлова, а также различные конструкции приливных станций (дамбы, плотины, лагуны, генераторы приливного потока). Приведены достоинства и недостатки приливных электростанций, отмечены экологические преимущества и технические сложности при их реализации.

**Abstract:** The article deals with the design and principle of operation of tidal power stations (TPS) as one of the promising sources of renewable energy. The types of turbines used in PES, such as Pelton, Kaplan, Francis and Gorlov turbines, as well as various designs of tidal stations (dikes, dams, lagoons, tidal stream generators) are described. Advantages and disadvantages of tidal power plants are given, environmental advantages and technical difficulties in their realization are noted.

**Ключевые слова:** приливные электрические станции, турбины, ЛЭП.

**Keywords:** tidal power stations, turbines, transmission lines

**Введение**

Рассмотрим устройство и принцип работы Приливных электростанций, а также разберем, что такое энергия приливов, достоинства и недостатки Приливных Электрических Станций (ЭС) от других видов ЭС.

Со стороны ученых не первый год звучат предупреждение о экологических проблемах, связанных с истощением природных ресурсов, более того использование многих природных ископаемых ведет к образованию вредных продуктов сгорания, которые негативно влияют на окружающую среду.

**Основная часть**

Энергия приливов – это форма энергии, получаемая из преобразования энергии от естественного подъема и спада уровня воды в электричество. Приливы и отливы, вызванные одновременным воздействием со стороны гравитационных сил, оказываемых Луной, Солнцем и вращением Земли.

Хотя приливная энергия еще не получила широкого распространения, она имеет потенциал для будущего производства электроэнергии. Приливы более предсказуемы, чем ветер и солнце. Среди источников возобновляемой энергии приливная энергия традиционно страдает от относительно высокой стоимости и

ограниченной доступности мест с достаточно высокими диапазонами приливов или скоростями потока, что ограничивает ее общую доступность.

Однако, многие недавние технологические разработки и усовершенствования, как в конструкции (например, динамическая приливная сила, приливные лагуны), так и в турбинной технологии (например, новые осевые турбины, турбины с поперечным потоком), указывают на то, что общая доступность приливной мощности может быть значительно выше, чем предполагалось ранее. Экономические и экологические издержки могут быть снижены до конкурентного уровня. [1]

Приливные ЭС могут устанавливаться только вдоль на береговых линиях. Каждые сутки на береговых линиях возникают два прилива и два отлива. Для производства электроэнергии разница должна быть между уровнями воды не менее пяти метров. Приливная энергия может быть преобразована в электрическую несколькими способами: Приливными ЭС, дамбы или приливные плотины и турбины. Для строительства Приливной ЭС, нужно обратить внимание, что самые высокие колебания уровня воды находятся у берегов моря, и могут располагаться далеко от экономических центров, а это значит от крупных потребителей электроэнергии. Также маломощные Приливные ЭС плохо окупаются, поэтому выгодными считаются приливные ЭС от 5 ГВт и выше.

Приливная ЭС (ПЭС) – это вид гидроэлектростанции, использующий энергию приливов для выработки электричества. Первая ПЭС была построена в Ливерпуле в 1913 году. В неё устанавливают гидротурбины, преобразующие кинетическую поступательную энергию воды в вращательную, в период прилива вода проходит через гидротурбину запуская процесс, после начала отлива сквозь гидротурбину протекает дополнительно набранная масса воды уже в обратном направлении. Благодаря увеличению объема воды происходит большая выработка электроэнергии. Приливные ЭС разделяются: Приливные лагуны, Приливные плотины, Дамбы, Генераторы приливного потока, Динамические ЭС. По мощности ПЭС делятся: высокомошные (мощность выше 100 МВт), маломощные (менее 100 МВт).

Дамба использует потенциальную энергию, которая вызвана изменением высоты между приливом и отливом. Энергия вращает лопасти турбины или сжимает воздух, что приводит к производству электричества (рис. 1).

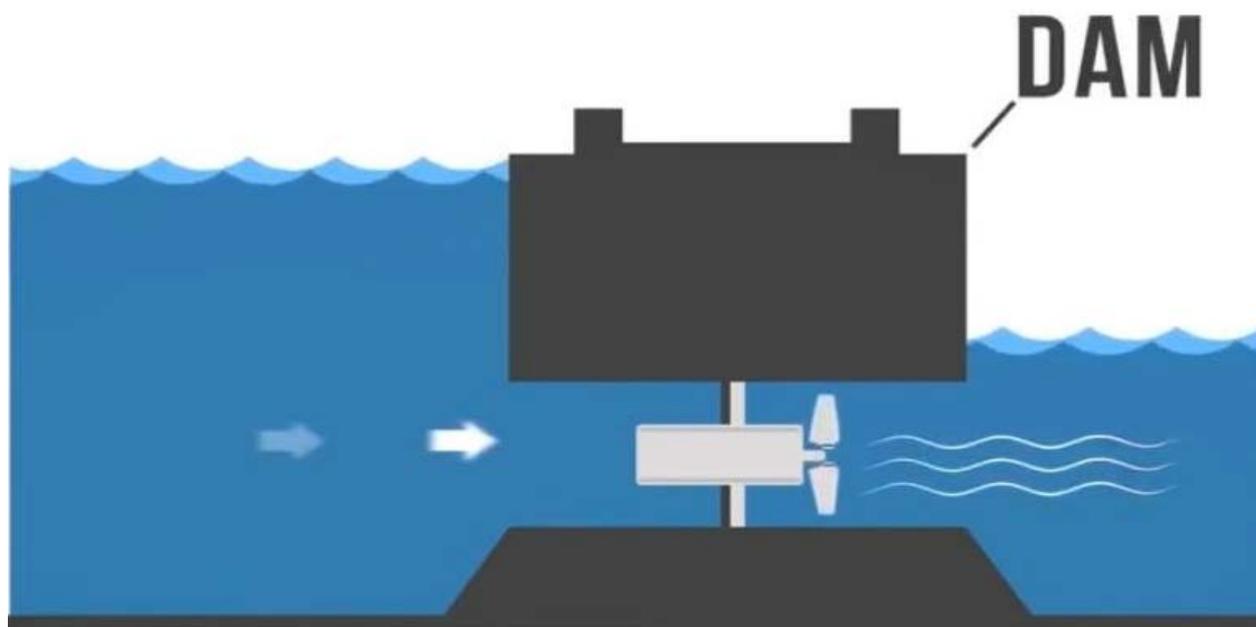


Рисунок 1 – Дамба с вращающейся турбиной.

Рассмотрим приливные плотины, в указанном виде ПЭС (рис. 2). Во время работы используется большой объем воды и удерживает до момента наступление отлива. Движение воды происходит в обоих направлениях через гидротурбины, оно способствует образованию кинетической энергии, которая преобразуется в ток после прохождения через генераторы.

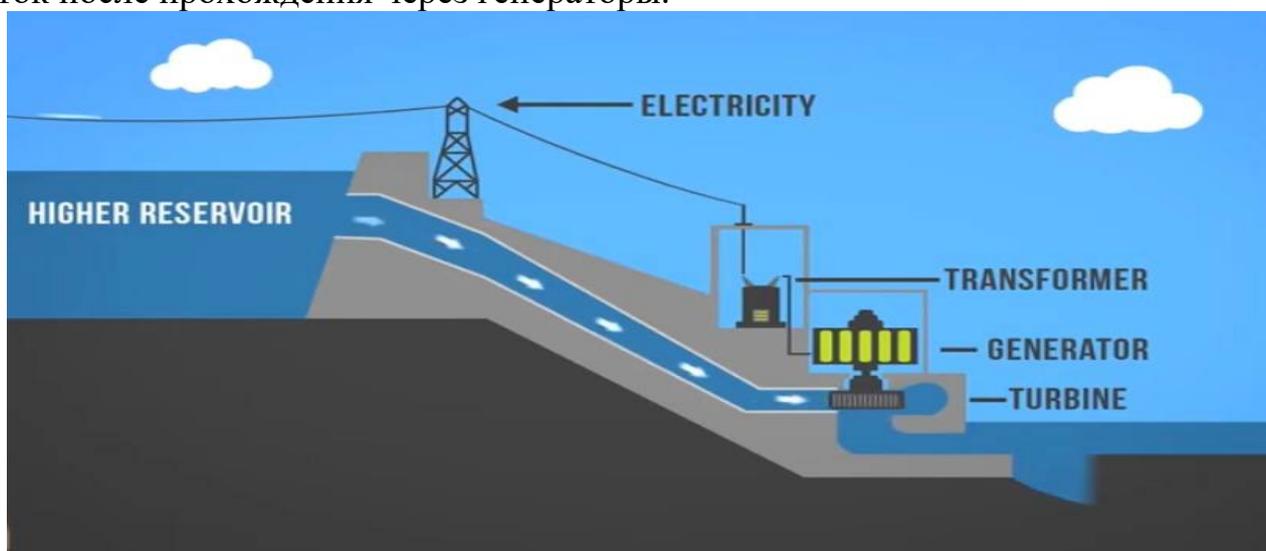


Рисунок 2 – Вид ПЭС с проливной плотиной

Существует несколько методов для преобразования электроэнергии в проливных плотинах:

- выработка отливом;
- выработка приливом;
- накачка;
- двух бассейновые схемы.

Генератор приливного потока – это машина, которая преобразует приливную энергию, способом извлечение энергии от движущихся масс приливов и отливов. Некоторые типы похожи на ветряные турбины, поэтому их

часто стали называть подводные ветряные турбины или приливными ветряными турбинами (рис. 3). При этом водные ресурсы используются максимально эффективно и рационально.

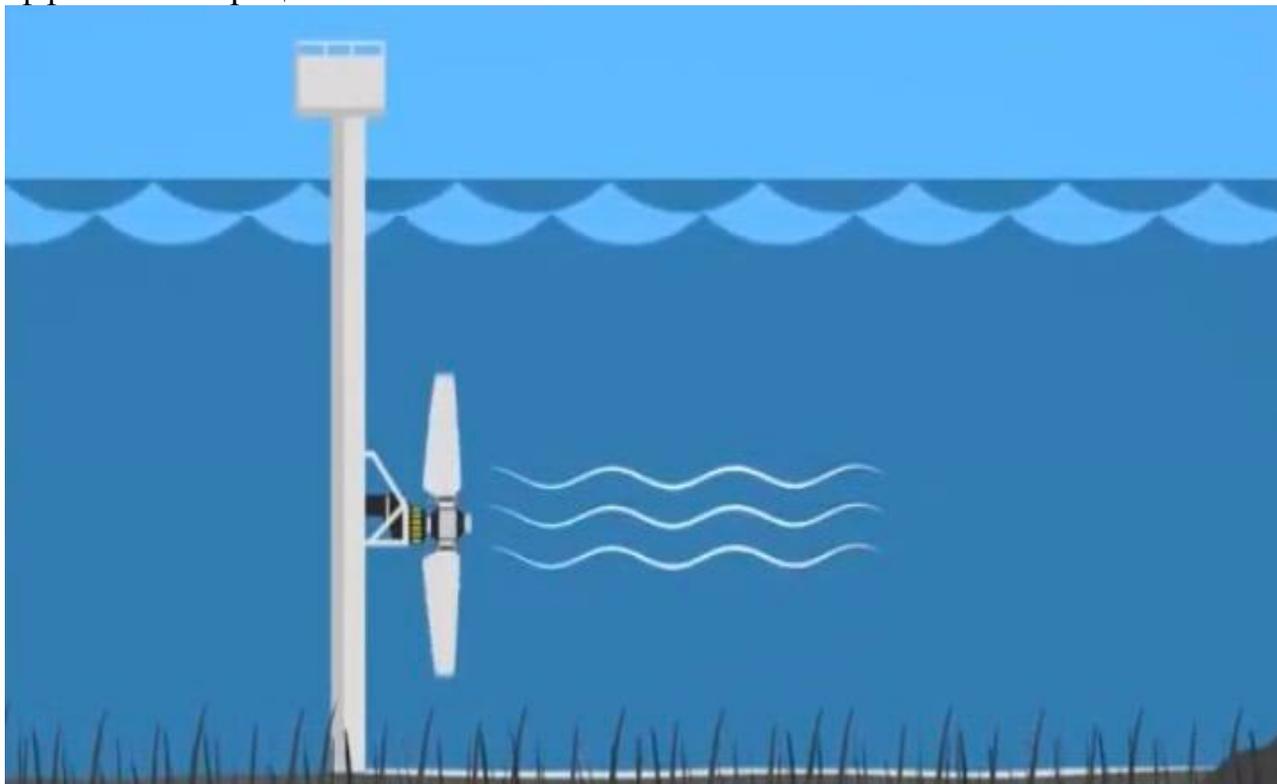


Рисунок 3 – Приливная ветряная турбина.

Есть несколько типов приливных генераторов: осевые турбины, турбины с поперечным потоком, колеблющиеся устройства, эффект Вентури, турбины приливных воздушных змеев.

Океанские течения генерируют большее значение энергии относительно воздуха. Так как плотность воды намного больше плотности воздуха и воздействие на турбины происходит намного сильнее.

Динамическая приливная станция схоже с плотинными по принципу работы, только протяженность такой станции может достигать 40-60 километров и располагаться перпендикулярно берегу, то есть иметь Т-образную форму, что позволит создавать перепады уровня воды на противоположных сторонах барьера. В работе применяется кинетическая и потенциальная энергия, строительство происходит обычно прямо в море. Внутри постройки монтируется огромное количество низко-опорных гидротурбин, работающие на воде идущий в одном направлении.

Приливные лагуны – это такой вид ПЭС для функционирования которой служат искусственные водоемы, работают из-за разницы водного давления в резервуарах и открытых лагунных водах, как и в предыдущих случаях вода поступает на гидротурбины и образует кинетическую энергию и после в ток.

Рассмотрим турбины, используемые на ПЭС:

Турбина Пелтона (ковшовая турбина (рис. 4)), используется при очень больших напорах, рабочее колесо находится в потоке воды, вода подается через сопла по касательной по окружности, проходящей через середину ковша,

формируется струя, которая ударяет о лопатку турбины, после чего колесо проворачивается и совершает работу. Преобразует кинетическую энергию водяной струи в энергию вращения, вращающийся вал приводит в действие генератор, который и вырабатывает электричество. Требуемые показатели вырабатываемой мощности могут меняться со временем, управляющий механизм контролирует положение иглы, если потребность электроэнергии уменьшается, то игла перемещается так, чтобы уменьшить или перекрыть входное сечение сопла, если потребность электроэнергии увеличивается, игла отодвигается, и подача воды увеличивается, благодаря этому турбина движется с постоянно-заданной скоростью, которая соответствует частоте электроснабжения. Большое значение играет количество лопаток на колесе. Их должно быть не более 40, при недостаточном количестве лопаток происходят потери, что уменьшает КПД. Подходит для извлечения энергии при большой высоте напора воды и низком её расходе. Скорость потока воды может достигать 500-600 км/ч., также стоит отметить, что скорость вращения турбины может достигать 3000 об. мин. Мощность наиболее крупных турбин равна 200-25-МВт.

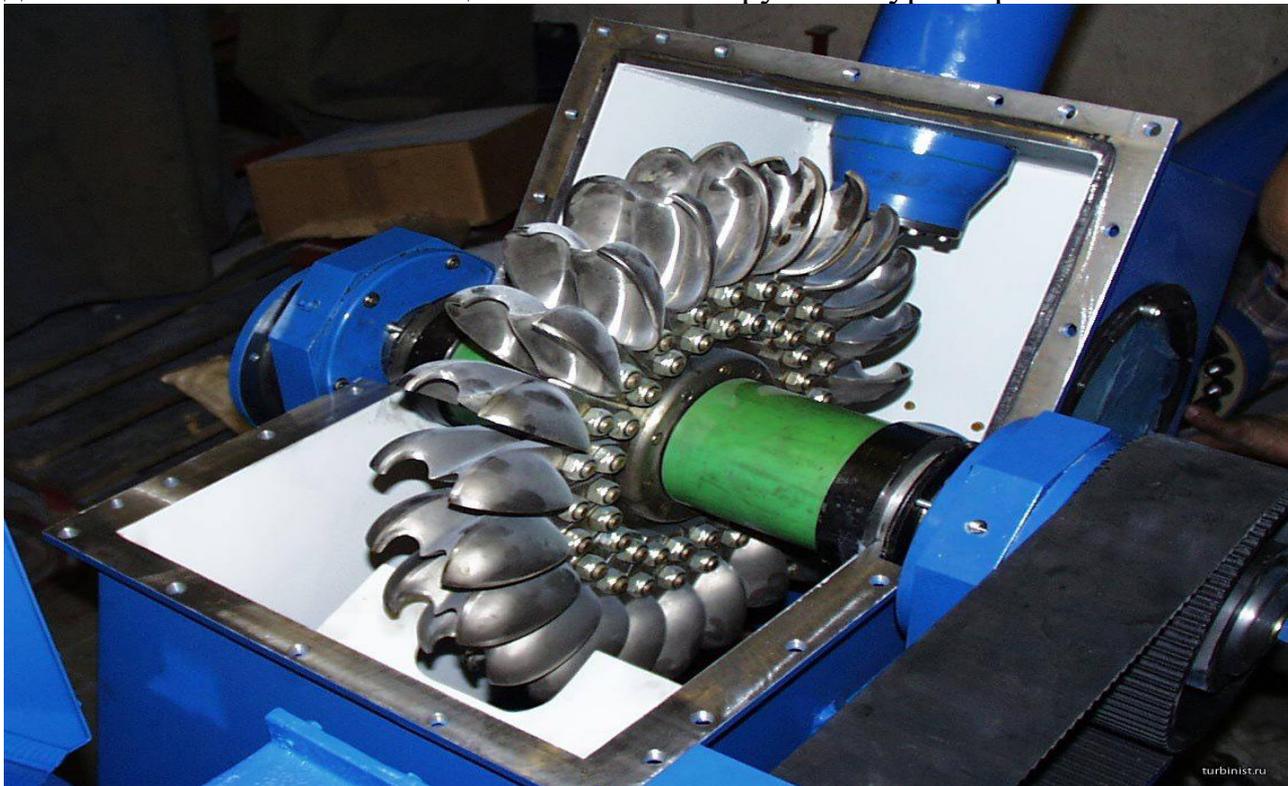


Рисунок 4 – Турбина Пелтона

Турбина Каплана с изменяемым и фиксированным шагом лопаток (рис. 5). Подходит для извлечения энергии при наличии воды с низкой высотой напора (2-20 м.) и высоким расходом (70-800 м<sup>3</sup>/с). Поток воды входит через спиральную камеру, за счет уменьшения поперечного сечения камеры, поток вводится в центральную часть одновременно по всему параметру, вода через лопатки направляющего аппарата поступает на рабочее колесо и отводится через отсасывающую трубу. Важной частью турбины является колесо, сечение лопастей колеса имеют изогнутую форму, когда вода обтекает их, создается подъемная сила за счет реактивного воздействия потока. Тангенциальная

составляющая силы заставляет ротор вращаться. Вращение передается на генератор для производства электроэнергии. Также эти турбины являются осевыми гидравлическими машинами, где скорость потока параллельна оси турбины. Для контроля расхода воды используется управляющий механизм, который контролирует положение лопаток, также это позволяет и регулировать вырабатываемую мощность. Сложной задачей при проектировании такой турбины является преодоление проблемы кавитации, которая вызывает разрушение материала и излишний шум и вибрацию во время работы турбины. Она неизбежна так как в турбине возникает низкое давление и воздействие можно уменьшить, используя специальный материал для лопастей.

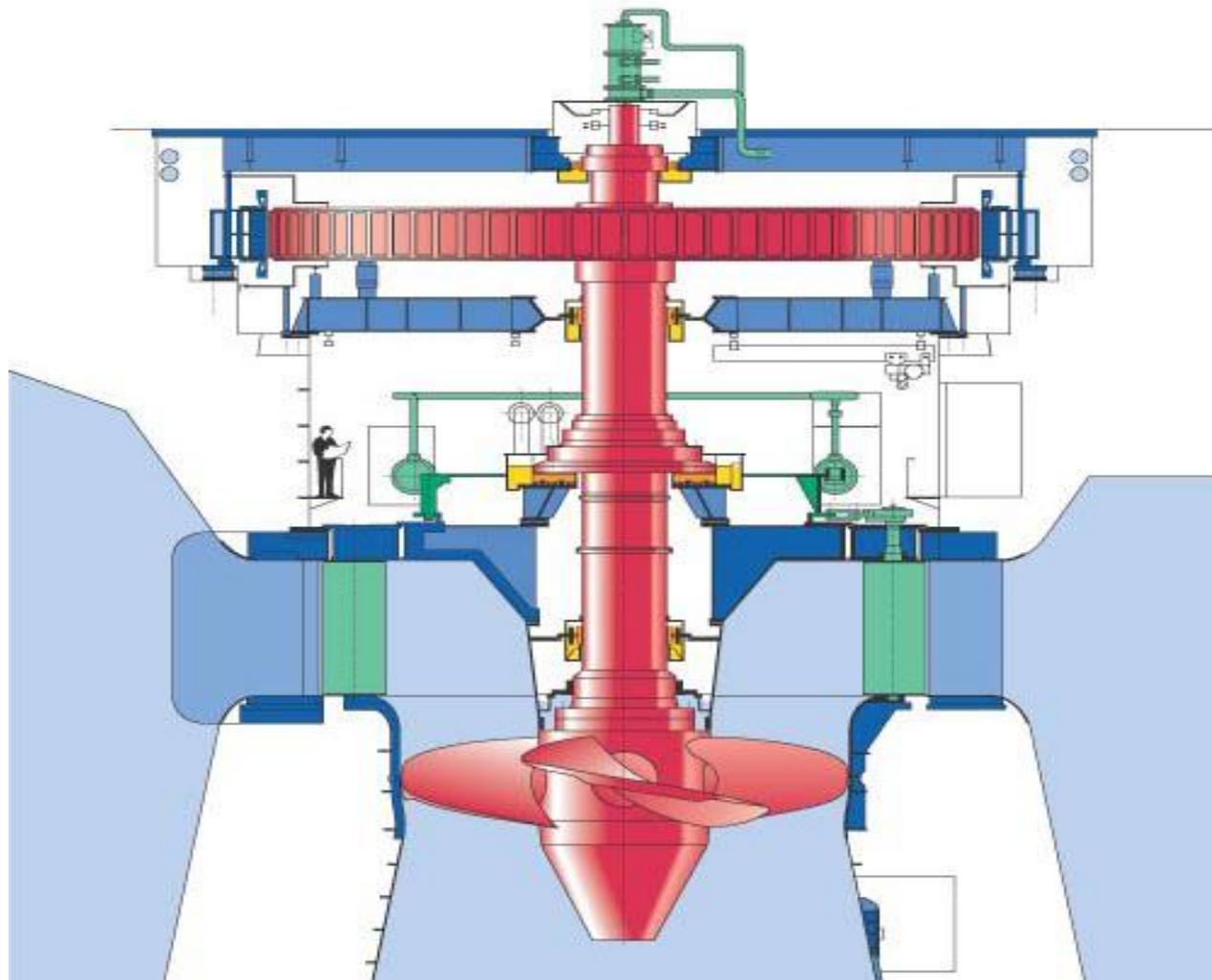


Рисунок 5 – Турбина Каплана

Турбина Френсиса или радиально-осевая турбина (рис. 6). Вода поступает через входной патрубок, скорость потока снижается, так как вода воздействует на рабочее колесо, уменьшение площади сечения спиральной камеры обеспечивает равномерную скорость потока входящего в область рабочего колеса. На входе в колесо установлены статорные колонны и направляющие лопатки, основная их задача преобразование части энергии давления в кинетическую энергию, уменьшают завихрения входного потока. Мощность может меняться со временем, контролирует это механизм направляющих лопаток, который служит для регулирования потока воды в соответствии с

требуемой мощностью. Главной особенностью турбины является её колесо. Оно оснащено рядом лопастей сложной формы. Вода поступает в рабочее колесо радиально, а выходит в осевом направлении, проходя через турбину поток скользит по лопастям рабочего колеса. Лопасти турбины имеют специальную форму. Поток воды с одной стороны создает низкое давление, а с другой высокое, в результате возникает подъемная сила. Еще одна особенность лопасти обуславливается тем, что ближе к концу она принимает форму в виде ковша, из-за чего вода ударяется и придает импульс на выходе из рабочего колеса. Импульсная и подъемная сила заставляют колесо вращаться, из-за этого радиально-осевая турбина не является чисто реактивной турбиной, так как часть энергии получает от импульсного воздействия. Таким образом, кинетическая энергия и давления уменьшаются. Колесо соединено через вал с генератором. Данный вид турбины ещё называют смешанным типом турбин.

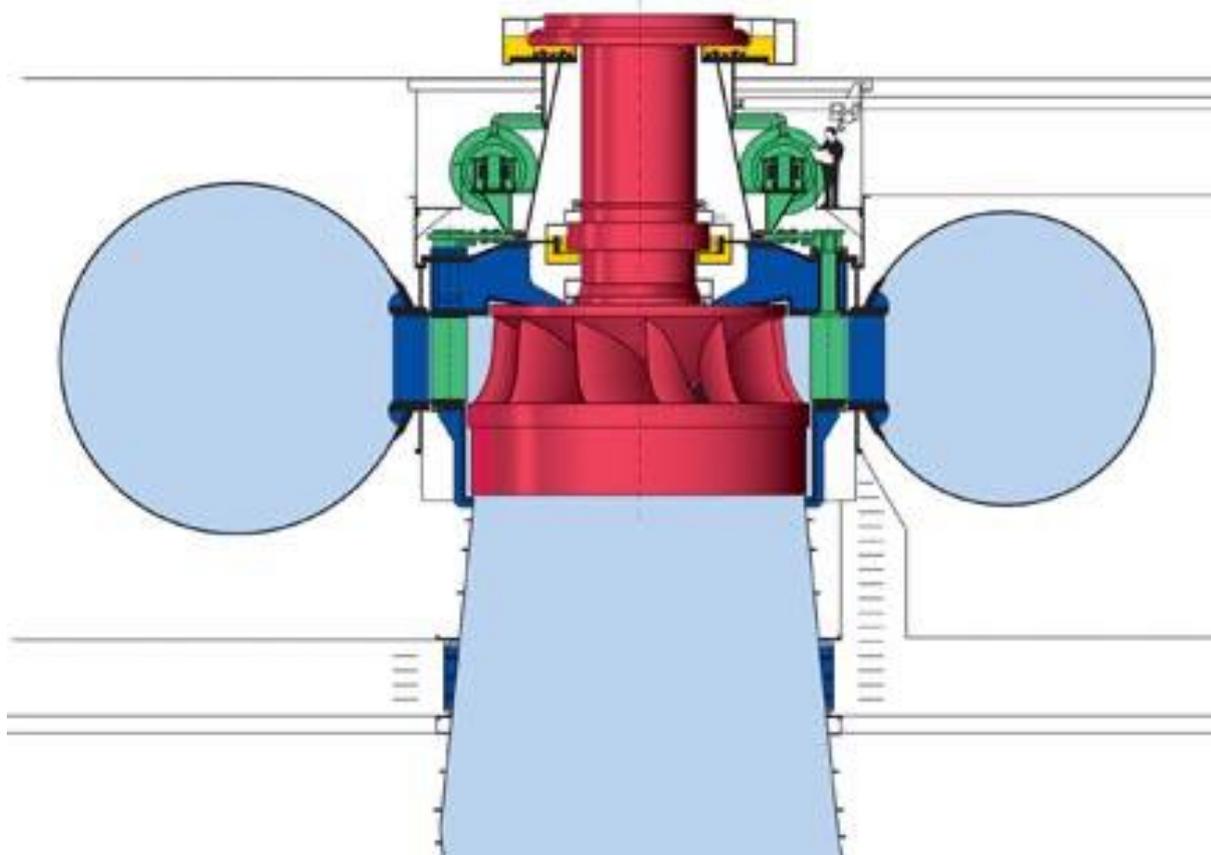


Рисунок 6 - Турбина Френсиса

Турбина Горлова (рис. 7). Это наиболее совершенная модель ротора Дарье, с помощью этой турбины можно получить до 35% кинетической энергии из воды. Работает турбина на малых скоростях потока воды 1,5 м/с., а минимальный объем составляет 1 м<sup>3</sup>. Ось турбины расположена, перпендикулярно потоку воды, а лопасти по спирали вдоль оси. Вода поступает на лопасти и вращает ротор в одном направлении, за счет такой формы лопасти скорость вращения в два раза выше, чем скорость потока воды.[2]



Рисунок 7 – Турбина Горлова

Подводные трансформаторы (рис. 8). Это устройства производимые в большей мере АББ, заполненные жидким диэлектриком, с компенсирующим давлением, могут находиться на глубине до 3000 метров. Разработаны для преобразования и распределения энергии, для вращающего оборудования, расположенного далеко от источника питания. Основными параметрами для подводного трансформатора являются: напряжение до 150 кВ переменного тока, ток до 900 А, мощность до 24 МВА. В 2022 году HitachiEnergy испытали самый мощный подводный трансформатор.



Рисунок 8 – Подводный трансформатор, мощностью до 24 МВА

Кабели, используемые на приливных электростанциях, работают с разными типами напряжения в зависимости от назначения кабеля и требуемой мощности. Основные типы напряжений, которые применяются для различных кабелей на приливных электростанциях, можно разделить на следующие категории:

- Высоковольтные силовые кабели (110кВ и выше). Эти кабели используются для передачи электроэнергии от генераторов приливной электростанции к береговой подстанции или подключению к национальной электросети. Высоковольтные кабели обеспечивают минимальные потери при передаче энергии на большие расстояния и могут иметь напряжение 110 кВ, 220 кВ и даже до 400 кВ, в зависимости от масштаба станции и расстояния до точки подключения. Например, для передачи на большие расстояния под водой применяют напряжение порядка 220-400 кВ для минимизации потерь.
- Средневольтные кабели (от 10 кВ до 35 кВ). Средневольтные кабели применяются для локальной передачи энергии между генераторами или между отдельными установками внутри приливной станции и основным трансформатором. Они используются на промежуточных этапах, например, от турбин к главной распределительной подстанции, где напряжение повышается для передачи на большие расстояния.
- Низковольтные кабели(до 1 кВ). Низковольтные кабели предназначены для питания вспомогательного оборудования, систем управления, автоматики и освещения. Они также используются для подачи электроэнергии на датчики, контроллеры и устройства контроля безопасности.
- Кабели управления и связи(обычно 24 В или 48 В постоянного тока.). Эти кабели используются для передачи управляющих сигналов, связи и данных между различными элементами системы. Низкое напряжение в этом случае обусловлено необходимостью обеспечения безопасности и предотвращения помех в сигнале.

Конструкционные особенности. Кабели, используемые на ПЭС, должны быть защищены от агрессивной морской среды. Поэтому в конструкции кабелей применяются материалы с высокой стойкостью к соленой воде и ультрафиолетовому излучению. Как правило, используются полиэтиленовая или резиновая изоляция. Для защиты от механических повреждений применяется бронирование кабелей с помощью стальных или синтетических нитей. Конструкция подводных кабелей включает несколько слоев, которые обеспечивают герметичность и защиту от коррозии. Поверх основной изоляции часто добавляются металлические оболочки и битумные покрытия.

Из-за приливов и отливов, а также подводных течений, кабели подвергаются значительным механическим воздействиям. Поэтому их конструкции предусматривают многослойную изоляцию и бронирование для повышения прочности и гибкости.

При выборе типа напряжения для кабеля на приливной станции учитываются такие факторы, как мощность генератора, расстояние до

потребителей или подстанции, условия эксплуатации, а также особенности морской среды, которая требует устойчивости к воздействию воды, солей и механических нагрузок.

Преимущества ПЭС по сравнению с другими ЭС:

- экологическая чистота и отсутствие вредных выбросов в биосферу;
- время восстановления подводной флоры и фауны не более трех лет;
- работа станции не влияет на судоходства и первичный маршрут рыбы;
- защита береговой зоны от штурмов;
- длительный срок эксплуатации;
- на плотинах ПЭС можно строить автомобильные и железные дороги;

Недостатки ПЭС:

- большие финансовые затраты и длительная окупаемость;
- невозможность совмещение туристической зоны с постройкой плотины;
- цикличность работы, которая характеризуется нерегулярным действием, заметно в период пассивной фазы перед приливом и после отлива;
- изменяющаяся мощность в течении суток.

### **Заключение**

Приливные электростанции представляют собой перспективный источник возобновляемой энергии с минимальным воздействием на окружающую среду. Несмотря на высокие первоначальные затраты и сложность реализации, развитие технологий и улучшение турбин повышают эффективность ПЭС. Их потенциал в производстве электроэнергии в прибрежных районах может значительно расшириться в будущем, обеспечивая устойчивый и экологически чистый способ выработки энергии.

### **Литература**

1. Oceanenergy Council (2011) [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/rid\\_2bea05e6aa50437bb8fd98b0e261e7a3.pdf/](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_2bea05e6aa50437bb8fd98b0e261e7a3.pdf/). – Дата доступа 17.10.2024.
2. Турбина Горлова [Электронный ресурс] – Энергия приливов. – Режим доступа: <http://vetrogenerator.com.ua/vetrogenerator/vertikal/140-vetroturbinagorlova-eto-bolee-sovershennaya-model-rotora-dare.html/>. Дата доступа: 17.10.2024.