

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки)

Энергосбережение и энергоэффективность

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка гибридной системы электроснабжения для изолированных регионов
России

Обучающийся

С.А. Ларин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Анализ текущего состояния системы электроснабжения.....	8
1.1 Проблемы потребителей децентрализованных регионов.....	8
1.2 Использование ВИЭ в сельских поселениях России.....	10
1.3 Общий анализ энергетической потребности отдалённых регионов.....	12
1.4 Общий анализ ресурсобеспеченности региона.....	14
1.5 Характеристика объекта проведения исследования.....	17
1.6 Характеристика энергопотребления объекта.....	19
1.7 Анализ метеорологической обстановки объекта исследования.....	21
Глава 2 Техническое решение поставленной задачи.....	32
2.1 Принцип работы гибридной солнечно - ветро-дизельной электростанции.....	32
2.2 Выбор оборудования.....	35
Глава 3 Оптимизация проекта гибридной солнечно - ветро-дизельной электростанции.....	51
3.1 Расчёт энергобаланса.....	51
3.2 Расчёт себестоимости генерируемой электроэнергии.....	56
Глава 4 Экономическая и ресурсная эффективность.....	64
4.1 Оценка технического решения.....	64
4.2 Определение ресурсной эффективности проекта.....	66
4.3 SWOT- анализ.....	68
Заключение.....	71
Список используемых источников.....	74
Приложение А Генеральный план посёлка Сангар.....	78
Приложение Б Матрица SWOT-анализа.....	77

Введение

В настоящее время северные регионы нашей страны полностью или частично отрезаны от сетевого электроснабжения. Электроснабжение децентрализованных районов реализуется с помощью малых электростанций, работающих с использованием жидких и твёрдых топлив углеводородной группы. Ежегодно в рамках «Северного завоза» в труднодоступные регионы производится доставка дизельного топлива и других горюче-смазочных материалов. Данные мероприятия являются не только крайне затратными, но и опасны с точки зрения экологической безопасности региона. Эффективность генерации на дизельных агрегатах, имеющих значительную степень износа, неэффективна и не надёжна.

В процессе выполнения магистерской диссертации была проанализирована данная проблема и найдено решение по повышению эффективности генерации электроэнергии. Результатом исследования является проект комбинированной, всепогодной электростанции с применением возобновляемых источников энергии, предполагающий внедрение ветрогенераторов и фотоэлектрических преобразователей большой мощности на территории поселкового объекта республики Саха (Якутия). Решение, описанное в диссертации, позволяет эффективно использовать все возможные источники генерации с минимальным потреблением топливных ресурсов.

Цель исследования: повышение эффективности генерации электрической энергии.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ текущего состояния системы электроснабжения (аналитический обзор литературы по данной проблеме, состояние и практический потенциал малой энергетики, построение и анализ

графиков нагрузки потребителей, анализ существующей системы электроснабжения малых поселений);

- разработать алгоритм выбора и оптимизации оборудования по заданным показателям эффективности (выработка структурной схемы гибридной системы электроснабжения; выбирается основное оборудование электростанции; расчет энергетического баланса гибридной системы);
- рассчитать технико-экономический эффект от внедрения гибридной системы электроснабжения (технико-экономическое обоснование построения гибридной системы электроснабжения, разрабатываются рекомендации по выбору основного энергетического оборудования гибридных систем электроснабжения).

Научная новизна исследования заключается:

- в использовании больших баз данных при анализе влияния на производительность возобновляемых источников энергии метеорологического фактора;

На основании проведённого анализа разработана новая оптимизированная модель гибридной электростанции, как основного хаба возобновляемых источников энергии. Отличительной особенностью модели от схожих проектов является высокая степень производительности при любых погодных условиях.

Практическая значимость: Использование подхода, описанного в диссертации, позволяет провести мероприятия по повышению энергетической эффективности на любом децентрализованном объекте малой генерации с минимальными финансово-временными затратами. Что, в свою очередь, может привести к снижению эксплуатационных издержек предприятия.

С целью достичь планируемого эффекта произведён детальный, пошаговый анализ многолетней информации с метеорологических спутников NASA. Предложенный метод анализа позволяет в дальнейшем оптимизировать состав и планировать режимные параметры работы возобновляемых источников энергии без применения дорогостоящего оборудования и большого количества финансовых ресурсов для любых объектов малой альтернативной генерации.

В процессе решения были проанализированы статьи и научные работы по схожим исследованиям. В работе Семёнова Д.С. «Оценка эффективности развития малой энергетики в районах Крайнего Севера» изложены результаты аналитического исследования региона. В частности, даётся характеристика текущего состояния энергообеспечения региона, оценивается возможный потенциал применения ВИЭ и возможные пути решения проблемы неудовлетворительного энергоснабжения малых низко населённых поселений.

Также были проанализированы работы:

- Д.В. Прохорова «Повышение надёжности децентрализованных энергетических систем северных территорий» [16];
- В.А. Шакирова, Т.Ф.Тугузова, Р.И.Музычук «Проблемы энергоснабжения в коммунально-бытовом секторе Арктической зоны республики Саха (Якутия)»[21];
- А.Н. Канахина «Электроснабжение децентрализованных сельскохозяйственных объектов на основе фотоэлектрических модулей» [6];
- Е.Н. Соснина, А.И.Чивенкова, И.А.Липужина, Н.И. Мамонова «Децентрализованная система электроснабжения с двухканальным твердотельным преобразователем» [2].

После анализа и обобщения данных работ можно выделить некоторые общие тезисы.

Во-первых, децентрализованные районы Крайнего Севера имеют очень низкую электрификацию в связи с малой плотностью населения, проживающей на обширной территории.

Во-вторых, дизель-генераторные установки, которые применяются в данном районе, имеют высокую степень износа.

В-третьих, относительно высокий ветровой и солнечный потенциал региона позволяет провести модернизацию дизель-генераторных установок с использованием возобновляемых источников энергии.

В-четвёртых, применение модульных конструкций возобновляемых источников энергии на существующих дизель-генераторных электростанциях возможно. Данное решение позволит сократить затраты как на первичном, так и на последующих этапах модернизации. А также позволит при увеличении энергопотребления увеличить количество ветро- и гелиоустановок до достижения необходимого уровня мощности.

Глава 1 Анализ текущего состояния системы электроснабжения

1.1 Проблемы потребителей децентрализованных регионов

ЕЭС России включает в свою сеть 75 подсистем регионального уровня и обеспечивает электроэнергией большую часть территории нашей страны. Однако далеко не все регионы покрывает данная система. На карте энергетических объектов Российской Федерации, можно увидеть крупные территории, не охваченные сетью централизованного энергоснабжения. Все они расположены на отдалении, в суровых условиях северо-восточных регионов, Крайнего Севера, в Сибири и на Дальнем Востоке (рисунок 1) и занимают около 60 % площади России, или 28 субъектов РФ.

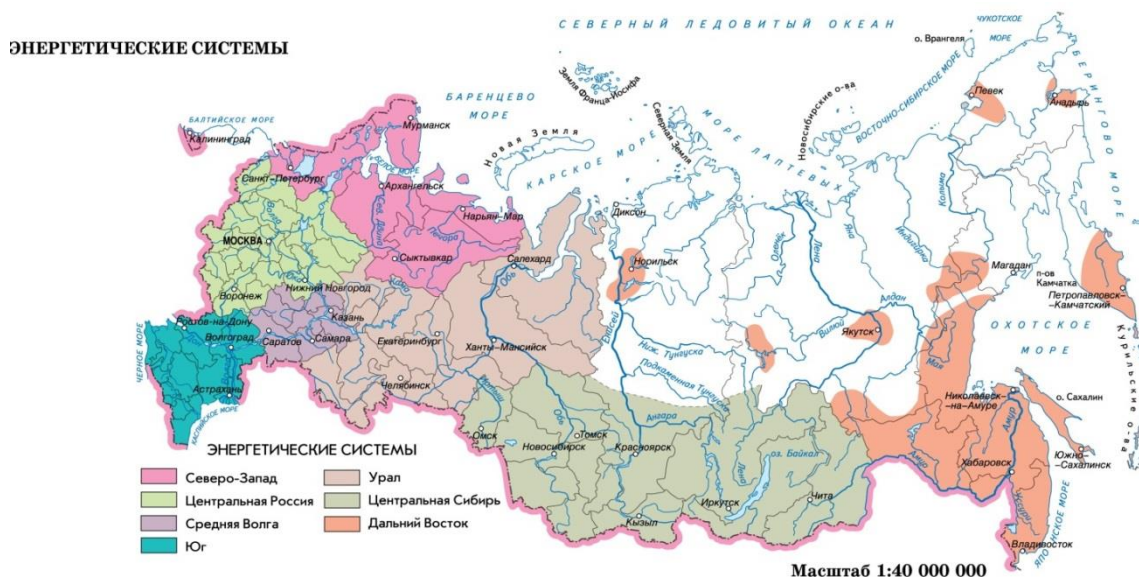


Рисунок 1- Единая энергетическая система России

На данных труднодоступных территориях располагается множество малых населённых пунктов. Все они испытывают дефицит мощности энергоснабжения или не запитаны вовсе.

Поскольку электроснабжение является важным фактором развития территории, в данных областях складывается негативная экономическая и социальная ситуация. Не развиваются личные подсобные хозяйства и бизнес, уменьшается население. «Климатические условия данных регионов существенно разнятся по условиям хозяйствования, а также неоднородны с точки зрения экономического и социального развития. Северные регионы характеризуются негативными факторами, оказывающими комплексное воздействие на условия жизни и производства, что приводит к выделению особых подтипов северных регионов с отнесением их к зонам дискомфорта. В частности, Республика Саха (Якутия) относится к зоне абсолютного дискомфорта» [10]. Поскольку география региона достаточно обширна и неоднородна по рельефу местности, а потребители рассредоточены небольшими группами по всей территории (плотность населения данных регионов $0,3-5$ чел/км²) строительство новых генерирующих станций и линий передачи электроэнергии становится не просто серьёзной инженерной задачей, а скорее вызовом самой природе. И именно в этих регионах нашей страны сосредоточено основное количество автономных систем электроснабжения.

Автономные энергетические объекты, которые имеются в отдалённых районах, как правило, рассчитаны на два-три небольших поселения, имеют номинальную мощность, не превышающую 2000 кВт. Основой системы служит дизель-генераторная установка (ДГУ). Каждый год на Крайний Север, Дальний Восток и Сибирь поступает от 6 до 8 миллионов тонн горюче-смазочных материалов, где функционируют отдельные системы электроснабжения. «Из-за высоких расходов на транспортировку, стоимость топлива и впоследствии производимой электроэнергии в этих регионах в 2 раза выше, чем средняя стоимость электроэнергии по всей России» [3]. В некоторых случаях недостаток топлива ставит под угрозу жизни и здоровье людей.

Не менее важно и само оборудование, которое обеспечивает генерацию электроэнергии. Дизельные электростанции имеют высокий процент выработки ресурса (35% установок имеют износ более 75%), что влечет повышенные расходы на обслуживание и ремонт [25]. А также отражается в тарифе на электроэнергию. Результат перекрёстного субсидирования и бюджетных дотаций, применяемых в данной ситуации, представляет собой значительную долю расходов для бюджета региона. Сложившаяся в регионе ситуация, а также сложные географические и климатические условия, ставят вопрос о поиске новых инновационных решений для данных проблем.

Все существующие объекты, в большинстве схожи по условиям эксплуатации, характеристикам и имеющимся проблемам. Для дальнейшего анализа стоит выделить основные из них:

- изолированность и труднодоступность. Наличие большого количества рассредоточенных энергоисточников малой мощности;
- высокие тарифы на электроэнергию в связи с логистическими и техническими трудностями, а также устаревшее не энергоэффективное оборудование электростанций;
- малое удельное количество потребителей на единицу площади.

1.2 Использование ВИЭ в сельских поселениях России

В настоящее время на территории России существует практика ограниченного применения ВИЭ. Как правило, устанавливаются несколько ветрогенераторов (до 15 установок) либо небольшие гелиопарки номинальной мощностью до 100-150 кВт. Данные устройства носят статус опытного образца и, как правило, не тиражируются. Опыт постройки ВИЭ - станций по сравнению с другими странами относительно небольшой. Как и невелик уровень локализации компонентов ВИЭ. Данную ситуацию может

изменить в лучшую сторону массовое внедрение ВИЭ-установок, в том числе за счёт модернизации ими действующих дизельных электростанций.

«Малые населённые пункты прекрасно подходят для получения опыта внедрения генерации за счёт возобновляемых источников энергии» [9] и тиражирования успешных результатов в масштабе всей страны. Данная практика, несомненно, повлияет на рост и развитие высокотехнологичной ВИЭ - отрасли до уровня развитых экономик Европейского союза, США и Азии.

Вне крупных населённых пунктов обеспечивается большое разнообразие необходимых условий проектирования, строительства и эксплуатации, а также получение энергии за счёт ВИЭ с максимальной эффективностью. В таких условиях удалённость и сложность рельефа местности становятся положительными сторонами объекта, поскольку позволяют применять различные технологии и комплексные технические решения для решения задачи энергоснабжения.

Ввиду того, что дизель-генераторные установки имеют высокий процент износа, модернизация данных систем позволит обеспечить относительно меньшие капиталовложения, ускорить сроки окупаемости устанавливаемого оборудования и тем самым повысить энергоэффективность всей энергосистемы в целом. Что в сумме позволит поддерживать современный уровень снабжения электроэнергией данных населённых пунктов.

Не стоит забывать об экологической стороне вопроса. Именно отдалённые территории позволяют увидеть первозданность природы. Также поселения могут располагаться на территории с особым режимом природопользования, что накладывает определённые ограничения с точки зрения экологии на внедряемое оборудование. Сохранение устоявшейся положительной экологической ситуации является не менее важной задачей.

С учетом вышесказанного можно утверждать, что во многих децентрализованных регионах России наиболее рационально применение комплексной системы энергоснабжения.

Как правило, модернизация системы энергоснабжения включает в себя различные виды ВИЭ генерации. Данные решения включают в себя дизельную установку, как основу и параллельно включаются в работу солнечные батареи и ветрогенераторы. Важным условием является способность модернизированной электростанции использовать комплексный режим работы в течение всего жизненного цикла. Второе важное условие - применение принципа модульности и взаимозаменяемости, на этапе конструирования. Также должно быть реализовано перекрёстное резервирование и накопление не используемой энергии на аккумуляторном модуле гибридной электростанции.

При выполнении всех вышеуказанных требований по сравнению с классической схемой построения ДЭС мы исключаем следующие негативные факторы:

- убытки и серьёзный экономический ущерб как следствие перебоев в энергоснабжении;
- высокие расходы на ГСМ и их доставку на место;
- непосредственная жесткая зависимость от углеводородных ресурсов и их истощаемость;
- загрязнение окружающей среды, и как следствие ухудшение экологической обстановки в месте эксплуатации ДЭС.

1.3 Общий анализ энергетической потребности отдалённых регионов

На северных территориях с децентрализованным электроснабжением преобладают особенные требования к энергоснабжению хозяйствующих

субъектов, рассредоточенных по всей территории в виде анклавов.

Для проведения анализа энергетической потребности децентрализованных регионов была взята информация общего энергопотребления за последние три года в «Республике Саха (Якутия), поскольку данный регион является ярким представителем масштабного функционирования децентрализованных источников» [9]. Полученные данные были обработаны статистическими методами и выделены показатели потребления электроэнергии на человека в месяц. Данный показатель в дальнейшем позволит судить о потребности региона в электроэнергии, общем развитии региона и давать прогноз возможного будущего роста. (Рисунок 2.)

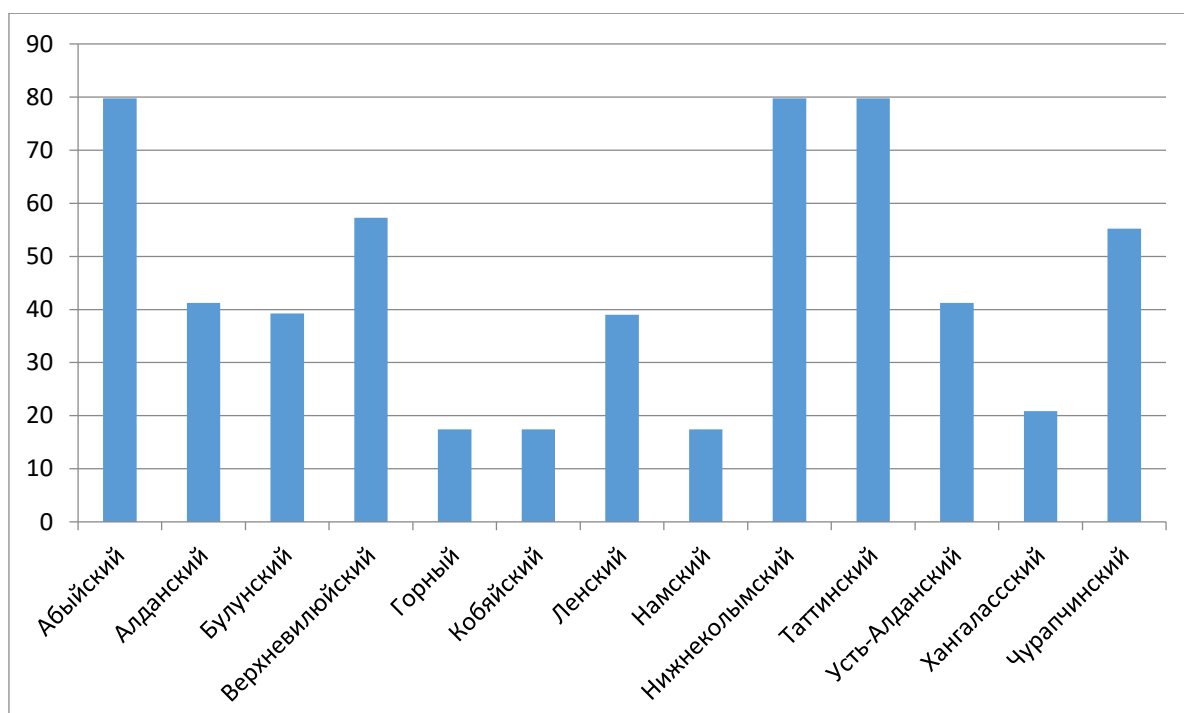


Рисунок 2- Количество кВт×ч на человека в месяц

По полученным данным можно утверждать о низком показателе потребления электроэнергии и как следствие недостаточном уровне развития данных территорий. Из 13 исследуемых районов только в трёх потребление

электроэнергии находится на уровне приближенном к 80 кВт×ч на человека. В остальных районах потребление в 2-3 раза ниже. Для сравнения стоит сказать о том, что уровень энергопотребления в Европейской части России в среднем, находится на отметке 150 кВт×ч на человека в месяц.

«Основная доля (96%) в энергобалансе автономных систем электроснабжения приходится на дизельные электростанции, типовые схемы которых не изменились за многие годы эксплуатации, несмотря на ряд недостатков» [8]. Одним из наиболее критичных является различный типоразмер и мощность используемых дизельных электростанций, что делает процесс их ремонта и обслуживания более сложным. Увеличение сортамента запчастей узлов и агрегатов, необходимых для проведения ремонтных работ, ведёт к уменьшению надёжности дизельных электростанций в целом. Например, если вдруг выходит из строя более мощная электростанция, меньшие по мощности станции (поселковые) не смогут произвести замещение выпавшей единицы и помочь с ремонтом, так как запчасти одной станции несовместимы с другой. Это может привести к временному отключению энергопотребителей, что недопустимо и опасно. Наиболее сложная ситуация в этом плане наблюдается у 47% районных электростанций у которых агрегаты изношены на 50% и более. В настоящее время ремонт этих объектов осуществляется организациями, не имеющими в своём распоряжении специализированного оборудования и высококвалифицированных специалистов.

1.4 Общий анализ ресурсообеспеченности региона

В целом, регионе Крайнего Севера есть разведанные месторождения для добычи полезных ископаемых углеводородной группы (нефти, газа, угля). Для дальнейшего использования ДЭС на отдалённых территориях заполярной части Якутии и зимников его ежегодно завозят танкерами по

рекам Лена, Индигирка, Алдан, Колыма и Яна. Также возможна отправка автомобильным и авиационным транспортом в несколько этапов. Основным логистическим хабом является столица Якутии - город Якутск. Данные мероприятия входят в ежегодный Северный завоз и являются стратегически важными для данного региона. Логистика данных мероприятий сложна и многоступенчата, а также имеет ряд рисков как в технической, так и в экологической сфере.

Анализ данных о возможных путях доставки энергоресурсов позволил выделить следующие группы:

- группа объектов, для которых доставка энергоресурсов возможна только в определённые периоды (сезоны);
- группа объектов всесезонного доступа для подвоза несколькими путями и видами;
- группа объектов, всесезонного доступа, куда возможна доставка только автотранспортом.

Стоит отметить, что нет ни одного отдалённого района, который мог бы быть отнесён к группе круглогодичного всепогодного подвоза, и как следствие данные территории по обеспеченности энергоресурсами являются зонами чрезвычайного состояния. Это в свою очередь актуализируют вопрос о включении в энергобаланс регионов генерации с использованием альтернативных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на уже действующих объектах. Данное решение позволит не только повысить надёжность и энергоэффективность существующих ДЭС в регионе и снизить издержки бюджета, но и уменьшить влияние антропогенных факторов и улучшить экологическую ситуацию в данных поселениях.

Также стоит отметить, что территория Якутии обладает необходимым ветровым, солнечным и территориальным потенциалом. (Рисунок 3, рисунок 4).

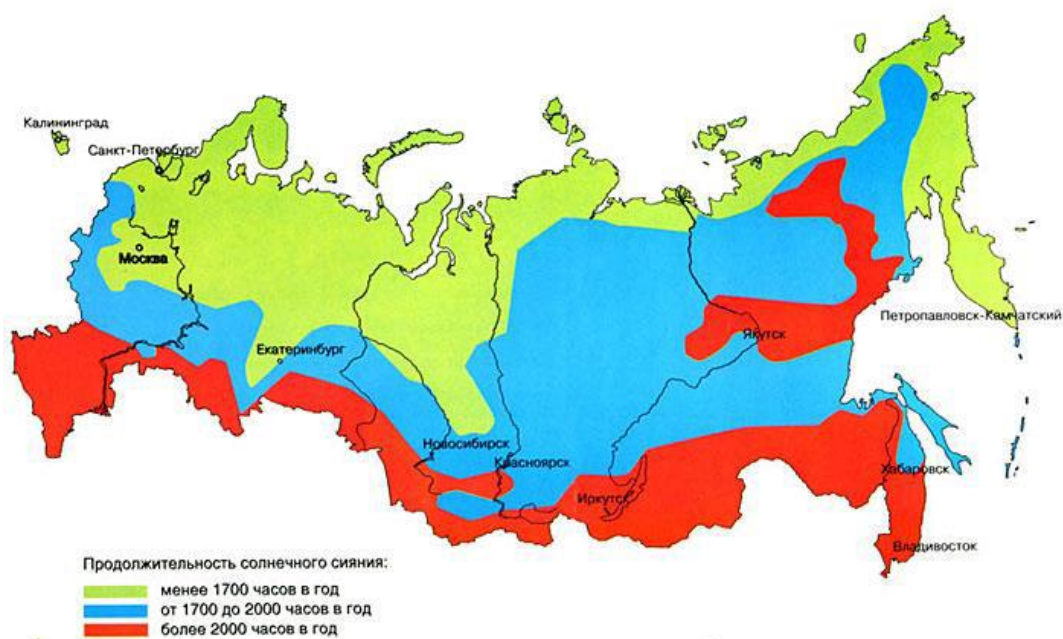


Рисунок 3- Ресурсы солнечной энергии России

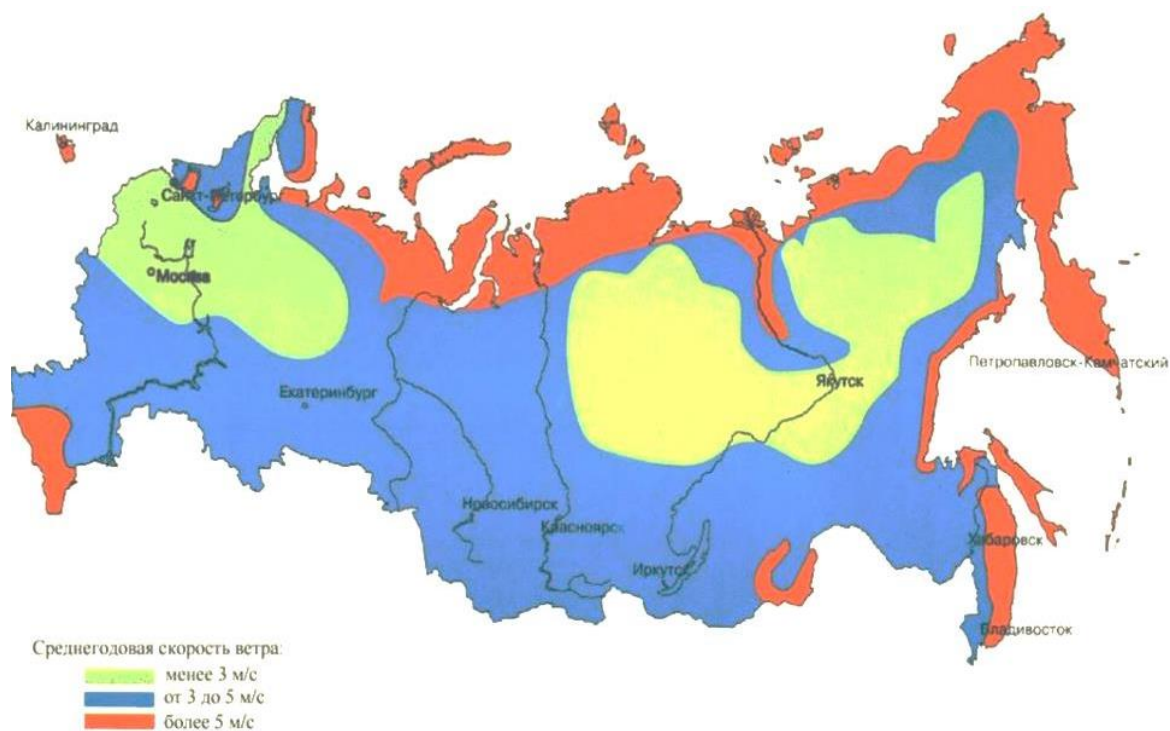


Рисунок 4- Ветровой потенциал России

Что позволит внедрить ВИЭ с минимальными издержками за короткий срок.

1.5 Характеристика объекта проведения исследования

Объектом для проведения исследования выбран посёлок Сангар. Поселение расположено в Кобяйском улусе республики Саха (Якутия) на правом берегу реки Лена. Расстояние до ближайшего населённого пункта (Якутск) 303 км., до остальных городов (Норильск, Благовещенск, Магадан) более 2000 км. Расположение поселка показано на рисунке 5.

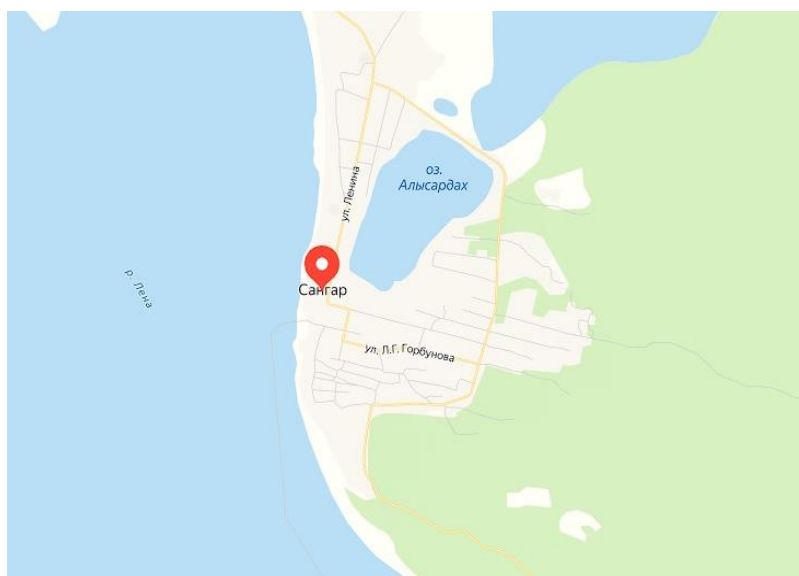


Рисунок 5- Расположение посёлка Сангар на карте России

Посёлок возник в 1928 году как поселение шахтёров. Неподалёку от посёлка происходила выработка каменного угля. В 1997 году шахта была закрыта и затоплена. В настоящее время, в посёлке проживает 3270 человека.

Климат посёлка – резко континентальный с большой амплитудой перепада температур. Зимы суровые и снежные. Осадки достаточно редки, поэтому небосклон на протяжении большей части зимы ясный. Снеговой покров составляет не более 200мм. Температура зимой может достигать до минус 38-39 градусов Цельсия. Лето короткое, но жаркое. Температура летнего периода плюс 23-25°C, иногда поднимается до плюс 30 -32°C

Весна длится с середины апреля по 10 числа мая. Температурный режим в данный промежуток времени колеблется от 0°C до плюс 10°C. Ветер резкий, порывистый, до 12-20 м\с.

Осенний период также короток. Начало осени в августе, характеризуется снижением температуры, до плюс 12°C. Первые заморозки начинаются в начале октября.

Инфраструктура включает в себя общеобразовательную школу, дом культуры, детский сад, поликлинику и административное здание. Также имеется речной порт на 5 причалов. В настоящее время, пригоден к использованию только один причал. Крупных и средних заготовительных, сельскохозяйственных и перерабатывающих производств в настоящий момент в посёлке нет. Население посёлка 3530 человек. Жилой фонд, по данным администрации посёлка, составляет 297 жилых домов. 9 из которых имеют этажность 3-5 этажей, остальные дома – это малоэтажные постройки (1-2 этажа).

Энергоснабжение посёлка осуществляется Сангарской ДЭС. Данный объект был построен в 1973 году. На момент ввода в эксплуатацию станция имела 12 дизель-генераторов различной модификации (средний расход топлива 1920 л/ч) суммарной мощностью 6 МВт. С учётом естественного износа оборудования в режиме непрерывной работы дизель-генераторные установки нуждаются в капитальном ремонте. По состоянию на 2023 год, 5 установок выведено из эксплуатации, остальные установки находятся в предаварийном состоянии.

С учетом сказанного выше, разработка проекта модернизации системы энергоснабжения и внедрение ВИЭ является актуальной задачей по ряду причин:

- большая удалённость посёлка от ближайшей системы централизованного электроснабжения (Якутская ГРЭС).

Подключение и подвод электроснабжения с помощью кабельных

или воздушных линий сопряжён с существенными техническими и организационными трудностями, а также экономически нецелесообразен;

- на месте расположения посёлка допустимо применение таких природных ресурсов, как ветер, солнечная энергия, речная вода, для производства электроэнергии на месте;
- результаты разработки системы электроснабжения посёлка Сангар могут быть тиражированы для разработки аналогичных систем электроснабжения в других населённых пунктах, оставшихся без централизованного электроснабжения.

1.6 Характеристика энергопотребления объекта

Основными потребителями электроэнергии в посёлке Сангар являются жилые дома. Небольшую долю энергопотребления имеют поликлиника, школа и здание администрации. Кроме того в посёлке имеется уличное освещение, объекты связи и вспомогательная инженерная инфраструктура потребляющее значительное количество электроэнергии.

По генплану (приложение А) определим категории электроприёмников по надёжности электроснабжения и их установленные мощности.

Таблица 1- Категории надёжности электроприёмников и их установленные мощности в дневное и вечернее время

Наименование	Категория надёжности	Количество объектов	Установленная мощность электроприёмников $P_{уст}$, кВт	
			Средняя дневная нагрузка	Средняя вечерняя нагрузка
Жилой многоквартирный дом (1-2 этажа)	III	288	13,6	28,3
Жилой многоквартирный дом (4-5 этажа)	III	9	75	140

Продолжение таблицы 1

Наименование	Категория надёжности	Количество объектов	Установленная мощность электроприёмников $P_{уст}$, кВт	
			Средняя дневная нагрузка	Средняя вечерняя нагрузка
Медицинские учреждения	I	3	23,5	16,7
Учреждения образования	II	3	18,3	5,27
Администрация	II	1	14,5	5,5
Итого:			69,9	195,7

Характерные суточные графики активной мощности для зимнего и летнего режима работы показаны на рисунках 6-7 [11].

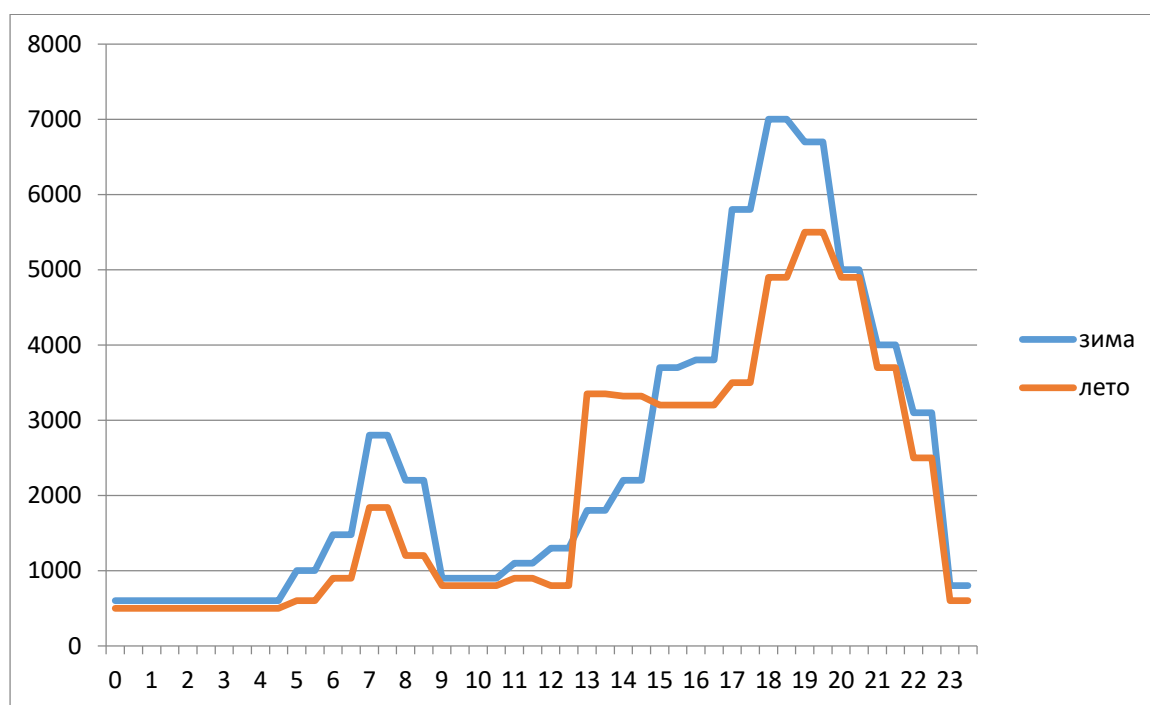


Рисунок 6- Характерный суточный график мощности МКД и ЛПХ (Вт)

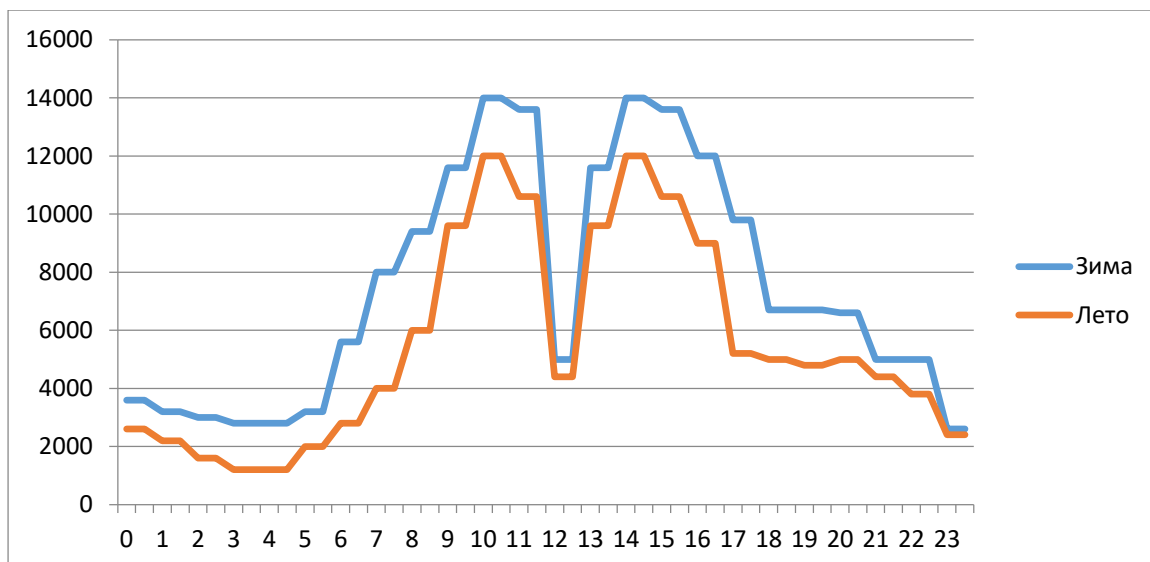


Рисунок 7- Характерный график мощности (Вт) для административных и образовательных учреждений

Для продолжения работы выберем два периода энергопотребления. Первый, зимний период (с сентября по май), самый протяжённый, а второй, летний (с июля по август), более короткий. Среднее ежемесячное потребление энергии в зимний период составляет 1673,8 мегаватт-часа. Особенностью данного периода является высокий расход электроэнергии в ночные часы. Данная особенность объясняется расходами на обогрев жилья. Среднемесячное потребление летом 1124,2 МВт×ч/мес.

1.7 Анализ метеорологической обстановки объекта исследования

Для проектирования системы электроснабжения в части выбора оборудования и режимов его работы необходимо провести метеорологический анализ на заданной местности.

С помощью открытой базы данных NASA POWER Data Access [27], определим скорость ветра, осадки, инсоляцию на горизонтальной поверхности. Общий вид рабочей области программы представлен на рисунке 8.

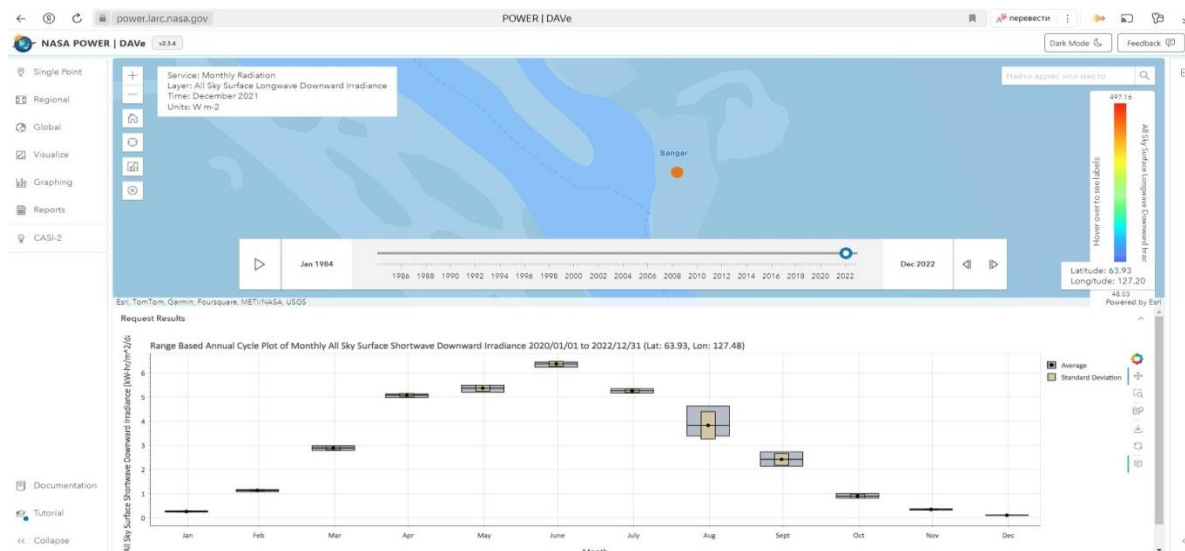


Рисунок 8- Рабочая область программы NASA POWER

С помощью данного программного обеспечения получены комплексные данные за период 2020-2022гг., объединённые по месяцам (рисунок 9)

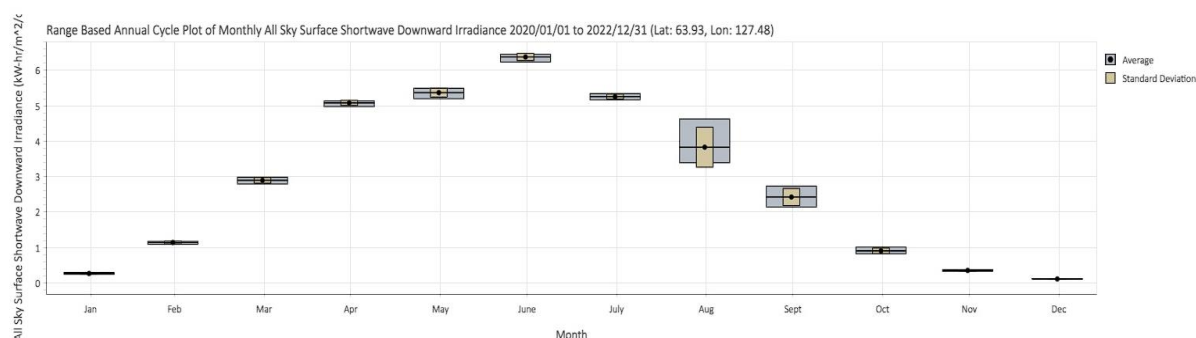


Рисунок 9- Данные инсоляции за 2020-2022 гг.

Анализируя график, можно заметить, что максимальное количество солнечной инсоляции наблюдается с середины марта и сохраняется на высоком уровне весь летний сезон до начала сентября. Наименьшие значения инсоляции приходятся на период с октября по середину февраля.

Также построен график помесячного прихода солнечной инсоляции на горизонтальную поверхность в районе посёлка Сангар за последние 3 года.

С учётом данных за три года, можно утверждать, что объём инсоляции в годовом цикле остаётся неизменным. (Рисунок 10).

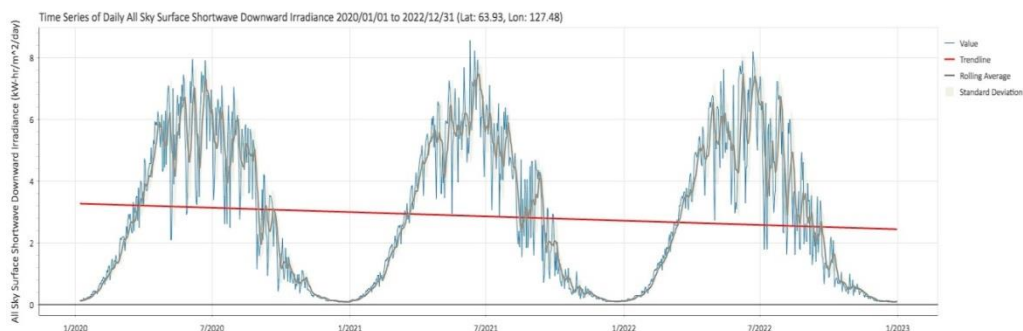


Рисунок 10- Годовой цикл инсоляции с 2020 по 2022 гг.

На основании анализа 3 годовых циклов инсоляции можно сделать вывод о наибольшей солнечной инсоляции в летний период. Период абсолютного максимума наблюдается в июле ежегодно. Для наглядности построен график помесечного распределения инсоляции с 2020 по 2023 годы. (Рисунок 11)

Также стоит отметить, что эффективная работа солнечной батареи начинается при наличии суммарного годового прихода солнечной радиации на уровне 1000 кВт×ч [4]. Суммарные годовые приходы солнечной радиации с 2015 по 2022 приведены в таблице 2.

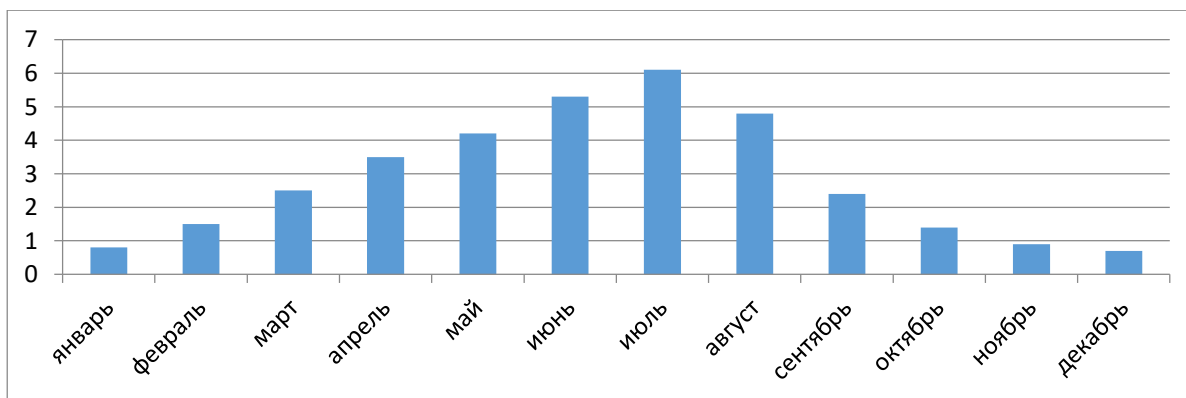


Рисунок 11- суммарная солнечная радиация в 2022 году (кВт×ч/м2 в сутки)

Таблица 2- Суммарный годовой приход солнечной радиации в 2015-2023 гг.

Год	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Сумма кВт×ч/м ²	1106,3	999,3	1054	1037	1060	1072	1058	1110	1080

В результате, среднее суммарное значение солнечной радиации составляет 1064 кВт×ч/м². Данное значение удовлетворяет условие целесообразности установки и эффективного использования солнечных батарей на данной территории. Однако помесечная неоднородность прихода солнечной радиации может стать дестабилизирующим фактором, влияющим на равномерную работу модуля солнечной батареи.

Исходя из всех данных, полученных при анализе солнечной инсоляции посёлка Сангар, можно сделать вывод о целесообразности использования солнечной энергии на данном объекте.

Анализ ветрового потенциала посёлка Сангар также определим с помощью открытой базы данных NASA POWER Data Access. На рисунке 12 представлена статистика наблюдений за скоростью ветрового потока в посёлке. Выборка данных сделана за три года с 2020 по 2023 год включительно. Измерение ветра производилось на высоте 10 метров.

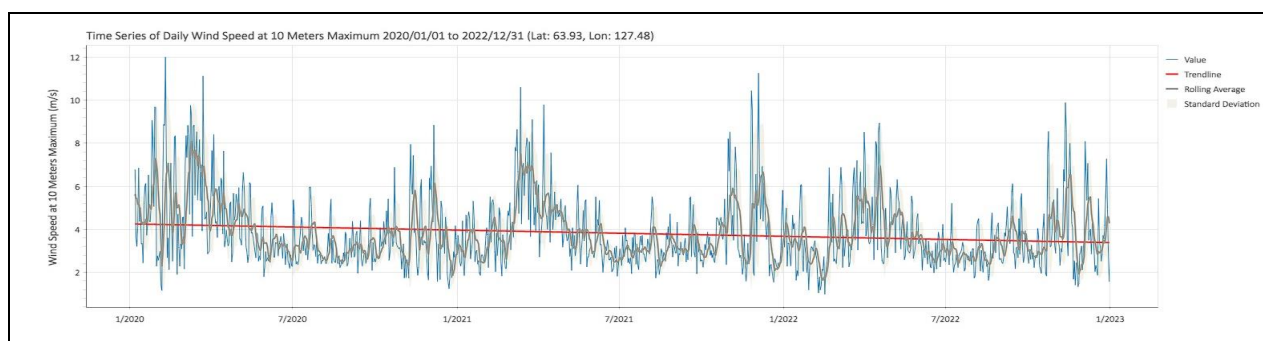


Рисунок 12- Скорость ветра в посёлке Сангар с 2020 по 2022 гг.

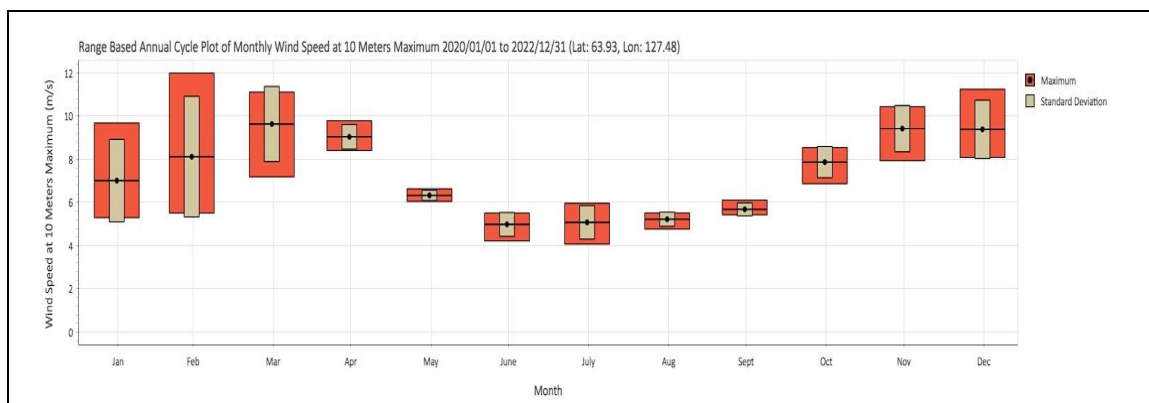


Рисунок 13- Суммарная среднегодовая скорость ветра в посёлке Сангар с 2020 по 2022 гг.

Анализ данных позволяет заключить, что основные ветровые явления в течение года устойчиво наблюдаются зимой и весной, с января по май, а также осенью и зимой, с октября по декабрь. Наибольшая интенсивность ветра отмечается именно в этих временных промежутках. В летний период происходит спад ветровой активности ежегодно. Для формирования более полной картины необходимо оценить среднесуточные перепады ветровой активности в данном регионе. Поскольку данные одного годового цикла повторяются ежегодно, а изменения носят незначительный характер, достаточно полученных данных за один календарный год. (Рисунок 14)

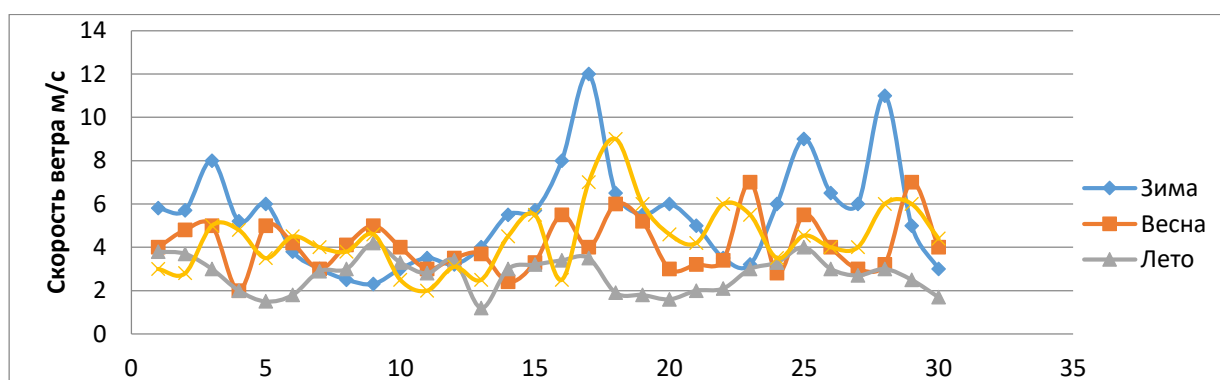


Рисунок 14- Изменение среднесуточной скорости ветра в 2022 году с учётом сезонности

На графике можно наблюдать точку минимума скорости в летний период 1,2 м/с, и точку максимума зимой -12м/с. Дневное распределение ветра показано на диаграмме. (Рисунок 15)

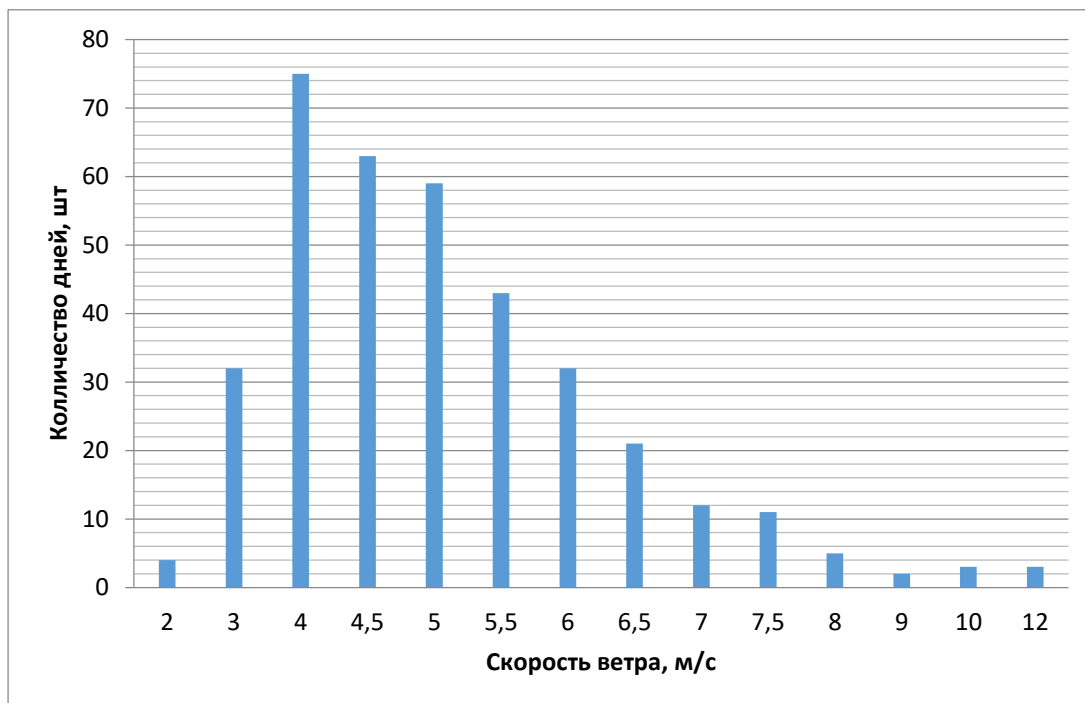


Рисунок 15- Распределение скорости ветра по дням

Анализ диаграммы позволяет утверждать, что наиболее высокий дневной объём имеют скорости ветра от 4 до 5,5 м/с, о чем свидетельствуют пики диаграммы в данной числовой области. При сравнительном анализе данных ветровой и солнечной энергии выявлено преимущество именно ветрового потенциала. В результате можно констатировать хороший ветровой потенциал посёлка Сангар. Среднегодовые значения скорости ветра за последние три года находятся на уровне 4,86 м/с. Также стоит обратить внимание на продолжительность высоких ветровых скоростей в рамках годового цикла. Достаточные для работы ветрогенератора значения скорости ветрового потока от 4 до 6 м/с наблюдаются на протяжении 270 дней. Данное значение свидетельствует о достаточном ветровом потенциале для

целесообразности внедрения ветрогенераторов в составе энергетического комплекса. Поскольку данное значение среднегодовой скорости выше минимально необходимого значения 2 м/с и имеет высокую продолжительность в рамках годового цикла, данный район прекрасно подходит для установки большинства ветрогенераторов.

Анализ климатических характеристик объекта исследования проведём также с помощью открытой базы данных NASA POWER Data Access. Данное исследование необходимо чтобы на этапе выбора оборудования региональные климатические особенности не повлияли на работоспособность оборудования и не повлекли его преждевременного выхода из строя. Также как и при исследовании ветрового и солнечного потенциала, произведена выборка статистических наблюдений за 2020- 2023 годы. Измерение температуры проводилось на расстоянии двух метров от земли. График температур показан на рисунке 16.

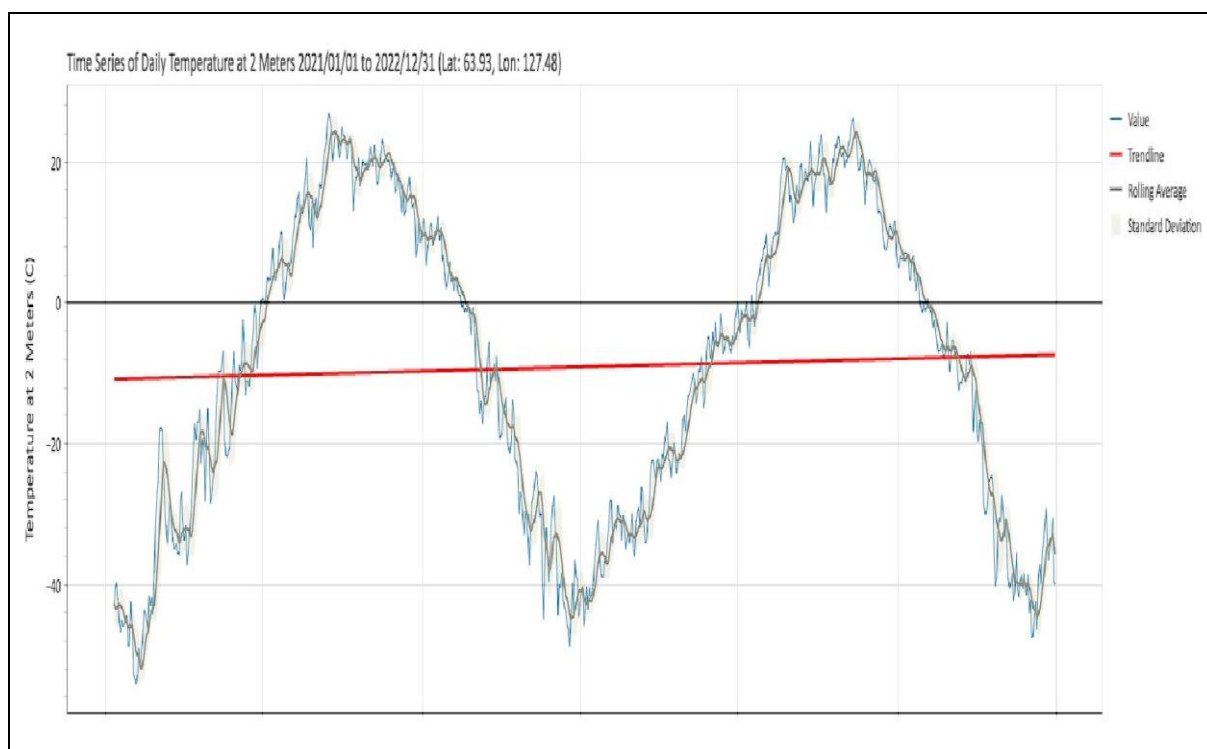


Рисунок 16- Температура окружающей среды в годовом цикле

Анализ полученной из графика информации позволяет сказать, что температура окружающей среды в посёлке большую часть годового цикла держится на отрицательной отметке. Однако среднегодовая температура ежегодно повышается на 1-1,5 °С. Для более наглядного представления, произведём построение диаграммы среднедневной температуры окружающей среды за 2022 год. Полученная диаграмма представлена на рисунке 17.

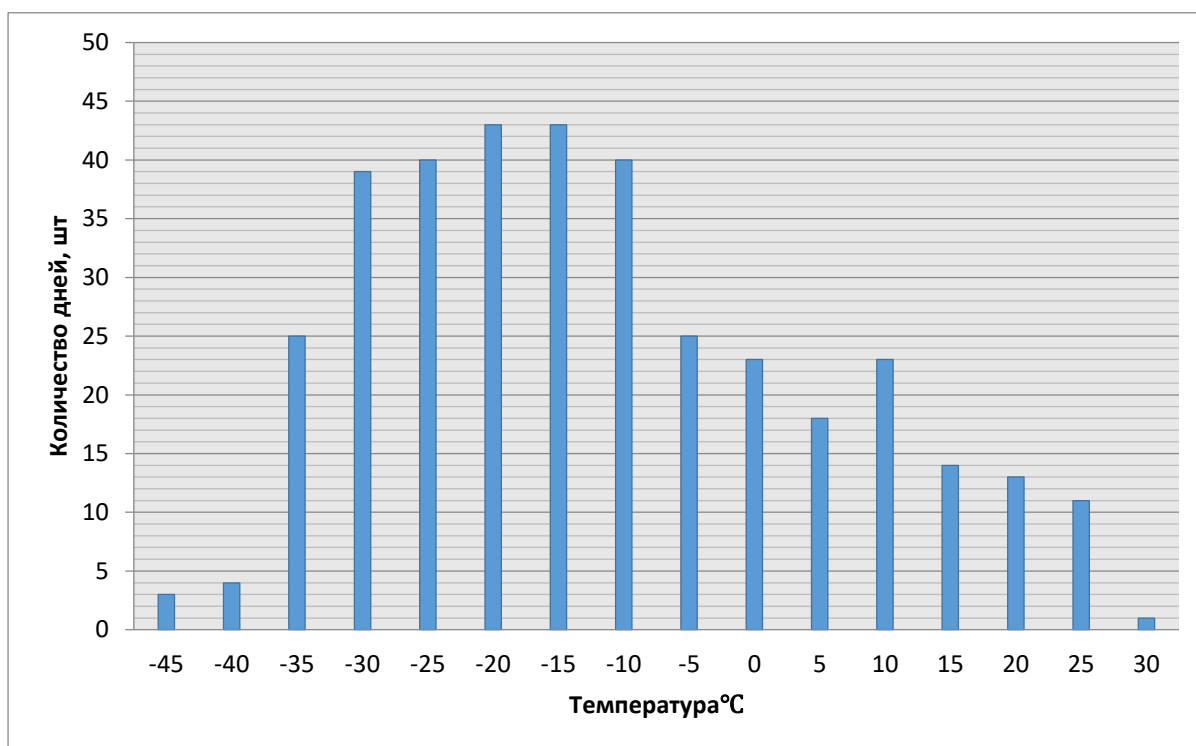


Рисунок 17- Среднегодовое распределение температуры окружающей среды по дням

Как видно из рисунка, наиболее распространённый интервал температур лежит в пределах от минус 10 до минус 30 °С. В данном температурном режиме, населённый пункт находится 300 дней в году.

Для анализа количества осадков выпадающих на данной территории также произведём выборку статистической информации наблюдений и построим соответствующий график. (Рисунок 18)

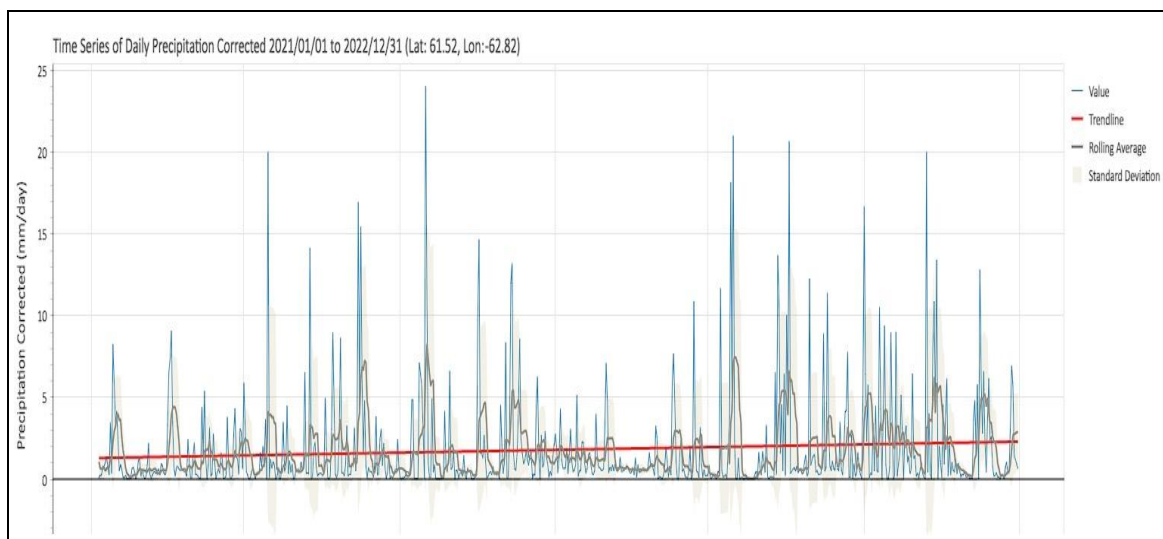


Рисунок 18- Количество выпавших осадков в посёлке Сангар за 2021-2022гг.

Также для наглядности построим среднедневную диаграмму распределения осадков по дням [12]. (Рисунок 19)

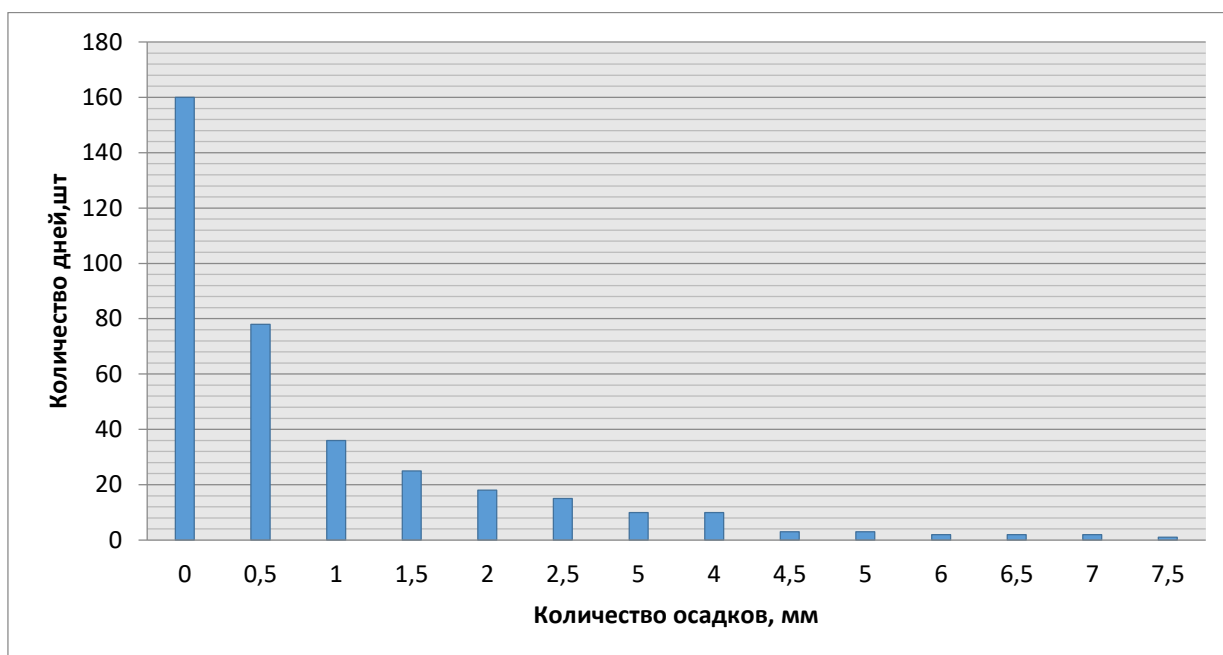


Рисунок 19-Распределение осадков по дням в 2021 году

Как видно из диаграммы, объем осадков в посёлке Сангар небольшой и лежит в диапазоне от 0 до 1,5 мм.

Проведя полный анализ полученной информации, можно сказать, что климат посёлка достаточно суровый. Основные характеристики ветрового и солнечного потенциала находятся в достаточных, для внедрения ВИЭ диапазонах. Объем осадков незначительный и представлен в первую очередь снеговым покровом. Это также является благоприятным фактором для внедрения ВИЭ. Однако возможны и негативно влияющие погодные явления, такие как метель, изморозь, затяжные дожди. Большую часть года в посёлке держится отрицательная температура. Весенне-летний период характерен резкими скачками дневных и контрастными понижениями ночных температур. Что вполне может повлечь за собой образование инея и обледенение лопастей ВЭС. Данные ледяные образования могут оказать существенное влияние на работу ветроустановки.

В совокупности все выше проанализированные погодные условия, могут повлиять на работу энергооборудования и должны быть учтены при дальнейшей разработке, внедрении и эксплуатации данного комплекса.

Выводы по первой главе

На основании изложенного в первой главе можно сделать следующие выводы:

- проблемы энергоснабжения отдалённых территорий можно классифицировать на три основные группы: технические, территориально-социальные и экономические. Основными и наиболее серьёзными являются: изношенность оборудования, низкая унификация узлов и агрегатов используемых на ДЭС, а также низкий уровень энергоэффективности генерации электроэнергии. Ряд экономических проблем тесно связан с высокой стоимостью получаемой энергии ввиду сложной логистики и неэффективного использования доставляемых энергоресурсов. Однако данная проблематика характерна для многих отдалённых децентрализованных потребителей;

- мультифакторная оценка метеорологических факторов позволяет сделать вывод о возможности эффективного внедрения ВИЭ на территории посёлка Сангар. Поскольку населенные пункты республики Саха (Якутия) имеют достаточный ветровой и солнечный потенциал для внедрения альтернативных источников энергии. Однако сложные погодные условия и климат вносят существенные сложности при эксплуатации данных комплексов;
- использование больших баз данных на примере NASA POWER Data Access, позволяет детально проработать метеоусловия для установки ВИЭ без применения прочих дорогостоящих инструментов. Данные полученные с помощью спутниковой группировки NASA обладают достаточной точностью для определения важных факторов, влияющих на работу энергооборудования, позволяют их использовать в дальнейшем прогнозировании режимов работы оборудования и как следствие, предотвратить ошибки на раннем этапе проектирования.

Глава 2 Техническое решение поставленной задачи

2.1 Принцип работы гибридной солнечно-ветро-дизельной электростанции

Основной задачей любой электростанции является круглогодичное, бесперебойное, достаточное обеспечение потребителей качественной электроэнергией. Действующая дизель-электростанция посёлка в полной мере не отвечает данным требованиям. Именно поэтому предлагается провести её глубокую модернизацию с включением в энергобаланс системы возобновляемых источников энергии.

После анализа инсоляционных и ветровых характеристик в предыдущей главе можно проследить неравномерность месячных показателей инсоляции и ветра. Соответственно, генерация с использованием данных ресурсов будет в прямой зависимости от метеорологической обстановки и также в отдельности не сможет полностью удовлетворить потребность посёлка в электроэнергии.

Для решения обозначенных выше проблем предлагается использование комбинированной схемы включения генераторов всех трёх типов. Реализация данной схемы потребует наличия на группе ДГУ системы автоматического пуска и остановки для регулирования вырабатываемой энергии и нивелирования снижения выработки от других источников. Вторым важным шагом станет установка накопителя в виде аккумуляторной батареи большой ёмкости и системы мониторинга и контроля вырабатываемой энергии в виде узла управляющего контроллера [18].

Комбинируя энергосистему таким образом, мы сможем добиться бесперебойной генерации электроэнергии с перекрёстным резервированием каждого из источников. Что непременно скажется на качестве и надёжности энергоснабжения посёлка и энергосистемы в целом.

Также стоит отметить увеличение ресурса самих агрегатов [29]. Поскольку при данной схеме работы группа дизель-генераторов работает не с полной загрузкой и увеличенным перерывом.

Общая функциональная схема солнечно-ветро-дизельной электростанции, отражающая задействованные элементы и структуру функционирования представлена на рисунке 20.

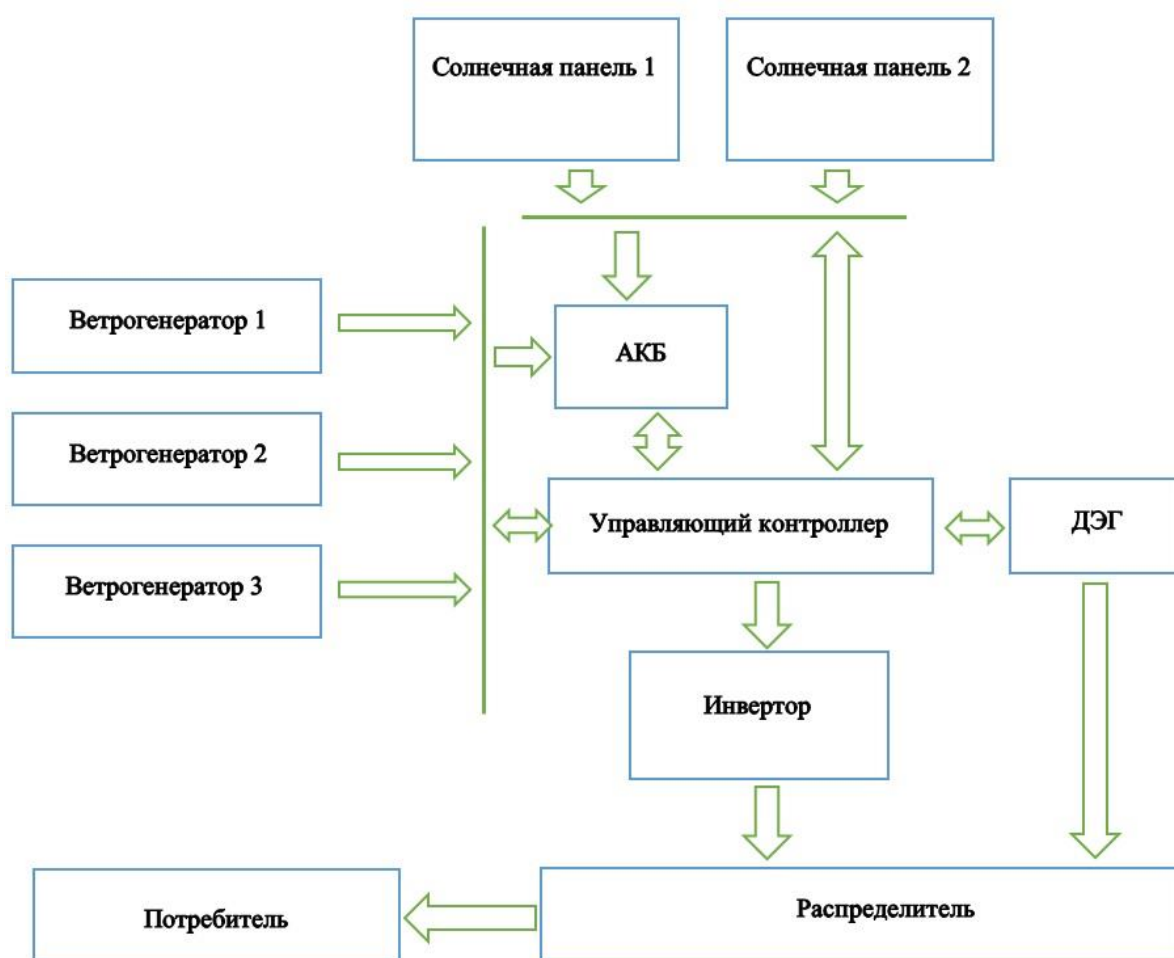
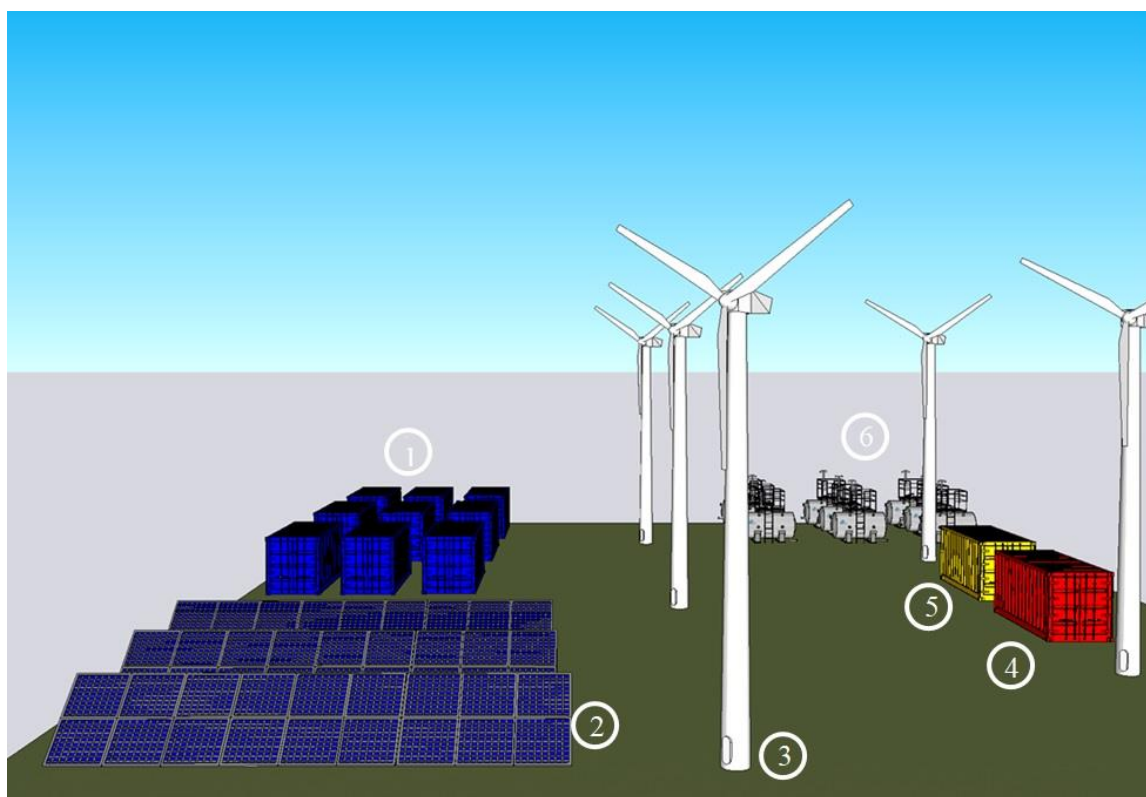


Рисунок 20- Функциональная схема солнечно-ветро-дизельной электростанции

Разберём схему подробнее. При разборе примем за основу благоприятные погодные условия: скорость ветра- 4,5 м/с, погода ясная, солнечная.

Визуально, возможное компоновочное решение представлено на рисунке 21.



где 1-группа дизель-генераторов, 2-группа СЭС, 3-группа ВЭС, 4-модуль-аккумулятор, 5-модуль контроллер-инвертор-распределитель, 6-резервуары ГСМ

Рисунок 21- Визуальное представление объекта генерации

Поскольку уже существующая поселковая электростанция выработала полностью свой ресурс, за основу всей системы принимаются новые установки. Группа дизель-генераторов связана с управляющим контроллером, от которого получает управляющие команды. Выдача в сеть сгенерированной энергии происходит через распределитель. Группа ВЭС работает по следующей цепи: ветрогенератор-управляющий контроллер - инвертор - распределитель - сеть. От ветрогенератора по команде управляющего контроллера сгенерированная энергия попадает на инвертор.

После двойного преобразования, энергия попадает на распределитель и далее к потребителю.

В случае отсутствия высокой потребительской нагрузки, управляющим контроллером энергия передаётся на аккумуляторные батареи, для их зарядки [7].

Группа солнечных батарей работает в системе по схожему алгоритму. Отличие составляет лишь однократное инвертирование постоянного тока в переменный.

Модуль аккумуляторных батарей получает и накапливает выработанную за день электроэнергию и выдаёт в потребительскую сеть в ночное время, либо в часы пиковых нагрузок, предотвращая перегрузку системы и резервирования мощностей в случае нештатных ситуаций.

2.2 Выбор оборудования

Выбор используемого оборудования является важным этапом реализации проекта. Следует учесть такие факторы как место расположения, режим работы оборудования, его нагруженность, а также оценить общий КПД системы в целом [30].

С учётом места расположения объекта к нему предъявляются повышенные требования в части работоспособности при различном градиенте температур окружающей среды, включая крайне высокие и крайне низкие значения. Использование оборудования, не отвечающего данным требованиям, делает систему неэффективной и не надёжной.

Общая оценка энергоэффективности автономной гибридной системы электроснабжения с использованием ВИЭ складывается из нескольких показателей системы. Одним из основных показателей при оценке объекта, является суммарный коэффициент полезного действия системы. Суммарный коэффициент получают путём расчёта КПД для каждого источника ВЭУ,

ФЭП и ДГУ с учётом конструктива, их режимов работы, а также потерь при преобразовании и передачи энергии в сеть.

Выбор ветроэлектрической установки.

Ветроэлектрическая установка (ВЭУ) улавливает и преобразует энергию ветрового потока в механическую. Далее механическая энергия поступает на ротор генератора, где преобразуется в электрическую энергию [15].

Основными характеристиками для выбора ВЭУ служат:

- диаметр и количество лопастей винта ротора,
- высота подъёма гондолы,
- схема расположения,
- режим работы,
- стартовая и номинальная скорость ветра,
- тип и мощность генератора.

В первой главе, по данным анализа метеорологической обстановки на местности, установлено минимальное среднесуточное значение скорости ветрового потока равное 4 м/с. Таким образом, данное значение следует принять как базовое для подбора ВЭУ.

С учётом всех требований, оптимальным вариантом является ветрогенератор «Condor Air Maxx». Преимуществами данной установки являются: низкая скорость начала работы- 2,5 м/с, высокая выходная мощность, при номинальной скорости ветра 8м/с, возможность работы при повышенных и пониженных температурах окружающей среды [26].

График зависимости вырабатываемой мощности от скорости ветра представлен на рисунке 22. Основные технические характеристики представлены в таблице 3 [1].

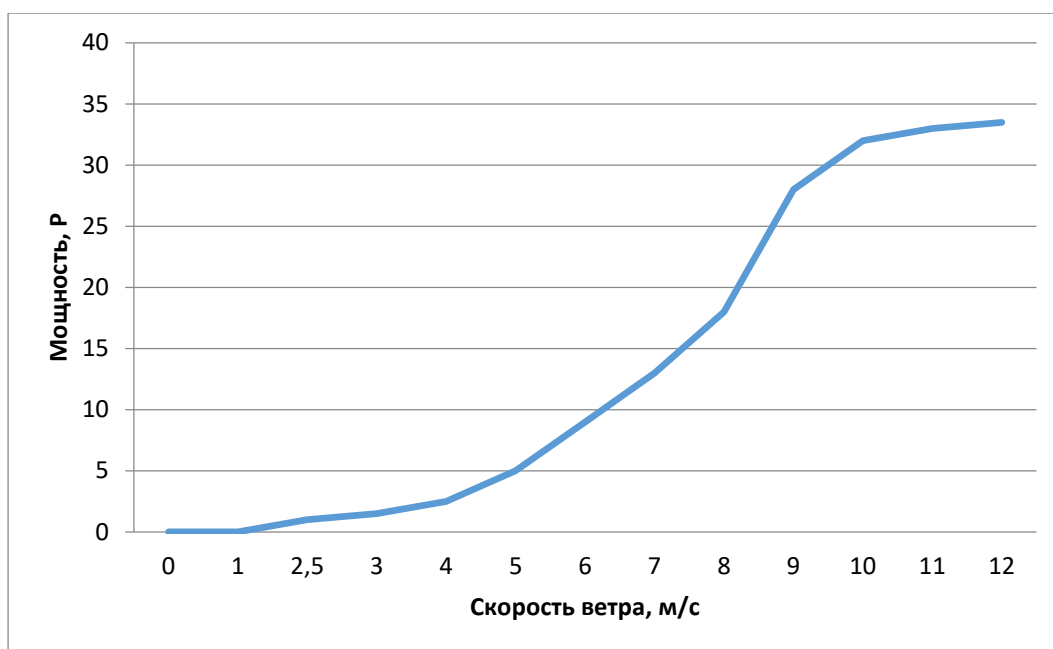


Рисунок 22 – График зависимости мощности от скорости ветра ветрогенератора «Condor Air Maxx» [1]

Таблица 3 – Технические характеристики ветрогенератора «Condor Air Maxx» [1]

Основные характеристики	
Номинальная мощность	30 кВА
Расположение ротора	горизонтальное
Регулировка мощности	электромеханическая автоматическая трансмиссия
Рабочий режим	одиночный, параллельно групповой
Высота подъёма гондолы	18 м
Срок службы	25 лет
Винт	
Диаметр винта	13 м
Количество лопастей винта	3
Размещение	против ветра
Ориентация	автоматическая
Скорость вращения ротора	40 об/мин
Генератор	
Тип	асинхронный трёхфазный
Номинальное напряжение	380 В $\pm$ 10%
Частота	50 Гц $\pm$ 5%
Мачта	
Вид, материал	решётка, сталь
Высота	18 м
Тормозная система	

Продолжение таблицы 3

Основные характеристики	
Привод	электромеханический
Защита от бури	автоматическая
Механический тормоз	нет
Стоимость, руб.	3,5 млн.
Комплект поставки	мачта, контроллер, гондола в сборе, винт сборный, комплект документации

В первой главе, были получены метеорологические данные о скорости ветра в заданном районе. Высота подъема датчиков метеостанции составляет 10 метров. Но поскольку мачта данного ветрогенератора находится выше, необходимо произвести расчёт скорости ветра на заданной высоте [23].

Определим скорость ветра по формуле (1):

$$V_h = V_\varphi \left(\frac{h}{h_\varphi}\right)^\alpha \quad (1)$$

где V_h - скорость ветра на заданной высоте;

V_φ - скорость ветра на высоте флюгера;

h_φ - высота флюгера;

α - коэффициент, зависящий от средней скорости ветра на высоте флюгера, (таблица 4).

Таблица 4- Зависимость коэффициента α от скорости ветра на высоте флюгера

$V_\varphi, \text{м/с}$	0..3	3,5..4	4,5..5	5,5	6..11,5	12..12,5	13..14
α -	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,35	0,13

Среднее годовое значение скорости ветра можно определить как среднеарифметическое значение измеренных величин, в равном временном промежутке за определённый период времени (месяц, год) [13] по формуле (2).

Таким образом, получаем, что средняя годовая скорость ветра равна:

$$V_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_t = \quad (2)$$

$$\frac{7,01 + 8 + 9,2 + 8,6 + 6,4 + 5 + 5,3 + 5,4 + 5,7 + 8 + 8,9 + 8,6}{12} = 7,1 \text{ м/с}$$

Тогда скорость ветра на высоте 18 м:

$$V_{18} = 7,1 \left(\frac{18}{10} \right)^{0,14} = 7,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

С помощью графика зависимости вырабатываемой мощности от скорости ветрового потока и среднегодовыми ветровыми значениями, указанными в п.1.7, произведём расчёт возможной выработки электроэнергии для одного ветрогенератора. Полученные значения указаны в таблице 5 и таблице 6.

Таблица 5- Среднегодовые значения V_{cp} на высоте гондолы

Месяц	V_{cp} , м/с				
	2020	2021	2022	2023	Значение на высоте 18 м
Январь	9,8	8	7,4	7,01	8,7
Февраль	12	11	9	8	10,9
Март	9,9	9,7	10,5	9,2	10,7
Апрель	8,8	8,7	9	8,6	9,5
Май	6,3	6,1	6,5	6,4	6,9
Июнь	5,5	5,1	5,3	5	5,7

Продолжение таблицы 5

Месяц	$V_{\text{ср}}, \text{ м/с}$				Значение на высоте 18 м
	2020	2021	2022	2023	
Июль	5	4,9	5,1	5,3	5,5
Август	4,9	4,1	5,6	5,4	5,4
Сентябрь	5,2	5,3	5,5	5,7	5,9
Октябрь	9	8,8	9,3	8	9,5
Ноябрь	9,2	9	9,5	8,9	9,9
Декабрь	9,1	8,7	9,2	8,6	9,7

Таблица 6- Объём вырабатываемой электроэнергии одним ВЭУ Condor

Месяц	$V_{\text{ср}}, \text{ м/с}$	$P_{\text{выработки}}, \text{ кВт}$	$W_1 \text{ ветоген. кВт} \times \text{ч}$
Январь	8,7	27	20088
Февраль	10,9	32	21504
Март	10,7	32	23808
Апрель	9,5	32	23040
Май	6,9	12	8928
Июнь	5,7	7,5	5400
Июль	5,5	7	5208
Август	5,4	6	4464
Сентябрь	5,9	8	5760
Октябрь	9,5	32	23808
Ноябрь	9,9	32	23040
Декабрь	9,7	32	23808

Для упрощения визуального анализа, построим диаграмму, согласно полученных месячных показаний выработки мощности. (Рисунок 23)

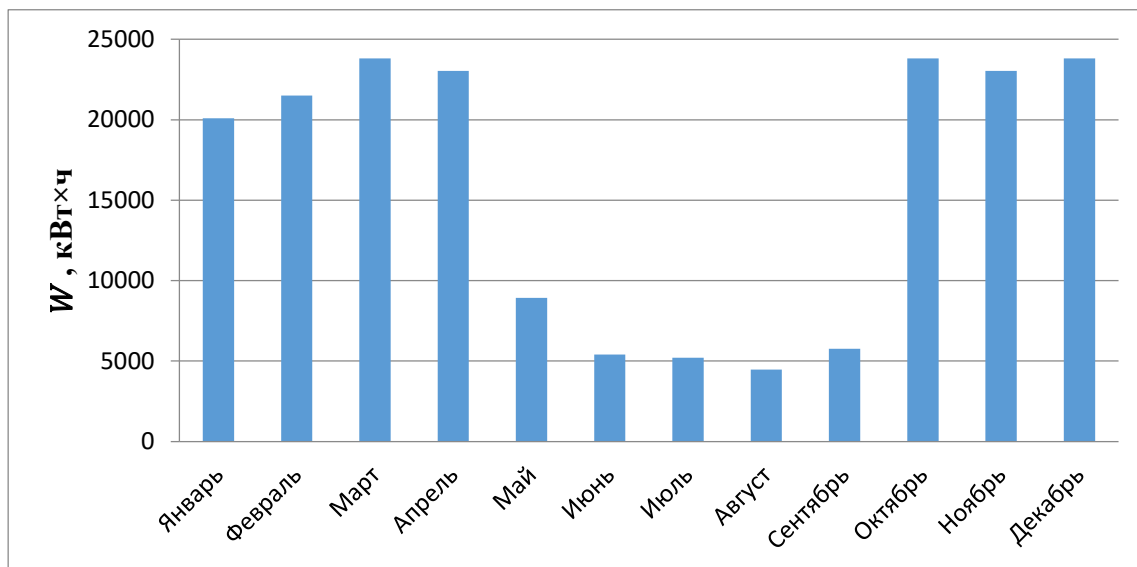


Рисунок 23- График месячного объёма вырабатываемой электроэнергии из расчёта на один ветрогенератор Condor

Выбор модулей фотоэлектрического преобразователя.

Выбор фотоэлектрического преобразователя солнечной энергии также произведём на основе полученных метеорологических данных. В п.1.7. были получены и проанализированы данные об уровне солнечной радиации данного посёлка. Усреднённое значение за 9 лет составило $1064,6 \text{ кВт} \times \text{ч} / \text{м}^2$, что является достаточным значением для работы фотоэлектрического модуля [22].

Сбор и анализ информации о доступных к покупке современных высокопроизводительных солнечных панелях, позволил выбрать модули на основе монокристаллов класса А HH-MONO-200W [17]. За счёт использования монокристаллов батарея обладает высоким КПД преобразования, надёжна и долговечна, а также может работать в широком температурном диапазоне. Основные технические характеристики выбранного устройства приведены в таблице 7.

Таблица 7- Основные характеристики солнечной панели HH-MONO 200W [17]

Максимальная мощность, Вт	200
Рабочее напряжение, В	36,7
Рабочий ток, А	5,45
Напряжение холостого хода, В	44,8
Диапазон рабочих температур, °С	от минус 40 до плюс 85
Габариты, мм	1580×808×40
Вес, кг	15,5
Срок службы, лет	25
Стоимость, руб.	16.000

По полученным техническим и метеорологическим данным, произведём расчёт вырабатываемой мощности $W_{\text{мес.}}$, для зимнего и летнего периода использования фотоэлектрических преобразователей по формуле (3).

При расчёте примем характерные средние значения окружающей среды. Для летнего периода плюс 20 °С, коэффициент производительности 0,5, для зимнего периода минус 40 °С коэффициент производительности 0,7. Значения инсоляции для каждого месяца в 2023 году представлены в таблице 8.

Таблица 8 - значения инсоляции по месяцам

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Значение суточной инсоляции кВт×ч/м ²	0,8	1,5	2,5	3,5	4,2	5,3	6,1	4,8	2,4	1,4	0,9	0,7
Значение месячной инсоляции кВт×ч/м ²	24,8	42	77,5	105	130,2	159	189,1	148,8	74,4	43,4	27	21,7

$$W_{\text{мес}} = \frac{P_m \times E \times \eta}{1000} \times S_{\text{пан}} \quad (3)$$

где P_m -мощность модуля фотоэлектрического преобразователя, Вт;

E - значение солнечной инсоляции за месяц ,кВт×ч/м²;

η -коэффициент производительности;

$S_{\text{пан}}$ - площадь преобразователя

1000- максимально возможное значение инсоляции (Вт/м²).

Тогда получаем выработку по месяцам:

$$W_{\text{январь}} = \frac{200 \times 24,8 \times 0,7}{1000} \times 1,2 = 4,1 \text{ кВт} \times \text{ч},$$

$$W_{\text{февраль}} = \frac{200 \times 42 \times 0,7}{1000} \times 1,2 = 7,0 \text{ кВт} \times \text{ч},$$

$$W_{\text{март}} = \frac{200 \times 77,5 \times 0,7}{1000} \times 1,2 = 13,0 \text{ кВт} \times \text{ч},$$

$$W_{\text{апрель}} = \frac{200 \times 105 \times 0,7}{1000} \times 1,2 = 17,6 \text{ кВт} \times \text{ч},$$

$$W_{\text{май}} = \frac{200 \times 130,2 \times 0,5}{1000} \times 1,2 = 15,6 \text{ кВт} \times \text{ч},$$

$$W_{\text{июнь}} = \frac{200 \times 159 \times 0,5}{1000} \times 1,2 = 19,0 \text{ кВт} \times \text{ч},$$

$$W_{\text{июль}} = \frac{200 \times 189,1 \times 0,5}{1000} \times 1,2 = 22,7 \text{ кВт} \times \text{ч},$$

$$W_{\text{август}} = \frac{200 \times 148,8 \times 0,5}{1000} \times 1,2 = 17,9 \text{ кВт} \times \text{ч},$$

$$W_{\text{сентябрь}} = \frac{200 \times 74,4 \times 0,7}{1000} \times 1,2 = 12,4 \text{ кВт} \times \text{ч},$$

$$W_{\text{октябрь}} = \frac{200 \times 43,4 \times 0,7}{1000} \times 1,2 = 7,2 \text{ кВт} \times \text{ч},$$

$$W_{\text{ноябрь}} = \frac{200 \times 27 \times 0,7}{1000} \times 1,2 = 4,5 \text{ кВт} \times \text{ч},$$

$$W_{\text{декабрь}} = \frac{200 \times 21,7 \times 0,7}{1000} \times 1,2 = 3,6 \text{ кВт} \times \text{ч},$$

Для визуализации полученных значений, построим график вырабатываемой мощности по месяцам. (Рисунок 24)

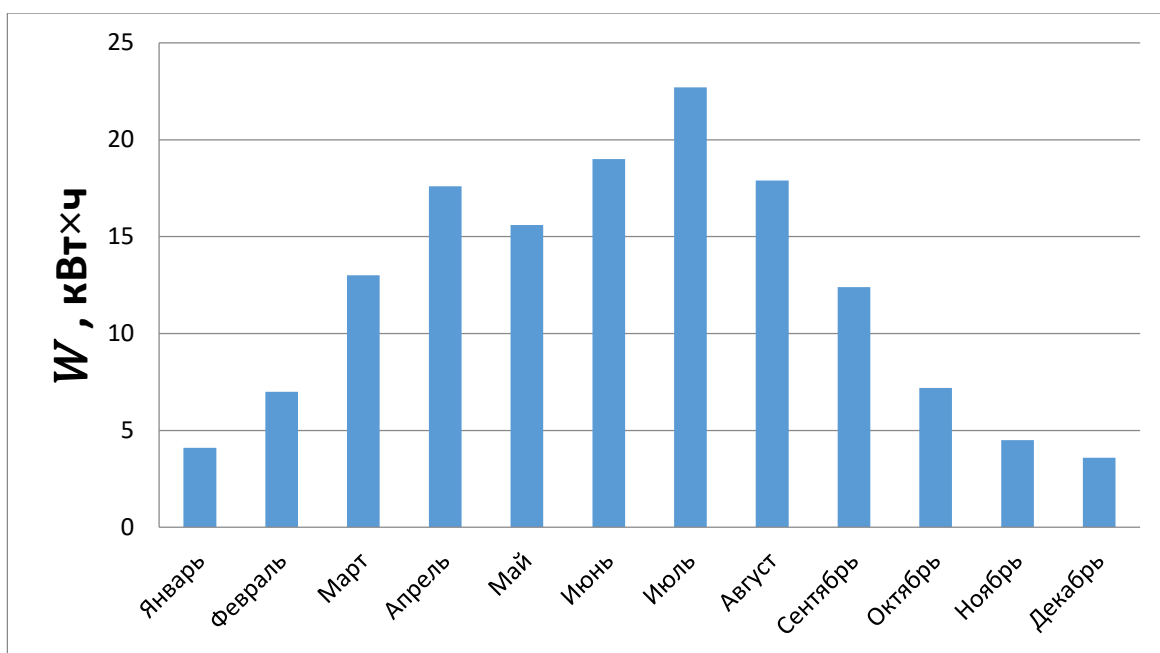


Рисунок 24- График вырабатываемой мощности одним ФЭ, по месяцам. кВт×ч

Выбор инверторного устройства.

Поскольку объем вырабатываемой мощности ФЭУ и ВЭС имеет большие значения, в систему необходимо установить производительный и надёжный инвертор. В данном случае выбираем инвертор фирмы Sandi, модель SDP-750 [5]. Данный инвертор может использоваться, в том числе и на крупных энергообъектах, поскольку его конструкция прошла модернизацию и имеет повышенный коэффициент полезного действия. Основные технические характеристики устройства, приведены в таблице 9.

Таблица 9- Технические характеристики инвертора Sandi SDP 750

Основные технические характеристики	
Номинальная мощность, кВт	750
Входное напряжение, В	380-650
Выходное напряжение, В	230/380
Частота, Гц	50

Продолжение таблицы 9

КПД, %	93
Условия работы	
Диапазон рабочих температур, °С	от минус 35 до плюс 50
Влажность воздуха, %	От 0 до 98
Масса, кг	3985
Защита устройства	защита от перегрева и короткого замыкания, от разряда или перезаряда АКБ, встроенный bypass

Модернизация узла дизельных генераторов.

В настоящее время, узел дизель-генераторов представлен 7 работоспособными единицами ДГУ различных типов, которые находятся на действующей ДЭС. С учетом износа данных агрегатов и как следствие, их периодического простоя в связи с ремонтными работами, предлагается заменить старые дизель-генераторы на новые более производительные и энергоэффективные.

Для выбора дизельных генераторов, следует проанализировать графики зимней и летней потребляемой посёлком мощности. В первой главе (п.п. 1.6.) уже были в отдельности рассмотрены характерные суточные графики потребителей. Суммируя эти данные, а также учитывая суточные данные энергопотребления инженерно-осветительной инфраструктуры посёлка, получим следующий усреднённый суточный график летних и зимних нагрузок в посёлке. (Рисунок 25.)

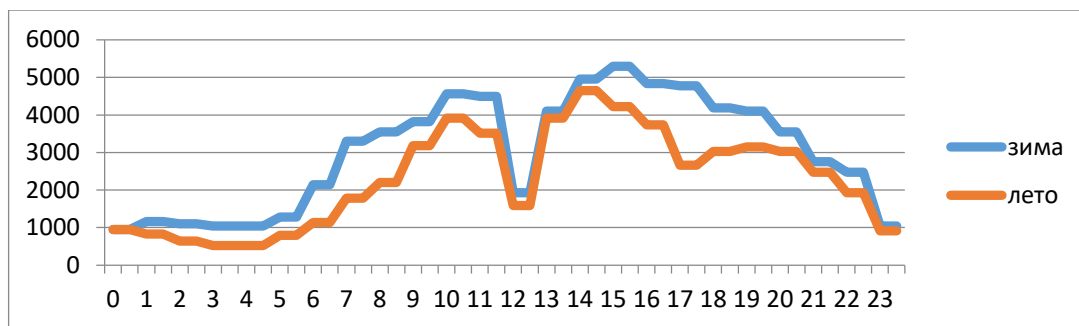


Рисунок 25- Суммарный суточный график потребителей посёлка Сангар (кВт)

Судя по данному графику, суточный зимний максимум приходится на вечер с 15.00 до 20.00 и составляет 5,9 МВт. Летний максимум потребления с 14.00 до 17.00 составляет 4,6 МВт.

Поскольку показатели зимнего и летнего максимума значительно отличаются, для эффективной загрузки дизель-генераторов следует применять групповой метод построения узла с максимальной мощностью каждого агрегата не менее 1 МВт. Для эффективной компенсации и резервирования мощности нам потребуется 5 дизель-генераторов мощностью 1 МВт каждый.

Данные действия позволят повысить надёжность, вариативность и энергоэффективность всей системы в целом. Выбор однотипных устройств позволит сократить номенклатуру приобретаемых запчастей и ускорить ремонт в случае поломки. Также группа дизель-генераторов полностью резервирует группу ВИЭ генераторов в случае неблагоприятных для выработки электроэнергии погодных условий и увеличивает надёжность системы в целом. При нештатной ситуации, 5 МВт вырабатываемой энергии будет покрывать примерно 80-85% потребности посёлка в электроэнергии, и позволят удержать в рабочем состоянии энергосистему посёлка при развитии негативного сценария.

Выбираем дизельный генератор Magnus 1000/400 FA [20]. Основные характеристики выбранного устройства представлены в таблице 10.

Таблица 10- Основные технические характеристики дизель-генератора Magnus

Номинальная мощность	1000 кВт
Максимальная полная мощность	1375 кВА
Коэффициент мощности	0,8 $\cos \varphi$
Напряжение на выходе генератора	230/400 В
Двигатель	V-образный 12-ти цилиндровый дизель, рабочий объём 28,3л, с жидкостным охлаждением, электростартер.
Расход топлива	При 50% загрузке 141 л/ч При 75% загрузке 166 л/ч При 100% загрузке 191 л/ч
Генератор	3-х фазный, синхронный
Частота на выходе	50 Гц
Автоматизация	автозапуск, блок АВР
Страна производитель	Россия
Стоимость, млн. руб.	8,6

Группа дизель-генераторов в обязательном порядке должна включать в себя не только сами дизельные установки, но и резервуары для приёма, хранения, подготовки топлива, а также насосы для своевременной подачи необходимого объема ГСМ в дизельный двигатель генератора [23].

Стоит отметить, что на действующей электростанции уже имеются емкости для хранения ГСМ общим объёмом 6000м³. Однако их техническое состояние является предаварийным и может повлиять не только на работу дизельных агрегатов и надёжность системы в целом, но вызвать разлив топлива. Что в дальнейшем повлечёт техногенную и экологическую катастрофу. Поэтому в проекте электростанции предусмотрена замена старых резервуаров на новые современные емкости, отвечающие всем нормам безопасности и бережного природопользования.

Новые резервуары подобраны из расчёта на 5 дизель-генераторов указанного типа. При 75% линейной нагрузке ориентировочно потребуется 741024 литров (23904 л/сут.) дизельного топлива в месяц. Учитывая, что завоз топлива проводится 2 раза в год, необходимый объём топливных резервуаров должен удовлетворять полугодовую потребность генераторов в

топливе, а также учитывать возможную неравномерность загрузки и перерасход суммарно не более 5%. Таким образом, резервуары должны иметь объём не менее 4.668.452,2 литра. Дополнительное требование, предъявляемое к выбору резервуаров, заключается в низкой трудоёмкости монтажа и возможности доставки в указанный регион доступными видами транспорта по приемлемой цене.

Для решения данной задачи, решено использовать 5 резервуаров компании «ЦСП», объёмом 1000м³, затраты на их приобретение, монтаж и доставку составят 19 млн. руб. Также подбираем топливный насос. Наличие данного устройства позволит бесперебойно снабжать дизель необходимым объёмом ГСМ. Топливный насос может быть установлен как в самом дизель-генераторе, так и на резервуаре. Для установки в систему, были выбраны надёжные топливные насосы высокого давления фирмы Perkins, модель 2643B15 общей стоимостью 1,8 млн. руб. [19].

Подбор аккумуляторных батарей.

Альтернативные источники энергии зависимы от множества внешних факторов. Для непрерывного снабжения потребителей первой группы необходимым объёмом электроэнергии, в проекте предусмотрена установка накопителей сгенерированной с помощью ВИЭ энергии.

Для этой цели были выбраны аккумуляторы, произведённые на Тюменском аккумуляторном заводе модели 5PzS 350 [14]. Технические характеристики устройства представлены в таблице 11.

Таблица 11- Основные технические характеристики аккумулятора 5PzS 350

Номинальное напряжение	24 В
Емкость	350 А×ч
Тип аккумулятора	кислотный
Вес	170 кг
Стоимость	95.000р.

Для эксплуатации данных устройств в нормальном рабочем режиме, из них собирают батарею из расчётного номинального напряжения 450 Вольт. С целью увеличения срока эксплуатации, глубина разряда батареи принята на уровне 70 %. Тогда общая емкость составит:

$$E_c = \frac{W_d}{U_b \times K_d} = \frac{2500}{480 \times 0,70} = 7,440 \text{ кА} \times \text{ч}$$

где W_d - среднесуточный объём вырабатываемой энергии с помощью ВИЭ, кВт;
 U_b - номинальное напряжение аккумуляторной батареи;
 K_d - коэффициент использования.

Далее найдём необходимое количество аккумуляторных накопителей.

$$N_B = \frac{E_c}{E_b} = \frac{7,440 \times 1000}{350} = 21,2 \text{ шт}$$

где E_c - требуемая емкость накопителя;
 E_b - емкость аккумуляторной батареи.

Следовательно, для накопления сгенерированной с помощью ВИЭ суточной энергии потребуется:

$$E_o = E_b \times N_b = 22 \times 350 = 7700 \text{ А} \times \text{ч}$$

Суммарная емкость всего накопителя составит 3696 кВт×ч.

Один аккумуляторный накопитель состоит из 20 батарей. В стандартной батарее находится 12 ячеек. Таким образом, для создания накопителя необходимой емкости число используемых аккумуляторных ячеек составит:

$$N_{\text{ячеек}} = N_B \times N_c = 21.2 \times 240 = 5088 \text{ шт}$$

Таким образом, для реализации накопителя понадобится 5088 шт. аккумуляторных ячеек или 424 аккумуляторных батареи. Затраты на приобретение накопителя составят 19.080.000. рублей.

Выводы по второй главе

На основании изложенного во второй главе, можно сделать следующие выводы:

- для решения задачи повышения качества и увеличения энергоэффективности при генерации энергии энергообъектом посёлка Сангар, предложена комбинированная схема гибридной электростанции. На основании расчетного моделирования, можно сделать вывод, что данное решение позволит добиться надёжной, достаточной и энергоэффективной работы всего комплекса в целом. Перекрёстное резервирование источников позволит не только повысить надёжность системы, но и продлить срок службы всех агрегатов, поскольку они будут загружены в пределах допустимых значений;
- анализ прогнозных режимов работы оборудования показал, что подобранные устройства могут полностью удовлетворить требования в энергопотреблении посёлка. В процессе анализа вероятностной выработки мощности, была выявлена сезонная зависимость. Для СЭС наиболее активный период генерации начинается в мае и заканчивается в сентябре, тогда как для ВЭС наиболее активный период выдачи мощности с января по апрель и с октября по декабрь. Таким образом, ВЭС и СЭС работая в режиме «тандем» дополняют друг друга, позволяя не снижать уровень выдаваемой в сеть мощности.

Глава 3 Оптимизация проекта гибридной солнечно - ветро-дизельной электростанции

3.1 Расчёт энергобаланса

Для полноценного достижения поставленной в начале исследования цели по повышению энергоэффективности объекта, необходимо провести анализ всех возможных вариантов построения системы и их показателей [28]. Для этого сформируем несколько вариативных конфигураций оборудования, с различными параметрами. Поскольку система строится на основе возобновляемых источников энергии, в анализе будет рассмотрен объём сгенерированной энергии от ветрогенератора и фотопреобразователей с компенсацией недостающего объёма с помощью дизель-генератора. Также, информация о конфигурации системы дополняется экономической моделью. Во всех вариациях системы, базовым условием считается наличие трёх компонентов: ВЭУ., ФЭП и ДГУ.

Для сравнения предлагается конфигурации:

- 5 ДГУ ,50 ВЭУ и 40.000 ФЭП,
- 5 ДГУ, 50 ВЭУ и 80.000 ФЭП,
- 5 ДГУ ,70 ВЭУ и 20.000 ФЭП.

Конфигурация 5 ДГУ, 50 ВЭУ и 40000 ФЭП

Для анализа эффективности конфигурации, необходимо установить базовую линию потребления электроэнергии с учётом сезонности. В первой главе было установлено, что среднемесячное потребление электроэнергии посёлка Сангар в зимний период (с сентября по май) составляет 1723,5 МВт×ч, в летний период с июня по август 1432,1 МВт×ч.

В первой и второй главе было установлен объём вырабатываемой с помощью ВЭУ и ФЭП энергии из расчёта на одну единицу с учётом условий размещения и времени года. Путём масштабирования и наложения

полученных данных, получаем численные значения для рассматриваемой модели. Полученные в результате значения помесечной выработки представлены в таблице 12. Далее, по данным таблицы 12 построен график. (Рисунок 26)

Таблица 12- Среднемесячная выработка электроэнергии

Месяц	Среднемесячная выработка ВЭУ и ФЭП МВт×ч	Объем среднемесячного потребления посёлка МВт×ч
Январь	1168,40	1723,51
Февраль	1355,20	1723,51
Март	1710,40	1723,51
Апрель	1856,10	1723,51
Май	1070,40	1432,19
Июнь	1030,00	1432,19
Июль	1168,40	1432,19
Август	939,20	1432,19
Сентябрь	784,00	1723,51
Октябрь	1478,40	1723,51
Ноябрь	1332,00	1723,51
Декабрь	1334,40	1723,51

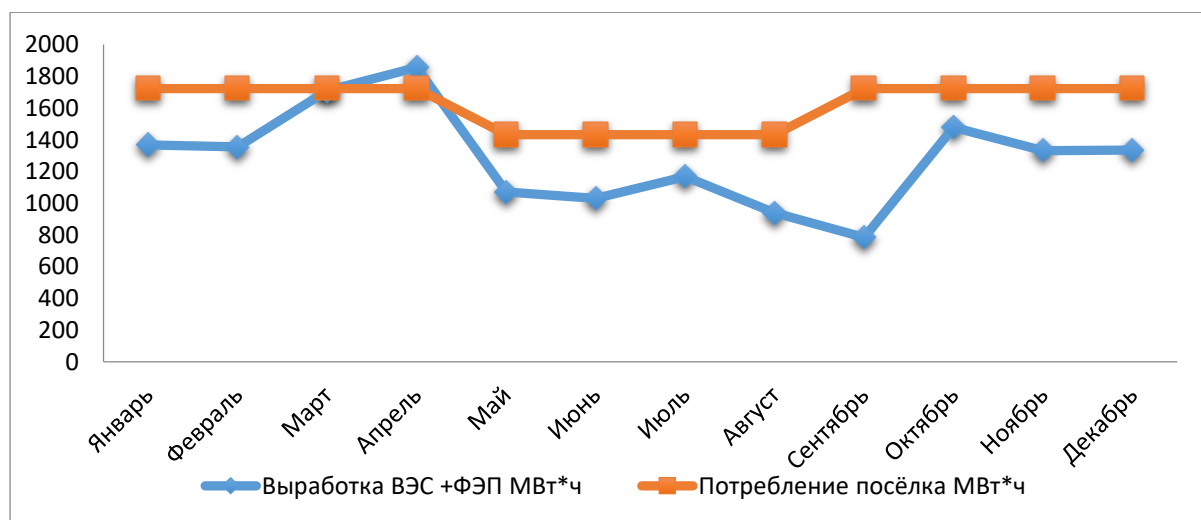


Рисунок 26- Среднемесячная выработка ВИЭ и потребление посёлка

Анализируя полученный график, можно наблюдать возможность электроснабжения, однако прослеживается явная неравномерность выработки и дефицит сгенерированной электроэнергии. Неравномерность выработки, возникает вследствие сезонного ослабления генерации ВЭУ. Однако возрастающая генерация с помощью солнечных панелей, не может компенсировать дефицит в полном объёме, создавая лишь незначительные всплески на графике. И хотя в марте и апреле генерируемый объём превышает потребление, выработка энергии в течение года остаётся неравномерной и недостаточной.

Для компенсации дефицита вырабатываемой электроэнергии, в работу комбинированной электростанции включаются дизель-генераторы. За счёт применения в системе устройств мониторинга, возможна работа дизель-генератора как в компенсационном, так и в резервирующем режиме. Тем самым увеличивая надёжность системы, а также обеспечивая достаточность и энергоэффективность всего комплекса в целом. Для расчёта необходимых объёмов компенсационной мощности, вычислим месячный дефицит энергии.

$$\Delta_{\text{д.январь}} = W_{\text{потр}} - W_{\text{ВИЭ}} = 1723,5 - 1168,4 = 555,1 \text{ МВт} \times \text{ч},$$

$$\Delta_{\text{д.февраль}} = W_{\text{потр}} - W_{\text{ВИЭ}} = 1723,5 - 1355,2 = 368,3 \text{ МВт} \times \text{ч},$$

$$\Delta_{\text{д.март}} = W_{\text{потр}} - W_{\text{ВИЭ}} = 1723,5 - 1710,4 = 13,1 \text{ МВт} \times \text{ч},$$

$$\Delta_{\text{д.апрель}} = W_{\text{потр}} - W_{\text{ВИЭ}} = 1723,5 - 1856,1 = -132,5 \text{ МВт} \times \text{ч},$$

$$\Delta_{\text{д.май}} = W_{\text{потр}} - W_{\text{ВИЭ}} = 1432,1 - 1070,4 = 361,7 \text{ МВт} \times \text{ч},$$

$$\Delta_{\text{д.июнь}} = W_{\text{потр}} - W_{\text{ВИЭ}} = 1432,1 - 1030 = 402,1 \text{ МВт} \times \text{ч},$$

$$\Delta_{\text{д.июль}} = W_{\text{потр}} - W_{\text{ВИЭ}} = 1432,1 - 1168,4 = 263,7 \text{ МВт} \times \text{ч},$$

$$\Delta_{\text{д.август}} = W_{\text{потр}} - W_{\text{ВИЭ}} = 1432,1 - 939,2 = 492,9 \text{ МВт} \times \text{ч},$$

$$\Delta_{\text{д.сентябрь}} = W_{\text{потр}} - W_{\text{ВИЭ}} = 1723,5 - 784 = 939,5 \text{ МВт} \times \text{ч},$$

$$\Delta_{\text{д.октябрь}} = W_{\text{потр}} - W_{\text{ВИЭ}} = 1723,5 - 1478,4 = 245,1 \text{ МВт} \times \text{ч},$$

$$\Delta_{\text{д.ноябрь}} = W_{\text{потр}} - W_{\text{ВИЭ}} = 1723,5 - 1332 = 391,5 \text{ МВт} \times \text{ч},$$

$$\Delta_{\text{д.декабрь}} = W_{\text{потр}} - W_{\text{ВИЭ}} = 1723,5 - 1334,4 = 389,1 \text{ МВт} \times \text{ч}.$$

К полученным значениям для увеличения надёжности системы, необходимо добавить коэффициент запаса мощности. Эмпирически установлено, что данный коэффициент должен быть равен 20%.

По результатам расчётов выбираем месяц с наибольшим дефицитом мощности. Таким месяцем является сентябрь с дефицитом 939,5 МВт×ч. Выбранный дизель-генератор модели Magnus 1000/400 FA , при наиболее эффективной нагрузке в 75% позволяет вырабатывать мощность 750 кВт×ч. Суточный максимум потребления (рисунок 23) проявляется с 8.00 до 22.00 часов, следовательно, включение ДГУ будет оправданно в данном промежутке времени. Произведём расчёт компенсационной мощности, вырабатываемой 3 ДГУ:

$$\sum W = W_{\text{ген}} \times n \times t = 0,75 \times 3 \times 518,5 = 1166,6 \text{ МВт} \times \text{ч}$$

где: $W_{\text{ген}}$ – мощность, вырабатываемая одним ДГУ, МВт×ч;

n - количество ДГУ;

t - время работы ДГУ в месяц, час.

Далее, по такому же принципу, произведём расчёт для каждого месяца. Полученные значения представлены в таблице 13.

Таблица 13- Помесячные расчётные данные компенсационной мощности

Месяц	Дефицит электроэнергии, МВт×ч	Необходимый объём компенсации с учётом запаса, МВт×ч	Количество ДГУ, шт	Время работы ДГУ, час	Выработанная компенсационная мощность, МВт×ч
Январь	551,1	661,2	2	457,5	686,2
Февраль	368,3	441,9	2	305	457,5

Продолжение таблицы 13

Месяц	Дефицит электроэнергии, МВт×ч	Необходимый объём компенсации с учётом запаса, МВт×ч	Количество ДГУ, шт	Время работы ДГУ, час	Выработанная компенсационная мощность, МВт×ч
Март	13,1	15,7	1	30,5	22,8
Апрель	-132,5	0	0	0	0
Май	361,7	434	2	274,5	411,7
Июнь	402,1	482,5	2	335,5	503,2
Июль	263,7	316,4	2	213,5	320,2
Август	492,9	591,4	2	396,5	594,7
Сентябрь	939,5	1127,4	3	518,5	1166,6
Октябрь	245,1	294,1	2	213,5	320,2
Ноябрь	391,5	469,8	2	335,5	503,2
Декабрь	389,1	466,9	2	335,5	503,2
Всего за год	4285,6	5301,3	0	3416	5490

С учётом полученных значений, построим график с компенсационной составляющей.(Рисунок 27)

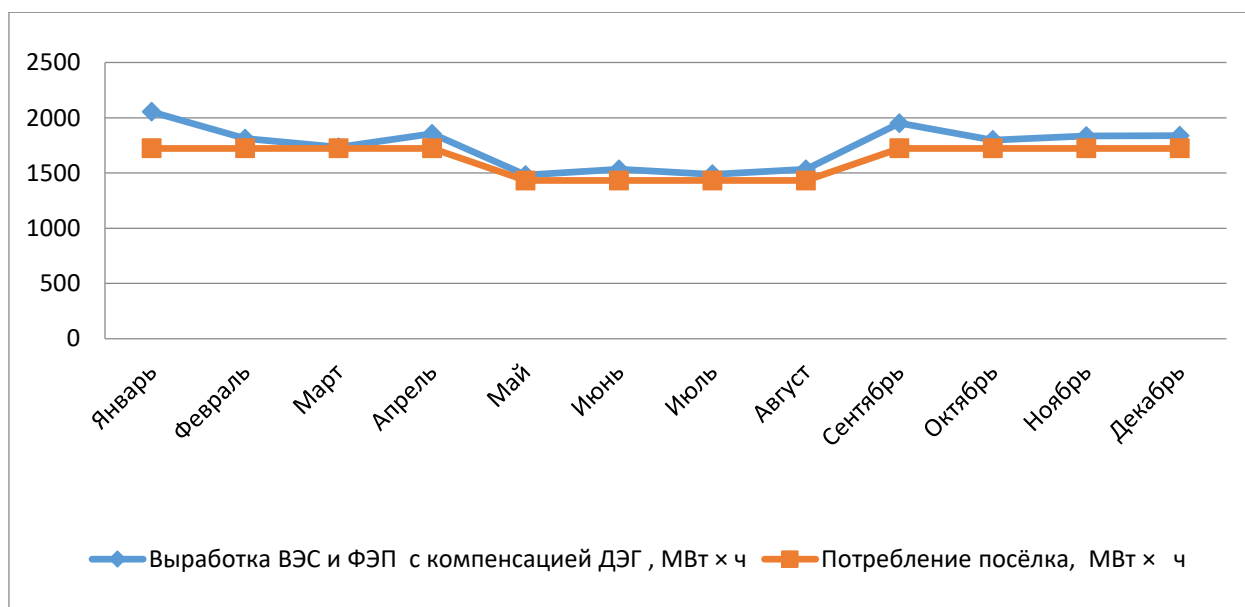


Рисунок 27- Среднемесячная выработка ВИЭ с компенсацией ДГУ и годовое потребление посёлка

На основании полученных данных произведём расчёт потребляемого дизель-генератором топлива за один месяц.

Количество топлива в месяц составит:

$$G_{\text{дгу}} = n \times T_{\text{дгу}} \times g = 3 \times 518,5 \times 166 = 258\,213 \text{ л}$$

где n - количество ДГУ;

$t_{\text{дгу}}$ - количество моточасов в месяц;

g - расход топлива, л/час (по паспорту).

Установленную мощность ВЭУ и ФЭП будем изменять для снижения себестоимости электроэнергии дискретно.

Энергобаланс оставшихся вариантов комбинированной солнечно-ветро дизельной электростанции представлен в таблице 15.

3.2 Расчёт себестоимости генерируемой электроэнергии

Одним из наиболее важных критериев в оценке энергетической эффективности является стоимость 1 кВт×ч выработанной электроэнергии.

Данный критерий можно вычислить пользуясь выражением (4):

$$C_{\text{эл}} = \frac{k_p (C_{\text{дгу}} + C_{\text{обор}} + C_{\text{топл}} + C_{\text{э}})}{W_{\text{год}}} \quad (4)$$

где k_p – коэффициент рентабельности: $\frac{1}{T_{\text{сл}}}$

$C_{\text{дгу}}$ -общие капиталовложения для дизель-генераторов

$C_{\text{обор}}$ -стоимость комплекта оборудования

$C_{\text{топл}}$ -расходы на приобретение и доставку ГСМ за 1 год

$C_{\text{э}}$ -сумма всех эксплуатационных расходов за 1 год, т. руб

$W_{\text{год}}$ - суммарный объём выработки электроэнергии в год, МВт×ч

При существующих в России экономических условиях, анализ экономической целесообразности автономного электроснабжения зачастую указывает на необходимость сокращения государственных субсидий. Поэтому обычно нельзя говорить о прибыльности производства электроэнергии в отдельных системах электроснабжения. Оптимальный коэффициент рентабельности в таких случаях следует выбирать, исходя из срока службы основного энергетического оборудования [24].

Расчёт капиталовложений ДГУ.

Для расчёта капиталовложений и оценки их эффективности, в первую очередь, необходимо определить ресурсные показатели ДГУ. Такие как экономический срок службы и наработка до капитального ремонта. Как правило, дизель генераторы ремонтпригодны и могут за жизненный цикл пройти 4-5 капитальных ремонтов. Однако, прочие крупные узлы, входящие в состав ДГУ, менее пригодны для ремонта и их экономический срок службы более короткий.

В среднем, жизненный цикл данных компонентов составляет 15-20 лет, тогда как ДГУ, при своевременном обслуживании, может проработать и 30-40 лет, после чего жизненный цикл завершается и устройство подлежит утилизации. Для устранения указанных выше сложностей расчёта, необходимо привести каждый компонент системы к единой размерности с использованием масштабирующих коэффициентов.

Как правило, предприятие-изготовитель указывает гарантированное количество моточасов до проведения ремонтных работ, но оно также зависит от типоразмера, конструкции и своевременности качественного технического обслуживания.

При технико-экономических расчётах, возможно определение срока службы с использованием выражения (5):

$$T_{\text{службы}} = \frac{4 \times T_{\text{кап.рем}}}{T_{\text{раб}}} \quad (5)$$

56

где $T_{\text{раб}}$ -Годовая наработка ДГУ (количество моточасов в год);

С учётом вышесказанного, общие капиталовложения можно выразить следующей формулой (6):

$$C_{\text{дэс}} = C_{\text{дгу}} \times m_{\text{дгу}} + C_{\text{доп}} \quad (6)$$

где $m_{\text{дэс}}$ – масштабируемый коэффициент выравнивания

$C_{\text{доп}}$ – принимается равным $0,2 * C_{\text{уст}}$

Общий список оборудования и сумма затрат на его приобретение представлена в таблице 14

Таблица 14- Общие капитальные вложения в строительство электростанции

Наименование	Количество, шт.	Стоимость за шт., руб.	Сумма, руб.
ВЭС «Condor Air Maxx 30»	50	3.500.000	175.000.000
ФЭП «НН-MONO-200W»	40000	8.000	320.000.000
Инвертор «Sandi SDP-750»	13	6.000.000	78.000.000
Аккумуляторный накопитель	5088	3750	19.080.000
Дизельный генератор «Magnus 1000/400 FA»	5	8.600.000	43.000.000
Топливные резервуары 1000м ³	5	3.800.000	19.000.000
Топливный насос Perkins 2643B15	5	360.000	1.800.000
Итого:			655.880.000

Согласно паспортным данным, срок службы дизель-генератора составляет 25 лет. Следовательно, нормативный коэффициент рентабельности составляет:

$$k_p = \frac{1}{25} = 0,04$$

Масштабируемый коэффициент выравнивания срока службы (7):

$$m_{дгу1} = m_{дгу2} = m_{дгу3} = m_{дгу4} = m_{дгу5} = 1 \quad (7)$$

Экономический срок службы:

$$T_{сл.ДГУ1} = T_{сл.ДГУ2} = T_{сл.ДГУ3} = T_{сл.ДГУ4} = T_{сл.ДГУ5} = \frac{80000}{6832} = 11,7 \text{ лет}$$

Суммарная стоимость комплекта оборудования с учётом монтажных работ:

$$C_{обор} = (n_{акб} \times C_{акб} + n_{вэс} \times C_{вэс} + n_{фэп} \times C_{фэп} + n_{дгу} \times C_{дэс} + n_{инв} \times C_{инв} + n_{рез} \times C_{рез} + n_{т.нас} \times C_{т.нас}) \times k_{монт.} = (5088 \times 3750 + 50 \times 3500000 + 40000 \times 8000 + 5 \times 8600000 + 13 \times 6000000 + 5 \times 3800000 + 5 \times 360000) \times 1,2 = 787.056.000 \text{ руб}$$

где $n_{акб}, n_{вэс}, n_{дгу}, n_{инв}, n_{рез}, n_{т.нас}$ - количество аккумуляторных батарей, ВЭС, ФЭП, ДГУ, инверторов, топливных резервуаров и топливных насосов.

$C_{акб}, C_{вэс}, C_{фэп}, C_{дгу}, C_{инв}, C_{рез}, C_{т.нас}$ - стоимость аккумуляторных батарей, ВЭС, ФЭП, ДГУ, инверторов, топливных резервуаров и топливных насосов.

$k_{монт.}$ - коэффициент, учитывающий строительно-монтажные

работы, равный 20% от общей стоимости оборудования.

Количество потребляемого ДГУ дизельного топлива в месяц составит:

$$G_{\text{дгу}} = n \times T_{\text{дгу}} \times g = 3 \times 518,5 \times 166 = 258\,213 \text{ л}$$

где n - количество ДГУ;

$T_{\text{дгу}}$ - усреднённое количество моточасов в месяц;

g - расход топлива, л/час (по паспорту).

Стоимость годового запаса топлива с учётом доставки:

$$C_{\text{топл}} = G_{\text{дгу}} \times 12\text{мес} \times C_{\text{диз.т.}} = 258213 \times 12 \times 75,00 = 232.391.700$$

где $C_{\text{диз.т.}}$ - цена 1 л дизельного топлива с учётом доставки, (руб.).

Эксплуатационные затраты на обслуживание комбинированной солнечно-ветро-дизельной электростанции можно разделить на текущие и регламентные. Текущие эксплуатационные затраты включают в себя заработную плату сотрудников. Регламентные затраты включают в себя все необходимые сервисные жидкости и смазки (масла, смазки, антифризы), расходные части (фильтрующие элементы, резинотехнические изделия). А также запчасти, подлежащие замене (сальники, высоконагруженные электрические узлы и механизмы подлежащие замене по регламенту).

Для обслуживания всей электростанции с учётом 12-ти часового посменного графика работы и норм охраны труда, необходимо 8 сотрудников для проведения основных работ связанных с деятельностью электростанции, 2 ИТР, 2 человека для административно- хозяйственных работ, 2 человека для выполнения административно-управленческой работы. Итого 14 человек, со средней заработной платой 75.000руб в месяц, что составит 10,8 млн. рублей в год.

Для проведения регламентных работ, потребуется комплект запасных частей и сервисных жидкостей. Стоимость запасных частей в среднем, составит 45.000р. Стоимость жидкостей и смазок ориентировочно 38.000р. Стоимость каждого обслуживания вычислим по выражению (8).

$$C_{\text{обсл } 1} = C_{\text{обсл } 2} = C_{\text{обсл } 3} = C_{\text{з.ч.}} + C_{\text{серв.ГСМ}} \quad (8)$$

$$C_{\text{обсл } 1,2,3} = 45.000 + 38.000 = 83.000 \text{ руб.}$$

где $C_{\text{з.ч.}}$ - стоимость запасных частей, подлежащих замене по регламенту завода-изготовителя;

$C_{\text{серв.ГСМ}}$ – стоимость сервисных жидкостей (антифризов, масел)

Таким образом, общие эксплуатационные расходы в годовом выражении вычислим с помощью выражения (9):

$$C_{\text{экспл}} = C_{\text{обсл } 1} + C_{\text{обсл } 2} + C_{\text{обсл } 3} + C_{\text{ЗП}} \quad (9)$$

$$C_{\text{экспл}} = 83.000 + 83.000 + 83.000 + 10.800.000 = 11.049.00 \text{ руб}$$

Таким образом, получаем следующую себестоимость электроэнергии:

$$C_{\text{эл}} = \frac{(k_p \times C_{\text{обор}}) + C_{\text{топл}} + C_{\text{э}}}{W_{\text{год}}} =$$

$$= \frac{(232391700 + 11.049.000 + (787.056.000 \times 0,04))}{20917100} = 13,1 \text{ руб/ кВт}\times\text{ч}$$

Энергобаланс оставшихся вариантов комбинированной солнечно-ветро дизельной электростанции представлен в таблице 15 и таблице 16.

Таблица 15- Сравнительные данные конфигураций

Месяц	$W_{\text{потребл}}$, МВт×ч	Конфигурация оборудования					
		50 ВЭС, 80000 ФЭМ			70 ВЭС, 20000 ФЭМ		
		$W_{\text{ВИЭ}}$, МВт×ч	$W_{\text{ДГУ}}$, МВт×ч	$G_{\text{ДГУ}}$, литров	$W_{\text{ВИЭ}}$, МВт×ч	$W_{\text{ДГУ}}$, МВт×ч	$G_{\text{ДГУ}}$, литров
Январь	1723,5	1332,4	457,5	413.340	1488,1	274,5	248.004
Февраль	1723,5	1635,2	91,5	82.668	1645,2	91,5	498
Март	1723,5	2230,4	0	0	1926,5	0	0
Апрель	1723,5	2560,0	0	0	1964,8	0	0
Май	1432,1	1694,4	0	0	936,9	549,0	496.008
Июнь	1432,1	1790,0	0	0	758,0	732,0	661.344
Июль	1432,1	2076,4	0	0	818,5	732,0	661.344
Август	1432,1	1655,2	0	0	670,4	823,5	744.012
Сентябрь	1723,5	1280,0	457,5	413.340	651,2	1098,3	992.016
Октябрь	1723,5	1766,4	91,5	82.668	1810,5	91,5	82.668
Ноябрь	1723,5	1512,0	274,5	247.506	1702,8	91,5	82.668
Декабрь	1723,5	1478,4	274,1	247.506	1738,5	91,0	82.668

Таблица 16- Экономические данные по конфигурациям комбинированной электростанции

Конфигурация	Стоимость Оборудования, руб.	Эксплуатационные расходы, руб.	Стоимость Топлива, руб.	Выработка в год МВт×ч	Стоимость 1 кВт×ч, Руб.
5 ДГУ, 50 ВЭУ 40000 ФЭП	787.056.000	11.049.000	232.391.700	20917,1	13,1
5 ДГУ, 50 ВЭУ 80000 ФЭП	998.800.000	11.549.000	111.564.450	21010,8	7,7
5 ДГУ, 70 ВЭУ 20000 ФЭП	571.550.000	10.270.000	353.355.900	16111,9	23,9

С учётом маржинальности в 20 % получаем отпускную стоимость для потребителя в 15.70 рублей за 1 кВт×ч. Окупаемость оборудования станции составит 11,8 лет. При этом электростанция будет приносить прибыль с момента запуска.

Выводы по третьей главе.

На основании изложенного в третьей главе, можно сделать следующие выводы:

- оптимизация состава комбинированной электростанции позволила уменьшить расходную часть проекта и добиться максимального экономического эффекта от планируемых мероприятий. Произведенные расчёты, позволяют судить о достаточности проектных мощностей оборудования для полноценного удовлетворения потребностей посёлка в электроэнергии;
- проработана экономическая модель проектируемого объекта. Полученные при расчётах данные, позволяют сделать вывод, о достаточной энергетической эффективности объекта. За счёт внедрения возобновляемых источников энергии предполагается значительное снижение потребляемых горюче-смазочных материалов. И как следствие, снижение стоимости электроэнергии для конечного потребителя.

Глава 4 Экономическая и ресурсная эффективность

В рыночных условиях экономики перспективность исследований определяется не только с научной точки зрения. Важным критерием оценки является экономический потенциал проекта. Данный критерий может сыграть решающую роль для поиска источников финансирования и воплощения проекта в жизнь. Также важна оценка энерго - и ресурсоэффективности проекта, его позитивное или негативное влияние на окружающую среду.

В данной главе, произведём оценку проекта с точки зрения экономической эффективности и оценку возможности внедрения. Основной и наиболее важной задачей является показать, что возобновляемые источники энергии могут быть экологичными, надёжными и эффективными источниками энергии [8]. Проект разрабатывался для реализации децентрализованной системы электроснабжения с использованием ВИЭ в посёлке Сангар, Кобяйского района, республики Саха (Якутия).

4.1. Оценка технического решения

Для оценки ресурсоэффективности технического решения, проведём анализ различных вариантов электроснабжения. Что позволит в дальнейшем оценивать эффективность проекта в целом и определить направления для дальнейших исследований в будущем.

Оценка НИРа проводилась по следующим критериям:

- достаточность количества энергии получаемого от ветрогенератора и фотоэлектрических преобразователей для покрытия потребностей посёлка в летний и зимний период;
- достаточность количества энергии получаемого от ВЭС и ФЭП для покрытия потребностей посёлка;

- объём получаемых топливных ресурсов необходимых для генерации энергии;
- надёжность (отказоустойчивость),
- стоимость приобретения, доставки и монтажа оборудования,
- конкурентоспособность решения,
- экологичность и бережное природопользование.

Результаты оценки представлены в таблице 17.

Таблица 17- Сравнительная карта оценки технических решений

Критерии	Удельный вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Оценка инженерно-технических характеристик							
1.Достаточность ВИЭ для покрытия потребностей потребителей в летний и зимний период.	0,15	4	3	4	0,6	0,45	0,6
2.Достаточность ВИЭ для покрытия потребностей потребителей в осенне-весенний период.	0,15	4	3	3	0,6	0,45	0,45
3.Надёжность (отказоустойчивость)	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
4. Доступность запасных частей.	0,10	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Оценка экономических характеристик							
1.Объём получаемых топливных ресурсов необходимых для генерации энергии	0,15	4	4	3	0,6	0,6	0,45
2.Стоимость приобретения, доставки и монтажа оборудования	0,15	4	3	3	0,6	0,45	0,45
4.Конкурентоспособность решения	0,10	4	4	4	0,4	0,4	0,4
5.Экологичность и бережное природопользование	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Итого	1	35	30	29	4,3	3,6	3,45

Оценочные критерии подбираются исходя из особенностей объектов оценивания с учётом технических и экономических особенностей. Суммарно удельный вес всех критериев составляет одну условную единицу. Все проекты оцениваются по пятибалльной шкале, где 1-это наименьший балл, а 5- наибольший. Баллы по каждому критерию определяются по формуле (10):

$$K = \sum B_i \times B_i \quad (10)$$

где: K-балл конкурентоспособности;

B_i - удельный вес критерия;

B_i - оценка по критерию.

По результатам оценки, можно сказать, что описанное выше техническое решение, превосходит аналогичные по критериям надёжности и экономичности. Также стоит отметить экологичность предложенного решения, поскольку большая часть электроэнергии вырабатывается с помощью возобновляемых источников энергии, и не оказывает значимого влияния на окружающую среду на местности.

4.2. Определение ресурсной эффективности проекта

Каждый технический проект требует анализа и последующей оценки экономической эффективности. Поскольку одна из задач магистерской диссертации состоит в снижении объема потребления горюче-смазочных материалов, и повышении уровня экологической стабильности данной территории. Необходимо рассчитать, насколько эффективно внедрение нового оборудования с точки зрения снижения ресурсозависимости.

Согласно полученной в первой главе информации, энергоснабжение посёлка осуществляется Сангарской ДЭС. В 2023 году, из 12 дизельных установок, в рабочем состоянии осталось 7 ДГУ, которые суммарно

потребляли 1920 литров дизельного топлива в час. Таким образом, получаем средний расход дизельного топлива в сутки 46080 литров.

Предлагаемое в проекте оборудование (дизель-генератор Magnus 1000/400 FA) потребляет, согласно паспортным данным 166 л/ч, сезонного дизельного топлива. В составе комбинированной электростанции находится 5 устройств данного типа. Три из которых производят генерацию в компенсационном режиме и два находятся в резервирующем.

Таким образом, для предлагаемого оборудования, получаем:

$$G_{\text{дгу}} = n \times T_{\text{дгу}} \times g = 3 \times 518,5 \times 166 = 258\,213 \text{ л}$$

где n - количество ДГУ;

$T_{\text{дгу}}$ - усреднённое количество моточасов в месяц;

g - расход топлива, л/час (по паспорту).

Стоимость годового запаса топлива с учётом доставки:

$$C_{\text{топл}} = G_{\text{дгу}} \times 12\text{мес} \times C_{\text{диз.т.}} = 258213 \times 12 \times 75,00 = 232.391.700$$

где: $C_{\text{диз.т.}}$ - цена 1 л дизельного топлива с учётом доставки, руб.

Действующее оборудование потребляет усреднённо в месяц:

$$G_{\text{дгу}} = n \times T_{\text{дгу}} \times g = 7 \times 732 \times 274 = 1403976 \text{ л}$$

Стоимость годового запаса топлива с учётом доставки:

$$C_{\text{топл}} = G_{\text{дгу}} \times 12\text{мес} \times C_{\text{диз.т.}} = 1403976 \times 12 \times 75,00 = 1.263.578.400$$

Таким образом, объем потребляемого топлива сократится в 5,5 раз.

4.3. SWOT- анализ

SWOT-анализ является комплексным многоступенчатым видом оценки рисков проекта. На первой ступени анализа, производится описание всех ключевых факторов риска, сильных сторон объекта исследования и возможностей которые даёт реализация проекта с занесением их в матрицу. (Таблица 18)

Таблица 18- Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
C1. Конкурентно-низкая стоимость проекта C2.Новизна для конкретного посёлка/местности C3.Высокая эффективность	СЛ1.Объект исследования находится на большом отдалении. СЛ2.Вероятность ошибки в полученных данных. СЛ3.Реализация исследования требует проработки большого количества информации и сбора данных.
Возможности	Угрозы
В1. Возможность практической апробации новых технических решений и модернизация решения с учётом практического применения. В2. Появление спроса на аналогичные исследования В3.Развитие у специалистов, находящихся на данной территории, новых компетенций и навыков. В4.создание более совершенных требований к оборудованию и реализация данных требований в конкурентоспособный продукт.	У1.отсутствие на территории персонала с необходимыми знаниями и навыками. У2.незаинтересованность в масштабировании крупных игроков рынка (инвесторов). У3. Сложность доставки и монтажа оборудования.

На второй ступени, необходимо провести сопоставление всех положительных и отрицательных факторов проекта. Для этого составляется интерактивная матрица проекта. (Таблица 19) В которой каждый фактор отмечается либо положительно (что значит соответствие сил возможностям),

либо отрицательно, либо нейтрально, если есть сомнения относительно его влияния.

Таблица 19- Интерактивная таблица SWOT-анализа

Возможности	Сильные стороны				
	C1		C2	C3	C4
	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+
	B3	+	+	+	0
	B4	+	+	+	+
Возможности	Слабые стороны				
	Сл1		Сл2	Сл3	
	B1	+	-	+	
	B2	+	-	-	
	B3	+	-	-	
	B4	+	0	-	
Угрозы	Сильные стороны				
	C1		C2	C3	C4
	У1	+	+	+	+
	У2	-	-	-	-
	У3	+	+	-	-
Угрозы	Слабые стороны				
	Сл1		Сл2	Сл3	
	У1	-	-	-	
	У2	-	0	0	
	У3	-	-	0	

На заключительном этапе составляется итоговая матрица (приложение Б), отражающая результаты анализа.

Выводы по четвёртой главе.

На основании изложенного в четвёртой главе, можно сделать следующие выводы:

- проект комбинированной солнечно-вето-дизельной электростанции является ресурсоэффективным решением поставленной задачи по качественному энергоснабжению посёлка Сангар. Расчётным методом определена экономия топливных и финансовых ресурсов в 5 раз относительно действующего оборудования;
- анализ проекта показал уникальность решения для данной территории. Позволяет достичь не только высоких экономических и технических показателей, но и дать серьёзный задел для развития посёлка. Данные, полученные в ходе анализа, доказывают его коммерческую жизнеспособность и инвестиционную привлекательность. Что позволяет при заинтересованности инвесторов тиражировать данное решение на других территориях с минимально необходимыми доработками под конкретные условия местности.

Заключение

В процессе выполнения работы рассмотрена проблема повышения эффективности генерации электроэнергии на отдалённых, децентрализованных территориях России. Объектом исследования стала система энергоснабжения посёлка Сангар Кобяйского улуса республики Саха (Якутия). В процессе подготовки были проанализированы метеорологические условия, выработана концепция решения обозначенной проблемы, произведён подбор оборудования, а также исследован технико-экономический эффект. Результатом исследования является проект комбинированной всепогодной электростанции с применением возобновляемых источников энергии, предполагающий внедрение ветрогенераторов и фотоэлектрических преобразователей большой мощности на территории поселкового объекта республики Саха (Якутия). Решение, описанное в диссертации, позволяет эффективно использовать все возможные источники генерации с минимальным потреблением топливных ресурсов. Режимы работы оборудования альтернативной генерации оптимизированы с учётом метеорологических условий местности для работы как на минимальных, так и на максимальных показателях скорости ветра и инсоляции. По результатам реализации проекта предполагается снижение потребления ГСМ дизель-генераторными установками в 5 раз.

В первой главе был проведён литературный обзор с последующим анализом общего состояния энергетического хозяйства посёлка, собрана и проанализирована информация о потребителях и генерирующих мощностях. Были построены суточные графики для различных потребителей энергии: частные домовладения, многоквартирные дома, медицинские, административные и образовательные учреждения посёлка. Общая потребность посёлка определялась с учётом развития территории. В ходе многофакторного анализа получена и подтверждена информация о

возможности внедрения возобновляемых источников энергии на данной территории. При помощи открытой базы данных NASA POWER DATA получены подробные метеорологические данные за несколько лет по следующим параметрам: общеклиматические характеристики, сила ветра и его изменения в течение года, уровень инсоляции, определено количество осадков и уровень атмосферного давления.

Во второй главе была разработана структурная схема работы гибридной электростанции. Произведён подбор необходимого оборудования с требуемыми характеристиками и смоделированы возможные объёмы генерации.

В третьей главе была произведена оптимизация состава комбинированной электростанции, что позволило сократить потребление и соответствующие затраты на приобретение ГСМ и топлива в 5 раз. Проработана экономическая модель проектируемого объекта. Полученные при расчётах данные позволяют сделать вывод о достаточной энергетической эффективности объекта. За счёт внедрения возобновляемых источников энергии предполагается значительное снижение потребляемых горюче-смазочных материалов. И как следствие, снижение стоимости электроэнергии для конечного потребителя.

В четвёртой главе произведён общеэкономический анализ проекта, оценены схожие проектные решения, а также произведён анализ экономической эффективности проекта и возможность реального внедрения.

В совокупности предложенный проект комбинированной солнечно-ветро-дизельной электростанции отвечает всем современным потребностям посёлка в части энергоснабжения. Техническое решение позволяет снизить затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание данного энергетического комплекса и по необходимости модернизировать его с целью увеличения генерируемых мощностей.

Реализация данного проекта на практике позволит не только надёжно обеспечить жителей данной территории качественной электроэнергией, но и позволит развивать новые компетенции в посёлке и сохранить окружающую среду от загрязнений для будущих поколений.

Выводы по результатам магистерской диссертации

Проблемы энергоснабжения отдалённых территорий можно разделить на технические, территориально-социальные и экономические. К ряду технических относятся: изношенность оборудования, низкая унификация узлов и агрегатов, используемых на ДЭС, а также низкий уровень энергоэффективности используемых установок. К территориально-социальным проблемам можно отнести низкую плотность населения и низкий уровень энергопотребления в регионе. К экономическим проблемам относятся проблемы высокой стоимости получаемой энергии ввиду сложной логистики и неэффективного использования доставляемых энергоресурсов.

Анализ текущего состояния объекта позволил выявить проблему устаревшего оборудования. Многие дизель-генераторы выработали свой заявленный ресурс и подлежат утилизации. Данная проблема характерна для многих отдалённых децентрализованных потребителей электроэнергии.

Анализ суточных графиков потребления, а также оценка ветрового и солнечного потенциала позволяют сделать вывод о возможности внедрения ВИЭ на данной территории. Это позволит добиться надёжной, достаточной и энергоэффективной работы всего комплекса в целом. А также снизить зависимость от доставляемых энергоресурсов. Перекрёстное резервирование источников позволит не только повысить надёжность системы, но и продлить срок службы всех агрегатов, поскольку они будут загружены в пределах допустимых значений.

По результатам проведённых анализов в магистерской диссертации предложена комбинированная схема солнечно-ветро-дизельной электростанции. Проанализированы режимы работы каждого генерирующего

узла, построены графики выработки с учётом технических характеристик. Анализ прогнозных режимов показал, что подобранные устройства могут полностью удовлетворить требования по энергопотреблению посёлка. ВЭС и СЭС, работая в режиме «тандем», позволяют с учётом сезонности не снижать уровень выдаваемой в сеть мощности. Предложенная схема комбинированной электростанции позволяет при необходимости увеличить объём генерации, а также проводить модернизацию с целью увеличения генерируемой ВИЭ мощности.

Оптимизация состава комбинированной электростанции позволила сократить потребление и соответствующие затраты на приобретение дизельного топлива в 5 раз относительно действующего объекта. Также снижены затраты на обслуживание и ремонт. Рассчитана экономическая модель для проектируемого объекта. Полученные при расчётах данные позволяют сделать вывод о достаточной энергетической эффективности объекта. При снижении закупочной стоимости ВИЭ отпускная стоимость электроэнергии может быть снижена.

Список используемых источников

1. Ветрогенератор Condor Air [Электронный ресурс] :URL :<https://greentec-group.ru/catalog/vetrogenerator/vetrogenerator-condorair/vetrogenerator-30-kvt/> (дата обращения: 27.07.2023).
2. Децентрализованная система электроснабжения с двухканальным твердотельным преобразователем / Е. Н. Соснина, А. И. Чивенков, И. А. Липужин [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2023. – № 3. С. 163-174. – EDN EOTCSI.
3. Захаров В. Особенности транспортной системы Республики Саха (Якутия) и обоснование необходимости поиска путей повышения надежности поставок угля. [Электронный ресурс] / URL: https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/03/e3sconf_repar18_04001.pdf, свободный. – Яз. рус. (дата обращения: 12.02.2023).
4. Иванова И., Пасечников Т. Опыт внедрения солнечно-дизельной электростанции в поселке Нерха Иркутской области. [Электронный ресурс] / URL:https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/03/e3sconf_repar18_04004.pdf, свободный. – Яз. рус. (дата обращения: 09.03.2024).
5. Инвертор SANDI SDP-750KW [Электронный ресурс]: URL:<https://energetechsolar.com/750kw-sdp-off-grid-inverter>
6. Канахина А. Н. и др. Электроснабжение децентрализованных сельскохозяйственных объектов на основе фотоэлектрических модулей //Столыпинский вестник. – 2022. – Т. 4. – №. 4. С. 2395-2403
7. Карамов Д.Н. Интеграция процесса категоризации аккумуляторных батарей в задачу оптимизации оборудования автономных энергосистем с возобновляемыми источниками энергии. [Электронный ресурс] / URL:<http://izvestiya.tpu.ru/archive/article/view/262/182>. pdf, свободный. – Яз. рус. (дата обращения: 09.07.2023).

8. Киушкина В. Р. Оптимизация локальной энергетики децентрализованных территорий северных регионов через укрепление позиций энергетической безопасности (на примере республики Саха (Якутия)) // Вестник евразийской науки. 2017. №6 (43). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-lokalnoy-energetiki-detsentralizovannyh-territoriy-severnyh-regionov-cherez-ukreplenie-pozitsiy-energeticheskoy> (дата обращения: 03.10.2023).

9. Киушкина, В. Р. Оптимизация локальной энергетики децентрализованных территорий северных регионов через укрепление позиций энергетической безопасности (на примере Республики Саха (Якутия)) / В. Р. Киушкина // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – Т. 9, № 6. С. 101. – EDN YSAIKQ. (дата обращения: 25.08.2023).

10. Киушкина В.Р. Оптимизация локальной энергетики децентрализованных территорий северных регионов (на примере Республики Саха(Якутия))//Интернетжурнал«НАУКОВЕДЕНИЕ»Том9,№6(2017)<https://naukovedenie.ru/PDF/113TVN617.pdf> (дата обращения: 25.01.2023).

11. Лукутин, Б. В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. Монография. Москва: Энергоатомиздат, 2008. 231 с.

12. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Децентрализованные системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015.100 с.

13. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 128с.

14. Модуль тягового аккумулятора 5PzS 350 [Электронный ресурс] URL:<http://www.tyumen-bat.ru/batteries/battery-cells-2-v/battery-cell-5pzs350->

2v-350ah-101x195x422?ysclid=m322skua4v49055414/(дата обращения: 25.08.2023).

15. Шеповалова О.В. Использование возобновляемых источников энергии в комплексных системах энергообеспечения сельских зданий. [Электронный ресурс]/URL:http://elib.altstu.ru/journals/Files/pv2011_02_2/pdf/175shepovalova.pdf, свободный. – Яз. рус. (дата обращения: 18.01.2023).

16. Прохоров Д. В. Повышение надежности децентрализованных энергетических систем северных территорий : дис. – Сибирский федеральный университет, 2018.

17. Солнечная батарея HH-MONO200W [Электронный ресурс]: URL:<https://helios-house.ru/monokristallicheskie-solnechnye-batarei/416solnechnayabatareya-hh-mono200w/view-details.html> (дата обращения: 27.07.2023).

18. Сравнительный анализ схем построения автономных электростанций, использующих установки возобновляемой энергетики / Обухов С.Г., Плотников И.А. // Промышленная энергетика. - 2012 - №. 7. С. 46-51

19. Топливный насос ТНВД Perkins 2643B315 [Электронный ресурс]: URL: <https://dgumaster.ru/parts-perkins/tnvd/toplivnyy-nasos-vysokogodavleniya-tnvd-perkins-2644h032/> (дата обращения: 27.07.2023).

20. Дизельный генератор MAGNUS [Электронный ресурс] :URL <https://magnus-generator.com/product/dizelnyj-generator-magnus-1000-400-fawoling/?ysclid=m322koskra765868885/> (дата обращения: 21.07.2023).

21. Шакиров В. А., Тугузова Т. Ф., Музычук Р. И. Проблемы электроснабжения в коммунально-бытовом секторе Арктической зоны Республики Саха (Якутия) //Арктика: экология и экономика. – 2020. – №. 4 (40). С. 106.

22. Agarkar B. D., Barve S. B. A Review on Hybrid solar/wind/diesel power generation system //International Journal of Current Engineering and Technology.

2016. Т. 4. №. 4. С. 188-191.

23. A Simple Sizing Optimization Method for Wind- Photovoltaic-Battery Hybrid Renewable Energy Systems / S.M.R. Tito, T.T. Lie, T. Anderson. 2013 P. 8-13

24. Configuration of a standalone hybrid wind-diesel photoelectric unit for guaranteed power supply for mineral resource industry facilities / A.A. Belsky, A.N. Skamyin, E.V. Iakovleva // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 11. Number 1 (2016). P. 233-238

25. Energy Strategy of Russia for the period up to 2030 // App. to the public and business magazine “Energy Policy”. М.: Institute of Energy Strategy, 2010. 172 p.

26. Hybrid solar and wind power: an essential for information communication technology infrastructure and people in rural communities / LA. Adejumobi, S.G. Oyagbinrin, F. G. Akinboro & M.B. Olajide // IJRRAS 9(1) – October 2011. P.130-138

27. Hybrid power generation system / Gagari Deb, Ramananda Paul, and Sudip Das // International Journal of Computer and Electrical Engineering. Vol.4. No. 2. April 2012. P. 141-144

28. NASA POWER Data Access Viewer. Prediction Of Worldwide Energy Resources [Электронный ресурс]: URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-accessviewer/> (дата обращения: 18.02.2024).

29. Nigam A., Sharma K. K. Integration of Hybrid Energy Model with Solar PV, Hydro & Wind Turbine by Using MATLAB/Simulink //2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS). – IEEE, 2022. С. 228-232.

30. Mahesar S. et al. Power management of a stand-alone hybrid (wind/solar/battery) energy system: An experimental investigation //International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2018. Т. 9. №. 6.

Приложение А

Генеральный план посёлка Сангар

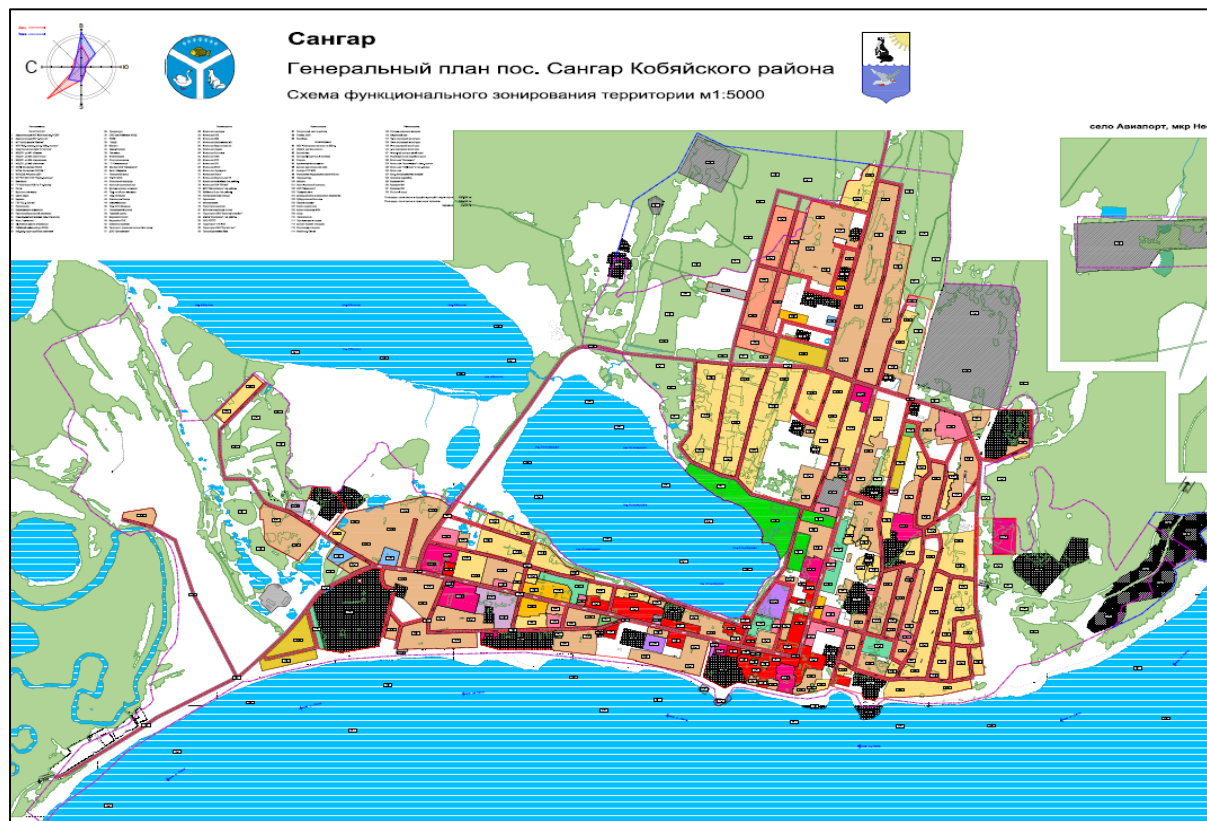


Рисунок А.1- генеральный план

Приложение Б

Матрица SWOT-анализа

Таблица Б.1- итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны С1. Конкурентно-низкая стоимость проекта С2. Новизна для конкретного посёлка/местности С3. Высокая эффективность	Слабые стороны СЛ1. Объект исследования находится на большом отдалении. СЛ2. Вероятность ошибки в полученных данных. СЛ3. Реализация исследования требует проработки большого количества информации и сбора данных.
Возможности В1. Возможность практической апробации новых технических решений и модернизация решения с учётом практического применения. В2. Появление спроса на аналогичные исследования В3. Развитие у специалистов, находящихся на данной территории, новых компетенций и навыков. В4. создание более совершенных требований к оборудованию и реализация данных требований в конкурентоспособный продукт.	Практическое использование новых технологий для производства электроэнергии. Новые методы диагностики оборудования для совершенствования процедур ремонта и обслуживания. Высокая эффективность генерации по сравнению с аналогами, низкая ресурсоёмкость, позволяющая сократить издержки на топливо.	Технологически более совершенное оборудование позволит обеспечить более простую настройку и оптимизацию режимов системы.
Угрозы У1. отсутствие на территории персонала с необходимыми знаниями и навыками. У2. незаинтересованность в масштабировании крупных игроков рынка (инвесторов). У3. Сложность доставки и монтажа оборудования.	Энергоснабжение с помощью гибридной электростанции с применением ВИЭ потребует более высокой степени автоматизации и новых компетенций от сотрудников.	Необходимость разработки детального бизнес-плана для привлечения в проект крупных инвесторов.