

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Саяно–Шушенский филиал
институт

Гидроэнергетики, гидроэлектростанции, электроэнергетических систем и
электрических сетей
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.А. Ачитаев
подпись инициалы, фамилия
«_____» _____ 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**Исследование возможности применения гибридной
электростанции в Камчатском крае**

13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника
код – наименование направления

13.04.02.06 Гидроэлектростанции
код и наименование магистерской программы

Руководитель	_____	д.т.н., профессор кафедры ГГЭЭС Саяно – Шушенского филиала СФУ	_____
	подпись, дата	ученая степень, должность	<u>М.Ф. Носков</u> инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>А.Н. Егоров</u> инициалы, фамилия
	подпись, дата		
Рецензент	_____	д.т.н., профессор кафедры ТОР НГТУ	_____
	подпись, дата	ученая степень, должность	<u>В.П. Разинкин</u> инициалы, фамилия
Нормоконтроль	_____		<u>К.П. Синельникова</u> инициалы, фамилия
	подпись, дата		

Саяногорск; Черемушки 2022

АННОТАЦИЯ

Тема магистерской диссертации: «Исследования возможности применения гибридной электростанции в Камчатском крае».

Объектом исследования при написании работ послужил потенциал использования возобновляемых источников энергии в районах с децентрализованным электроснабжением Камчатского края.

Предметом исследования является исследование возможности применения гибридной гидроэлектростанции.

Тип магистерской диссертации: Исследовательская

Целью работы является исследование возможности применения гибридной электростанции, расчет в программном комплексе.

Задачи исследования:

- Анализ децентрализованных зон энергоснабжения Камчатского края, выявление их основных проблем и перспектив развития;
- Провести анализ ветровой и солнечной активности Камчатского края, выявить ее максимальные и минимальные показатели;
- Провести оценку гидроресурсов местности;
- Выбор оптимального оборудования;
- Произвести выбор программного обеспечения для расчета гибридной электростанции;
- На основании полученных данных провести расчет эффективности гибридной электростанции;
- Проанализировать экономические показатели проекта.

Объем диссертации: составляет 76 страниц, 48 рисунков и 7 таблиц.

Публикации: По основным результатам опубликовано 2 печатные работы

Ключевые слова: Электроэнергия, дизель – генерирующие установки, ветряные электростанции, гидроэлектростанции, гибридные электростанции, возобновляемые источники энергии, стоимость электроэнергии, электроснабжение, развитие энергетики, гибридные электростанции на дальнем востоке, замена альтернативных источников питания.

В магистерскую диссертацию входят: введение, пять глав и заключение.

В введении раскрывается актуальность исследования по выбранному направлению, указывает его значимость, а также ставятся цели и задачи, необходимые для ее реализации.

Первая глава отображает в себе сведения рассмотрение как действующих, так и запланированных проектов гибридных электростанций, а также перспективы развития ВИЭ.

Вторая глава посвящена обоснованию выбранного региона. В ней осуществляется анализ ветрового, солнечного и гидроэнергетического потенциала всех муниципальных районов Камчатского края. Так же осуществляется выбор места исследования применение гибридной электростанции.

Третья глава посвящена выбору необходимому оборудованию.

В четвертой главе выполняется моделирование системы, а также симуляция работы гибридной электростанции в программном комплексе Homer. Осуществляется сравнение работы гибридной электростанции с дизельной.

В пятой главе было произведено технико – экономическое обоснование.

В заключении подведены итоги о проделанной в данной магистерской диссертации.

АВТОРЕФЕРАТ

Одним из наиболее важных параметров энергетики в районах с децентрализованным электроснабжением является исправность работы всех топливных звеньев топливно – энергетической системы. Все это сказывается в свою очередь не только на результативные функционирования народного хозяйства, но и так же на жизнь и здоровье людей, которые при прекращении снабжении электроэнергией оказываются наедине с природой.

Для многих стран проблема о исправной работе электроснабжения является наиболее острой в настоящее время, которая конечно же трансформируется в энергетическую безопасность в том числе и для субъектов РФ. Капиталовложения на дизельные электростанции, преимущественно для северного населения, при ежегодной закупке и доставки топлива составляет более 65% стоимости суммарной выработанной ими электроэнергии и данные показатели на сегодняшний момент постоянно растут. Дальние перевозки топлива в районы с децентрализованным электроснабжением с учетом ограничений по времени сезонной доставки так же входит ряд основных проблем электроснабжения этих регионов. Малоразвитые транспортные инфраструктуры и сложность процесса доставки до пункта назначения топлива приводят к большим потерям и многократному увеличению стоимости этого же топлива. В районах с децентрализованным электроснабжением себестоимость электроэнергии достигает порядка 40 рублей и более за 1 кВт·ч. Работа устаревших и уже физически изношенных автономных источников питания определяет их плохое техническое состояние, а также низкое значение КПД, что приводит к недостаточной надежности электроснабжения и чрезвычайно завышенным капиталовложений. Так же за последнее время значительно сократился объем строительства новых линий электропередач, а реконструкция старых была приостановлена.

Внедрение комплекса оборудования, которое способно работать в условиях районов с децентрализованным электроснабжением за счет возобновляемых источников энергии (ВИЭ) позволит частично или полностью заменить существующие в настоящее время изношенные автономные дизельные электростанции, которые не обеспечивают исправного электроснабжения потребителей в изолированных районах, а также обеспечат значительную экономию топлива. Актуальным направлением является внедрение гибридной электростанции в районы с децентрализованным электроснабжением Камчатского края, с целью как повышения надежности и эффективности электроснабжения за счет вытеснения импортного органического топлива из энергетического баланса районов Автономной энергетической системы.

ABSTRACT

One of the most important parameters of energy in areas with decentralized power supply is the serviceability of all fuel links of the fuel and energy system. All this, in turn, affects not only the productive functioning of the national economy, but also the life and health of people who, when the supply of electricity is cut off, find themselves alone with nature.

For many countries, the problem of the correct operation of power supply is the most acute at the present time, which, of course, is transforming into energy security, including for the constituent entities of the Russian Federation. Capital investment in diesel power plants, mainly for the northern population, with the annual purchase and delivery of fuel, is more than 65% of the cost of the total electricity generated by them, and these figures are currently constantly growing. Long-distance transportation of fuel to areas with decentralized power supply, taking into account the restrictions on the time of seasonal delivery, also includes a number of main problems in the power supply of these regions. Underdeveloped transport infrastructures and the complexity of the process of delivering fuel to its destination lead to large losses and a multiple increase in the cost of the same fuel. In areas with decentralized power supply, the cost of electricity reaches about 40 rubles or more per 1 kWh. The operation of outdated and already physically worn-out autonomous power sources determines their poor technical condition, as well as low efficiency, which leads to insufficient reliability of power supply and extremely overestimated capital investments. Also, recently the volume of construction of new power lines has significantly decreased, and the reconstruction of old ones has been suspended.

The introduction of a set of equipment that can operate in an area with decentralized power supply due to renewable energy sources (RES) will partially or completely replace the currently worn-out autonomous diesel power plants that do not provide serviceable power supply to consumers in isolated areas, and will also provide significant savings fuel. An urgent direction is the introduction of a hybrid power plant in areas with decentralized power supply of the Kamchatka Territory, with the aim of both increasing the reliability and efficiency of power supply by replacing imported fossil fuels from the energy balance of the Autonomous Energy System regions.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 Современные тренды развития энергетики в России и в мире.....	8
1.1 Особенности возобновляемых источников энергии	8
1.2 Современные виды электроустановок, на основе возобновляемых источников энергии.....	9
1.3 Развитие гибридных электростанций в России и в мире.	12
2 Обоснование выбора региона исследования применения гибридной электростанции.....	18
2.1 Сведения о Камчатском крае	18
2.2 Анализ потенциальных потребителей от генерирующих мощностей возобновляемых источников энергии	21
2.3 Оценка ресурсов ветроэнергетики в Красноярском крае.....	23
2.4 Оценка ресурсов солнечной энергетики в Камчатском крае	25
2.5 Оценка ресурсов гидроэнергетики Камчатского края	27
2.5.1 Анализ гидроэнергетического потенциала районов Камчатского края.....	27
2.6 Выбор места установки гибридной электростанции.....	30
2.6.1 Обоснование выбора населенного пункта Соболево Соболевского района для электроснабжения	30
3 Выбор оборудования для гибридной электростанции	32
3.1 Основные методические подходы, а также требования при проектировании ВЭС.	32
3.2 Выбор ветрогенератора.....	33
3.3 Выбор инвертора	36
3.4 Выбор гидроэнергетической установки.....	36
4 Расчет двух моделей гибридных электростанций в программном комплексе	40
4.1 Выбор программного комплекса для расчетов	40
4.2 Задание исходных данных в программном комплексе «Nomer» для выполнения расчетов	42
4.3 Задание параметров оборудования в программном комплексе «Nomer» для первой модели.....	45
4.4 Расчет первой модели гибридной электростанции	48
4.5 Задание параметров оборудования в программном комплексе «Nomer» для второй модели	58
4.6 Расчет второй модели гибридной электростанции.....	59
5 Сравнение двух моделей гибридных электростанций с ДГУ	68
6 Техничко – экономическое обоснование применение проекта гибридной электростанции.....	70
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	73

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших характеристик энергетики в районах с децентрализованным электроснабжением является надежность всех звеньев топливно-энергетической системы в целом [15]. Это сказывается не только на эффективности функционирования народного хозяйства, но и на здоровье и жизни людей, которые в случае отключения электроэнергии оказываются в тяжелых ситуациях [13].

Данная проблема надежности электроснабжения является актуальной и распространенной среди многих стран [17]. К основным проблемам децентрализованных пунктов относятся такие как дальние перевозки топлива с учетом ограниченного времени сезонной доставки в труднодоступные районы, так же низкий уровень развития транспортной инфраструктуры и сложность процесса доставки топлива приводят к значительным потерям и многократному увеличению его стоимости. В районе с децентрализованным электроснабжением общая себестоимость электроэнергии достигает до 40 рублей за 1 кВт·ч, что значительно превышает значение средних показателей в стране. Эксплуатация устаревших и изношенных автономных источников питания определяет их плохое техническое состояние, так же относительно низкий КПД (в некоторых районах КПД дизельных электростанций достигает до 25%), что приводит к недостаточной надежности электроснабжения и колоссально высоким финансовым затратам [29]. Приобретение новых дизельных установок не позволяют снизить себестоимость электроэнергии, так как высокая себестоимость электроэнергии вызвана высокой стоимостью на топливо для данных станций.

Внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) позволит полностью или частично заменить в настоящее время существующие дизельные электростанции энергосистемы.

1 Современные тренды развития энергетики в России и в мире

1.1 Особенности возобновляемых источников энергии

Сегодня речь идет об обязательной энергобезопасности, что означает «бесперебойное наличие энергоресурсов по доступным ценам», своевременное обеспечение энергоресурсами, приоритетность населения, имеющего различные характеристики для экономики и естественного освоения. Краткосрочная энергетическая безопасность в целом соответствует способности энергетических систем быстро реагировать на внезапные изменения топливно-энергетического баланса (ТЭБ). Таким образом, неадекватное обеспечение энергетической безопасности связано с отсутствием доступа к энергоресурсам, отсутствием конкуренции или повышенной волатильностью цен [1].

Страны – нетто-экспортеры и нетто-импортеры ископаемых источников энергии по-разному признают динамику цен и такие риски на мировом рынке. Например, в Германии, которая импортирует примерно 71% углеводородов широкого спектра энергопотребления, в 2010 г. была принята государственная программа, направленная на увеличение доли потребления энергетических ресурсов (ВИЭ) к 2050 г. и снижение потребления электроэнергии на 10%. Для снижения до 60%. % (в электроэнергетике - до 80%) [35]. Пока что энергетика страны развивается по заранее намеченному плану: в 2013 году 24% всей электроэнергии было выработано из возобновляемых источников энергии, а в 2015 году уже 30%.

После финансово-экономического кризиса 2008 г. и под воздействием негативных последствий изменения климата развитые и многие развивающиеся страны пересмотрели свои планы развития с целью перехода к «зеленому росту» экономики [5]. Эта модель предполагает экономический рост при одновременном обеспечении устойчивости природных активов, которые предоставляют необходимые человеку ресурсы и экосистемные услуги. Причина пересмотра концепции развития в том, что существующие технологии производства и поведение потребителей могут давать положительные результаты только до определенного момента – своего рода границы, за которой истощение природного капитала начинает оказывать негативное влияние на рост экономики. «Зеленый рост» не заменяет устойчивое развитие, скорее представляет собой его компонент, включающий оперативную программу политических мер, которые должны способствовать достижению конкретного, измеримого прогресса в плоскости соприкосновения экономики и окружающей среды.

Национальная стратегия «зеленого роста», формируемая с использованием инструментов экономической и экологической политики, интегрирована во все направления государственного управления [27]. В ней учитываются ценность природного капитала как фактора производства и его роль в росте экономики, делается упор на рентабельные пути смягчения давления на окружающую среду, переход к новым источникам и планам роста.

Концепция «зеленого роста» была воспринята международными организациями – ОЭСР и ООН, которые разработали международные документы в этой сфере, содержащие конкретные рекомендации по формированию национальных стратегий, системы показателей и методологию их измерения [22].

Перечисленные глобальные мега тренды однозначно указывают на социальные, экономические и технологические предпосылки развития ВЭ в мире. Появившиеся возможности уже используются многими развитыми и развивающимися странами. Есть все основания полагать, что генерация энергии на базе ВИЭ в ближайшие два десятилетия будет во многом определять облик мировой энергетики [21].

1.2 Современные виды электроустановок, на основе возобновляемых источников энергии

Источниками возобновляемой энергии являются источники, существующие на планете и способные возобновляться благодаря естественным процессам. Таким образом, использование такого источника не приводит к негативным последствиям.

Главным преимуществом возобновляемых источников энергии — это их неиссякаемость, а также их экологическая чистота. К группе возобновляемых источников энергии можно отнести:

- Солнце;
- Ветер;
- Геотермальные ключи;
- Гидроресурсы.

В зависимости от типа возобновляемой энергии источники энергии можно поделить на две группы: традиционные и нетрадиционные.

Традиционные источники — это источники, уже давно известные и в свою очередь уже активно используемые человечеством.

Нетрадиционные источники – это источники, ставшие применяться относительно традиционных недавно.

Солнечная энергетика

Солнечные станции преобразуют энергию солнца в электроэнергию за счет использования определенных коллекторов и фотоэлектрических преобразователей. Крупнейшая гелеостанция в Калифорнии обладает мощностью более 550 МВт [8].

Своя технология и конструкция оборудования очень просты в установке и удобны в своей эксплуатации. Но данный уровень развития науки и техники в настоящее время не позволяют получить большую экономическую выгоду от их деятельности. К тому же солнечные панели требуют больших площадей, а аккумуляторные батареи стоят высоких капитальных затрат. Однако, мировые инвестиции в развитие данного вида энергетики достигли значения 26 млрд. долларов за год.

К наиболее перспективным направлениями развития возобновляемой энергетики относятся такие как гидроэнергетика, солнечная энергетика, ветровая энергетика.

Гидроэнергетика

Строительство гидроэлектростанций обычно выполняется на реках. Для того что бы создать нужный напор воды создаются высокие плотины, а также объемные водохранилища.

Гидроэлектростанции обладают рядом следующих особенностей:

Положительные:

1. Высокая производительность при относительно небольших экономических расходах на строительство и дальнейшая эксплуатация плотины, из-за чего низкая себестоимость электроэнергии;
2. Нет никаких вредных выбросов в атмосферу;
3. Водохранилище как фактор, улучшающий микроклимат в районе ГЭС;
4. Возможность разведения рыб;
5. Предотвращает появление паводков, используется для орошения сельхозугодий, технического применения на заводах;
6. Обладают механизмом регулирования потребления энергии.

Помимо положительных особенностей гидроэлектростанции так же обладают и отрицательными факторами:

1. При наполнении водохранилищ происходит затопление обширных территорий, к которым относятся территории заповедников или же территории сельского хозяйства;
2. В результате перекрытия русла реки происходит исчезновения ценных видов рыб, которые ранее обитали в данном месте.

В качестве возобновляемых источников энергии гидроэлектростанции являются наиболее эффективными источниками электроэнергии для горных участков. Преимущественно они находятся как в Швеции, так и в России. В мировом количестве поставляемой энергии доля ресурсов гидроэнергетики составляет примерно три процента. Китай, Канада и Исландия это одни из тех стран, где наибольшую часть электроэнергии вырабатывают именно гидроэлектростанции.

В России всегда строительство ГЭС являлось эффективным направлением. В настоящее время производят порядка 6% электроэнергии в стране. В России строительство гидроэлектростанций всегда считалось выгодным направлением. В наши дни гидроэлектростанции вырабатывают 6 процентов электроэнергии страны. Площади крупнейших водохранилищ составляют порядка тысячи квадратных километров. Для примера можно взять Самарское водохранилище, размеры которого достигают около 6400 км².

Ветроэнергетика

Получение электроэнергии в ветроэнергетике получается за счет преобразования энергии воздушных масс в электрическую. В настоящее время производство ветрогенераторов выполняется разных мощностей, значение

которой зависит лишь от площади, охваченной лопастями. На сегодняшний день лидером производства ветрогенераторов является американская фирма Haliade-X у которой параметр значения высоты достигает больше 200 метров [37].

Минимальная скорость ветра, при которой начинают работать ветроустановки равна 3 м/с, для выработки номинальной мощности некоторым моделям нужна скорость ветра порядка 10 м/с. Но данные ветрогенераторы могут работать не при любых ветрах. При сильных порывах выше 25 м/с ветроустановку необходимо отключать, иначе установка может выйти из строя. Одним из больших недостатков ветроустановок это требования определенного диапазона скоростей.

Впрочем, по объему вырабатываемой электроэнергии в электростанциях, работающих с ВИЭ, ветроэнергетика находится на втором месте естественно же после гидроэнергетики [3].

Применение ВИЭ в виде ветроустановок и солнечных панелей позволит решить одну из многих проблем такую как доставка электроэнергии в удаленные, а также труднодоступные районы дальнего Севера. А при обращении внимания на их уникальную особенность, а именно на их экологическую чистоту, данные виды генерации могут приниматься в густонаселенных регионах с плохой окружающей средой [23].

Гибридные электростанции

Гибридная система – энергетическая система с несколькими источниками электрической энергии (генераторами), использующими не менее двух разных технологий производства электроэнергии [2].

Технические задачи, поставленные перед такой установкой, можно разделить на следующие основные моменты:

1. Производство и накопление энергии экономически выгодным способом;
2. Если используют ВИЭ:
 - Отдавать предпочтение использованию ВИЭ, где это локально доступно;
 - Накоплять энергию от ВИЭ, когда они доступны;
 - Использовать резервные источники энергии (наборы генераторов) для достижения указанного уровня сервиса, когда ВИЭ недоступны или недостаточны

В большинстве районов приход солнечной радиации и наличие ветра находятся в противофазе (т. е. когда светит яркое солнце, обычно нет ветра, а если дует сильный ветер, то солнца нет).

Поэтому для обеспечения бесперебойного электроснабжения автономного объекта, уменьшения необходимой мощности ветроустановки и солнечной батареи и емкости аккумуляторной батареи, улучшения режимов работы станции во многих случаях целесообразно использование гибридной ветро – солнечной электростанции [24].

Особенно ощущаются преимущества гибридных станций при круглогодичном использовании. При этом в зимнее время основная выработка

электроэнергии приходится на ветроэлектрическую установку, а летом – на солнечные фотоэлектрические модули.

Солнечные и ветровые энергетические технологии, экологически чистые и доступные, вполне могут заменить или дополнить традиционные способы получения энергии, связанные с использованием автономных генераторов. Последнее реализуется посредством комбинированных (гибридных) энергосистем, объединяющих технологии использования возобновляемых источников энергии, дизель генераторов, электронакопительных устройств, и предназначенных для использования преимущественно для энергоснабжения автономных потребителей.

Подобная система открывает возможности для повышения экологической безопасности и экономии топлива двигателем внутреннего сгорания за счет обеспечения его оптимизированной работы в условиях изменяющегося графика нагрузки, напрямую связанного с потребностями в электроэнергии в различное время суток [31].

1.3 Развитие гибридных электростанций в России и в мире.

Мировое стремление повышения значения стоимости тарифов на электрическую энергию, которая связана с постоянным удорожанием ресурсов, относящиеся к категории не возобновляемых энергоресурсов планеты, ведет к тому, что приходится наиболее напористо и решительно работать над вопросами эксплуатации альтернативной энергетики в нашей жизни. В настоящее время существует группа «бесплатных» энергоресурсов для людей, которыми являются как раз-таки возобновляемая энергия солнца, воды и ветра.

Однако ученые пришли к выводу, что совместное применение таких энергоресурсов в промышленности или же в частном секторе – намного эффективней, чем применение их по отдельности.

Гибридная генерация представляет комбинацию распространённых видов электростанций, к которым относятся такие как гидроэлектростанции, ветровые установки, солнечные панели или же дизель – генерирующие установки. Данное направление, набирающее обороты в мире, в свою очередь можно рассматривать как энергетическую переходную фазу от традиционных к возобновляемым источникам генерации электроэнергии [20]. Рассмотрим ряд примеров уже существующих гибридных электростанций в нашем мире.

Проект РусГидро (Россия). На Нижне-Бурейской гидроэлектростанции, в ее водохранилище была собрана единственная в стране мобильная плавучая солнечная электростанция. Это модуль понтонного типа с 140 фотоэлементами производство которых выполнено в России и занимают они около 475 м². Новая энергетика солнца, совместно с стационарными панелями будет использоваться как для освещения, так и для других нужд. Изготовление и установку наплавных панелей солнечной электростанции осуществляли специалисты компании «Хевел».

Новая станция солнечной энергии работает пока что на опытной основе. Специалисты проводят проверки ее как в автономно режиме, а также в совместном режиме с гидроэлектростанциями и резервными дизель генераторами. После окончания всех проверок и испытания солнечная электростанция будет находиться в верхней части Нижне – Бурейской гидроэлектростанции и может полностью обеспечить собственные потребности станции, а также увеличить полезный отпуск электрической энергии. В случае необходимости мобильная солнечная энергоустановка может быть оперативно перебазирована, что существенно расширяет возможности ее использования, отмечает пресс-служба РусГидро.

Это уже второй проект по созданию гибридной генерации, реализованный на Нижне-Бурейской ГЭС. В декабре 2019 года на пристанционной площадке ГЭС так же впервые в нашей стране были смонтированы солнечные панели общей мощностью 1 275 кВт, рисунок 1.1. Они позволили обеспечить значительную долю потребности гидростанции в электроэнергии на собственные нужды. Наземные — стационарные — солнечные панели расположены на ГЭС в четырех местах. Всего на станции 3264 модуля суммарной площадью 6322 квадратных метрах [11].



Рисунок 1.1 – Солнечные панели, расположенные на Нижне-Бурейской ГЭС

Проект Genex Kidston (Австралия). Genex Power осуществляет гибридный проект на территории одного из самых крупнейших золотых рудников Австралии, Kidston Gold, который закрылся в 2001 году примерно в 270 км к северо-западу от Таунсвилля, Квинсленд, Австралия. Это место было выбрано из-за наличия инженерной инфраструктуры, оставшейся от добычи полезных ископаемых, природных условий и подходящего климата (это место находится в самой высокой точке разреза Австралии).

Реализация проекта выполнялась в три шага.

Первый шаг — это строительство солнечной электростанции мощностью 50 МВт: СЭС запущена в 2017 году и состоит из 540 000 модулей (сроком эксплуатации 30 лет). Эта часть проекта обошлась в 115 миллионов долларов.

На втором шаге планировалось построение гидроаккумулирующей электростанции суммарная мощность которой составляет 250 МВт. Скважины, обводненные после добычи золота открытым способом, используются в качестве верхнего и нижнего бассейнов ГАЭС. Площадь верхнего бассейна составляет 52 га, нижнего – 54 га. Максимальный перепад высот составит 218 метров. Реализуемый проект может вырабатывать до 2000 кВтч в цикле генерации 8 часов (до полного опустошения верхнего бьефа). По проекту на ГАЭС будут установлены два обратимых гидроагрегата мощностью по 125 МВт каждый. Строительство данного этапа было завершено не так давно, в 2020 году.

Заполнение верхнего и нижнего бассейнов ГАЭС до расчетной отметки компания Genex Power планирует выполнить за счет забора воды из водохранилища Копперфилд. Данная плотина была построена для обслуживания рудника Кидстон в 1980-х годах, в 18 км к югу от рудника. Резервуар соединен с данной шахтой напорным трубопроводом.

В третьем шаге планируется монтаж второй солнечной электростанции значение мощности которой равняется 270 МВт. Итоговое общее количество солнечных модулей на объекте превысит 3 млн штук, а планируемая годовая выработка солнечных панелей равна 783 млн кВт·ч. По предварительным оценкам компании, начало производство всех установленных мощностей запланировано на 2024-2025 годы. Более подробная конструкция данной электростанции показана на рисунке 1.2.



Solar panel- Солнечные панели; Balancing storage- Балансирующее водохранилище; Lower reservoir- Нижний резервуар; Power house- Электростанция; Head pond & intake/outlet- Напорные водоводы; Lower reservoir- Верхний резервуар

Рисунок 1.2 – Планировка проекта Genex Kidston (Австралия)

Проект Valhalla (Чили). Чили обладает огромным потенциалом солнечной энергии. В северной части страны, благодаря расположенной рядом чрезвычайно сухой пустыне – Атакама, регистрируется один из самых высоких уровней инсоляции в мире. Также вдоль северного побережья Чили имеются участки с довольно крутыми скальными берегами и значительными перепадами высот, что создает благоприятные условия для строительства ГАЭС на морской воде.

Это уникальное сочетание географических и климатических условий послужило аргументом для проектирования и реализации уникального гибридного гидро-солнечного проекта Valhalla. Его разработчик – местная компания, основанная в 2011 году двумя предпринимателями, которые поставили цель войти на рынок электроэнергетики в Чили с инновационным и отвечающим целям устойчивого развития проектом.

Проект состоит из двух объектов: ГАЭС Espejo De Tarapacá (EdT) и СЭС Cielos de Tarapacá (CdT). Первая часть – один из самых инновационных инфраструктурных проектов в мире – состоит из насосной гидроэлектростанции мощностью 300 МВт, которая работает с морской водой и расположена примерно в 100 км к югу от Икике. Этот проект по сути представляет собой крупную систему хранения электроэнергии, которая позволит устранить (и при низких затратах) нестабильность нетрадиционных ВИЭ – в данном случае, солнца. Проект использует уникальные географические характеристики пустыни Атакама для того, чтобы построить почти полностью природную гидроэлектростанцию с водохранилищем, расположенную вблизи океана с высоким прибрежным утесом и использующую естественный рельеф поверхности.

Проект ГАЭС предусматривает установку трех реверсивных турбин, размещенных в пещере, которые работают на солнечной энергии, поднимают морскую воду в течение дня в естественную впадину, расположенной на верхнем нагорье, и в ночное время, работая в режиме турбины, используя накопленную воду для выработки энергии, возвращая ее в море. Как система забора воды из моря, так и трубопроводы будут подземными и двенаправленными.

СЭС состоит из солнечной электростанции мощностью 600 МВт с одноосным трекингом, позволяющим следить за солнцем с востока на запад. Если бы эта станция начала работу в 2016 году, она бы стала самой большой солнечной электростанцией в мире. Участок проекта в 1650 га расположен в Пинтадосе, примерно в 75 км к юго-востоку от города Икике, в регионе Тарапака. СЭС планируют построить в три стадии, по 200 МВт каждая. Сочетание этих двух объектов создаст первую систему в мире такого масштаба, способную производить солнечную энергию 24 часа в сутки, семь дней в неделю, конкурируя напрямую и без субсидий с термоэлектрической генерацией.

Проект Longyangxia (Китай). На Тибетском плато в провинции Цинхай строится крупнейшая в мире солнечная электростанция Gonghe площадью 298 кв. км (это в 5 раз больше площади Манхеттена, района в Нью-Йорке). 42 китайские солнечные компании уже установили 3450 МВт мощностей на

территории объекта. Установленные солнечные панели занимают такую большую площадь, что китайские медиа уже окрестили этот объект «голубым океаном». По официальным данным, СЭС Gonghe сможет генерировать электроэнергию, в объеме достаточном, чтобы покрыть энергопотребности 2,5 млн домохозяйств в пяти китайских провинциях и автономных регионах – Цинхай, Ганьсу, Шэньси, Нинся и Синьцзян. Площадь этих пяти областей оценивается в 3,08 млн кв. км.

В состав солнечного парка входит электростанция Longyangxia, которая в прошлом году была признана крупнейшей в мире. Она состоит из 4 млн панелей общей мощностью 850 МВт, которые могут обеспечить электроэнергией до 200 тыс. домохозяйств.

Проект Longyangxia изначально основывался на уже существовавшей гидроэлектростанции мощностью 1280 МВт, рисунок 1.3. И поэтому является также крупнейшей гибридной гидро-солнечной электростанцией в мире. Ее создание началось в 2013 году и закончилось в апреле 2018. Стоимость проекта – \$909 млн. Электростанция способна генерировать 14,94 млрд кВт·ч электроэнергии в год.



Рисунок 1.3 – Расположение солнечных панелей и ГЭС проекта Longyangxia

Проект Gorona del Viento (Испания). Одним из наиболее характерных примеров современной гибридной электростанции является электростанция Gorona del Viento, расположенная на острове Эль-Йерро (El Hierro, Канарские

острова, Испания). В ее состав входят пять ветроэлектростанций, имеющих максимальную установленную мощность 2,3 МВт каждый, гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) с верхним водоемом в 380 000 куб. м, расположенным на высоте 709,5 м, и нижним – в 150 000 куб. м на отметке 50 м (что соответствует ~ 50 МВт·ч запасаемой энергии – примерно половине дневного потребления острова), а также дизельная электростанция мощностью 11,4 МВт для покрытия пиковых нагрузок. Мощность этой гибридной электростанции вполне достаточна для острова с населением чуть больше 10 тыс. человек и площадью 268,71 кв. км. Электростанция введена в строй осенью 2014 и после тестирования в июне 2015 полностью обеспечивает энергоснабжение острова. До построения гибридной электростанции, данный остров снабжался ДЭС [7].

Судя по существующим проектам, а также тенденциям их развития можно заметить, что гибридные электростанции имеют ряд преимуществ перед традиционными электростанциями в отдельных регионах. Применение данных видов электростанций в регионах с децентрализованным электроснабжением в наше время является актуальным вопросом.

Ветро-дизельный проект (Россия).

Компания «Передвижная энергетика» поставила на Камчатку новые ветроустановки. В августе на Командорских островах введена ветро-дизельная энергетическая станция, а в сентябре – ветроэнергетическая станция в Усть-Камчатке.

Камчатский регион выбран был неслучайно: среднегодовая скорость ветра на побережье превышает 7–8 м/с, а на Командорских островах — 10 м/с. Это в два раза выше, чем на континентальных площадках Германии и Дании, которые входят в число лидеров ветроэнергетики. Благодаря этому потенциалу, энергетики рассчитывают на высокий коэффициент использования установленной мощности ветроустановок.

Как ни странно, основной резон установки ветряков в изолированных поселках Камчатки – не дать инновациям и не научный эксперимент, а чисто экономическая выгода. Здесь работает такая математика: в тех поселках, которые обеспечиваются электроэнергией от дизельных электростанций, себестоимость киловатта почти заоблачна – виной стоимости привозного дизтоплива. Замещая выработку дизельной станции (читай, экономя топливо), можно не только окупить ветровую электростанцию, но и создать условия для снижения тарифа.

В частности, ветро-дизельная станция на Командорских островах позволит заместить до 50% среднегодовой выработки местных дизельных мощностей, что даст возможность сэкономить 350 тонн топлива, или 12,5 млн руб. в год в ценах 2013 года. Проект окупится за 10 лет.

Однако для того, чтобы все заработало, пришлось немало постараться. Энергетикам пришлось очень тщательно подбирать оборудование, чтобы, во-первых, иметь возможность его доставить, а во-вторых, должным образом смонтировать. Из-за отсутствия должной строительной инфраструктуры для проекта на Командорских островах, например, не годился ни один башенный

ветряк. На островах нет тяжелой строительной техники, а башенному ветряку нужен тяжелый кран – и для строительства, и для обслуживания [32]. На помощь пришел мировой опыт – уникальную технологию для подобных условий имеют французы – фирма Vergnet как раз собирает легко транспортируемые и монтируемые самоподъемные ветряки, предназначенные как раз для монтажа на малонаселенных островах. Ветряк полностью собирается на земле, после чего приводится в вертикальное положение с помощью лебедки. Два таких ветроагрегата мощностью 275 кВт были смонтированы на острове Беринга, один – в пос. Усть-Камчатск.

Так же до сегодняшнего момента уже были предложены несколько проектов гибридных электростанций, к примеру разработка гибридной гелио - гидроэлектростанции в Красноярском крае или же повышение эффективности республики Бурунди за счет внедрения солнечной электростанции [6]. Однако практически основная часть проектов основана лишь на работе гидроэлектростанции с солнечными панелями, так как рассматривалось внедрение таких электростанций в районы с теплым климатом.

Но в свою же очередь имеется множество изолированных районов, где применение солнечных панелей крайне неэффективно. Как указывалось, уже выше, были предложены проекты применения ветрогенераторов в комплексе с дизель – генераторами. Но такие предложения не позволяют полностью избавиться от ДГУ, тем самым основная часть затрат на доставку топлива остается наиболее оптимальной.

2 Обоснование выбора региона исследования применения гибридной электростанции

Одним из важных этапов проектирование гибридной электростанции является учет ряда факторов такие как общее состояние электроэнергетике региона, климатические условия, тарифы на электроэнергию, а также особенности географического расположения [30]. В результате анализа, регионом для установки гибридной гидроэлектростанции был выбран Камчатский край. Обоснование данного выбора представлено в этой главе.

Основным фактором, определяющим эффективность использования возобновляемых источников энергии для производства электрической энергии, является энергетический потенциал возобновляемого энергоносителя. Поэтому для оптимизации параметров солнечных, ветро и гидроэлектростанций необходимы локальные исследования, позволяющие выполнить предварительный проект привязки электростанций к местности [26].

2.1 Сведения о Камчатском крае

Камчатский край входит в состав Дальневосточного федерального округа и занимает полуостров Камчатка с прилегающей к нему материковой частью, а также Командорские и Карагинский острова. Камчатский край граничит на

северо-западе с Магаданской областью, на севере - с Чукотским автономным округом, на юге - с Сахалинской областью. С востока Камчатку омывается водами Тихого океана, с северо-востока водами Берингова моря, с запада водами Охотского моря.

Площадь территории составляет 464,3 тыс. кв. км (2,7 % от площади Российской Федерации), из которой 292,6 тыс. кв. км занимает Корякский округ, и простирается с юга на север почти на 1600 км. Климат главным образом умеренный муссонный, в центре – умеренный континентальный, на севере – субарктический; средняя температура января на полуострове Камчатка -15,5 °С, на прилегающей части материка -25 °С, средняя температура июля +13,2 °С; количество осадков – до 1000 мм в год. На севере края – многолетняя мерзлота, свыше 400 ледников. Численность населения края на 1 января 2020 года составила 313,0 тыс. человек (0,2 % от численности населения Российской Федерации).

Камчатский край располагает разнообразной минерально-сырьевой базой. Полезные ископаемые территории имеют не только местное и межрегиональное значение, но и федеральное и все они могут освоены. Потенциал углеводородов оценивается в 1,4 млрд. тонн, включая извлекаемые – 150 млн. тонн нефти и около 800 млрд. куб. м газа.

Углеводородные перспективные площадки выделены в пределах шельфовых зон побережья края. Уголь Камчатского края, разведанный и предварительно оцененный, составляет 275 млн. тонн, а его прогнозные запасы более 6 млрд. тонн. Местные потребности обеспечиваются за счет 3-х мелких месторождений каменного и бурого угля и ещё два готовятся к освоению.

На территории выявлено 54 месторождения торфа, наиболее крупные – Большая Тундра, Мысовое, Опалинская Тундра, Хетикская Тундра-1. На долю крупных месторождений торфа приходится 65,4% всех его разведанных запасов. Промышленная добыча золота началась в крае в 2006 г. на Агинском месторождении, а в 2008 г. объем добычи золота составил 1330 кг. Добыча россыпного золота идет в объеме 60-100 кг в год. Прогнозные ресурсы серебра более 6,7 тыс. тонн. В Срединном хребте есть запасы никеля и кобальта. Прогнозные ресурсы которых определяются соответственно в 3,5 млн. тонн и 44 тыс. тонн. Содержание никеля в рудах высокое и достигает до 7%, например, в месторождении Шануч. Термальные воды ежегодно добываются в количестве 13 млн. куб. м. Камчатский край, благополучный в экологическом отношении, имеет уникальные рекреационные ресурсы для развития туризма.

Энергосистема Камчатки наряду с энергосистемами Якутии, Магадана, Сахалина, Чукотки является изолированной. Это является основной особенностью энергосистемы Камчатки. Изменение изолированности энергосистемы возможно только в Якутии, где соединение западных районов с центральными возможно, так как есть крупные платежеспособные потребители — «Сургутнефтегаз», «Сибнефть», «Норильский никель» и др.

Основные проблемы Камчатской энергосистемы:

– В Камчатке, оторванной от остальных частей России, есть изолированная энергосистема, зависящая от поставок из материка, поскольку Камчатские ТЭС – 1 и ТЭС – 2 работают за счет мазуты. Топливо, учитывая транспортные расходы, стоит от 300 долларов за одну тонну бензина. В итоге, киловатт – час на полуострове самый дорогой в России и достигает более 5 рублей, все энергоносители функционируют преимущественно в сейсмоактивной зоне с сложными природными условиями, так что Камчатка объективно не может быть включена в какую-либо объединённую энергосистему России;

– На полуострове нельзя надёжно эксплуатировать линии высоковольтной передачи, что не позволяет создать единую территориальную энергосистему и заставляет потребителей обеспечивать электрическую энергию локальным энергоузлам, энергокомплекс является одним из ключевых определяющих факторов для освоения промышленного потенциала Камчатского края; это активное развитие является потенциальным социально – экономической деятельностью всего региона в связи с созданием Камчатского края в 1 июня 2007 года при объединении двух глубоко дотационных регионов – Корякского автономного округа и Камчатского региона; в настоящее время электропотребление на Камчатке достигло стабильного уровня, но этот уровень развития даже не достиг еще уровня 1991; доля потребления населения в структуре электроэнергии - 38,1% и бюджетные организации – 22,8% , а промышленное потребление составляет всего лишь 7%; невысокий уровень платежеспособности потребителей в связи с низким доходом в расчете на одного человека;

– Среди всех электрических станций в основном преобладает топливные, процентное соотношение которых составляет 84%, которые работают на мазуте, к ним относятся ТЭЦ в центральном округе и расположенные в районах с децентрализованным электроснабжением дизельные электростанции. Доля электроэнергии в Камчатском крае по возобновляемым источникам энергии составляет 17%, а объем производства электроэнергии из них равен 33%; в Камчатском крае имеются уникальные запасы геотермальной и энергоресурсной воды, где из всех источников около 60 из них имеют температуру выше 60°C, что делает их энергетическим ресурсом; главная проблема Камчатки в энергетике – это устаревшее электроснабжение и электрические сети, которые уже отработали расчетное время. Половина всего оборудования имеет возраст более 30 лет, а выработка электроэнергии чуть больше 60% обеспечивается различными энергоблоками с малыми мощностями. В результате — значительный расход топлива, а также увеличенные затраты на ремонт и конечно же техническое обслуживание; все найденные запасы газа на полуострове в общем объеме составляют около 16 миллиардом м³, а предполагаемый объем газа на Камчатке составляет около 49 миллиардов м³. Основными перспективами обнаружения нефтяных и газовых месторождений являются Охотская нефтегазовая провинция, особенно ее морская часть. По объему ресурсов, до 50 тыс. т. на км², этот район превосходит только шельф

Северного Сахалина. Завершение строительства газопровода Соболево—Петропавловск-Камчатский даст возможность обеспечить столицу и перевести газ камчатские ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 на газ;

– Основными причинами неэффективности энергетики Камчатки являются высокие цены на уголь и привозные топливные ресурсы. Тариф на топливо выше среднероссийского приблизительно полутора раза, а это основной фактор удорожания.

2.2 Анализ потенциальных потребителей от генерирующих мощностей возобновляемых источников энергии

Потенциальными потребителями электрической энергии являются жилые комплексы, объекты коммунального хозяйства, транспортной, производственной и социальной инфраструктуры, расположенные на территории населенных пунктов. Наиболее перспективными районами для использования ВИЭ являются населенные пункты, где энергоснабжение децентрализовано с использованием дизельных электростанций.

На рисунке 2.1 часть карты Российской Федерации, в которую входит Камчатский край, с указанием централизованного и децентрализованного энергоснабжения. На данной карте, можно заметить, что выбранным нами регион имеет очень малую долю централизованного энергоснабжения. Менее 50% территории Камчатского края находится под автономным энергоснабжением. Остальная же территория не электрифицирована.



Рисунок 2.1 – Централизованные и автономные системы энергоснабжения Камчатского края

Энергоснабжение децентрализованных потребителей выполнено с применением дизельных электростанций, имеющих высокий уровень себестоимости, вырабатываемый электроэнергии, обладающих высокими экологическими рисками.

Дизельные электростанции – основной источник электроэнергии практических всех энергоузлов Камчатской области. Всего в эксплуатации более 40 дизельных электростанций суммарная мощность которых достигает 160,8 МВт, выработка электроэнергии которых за 2018 год составила порядка 265,9 млн. кВт·ч. К наиболее мощным дизельным электростанциям в Камчатской области относятся: ДЭС-23 в п. Усть-Камчатск (8,4 МВт), ДЭС-22 в п. Ключи (6,2 МВт), ДЭС-10 в п. Палана (6 МВт), ДЭС-5 в с. Усть-Хайрюзово (4,86 МВт), ДЭС-11 в п. Тигиль (4,8 МВт), ДЭС-12 в с. Оссора (4,6 МВт), ДЭС-6 в п. Усть-Большерецк (4,6 МВт), ДЭС-28 в с. Вывенка (4,34 МВт), ДЭС-4 в с. Манилы (4,32 МВт), ГДЭС-7 в п. Соболево (2,68 МВт). Дизельные станции принадлежат различным владельцам, в том числе АО «Южные электрические сети Камчатки» около 20 дизельных электростанций сумарная мощность которых равна 60 МВт, АО «Корякэнерго» и другие. Месторасположение наиболее крупных дизельных электростанций показано на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Расположение наиболее крупных ДЭС в Камчатском крае

В среднем стоимость электроэнергии, вырабатываемая дизельными агрегатами, составляет от 20 до 40 рублей за 1 кВт·ч. При закупки дизельного топлива со средней ценой 55 тысяч за 1 тонну, ежегодные затраты, с закупкой данного топлива, с его транспортировкой будут составлять около 8,7 миллиардов рублей. Эти факторы существенно влияют на тарифы электроэнергии в регионах, где в качестве основных источников электроэнергии используются ДЭС.

Высокая стоимость электроэнергии говорит о проблеме и требует детального рассмотрения вопроса энергоснабжения района с децентрализованным электроснабжением Камчатского края.

2.3 Оценка ресурсов ветроэнергетики в Красноярском крае

Что бы использовать ветроэнергетику с наибольшей выгодой, для начала необходимо определить ресурсы этой энергии. Далее будут приведены результаты расчетов по определению ресурсов ветроэнергетики в Камчатском крае площадью 464 275 км².

Для оценки потенциала возобновляемых источников энергии часто используют метод «снизу-вверх», где изначально рассчитывается доступный потенциал энергии, а затем на него накладываются различные ограничения-технологические, экономические, климатические, географические и т.д [28]. Применение этого метода поможет позволить оценить теоретический доступный (валовой) потенциал ВИЭ, технический и экономический.

- Валовой потенциал ветровой энергии зоны определяется средней удельной мощностью ветрового потока;
- Технический потенциал — это часть валового потенциала, преобразование которого в полезную энергию целесообразно при соответствующем уровне развития технических средств;
- Экономический потенциал — это часть технического потенциала, которую экономически выгодно преобразовать в полезную энергию при определенных экономических условиях.

В России внимание проблемам оценки потенциала ВИЭ уделяется в работе Безруких П.П. Отечественными исследователями неоднократно составлялись атласы и справочники ресурсов солнечной и ветровой энергетики или всех ресурсов ВИЭ, содержащих методологию и результаты оценки этих ресурсов.

Валовой потенциал ветровой энергии

Одной из особенности Камчатского края является административно-территориальное деление, а именно разброс площадей муниципальных районов, а также количество человек, проживающих в данных районах, что влечет за собой разброс плотности населения на территории края. Разброс площадей составляет 1,5 тыс. км² (Алеутский район) и 116 тыс. км² (Пенжинский район), плотность населения от 0,05 чел. км² (Пенжинский район) до 1,54 чел. км² (Елизовский район). Оценку ветрового валового потенциала можно провести, основываясь на уже существующую методику, [10]. Для оценки необходимо

рассчитать усреднённые площади районов значения потенциалов и представить их единым образом, удобным для сравнения. При расчете валового потенциала ветровой энергии были взяты среднегодовые значения скоростей ветров по всем регионам Камчатского края. Учитывая, что средняя высота ветроустановки вместе с лопастями достигает практически 200 метров, то все значения скоростей брались на высоте 120 м. Расчет ветрового валового потенциала выполнялся по формуле (2.1).

$$W_B = 0,025 \cdot \rho \cdot T \cdot S \cdot \sum_{i=1}^n v_i^3 \cdot t_i, \quad (2.1)$$

где $\rho = 1,22$ – плотность воздуха, кг/м³;

$T=8760$ – число часов в году;

S – площадь территории, м²;

v_i^3 – среднемноголетняя скорость за период;

t_i – вероятность нахождения скорости в диапазоне.

Все полученные значения в результате расчета приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Значения ветрового валового потенциала Камчатского края

Муниципальный район	Среднемноголетняя скорость на высоте 120 м, м/с	Площадь, млн. м ²	Вероятность нахождения скорости ветра	Валовый потенциал ВЭ, млрд. кВт·ч/ год	Рейтинг
Алеутский	11,1	1507	0,58	319	11
Быстринский	7	23377	0,35	750	10
Елизовский	8,1	40996	0,41	2387	3
Мильковский	7,3	22589	0,36	845	9
Соболевский	7,9	21075	0,38	1055	8
Усть-Большерецкий	8,7	20626	0,45	1633	5
Усть-Камчатский	7,2	40837	0,35	1425	6
Карагинский	6,9	40640	0,31	1106	7
Олюторский	7,6	72352	0,38	3225	1
Пенжинский	6,1	116086	0,30	2112	4
Тигильский	7,8	63484	0,37	2978	2

Таким образом, можно сделать вывод, что среднемноголетняя скорость ветров в районах Камчатского края изменяется в диапазоне от 6,1 до 11,1 м/с, что говорит об эффективной работе ветроэлектростанций при данных скоростях. Эти районы: Алеутский, Быстрицкий, Елизовский, Мильковский, Соболевский, Усть-Большерецкий, Усть-Камчатский, Карагинский, Олюторский, Пенжинский, Тигильский.

Наибольшими ветровым валовым потенциалом обладают районы Олутюрский, Тигильский, Елизовский и Пенжинский мощность которых

превышает значение 2000 млрд. кВт·ч/ год. Но один из районов-лидеров, а именно Елизовский район не имеет острого дефицита электроэнергии, так как в данном районе располагается каскад МГЭС Толмачева.

Из всех районов самыми неблагоприятными для эксплуатации ветроэлектростанций являются районы Алеутский, Быстринский и Мильковский, так как их значение валового потенциала менее 1000 кВт·ч/год. В остальных же районах значение валового потенциала позволяет установить ветроэлектростанции.

Оценка технического потенциала (часть валового потенциала, преобразование которого в полезную энергию возможно при существующем уровне развития технических средств, при соблюдении требований по охране природной среды), выполненная с использованием характеристик ветроэлектростанций. Расчет технического потенциала будет выполнен после выбора оборудования.

2.4 Оценка ресурсов солнечной энергетики в Камчатском крае

Что бы использовать солнечную энергетику с наибольшей выгодой, для начала необходимо определить ресурсы этой энергии. Далее будут приведены результаты расчетов по определению ресурсов солнечной энергетики в Камчатском крае площадью 464 275 км².

Для оценки потенциала возобновляемых источников энергии часто используют метод «снизу-вверх», где изначально рассчитывается доступный потенциал энергии, а затем на него накладываются различные ограничения-технологические, экономические, климатические, географические и т.д. [16]. Применение этого метода поможет позволить оценить теоретический доступный (валовый) потенциал, технический и экономический.

Валовый потенциал солнечной энергии

Ситуация с расчетом валового потенциала солнечной энергии в общем такая, как и при расчете ветрового валового потенциала. Для расчета были взяты значение солнечной инсоляции за год для каждого муниципального района в отдельности и после чего был рассчитан непосредственно сам валовый потенциал. Среднегодовой приход солнечной энергии за единицу площади в год:

$$E_{\text{год}} = \sum E_{\text{мес}}, \text{кВт} \cdot \frac{\text{ч}}{\text{м}^2} \text{ за год}, \quad (2.2)$$

Валовый потенциал солнечной энергии:

$$W_{\text{п}} = E \cdot S, \text{кВт} \cdot \frac{\text{ч}}{\text{год}}, \quad (2.3)$$

Все результаты расчетов сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Валовый потенциал солнечной энергии в Камчатском крае

Муниципальный район	Площадь, млн. м ²	Значение солнечной радиации за год, кВт·ч/м ²	Валовый потенциал СИ, млрд. кВт·ч/год	Рейтинг
Алеутский	1507	1098	17	5
Быстринский	23377	1145	27	1
Елизовский	40996	1098	45	4
Мильковский	22589	1117	25	2
Соболевский	21075	1117	24	3
Усть-Большерецкий	20626	1057	22	6
Усть-Камчатский	40837	1014	41	7
Карагинский	40640	894	36	9
Олюторский	72352	860	62	10
Пенжинский	116086	798	93	11
Тигильский	63484	962	61	8

Оценка рейтинга районов проводилась в зависимости от показателя значения солнечной радиации.

Анализируя показатели солнечной радиации, можно заметить, что из всех районов самыми неблагоприятными для установки солнечных электростанций являются районы Тигильский, Олюторский, Карагинский и Пенжинский так как показатели данных районов не превышают отметки 1000 кВт·ч/м².

В других же муниципальных районах, где значение солнечной радиации составляет в диапазоне 1000-1150 кВт·ч/м², возможна эксплуатация малых и средних гелиосистем с апреля по август.

Таким образом большая часть Камчатского края обладает большим потенциалом для применения солнечных энергоустановок преимущественно сезонного типа, особенно в сельской местности.

Технический потенциал — это часть валового потенциала, которая при равных условиях (климатических, угла наклона и т.п.) зависит от приемной мощности и КПД. Если КПД практически постоянная величина, то площадь определяет суммарный энергетический баланс. Таким образом, если произвести определенные упрощения, то технический потенциал пропорционален валовому, с коэффициентом пропорциональности <1. С ростом технического прогресса со временем значение этого коэффициента будет медленно снижаться.

Эффективность может быть повышена, если изменить ориентацию приемных поверхностей на юг под углом 40° ... 50°, тем самым повышая значения КПД преобразователя солнечной энергии на 15-20%. Расчеты ресурсов солнечной энергии были получены при горизонтальном расположении солнечной батареи.

Экономический потенциал можно выразить, как социальный показатель. Естественно, он измеряется в энергетических единицах - кВт·ч или

МДж тепловой энергии, потребленной населением. Важным показателем экономического потенциала является цена энергии.

2.5 Оценка ресурсов гидроэнергетики Камчатского края

Гидроресурсы Камчатского края используются для обеспечения электроснабжения в слишком малом объеме, доля использования альтернативных источников гидроэнергетики составляет менее 0,01% [25].

В целом значение количество рек в Камчатском крае составляет 140 тыс. К наиболее крупным рекам относятся река Камчатка с протяженностью 758 км, и река Пенжина протяженность которой составляет 713 км.

Характеристика русла реки связаны с длиной реки, скоростью течения реки зависит от рельефа местности. Практически все муниципальные районы характеризуются лесными и горно-таежными реками (более 80%) с главной особенностью глубоким зимним маловодьем. Зимнее половодье длится с декабря по март-апрель месяц, весеннее половодье начинается с марта-апреля и длится до июня-июля, лесное-осеннее половодье с июня-июля по сентябрь – октябрь [4]. Таким образом, более 80% рек может быть использовано для выработки электроэнергии с апреля по октябрь.

Таблица 2.3 – Основные характеристики рек Камчатского края

Показатель оценивания	Основные параметры		
	Длина реки свыше 100 км	Длина реки свыше 10 км	Длина реки до 10 км
Количество рек (в % к общему числу рек)	~0,1	~4,9	~95

2.5.1 Анализ гидроэнергетического потенциала районов Камчатского края

Оценка гидрологических параметров проводится по методике, регламентированной официальным нормативом. Определение расчетных характеристик основывается на данных гидрометеорологических наблюдений. Статистические данные размещены в открытом доступе сети интернет, а также доступны данные мониторинга режимов рек специалистами УГМС.

Для определения расчетных гидрологических характеристик возможно использование данных:

- При наличии гидрометрических наблюдений необходимо использовать эти данные;
- При недостаточности данных гидрометрических наблюдений необходимо выполнить доведение до многолетнего периода по данным рек-аналогов с более длительными сериями наблюдений;

– При отсутствии данных гидрометрических наблюдений необходимо использовать аналогичные речные данные и карт, основанных на совокупности наблюдений всей сети гидрометрических станций и постов в данном районе.

Если нет данных по гидрометрическим наблюдениям, то выбираются аналогичные реки, при этом необходимо учитывать возможную территориальную близость водосбросов, сходство климатических условий, условия формирования течения (сходство почв), а площадь водосброса не должна отличаться более чем в 10 раз.

К основным гидрологическим характеристикам относятся: расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$), объем стока (м^3), модуль стока воды ($\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$), слой стока воды (мм) и уровень воды (м).

Гидрологическими характеристиками водосброса реки являются: водосбросная площадь (км^2), длина реки (км), модуль стока воды ($\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$), слой стока воды (мм) и уровень воды (м).

Со сменой сезонов года с таянием снега, засухами и дождями (влияние естественных факторов), возможно изменение количества воды в реке и скорости течения.

Гидравлическую энергию реки можно определить проекцией силы тяжести на направление водного потока, которая определяется разностью уровней воды в начале и в конце рассматриваемого участка реки (N , M). Пропускная способность водотока R (W) при разнице уровней N (M) и среднем расходе воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$) на участке длиной 1 м может быть определена по формуле:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.4)$$

где ρ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

Гидравлический потенциал реки можно разделить на валовой (теоретический), технический и экономический.

Валовой гидроэнергетический потенциал – это общая теоретическая сумма энергии речного потока без учета потерь энергии.

Валовой гидроэнергетический потенциал реки длиной l , генерируемый за время T (час):

$$W_l = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot T, \quad (2.5)$$

Так же расход воды непостоянен, поэтому обычно используется линейное приближение измерения расхода вдоль участка:

$$Q_{\text{ср}} = \frac{Q_1 + Q_2}{2}. \quad (2.6)$$

где Q_1 , Q_2 – расход в начале и в конце рассматриваемого участка водотока.

Технический потенциал – это часть валового потенциала, которая может быть освоена с использованием современной техники. Учитывает КПД гидротурбины, генератора, потери энергии, связанные с движением воды по водотокам и другие потери.

Технический энергopotенциал учитывает все потери при преобразовании энергии потока во вращательное движение ротора генератора и преобразование энергии электромагнитное поля генератора в электрическую энергию.

Коэффициент полезного действия (КПД) можно вычислить, если перемножить коэффициент КПД турбины, который равен $0,85 \div 0,95$ с коэффициентами КПД генератора: $0,97 \div 0,99$ и коэффициент КПД механической трансмиссии $0,99$. Тогда общий коэффициент КПД составит:

$$h_0 = h_T \cdot h_{тр} \cdot h_{ген} = 0,89 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 0,863. \quad (2.7)$$

Экономический потенциал – это часть технического потенциала после учета всех потерь, использование которой экономически целесообразно при данном уровне цен на электрическую энергию, оборудование, транспортные услуги и материалы, оплата труда и другие расходы.

Распределение гидроресурсов ВИЭ характеризуется определенными закономерностями, которые необходимо учесть при расчете.

Как и в предыдущих пунктах, гидроресурсы условно отнесены к территориям административных подразделений, которые фактически распределены по водным ресурсам на расстоянии не более 1 км для источников с единичной мощностью не более 50 кВт, так как использование трансформаторных устройств на этой мощности не целесообразно.

Большинство населенных пунктов располагается по берегам рек, поэтому возможен большой выбор населенных пунктов для реализации проекта гидроэлектростанции для снабжения населенных пунктов.

Выбор места расположения станции может осуществляется по следующему принципу: расчет потенциала и выбор муниципального района для реализации проекта, выбор реки с хорошей энергетикой, выбор населенного пункта для реализации проекта.

Все полученные значения энергетических потенциалов, расчет которых велся за год, представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Значение валовых и технических потенциалов

Муниципальный район	Валовый потенциал, млрд. кВт·ч/год	Техническая мощность, млрд. кВт·ч/год	Рейтинг
Алеутский	0,00	0,00	11
Быстринский	16,57	14,30	10
Елизовский	100,51	86,74	3
Мильковский	94,56	81,61	4
Соболевский	298,80	257,87	1

Продолжение таблицы 2.4

Муниципальный район	Валовый потенциал, млрд. кВт·ч/год	Техническая мощность, млрд. кВт·ч/год	Рейтинг
Усть-Большерецкий	49,97	43,12	8
Усть-Камчатский	118,46	102,23	2
Карагинский	46,18	39,85	9
Олюторский	90,41	78,02	5
Пенжинский	82,47	71,17	6
Тигильский	72,94	62,95	7

Таким образом, к районам, которые имеют высокий энергопотенциал можно отнести: Соболевский, Усть-Камчатский, Елизовский и Мильковский.

Районы, имеют средний энергопотенциал: Олюторский, Пенжинский, Тигильский, Усть-Большерецкий и Карагинский. В оставшихся же двух муниципальных районах, а именно в Алеутском и Быстринском эксплуатация гидроэлектростанции не целесообразна из-за слишком низких показателей.

Анализируя полученные гидроэнергетических показателей, можно сделать вывод что Камчатский край обладает высоким гидроэнергетическим потенциалом. Большая часть населенных пунктов, расположенных вблизи протекающих рек, являются энергодефицитным и получают электроэнергию от дизельных электростанций.

2.6 Выбор места установки гибридной электростанции

Наиболее экономически и технически выгодным будет проект применение гибридной электростанции в условиях энергодефицита (основной источник электрической энергии – ДЭС), а также где имеется высокий ветровой, гидроэнергетический потенциал.

При расчете ветрового, солнечного и гидроэнергетического потенциала Камчатского края наиболее перспективными районами для исследования применения гибридной электростанции являются районы: Соболевский, Олюторский, Усть-Камчатский, Елизовский, Карагинский, Тигильский и Пенжинский.

2.6.1 Обоснование выбора населенного пункта Соболево Соболевского района для электроснабжения

Населенный пункт Соболево находится неподалеку от реки Большая Воровская, а также расположено в 389 км от Петропавловска - Камчатского. Данное село является административным центром Соболевского района, рисунок 2.2

Географическое расположение населенного пункта: 54°18' С. Ш. 155°55' В. Д.

На территории поселка располагаются жилые дома, пункты первичной сельхозпродукции, объекты инфраструктуры и имеется аэропорт.

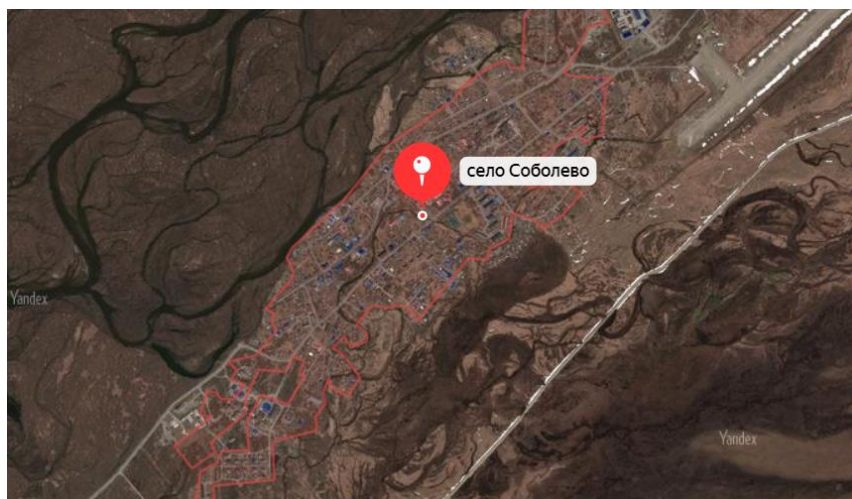


Рисунок 2.2 – Населенный пункт Соболево, расположенный на карте.

При выборе населенного пункта, Соболево оказался наиболее перспективным по следующим причинам:

- Высокий гидроэнергетический потенциал региона;
- Энергодефицитный район;
- Само село расположено недалеко от Охотского моря, так же в населенном пункте имеется аэропорт и в 5 км проходит трасса регионального назначения;
- Относительно развитая инфраструктура;
- По сравнению с другими регионами, показатели сейсмоактивности в данном населенном пункте одни из самых минимальных.

Электроснабжение населенного пункта Соболево осуществляется за счет ДЭС мощность которой составляет 2800 кВт. Суточный график нагрузки для данного населенного пункта, к сожалению, найти не удалось, значения для суточного графика брались для похожего населенного пункта. График суточной нагрузки представлен на рисунке 2.3

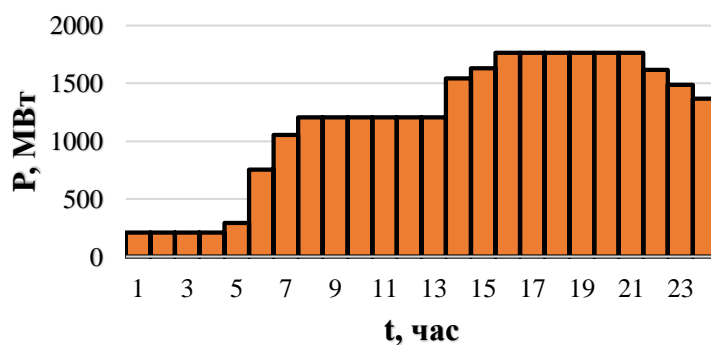


Рисунок 2.3 – Суточный график нагрузки для с. Соболево

3 Выбор оборудования для гибридной электростанции

3.1 Основные методические подходы, а также требования при проектировании ВЭС.

В настоящее время современные ветроэлектростанции являются одними из технических и экологических сложных объектов. В состав сооружений данного вида электростанций входит: ветроэлектроустановки, метеорологическое оборудование, так же объекты выдачи мощности и здания и сооружения с подъездными дорогами к ВЭУ [12].

К основным требованиям при размещении ветроэлектрических станций относятся:

- Ветроустановка обязана быть удалена от жилых помещений, а также лечебных учреждений, школ и домов отдыха на расстояние, обеспечивающее снижение уровня шума, создаваемого работающей ветроустановки, до уровня 45 дБ.

- Место для сооружения ветроустановок должно находиться вне отведенной территории расположения железных дорог и автомобильных трасс, линий электропередач, магистральных газопроводов, а также кабельных и водопроводных трасс.

- Ветроустановки не должны устанавливаться на пути основных трасс перелетных птиц, а также размещаться вблизи их массовых гнездований.

- Если ветроустановка оказывает шумовое, визуальное или другое воздействие, то выбранное место для сооружения электроустановок должно быть согласовано с администрацией данного района размещения ВЭУ.

ВЭС представляет собой комплекс оборудования, в состав которого входят:

1. Ветрогенератор;
2. Аккумулятор;
3. Инвертор;
4. Коммутационное оборудование, кабель и прочее устройства.

Принципиальная схема оборудования, входящего в комплекс ВЭУ представлен на рисунке 3.1

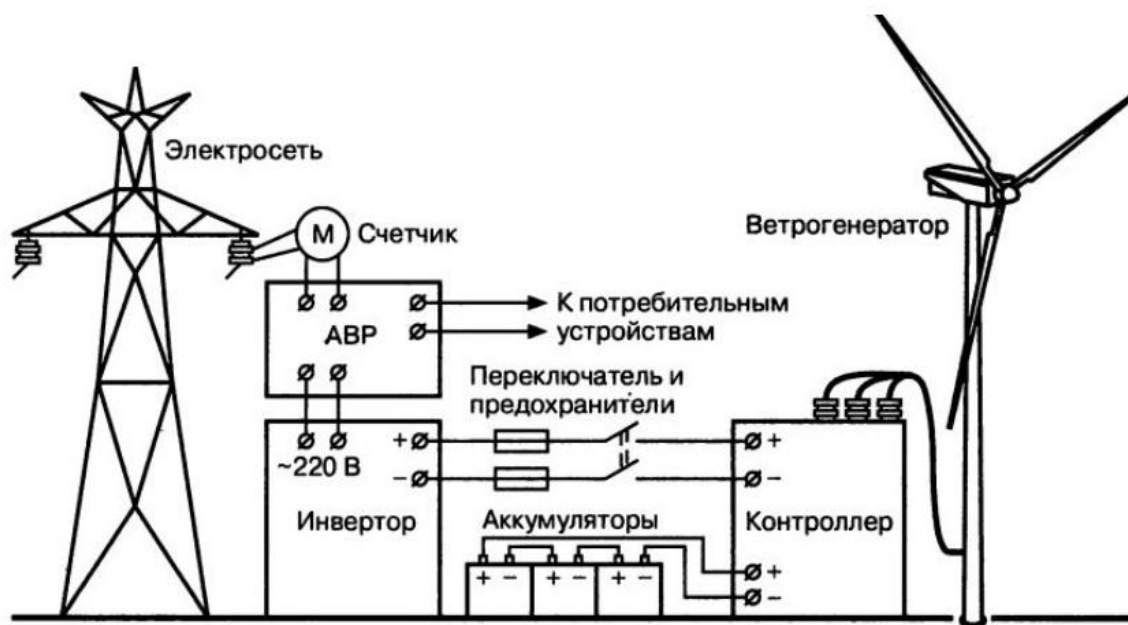


Рисунок 3.1 – Комплекс оборудования ВЭУ

Выбор ВЭУ и др. оборудования ВЭС должен осуществляться в соответствии с его функциональным назначением, параметры оборудования и его размещение должно быть определено в проекте.

Оборудование ВЭС должно соответствовать требованиям обеспечения:

- Надежной и экономичной работы технологического оборудования;
- Удобства в эксплуатации оборудования, а также сооружений и зданий;
- Механизация работ по ремонту, удобный доступ к оборудованию, чтобы обеспечить монтаж, а также демонтаж оборудования и его транспортировку;
- Выполнение санитарно-технических требований;
- Предотвращения недопустимого воздействия на людей и окружающую среду;
- Транспортные и технологические коммуникации;
- Пожарная безопасность;
- Выполнения требований по обеспечению эвакуации сотрудников в условиях аварийной ситуации;
- Требований по промышленного эстетичного и архитектурного дизайна.

Для обеспечения надежной работы ВЭС, его вспомогательных систем и оборудования, системы автоматического управления ВЭС должны обеспечивать надежную работу всей станции без вмешательства дежурного персонала.

3.2 Выбор ветрогенератора

ВЭУ устанавливаются в различных местах, обычно преимущественно это на открытых пространствах, где высокие показатели скоростей ветра. Данные

электростанции в основном располагаются, к примеру, в горах, мелководьях, островах и полях. Новые установки могут вырабатывать электроэнергию даже при низкой мощности ветра. Это дает преимущество ветрогенераторов при передаче электроэнергии к различным энергетическим устройствам [9].

В зависимости от места расположения, ветрогенераторы делятся на следующие виды:

- Наземные. Данные ветряки считаются самыми распространенными. Их монтируют на холмах, возвышенностях, а также на заблаговременно подготовленных площадках. Монтаж данных установок зачастую происходит с использованием дорогостоящей техники, так как элементы конструкций требуется фиксировать на большой высоте.

- Прибрежные станции строят в прибрежной части моря или океана. Морской бриз оказывает непосредственное влияние на работу ветрогенератора, что способствует выработки электроэнергии круглосуточно.

- Шельфовые. Генераторы данного типа устанавливают в морях или океанах на дистанции в районе 10 метров от берега. Такие устройства создают энергию из регулярного морского ветра. В последующем, выработанная электроэнергия передается на берег по специальному кабелю [14]. Проанализировав местность, при выборе оборудования ВЭУ, тип ветрогенератора был выбран наземный. Это обосновывается тем, что установка ВЭУ на берегах Камчатского залива невозможно, так как данная местность является сейсмика и цунами опасной.

Так же при выборе ветрогенераторов, ключевую роль будут играть такие показатели как надежность, стоимость данных установок, КПД и возможность работы ветрогенератора при низкой температуре [19].

Для выбора наиболее оптимальной модели ветрогенератора выполним сравнение ряда моделей различных ветрогенераторов. Одним из наиболее важного параметра при выборе ветрогенератора будет служить минимальная температура, при которой ветрогенератор сможет работать вблизи с. Соболево.

Все параметры, по которым выполнялось сравнение представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Сравнение ветрогенераторов

Модель	Страна производитель	P, МВт	V _{min} , м/с	V _{max} , м/с	V _{номин} , м/с	t _{min} , °C	t _{max} , °C
Bonus B54/1000	Дания	1,0	3	25	15	-20	40
Leitwind LTW80 1000	Италия	1,0	3	25	11	-10	40
Concord TG-1000	Украина	1,0	3	25	12	-15	40
Aeronautica 47-750	Америка	0,75	3,5	25	14,5	0	45

Продолжение таблицы 3.1

Модель	Страна производитель	P, МВт	V _{min} , м/с	V _{max} , м/с	V _{номин} , м/с	t _{min} , °C	t _{max} , °C
Vestas V120	Дания	2,2	3	25	15	-20	45
Vestas V63		1,5	4	25	16	-20	45
Vestas V52 (NM)		0,9	3,5	25	13	-20	45
Vestas V52		0,85	4	25	14	-20	40
W1000-80	Китай	1,0	2,5	25	11	-40	50
Komai KWT 300	Япония	0,3	3,5	25	11	-40	40
Autoflug A1200	Германия	1,2	4	20	13	-10	50

В результате сравнения наилучшими вариантами из всех предложенных являются модели Komai KWT 300 японского производителя и модель W1000-80 производственная компания которой находится в Китае.

Преимущества данных моделей перед остальными заключается в их показатели минимальной температуре, при которой ветрогенераторы способны работать. Так же можно заметить, что у каждой ветроустановки номинальная мощность начинает вырабатываться при одинаковых скоростях ветра.

При исследовании применения гибридной электростанции будут рассмотрены две модели. Разница между первой и второй модели будет заключаться лишь в моделях ветрогенераторах, а также их количестве.

График изменение вырабатываемой мощности в зависимости от скорости ветра для ветроустановки модели представлен на рисунке 3.2.

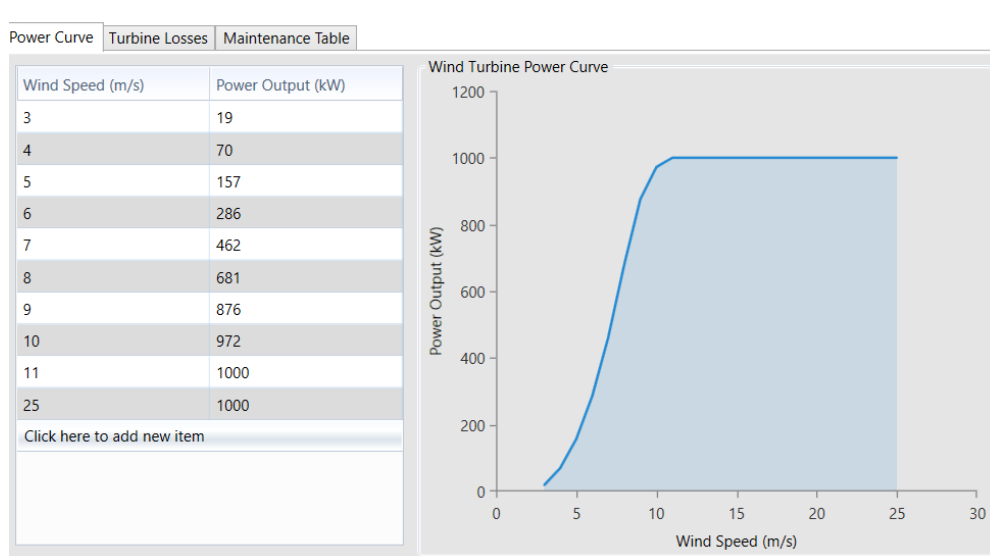


Рисунок 3.2 – График зависимости выработки мощности от скорости ветра для ветрогенератора W1000-80

График зависимости скорости ветра от вырабатываемой мощности для ветрогенератора Komai представлен на рисунке 3.3.

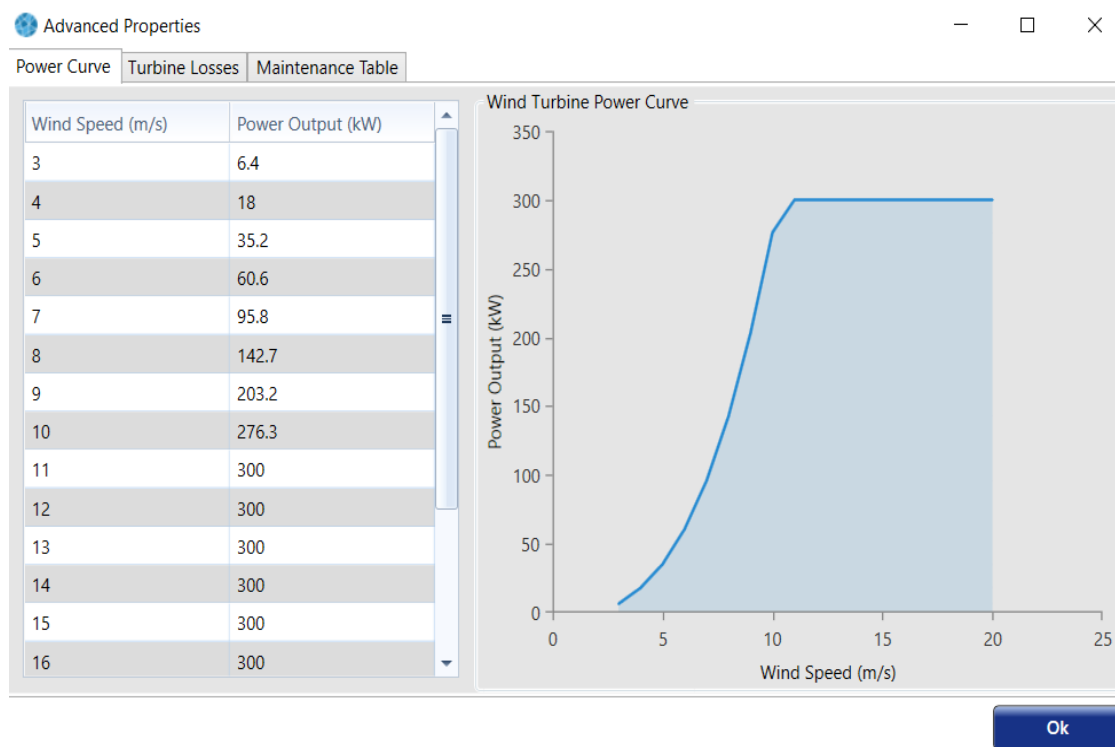


Рисунок 3.3 – График зависимости выработки мощности от скорости ветра для ветрогенератора Komai KWT 300

3.3 Выбор инвертора

Предназначение инвертора заключается в том, чтобы преобразовывать напряжение ветроустановок и аккумуляторов в переменное напряжение. При выборе инвертора нужно учитывать, что мощность выбираемого инвертора должна быть больше на 25% номинальной мощности ветрогенератора. С учетом всех требований было решено выбрать инвертор фирмы Perfect Galaxy под наименованием Perfect Galaxy EPP – 1250 – 1000 – 52085 – 320X – U – N. Данная модель инвертора выбрана для модели гибридной электростанции с ветрогенераторами единичная мощность которого составляет 1 МВт.

Так же с учетом вышеуказанных требований для гибридной электростанции, состоящей из ветрогенераторов Komai, был выбран инвертор модели KENUA France KF – BCS – 500K – A.

Выбранные инверторы обеспечивают ряд следующих функций. К ним относятся переключение между источниками энергии и поддержки внешнего источника, так же выполняет как инвертора, так и зарядного устройства. Данные функции работают автоматически и так же могут комбинироваться между собой.

3.4 Выбор гидроэнергетической установки

К сожалению, гидроэлектростанции низкой мощности, практически не имеют как таковой возможности обеспечить гарантированную выработку электроэнергии, так как часто имеют сезонный характер работы. Зимой

производительность значительно падает, это связано из-за образование снежных покровов, а также ледовые явления (гололед). Так же летнее маловодье или пересыхание рек может вообще приостановить работу. Такой режим ГЭС требует наличие дублирующих источников электроэнергии.

Очень важно в таких условиях правильно выбрать рациональное расположение проектируемой электростанции, ее тип, определить количество электроэнергии, которое можно получить при использовании данного водотока и ее достаточность для удовлетворения потребностей потребителей, а также напор и количество воды доступной для выработки электроэнергии. Это позволит определить объем капитальных вложений в проект и стоимость вырабатываемой электроэнергии [33].

Согласно ГОСТу 51238-98 все гидроэлектростанции с установленной мощностью от 100 до 30000 кВт относятся к классу малым гидроэлектростанции МГЭС.

Для строительства плотин, деривационных ГЭС требуется большой объем земляных работ, чтобы построить плотину, изменить русло реки или создать деривационный канал что сильно сказывается на стоимости выполняемых работ. Для выбранной территории плотинная компоновка является слишком дорогостоящей.

При выборе компании для разработки, а также поставки оборудования для МГЭС появились трудности. Большую часть оборудования предлагают китайские компании, но большая часть данного оборудования используется на высоких напорах от 200 метров. Использование данного оборудования возможна лишь на деривационных гидроэлектростанциях. Данный вариант крайне невыгоден так как требует больших капиталовложений.

В результате долгих поисков было произведено сравнение наиболее распространённых гидротурбин, которые пользуются микроэнергетике. Сравнение происходило между такими гидротурбинами как Natel FullyFlooded hydroEngine 526kW, Compact Bulb or Pit Kaplan (турбина ПЛ), Crossflow (Проточная турбина) и Archimedes Screw (Винтовая турбина). Итоги сравнения, а также параметры, по которым производилось сравнение представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Сравнение гидротурбин.

Параметры	Natel526	Compact Bulb or Pit Kaplan	Crossflow	Archimedes Screw
Компактность	✓	×	✓	✓
Высокая эффективность (более 75%)	✓	✓	×	×
Низкий диапазон напоров	✓	✓	×	✓

При сравнении видно, что лидером среди всех сравниваемых гидротурбин, является турбина Австралийской компании, название которой «NatelEnergy» с разработкой Natel FullyFlooded hydroEngine 526kW.

Данная турбина отлично подходит для применения в малой и микрогидроэнергетики, поскольку имеет одну из уникальных механических конфигураций. Данная установка может работать при относительно больших расходах и низких диапазонах напоров, сохраняя при этом высокие показатели КПД.

HydroEngine использует уникальную двухступенчатую схему осевого потока. Вода после прохождения через впускной фильтр по водоводу подается на направляющие лопатки направляющего аппарата или формирующие сопла. Поток поступает в гидротурбину и направляется через короб, в котором установлено два вала с ремнями. После передачи энергии движущимися лопастями на первой стороне турбины, вода протекает через каскад направляющих лопаток, закрепленных между движущейся лентой и полосами лопастей и наконец передает энергию второму каскаду движущихся лопастей. Угол и скорость потока регулируются автоматически, что позволяет на прямую регулировать расход, а, следовательно, и мощность, сохраняя при всем этом высокие показатели эффективности при широком диапазоне расходов. Вид самой турбины представлен на рисунке 3.4.

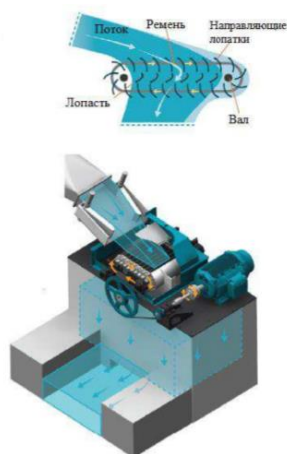


Рисунок 3.4 – Установка Natel FullyFlooded hydroEngine 526kW

Так же конструкция данной гидротурбины позволяет снизить значительную стоимость строительных работ, поскольку гидротурбина не подвержена риску кавитации. В большинстве случаев данная гидротурбина может быть расположена над нижним бьефом, что снижает необходимость в земляных работах. Кроме того, сама установка может быть размещена в небольшом здании, где все управляющее и электрическое оборудование будет находиться на более высоких этажах, что в свою очередь сокращает расходы на строительство.

Данный проект может быть реализован в любом виде низконапорных вариантов размещения: в канале, в русле реки, в плотине и непосредственно в трубопроводе.

В свою же очередь наиболее предпочтительна установка в канале, так как это в свою очередь обеспечивает наиболее высокую защиту от попадания мусора по сравнению с другими вариантами. Так же данный вариант установки позволяет обеспечивать прямое техническое обслуживание и оказывает меньшее влияние на основной водный канал во время строительства.

Основным важным аспектом для любого варианта исполнения, исключая установку в водоводе, это спроектировать мусороотвод, при это подведя к минимуму техническое обслуживание и потери напора. Наиболее перспективным и выгодным вариантом установки мусороотвода, это установка его под углом (1 вариант). Все варианты представлены на рисунке 3.5.

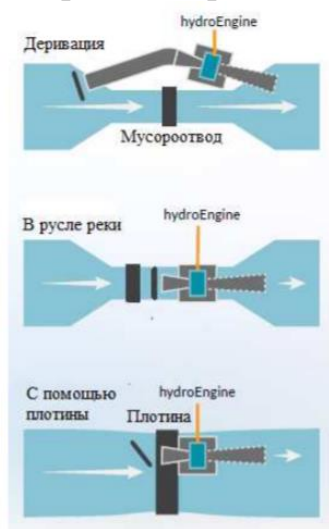


Рисунок 3.5 – Варианты установки мусороотвода

Гидроагрегат Natel526 поставляется в двух вариантах установки, определяемых по ориентации трансмиссии. Первый вариант это Free Jet, вариант реактивной турбины, где лопасти движутся в свободном потоке. И второй вариант Fully Flooded, данный вариант представляет из себя активную турбину, где лопасти движутся вертикально. Оба варианта представлены на рисунке 3.5.

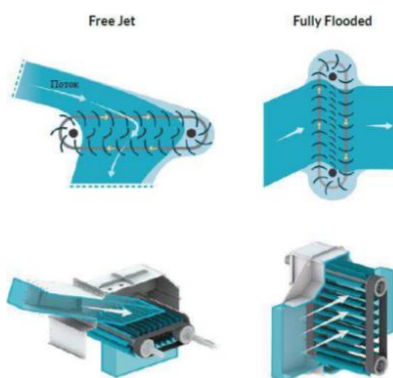


Рисунок 3.6 – Варианты установки турбины Natel526

4 Расчет двух моделей гибридных электростанций в программном комплексе

4.1 Выбор программного комплекса для расчетов

В настоящее время существует множество автоматизированных компьютерных программ, предназначенных для расчета различных параметров энергосистем на основе ВЭИ. Некоторые программы имеют функцию 3D-проектирования, которая позволяет выбрать расположение установок на земле. Некоторые из этих программ не требуют установки, но работают в режиме online, что значительно помогает сократить время проектирования и не требуют дорогостоящего аппаратного обеспечения ПК для установки программного обеспечения и не занимает места на жестком диске. Все расчеты производятся на удаленных серверах, что никак не влияет на требуемую производительность и характеристики используемого ПК.

Каждая программа имеет свои отличительные способности, например, одни помогают правильно расположить установки на участке или объекте, другие показывают выработку электроэнергии, а третьи подсчитывают прибыль от выработки электроэнергии в сеть и срок окупаемости. В крупномасштабных проектах часто используют сразу несколько типов программ.

Далее рассмотрим ряд наиболее функциональных программ, которые находятся в свободном доступе, к ним относятся:

- RETScreen;
- HOMER;
- Skelion;
- PVsyst.

Рассмотрим каждое программное обеспечение в отдельности и по подробнее.

1 RETScreen – данный программный комплекс предназначен для проведения анализа проектов с использованием возобновляемых источников электроэнергии. Этот пакет включает базы данных продуктов, проектов, гидрологических и климатических характеристик, данные для сравнительной оценки и подробное руководство пользователя. Переведен на 35 языках в том числе и на русский. Данная программа позволяет моделировать и анализировать любой проект с использованием ВИЭ. Специалисты, ответственные за принятие решений, могут выполнить пятиэтажный стандартный анализ, включая переработку энергии, расчет затрат выбросы и финансирование. У этой программы есть существенный недостаток: она не имеет возможности моделировать и рассчитывать комплекс различных рисков ситуаций. Невозможно объединить различные источники энергии в рамках одной и той же системы.

2 HOMER – данная программа разработана американской NASA, предназначена для расчета энергосистем малой мощности и сравнения различных способов выработки электроэнергии. Программный комплекс

позволяет рассчитать, как автономную, так и подключенную энергосистему. Программа позволяет моделировать (стоимость монтажа и стоимость дальнейшей эксплуатации). Преимуществом HOMER является возможность сравнения множества различных конструкций энергосистемы, определения технико-экономических преимуществ, позволяющая определить риски, связанные с изменчивостью погодных условий. Программа имеет возможность моделировать изменение погоды: она учитывает вероятность штиля или штормового ветра, снижение уровня инсоляции из-за облачности и т.д. Программа состоит из трех основных модулей:

- Моделирование;
- Оптимизация;
- Анализ чувствительности.

Результаты могут быть получены в виде графиков и таблиц, что позволяет сравнивать различные конфигурации и определять технико-экономические преимущества различных систем. Как уже было написано ранее, HOMER не является “статической программой”, программа имеет более детальный программный пакет чем RETScreen, который не использует модуль времени в процессе моделирования.

3 Skelion – программный комплекс имеет дополнительные плагины Skelion и Chronolux которые позволяют добавлять солнечные батареи и архитектурные проекты. Плагин Chronolux предназначен для расчета продолжительности инсоляции и геометрического коэффициента естественного освещения. Кроме того, можно подключить программу PVWatts для расчета прихода солнечной радиации, можно создать глобальный проект по развитию солнечной системы. Преимуществом данного комплекса является то, что одна программная среда содержит несколько областей: расчет падающей солнечной радиации, оптимальный угол наклона солнечных элементов, правильное размещение солнечных панелей на выбранной поверхности во избежание затенения и графическое представление результатов. Недостатком является то, что программный комплекс не решает технических вопросов, т.е. не рассчитывает необходимую мощность оборудования и системы, не работает с другими источниками энергии, кроме солнечных панелей, не решает экономические вопросы (капитальные затраты, срок окупаемости, затраты на техническое обслуживание и ремонт).

4 PVSyst – программный пакет PVSyst предназначен для использования архитекторами, инженерами-разработчиками и исследователями. Также это ПО удобно для получения знаний о работе подключенных фотоэлектрических систем. Оно содержит большую библиотеку данных по различным фотоэлектрическим системам и устройствам и детальное англоязычное руководство по проектированию солнечных электростанций. PVSyst предлагает инструментарий для построения 3D-моделей для расчетов потерь от затенений и использует десятки различных вариантов симуляций процессов, протекающих в системах. Он позволяет с высокой точностью определить негативные факторы, приводящие к потерям электроэнергии и тепла,

а также найти пути минимизации потерь. Недостатками программы является то, что она моделирует только PV-системы и не может анализировать гибридные электростанции.

Проанализировав все 4 варианта, программный комплекс HOMER является наиболее универсальным, а также является более гибким с точки зрения разнообразия систем, которые он может спроектировать.

Ярко выраженные преимущества данного ПО перед остальными:

1) В отличие от остальных программ, Homer позволяет объединить различные источники энергии в рамках одной и той же системы.

2) Результаты могут быть получены в виде графиков и таблиц, что позволяет сравнивать различные конфигурации и определять технико-экономические преимущества различных систем

3) Данная программа не является статической, Homer имеет более детальный программный пакет, к примеру, чем Retscreen, который не использует модуль времени в процессе моделирования.

4.2 Задание исходных данных в программном комплексе «Homer» для выполнения расчетов

В первую очередь необходимо установить суточную нагрузку в течение всего календарного года. Установить данную нагрузку можно выполнить двумя способами:

1) С помощью встроенных в программу систем моделирования

2) Импортировав ее из файла временных рядов.

В исследования применения гибридной электростанции будет применен график нагрузки для с. Соболева, который представлен на рисунке 2.3.

С помощью выполненных расчетов, которые позволяют определить вероятные отклонения значений нагрузки от заданных были получены диаграммы «ящички с усами» которые как раз-таки и показывают данные отклонения. Все результаты представлены на рисунке 4.1.

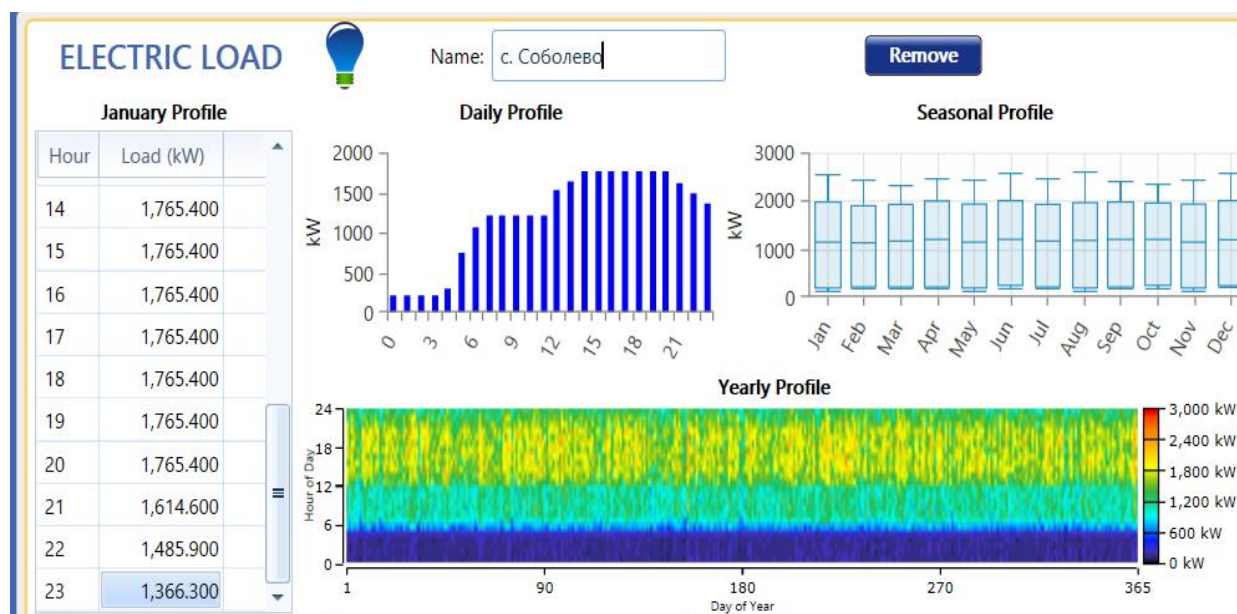


Рисунок 4.1 – График нагрузки с. Соболево, Соболевский район

Следующим шагом были заданы скорости ветра в районе исследования применения гибридной электростанции. Программа позволяет внести данные как вручную, так и подгрузить с базы данных. Был выбран второй вариант и была использована база данных NASA, так как данная база данных имеет наибольший ряд наблюдений. Скорости ветра брались на высоте 120 метров от уровня земли. Значения скоростей ветра представлены на рисунке 4.2. Среднегодовая скорость ветра составляет 7,9 м/с.

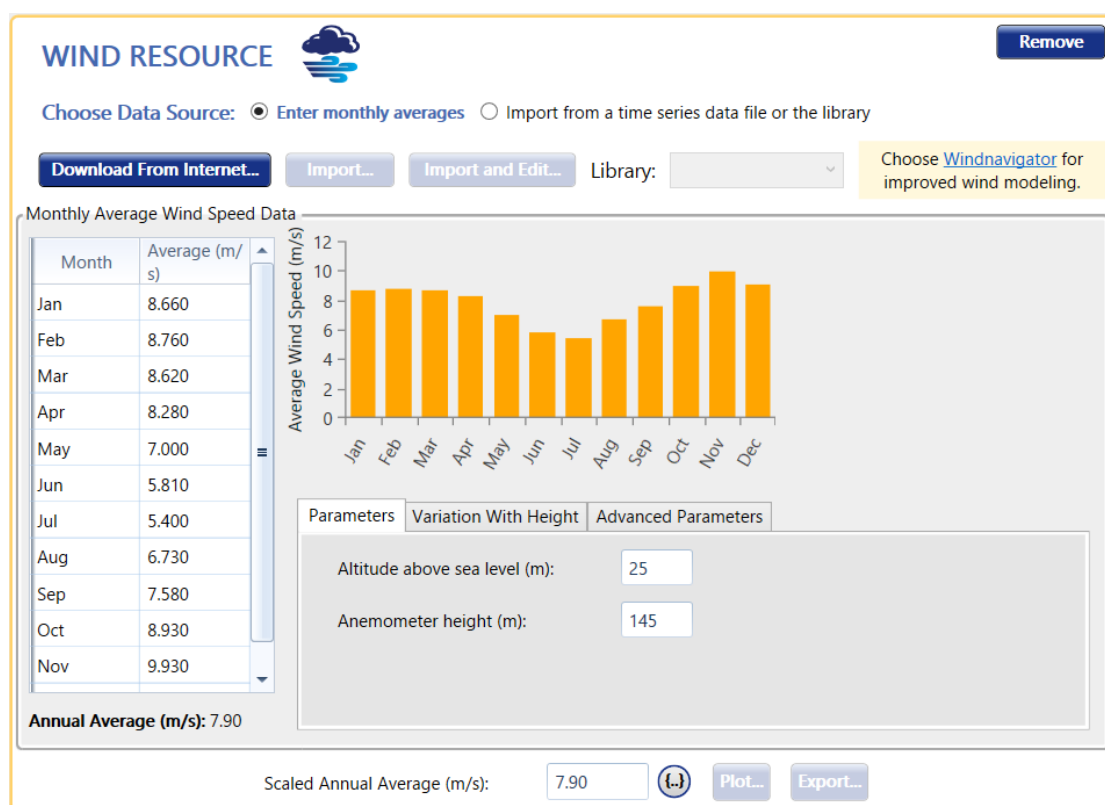


Рисунок 4.2 – Скорости ветра в районе с. Соболево, определенные базой данных NASA

Так же необходимо задать средние показатели температуры воздуха, так как именно этот показатель играет ключевую роль на работу ветрогенератора. Показатели температуры так же были загружены с базы NASA с помощью программного комплекса Nomer. За счет того, что само село расположено близи океана, значения среднемесячных температур особенно в зимнее время не слишком высоки. Промежуток температур был взят с 1984 по 2018 год. Среднемесячные значения температур представлены на рисунке 4.3

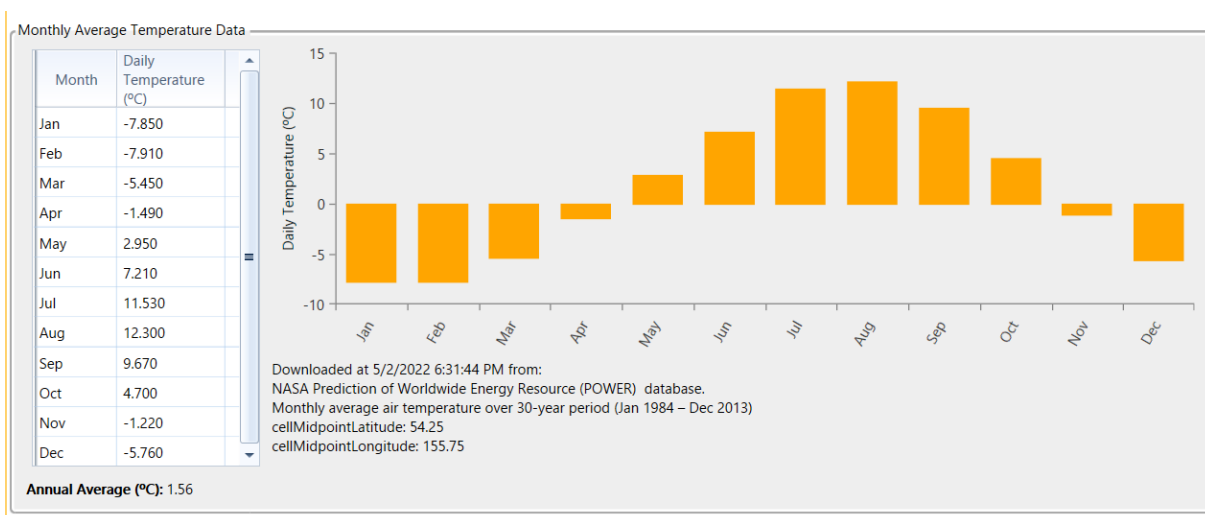


Рисунок 4.3 – Среднемесячные температуры с. Соболево

Следующим шагом было определено количество гидроресурсов в реке Домашняя. Так как сама по себе р. Домашняя слишком мала и среднемесячные расходов для нее найти не удастся, все расходы подбирались с подобной реки. Все значения среднемесячных расходов представлены на рисунке 4.3. Показание расходов заданы в л/с. Среднегодовое значение расхода на реке Домашняя в месте расположения с. Соболево составил 3401 л/с или же 3,401 м³/с

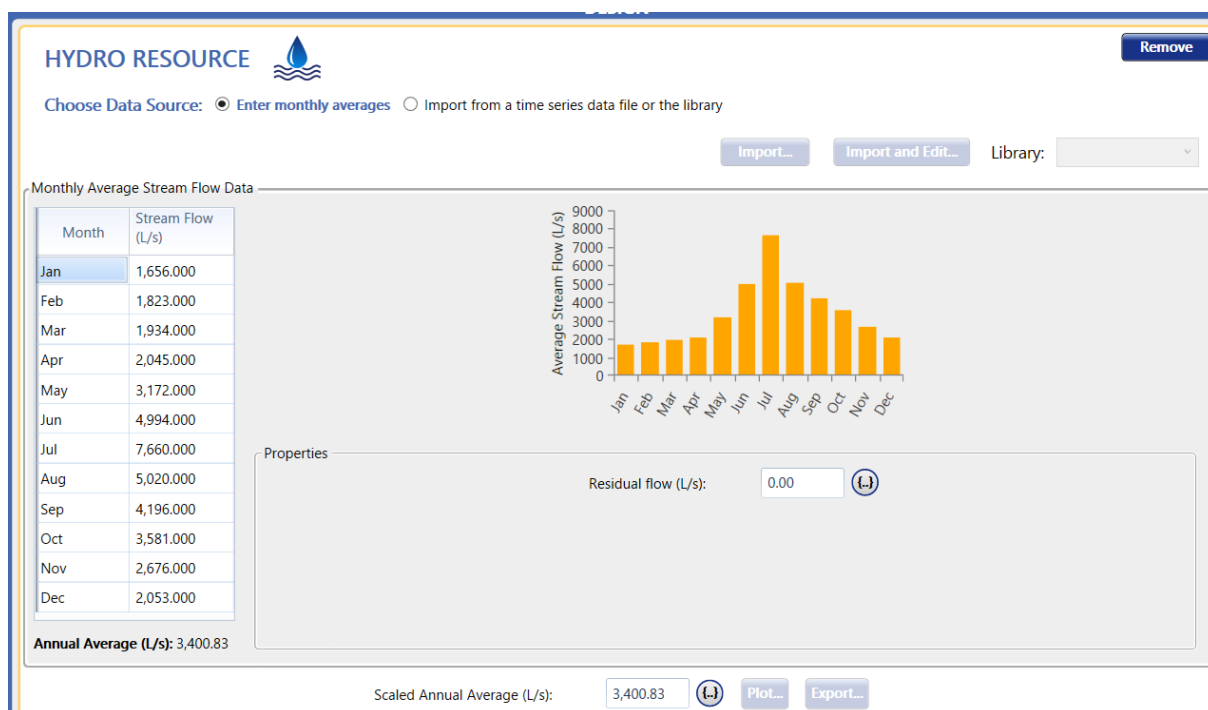


Рисунок 4.3 – Гидрологические данные реки Домашняя

4.3 Задание параметров оборудования в программном комплексе «Homer» для первой модели

Следующим этапом необходимо заполнить вкладку Component. Заполнение данной вкладки можно выполнить следующими вариантами, это заполнение параметров оборудования вручную и второй вариант — это воспользоваться библиотеками.

Ранее был уже выбран инвертор для ветрогенератора W1000-80 с наименованием Perfect Galaxy EPP – 1250 – 1000 – 52085 – 320X – U – N. Результаты представлены на рисунке 4.4.

CONVERTER

Perfect Galaxy EPP-1250-1000-52085-320X-U-P

Name: Perfect

Abbreviation: Per1

Buttons: Remove Copy To Library

Complete Catalog

Properties

Name: Perfect Galaxy EPP-1250-1000-52085-320X-U-P

Abbreviation: Per1250

[CEC Inverters](#)

Notes: This component comes from the CEC inverter database, which was most recently updated in August 2017. The nominal voltage is: V. CEC identifies this

Costs

Capacity (kW)	Capital (P)	Replacement (P)	O&M (P/year)
1250	P11,500,00	P11,500,000.00	P11,500.00

Click here to add new item

Multiplier: [dropdown] [dropdown] [dropdown]

Capacity Optimization

☒ HOMER Optimizer™

☒ Search Space

Size (kW)

0

612.5

1250

Generic homerenergy.com

HOMER Energy

Inverter Input

Lifetime (years): 15.00

Efficiency (%): 97.00

☒ Parallel with AC generator?

Rectifier Input

Relative Capacity (%): 0.00

Efficiency (%): 100.00

Рисунок 4.4 – Результаты задания параметров инвертора Perfect Galaxy EPP – 1250 – 1000 – 52085 – 320X – U – N

Дальнейшим действием были заданы параметры уже ранее выбранной ветроустановки. Так же для более точных расчетов была установлена зависимость работы ветрогенератора от температуры. Все значения представлены на рисунке 4.5.

Рисунок 4.5 – Результаты задания параметров ветроустановки W1000-80

Следующим шагом были заданы параметры так же для ранее выбранной аккумуляторной батареи Iron Edison LFP 5600Ah. Результаты представлены на рисунке 4.6

Рисунок 4.6 – Результаты задание параметров АКБ Iron Edison LFP 5600Ah

И итоговым действием были заданы параметры для гидротурбины марки Natel526. Все значения представлены на рисунке 4.7.

HYDRO

Name: Natel FullyFlooded hydroEi Abbreviation: Natel52

Natel FullyFlooded hydroEngine 526kW

Economics

- Capital Cost (P): 40,000,000.0
- Replacement Cost (P): 38,000,000.0
- O&M Cost (P/yr): 2,000,000.0
- Lifetime (years): 100.00

Turbine

- Available head (m): 10.00
- Design flow rate (L/s): 8,000.00
- Minimum flow ratio (%): 22.72
- Maximum flow ratio (%): 114.04
- Efficiency (%): 78.46
- Nominal Capacity: 615.754 kW

Electrical Bus

AC DC

Intake Pipe

Pipe head loss (%): 15.00

Systems to consider

- Simulate systems with and without the hydro turbine.
- Include the hydro turbine in all simulated systems.

Рисунок 4.7 – Результаты задание параметров гидроустановки Natel526

Так же необходимо задать параметры дизель – генератора, это необходимо для того, чтобы в дальнейшем сравнить какой вариант эффективнее, использовать новые ДГУ или же гибридную электростанцию [18]. В с. Соболево суммарная мощность дизель – генерирующей установки равна 2,8 МВт. Было принято использовать дизель – генератор марки CAT-3500kVA-50Hz-PP активная мощность которого 2,8 МВт. Результаты представлены на рисунках 4.8

GENERATOR

Name: CAT-3500kVA-50Hz-PP Abbreviation: CAT-35

Properties

Name: CAT-3500kVA-50Hz-PP

Capacity: 2800 kW

Fuel: Diesel

Fuel curve intercept: 63.2 L/hr

Fuel curve slope: 0.229 L/hr/kW

Emissions

- CO (g/L fuel): 0.38
- Unburned HC (g/L fuel): 0.15
- Particulates (g/L fuel): 0.03
- Fuel Sulfur to PM (%): 0
- NOx (g/L fuel): 23.15

Generator Cost

- Initial Capital (P): 30,000,000.00
- Replacement (P): 25,000,000.00
- O&M (P/op. hour): 2,000,000
- Fuel Price (P/L): 55

Optimization

- Simulate systems with and without this generator
- Include in all systems

Electrical Bus

AC DC

Site Specific

- Minimum Load Ratio (%): 25.00
- CHP Heat Recovery Ratio (%): 0.00
- Lifetime (Hours): 90,000.00
- Minimum Runtime (Minutes): 0.00
- Initial Hours: 0.00

Advanced...

Рисунок 4.8 – Результаты задания параметров для дизеля – генератора CAT-3500kVA-50Hz-PP

4.4 Расчет первой модели гибридной электростанции

После того как были заданы ресурсы, а также заданы параметры оборудования можно приступать к моделированию и расчету гибридной электростанции.

Программный комплекс «HOMER» позволяет выполнить подбор оборудования, а также мощности в автоматическом варианте. Есть два способа:

1) «Search space» (пространство поиска) – это место, где имеется возможность определить значения таких параметров как мощность, ёмкость или количество для различного оборудования. Сама программа «HOMER» использует эти значения для моделирования всех возможных вариантов в системе и определяет наиболее эффективный вариант.

2) «HOMER optimizer» - подбор оптимального значения в данном режиме осуществляется автоматически, необходимо только задать интервалы поиска.

При расчете гибридной электростанции было принято решения воспользоваться первым вариантом.

Все полученные результаты представлены на рисунке 4.10. Желтым цветом выделен выбор наиболее оптимальных параметров для выбранного оборудования.

You can also edit these inputs for each component individually in each component page. The lower table summarizes the results of the optimization if they have been calculated.

Per1250 Capacity (kW) <input type="checkbox"/> Optimizer	CAT-3500 Capacity (kW)	Iron5600 Strings (# strings) <input type="checkbox"/> Optimizer	W1000-80 Quantity (#) <input type="checkbox"/> Optimizer
0	0	0	2
612.5	2800	5	3
1250		10	4
		15	
		20	
		25	
		30	

Overall Winner

Category Winner

Calculate

OK

Per1250 Capacity (kW) <input type="checkbox"/> Optimizer	CAT-3500 Capacity (kW)	Iron5600 Strings (# strings) <input type="checkbox"/> Optimizer	W1000-80 Quantity (#) <input type="checkbox"/> Optimizer
0	0	0	2
612.5	2800	5	3
1250		10	4
		15	
		20	
		25	
		30	

Рисунок 4.10 – Результаты подбора мощности и количества оборудования

При задании количество ветроустановок минимальным количество было выбрано 2 шт., для обеспечения наибольшей надежности электростанции. По

результатам, рисунок 4.10, для дальнейших расчетов принимаем количество ветроустановок - 2 шт., количество аккумуляторных батарей – 15 шт., и мощность инвертора принимаем равной 1250 кВт.

Далее были произведены расчеты комплексного использования выше выбранного оборудования. Расчеты производились работа электростанции совместно с ДГУ и отдельно. Все результаты представлены на рисунке 4.11.

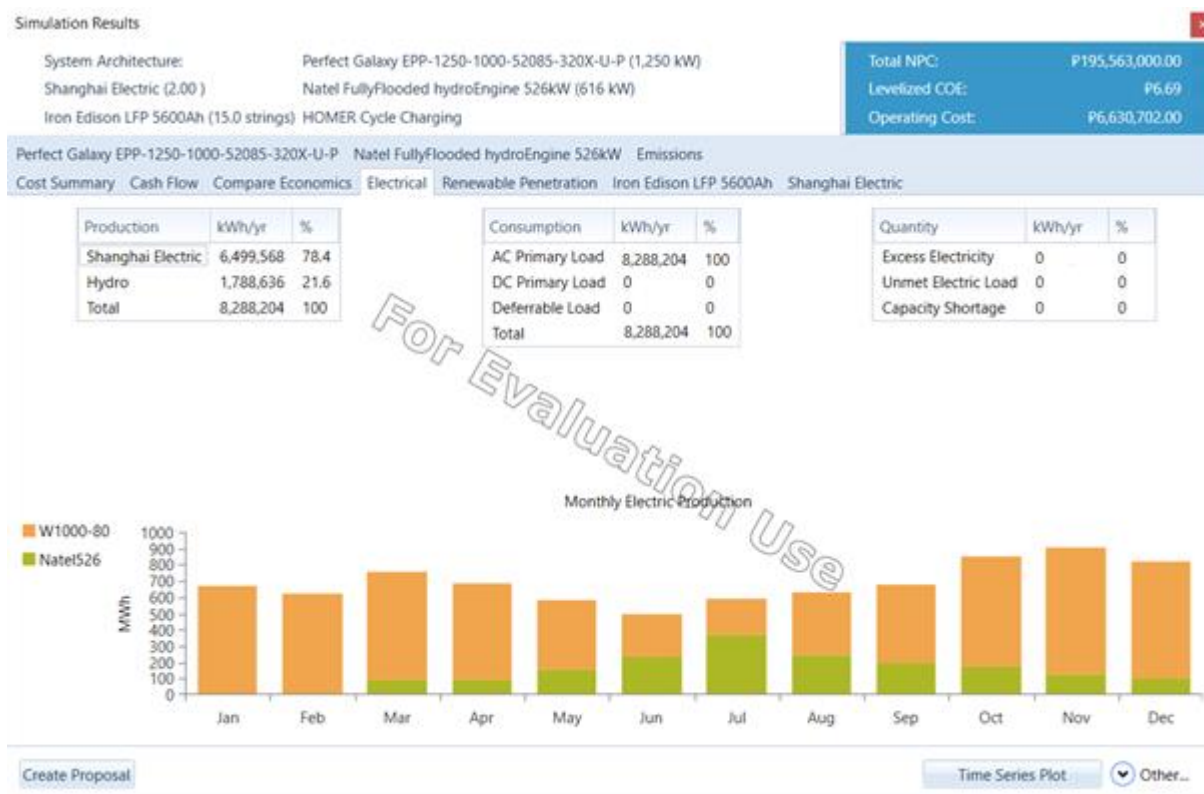
Optimization Results										Cost			
Architecture										NPC (P)	COE (P)	Operating cost (P/yr)	Initial capital (P)
W1000-80	CAT-3500 (kW)	Iron5600	Natel526 (kW)	Per1250 (kW)	Efficiency1	Dispatch				P196M	P6.69	P6.63M	P89.3M
2		15	616	1,250	0	CC				P224M	P7.67	P6.55M	P119M
2	2,800	15	616	1,250	0	CC				P551M	P18.82	P26.5M	P127M
3	2,800		616	612	0	CC							

Рисунок 4.11 – Результаты подбора работы оборудования

По рисунку 4.11 видно, что наиболее эффективным вариантом является работа гибридной электростанции отдельно от ДГУ. Вторым же вариантом менее эффективным является совместная работа всех генерирующих установок. В дальнейшем будем рассматривать более эффективный вариант. Однако ДГУ нельзя исключать из состава оборудования.

ДГУ необходим как аварийный источник электроэнергии в случае выхода из строя ВЭУ или ГЭС, а также для принятия нагрузки в маловодный год или же в безветренное время. На данный момент в с. Соболево уже установлен дизель – генератор мощностью 2,8 МВт, который можно использовать как источник резервной электроэнергии. Поэтому в расчете мы исключаем установку нового дизель – генератора.

Следующим шагом был выполнен расчет годовой выработки электроэнергии, а также получено процентное соотношение использования в отдельности для гидроустановки и ветроустановки. Все результаты представлены на рисунке 4.12.



Зеленый цвет – гидроустановка Natel526; Оранжевый цвет – ветроустановка W1000-80.

Рисунок 4.12 – Результаты расчета выработки электроэнергии

По рисунку 4.12 видно, что суммарное значение годовой выработки электроэнергии составляет 8288204 кВт·ч.

В зависимости от таких параметров как значения выработки электроэнергии, а также в зависимости от климатических условий один из двух источников электроэнергии будет выполнять основную роль, а другой – вспомогательную.

Так же видно, что основную часть покрытия нагрузки берут на себя ветрогенераторы (78,4%) остальное же значение нагрузки было покрыто ГЭС (21,6%). Это вызвано наличием высоких скоростей в с. Соболево, которые позволяют работать ветрогенераторам практически всегда с номинальными мощностями.

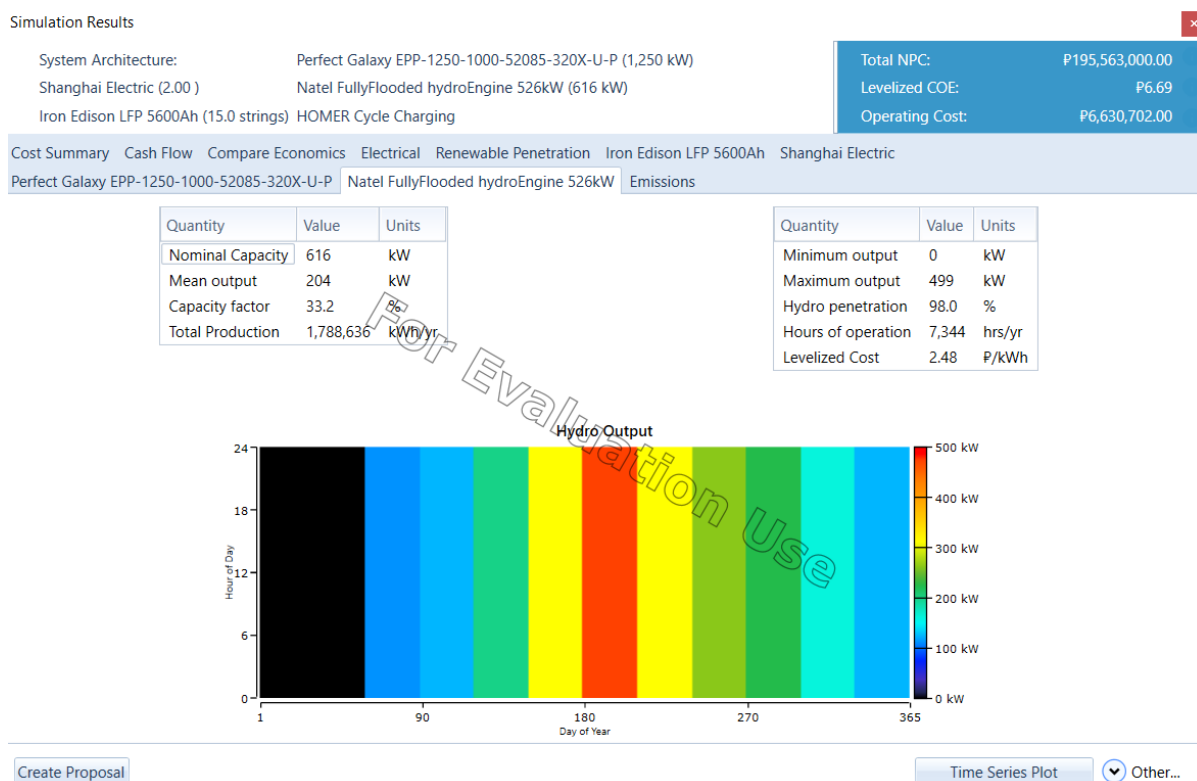


Рисунок 4.13 – Результаты расчета выработки электроэнергии гидроэлектростанций

По рисунку 4.13 видно, что номинальная мощность гидроэлектростанции Natel526 составляет 616 кВт. Из-за того, что данная электростанция работает на возобновляемом источнике энергии, значение себестоимости составляет 2,48 руб/кВт·ч. Так же заметно по графику выработки что гидроэлектростанция работает в период с марта по декабрь. В зимнее же время, к сожалению, гидроэлектростанция не работает. Это вызвано двумя причинами:

- 1) Значение слишком мало для выработки электроэнергии;
- 2) Река Домашняя слишком мала и из-за зимних морозов возможно ее промерзание.

Зимние месяца простоя гидроэлектростанции можно использовать как время для проведения текущих и капитальных ремонтов оборудования.

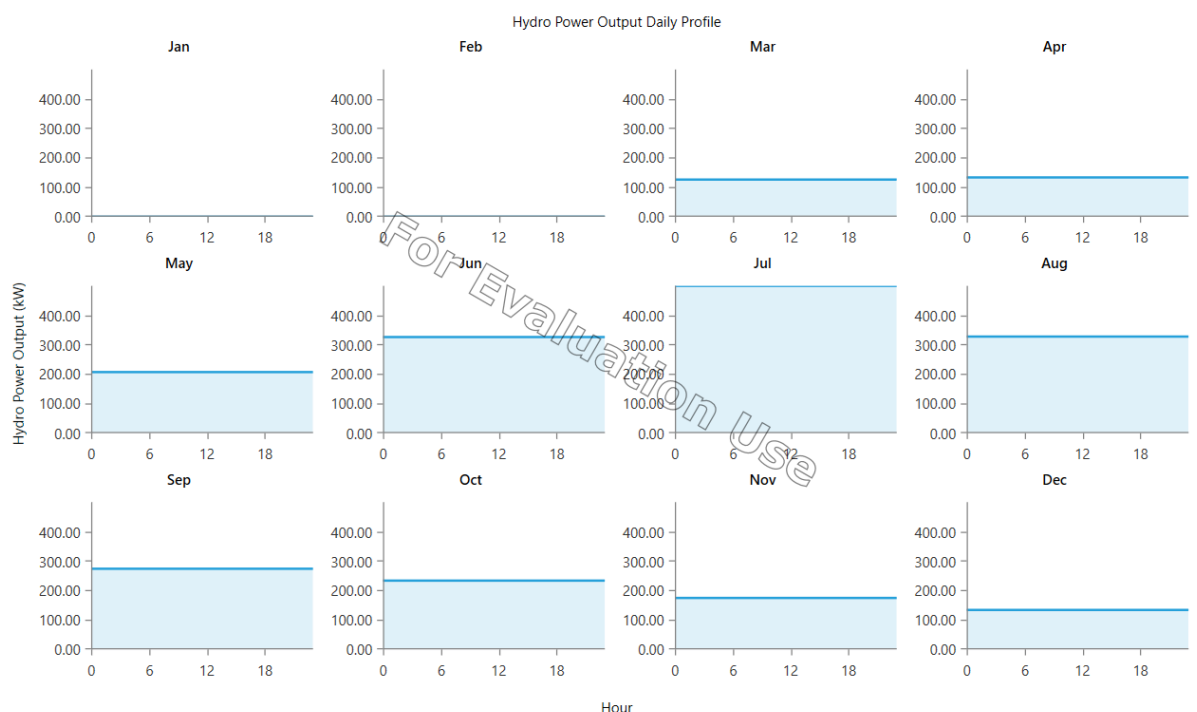


Рисунок 4.14 – Выработка мощности гидроэлектростанции в каждом месяце

Одним из наиболее важных параметров при исследовании применения электростанции является КИУМ – коэффициент использования установленной мощности. Данный показатель показывает эффективность работы предприятия электроэнергетики. КИУМ равняется соотношению среднеарифметической мощности к установленной мощности электроустановки.

В данной работе рассматривать данный показатель крайне важно за долгосрочный период. Наиболее оптимальным периодом было выбрано рассматривать в течение года. КИУМ для гидроэлектростанции составил 33,2%.

Диапазон КИУМ в отношении генерирующих источников объектов гидрогенерации не зависимо от величины установленной мощности составляет 30-35%.

Следующим шагом выполним рассмотрение работы двух ветрогенераторов W1000-80. Все результаты представлены на рисунке 4.15.

По результатам расчетов видно, что номинальная мощность ветроустановки равняется 2 МВт. Так же можно заметить, что средняя вырабатываемая мощность данного ветрогенератора равна 742 кВт. Показатель КИУМ для ветрогенератора составил 37,1%.

Суммарное годовое число часов работы ветрогенератора составило 7126. За счет сильных ветров максимальное значение вырабатываемой мощности двумя ветрогенераторами составило 2171 кВт. Значение себестоимости электроэнергии для ветрогенераторов равно 0,977 руб/кВт·ч.

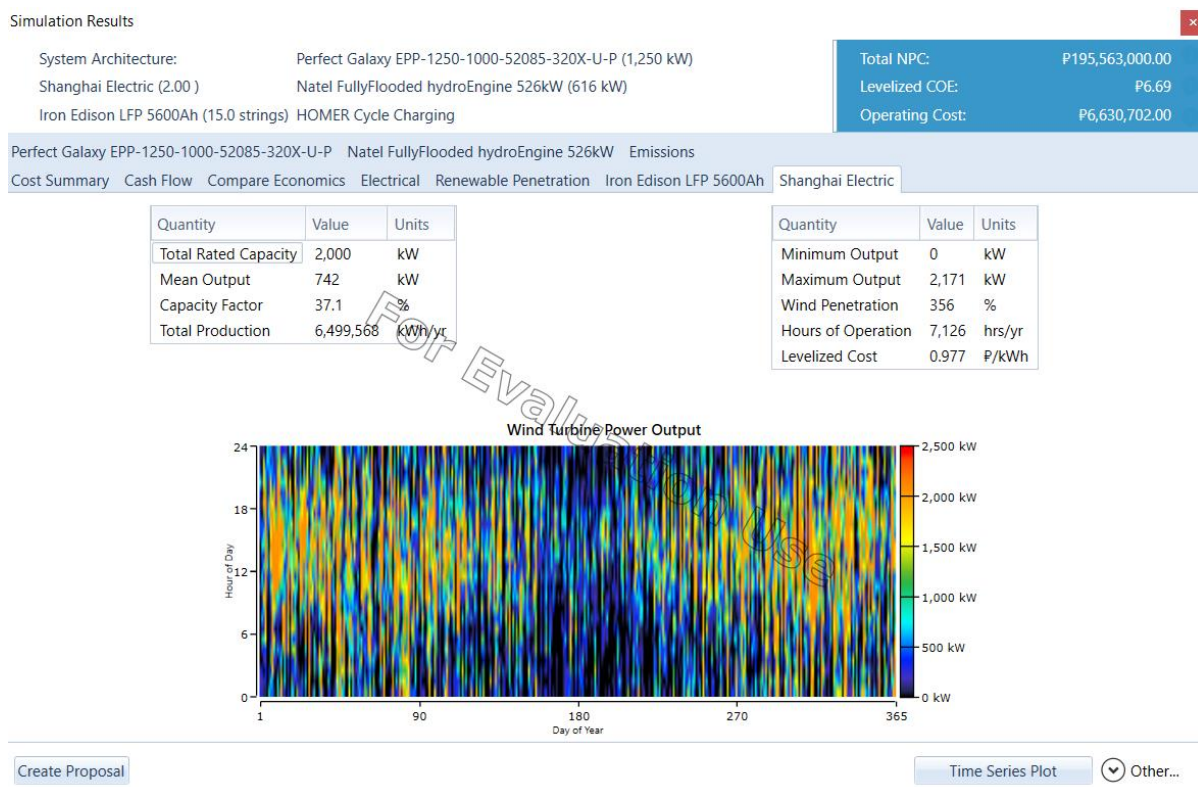


Рисунок 4.15 – Стимуляция работы ветроустановки W1000-80

Спектрограмма изменения скоростей ветров в с.Соболево на протяжении представлена на рисунке 4.16. По данной спектрограмме можно заметить, что в основном скорости ветра держаться в диапазоне от 5 до 15 м/с.

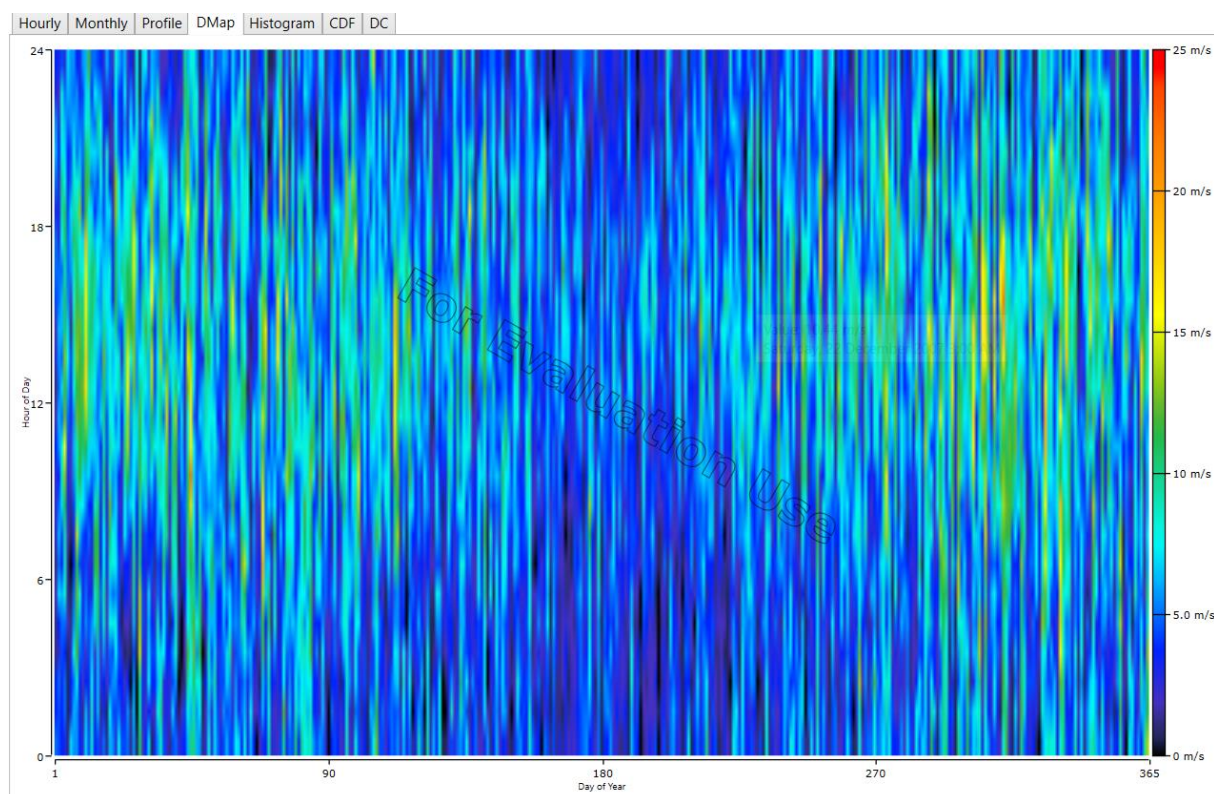


Рисунок 4.16 – Спектрограмма изменения скоростей ветра в с. Соболево

Графики вырабатываемой мощности ветрогенератором в каждом месяце представлены на рисунке 4.17. Из всех месяцев, наибольшая выработка зафиксирована в марте и с октября по декабрь. Высокие показатели скоростей ветра в с. Соболево позволяют работать практически круглосуточно ветрогенератору. Наиболее активная работа ветрогенератора наблюдается с 12 до 18 часов

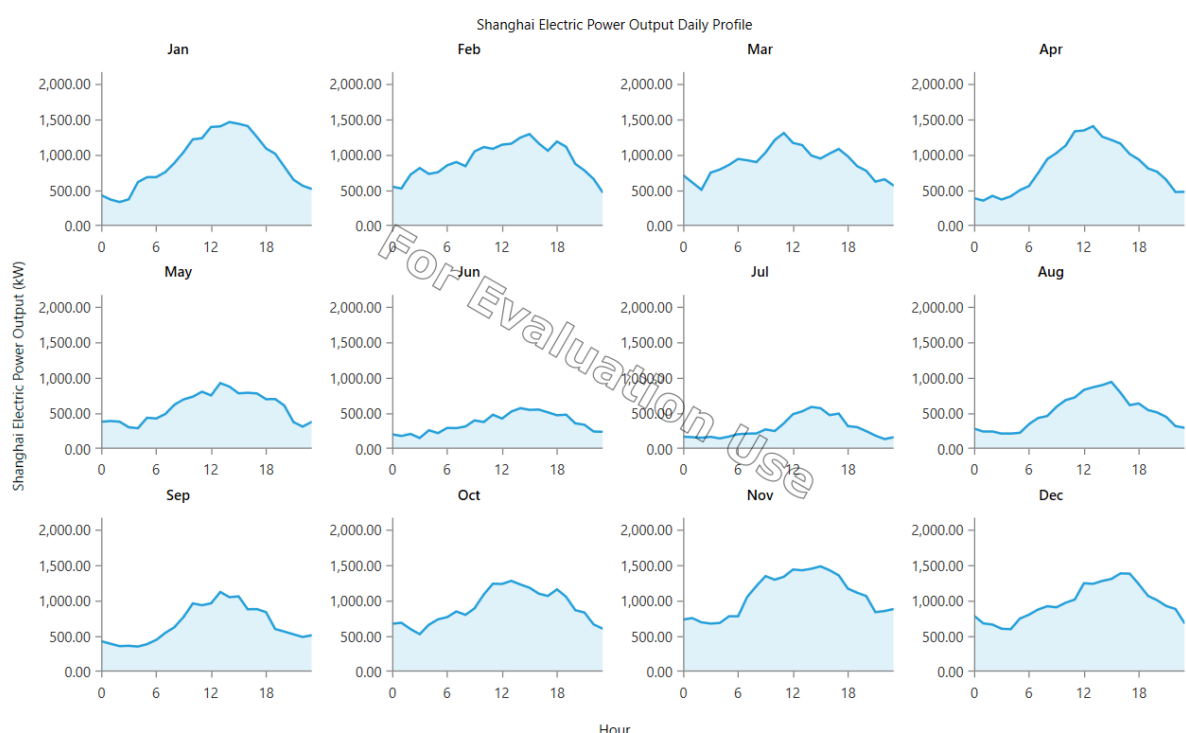


Рисунок 4.17 – Графики помесечной выработки электроэнергии ветроустановки W1000-80

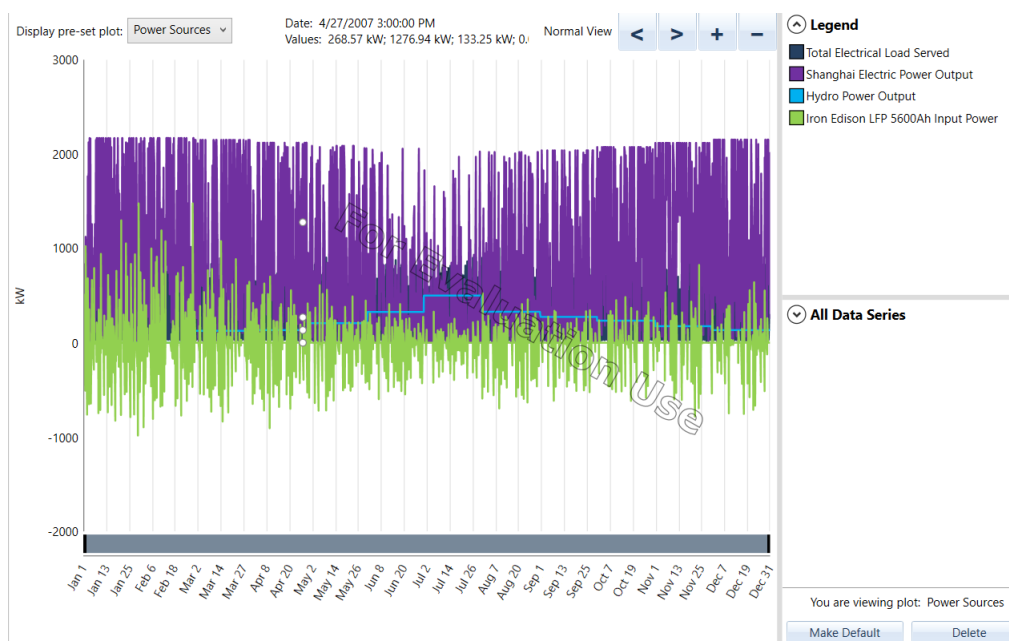


Рисунок 4.18 – Суммарный график выработки электроэнергии двумя электростанциями.

По рисунку 4.18 мы можем наблюдать распределение выработки распределение выработки электроэнергии двух электростанций. Так же на данном графике указаны параметры вырабатываемой электроэнергии с помощью аккумуляторов. Программный комплекс Homer рассматривает АКБ только как источник дополнительной выработки электроэнергии.

На самом деле АКБ в первую очередь необходимы для ветрогенераторов:

- 1) Для стабилизации выходных показателей частоты и напряжения.
- 2) Так же аккумуляторные батареи служат как балластная нагрузка в случае отсутствия потребления.
- 3) Как аварийный источник питания, в случае отказа за работы ветрогенератора [36].

На рисунке 4.19 представлен график разрядки и зарядки АКБ. Как можем заметить, что некоторые минимальные процента разгрузки имеются, во время простоя гидроэлектростанции. В остальное же время АКБ стоят полностью заряжены. Однако, согласно ПТЭЭП п. 2.10.15 на аккумуляторных батареях должны выполняться контрольные разряды 1 раз в 1-2 года.

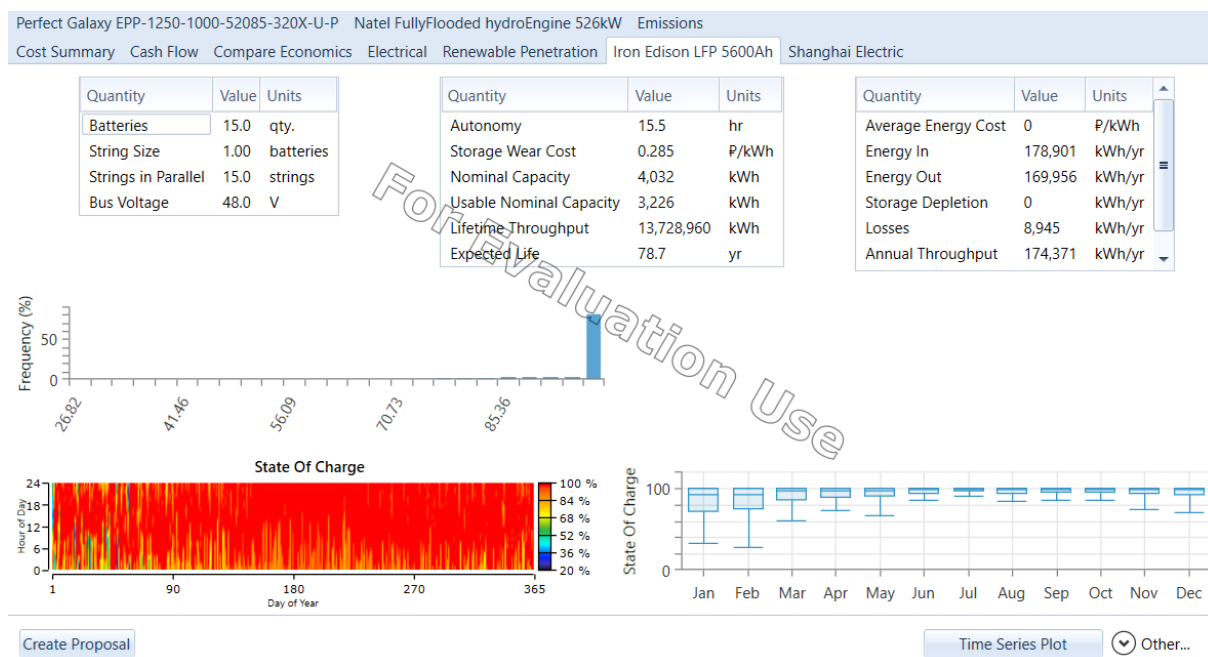


Рисунок 4.19 – График работы аккумуляторных батарей Iron5600

В выше рассмотренном варианте использование дизель генератора совместно с гибридной электростанции отсутствовало.

Если рассмотреть вариант, в котором ДГУ совместно используется с ВЭУ и гидроэлектростанцией, рисунок 4.20 – 4.21, то можем заметить из-за того, что программный комплекс не рассчитывает какие-либо аварийные или ситуации, дизель – генерирующая установка практически за весь год ничего не вырабатывала. Согласно рисунку 4.21 процент использования ДГУ в течение года составляет 0%, что говорит о том активное участие в покрытие нагрузки дизель генератор совсем не принимает. Так же по рисунку 4.21 видно, что всю выработку электроэнергии берут на себя ветроустановка и ГЭС. Однако как

указывалось выше для «гибкости» электростанции наличие дизель – генерирующей установки крайне необходимо.

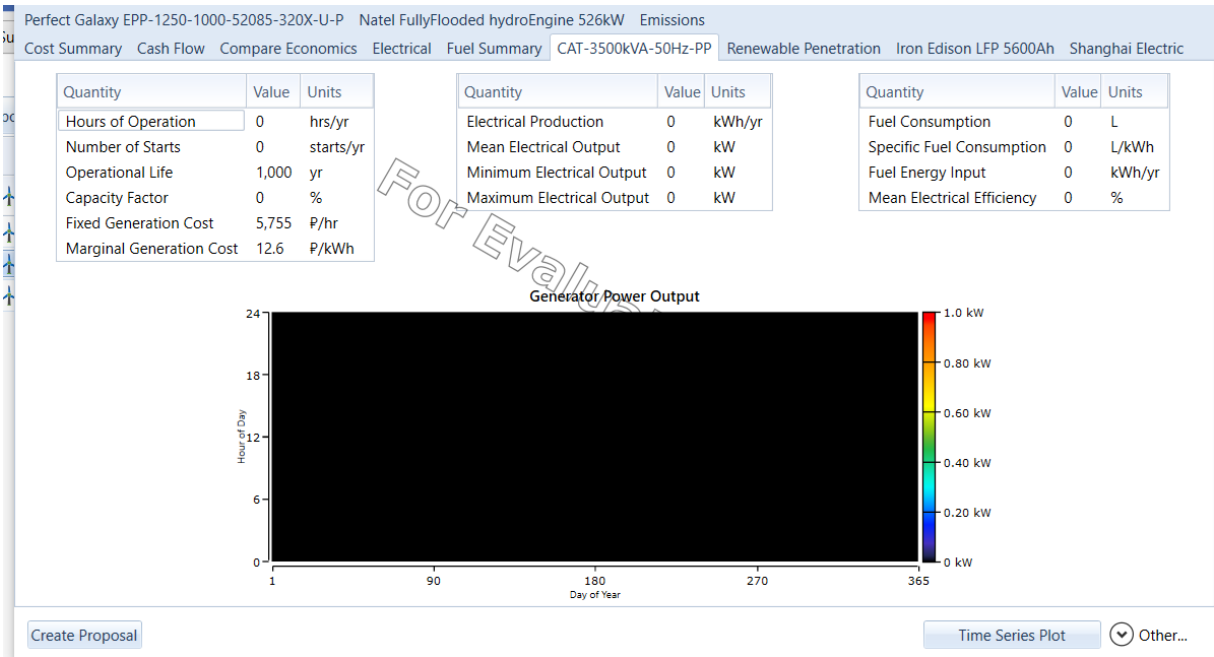


Рисунок 4.20 – Работа дизель – генератора CAT-3500

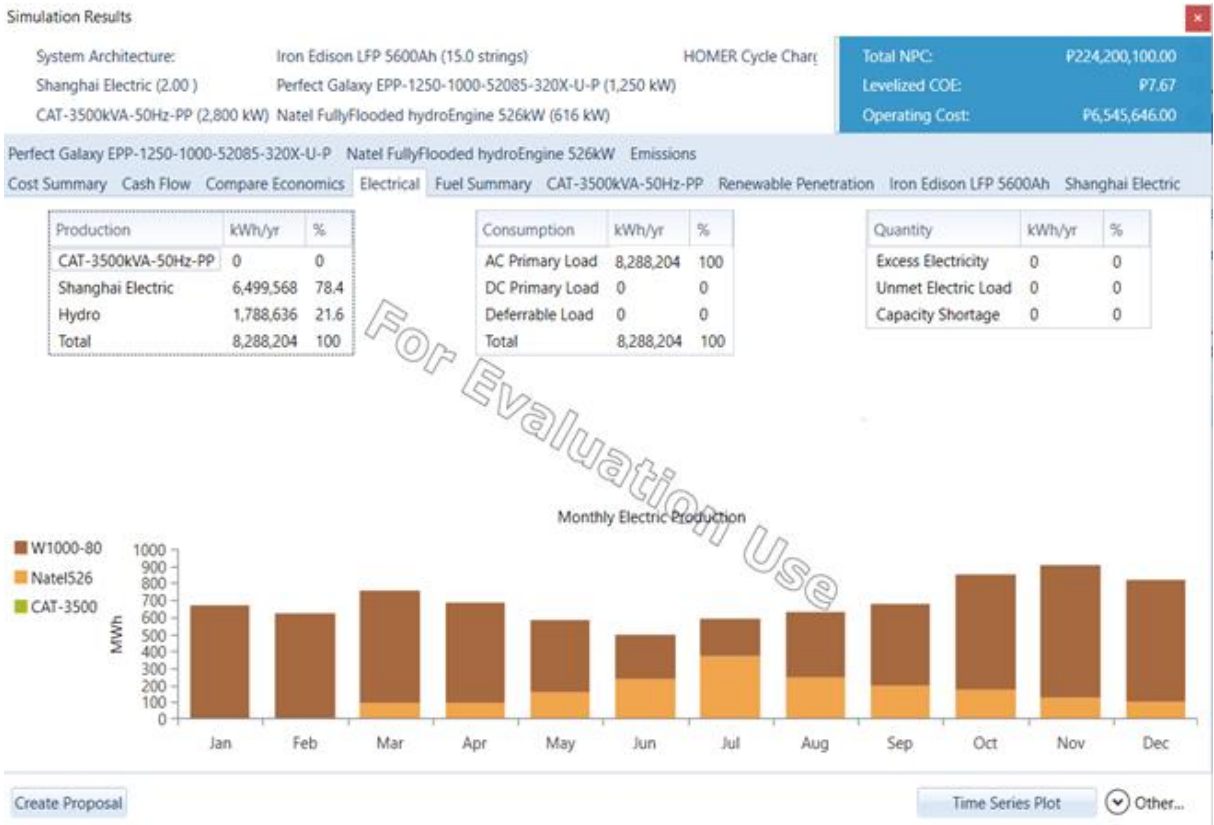


Рисунок 4.21 –Распределение нагрузки при совместном использовании ДГУ с ВУЭ и ГЭС

4.5 Задание параметров оборудования в программном комплексе «Homer» для второй модели

Для расчет второй модели гибридной электростанции вновь зададим параметры уже для других ветрогенераторов и необходимого для них оборудования.

Так же уже ранее был выбран инвертор для ветрогенератора Komai KWT – 300 с наименованием KEHUA France KF – BCS – 500K - A.


Все параметры представлены на рисунке 4.22.

The screenshot displays the HOMER software interface for configuring a KEHUA France KF-BCS 500K-A inverter. The interface is divided into several sections:

- Properties:** Name: KEHUA France KF-BCS 500K-A, Abbreviation: Battery Converter, www.homerenergy.com, Notes: Bidirectional inverter / Batteries inverter 3-phase Energy Storage Converter with isolation transformer.
- Costs:** A table with columns: Capacity (kW), Capital (P), Replacement (P), O&M (\$/year). The table contains one row: 500, P8,000,000, P8,000,000.00, P8,000.00. Below the table is a link: Click here to add new item.
- Capacity Optimization:** HOMER Optimizer™, Search Space, Size (kW) (0, 500).
- Inverter Input:** Lifetime (years): 10.00, Efficiency (%): 98.50, Parallel with AC generator? (checked).
- Rectifier Input:** Relative Capacity (%): 100.00, Efficiency (%): 95.00.

Рисунок 4.22 – Результаты задания параметров инвертора KEHUA France KF – BCS – 500K - A

Так же необходимо задать параметры ветроустановок модели Komai KWT – 300 который используется во второй модели гибридной электростанции. Так же, как и в первом варианте для более точных расчетов была установлена зависимость работы ветрогенератора от температуры. Все значения представлены на рисунке 4.23.

WIND TURBINE 

Name: Komai KWT 300 Abbreviation: Komai

Properties

Name: Komai KWT 300
 Abbreviation: Komai KWT 300
 Rated Capacity (kW): 300
 Manufacturer: XANT

Costs

Quantity	Capital (P)	Replacement (P)	O&M (\$/year)
1	P12,000,000	P12,000,000.00	P1,200,000

Click here to add new item

Multiplier: [] [] []

Site Specific Input

Lifetime (years): 20.00 [] Hub Height (m): 55.00 []

☒ Consider ambient temperature effects?

Quantity Optimization

☐ HOMER Optimizer™
☒ Search Space

Quantity

6
7
8

Electrical Bus
☐ AC ☒ DC

Advanced...

Рисунок 4.23 – Результаты задания параметров ветроустановки Komai KWT – 300.

Параметры для аккумуляторов, гидроэлектростанции и дизельного генератора будут использоваться абсолютно одинаковые с параметрами, заданными в первой модели.

4.6 Расчет второй модели гибридной электростанции

После того как были заданы ресурсы, а также заданы параметры оборудования можно приступать к моделированию и расчету второй модели гибридной электростанции.

Методика расчета будет проводиться аналогично, как и для первой модели. В качестве определения необходимого количества оборудования будет использоваться функция «Search space».

Все полученные результаты представлены на рисунке 4.24. Желтым цветом выделен выбор наиболее оптимальных параметров для выбранного оборудования.

You can also edit these inputs for each component individually in each component page. The lower table summarizes the results of the optimization if they have been calculated.

Battery Convert Capacity (kW) <input type="checkbox"/> Optimizer	CAT-3500 Capacity (kW)	Iron5600 Strings (# strings) <input type="checkbox"/> Optimizer	Komai KWT 300 Quantity (#) <input type="checkbox"/> Optimizer
0	0	0	6
500	2800	5	7
		10	8
		15	

Overall Winner

Category Winner


















Calculate

OK

Battery Convert Capacity (kW) <input type="checkbox"/> Optimizer	CAT-3500 Capacity (kW)	Iron5600 Strings (# strings) <input type="checkbox"/> Optimizer	Komai KWT 300 Quantity (#) <input type="checkbox"/> Optimizer
0	0	0	6
500	2800	5	7
		10	8
		15	

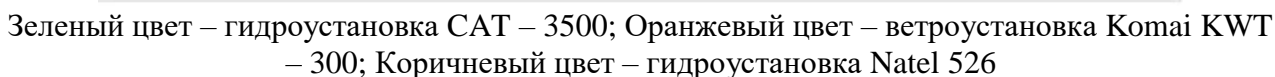
Рисунок 4.24 – Результаты подбора мощности и количества оборудования

По результатам выбора оптимального оборудования для дальнейшей модели будут использоваться ветрогенераторы в количестве 6 шт., количество аккумуляторных батарей – 10 шт., и мощность инвертора принимаем равной 500 кВт.

Optimization Results										Categorized		Overall			
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.															
Architecture								Cost							
						Komai KWT 300	CAT-3500 (kW)	Iron5600	Natel526 (kW)	Battery Converter (kW)	Dispatch	NPC (P)	COE (P)	Operating cost (P/yr)	Initial capital (P)
						6	2,800	10	616	500	LF	P\$326M	P\$13.80	P\$13.4M	P\$153M
						6	2,800		616	500	CC	P\$17M	P\$21.91	P\$28.4M	P\$150M

По рисунку 4.25 видно, что наиболее эффективным вариантом является модели гибридной электростанции состоящая из дизеля – генератора, шести ветрогенераторов и гидроэлектростанции.

Следующим действием было выполнено получение выработки электроэнергии, а также получено процентное соотношение использованию в отдельности для гидроустановки, дизель - генератора и ветроустановки. Все результаты представлены на рисунке 4.26.



61

По рисунку 4.26 сразу же можно заметить, что во второй модели в покрытии нагрузки уже работает дизель – генератор. Процентное соотношение работы дизель – генератора в течение всего года составляет 2,16%. Так же, как и в первой модели, основную часть покрытия нагрузки берут на себя ветрогенераторы (77,7%) остальное же значение нагрузки было покрыто ГЭС (20,2%).

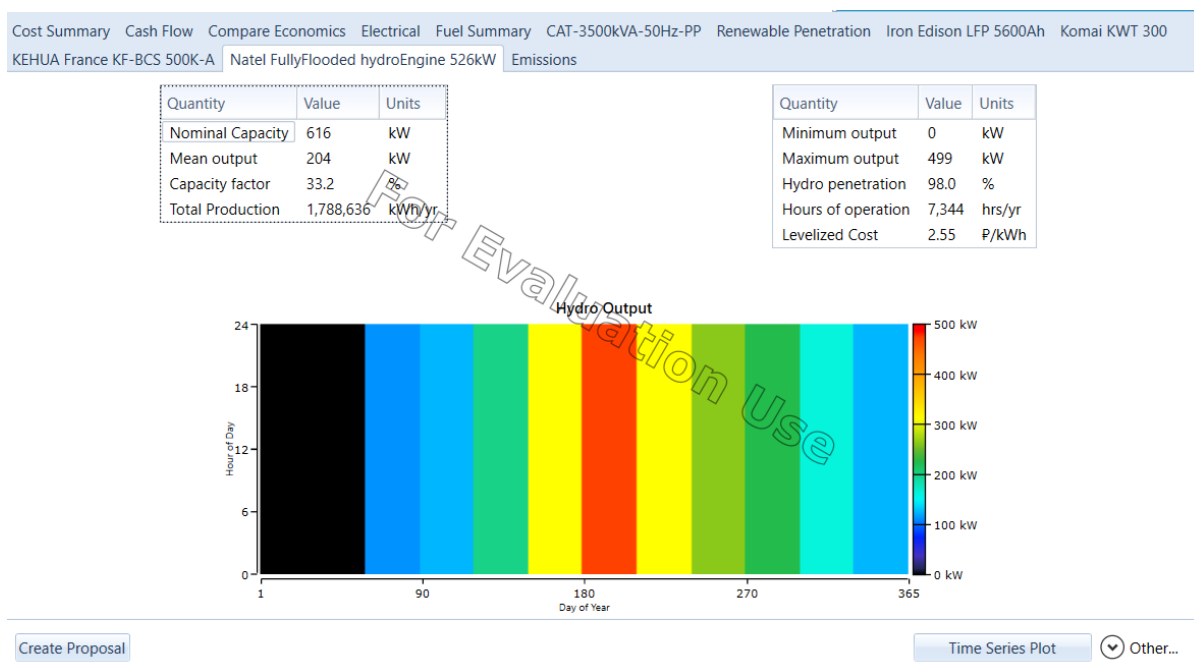


Рисунок 4.27 – Результаты расчета выработки электроэнергии гидроэлектростанцией

Судя по результатам, которые представлены на рисунке 4.27 видно, что в целом работа гидроэлектростанции практически от первого варианта не отличается. Средне вырабатываемая мощность составляет 204 кВт, значение себестоимости составляет практически аналогично первому варианту и составляет 2,55 руб/кВт·ч. Аналогично, как и в первой модели во время простоя гидроэлектростанции, а именно зимние месяца можно использовать как время для проведения текущих и капитальных ремонтов оборудования.

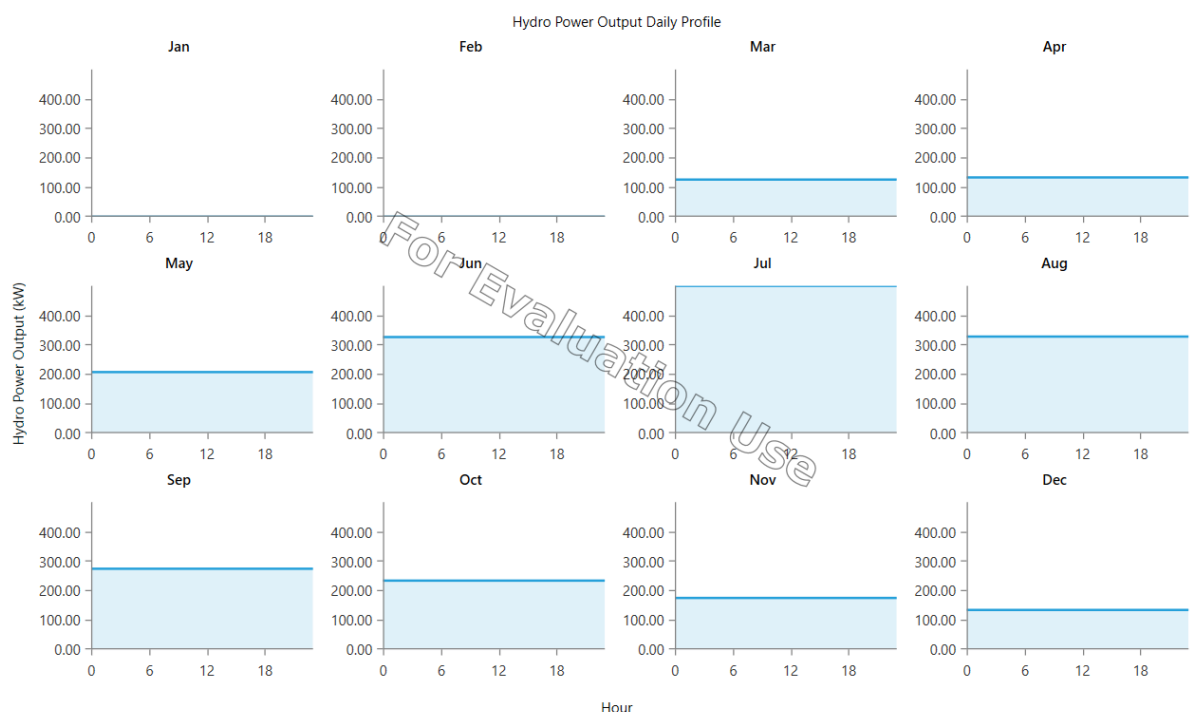


Рисунок 4.28 – Выработка мощности гидроэлектростанции в каждом месяце

Для гидроэлектростанции во второй модели КИУМ аналогичен значению первой модели и составляет 33,2%.

Диапазон КИУМ в отношении генерирующих источников объектов гидрогенерации не зависимо от величины установленной мощности составляет 30-35%.

Следующим действием было выполнено рассмотрение работы двух ветрогенераторов Komai KWT - 300. Все результаты представлены на рисунке 4.29.

По результатам расчетов видно, что номинальная мощность ветроустановки равняется 1,8 МВт. Так же можно заметить, что средняя вырабатываемая мощность данного ветрогенератора равна 786 кВт. В отличии от гидроэлектростанции, показатель КИУМ для ветрогенератора в первой и во второй модели слегка различаются и значение во второй модели составляет 43,7%.

Суммарное годовое число часов работы ветрогенератора составило 7639. За счет сильных ветров максимальное значение вырабатываемой мощности двумя ветрогенераторами составило 1954 кВт. Значение себестоимости электроэнергии для ветрогенераторов равно 1,97 руб/кВт·ч.

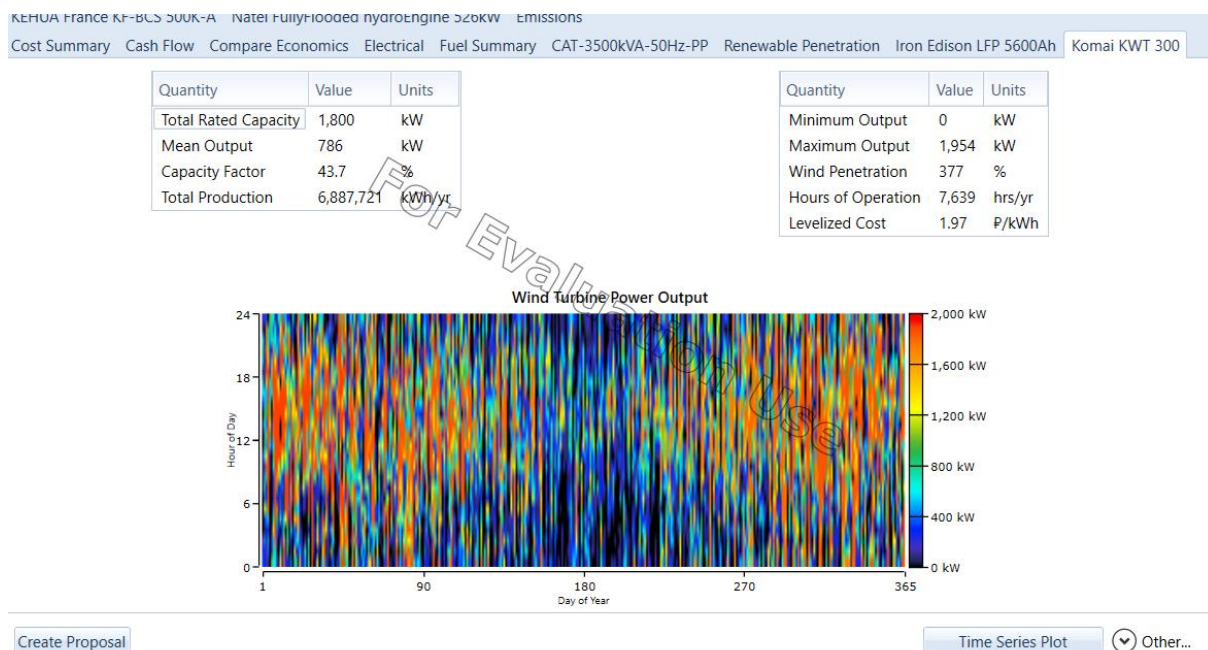


Рисунок 4.29 – Стимуляция работы ветроустановки Komai KWT – 300

Графики вырабатываемой мощности ветрогенераторами в каждом месяце представлены на рисунке 4.30. Месяца в которых зафиксирована максимальная выработка аналогична месяцам первой модели гибридной электростанции, с октября по декабрь, а также в марте. Наиболее активная работа ветрогенератора наблюдается с 12 до 18 часов

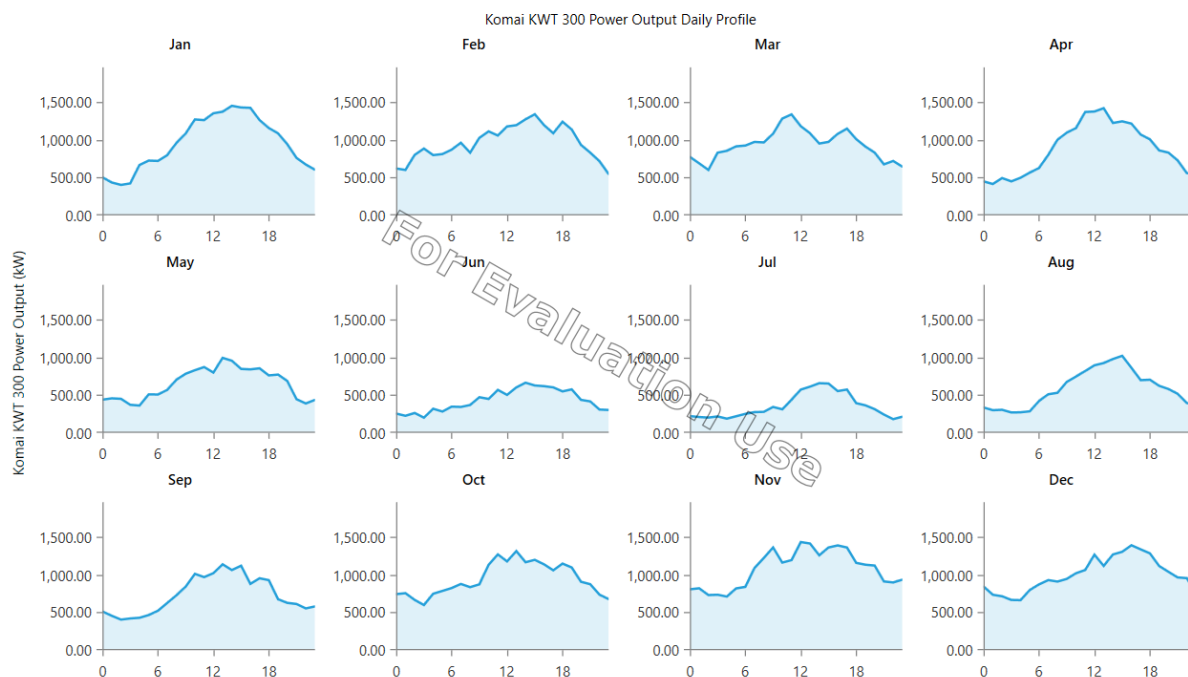


Рисунок 4.30 – Графики помесячной выработки электроэнергии ветроустановки Komai KWT – 300.

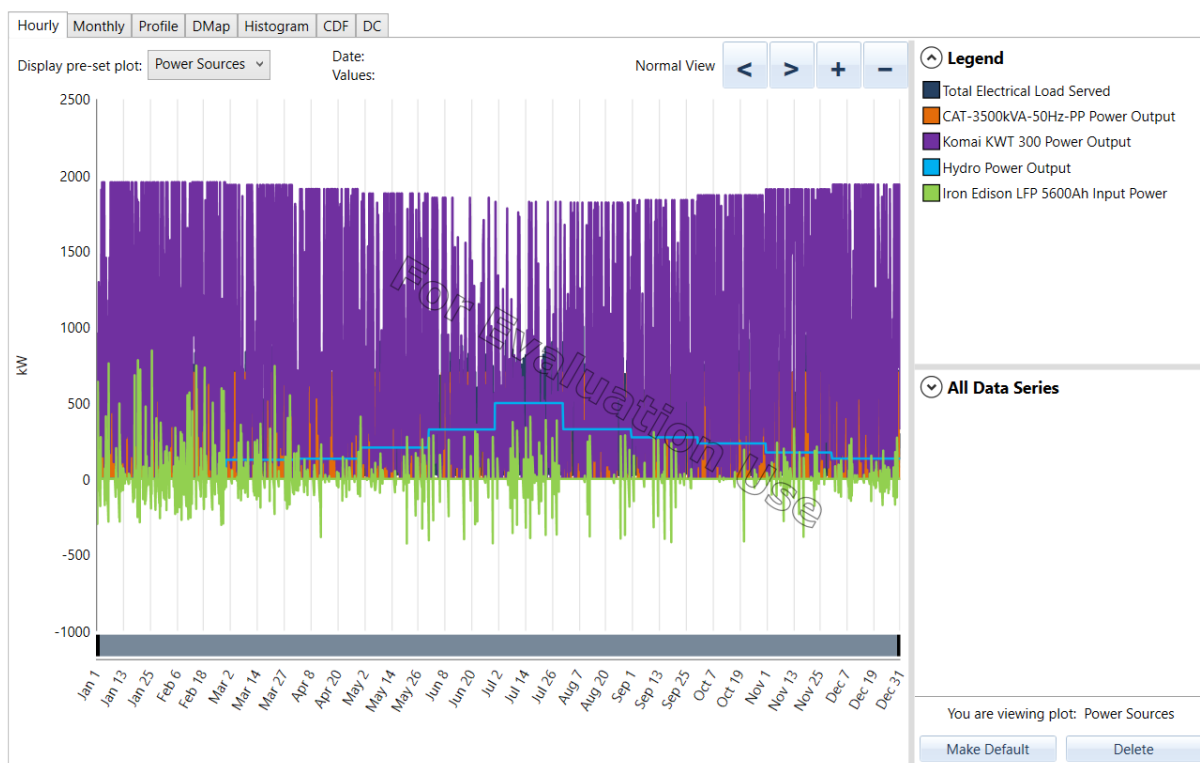


Рисунок 4.31 – Суммарный график выработки второй модели гибридной электростанции

По рисунку 4.31 мы можем наблюдать распределение выработки распределение выработки ветрогенераторов, гидроэлектростанции, а также в отличии от первой модели гибридной электростанции в данном варианте мы можем наблюдать работу дизель – генератора. Так же на данном графике указаны параметры вырабатываемой электроэнергии с помощью аккумуляторов. Как уже указывалось ранее, программный комплекс Nomer рассматривает АКБ только как источник дополнительной выработки электроэнергии.

На рисунке 4.32 представлен график разрядки и зарядки АКБ. Как можем заметить, преимущественно заряд аккумуляторов равен практически 100%. В остальное же время АКБ стоят полностью заряжены. Однако, согласно ПТЭЭП п. 2.10.15 на аккумуляторных батареях должны выполняться контрольные разряды 1 раз в 1-2 года.

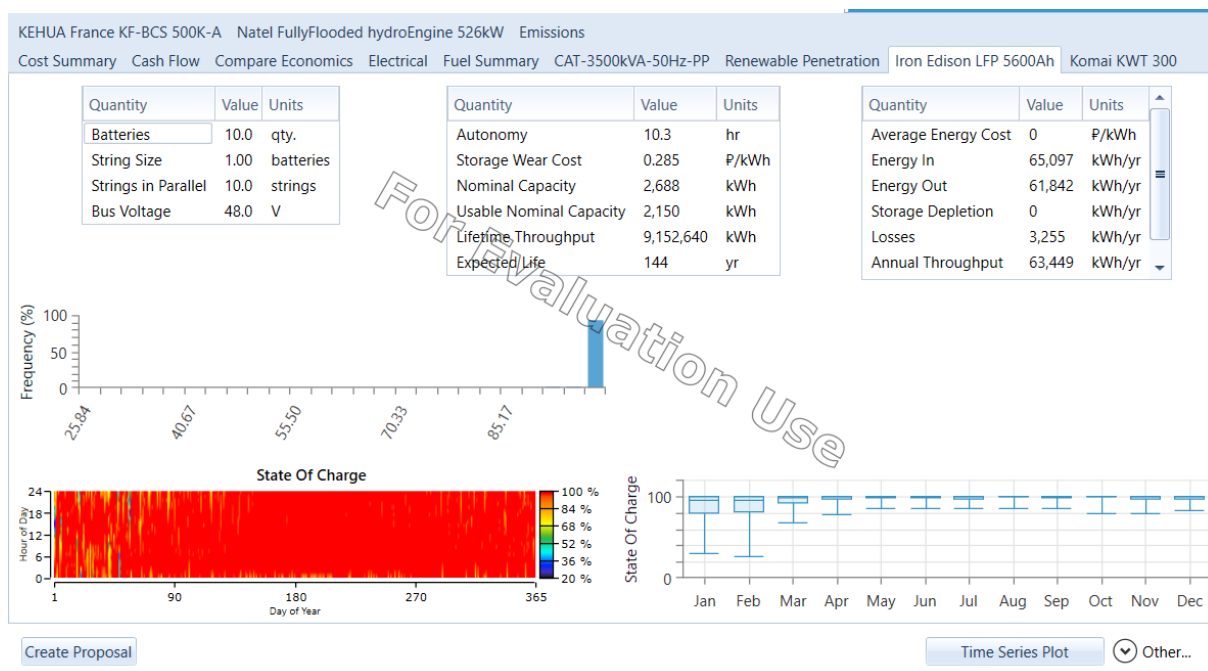


Рисунок 4.32 – График работы аккумуляторных батарей Iron5600

Так же в данном варианте гибридной электростанции в состав оборудования включен дизель – генератор. Согласно по результатам расчета, которые представлены на рисунке 4.33 видно, что суммарное количество часов, выработанное в течение года дизель – генератором составляет 274 часа. Суммарное значение вырабатываемой электроэнергии дизель – генератором составляет 191800 кВт·ч. Так же по результатам, которые представлены на рисунке 4.34 можно заметить, что суммарное значение затраченного дизельного топлива во время работы дизель – генератора составляет 61306 литров. В среднем ежедневно для работы дизель – генератора сжигалось 168 литров, при среднечасовом расходе, который равен 7 литров за 1 час. Видно, что среди всех месяцев в течение года, дизель генератор простаивал только в течение всего июля.

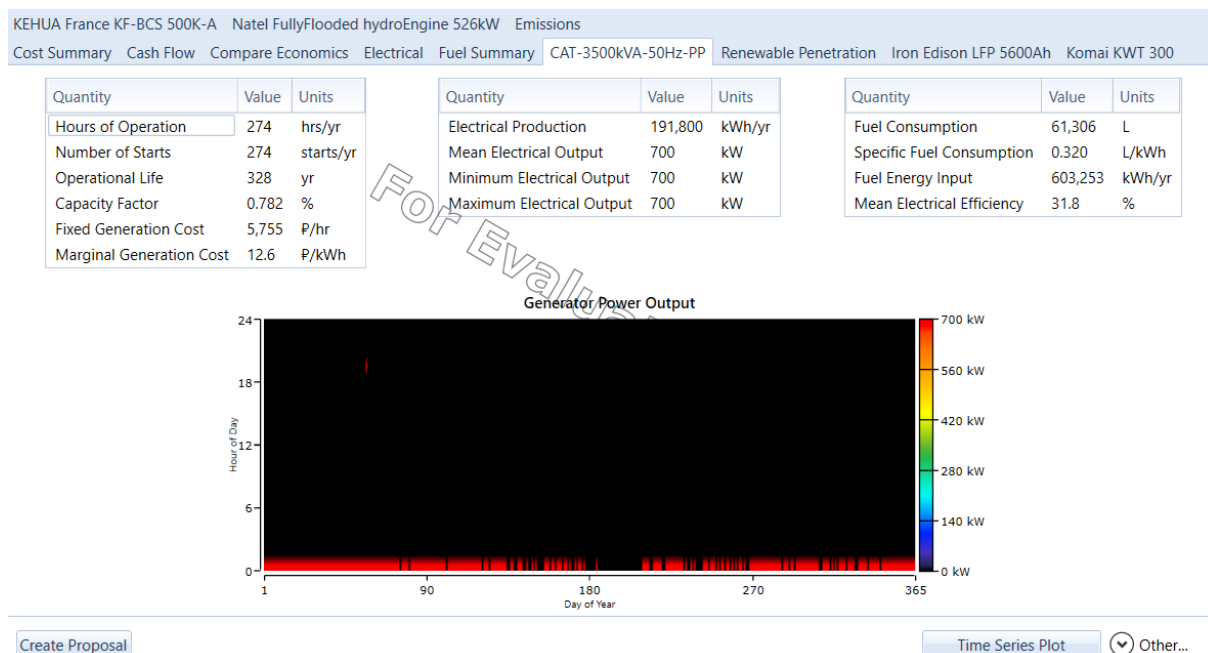


Рисунок 4.33 – Работа дизель – генератора CAT-3500

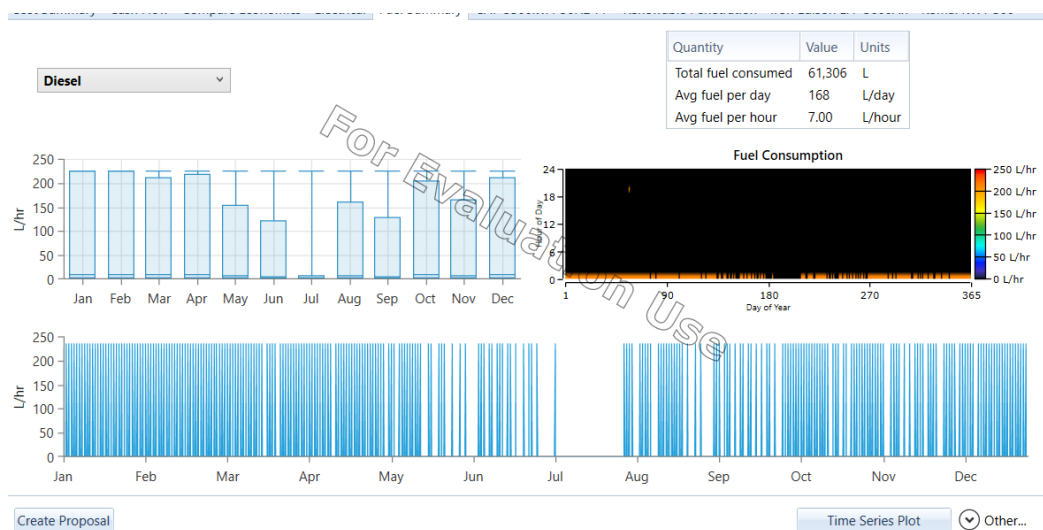


Рисунок 4.33 – Показания затраченного топлива во время работы дизель – генератора CAT – 3500

5 Сравнение двух моделей гибридных электростанций с ДГУ

Для того что бы произвести сравнение оптимальности всех трех вариантов, необходимо провести отдельно моделирование системы на основе дизеля – генератора, рисунок 5.1. Так как при добавлении ВИЭ, система отдельно с дизель – генерирующей установкой не рассматривается. Все расчеты выполнены на ту же нагрузку и стоимость что и при расчетах гибридной электростанции.


Architecture			Cost				System		CAT-3500				
 CAT-3500 (kW)	Dispatch	NPC (P)	COE (P)	Operating cost (P/yr)	Initial capital (P)	Ren. Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (P/yr)	Fuel Cost (P/yr)	
2,800	CC	P1.69B	P31,763	P129M	P17.0M	0	1,960,008	8,760	6,132,000	1,960,008	20,586,000	107,800,416	

Рисунок 5.1 – Параметры системы с применением дизель – генерирующей установки CAT-3500

Для того что бы определить наиболее оптимальный вариант системы, сведем все основные данные в таблицу.

Таблица 5.1 – Сравнение трех моделей электростанций

Параметр	Система с применением дизель-генератора CAT-3500kVA-50Hz-	Модель гибридной электростанции с ветрогенераторами Komai KWT – 300	Модель гибридной электростанции с ветрогенераторами W1000-80
Капитальные затраты, млн. руб.	1690	326	196
Нормированная стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч	31,7	13,80	6,69
Доля возобновляемых источников энергии, %	0	89,5	100
Количество используемого топлива, л/год	1960008	61306	0
Ежегодные затраты на топливо, млн.руб/год	107,8	3,4	0

Как мы видим по значениям, которые представлены в таблице 5.1 наилучшим вариантом из всех трех являет вариант гибридной электростанции с применение двух ветрогенераторов. Так же значение для гибридной электростанции выше представленных расчетов в реальной ситуации слегка изменятся, а именно что иногда будет использоваться ДГУ в каких-либо аварийных ситуациях, поэтому появятся некоторые затраты на топливо. Однако,

данное значение будет соизмеримо мало со значением, если использовать одно ДГУ без гибридной электростанции.

Как можно заметить по результатам таблицы 5.1 при одинаковой стоимости оборудования разница в капиталовложениях между двумя гибридными электростанциями составляет практически в 2 раза. А по сравнению с моделью в которой используется только ДГУ данная разница составляет для наилучшего варианта составляет в 8,52 раз.

Ниже представлены расшифровка некоторых терминов:

Капитальный ремонт – данный параметр представляет из себя текущую стоимость всех затрат на установку данного проекта. Программный комплекс HOMER рассчитывает его как чистую текущую стоимость каждого компонента в системе в целом;

Нормированная стоимость электроэнергии – средняя стоимость за 1 кВт·ч полезной электроэнергии, выработанной системой;

Эксплуатационные расходы представляют из себя годовую стоимость всех затрат и доходов, кроме первоначальных капитальных затрат;

Доля возобновляемых источников энергии – это часть энергии, которая поступает на покрытие нагрузки от возобновляемых источников энергии.

6 Технико – экономическое обоснование применение проекта гибридной электростанции

Для того что бы провести оценку экономической привлекательности применение данного проекта, необходимо выполнить такое техническое решение, которое позволит привести к минимуму значение эксплуатационных расходов во время эксплуатации данного проекта. В первую очередь одним из наиболее эффективных решений такой задачи является использование нескольких синхронизированных источников электроэнергии, включая возобновляемые источники энергии с максимально допустимым замещением использование ДГУ от 50% и более и с использованием высокой степени автоматизации [34]. Данные мероприятия позволят снизить эксплуатационные расходы от 25% и более и получить оптимальные показатели срока окупаемости.

Программный комплекс «HOMER» позволяет рассчитать затраты на стоимость, а также содержания основного оборудования, которое используется на гибридной электростанции. Расчеты в программном комплексе показали, что значение капитальных затрат на гибридную электростанцию с двумя ветрогенераторами составляет 196 миллионов рублей.

Капитальные затраты определяются по следующей формуле:

$$K = C_{\text{осн}} + C_{\text{всп}} + \text{НДС} + Z_{\text{ст}} + Z_{\text{д}} + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{стр}} + Z_{\text{смп}}, \quad (5.1)$$

где $C_{\text{осн}}$, $C_{\text{всп}}$ – стоимость основного и вспомогательного оборудования;

НДС – налог на добавленную стоимость, тыс. руб., на данный момент НДС составляет 20% от закупочной цены и распространяется как на отечественных, так и на зарубежных производителей;

$Z_{\text{д}}$ – затраты на доставку, тыс. руб., составляют в районе 15% от стоимости оборудования;

$Z_{\text{пр}}$ – затраты на проектные работы, тыс. руб., определяются в размере 10% от стоимости закупаемого оборудования;

$Z_{\text{смп}}$ – затраты на строительно – монтажные работы, тыс.руб., определяются в размере 12% от стоимости оборудования.

Значение себестоимости электроэнергии, вырабатываемой на гибридной электростанции, составило 6,68 руб/кВт·ч. Расчет данного параметра выполнялся по следующей формуле:

$$C_{\text{гибр.эл}} = \frac{I}{P_{\text{гибр.эл}}}, \quad (5.2)$$

где $I=9,66$ млн.рублей.

$$I = I_{\text{о.п.}} + I_{\text{т.р.}} + I_{\text{з}} + I_{\text{а.м.}} + I_{\text{п.р.}}, \quad (5.3)$$

где $I_{\text{о.п.}}$ – издержки на обслуживаемый персонал, руб.

$$И_{о.п.} = k_{шт} \cdot P_{гир.эл} \cdot \Phi, \quad (5.4)$$

где $k_{шт}$ – коэффициент штатного персонала, чел/кВт;
 Φ – годовой фонд зар. платы одного работника, тыс. руб.

$$И_{т.р.} = 0,02 \cdot (C_{стр} + C_{осн} + C_{пр} + C_{лэп}), \quad (5.5)$$

где $И_{т.р.}$ – издержки на текущий ремонт станции, оборудования и ЛЭП, руб.

$$И_з = 0,01 \cdot (C_{всп} + C_{осн} + C_{пр} + C_{лэп}), \quad (5.6)$$

где $И_з$ – издержки на зап. части к оборудованию и ЛЭП, руб.

$$И_{ам} = 0,034 \cdot C_{стр} + 0,02 \cdot (C_{всп} + C_{осн} + C_{пр} + C_{лэп}) + 0,025 \cdot C_{лэп}, \quad (5.7)$$

где $И_{ам}$ – издержки на амортизационные отчисления гибридной электростанции и ЛЭП, руб.

$$И_{пр} = 0,05 \cdot (И_{о.п.} + И_{т.р.} + И_з + И_{ам}), \quad (5.8)$$

где $И_{пр}$ – прочие издержки, руб.

Наиболее важным фактором для любого проекта является срок его окупаемости. Во время расчета срока окупаемости проекта рассчитываются временный период, по окончании которого инвестированные средства равны сумме полученной прибыли. В свою очередь формула расчета срока окупаемости позволяет определить некий период, в течение которого все средства, вложенные в данный проект, возвращаются инвесторам и проект начинает приносить прибыль. Данный параметр был рассчитан по следующей формуле:

$$T_{ок} = \frac{K}{П} = \frac{196}{\sim 25,54} = 7 \text{ лет } 8 \text{ месяцев}. \quad (5.9)$$

где $T_{ок}$ – срок окупаемости гибридной электростанции;
 K – капитальные затраты;
 $П$ – чистая прибыль.

Таким образом, срок окупаемости данной гибридной электростанции составляет 7 лет и 8 месяцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее ярко выраженной проблемой развития малой энергетики является проблематичность доставки материалов для капитального ремонта, а также топлива в труднодоступные регионы. Наиболее перспективным из множества вариантов является применение гибридной электростанции с использованием возобновляемых источников энергии.

В результате исследования применения было установлено, что для села Соболево, Соболевского района наиболее перспективным и экономичным вариантом является применение гибридной электростанции на базе ВЭУ и ГЭС. Помимо всего, обязательным условием является наличие дизель – генератора для обеспечения большей надежности в аварийных ситуациях. Так же помимо всего в результате проведенных в диссертационной работе исследований, направленных на определение исследования возможности использования возобновляемых источников энергии были получены следующие результаты:

1. Было изучено совокупное применение, а также разработка гибридных электростанций в мире.

2. Были определены ветровые валовые показатели, солнечные, а также гидроэнергетические показатели для всех муниципальных регионов Камчатского края. По результатам всех показателей был выбран наиболее подходящий район для исследования применения гибридной электростанции, так как этот населенный пункт обладает всеми необходимыми ресурсами, питание населенного пункта с. Соболево осуществляется с помощью ДЭС, что является одним из самых дорогостоящих источников электроэнергии, а так же у данного вида генерации электроэнергии слишком низкая надежность работы, в результате которой происходят различные перебои в электроснабжении, продолжительность которых может быть в течение нескольких дней.

3. С помощью программного комплекса «Nomer» было произведено построение трех моделей электростанций, по результатам которых была выбрана наиболее оптимальная модель гибридной электростанции для Камчатского края.

4. Был произведен расчет основных технико – экономических показателей. Капитальные вложения на строительство гибридной электростанции составили в районе 196 млн рублей. Так же был рассчитан такой параметр как инвестиционная привлекательность проекта, в котором срок окупаемости составил 7 лет и 8 месяцев.

Данный проект демонстрирует возможность использования возобновляемых источников энергии в районах с децентрализованным электроснабжения Камчатского края, позволяя проводить экономию денежных средств, которые требовались для работы дизельной электростанции в селе Соболево, Соболевский район.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аккумуляторы стационарные свинцово-кислотные с регулирующим клапаном серии «болид». [Электронный Ресурс] // Режим доступа: https://bolid.ru/files/373/566/bolid_ab_rept_jan_21.pdf.
2. Автономное энергоснабжение территории России энергокомплексами на базе возобновляемых источников энергии. / Елистратов В.В. // Энергетический вестник. – 2016. - № 21. – С. 42-49.
3. Безруких П.П. Ветроэнергетика. / Безруких П.П., Безруких П.П. (мл.), Грибков С.В. // Справочно-методическое издание. – 2014.
4. Ветроэнергетика Красноярского края / А.В. Бастрон [и др.]; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2015. – 252 с.
5. Выбор критериев оптимизации при разработке гибридных установок на основе солнечных модулей для электропитания локальных удаленных потребителей промышленно – бытового назначения. / Григорьев А.С. // Альтернативная энергетика и экология. – 2011. – №12 (104) – С. 39-48.
6. Василевский Н.С. Перспективы использования гибридных энергетических установок на территории России. / Василевский Н.С., Кувалдин А.Е., Жорнова О.Н., Филипповский Н.Ф. // Международная научно – практическая конференция студентов аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н.И. (1945 – 2015) – Даниловских Чтений. – 2017. С. 119 – 123.
7. Возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://ecoblogger.ru/vozobnovlyaemye-istochniki-energii/>
8. ГОСТ 15150-69. Государственный стандарт Российской Федерации. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. Утвержден в действие Постановлением Госстандарта СССР от 29.12.1969 (переиздан в апреле 2010). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.normacs.ru:8889/Doclist/doc/8PA.html>
9. Гибридная энергетика [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://econet.ru/articles/178271-gibridnaya-energetika>
10. Зарубин, А. С. ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ // Молодежь и наука: сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2014. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/directions.html>
11. Зеленая энергетика [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://eenergy.media/2020/11/25/v-kitae-nachalos-stroitelstvo-gibridnoj-vetro-solnechnoj-elektrostantsii/>

12. Захаренков Е.А. Расчет тепловых схем гибридных электростанций на основе топливных элементов и тепловых двигателей. / Захаренков Е.А., Буров В.Д. // Труды II Международного симпозиума по водородной энергетике. – 2007. С. 239-241.
13. Иванов Р.О. Проектирование гибридной электростанции для электроснабжения отдаленных потребителей нефтегазовой промышленности: специальность 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»: бакалаврская работа /Иванов Роман Олегович; Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – 2018. С.129.
14. Курочкина Ю.В. Разработка гибридной гелио-гидроэлектростанции: специальность 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»: магистерская диссертация/ Курочкина Юлия Васильевна; Саяногорск, Черемушки: Саяно-Шушенский филиал СФУ. – 2020. С.72.
15. Киушкина В.Р. Возобновляемые источники энергии в энергетической безопасности локальных энергозон. / Киушкина В.Р. // Промышленная энергетика. – 2016. – №9. С. 44-49.
16. Колпаков А.И. Энергия, принесенная ветром. Ветроэнергетические установки и ветрогенераторы. / Колпаков А.И. // Силовая электроника. – 2005. – №3.
17. Лукутин Б.В. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: Учебное пособие. / Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А.– Томск: Издательство Томского политехнического университета. – 2015. – С. 128.
18. Лукутин Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованных районах. / Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. // Энергоатомиздат. – 2008. – С. 231.
19. Леонтьев Г.П. Малая энергетика в разных ракурсах // Мировая энергетика. – 2009. С. 231.
20. Михайлов А. Малая энергетика России: классификация, задачи, применение. Новости электротехники. Информационно-справочное издание. – 2005. - №5(35).
21. Ноэль Нтавухоракомейе, Белов М.П. Техническая методика расчета мощности солнечных электростанций в тропическом климате, как в Республике Бурунди. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб.: 2019. - Вып № 8, С. 66 – 74.
22. Новых А.В. Повышение эффективности гибридной электростанции с помощью виртуальной электростанции / Новых А.В., Свириденко И.И., Гоголев Г.В.// Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2019. - №2 – С. 87 – 96.
23. Оценка возможности использования возобновляемых источников энергии в децентрализованных районах Красноярского края. / Курочкина Ю.В., Носков М.Ф. // Всероссийская научно – практическая конференция молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов «Гидроэлектростанции в XXI веке». – 2020. С. 337 – 344.

24. Программы для моделирования [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://solarpanel.today/top-5-programm-dlya-modelirovaniya-solnechnyh-elektrostantsij/>
25. Проект Министерства энергетики Российской Федерации «Энергетическая стратегия России на период до 2035 года». – М.: Минэнерго Российской Федерации. – 2014.
26. Проскурякова Л.Н. Возобновляемая энергетика 2030: Глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития. / Проскурякова Л.Н., Ермоленко Г.В. // Институт статистических исследований и экономики знаний – Москва – 2017. – С. 8-9.
27. Тенденции развития электроэнергетики на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). / Татарников В.И., Лонский С.Е. // Всероссийская научно – практическая конференция молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов «Гидроэлектростанции в XXI веке». – 2016. С. 26-30.
28. Три проекта гибридной генерации в мире [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://kislod.life/keysy/tri_proekta_gibridnoy_generatsii_v_mire/
29. Требования и методические подходы при проектировании и сооружении ветроэлектростанции / Григорьева О.А., Тремясов В.А. // Международный научно практический форум «Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона». – 2012. С. 368-371.
30. Суфляр Д.А. Проблемы надежности автономных систем электроснабжения децентрализованной энергозоны / Суфляр Д.А., Киушкина В.Р. // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS – технологии в энергетике: Материалы X Всероссийской научно – технической интернет – конференции, Том 1, Пермский нац. иссл. Политех. ун – т, Пермь. – 2016. – С. 46 – 52.
31. Храмцова А. П. Оценка надежности гибридных систем выработки электроэнергии, предназначенных для работы на Крайнем Севере: специальность 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»: магистерская диссертация/ Храмцова Алена Павловна; Саяногорск, Черемушки: Саяно-Шушенский филиал СФУ. – 2020. С.63.
32. Храмцов М.А. Создание системы электроснабжения для реализации проекта «Дальневосточный гектар» на базе гибридной гидро – солнечной электростанции: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»: магистерская диссертация/ Храмцов Матвей Александрович; Саяногорск, Черемушки: Саяно-Шушенский филиал СФУ. – 2020. С.61.
33. Черноталова Е.А. Разработка ветровой электростанции для промышленного предприятия г. Тольятти: специальность 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»: магистерская диссертация / Черноталова Е.А.; Тольятти: Тольяттинский государственный университет. – 2029. С. 70.
34. Штерн В.И. Эксплуатация дизельных электростанций: иллюстрационное научное издание / Штерн В.И. – М.: Энергия. – 1980. – С. 120.

35. Specifics of assessing energy security of isolated energy service areas in territories with harsh climatic conditions /V. Kiushkina, D.Antonenkov // International Journal of Energy Technology and Policy (Special Issue on: "Intellectual Energy Technologies: Prospects and International Experience". Vol.15 Nos.2/3, 2019, pp.236 – 253.

36. Druzhinin V. A. Prospects of Hybrid Market for Electric Power Generation and Storage. / Druzhinin V. A., Tatarnikov V. I., Noskov M. F. // International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE. – 2018. C. 169 – 173.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«**СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**»
Саяно-Шушенский филиал
институт

Гидроэнергетики, гидроэлектростанции, электроэнергетических систем и
электрических сетей
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 А.А. Ачитаев
подпись инициалы, фамилия

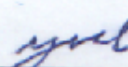

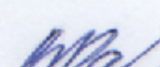
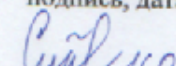
« 16 » июня 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**Исследование возможности применения гибридной
электростанции в Камчатском крае**

13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника
код – наименование направления

13.04.02.06 Гидроэлектростанции
код и наименование магистерской программы

Руководитель	д.т.н., профессор кафедры ГТЭС Саяно – Шушенского филиала  <u>15.06.22</u> <u>СФУ</u> подпись, дата ученая степень, должность	<u>М.Ф. Носков</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 <u>15.06.22</u> подпись, дата	<u>А.Н. Егоров</u> инициалы, фамилия
Рецензент	д.т.н., профессор кафедры  <u>15.06.22</u> <u>ТОР НГТУ</u> подпись, дата ученая степень, должность	<u>В.П. Разинкин</u> инициалы, фамилия
Нормоконтроль	 <u>16.06.22</u> подпись, дата	<u>К.П. Синельникова</u> инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2022