



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра комплексного управления прибрежными зонами

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (магистерская диссертация)

На тему Оценка потенциала использования альтернативных источников
энергии в прибрежной зоне

Исполнитель Львов Андрей Николаевич

Руководитель Ph.D., доцент
Семеошенкова Вера Сергеевна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

кандидат географических наук, доцент кафедры комплексного
управления прибрежными зонами

Плинка Николай Леонидович

«___» _____ 2019 г.

Санкт-Петербург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

СОКРАЩЕНИЯ.....	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. Виды альтернативных источников энергии и потенциал их использования.	8
1.1. Виды альтернативных источников энергии.	8
1.1.1 Оценка потенциала использования ветровой энергии.	8
1.1.2 Оценка потенциала использования геотермальной энергии.	12
1.1.3 Оценка потенциала использования приливной энергии	16
1.1.4 Оценка потенциала использования солнечной энергии.....	19
1.1.5 Оценка потенциала использования волновой энергии.....	25
1.2. Государственная политика РФ в отношении альтернативных источников энергии.....	28
2. Приливная энергетика.....	34
2.1. Виды технологий преобразования приливной энергии.....	34
2.2. Критерии выбора места.....	46
2.3. Реализация приливной электроэнергетики в мире.	46
2.3.1. Высокомощные ПЭС.....	48
2.3.2. Маломощные ПЭС.	54
2.4. Анализ размещения ПЭС в РФ.	60
2.4.1. Анализ морей России.	60
2.4.2. Экономическая целесообразность.	63
3. SWOT - анализ.	66
Заключение	75
Список литературы	78

СОКРАЩЕНИЯ

ВИЭ – возобновляемые источники энергии
КУПЗ – комплексное управление прибрежными зонами
ПЭС – приливная электростанция
EGS - Enhanced geothermal system
EWEB - Eugene Water & Electric Board
ГЭС – гидроэлектростанция
АЭС – атомная электростанция
PV – photovoltaic
CSP - concentrated solar power
ТЕС – tidal energy converter
DTP - dynamic tidal power
RES - Renewable Electricity Standard
REN21 - Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
IRENA - International Renewable Energy Agency

ВВЕДЕНИЕ

Существует два типа источников энергии: традиционные они же не возобновляемые источники энергии и нетрадиционные (альтернативные), возобновляемые источники энергии. К традиционным источникам энергии на данный момент относят те, которым характерно невозможность их восполнения после использования, а это: уголь, газ, ядерное топливо (урановая руда). К возобновляемым, которые возможно восполнить относятся: биомасса, гидроэнергия, солнечная энергия, энергия ветра, геотермальная энергия, энергия приливов, термоядерный синтез.

Возобновляемая энергия - это энергия, которая собирается из возобновляемых ресурсов, которые естественным образом пополняются в человеческом масштабе, такие как солнечный свет, ветер, дождь, приливы, волны и геотермальное тепло, также такой экспериментальный вид как термоядерный синтез. Возобновляемая энергия часто обеспечивает энергию в четырех важных областях: производство электроэнергии, воздушное и водяное отопление/охлаждение, транспорт и сельские (автономные) энергетические услуги.[1]

Возобновляемая энергия является частью устойчивой энергии. Устойчивая энергия - это принцип, при котором использование энергии человеком «удовлетворяет потребности настоящего, не ставя под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности». [2] Стратегия устойчивой энергетики, стоит на двух столпах: более чистые методы производства энергии и энергосбережение. Все это лежит в основе устойчивого развития являющегося одним из основных принципов КУПЗ.

На данный момент к прибрежным источникам альтернативной энергии в связи с возможностью их размещения и расположением в прибрежной зоне можно отнести:

- ветряные электростанции

- волновые электростанции
- приливные электростанции
- геотермальные электростанции
- солнечные электростанции

Актуальность темы выпускной квалификационной работы обусловлена быстрым истощением не возобновляемых традиционных энергетических ресурсов, а также постоянным ростом цен на их использование на фоне растущих потребностей на электроэнергию в мире, что обусловлено высоким развитием экономики и технического прогресса. Эта тенденция примечательна не только для России, но и для всего мирового сообщества. В связи с этим структура энергопотребления для развитых и развивающихся стран меняется и возникает все больше отличий. Такие развитые страны, как США, Япония, Канада, Южная Корея, Англия и некоторые страны европейского союза повышают долю альтернативных источников энергии и в целом энергопотреблении, чтобы снизить зависимость от импорта энергоносителей таких, как нефть и газ. Также, они хотят снизить добычу ископаемых источников из-за их негативного воздействия на экологию и человека.

Согласно отчету, REN21 за 2017 год, возобновляемые источники энергии внесли 19,3% в мировое потребление энергии людьми и 24,5% в выработку электроэнергии в 2015 и 2016 годах, соответственно. Это энергопотребление делится на 8,9% от традиционной биомассы, 4,2% от тепловой энергии (современная биомасса, геотермальное и солнечное тепло), 3,9% от гидроэлектроэнергии, а оставшиеся 2,2% - это электроэнергия от ветра, солнечной энергии, геотермальной энергии и других форм энергии. биомассы. Мировые инвестиции в возобновляемые технологии в 2015 году составили более 286 миллиардов долларов США. Во всем мире, по оценкам, 7,7 миллиона рабочих мест связаны с возобновляемой энергетикой, причем солнечные фотоэлектрические установки являются крупнейшим работодателем в области возобновляемых источников энергии. Системы

возобновляемой энергии быстро становятся более эффективными и дешевыми, и их доля в общем потреблении энергии увеличивается. По состоянию на 2019 год во всем мире более двух третей всей новой установленной электрической мощности было возобновляемым. Рост потребления угля и нефти может закончиться к 2020 году из-за увеличения потребления возобновляемых источников энергии и природного газа.[3]

Особую роль в использовании возобновляемых источников энергии играет экономическая и политическая нестабильность в странах, являющихся крупными поставщиками ископаемых источников энергии.

Российская Федерация обладает значительным потенциалом в области альтернативной энергетики. Практически в каждом регионе нашей страны существует возможность использования одного из возобновляемых источников энергии (ВИЭ). И хотя отдельные исследования и разработки в этом направлении активно велись еще в 1950—1960-х годах, активное развитие альтернативной энергетики в России началось лишь с 2000-х годов.

На данный момент у России есть успешный опыт создания электростанций с использованием практически всех известных видов возобновляемых и альтернативных источников энергии. Главной проблемой является отсутствие реальной государственной поддержки альтернативной энергетики, несмотря на принятие в конце 2000-х годов ряда основополагающих постановлений.

Объектом исследования являются альтернативные источники энергии в прибрежной зоне.

Предметом исследования является оценка потенциала альтернативных источников на территории Российской Федерации.

Целью работы является анализ потенциальных регионов для разработки альтернативных источников энергии.

Для достижения поставленной цели будут решены следующие задачи:

- Выбор наиболее перспективного источника альтернативной энергии;

- Обзор применения выбранного типа энергетики на данный момент;
- Анализ регионов, подходящих для разработки выбранного источника энергии;
- Выполнение SWOT – анализа для определения сильных и слабых сторон приливной энергетики в России и выбор вариантов развития стратегии приливной энергетики для выбранных регионов.

1. Виды альтернативных источников энергии и потенциал их использования.

1.1. Виды альтернативных источников энергии.

1.1.1 Оценка потенциала использования ветровой энергии.

Ветроэнергетика – использование потоков воздуха для проходящих через турбины для преобразования механической энергии в электрическую, тепловую и любую другую энергию.

Ветер вызван перепадами атмосферного давления. При наличии разницы в атмосферном давлении воздух перемещается из области более высокого давления в область более низкого давления, что приводит к ветрам различной скорости. На вращающейся планете воздух также будет отклоняться эффектом Кориолиса, кроме как на экваторе. Во всем мире двумя основными движущими факторами крупномасштабных моделей ветра являются дифференциальный нагрев между экватором и полюсами и вращение планеты. Энергия ветра является кинетической энергией воздуха, чтобы оценить ее стоит представить поверхность A (например, область ротора турбины) расположенную перпендикулярно направлению ветра. Тогда энергия воздуха плотностью ρ через поверхность A со скоростью v в течение

времени t будет равна: $E = \frac{1}{2} \rho A v^3 t$. Теоретическая мощность, улавливаемая ветротурбиной может быть получена только в том случае, если скорость ветра снижается до нуля. В реалистичной ветряной турбине это невозможно, поскольку захваченный воздух также должен покинуть турбину. Необходимо учитывать соотношение между скоростью ветра на входе и на выходе. Используя концепцию струйной трубки, максимально достижимое извлечение энергии ветра ветротурбиной составляет $\approx 59\%$ от общей теоретической энергии ветра. [4]

Ветровые электростанции представляют из себя множество ветровых генераторов, соединенных между собой в одну единую сеть. Часто в английском варианте употребляется название ветровые фермы (windfarms). Большинство ветровых ферм располагаются на территории Китая, Индии, Соединенных Штатов. Например, крупнейшая ветровая ферма Ганьсу расположенная в Китае обладает мощностью более 6000 МВт.[5]

Условно ветровые электростанции делят на два типа: шельфовые и наземные. Шельфовые, что подходят для размещения в прибрежной зоне считаются наиболее перспективными. Они менее назойливые поскольку их очевидный размер и шум смягчен расстоянием. За счет того, что над водой отсутствуют явные неровности скорость ветра выше чем над землей, а также мощность электростанций. Установка шельфовых ветровых электростанций требует очень много затрат на планирование, которое включает в себя: измерение глубины воды, ток, поверхность морского дна, миграцию и волновое воздействие, все из которых стимулируют механическую и структурную нагрузку на потенциальные турбинные конфигурации. Другие факторы включают: соленость, обледенение и геотехнические особенности дна моря или озера. Из-за многих воздействующих факторов одна из самых больших трудностей с прибрежными ветровыми электростанциями - способность предсказать нагрузки на опоры. Фазы планирования и разрешения установки могут стоить больше чем \$10 миллионов, занять 5–7 лет и иметь неопределенный результат.[6]

Энергия ветра дает переменную мощность, которая очень стабильна из года в год, но имеет значительные колебания в течение коротких временных масштабов. Поэтому он используется в сочетании с другими источниками электроэнергии или батареями для обеспечения надежного питания. Поскольку доля энергии ветра в регионе увеличивается, может возникнуть необходимость в модернизации энергосистемы и снижении способности вытеснять обычное производство. Методы управления питанием, такие как наличие избыточной мощности, географически распределенные турбины,

отправляемые источники, достаточное количество гидроэлектроэнергии, экспорт и импорт электроэнергии в соседние районы, накопление энергии или снижение спроса при низкой выработке ветра, могут во многих случаях решить эти проблемы. Прогноз погоды позволяет подготовить электроэнергетическую сеть к предсказуемым изменениям в производстве.

По состоянию на 2015 год в мире эксплуатируется более 200 000 ветряных турбин, общая мощность которых составляет 432 ГВт. В сентябре 2012 года Европейский Союз передал мощность 100 ГВт, указанную в паспортной табличке, в то время как США превысили 75 ГВт в 2015 году, а мощность Китая, подключенная к сети, превысила 145 ГВт в 2015 году. В 2015 году ветроэнергетика составляла 15,6% от всей установленной мощности по производству электроэнергии в Европейском Союзе, и она производила около 11,4% своей мощности.[7]

Мощность ветроэнергетики в мире увеличилась более чем в четыре раза с 2000 по 2006 год, удваиваясь примерно каждые 3 года. Соединенные Штаты стали пионерами ветроэлектростанций. В 1997 году установленная мощность в Германии превзошла Соединенные Штаты и привела к тому, что в 2008 году США снова обогнали ее. В конце 2000-х Китай быстро расширял свои ветряные установки и в 2010 году обогнал Соединенные Штаты, став мировым лидером. По состоянию на 2011 год 83 страны мира использовали энергию ветра на коммерческой основе.[8]

Фактическое количество электроэнергии, которую может генерировать ветер, рассчитывается путем умножения мощности, указанной на паспортной табличке, на коэффициент мощности, который зависит от оборудования и местоположения. Оценки коэффициентов мощности для ветряных установок находятся в диапазоне от 35% до 44%.

Положительные стороны:

1. экологически чистое производство;
2. эргономика;
3. установка в труднодоступных местах.

Недостатки:

1. непостоянство выработки энергии;
2. необходимость накопления энергии;
3. шумовое загрязнение
4. опасность для живой природы;
5. высокая стоимость установки;
6. необходимость больших открытых пространств для установки батарей.

На данный момент ветровой потенциал Российской Федерации оценивается:

- совокупный 211 тыс. ГВт*ч;
- технический потенциал 16 тыс. ГВт*ч;
- экономический потенциал 81 ГВт*ч.[9]

На территории России зоны сильных ветров распределены достаточно неравномерно, можно заметить это рассмотрев карту ветровых ресурсов РФ (рис.1). На ней изображены ветроэнергетические ресурсы находящиеся на высоте 50 метров над уровнем земли. Согласно данной карте, наивысшие средние скорости ветра сосредоточены вдоль берегов таких морей как: Баренцево, Карское, Берингово и Охотское. Районы с относительно высокой скоростью ветра включают в себя побережья морей: Восточно-Сибирское, Чукотское и море Лаптевых на севере и Японское море на востоке.



Рисунок 1 – Карта ветровых ресурсов.

Существуют различия скорости ветра в разное время суток, на территории РФ ночью скорость ниже чем днем. В зимнее период эта разница заметно меньше. Средний годовой ход скорости ветра составляет порядка 1-3 м/с. Высших значений достигает ветер достигает в таких районах как: Красноярский и Забайкальский край, Иркутская область, республика Бурятия, Тува, Якутия, Тюменская область, Томская область, Омская область, Новосибирская область, Кемеровская область, Алтайский край, Республика Алтай, Курганская область, а также Северо-Западный округ, Центральный федеральные округ, большую часть Приволжского и Южного федеральных округов, Уральский федеральный округ.

1.1.2 Оценка потенциала использования геотермальной энергии.

Геотермальная энергетика - это направление энергетики использующая тепловую энергию недр земли для производства электрической энергии на геотермальных электростанциях или непосредственно горячего водоснабжения или отопления. Геотермический градиент, который является разницей температуры между ядром земли и поверхностью стимулирует

непрерывный выход тепловой энергии в виде пара. Геотермальная энергия считается возобновляемой потому, что тепло извлекаемое из недр много меньше по сравнению с теплосодержанием Земли. Геотермальные ресурсы Земли теоретически более чем достаточны для удовлетворения энергетических потребностей человечества, но лишь очень небольшая часть может быть выгодно использована. Бурение и разведка глубоких месторождений очень дороги. Прогнозы на будущее геотермальной энергетики зависят от предположений о технологиях, ценах на энергоносители, субсидиях, движении границ плит и процентных ставках. Пилотные программы, такие как GreenPowerProgram в EWEB, показывают, что клиенты будут готовы платить немного больше за такой возобновляемый источник энергии, как геотермальная энергия. Но благодаря правительственным исследованиям и опыту промышленности стоимость производства геотермальной энергии за последние два десятилетия снизилась на 25%. В 2001 году стоимость геотермальной энергии составляла от двух до десяти центов США за кВт*ч. [10]

Согласно классификации Международного энергетического агентства, источники геотермальной энергии делятся на 5 типов:[11]

1. месторождения геотермального сухого пара;
2. источники влажного пара (смеси горячей воды и пара);
3. месторождения геотермальной воды (содержат горячую воду или пар и воду);
4. сухие горячие скальные породы, разогретые магмой;
5. магма, представляющая собой расплавленные горные породы.

Геотермальные источники энергии делят на три типа:

- жидкостные установки;
- термальные установки;
- усовершенствованные геотермальные.

Жидкостные установки при высоких температурах (выше 200 °C) работают без участия насосов, мощность таких скважин составляет 2-10

МВт. Располагаются они вблизи молодых вулканов окружающих Тихий океани в рифовых зонах. При высоких температурах (120–200 ° С) нуждаются в насосах. Они распространены в протяженных территориях где, нагрев происходит посредством глубокой циркуляции вдоль разломов, таких как на западе США и в Турции. Вода проходит через теплообменник в бинарной установке цикла Ренкина. Вода испаряет органическую рабочую жидкость, которая приводит в движение турбину.

Термальные установки более низкой температурой производят энергетический эквивалент 100 млн баррелей в год. Источники с температурой 30–150 °С используются без преобразования в электроэнергию в качестве систем централизованного теплоснабжения, теплиц, рыбного хозяйства, добычи полезных ископаемых, промышленного отопления и купания в 75 странах. Тепловые насосы извлекают энергию из мелких источников при температуре 10–20°С в 43 странах для использования в системах отопления и охлаждения помещений. Обогрев домов является наиболее быстро растущим средством использования геотермальной энергии: ежегодные темпы роста в мире составляют 30% в 2005 году и 20% в 2012 году.

Усовершенствованные геотермальные установки (EGS) активно закачивают воду в скважины для нагрева и откачивания. Вода впрыскивается под высоким давлением, чтобы расширить существующие трещины в скалах, чтобы вода могла свободно течь внутрь и наружу. Методика была адаптирована из методов добычи нефти и газа. Тем не менее, геологические формации являются более глубокими, и никакие токсичные химические вещества не используются, что снижает вероятность нанесения ущерба окружающей среде. Бурильщики могут использовать направленное бурение, чтобы увеличить размер резервуара. [12]

Положительные стороны:

1. запасы данного вида энергии практически неисчерпаемы;
2. геотермальная энергия довольно широко распространена;

3. высокий КПД, порядка 80%;
4. низкая стоимость.

Недостатки:

1. слабая концентрации геотермальной энергии;
2. высокая сейсмичность данных регионов;
3. высокие экономические риски при поиске места бурения;
4. особое расположение вдоль границ тектонических плит;
5. отравление окружающей среды.

Россию можно поставить на первое место по потенциальным запасам источников геотермальной энергии. На данный момент геотермальный энергетический потенциал Российской Федерации оценивается:[9]

- общие запасы 2000 МВт;
- экономический потенциал 935 ГВт*ч в год.

Карта геотермальных ресурсов РФ (рис. 2) позволяет сформировать список регионов, обладающих потенциалом использования данного альтернативного источника. К числу подобных регионов можно отнести несколько регионов: Сахалин, Камчатка, Курильские острова, Краснодарский и Ставропольский край, республика Дагестан и республика Ингушетия.



Рисунок 2 – Карта геотермальных ресурсов.

Главными источниками геотермальных ресурсов стоит считать: Курильские острова, Сахалин и Камчатку. Все они слабо населены, в них слабо развита инфраструктура, а также эти регионы обладают высокой сейсмической активностью и достаточно сложным рельефом. Геотермальная энергетика выделена особым вниманием и готовится реализация создания геотермального энергообеспечения, разрабатывается программа. Так по примерным расчетам лишь энергетический потенциал Камчатки можно оценить в 5000 МВт.

1.1.3 Оценка потенциала использования приливной энергии

Приливная сила или приливная энергия - это форма гидроэнергии, которая преобразует энергию, полученную от приливов, в полезные формы энергии, в основном, электричество.

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, и что экономические и экологические издержки могут быть снижены до конкурентного уровня.[13]

Приливная сила берется из океанических приливов Земли. Приливные силы - это периодические изменения гравитационного притяжения небесных тел. Эти силы создают соответствующие движения или потоки в мировых океанах. Из-за сильного притяжения к океанам возникает выпуклость в уровне воды, вызывая временное повышение уровня моря. Когда Земля вращается, эта выпуклость океанской воды встречается с мелкой водой, прилегающей к береговой линии, и создает прилив. Это происходит в неизменной манере из-за постоянной орбиты луны вокруг Земли. Величина и характер этого движения отражают изменяющиеся положения Луны и Солнца относительно Земли, эффекты вращения Земли и местную географию морского дна и береговых линий.

Приливная сила - единственная технология, которая использует энергию, присущую орбитальным характеристикам системы Земля-Луна и в меньшей степени системе Земля-Солнце. Другие природные энергии, используемые человеческими технологиями, происходят прямо или косвенно от Солнца, включая ископаемое топливо, обычную гидроэлектростанцию, энергию ветра, биотоплива, волны и солнечную энергию. Ядерная энергия использует минеральные отложения Земли из делящихся элементов, в то время как геотермальная энергия использует внутреннее тепло Земли, которое происходит от сочетания остаточного тепла от планетарной аккреции (около 20%) и тепла, производимого в результате радиоактивного распада (80%).[14]

Приливный генератор преобразует энергию приливных потоков в электричество. Большие колебания прилива и более высокие скорости приливного течения могут значительно увеличить потенциал места для производства приливной электроэнергии.

Приливные электростанции (ПЭС) располагают на побережьях с максимальными перепадами уровней воды во время прилива и отлива. Принцип работы ПЭС таков: в заливе строится плотина, отделяющая часть его от океана. Во время прилива и отлива по разные стороны плотины

образуется перепад уровней воды, вода устремляется через плотину в сторону нижнего уровня и приводит в движение реверсивные турбины, вращающиеся то в одну (во время прилива), то в другую (во время отлива) сторону.

При выборе места для строительства ПЭС стоит обратить внимание, что самые высокие колебания уровня воды во время приливов присущи окраинным морям. Территории, находящиеся рядом с такими морями зачастую малонаселенны, и могут располагаться далеко от экономических центров, а, следовательно, и от крупных потребителей электроэнергии. Также стоит заметить, что маломощные ПЭС плохо окупаются, поэтому наиболее выгодными считаются ПЭС мощностью от 5 ГВт и выше. Строительство таких крупных проектов в малонаселенных районах может быть не всегда целесообразным.[15]

Положительные стороны:

1. надежность и продолжительный срок эксплуатации;
2. экологичность;
3. возможность расчета кол-ва получаемой энергии в долгосрочной перспективе;
4. низкая стоимость энергии.

Недостатки:

1. нарушение водного баланса;
2. определенные технологии ПЭС могут нанести вред морским обитателям;
3. эффекты электромагнитного поля и подводного шума, излучаемого работающими морскими энергетическими устройствами;

Мировая энергетика располагает позитивным опытом эксплуатации приливных электростанций. Ведь принцип работы ПЭС во многом схож с гидростанциями. Однако для их работы не требуется создания водохранилищ – плотины, внутри которых устанавливаются турбины, строятся на входах в заливы морей и океанов. Выработка ПЭС не зависит также и от водности

года. От гидростанций приливные отличает и низкий напор, вследствие чего турбины ПЭС имеют особую конструкцию.

На территории России максимальным приливным потенциалом обладают несколько морей, а именно: Баренцево море, Белое море и Охотское море. Остальные же моря не стоит списывать со счетов так, как разрабатываются технологии, позволяющие даже в регионах с небольшими приливами создавать ПЭС экономически оправданных мощностей. Часто приливную энергетику соотносят с гидроэнергетикой, хотя вред создаваемый ГЭС намного выше, стоит выделить затопление местности и ее заиление.

Потенциал энергии морских приливов в Российской Федерации приблизительно равен 110 ТВт*ч в год.

1.1.4 Оценка потенциала использования солнечной энергии

Солнечная энергия - это преобразование энергии солнечного света в электричество, либо непосредственно с помощью фотоэлектрической энергии, либо косвенно с помощью концентрированной солнечной энергии, либо в комбинации.

Общая солнечная энергия, поглощаемая атмосферой, океанами и земными массами Земли, составляет приблизительно 3 850 000 эксаджоулей (ЭДж) в год. В 2002 году это было больше энергии за один час, чем мир использовал за один год. Фотосинтез захватывает около 3000 ЭДж в год в биомассе. Количество солнечной энергии, достигающей поверхности планеты, настолько велико, что за один год — это примерно вдвое больше, чем когда-либо будет получено из всех не возобновляемых ресурсов Земли - угля, нефти, природного газа и добытого урана, вместе взятых. [16]

География влияет на потенциал солнечной энергии, потому что области, которые находятся ближе к экватору, имеют большее количество солнечной радиации. Тем не менее, использование фотоэлектрических элементов, которые могут следовать положению солнца, может значительно увеличить потенциал солнечной энергии в областях, которые находятся дальше от

экватора. Изменения во времени влияют на потенциал солнечной энергии, потому что в ночное время на поверхности Земли мало солнечной радиации для поглощения солнечными батареями. Это ограничивает количество энергии, которое солнечные батареи могут поглотить за один день. Облачный покров может повлиять на потенциал солнечных панелей, потому что облака блокируют поступающий свет от солнца и уменьшают свет, доступный для солнечных элементов.[17]

Системы концентрированной солнечной энергии используют линзы или зеркала и системы слежения, чтобы сфокусировать большую область солнечного света в небольшой луч. Фотоэлектрические элементы преобразуют свет в электрический ток с помощью фотоэлектрического эффекта. Первоначально фотогальваника использовалась в качестве источника электричества для малых и средних устройств, таких как калькулятор, питаемый от одного солнечного элемента, до удаленных домов, питаемых от автономной фотоэлектрической системы на крыше. Коммерческие концентрированные солнечные электростанции были впервые разработаны в 1980-х годах. Установка Ivanpah мощностью 392 МВт - крупнейшая в мире концентрирующая солнечная электростанция, расположенная в пустыне Мохаве в Калифорнии. Поскольку стоимость солнечного электричества упала, число солнечных фотоэлектрических систем, подключенных к сети, выросло до миллионов, строятся фотоэлектрические электростанции общего пользования с сотнями мегаватт. Солнечные фотогальванические технологии быстро становятся недорогой низкоуглеродной технологией для использования возобновляемой энергии Солнца. В настоящее время крупнейшей в мире фотоэлектрической электростанцией является Longyangxia Dam Solar Park мощностью 850 МВт в китайском городе Цинхай.[18,19]

Многие промышленно развитые страны установили значительно увеличили долю солнечной энергетики, чтобы дополнить или предоставить альтернативу традиционным источникам энергии, в то время как все большее

число менее развитых стран обратились к солнечной энергии, чтобы уменьшить зависимость от дорогого импортного топлива. Передача на большие расстояния позволяет удаленным возобновляемым источникам энергии вытеснять потребление ископаемого топлива. Солнечные электростанции используют одну из трёх технологий:[20]

- Фотоэлектрические (PV) системы используют солнечные панели либо на крышах, либо на наземных солнечных фермах, преобразуя солнечный свет непосредственно в электроэнергию.
- Установки с концентрированной солнечной энергией (CSP, также известна как «гелиоконцентратор») используют солнечную тепловую энергию для производства пара, который затем преобразуется в электричество с помощью турбины.
- Гибридная система объединяет фотоэлектрические системы и гелиоконцентраторы друг с другом или с другими формами генерации, такими как дизель, ветер и биогаз. Комбинированная форма генерации может позволить системе модулировать выходную мощность в зависимости от спроса или, по меньшей мере, уменьшить колеблющийся характер солнечной энергии и потребление не возобновляемого топлива. Гибридные системы чаще всего встречаются на островах.

В течение нескольких лет рост солнечной фотоэлектрической энергии во всем мире был обусловлен развертыванием в Европе, но с тех пор он сместился в Азию, особенно в Китай и Японию, и в растущее число стран и регионов по всему миру, включая, помимо прочего, Австралию, Канаду, Чили, Индию, Израиль, Мексику, Южная Африку, Южная Корею, Таиланд и США.

В мире рост производства фотоэлектрической энергии в среднем составлял 40% в год в период с 2000 по 2013 год, а общая установленная мощность достигла 303 ГВт в конце 2016 года, при этом наибольшее количество накопленных установок у Китая (78 ГВт), а в Гондурасе - самый

высокий теоретический процент годового потребления электроэнергии, которое может быть произведено солнечной фотоэлектрической энергией (12,5%). Крупнейшие производители находятся в Китае.

Концентрированная солнечная энергия (CSP) также начала быстро расти, увеличив свою мощность почти в десять раз с 2004 по 2013 год, хотя и с более низкого уровня, и охватывая меньше стран, чем солнечная фотоэлектрическая энергия. По состоянию на конец 2013 года, мировая совокупная мощность CSP достигла 3425 МВт.[21]

В 2010 году Международное энергетическое агентство прогнозировало, что мощность может достигнуть 3000 ГВт применяемой в мире солнечной фотоэлектрической энергетики или 11% от прогнозируемой глобальной выработки электроэнергии к 2050 году - этого достаточно для производства 4500 ТВт*ч электроэнергии. Четыре года спустя, в 2014 году, агентство прогнозировало, что по сценарию с «высокими возобновляемыми источниками энергии» солнечная энергия может обеспечить 27% мирового производства электроэнергии к 2050 году (16% от PV и 11% от CSP). [22]

Места с наибольшим годовым солнечным излучением находятся в засушливых тропиках и субтропиках. Пустыни, лежащие в низких широтах, обычно имеют мало облаков и могут получать солнечные лучи более десяти часов в день. Эти горячие пустыни образуют Глобальный Пояс Солнца, окружающий мир. Этот пояс состоит из обширных участков суши в Северной Африке, Южной Африке, Юго-Западной Азии, на Ближнем Востоке и в Австралии, а также в гораздо меньших пустынях Северной и Южной Америки. Согласно данным НАСА, восточная пустыня Сахара в Африке, также известная как Ливийская пустыня, считается самым солнечным местом на Земле.

Типичные факторы стоимости для солнечной энергии включают в себя стоимость модулей, раму для их хранения, проводку, инверторы, стоимость рабочей силы, любую землю, которая может потребоваться, подключение к сети, техническое обслуживание и солнечную изоляцию, которую получит

это место. С учетом инфляции в середине 1970-х годов стоимость солнечного модуля составляла 96 долларов за ватт. Согласно данным BloombergNewEnergyFinance, усовершенствования процессов и очень значительный рост производства привели к снижению этого показателя до 68 центов на ватт в феврале 2016 года. В 2016 году Пало-Альто-Калифорния подписала соглашение о оптовой покупке, которое обеспечивало солнечную энергию за 3,7 цента за киловатт-час. А в солнечном Дубае крупномасштабное производство электроэнергии на солнечной энергии в 2016 году было продано всего за 2,99 цента за киловатт-час - «конкурентоспособно с любой формой электроэнергии на основе ископаемого топлива - и дешевле, чем большинство».[23]

Фотоэлектрические системы не используют топливо, а модули обычно служат от 25 до 40 лет. Таким образом, капитальные затраты составляют большую часть стоимости солнечной энергии. Расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание новых солнечных электростанций в США оцениваются в 9 процентов от стоимости фотоэлектрической электроэнергии и 17 процентов от стоимости солнечной тепловой энергии. Правительства создали различные финансовые стимулы для поощрения использования солнечной энергии, такие как вводные тарифные программы. Кроме того, Стандарт возобновляемой электроэнергии (RenewableElectricityStandard) налагает правительственные полномочия, согласно которым коммунальные предприятия производят или приобретают определенный процент возобновляемой энергии независимо от увеличения затрат на закупку энергии. В большинстве штатов цели RES могут быть достигнуты с помощью любой комбинации солнечной, ветровой, биомассы, свалочного газа, океана, геотермальной энергии, твердых бытовых отходов, гидроэлектростанций, водорода или топливных элементов. [24]

Положительные стороны:

1. общедоступность и неисчерпаемость источника;

2. безопасность для окружающей среды;
3. возможность легко и быстро заменить отработанные элементы.

Недостатки:

1. сильная зависимость выработки энергии от погоды и времени суток;
2. необходимость аккумуляции энергии;
3. высокая стоимость установки и оборудования;
4. постоянный контроль за отражающими элементами;
5. нагрев атмосферы;
6. необходимость больших пространств для установки батарей.

Россия обладает не высоким потенциалом в области использования солнечной энергетики за счет того, что большая часть РФ удалена от экватора. Территория РФ расположена между 41 и 82 градусами северной широты, и уровни солнечной радиации на ее территории существенно варьируются (от 810 кВт*час/м² в год в северных регионах до 1400 кВт*час/м² в год и более в южных районах). Потенциал солнечной энергии в Российской Федерации оценивается:[9]

- совокупный 18720 тыс. ГВт*ч;
- технический потенциал в 18720 ГВт*ч;
- экономический потенциал в 101 ГВт*ч.

Ниже представлена карта солнечных энергоресурсов РФ (рис.3). На ней отмечены регионы по продолжительности солнечного сияния, основываясь на этом можно выделить наиболее перспективные для развития солнечной энергетики районы.



Рисунок 3 – Карта солнечных ресурсов.

Максимальным потенциалом обладают Южный и Северо-Кавказский федеральные округа. Также можно выделить юг таких округов как: Приволжский, Уральский. Отдельно стоит отметить субъекты: Омская область, Новосибирская область, Алтайский край, Алтай, Тува, Иркутская область, Бурятия, Забайкальский край, Приморский край, Хабаровский край, Магаданская область.

1.1.5 Оценка потенциала использования волновой энергии.

Волновая энергетика – одно из направлений альтернативной гидроэнергетики, использующей энергию морских и океанических волн и течений. Волновая энергетика является одним из наиболее перспективных секторов возобновляемых источников энергии т.к. энергия волн океанов превосходит по удельной мощности как ветровую, так и солнечную энергию.[25]

Волны генерируются ветром, проходящим над поверхностью моря. Пока волны распространяются медленнее скорости ветра над волнами, происходит передача энергии от ветра к волнам. Разница между давлением воздуха между подветренной и наветренной сторонами гребня волны, а также трение

о поверхность воды от ветра, заставляющая воду переходить в напряжение сдвига, вызывает рост волн. Высота волны определяется скоростью ветра, продолжительностью ветра, расстоянием, на которое ветер возбуждает волны, а также глубиной и рельефом морского дна (который может фокусировать или рассеивать энергию волн). У заданной скорости ветра есть соответствующий практический предел, по которому время или расстояние не будут производить большие волны. Когда этот предел достигнут, море считается «полностью развитым». [26]

Мировой ресурс энергии прибрежных волн, по оценкам, превышает 2,7 ТВт. Места с наибольшим потенциалом для использования энергии волн включают западное побережье Европы, северное побережье Великобритании и тихоокеанские береговые линии Северной и Южной Америки, Южной Африки, Австралии и Новой Зеландии. Северная и южная умеренные зоны имеют лучшие места для захвата энергии волн. Преобладающие западные районы в этих зонах дуют сильнее всего зимой.[27]

Волновые преобразователи энергии обычно классифицируются по методу, используемому для захвата или использования энергии волн, по местоположению и системе отбора мощности. Местоположения - береговая линия, прибрежные и для открытого моря. Типы отбора мощности включают в себя: гидроцилиндр, эластомерный шланговый насос, насос-берег, гидроэлектрическую турбину, воздушную турбину, и линейный электрический генератор. При оценке энергии волны как технологического типа важно различать четыре наиболее распространенных подхода: буи с точечными поглотителями, поверхностные аттенюаторы, колеблющиеся водяные столбы и устройства перекрытия. [28]

Волновая ферма - представляет собой набор машин, расположенных в одном месте и используемых для выработки электроэнергии на основе волновой энергии. Волновые фермы могут быть как для открытого моря, так и прибрежными, причем первые наиболее перспективны для производства большого количества электроэнергии для сети. Первая волновая ферма была

построена в Португалии, волновая ферма Агузадура, состоящая из трех машин Pelamis.

Волновые фермы были созданы в множестве стран: [29]

- Испания - волнорезовая установка MutrikuBreakawWave - первая в мире волнорезная установка с несколькими турбинами. Мощность станции составляет 296 кВт из 16 турбин и 16 OWC.
- Португалия - волноводная ферма Агузадура была первой в мире волновой фермой коммерческого масштаба. Суммарная установленная мощность которого составила 2,25 МВт.
- Италия - компания 40South Energy имеет свой морской испытательный полигон в Кастильончелло, Италия, и планирует обновить его до коммерческой фермы WaveEnergy.
- Россия - в 2013 году компания OceanRusEnergy, расположенная в Екатеринбурге, продемонстрировала линейку волновых генераторов мощностью от 160 Вт до 1 МВт (планируется). Их модульная конструкция позволяет собирать волновые электростанции нужной мощности. В отличие от других проектов в области волновой энергетики, он нацелен на мелкое и частное производство электроэнергии.

В нашей стране оптимальным регионом для строительства волновых электростанций, является Охотское море, а именно берега Дальнего Востока и Курильских островов. Средняя высота волн и их удельная мощность в данных регионах, позволяют эффективно использовать этот возобновляемый источник энергии.

После того как в состав России вошел Крым, возникла острая проблема в обеспечении его энергией так как эта потребность в электричестве покрывалась лишь на 20-30%. Средняя высота волн черноморского побережья, также позволяет эффективно использовать волновые энергетические установки.[25]

Положительные стороны:

- продолжительный срок эксплуатации;
- низкая стоимость энергии;
- защитная функция;
- экологическая безопасность.

Недостатки:

- риск поражения морских млекопитающих и рыб лопатками приливных турбин;
- эффекты электромагнитного поля и подводного шума, излучаемого работающими морскими энергетическими устройствами;
- физическое присутствие морских энергетических устройств и их потенциал для изменения поведения морских млекопитающих, рыб и морских птиц с привлечением или избеганием;
- потенциальное влияние на морскую среду ближнего и дальнего поля и такие процессы, как перенос наносов и качество воды.

В ходе проведенного анализа было выявлено, что потенциал России в сфере ВИЭ в прибрежной зоне масштабен. Каждый из выбранных ресурсов обладает большим запасом и существует возможность его дальнейшей разработки. Однако существуют значительные проблемы, которые не позволяют реализовать столь масштабный потенциал. Несмотря на все разнообразие источников для последующего анализа была выбрана приливная энергетика за счет своей надежности, также как одна из самых дешевых, перспективных и наиболее подходящая для размещения в прибрежной зоне.

1.2. Государственная политика РФ в отношении альтернативных источников энергии.

Вопросы развития ВИЭ в СССР слабо затрагивался, большинство

проектов были экспериментальными. В целом политика СССР в сфере энергетики была достаточно деструктивной, существовала вера в неисчерпаемость ресурсов таких как уголь, газ, нефть. Реализация энергетической программы СССР, принятой и одобренной ЦК КПСС в 1983 году затронула тему ВИЭ. Главной частью этой программы первоначально было развитие ядерной энергетики как основного направления решения энергетических проблем в СССР, но из-за аварии в 1986 г. на ЧАЭС была выпущена новая редакция. Так это событие показало, что вопрос безопасности в ядерной энергетике не решен до конца, недостаточен уровень технического развития, но несмотря на это ВИЭ в энергетической программе уделялась одна страница, где говорилось о намерении создать материально-техническую базу для ВИЭ, а также упоминался потенциал ВИЭ. Но из-за некоторых социально-экономических и политических перемен в советском государстве Энергетическая программа СССР не была завершена. [30]

Сейчас ситуация находится не в самом лучшем положении, после сворачивания энергетической программы планы о развитии ВИЭ были забыты. Хотя и проводились некоторые исследования и разработки, но сильная поддержка со стороны государства отсутствовала, особенно в момент резкого увеличения цен на нефть.

К основополагающим документам, регулирующим использование ВИЭ в России, следует отнести:

1. Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ “Об электроэнергетике”.

Этот закон дает определение возобновляемым источникам энергии, устанавливает полномочия государственных органов власти в области регулирования и поддержки использования ВИЭ, приводит механизмы государственного регулирования использования ВИЭ: [31]

1. обязательное возмещение (покупка) сетевыми компаниями потерь электрической энергии в сетях, в первую очередь, за счет энергии,

произведенной на квалифицированных генерирующих объектах на основе ВИЭ;

2. предоставление из федерального бюджета субсидий в порядке компенсации стоимости технологического присоединения генерирующих объектов на основе ВИЭ мощностью до 25 МВт и признанных квалифицированными объектами;
 3. установление надбавки, прибавляемой к равновесной цене оптового рынка, для электроэнергии, произведенной на основе ВИЭ;
 4. осуществление другой поддержки использования ВИЭ в соответствии с бюджетным законодательством Российской Федерации.
2. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 № 1-р “Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года”. Данное распоряжение определяет цели и принципы использования ВИЭ, содержит целевые показатели объема производства и потребления электроэнергии, произведенной на ВИЭ, а также включает меры по достижению этих целевых показателей. [32]
3. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2020 года (одобрена распоряжением Правительства РФ от 22.02.2008 № 215-р). Данная схема содержит прогноз возможностей развития электростанций на базе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и рекомендации по вводу генерирующих мощностей объектов на основе ВИЭ в период до 2030 г. [33]

4. Распоряжение Правительства РФ от 04.10.2012 № 1839-р “Об утверждении комплекса мер стимулирования производства электрической энергии генерирующими объектами, функционирующими на основе использования возобновляемых источников энергии”. Данный комплекс мер предусматривает:[34]

1. внесение изменений в Правила квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе ВИЭ;
2. утверждение методических указаний расчета цен (тарифов) на электрическую энергию (мощность), произведенную на основе ВИЭ и приобретаемую на розничных рынках в целях компенсации потерь в электрических сетях;
3. разработку Правил выдачи, обращения и погашения сертификатов ВИЭ;
4. выработку предложений по локализации производства оборудования.

На данный момент реализация ВИЭ на территории РФ ведется Министерством энергетики Российской Федерации, была создана программа «Энергоэффективность и развитие энергетики». Шестая подпрограмма «Развитие использования возобновляемых источников энергии» обеспечивает решение двух задач: [35]

- развитие использования ВИЭ и повышение экологической эффективности;
- содействие инновационному развитию топливно-энергетического комплекса.

Основные мероприятия:

- строительство объектов ВИЭ;

- создание инфраструктуры;
- субсидирование в области использования ВИЭ.

Причины низких темпов развития энергетики на основе ВИЭ определены несколькими факторами:

- отсутствие программ поддержки широкомасштабного использования ВИЭ;
- неконкурентоспособность альтернативных источников энергии с ископаемыми в существующей рыночной среде;
- низкий уровень технологического развития, недостаток уровня и качества научного обслуживания;
- отсутствие инфраструктуры;
- отсутствие нормативно-технических и методических документов, программных средств.

Также стоит упомянуть, что в 2014 году Россия вступила в Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA). IRENA является межправительственной организацией, способствующей внедрению возобновляемой энергии во всем мире. Он направлен на предоставление конкретных политических рекомендаций и содействие наращиванию потенциала и передаче технологий. IRENA была образована в 2009 году, когда 75 стран подписали устав IRENA. По состоянию на апрель 2019 года IRENA насчитывает 160 государств-членов. Тогдашний Генеральный секретарь Организации Объединенных Наций Пан Ги Мун заявил, что возобновляемые источники энергии способны поднять самые бедные страны на новый уровень процветания, и в сентябре 2011 года он выступил с инициативой ООН «Устойчивая энергетика для всех», направленной на улучшение доступа к энергии и ее эффективности. и развертывание возобновляемых источников энергии. [36]

2. Приливная энергетика.

2.1. Виды технологий преобразования приливной энергии.

Для последующего анализа необходимо классифицировать методы преобразования приливной энергии и выбрать наиболее подходящие для использования на территории РФ. На данный момент существуют две опробованных и массово применяемых технологии получения электричества из приливов:

Генератор приливного потока – генератор электроэнергии, который использует кинетическую энергию воды, подобно тому, как ветряные генераторы используют энергию ветра.

Некоторые из приливных генераторов могут быть встроены в опоры мостов, не создавая эстетических проблем. Целесообразна установка таких турбин в проливах, где скорость потока воды увеличивается. Приливные турбины могут быть вертикальные и горизонтальные, открытые или в обтекателе.[37]

Приливные плотины – технология использует потенциальную энергию разности уровней воды во время приливов и отливов. Плотины захватывают воду во время приливов и удерживают её. Во время отлива, вода возвращается в океан, приводя в движения турбины генераторов и вырабатывая электроэнергию. [38]

Также на данный момент разрабатываются два новых способа получения энергии:

Динамическая приливная электростанция – новая технология, которая использует взаимодействие кинетической и потенциальной энергии потока.

Для реализации предполагается строить плотины прямо в открытом море, длиной около 30-50 км. В результате вся масса воды будет ускоряться в одном направлении. Генерировать электроэнергию будут обычные низконапорные гидротурбины. [39]

Приливные лагуны – технология предполагает строительство круговых плотин с турбинами. Созданные водоемы аналогичны тем, которые образуются приливными плотинами. Разница в том, что приливные лагуны являются полностью искусственными объектами, и не будут содержать экосистему океана. [40]

2.1.1 Генератор приливного потока.

Генератор приливного потока, который часто называют как преобразователь приливной энергии (tidalenergyconverter (TEC)), представляет собой машину, которая извлекает энергию от движущихся масс воды, в частности, приливов и отливов. Некоторые типы этих машин очень похожи на подводные ветряные турбины (рис. 1), и поэтому их часто называют приливными турбинами. Впервые они были задуманы в 1970-х годах во времена нефтяного кризиса.[41]



Рисунок 1 – Генератор приливного потока Seagen.

Существует несколько типов генераторов приливных течений:[42]

- Осевые турбины. По своей концепции они близки к традиционным ветряным мельницам, но работают под водой. У них есть большинство прототипов, работающих в настоящее время
- Турбины с поперечным потоком. Эти турбины, изобретенные Жоржем Даррейусом в 1923 году и запатентованные в 1929 году, могут устанавливаться как вертикально, так и горизонтально.
- Колеблющиеся устройства. В колебательных устройствах нет вращающегося компонента, вместо этого используются секции аэродинамических поверхностей, которые выталкиваются потоком вбок. Извлечение мощности колеблющегося потока было доказано с помощью всенаправленной или двунаправленной ветряной мельницы Wing'd Pump. В течение 2003 года у шотландского побережья было испытано колеблющееся устройство гидросамолета мощностью 150 кВт, Stingray. Stingray использует подводные крылья для создания колебаний, что позволяет ему создавать гидравлическую мощность. Эта гидравлическая мощность затем используется для питания гидравлического двигателя, который затем включает генератор.
- Эффект Вентури. Устройства с эффектом Вентури используют кожух или канал для создания перепада давления, который используется для запуска вторичного гидравлического контура, который используется для выработки энергии. Устройство, HydroVenturi, было испытано в заливе Сан-Франциско.
- Турбины приливных воздушных змеев. Турбины приливных воздушных змеев представляет собой подводную систему воздушных змеев или параван (рис. 2), которая преобразует

приливную энергию в электричество, перемещаясь через приливный поток.

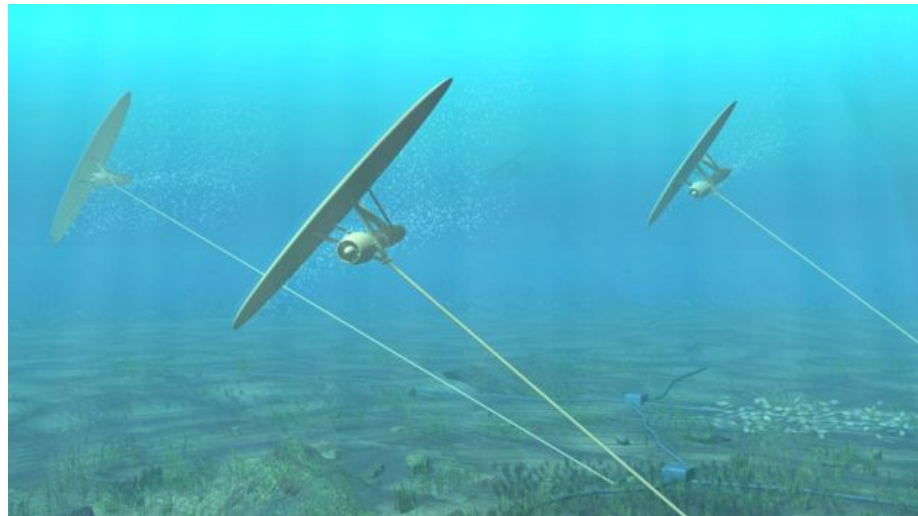


Рисунок 2 – Турбины приливных воздушных змеев.

Мощность турбины

Преобразователи приливной энергии могут иметь различные режимы работы и, следовательно, различную выходную мощность. Если коэффициент мощности устройства "Ср" известен, то приведенное ниже уравнение может использоваться для определения выходной мощности гидродинамической подсистемы машины. Эта доступная мощность не может превышать мощность, налагаемую пределом Бетца для коэффициента мощности, хотя это можно в некоторой степени обойти, поместив турбину в кожухе или воздуховоде. Это работает, по сути, путем нагнетания воды, которая не протекала бы через турбину через диск ротора. В этих ситуациях это не лобовая часть воздуховода, а турбина, которая используется в расчет коэффициента мощности и, следовательно, предел Бетца по-прежнему применяется к устройству в целом.

Энергия, доступная от этих кинетических систем, может быть выражена как:[43]

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

где:

C_P = коэффициент мощности турбины

P = генерируемая мощность (в ваттах)

ρ = плотность воды (морская вода составляет 1027 кг / м³)

A = площадь развертки турбины (в м²)

V = скорость потока

2.1.2 Приливные плотины.

Приливная плотина - плотина, используемая для захвата энергии от массы воды, движущейся внутрь и обратно из залива или реки из-за приливных сил. Вместо того, чтобы перекрывать воду с одной стороны, как обычная плотина, приливные заграждения позволяют воде течь в залив или реку во время прилива и выпускают воду во время отлива (рис. 3). Это делается путем измерения приливного потока и управления шлюзами в ключевые моменты приливного цикла. У этих шлюзов установлены турбины, которые улавливают энергию по мере того, как вода течет внутрь и наружу.



Рисунок 3 – Приливная плотина Ля-Ранс.

Есть несколько методов применяемых для преобразования энергии в приливных плотинах:

1. Выработка отливом.
2. Выработка затоплением
3. Накачка
4. Двухбассейновые схемы

1.)Бассейн заполняется через шлюзы до прилива. Затем шлюзовые ворота закрываются. (На этом этапе возможна «прокачка», чтобы поднять уровень дальше). Турбинные ворота остаются закрытыми до тех пор, пока уровень моря не упадет, чтобы создать достаточный напор через заграждение. Вентили открываются так, что турбины генерируют, пока напор снова не опустится. Затем шлюзы открываются, турбины отключаются, и бассейн снова заполняется. Цикл повторяется с приливами. Генерация отлива (также известная как генерация оттока) берет свое имя, потому что генерация происходит, когда начинается отлив.

2.) Бассейн заполняется турбинами, которые генерируются во время прилива. Это, как правило, гораздо менее эффективно, чем генерация приливов, потому что объем, содержащийся в верхней половине бассейна (где и происходит генерация приливов), больше объема нижней половины (заполненного первым во время генерации паводков). Следовательно, имеющаяся разность уровней - важная для вырабатываемой мощности турбины - между стороной бассейна и морской стороной заграждения уменьшается быстрее, чем при генерации приливов. Реки, впадающие в бассейн, могут дополнительно уменьшить энергетический потенциал, а не увеличивать его, как при генерации приливов.

3.) Турбины могут получать энергию в обратном направлении от избыточной энергии в сети, чтобы повысить уровень воды в бассейне во время прилива (для генерации приливов). Большая часть этой энергии возвращается во время генерации, потому что выходная мощность сильно связана с головой. Если вода поднимается на 0,5 м при откачивании во время прилива 3 м, она будет подниматься на 3,7 м во время отлива.

4.) Другая форма конфигурации энергетического заграждения - это тип двойного бассейна. С двумя бассейнами один заполнен во время прилива, а другой опустошен во время отлива. Турбины размещаются между бассейнами. Схемы с двумя бассейнами предлагают преимущества по сравнению с обычными схемами в том смысле, что время генерации можно регулировать с высокой гибкостью, а также возможно генерирование практически непрерывно. В нормальных устьевых ситуациях, однако, схемы с двумя бассейнами очень дороги для строительства из-за стоимости дополнительной длины заграждения. Однако есть несколько благоприятных географических регионов, которые хорошо подходят для такого типа схем.[44]

Расчеты энергии

Энергия, доступная от заграждения, зависит от объема воды. Потенциальная энергия, содержащаяся в объеме воды:[45]

$$E = \frac{1}{2} A \rho g h^2$$

где:

h – разница между приливом и отливом,

A - горизонтальная площадь заграждения бассейна,

ρ - плотность воды = 1025 кг на кубический метр (морская вода варьируется от 1021 до 1030 кг на кубический метр) и

g - ускорение силы тяжести Земли = 9,81 метра в секунду в квадрате.

Приливные плотины имеют высокую стоимость создания и очень низкие эксплуатационные расходы. В результате приливные плотины могут не приносить доход в течение многих лет, и инвесторы могут неохотно участвовать в таких проектах. Правительства в состоянии финансировать силу приливов и отливов, но многие не желают этого делать также из-за задержки времени до возврата инвестиций и высокой необратимой приверженности. Например, энергетическая политика Великобритании признает роль приливных плотин и требует от местных советов понимания более широких национальных целей использования возобновляемых источников энергии при утверждении проектов приливов и отливов. Правительство Великобритании само ценит техническую жизнеспособность и доступные варианты размещения, но не смогло обеспечить значимые стимулы для продвижения этих целей вперед.[44]

2.1.3 Динамическая приливная электростанция.

Динамическая приливная мощность (Dynamic tidal power) или DTP - это не опробованная, но многообещающая технология для производства приливной энергии. Это будет связано с созданием длинной плотины, перпендикулярной побережью, с возможностью создания параллельного

побережью барьера на дальнем конце, образующего большую Т-образную форму. Эта длинная Т-образная плотина будет мешать гидродинамике приливно-параллельных волн, создавая перепады уровня воды на противоположных сторонах барьера, которые приводят в движение ряд двунаправленных турбин, установленных в плотине. Колебательные приливные волны, которые проходят вдоль берегов континентальных шельфов и содержат мощные гидравлические течения, распространены, например, в Китае, Корее и Великобритании. Концепция была изобретена и запатентована в 1997 году голландскими прибрежными инженерами КисомХулсбергенем и РобомСтейном.[39,46]

Плотина DTP представляет собой длинный барьер длиной 30 км и более, который построен перпендикулярно побережью и простирается прямо в море, не ограждая территорию (рис.4). На многих побережьях мира основное приливное движение проходит параллельно береговой линии: вся масса океанской воды ускоряется в одном направлении, а затем днем назад - в другую. Дамба DTP достаточно длинна, чтобы оказывать влияние на горизонтальное приливное движение, которое создает перепад уровня воды (напор) по обеим сторонам плотины. Головка может преобразовывать энергию с помощью длинной серии обычных турбин с низким напором, установленных в плотине.[47]

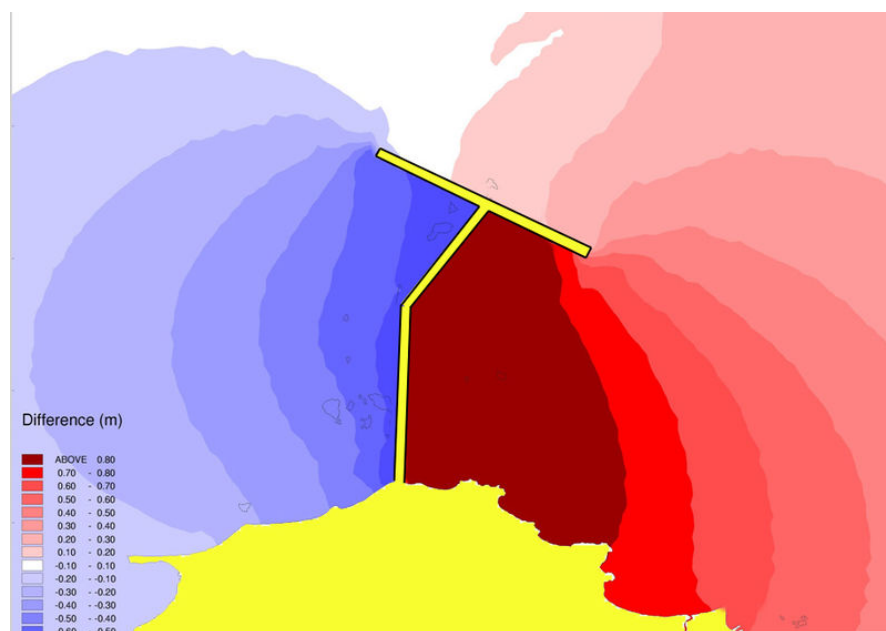


Рисунок 4 - Плотина ДТР (синий и темно-красный цвета обозначают приливы и отливы соответственно).

Плюсы данной технологии:

1. Высокая выходная мощность
2. Стабильная сила
3. Высокая доступность
4. Потенциал для комбинированных функций

1.) Предполагается, что некоторые из крупнейших плотин могут обладать мощностью более 15 ГВт (15000 МВт). Плотина ДТР с установленной мощностью 8 ГВт и коэффициентом мощности около 30% может генерировать около 21 ТВт*ч в год. Чтобы оценить это число, среднестатистический житель Европы потребляет около 6800 кВт*ч в год, поэтому одна плотина ДТР может обеспечить энергией около 3 миллионов человек.

2.) Генерация приливной силы очень предсказуема благодаря детерминированному характеру приливов и не зависит от погодных условий или изменения климата. Выходная мощность изменяется в зависимости от приливной фазы (приливы, отливы, пружины), но эффекта от более коротких

сроков можно избежать, если объединить две плотины, расположенные на определенном расстоянии друг от друга (порядка 150–250 км), каждая из которых генерирует максимальный выход электроэнергии, когда другой генерирует минимальный выход. Это обеспечивает предсказуемую и достаточно стабильную генерацию базы в энергосистеме.

3.) Динамическая приливная электростанция не требует очень большой естественной приливной дальности, но вместо этого открытого побережья, где приливное распространение идет вдоль берега. Такие приливные условия можно найти во многих местах по всему миру, что означает, что теоретический потенциал DTP очень высок. Например, вдоль побережья Китая общий объем доступной мощности оценивается в 80–150 ГВт.

4.) Длинная плотина может сочетаться с различными другими функциями, такими как защита прибрежных районов, глубоководные порты и порты СПГ, объекты аквакультуры, контролируемая мелиорация земель и связи между островами и материком. Эти дополнительные функции могут разделить инвестиционные затраты, помогая тем самым снизить цену за кВт*ч.

Проблема реализации данной технологии заключается в том, что доказательство функционирования можно продемонстрировать только на практике. Тестирование концепции DTP в небольшом масштабе в рамках демонстрационного проекта было бы неэффективным, поскольку почти не было бы никакой энергии. Даже при длине плотины 1 км или около того, потому что принцип DTP таков, что мощность выработки электроэнергии увеличивается при увеличении квадрата длины плотины (при увеличении длины плотины увеличивается и напор, и объем более или менее линейным образом, что приводит к квадратичному увеличению выработки электроэнергии). По оценкам, экономическая жизнеспособность достигается при длине плотины около 30 км.

2.1.4 Приливная лагуна.

Новый вариант проектирования приливной энергии заключается в создании круглых подпорных стенок с турбинами, которые могут улавливать потенциальную энергию приливов. Созданные водохранилища похожи на приливные заграждения, за исключением того, что это место является искусственным и не содержит уже существующей экосистемы. Лагуны также могут быть в двойном (или тройном) формате без накачки или с накачкой это сгладит выходную мощность. Мощность накачки может быть обеспечена за счет превышения потребляемой сетью возобновляемой энергии, например, от ветряных турбин или солнечных фотоэлектрических батарей. Избыточную возобновляемую энергию, можно было бы использовать и хранить в течение более позднего периода времени. Географически рассредоточенные приливные лагуны с задержкой по времени между пиковой выработкой также сгладили бы пиковую выработку, обеспечивая производство почти базовой нагрузки, хотя при более высокой стоимости, чем некоторые другие альтернативы, такие как хранение возобновляемой энергии централизованного теплоснабжения. Отмененная приливная лагуна Суонси Бэй в Уэльсе (рис. 5), Великобритания, была бы первой приливной электростанцией такого типа после постройки.[48]



Рисунок 5 – Проект приливной лагуны Суонси Бей

2.2. Критерии выбора места.

При выборе створа ПЭС прежде всего следует определить величину прилива и размеры установки. Поскольку мощность и энергия, которые может дать ПЭС, зависят от квадрата величины прилива, наиболее эффективными будут участки побережья, на которых наблюдаются наибольшие приливы. Минимальная величина прилива, при которой возможно оправдать создание ПЭС, зависит от конкретной энергоэкономической ситуации в районе действия будущей ПЭС. Поэтому невозможно априори регламентировать минимальную величину прилива, при которой сооружение ПЭС может быть оправдано. Например, ПЭС Странгфорд-Лох при величине прилива 2—4 м после резкого увеличения цен на нефть, которая является основным источником энергии в Сев. Ирландии, оказалась экономически обоснованной, а уменьшение средней величины прилива вследствие резонанса с 10 до 7 м в одном из створов Камберленд привело к отказу от этого створа.[49]

2.3. Реализация приливной электроэнергетики в мире.

Исторически, приливные мельницы использовались и в Европе, и на Атлантическом побережье Северной Америки. Приливая вода содержалась в больших запрудах, и когда происходил отлив, это поворачивало водяные колеса, которые использовали механическую энергию, которые в свою очередь приводило в действие мельницу. Самая раннее использование датируется в Средневековье, или даже с римские времена. Процесс использования падающей воды и вращения турбин, чтобы создать электричество был впервые использован в США и Европе в 19-м веке.[50]

На данный момент существует большое количество разных приливных электростанций, они используют разные технологии. Ниже представлена

таблица с электростанциями,используемыми в промышленных целях (таблица 1).

Таблица 1 – Промышленные ПЭС.

Приливная электростанция	Мощность (МВт)	Страна	Год постройки
ПЭС «Сихва»	254	Южная Корея	2011
ПЭС «Ля-Ранс»	240	Франция	1966
Королевская электростанция Аннаполиса	20	Канада	1984
ПЭС «Цзянься»	3,2	Китай	1980
ПЭС «Кислая губа»	1,7	Россия	1968
ПЭС «Ульдолмок»	1,5	Южная Корея	2009
ПЭС «Восточная Шельда»	1,25	Нидерланды	2015
ПЭС залива Странгфорд-Лох «SeaGen» (Демонтирована в 2017)	1,2	Великобритания	2008

Из всего списка ПЭС стоит отметить, что все они являются приливными плотинами, кроме «SeaGen», которая была демонтирована в 2017 году.

Условно эти ПЭС можно разделить на две группы:

- высокомошные ПЭС (мощность выше 100 МВт)
- маломощные ПЭС (мощность ниже 100 МВт)

Для наглядности ПЭС из данного списка были нанесены на карту распределения полусуточной приливной амплитуды во всем мире (рис. 6).

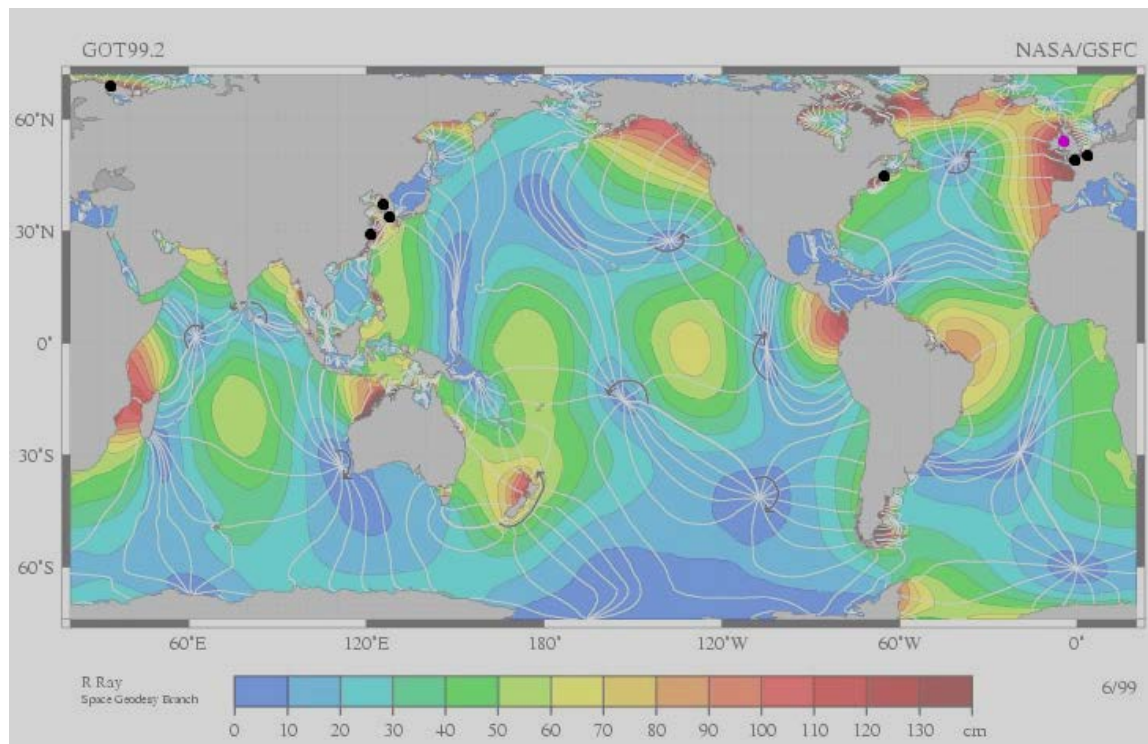


Рисунок 6 – Карта распределение полусуточной приливной амплитуды во всем мире с нанесенными на ней действующими (черный) и недействующими (фиолетовый) ПЭС.

Если проанализировать данную карту можно заметить, что все ПЭС находятся в зонах с амплитудой больше 1м, что является определенным условием в выборе расположения. Для более подробного анализа следует провести обзор всех ПЭС.

2.3.1. Высокомощные ПЭС.

Ля-Ранс.

Заграждение простирается на 750 метров, между Пуант де ла Бреби на западе и Пуант де ла Брианте на востоке (рис.7). Оно расположено на юге Динар и Сен-Мало, в устье реки Ранс. Оно создает водохранилище площадью 22 км².



Рисунок 7 – Приливная электростанция Ля-Ранс.

Шлюз в западной части заграждения открывает передвижение судов между бассейном и морем. Этот шлюз, 65 м длинной и 13 м шириной, позволяет переход 22 000 кораблей в год между Ламаншем и Ранс. Мост-дорога, поднимающийся выше шлюза, позволяет преодолевать судам более чем 4 метров надводного габарита.[51]

Электричество производится 24 группами луковичных турбин (турбины Kaplan), позволяющими произвести электричество благодаря массовому перемещению воды явлением приливов (в обоих направлениях).

В 2010, Бретань производила 9,3% электричества, которое она потребляла. В этом проценте, одна четверть (26%) приходится на приливную электростанцию, то есть 2,4% потребностей в электричестве региона; в 2015 году 2,7% потребностей региона в электричестве. В порядке сравнения, наземный ветряной двигатель представляет 45% местной продукции

электричества. Энергия, импортирующаяся соседними регионами, главным образом ядерного происхождения. Таким образом, приливная электростанция способствует тому, чтобы сокращать важный энергетический дефицит этого региона.

Ежегодное производство электричества порядка 500 ГВт*ч, (491 ГВт*ч в 2009, 523 ГВт*ч в 2010, 449 ГВт*ч в 2013), производство такого кол-ва электроэнергии может закрыть потребности города с числом жителей порядка 225 тыс., такой как Ренна. Со стоимостью производства электричества, оцененной по 0,018 евро кВт*ч, приливная энергия, произведенная ПЭС «Ля-Ранс» более конкурентоспособна в экономическом плане, чем ядерная энергия (0,0598 евро кВт*ч).[52]

Приливная электростанция Ля-Ранс является также туристическим объектом, который в 2006 году привлек более 70 000 человек. В плотине находится Музей приливных электростанций «Дискавери». Провинциальная дорога проходит через плотину и позволяет транспортным средствам связывать Динар с Сен-Мало. До строительства плотины необходимо было объезжать через мост Сен-Юбер до Плуэра-сюр-Ранс, чтобы переместиться из города в город на машине.[53]

Сихва.

Электростанция располагается на северо-западном побережье Южной Кореи в провинции Кёнгидо на западе от города Ансан примерно в 40 км к юго-западу от Сеула, столицы Республики Кореи. Она использует силу Жёлтого моря, расположенного между Корейским полуостровом и Китаем. По причине большой площади залива и относительно небольшой глубины возникают сильные приливы. В бухте Асан, от которой отделен залив Сихва, прилив составляет порядка 8 метров (рис.8).[54]



Рисунок 8 – Спутниковый снимок Сихвинской ПЭС.

Параллельно со строительством электростанции с обеих сторон дамбы насыпаны два искусственных острова, «остров людей» и «остров природы», который планируется использоваться для туристических и рекреационных целей.

В таблице 2 приведены технические характеристики Сихвинской ПЭС.[55]

Таблица 2 – Технические данные ПЭС «Сихва».

Водохранилище/-Дамба:	Характеристики:
Длина дамбы	12,7 км
Объём водохранилища	324 миллионов. м ³
Площадь поверхности водохранилища	56,5 км ²
Пропускные сооружения	8 заслонок, 15,3 м × 12 м (открываются при отливе)
Расход морской воды	приблизительно 160 миллионов м ³ /день (соответствует приблизительно 50 % объёмов водохранилища)
Высота прилива	7,5 м

Электростанция:	Характеристики:
Годовая выработка	550 ГВт-ч (ориентировочно соответствует потребности города в полмиллиона человек)
Высота падения воды	5,82 м
Количество турбин	10 штук

Культурный центр прилива Шихинара, Лунная обсерватория.

Павильон культуры приливов и отливов SihwaNarae, который открылся в июне 2014 года, находится рядом с плотиной. Строительство проекта началось в октябре 2012 года с общей суммой 181,4 млн. долларов (3910 м²). Проект состоит из четырех этажей: подземного первого этажа и трех этажей над землей. Здание включает в себя: выставочный зал архитектурного дизайна, символизирующего приливную силу, и «Лунной башни» высотой 75 м (рис. 9).



Рисунок 9 - «Лунная башня» павильона культуры приливов.

В выставочном зале проводятся опыты и выставки на тему науки о генерации приливной энергии, луны, воды, жизни и энергии. Верхняя часть «Лунной башни» представляет из себя космический корабль или стеклянное помещение в форме круглого диска, откуда открывается панорамный вид на западное море и озеро Сихва. Есть также секция пола из прозрачного стекла, которую можно увидеть прямо под смотровой площадкой. После захода солнца, в 11 часов вечера, в але наблюдения луны отображается медиафасад с художественными изображениями, освещающими светодиодными фонарями на наружных стенах здания.[56]

2.3.2. Маломощные ПЭС.

Аннаполис.

Королевская электростанция Аннаполиса открыта в 1984, была построена NovaScotiaPowerCorporation (рис.10).



Рисунок 10 – ПЭС «Аннаполис».

Приливная электростанция на 20 МВт, расположенная на реке Аннаполис выше по течению города Аннаполиса, Новая Шотландия, Канада. «Аннаполис» - единственная приливная электростанция в Северной Америке. Электростанция использует приливное различие, созданное большими потоками в Бассейне Аннаполиса, подбассейна залива Фанди.[57]

Цзянься

Является четвертой по величине приливной электростанцией в мире, расположена в городе Вантувенлин, провинция Чжэцзян, Китай (рис.11).

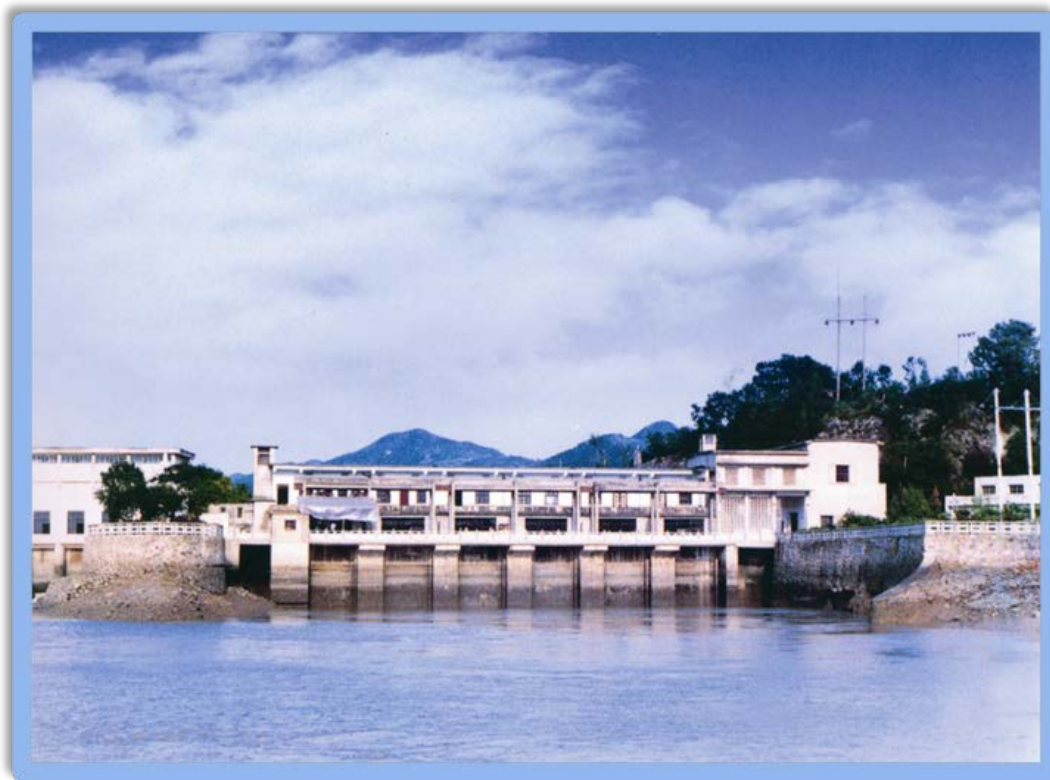


Рисунок 11 – ПЭС «Цзянься».

Хотя в плане было запланировано построить ПЭС на 3000 кВт, построили станцию на 3200 кВт, состоящей из 1 агрегата по 500 кВт, 1 агрегата по 600 кВт, и 3х агрегатов по 700 кВт, на общую установленную мощность до 3200 кВт. Были внесены предложения установить шестой агрегат по 700 кВт, но этот агрегат еще не был установлен. Предприятие производит до 6,5 ГВт*ч энергии ежегодно.

На территории ПЭС также размещается блок солнечной энергии. Мощность блока 40кВт с примерным объемом производства 45 000 кВт*ч в год. Блок солнечной энергии состоит из 216 штук 186 Вт монокристаллических солнечных модулей производства PerlighSun.

Электростанция снабжает энергией небольшие деревни, примерно в 20 км (12 миль) вокруг, через 35-киловольтную линию электропередачи. Максимальная амплитуда прилива в устье составляет 8,39 м (27,5 футов).[58]

Кислая губа

Экспериментальная приливная электростанция, расположенная в губе Кислая Баренцева моря, вблизи поселка Ура-Губа Мурманской области. Первая и единственная приливная электростанция России. Состоит на государственном учёте как памятник науки и техники (рис. 12).



Рисунок 12 – ПЭС «Кислая губа»

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-5,0

м мощностью 1,5 МВт (диаметр рабочего колеса 5 м, находится в новом здании). Гидротурбины изготовлены ФГУП «ПО Севмаш», генераторы — ООО «Русэлпром».

Кислогубская ПЭС принадлежит ПАО «РусГидро» в лице его 100 % дочернего общества — АО «Ленинградская ГАЭС».[59]

Ульдолмок

ПЭС «Ульдолмк» Располагается на острове Чиндо, Южная Корея (рис. 13). Завод был введен в эксплуатацию 14 мая 2009 года южнокорейским правительством. Завод стоил 10 миллионов долларов США, и имеет установленную мощность 1 000 кВт (1 МВт), производя 2,4 ГВт*ч ежегодно. удовлетворяя нуждам 430 домашних хозяйств. Дополнительные 500 кВт были добавлены в июне 2011.



Рисунок 13 – ПЭС «Ульдолмок».

Южнокорейское правительство планировало увеличить эту мощность с 1 до 90 мегаватт, увеличивая покрытие спроса до 46 000 домашних хозяйств, одновременно работая над ПЭС «Сихва» на 254 МВт. Часть цели создания 5 260 ГВт*ч через энергию приливов и отливов к 2020.[60]

Восточная Шельда

Самая молодая ПЭС из таблицы 1 - «Восточная Шельда»(рис. 14). В 2015 г. на дамбу Восточной Шельды, «Остерсхелдекеринг», была установлена конструкция 50 м длиной с 5 турбинами, мощностью 1,25 МВт.



Рисунок 14 – ПЭС «Восточная Шельда»

Остерсхелдекеринг входит в проект «Дельта», возведенный с 1950 по 1997 год, и представляет из себя несколько дамб, шлюзов и штормовых барьеров для защиты земель на юго-западе Нидерландов в дельте Рейна от наводнений. Следует отметить одну особенность данной ПЭС, а именно возможность ее поднятия для дальнейшего технического обслуживания, ремонта и других целей. Компания Tocardo планирует последующую установку данных ПЭС на дамбах «Дельты».[61]

Seagen

Генератор установлен в проливе, соединяющем залив Странгфорд-Лох с Ирландским морем, между Портаферри и Странгфордом в графстве Даун Северной Ирландии. Станция расположена преимущественно под водой и её турбины крутятся медленно, поэтому она не представляет угрозы для дикой природы (рис. 15).

Устройство представляет собой полупогружённую плавающую приливную турбину, пришвартованную к морскому дну посредством поворотного буя, что позволяет станции поворачиваться на 180°. Генератор СиДжен весит 300 тонн.

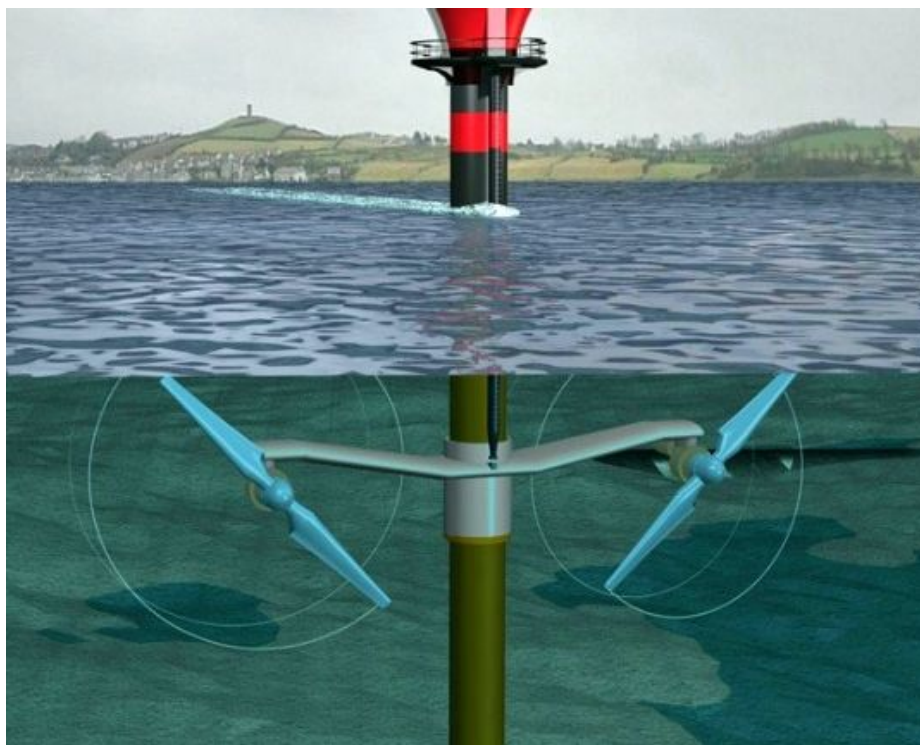


Рисунок 15 – 3D модель ПЭС «SeaGen» с опущенными роторами.

В октябре 2012 года компания Siemens подвела предварительные итоги работы СиДжен. При установленной мощности в 1,2 МВт станция вырабатывала 22,53 МВт*ч в день, выдавая в среднем 1 ГВт*ч за 68 дней, что эквивалентно годовой выработке в 5368 МВт*ч.

Система была удалена в 2017, после того, как Siemens продал компанию и технологию к конкурирующим Ресурсам Altantis в 2015.[62]

2.4. Анализ размещения ПЭС в РФ.

2.4.1. Анализ морей России.

Для размещения ПЭС в России особо выделяется два моря: Белое и Охотское, ниже на карте отмечены районы с сильными приливами (рис. 16). В Охотском море максимальные изменения уровня зарегистрированы в заливах: Пенжинская губа (до 17 м), Гижигинская губа (до 13 м). В Белом море Мезенская губа (до 10 м). Приливы в Балтийском и Чёрном морях измеряются лишь сантиметрами, поэтому строительство ПЭС здесь нецелесообразно.[15] Максимальные приливы нанесены на карту, глядя на нее можно выбрать районы для размещения ПЭС: Охотское море и Белое море.



Рисунок 16 – Карта максимальных приливов морей РФ.

Охотское море.

Приливные явления в Охотском море формируются главным образом приливными волнами, распространяющимися из Тихого океана в юго-западном направлении вдоль Курильской гряды. Они вызывают значительные колебания уровня моря, скорости и направления течений.

Собственные приливные движения Охотского моря, обусловленные непосредственным воздействием приливообразующих сил, пренебрежимо малы, как и в других окраинных морях Тихого океана. На акватории Охотского моря имеет место многократное отражение приливных волн от берегов. В открытых районах моря приливные явления описываются линейной теорией, для которой выполняется принцип суперпозиции - простого сложения волн от различных источников. В направлении к береговой линии и островам, в зонах сложного рельефа дна сложнее структура приливного потока. Приливные явления приобретают нелинейный характер.[63]

Белое море.

Приливы в Белом море полусуточные мелководные, реже полусуточные. Приливная волна из Баренцева моря входит в северную часть Белого моря и далее распространяется в Горло и Мезенский залив.

В северной части моря средняя величина сизигийного прилива колеблется от 3,5 до 6,0 м, а квадратурного — от 2,2 до 4,6 м. Заметное влияние на приливы оказывает мелководье, которое обуславливает увеличение времени падения уровня по сравнению с временем его роста.

В Мезенском заливе средняя величина сизигийного прилива достигает 8,3 м, квадратурного 4,9 м, а в Горле Белого моря составляет соответственно 3,6 и 2 м.

По характеру колебания уровня в Охотском море наблюдаются все типы приливов: полусуточные, неправильные полусуточные, неправильные

суточные и суточные. На большей части акватории наблюдаются суточный, неправильный суточный и неправильный полусуточный приливы. Величины максимально возможных приливных колебаний уровня изменяются от нескольких сантиметров (северное и центральное побережье о-ва Сахалин) до 9,7м в Удской губе, 10,1м в Тугурском заливе, 13,9м в Пенжинской губе. В Курильских проливах амплитуда приливных колебаний уровня составляют 1,7-2,5м при скоростях течений около 5 узлов и более. В среднем, колебания уровня на акватории моря составляют от 0.8 до 4м, постепенно возрастая с юга на север до 5-7м (у Шантарских о-вов и входа в Пенжинский залив).

В бассейне Белого моря средняя величина сизигийного прилива колеблется от 0,6 до 1,6 м, а квадратурного — от 0,4 до 1,1 м.

В Двинском заливе средняя величина сизигийного прилива 0,7—1,2 м, а квадратурного 0,5—0,7 м.

В вершине Двинского залива величина прилива меньше, чем у входа в него. Значительный приток речной воды обуславливает превышение времени роста над временем падения уровня почти на 1 ч. В устье реки Северная Двина плавный подъем уровня воды при приливе иногда нарушается и примерно через 2—3 ч после момента малой воды наступает либо замедление подъема, либо стояние уровня, а иногда и падение его на короткое время, после чего уровень снова повышается до момента полной воды. Такое явление, называемое «манихой», объясняется взаимодействием приливной волны, вступающей в устье реки Северная Двина, с течением самой реки. Продолжительность манихи достигает иногда 1—2 ч.

В вершине Кандалакшского залива наблюдается явление, обратное манихе. Здесь в период падения уровня при отливе происходит временное уменьшение скорости падения или даже некоторый рост уровня. Продолжительность этого явления около 1—1,5 ч. Наблюдается оно через 2—3 ч после момента полной воды.

В Кандалакшском заливе средняя величина сизигийного прилива возрастает от 1,5 м у входа в залив до 2,2 м в его вершине; средняя величина квадратурного прилива изменяется соответственно от 1,1 до 1,4 м. Время падения уровня на 1,5—2,2 ч больше времени его роста.

В Онежском заливе величины сизигийного и квадратурного приливов мало отличаются друг от друга. Во всех пунктах время падения уровня почти на 1,2 ч больше времени его роста.

Наибольший теоретически возможный уровень прилива в Белом море составляет 9,9 м (Мезенский залив).[64]

2.4.2. Экономическаяцелесообразность.

Приливная энергетика уже давно применяется в коммерческих целях с конца 1960-х годов в Канаде, Китае и Франции, а совсем недавно - в Южной Корее. Что же касается экономической эффективности, так первоначальные затраты, связанные с установкой, высоки, однако они сохраняют хорошие характеристики окупаемости в течение более длительного срока. Многие из установок 1960-х и 1970-х годов до сих пор работают без особых проблем.

Однако экономических данных мало. Отчасти это связано с тем, что стоимость очень зависит от проекта. Двумя основными факторами затрат являются: размер заграждения (длина и высота), определяющий капитальные затраты, и разница в высоте между приливом и отливом, определяющими производство электроэнергии. Некоторые оценки, взятые из веб-источников, для самой большой и самой старой установки приливного диапазона в Ларансе, показывают, что затраты варьируются от 0,045 доллара США до 0,09-0,13 доллара США за кВт*ч, ПЭС Сихва в Южной Корее, являющаяся крупнейшей установкой приливного диапазона в мире, оценивается в 300 миллионов долларов США и производит электроэнергию за 0,024 доллара США за кВт*ч.

Однако затраты на строительство не обязательно должны быть отнесены к производству электроэнергии. В случае с Ла-Ранс, эта конструкция также функционирует как автомагистраль, сокращая расстояние поездки на 30 км до 60000 транспортных средств в день. Точно так же ПЭС Сихва построена на основе существующей плотины.

Помимо первоначальных затрат, другими значительными затратами могут быть контроль, мониторинг и управление экологическим статусом в пределах объекта. Затраты на технологии как приливных, так и приливных потоков могут упасть до 40% в случае, когда строительство сочетается и интегрируется в проектирование и реализацию новой инфраструктуры (например, защита моря, меры качества воды или дороги), как было отмечено в исследовании, проведенное Министерством дорожного управления Норвегии. Кроме того, такой комплексный подход, который сочетает в себе планирование и реализацию береговых защитных сооружений и мостов с реализацией установок приливной энергии, может значительно снизить расходы на обслуживание и эксплуатацию устройств.

Предполагается, что затраты будут снижаться в процессе ввода в эксплуатацию и качеством ресурсов, это выделено в качестве важных определяющих факторов. Кроме того, разработчики технологий прилагают все усилия, чтобы повысить коэффициент использования примерно с 25% до 40% и коэффициент доступности с 70% до 90% к 2020 году. К 2020 году нормированная стоимость электроэнергии на ПЭС мощностью от 200 МВт будет составлять 0,24-0,28 доллара США за кВт*ч. Эти оценки аналогичны исследованию, проведенному CarbonTrust, который оценил, что затраты на устройства приливного течения в 2020 году составят около 0,19-0,26 доллара США за кВт*ч. Увеличение мощности за счет технологий до 2-4 ГВт предполагает, что к 2030 году - может привести к снижению нормированной стоимости электроэнергии ниже 0,22 доллара США за кВт*ч. Все это говорит о высокой экономической эффективности приливной энергетики в

долгосрочных планах.

Учитывая, что приливная энергетика является относительно новой, большинство проектов и работ в основном сосредоточены на технологии самого устройства и его непосредственной инфраструктуры. Однако для более крупных проектов связь с другими секторами, такими как судоходство, отдых, защита от воды и воздействие на окружающую среду, может не только снизить затраты на установку (путем лучшей координации инфраструктуры), но также и другие виды затрат, и общественное признание. Это частично продемонстрировано Норвежской дорожной администрацией.

Что касается технологий ПЭС, существует ряд планов для гибридных систем, сочетающих плавающий ветер с берега и технологии приливных течений (например, демонстрационная установка мощностью 500 кВт от MODEC в Японии). Однако в большинстве случаев технологии ПЭС плохо сочетаются с морскими ветряными установками, поскольку требуемые сильные приливы увеличивают стоимость установки прибрежных ветряных электростанций.[65]

3. SWOT - анализ.

Для реализации стратегии развития приливной энергетики на территории России стоит выявить слабые и сильные стороны данной отрасли. Для этого следует произвести SWOT-анализ. SWOT-анализ - сложный метод стратегического анализа, который включает в себя внутреннюю часть организации/проекта и окружающую среду. Этот инструмент определяет самые важные достоинства и недостатки и сравнение с текущими и будущими слабыми местами и угрозы, которые могут повлиять на развитие проекта. Данный анализ представляет из себя таблицу с четырьмя полями:

- *Сильные стороны:* особенности проекта, которые дают ему преимущество перед другими.
- *Слабые стороны:* особенности, которые помещают проект в неблагоприятные условия относительно других.
- *Возможности:* элементы, которые проект мог бы преобразовать в сильные стороны.
- *Угрозы:* элементы в окружающей среде, которые могут доставить неприятности проекту.

Источником сильных и слабых сторон является внешняя среда, а возможностей и угроз внутренняя среда. Цель данного анализа — определить и оценить перспективы возможных направлений развития, чтобы на основе этого разработать эффективную стратегию. [66]

Объектами SWOT анализа выбраны два района: Охотское море и Белое море, отвечающие условиям установки ПЭС, а также являющиеся дефицитными в плане энергии.

Таблица 4 – SWOT-анализ для внедрения ПЭС.

SWOT-анализ для внедрения ПЭС в выбранных регионах	
Сильные стороны	Слабые стороны
1. Дешевая энергия 2. Наиболее экологически чистая для флоры и фауны и безопасна для человека 3. Высокий энергетический потенциал выбранных районов 4. Возможность взаимодействия с туристическим сектором (опыт ПЭС «Сихва») 5. Дефицит электроэнергии наряду с высокими показателями энерговооруженности 6. Приливная энергия – возобновляемая постоянная величина в любом месяце года вне зависимости от природных условий и других факторов (в отличие от речной энергии, резко уменьшающейся в маловодные годы).	1. Высокая стоимость постройки ПЭС 2. Сложность возведения и расчета проекта 3. Необходимость создания дополнительной инфраструктуры 4. Изменяющаяся в течение суток мощность 5. Слабая поддержка государством
Возможности	Угрозы

1. Повышение цен на энергию 2. Повышение мощности за счет дальнейшего улучшения технологий и оборудования для получения энергии 3. Энергетическая независимость страны	1. Конкуренты альтернативной энергетики 2. Не востребованность выработанной энергии
--	--

На развитие приливной энергетики и строительство электростанций может влиять множество различных факторов разного характера: экономического, политического, экологического, социального.

Сильные стороны

1.) С 2000 г. авторитетными организациями ведется оценка себестоимости производства электроэнергии, производимой приливными электростанциями. Обобщенные данные по прогнозу стоимости приведены в таблице 2.[67]

Таблица 2 - Прогноз стоимости электроэнергии, производимой приливными электростанциями.

Организация	Год	Типы ПЭС	
		Береговые, с гидротехническими сооружениями	Морские
		В долларах США за 1 МВт*ч	
Министерство экономики Франции	2003	82	71
Королевская инженерная академия наук Великобритании	2004	74	110
Канадская ядерная	2004	70–90	80–100

ассоциация			
Международное энергетическое агентство Организации экономического сотрудничества и развития	2005	50–150	80–200
Американский институт по атомной энергии	2010	150	200

В 2015 году американская организация делала прогноз на 2020 год по стоимости электроэнергии от разных источников (рис. 17), в нём цена за энергию, полученную от гидроэнергетики (куда включена приливная) варьировалась от 69\$ за МВт*ч до 107\$ МВт*ч.[68]

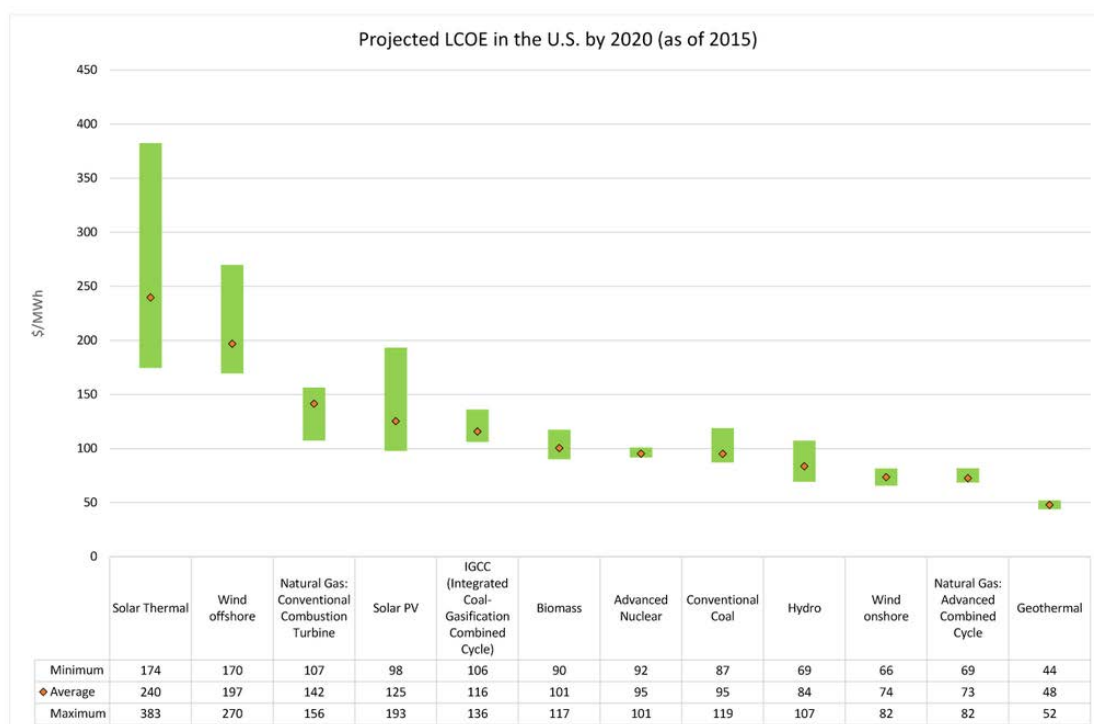


Рисунок17 – Прогноз стоимости различных видов энергии на 2020 год.

2.) Приливные электростанции безвредны для человека, не создают шума как ветряные и не требуют отдельного пространства. Вред, который может повлиять на флору и фауну от разделения водного бассейна можно нивелировать, как это было сделано в «Восточной шельде», путем создания

поднимающихся турбин, а также проведением мониторинга близлежащих территорий. Опыт Ля-Ранс показал, что некоторые разновидности обитателей потеряли их среду обитания из-за строительства плотины, но другие разновидности колонизировали заброшенное пространство, которое вызвало изменение в разнообразии.

3.) Выбранные районы обладают достаточными высокими приливами свыше 10 метров, что может сильно влиять на энергетический потенциал ПЭС в данных район.

4.) В обзоре была рассмотрена ПЭС «Сихва» обладающая особой привлекательностью для туристов, этот опыт можно использовать при строительстве ПЭС в России.

5.) Анализ статистической информации (рис. 18) и литературные данные показали следующее: локальный дефицит электроэнергии испытывают такие регионы Российской Федерации, как Краснодарский край, Чеченская Республика, Республика Северная Осетия-Алания, Республика Карелия, Республика Удмуртия, Республика Мордовия, Вологодская, Московская, Белгородская, Сахалинская, Липецкая, Калужская, Владимирская, Брянская, Нижегородская, Ульяновская, Пензенская, Челябинская, Кемеровская, Омская и Томская области, Алтайский край, Приморский край и Еврейская автономная область. Вместе с тем данные регионы имеют достаточный потенциал роста энерговооруженности и протяженную береговую линию с Охотским, Восточно-Сибирским, Баренцевым, Чукотским и другими морями РФ, на которых наблюдаются приливы и отливы, достаточные для использования возобновляемой электроэнергетики.

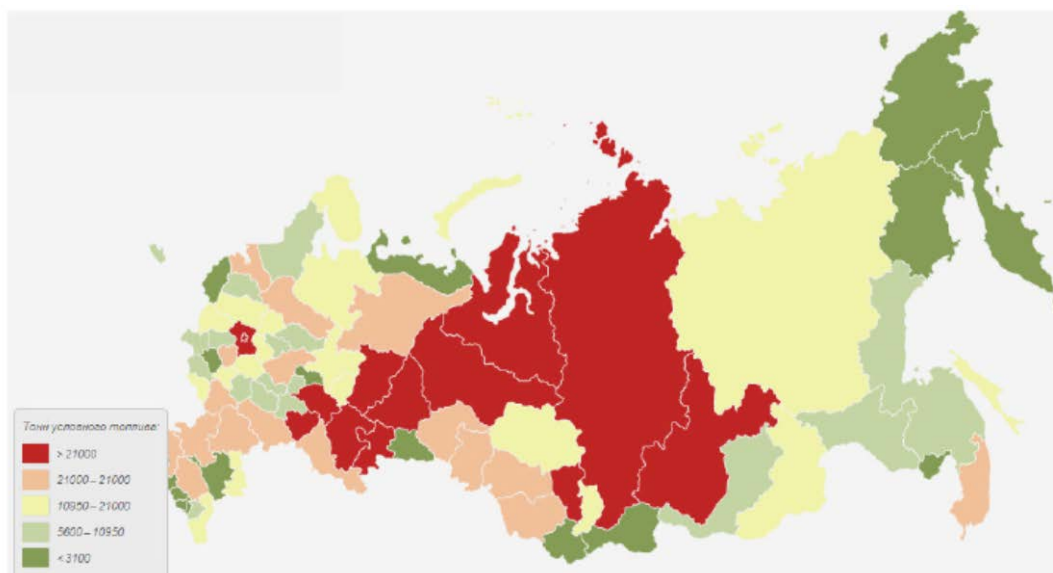


Рисунок - 18 Карта потребления электроэнергии на территории РФ, 2014 г.

Наиболее перспективными для опытной эксплуатации энергоагрегатов, которые используют движение воды, вызванное приливами и отливами, являются Камчатский край, Сахалинская область, Северо-Курильская гряда островов, разделяющая Тихий океан и Охотское море и обладающая свойствами естественного гидротехнического сооружения благодаря постоянным приливным течениям. В этих регионах наблюдается дефицит электроэнергии наряду с высокими показателями энерговооруженности, что позволяет сделать вывод о возможности локального использования приливной электростанции с эффективной мощностью генерации в 1–3 МВт, а в перспективе, за счет постепенного добавления энергоблоков, – до 25 МВт.[67]

6) Приливная энергетика не прихотлива к условиям и ее мощность остается неизменной круглый год, чем не может похвастаться солнечная и гидроэнергетика.

Слабые стороны

1-3.) Стоимость возведения ПЭС требует очень много затрат, также в выбранных регионах потребуется создать мощную инфраструктуру для начала строительства проектов. Так проект Пенжинской ПЭС (рис. 19) включающий два створа оценивается свыше 260 млрд долларов. Северный

створ оценивается в 60 млрд долларов, Южный створ в 200 млрд долларов. Срок реализации первого проекта: 2020—2035 годы.[69]

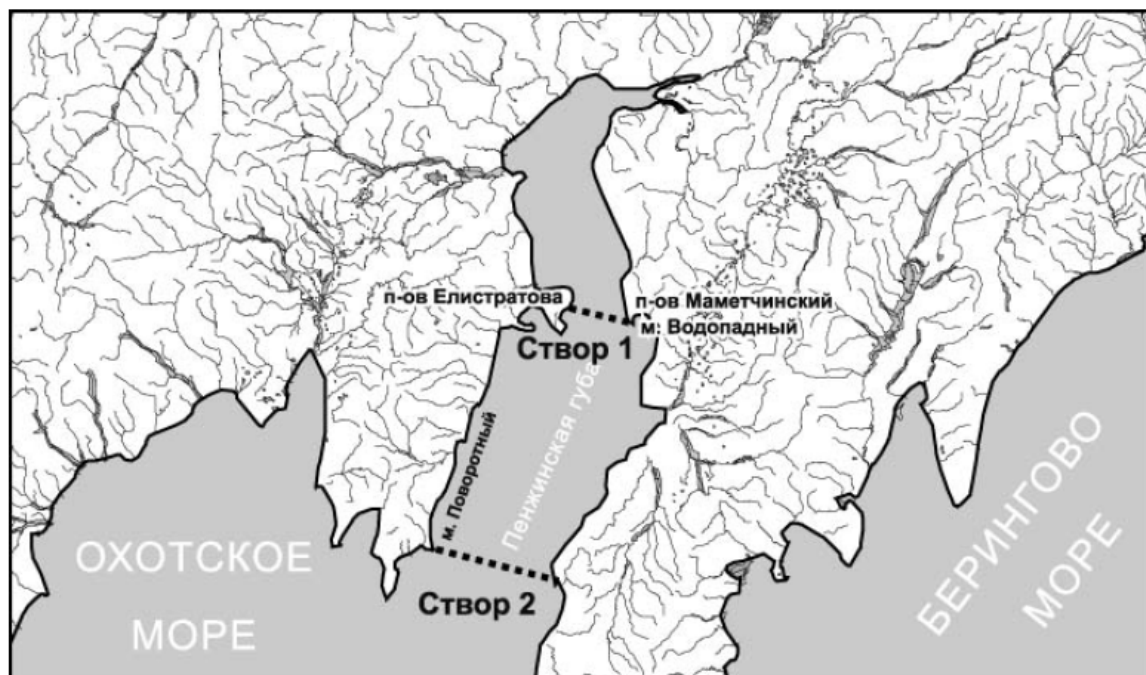


Рисунок 19 - Два створа проекта Пенжинской ПЭС.

- 4.) Пульсация энергии, обусловленная цикличностью приливов в течение полумесячного периода может сказываться на изменении энергии.
- 5.) В РФ нет полноценного документа по развитию приливной энергетики. На что сильно влияет цена проектов ПЭС.

Возможности

- 1.) Всевозможные изменения политики могут повлиять на цены энергоносителей, что будет особым преимуществом для альтернативных источников энергии.
- 2.) Постоянно ведутся разработки по улучшению турбин на приливных электростанциях. Так на ПЭС в Кислой губе проводятся испытания новых турбин с целью повышения КПД и увеличения мощности.
- 3.) Необходимость перехода на возобновляемые источники энергии закреплена в энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года. Дальнейшее увеличение доли энергосыработки за счет ВИЭ обеспечит

гармонизацию энергетического развития страны и может стать залогом ее энергобезопасности на долгие годы.

Угрозы

1.) На данный момент постоянно ведутся разработки в области альтернативных источников энергии и какое-то существенное изменение может повлиять на экономическую целесообразность выбора ПЭС.

2.) Негативные изменения в выбранных регионах (заккрытие предприятий) может повлиять на создание такой проблемы как не востребованность выработанной энергии. В настоящее время и на ближайшую перспективу представляется актуальной возможность использования энергии морских приливов для выработки водорода.

Таблица 4 – Матрица SWOT-анализа.

	Сильные стороны	Слабые стороны
Возможности	Стратегии развития	Внутренние преобразования
	Развитие технологий в данной сфере будет способствовать к увеличению доли приливной энергетики и снижению цен на электроэнергию.	Упор в реализации проекта на последующее увеличение цен на другие энергоносители.
Угрозы	Потенциальные преимущества	Ограничения развития
	Данные районы обладают высоким энергетическим потенциалом для приливной энергетики, что является	Интеграция с другими альтернативными источниками энергии.

	преимуществом по сравнению с другими.	
--	---------------------------------------	--

Были проанализированы сильные и слабые стороны приливной энергетики. На основе результатов данного анализа могут быть сформированы взаимосвязи внутренних и внешних факторов:

1. Стратегии развития

Сделать определённый упор на инвестирование в области приливных технологий для последующего повышения мощностей.

2. Внутренние преобразования

Создание крупных долгосрочных проектов для дальнейшего возврата средств.

3. Потенциальные преимущества

Максимально задействовать энергетический потенциал выбранных районов.

4. Ограничения развития

Интегрировать ПЭС с другими альтернативными источниками энергии, чтобы нивелировать несовершенства данной технологии, а также рассматривать возможность выработки водорода.

Заключение

В данной работе была достигнута цель по анализу потенциальных регионов для разработки альтернативных источников энергии. В процессе достижения поставленной цели были решены следующие задачи и получены соответствующие результаты:

1. Выбран наиболее перспективный источник альтернативной энергии.

Проведена оценка потенциала использования выбранных источников альтернативной энергии:

- ветряные электростанции
- волновые электростанции
- приливные электростанции
- геотермальные электростанции
- солнечные электростанции

Из них выбран наиболее перспективный источник возобновляемой энергии – приливная энергия.

2. Выполнен обзор применения выбранного типа энергетики на данный момент;

Рассмотрены виды применяемых технологий преобразования приливной энергии:

- генератор приливного потока
- приливная плотина
- приливная лагуна
- динамическая приливная электростанция

Также составлен обзор размещенных и успешно применяемых в мире приливных электростанций.

3. Выполнен анализ регионов, подходящих для разработки выбранного источника энергии.

Выбраны два региона для размещения ПЭС: Охотское и Белое море.

4. Проведен SWOT-анализ, на основе которого выбраны варианты

развития стратегии приливной энергетики для выбранных регионов.

Были проанализированы сильные и слабые стороны приливной энергетики. К сильным сторонам относятся следующие факторы: низкая стоимость, экологичность и безопасность для человека, высокий энергетический потенциал выбранных районов, возможность взаимодействия с туристическим сектором, дефицит электроэнергии наряду с высокими показателями энерговооруженности, неизменность мощности в течение года. Слабые стороны были определены как: высокая стоимость постройки ПЭС, сложность возведения и расчета проекта, необходимость создания дополнительной инфраструктуры, изменяющаяся в течение суток мощность, слабая поддержка государством. А также выделены возможности и угрозы развития. Возможности: повышение цен на энергию, повышение мощности за счет дальнейшего улучшения технологий и оборудования для получения энергии, энергетическая независимость страны. Угрозы: конкуренты альтернативной энергетики, не востребованность выработанной энергии.

На основе результатов данного анализа были сформированы взаимосвязи внутренних и внешних факторов:

- Стратегии развития: делать определённый упор на инвестирование в области приливных технологий для последующего повышения мощностей.
- Внутренние преобразования: создание крупных долгосрочных проектов для дальнейшего возврата средств.
- Потенциальные преимущества: Максимально задействовать энергетический потенциал выбранных районов.
- Ограничения развития: интегрировать ПЭС с другими альтернативными источниками энергии, чтобы нивелировать несовершенства данной технологии, а также рассматривать возможность выработки водорода.

Список литературы

1. Ellabban, Omar; Abu-Rub, Haitham; Blaabjerg, Frede (2014). "Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 39: 748–764 [749].
2. Kutscher, C.F.; Milford, J.B.; Kreith, F. (2018). *Principles of Sustainable Energy Systems, Third Edition*. Mechanical and Aerospace Engineering Series. CRC Press. ISBN 978-0-429-93916-7. Retrieved 10 February 2019.
3. REN21, Global Status Report 2016.
4. "Harvesting the Wind: The Physics of Wind Turbines".
5. Watts, Jonathan & Huang, Cecily. Winds Of Change Blow Through China As Spending On Renewable Energy Soars, *The Guardian*, 19 March 2012, revised on 20 March 2012.
6. Jamie D. (2009-06-11). "N.J. must make wind farm permitting process as quick and easy as possible | Commentary | NewJerseyNewsroom.com - Your State. YourNews".
7. Wind in Power: 2017 Europe. EWEA. (<https://windeurope.org/about-wind/statistics/european/wind-in-power-2017/>)
8. REN21 (2011). "Renewables 2011: Global Status Report". p. 11
9. Ресурсы и эффективность использования ВИЭ в России / Под. ред. Безруких П.П. — СПб.: Наука, 2007. — С. 158-159
10. Green Power. eweb.org (<http://www.eweb.org/residential-customers/going-green/greenpower>)
11. International Energy Agency. (<http://www.iea.org/>)
12. Moore, J. N.; Simmons, S. F. (2013), "More Power from Below", *Science*, 340 (6135): 933–4
13. Ocean Energy Council (2011). "Tidal Energy: Pros for Wave and Tidal Power".
14. Turcotte, D. L.; Schubert, G. (2002). "Chapter 4". *Geodynamics* (2nd ed.). Cambridge, England, UK: Cambridge University Press. pp. 136–137. ISBN

978-0-521-66624-4.

15. Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. М.: КноРус, 2012. – С. 87
16. "Exergy Flow Charts – GCEP". stanford.edu.
17. "Energy and the challenge of sustainability" (PDF). United Nations Development Programme and World Energy Council. September 2000.
18. "Energy Sources: Solar". Department of Energy.
19. "Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy". IEA.
20. John Perlin (1999) "From Space to Earth: The Story of Solar Electricity"
21. "Photovoltaics: Overview of installed PV in 2013". Renewables International.
22. "Solar photovoltaic roadmap". International Energy Agency. 2010.
23. "Musk vs. Buffett: The Billionaire Battle to Own the Sun". Bloomberg.com.
24. US EIA, Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook.
25. "Волновая энергетика – перспективный сектор возобновляемых источников энергии." Ю. В. Гуш
26. Phillips, O.M. (1977). The dynamics of the upper ocean (2nd ed.). Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-29801-8.
27. Gunn, Kester; Stock-Williams, Clym (August 2012). "Quantifying the global wave power resource". Renewable Energy. Elsevier. 44: 296–304.
28. Embedded Shoreline Devices and Uses as Power Generation Sources Kimball, Kelly, November 2003
29. Giassi, Marianna; Göteman, Malin (April 2018). "Layout design of wave energy parks by a genetic algorithm". Ocean Engineering. 154: 252–261.
30. «Энергетическая программа СССР» 1983 г.
31. Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике».
32. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 № 1-р «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе

- использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года”
33. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2020 года (одобрена распоряжением Правительства РФ от 22.02.2008 № 215-р).
34. Распоряжение Правительства РФ от 04.10.2012 № 1839-р “Об утверждении комплекса мер стимулирования производства электрической энергии генерирующими объектами, функционирующими на основе использования возобновляемых источников энергии”.
35. Государственная программа Российской Федерации «Развитие энергетики» в редакции от 28.03.2019 № 335
36. "A milestone for future-oriented energy supply - BMU-Pressreport". bmu.de (in German).
37. "Tidal - Capturing tidal fluctuations with turbines, tidal barrages, or tidal lagoons". Tidal / Tethys. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL).
38. Evans, Robert (2007). Fueling Our Future: An Introduction to Sustainable Energy. New York: Cambridge University Press.
39. K. Hulsbergen; R. Steijn; G. van Banning; G. Klopman (2008). Dynamic Tidal Power – A new approach to exploit tides. 2nd International Conference on Ocean Energy. Brest, France.
40. "Hydrological Changing Double Current-typed Tidal Power Generation" (video).
41. Jones, Anthony T., and Adam Westwood. "Power from the oceans: wind energy industries are growing, and as we look for alternative power sources, the growth potential is through the roof. Two industry watchers take a look at generating energy from wind and wave action and the potential to alter." The Futurist 39.1 (2005): 37(5). GALE Expanded Academic ASAP. Web. 8 October 2009.
42. <http://www.emec.org.uk/marine-energy/tidal-devices/>

43. Tidal Paper on cyberiad.ne
44. "Tidal barrage". (http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/01-02/RE_info/Tidal%20Power.htm#barrage)
45. Lamb, H. (1994). Hydrodynamics (6th ed.). Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-45868-9. §174, p. 260.
46. "Espacenet - Bibliographic data". worldwide.espacenet.com.
47. "Dynamic Tidal Power". World News.
48. «Environmental Interactions of Tidal Lagoons: A Comparison of Industry Perspectives» Mackinnon, K., et al. April 2018.
49. Л. Б. Бернштейн, В. Н. Силаков, И. Н. Усачев и др. «Приливные электростанции». М., АО «Институт Гидропроект», 1994 г.
50. Dorf, Richard (1981). The Energy Factbook. New York: McGraw-Hill.
51. «Écluse du barrage de la Rance : Interruption de la navigation 1er semestre 2009 »
52. « L'usinemarémotrice de la Rance vit au rythme des marées » [archive], sur ouest-france.fr, 14 novembre 2016.
53. « Nombre de visiteurs en 2006 », INSEE
54. Meereskraft für die Steckdose, Süddeutsche Zeitung Onlineausgabe, 8. Januar 2008
55. THE SIHWA TIDAL POWER PLANT (<http://blog.daum.net/kowaco/7934811>)
56. Шин Янгмин (26 марта 2015 г.). Приливная электростанция на озере Сихва «Чистая энергия»
57. Nova Scotia Power. "Annapolis Tidal Station". (<https://web.archive.org/web/20110612022820/http://www.nspower.ca/en/home/environment/renewableenergy/tidal/annapolis.aspx>)
58. Jinangxia Tidal Power Station (<https://web.archive.org/web/20110707050232/http://www.cresp.org.cn/uploadfiles/73/613/zhejiang.html>)
59. Портал машиностроения: ООО «РУСЭЛПРОМ-Инжиниринг» начало

- разработку документации на изготовление гидрогенератора для ПЭС
«Кислогубская» — Портал машиностроения
60. South Korea starts up, to expand 1-MW JindoUldolmok tidal project
(http://www.hydroworld.com/index/display/article-display/2336952618/articles/hrhrw/hydroindustrynews/ocean-tidal-streampower/south-korea_starts.html)
61. Tocado Eastern Scheldt Storm Surge Barrier Tidal Power Project
(<http://www.tocado.com/Project/oosterschelde/>)
62. Arthur Strain (2008-02-08). "Sea change for energy generation". BBC.
63. Атлас приливов Берингова, Охотского, Японского и Восточно-Китайского морей. Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН Авторы: Мороз В.В., Богданов К.Т.
64. Гидрологическая характеристика - Люция Белого моря.
(<http://rivermaps.ru/doc/beloe/beloe-3.htm>)
65. IRENA Ocean Energy Technology Brief 3 June 2014
66. Майсак О. С. SWOT-анализ: объект, факторы, стратегии. Проблема поиска связей между факторами
67. «Оценка экономической эффективности применения прибрежных и морских энергоблоков для удовлетворения нужд потребителей» Е. О. Ольховик, А. А. Буцанец
68. "U.S. Energy Information Administration (EIA) – Source". www.eia.gov.
69. Стоимость строительства Пенжинской ПЭС. invest.kamchatka.gov.ru.