

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(Национальный исследовательский университет)
Политехнический институт. Энергетический факультет
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

ПРОВЕРЕНО
Рецензент

_____ С.Н. Трофимова
(подпись, место для печати)
« ____ » _____ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующая кафедрой

_____ И.М. Кирпичникова
(подпись)
« ____ » _____ 2019 г.

Электроснабжение горнолыжного комплекса с использованием ВИЭ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель
к.т.н., доцент

_____ Д.В. Коробатов
« ____ » _____ 2019 г.

Автор
Студент группы П-388

_____ Д.И. Отставнов
« ____ » _____ 2019 г.

Нормоконтролер
старший преподаватель

_____ Н.Ю. Аверина
« ____ » _____ 2019 г.

Челябинск 2019

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
 «Южно-Уральский государственный университет»
 (Национальный исследовательский университет)
 Политехнический институт. Энергетический факультет
 Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»
 Направление 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

УТВЕРЖДАЮ
 Заведующая кафедрой

_____ И.М. Кирпичникова

«__» _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ
 на выпускную квалификационную работу студента
 Отставнова Дмитрия Игоревича

(Фамилия, имя, отчество полностью)

Группа ПЗ-388

1 Тема работы

Электроснабжение горнолыжного комплекса с использованием ВИЭ
 утверждена приказом по университету от 25.12.2018 г. № 2361, _____

2 Срок сдачи студентом законченной работы 09.01.2019 г. _____

3 Исходные данные к работе

1 Материалы преддипломной практики _____

2 Техническая и справочная литература _____

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ								
Изм	Лист	№ документа	Подпись	Дата	Электроснабжение горно- лыжного комплекса с использованием ВИЭ			Лит.		Лист	Листов		
Разраб.	Отставнов			В				К	Р	2	89		
Пров.	Коробатов			ФГАОУ ВО ЮУрГУ (НИУ) Кафедра «ЭССиСЭ»									
Н. контр.	Аверина												
Утв.	Кирпичникова												

5 Перечень графического материала с точным указанием обязательных чертежей.

1 Тема, цель, задачи. Теоретический чертеж. _____

2 Анализ загрязнения окружающей среды различными источниками электроэнергии. Теоретический чертеж. _____

3 План горнолыжного комплекса, графики нагрузки. Теоретический чертеж. _____

4 Выбор выключателей и линий электропередач. Теоретический чертеж. _____

5 Схема ветро-солнечной энергосистемы. Схема электрическая структурная. _____

6 Внешний вид КЭС ВРГБ. Теоретический чертеж. _____

7 Экономия электроэнергии. Теоретический чертеж. _____

8 Выводы по выпускной квалификационной работе. Теоретический чертеж. _____

Всего 8 листов

6. Дата выдачи задания « » _____ 201_ г.

Руководитель _____ Д.В. Коробатов
(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению _____ Д.И. Отставнов
(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Отставнов Д.И. Электроснабжение горнолыжного комплекса с использованием ВИЭ. – Челябинск, ЮУрГУ, ПЗ; 2019, 89 с, 35 ил., 19 табл., библиогр. список – 28 наим., 8 листов чертежей ф. А4

В выпускной квалификационной работе рассматривается проект электроснабжения горнолыжного комплекса с применением возобновляемых источников энергии, также уделено внимание вопросу электроснабжения потребителей на постоянном токе.

В работе рассмотрены различные виды ветроэнергетических установок, в результате чего была выбрана ветровая роторная турбина Болотова.

Проведенное исследование возможности электроснабжения потребителей постоянным током показало необходимость внедрения данного вида в электрификацию потребителей.

Математическим путем была определена эффективность использования частотных преобразователей в целях экономии электрической энергии.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ОБЗОР СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ.....	9
2 РАСЧЕТ НАГРУЗКИ ГОРНОЛЫЖНОГО КОМПЛЕКСА	14
2.1 Разработка плана горнолыжного комплекса.....	14
2.2 Дополнительные сведения о горнолыжном комплексе	15
2.3 Категории надежности электроснабжения потребителей горнолыжного комплекса.....	15
2.4 Расчет нагрузки	16
2.5 Построение суточных и годовых графиков нагрузки	17
3 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРНОЛЫЖНОГО КОМПЛЕКСА	22
3.1 Определение координат РП	22
3.2 Выбор защитных аппаратов.....	22
3.3 Расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования	28
4 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА И СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ	35
4.1 Разработка структурной схемы ветро-солнечной энергосистемы.....	35
4.2 Выбор инвертора.....	38
4.3 Выбор аккумуляторных батарей	40
4.3.1 Аккумуляторные батареи с технологией AGM	40
4.3.2 Аккумуляторные батареи с технологией GEL.....	41
4.3.3 Определение энергопотребления и емкости АБ.....	41
4.3.4 Определение количества аккумуляторных батарей	42
4.4 Расчет фотоэлектрических модулей	46
4.4.1 Выбор фотоэлектрических модулей	46
4.5 Выбор ветроэнергетической установки.....	48
4.5.1 ВЭУ с горизонтальной осью вращения	50
4.5.2 ВЭУ с вертикальной осью вращения	50
4.5.3 Отличительные особенности вертикально-осевых ВЭУ	52
4.5.4 Ориентация на ветер.....	53
4.5.5 Зависимость эффективности от алгоритма работы.....	53
4.5.6 Размещение генератора и мультипликатора	54

4.5.7	Запуск ротора.....	54
4.5.8	Коэффициент использования энергии ветра.....	54
4.5.9	Поворот лопастей.....	55
4.5.10	Конструкция и эффективность лопасти	56
4.5.11	Быстроходность.....	57
4.5.12	Воздействие на окружающую среду.....	57
4.5.13	Рациональность силовой схемы ротора.....	58
4.5.14	Динамика опорной башни.....	58
4.6	Расчет энергии ветра.....	62
4.7	Расчет количества ВРТЬ.....	66
4.8	Выбор резервного источника питания.....	66
5	ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ.....	68
5.1	Проблемы трехфазного тока в России.....	68
5.2	Электроснабжение на постоянном токе	69
5.3	Потребители электрической энергии комплекса.....	70
5.4	Экономическое обоснование исследования на постоянном токе	71
5.5	Применение частотного преобразователя для экономии электроэнергии.....	72
5.5.1	Конструкция частотного преобразователя.....	74
5.5.2	Методы управления	75
5.5.3	Методы модуляции	76
6	РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	78
6.1	Расчет финансовых показателей	78
6.2	Расчет показателя экономической эффективности инвестиций	79
6.3	Экономическое обоснование выполненной работы.....	81
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	84
	ПРИЛОЖЕНИЕ. АЛЬБОМ ИЛЛЮСТРАЦИЙ.....	88

ВВЕДЕНИЕ

Современный мир нельзя вообразить без использования энергии. На сегодняшний день вопрос энергетики остается одним из самых актуальных. Не менее важной темой является экологичность получения электроэнергии. Привычные нам способы получения энергии, а именно сжигание ископаемого топлива (угля, нефти, газа и т.п.), наносят экологический вред окружающей среде. С каждым годом количество населения планеты растет, а, следовательно, увеличивается спрос на энергию и тем самым возрастает количество выбросов в атмосферу.

Использование атомной энергетики также ставит под угрозу человечество, авария на Чернобыльской АЭС понесла за собой гибель многих людей и огромную территорию зараженную радиацией. После аварии на японской АЭС «Фукусима-1» ФРГ остановила для проверки 8 реакторов мощностью 8,8 ГВт, заменив их не газом или импортным топливом, а энергией ветра и солнца. Это еще раз подтверждает возможность перехода от традиционной энергетики к возобновляемой.

Альтернативные источники энергии это современный подход к получению энергии. Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) наносит минимальный вред окружающей среде. Потенциал возобновляемой энергетики в нашей стране довольно велик. Из ВИЭ мы имеем возможность получать до одной четвертой всей нужной России энергии, не нанося вреда экономике, ведь все используемые для этого технологии и средства в России уже есть.

К возобновляемой энергетике относят: солнечную, геотермальную, приливную, атомную, энергию ветра, энергию волн. В России на данный момент наиболее развита гидроэнергетика, также развиваются солнечная и ветроэнергетика.

Целью выпускной работы является разработка системы электроснабжения горнолыжного комплекса с применением ВИЭ, исследование возможности электроснабжения на постоянном токе.

В рамках поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) выполнить обзор состояния вопроса и перспектив развития, разработать план горнолыжного комплекса;
- 2) рассчитать нагрузки и токи КЗ, выбрать защитное оборудование;
- 3) провести выбор солнечных панелей, ветроэнергетической установки, аккумуляторных батарей;
- 4) выбрать инвертор, частотный преобразователь;
- 5) провести исследование возможности электроснабжения постоянным током;
- 6) произвести технико-экономическую оценку выполненной работы.

Объект работы – горнолыжный комплекс.

Предмет работы – система электроснабжения горнолыжного комплекса.

1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ

Согласно экспертным данным в 2019 году ожидается повышение электроэнергии более чем 3,4%. При таком росте цен практически каждый потребитель ЖКХ постоянно сталкивается с проблемами предоставления электроэнергии с отклонениями качества или недопустимых перерывов в электроснабжении. Подача некачественной электроэнергии может привести к выходу из строя электрооборудования или ухудшения характеристик работы.

Решением этой проблемы может стать развитие системы электроснабжения жилищно-коммунального сектора на основе ВИЭ, рассматриваемой в проекте. На сегодняшний день Россия отстает от других стран по выработке электроэнергии из возобновляемых источников.

По оценкам энергетиков, к 2020 году доля ВИЭ в энергобалансе страны составит 1,5%. Из законодательных актов может сложиться впечатление, что в России созданы достаточные условия для развития ВИЭ на оптовом рынке. Тем не менее, выполнение намеченных целей находится под большим вопросом. Достигнуть 4,5% к 2020 году в нынешних условиях, по мнению многих экспертов, не удастся, так как это направление совершенно не поддерживается Минэнерго РФ [1].

Факторами, тормозящими развитие альтернативной энергетики в России, являются избыток генерирующих мощностей и как следствие, низкие цены на традиционные энергоносители, а также недостаток инвестиций.

Еще одним фактором, сдерживающим развитие ВИЭ, является отсутствие систем накопления и хранения электрической энергии на переменном токе промышленной частоты. Накопление и хранение электроэнергии в химических аккумуляторах возможно только на постоянном токе, при этом сложность преобразования постоянного тока в переменный для питания потребителей приводит к потере до 40% полученной энергии.

В статье [2] рассматриваются вопросы устойчивого развития энергетики на базе возобновляемых источников энергии. Показана необходимость перехода к новым технологиям возобновляемой энергетики.

В книге [3] приведен анализ перспектив использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), обзор преимуществ ВИЭ по сравнению с топливной энергетикой в потреблении первичной и производстве электрической энергии в мире и в России. Оценка энергетической и экономической эффективности ВИЭ. Обзор развития ВИЭ в России, анализ барьеров и препятствий на путях использования ВИЭ. Сформулированы предложения по первоочередным мерам преодоления этих препятствий

В монографии [4] рассмотрены энергетические характеристики основных видов природных возобновляемых источников энергии, значительное внимание уделено вопросам повышения энергоэффективности преобразования первичного энергоресурса и рациональному построению автономных систем электроснабжения с использованием электростанций, использующих различные виды ВИЭ.

Представлены экономические аспекты использования возобновляемой энергетики в автономном электроснабжении.

Сильная сторона возобновляемой энергетики в России – возможность реализации небольших проектов в изолированных от энергоснабжения регионах [5]. В выпускной работе приведено решение автономного электроснабжения горнолыжного комплекса.

Традиционная энергетика наносит существенный вред экологии. Для ТЭС характерно высокое радиационное и токсичное загрязнение окружающей среды. Это обусловлено тем, что обычный уголь, его зола содержат микропримеси урана и ряда токсичных элементов в значительно больших концентрациях, чем земная кора.

При строительстве крупных ТЭС или их комплексов загрязнение еще более значительно. При этом могут возникать новые эффекты, например, обусловленные превышением скорости сжигания кислорода над скоростью его образования за счет фотосинтеза земных растений на данной территории, или вызванные увеличением концентрации углекислого газа в приземном слое.

В статье [6] рассматриваются вопросы, связанные с возможностями использования возобновляемой энергетики для снижения антропогенных нагрузок на окружающую среду, экоэнергетические вопросы и предотвращение опустынивания, проблемы деградации почв и засухи в мировом масштабе.

Вопрос электроснабжения от автономных источников питания становится все более актуальным в связи с повышением роста тарифов на электроэнергию и снижения ее качества. Одним из выходов из сложившейся ситуации является разработка электроснабжения постоянным током для жилищно-коммунального сектора. В статье [7] приводятся примеры бытовых потребителей, которые смогут работать на постоянном токе, не теряя свои технические характеристики. Авторами создан стенд, с помощью которого можно практически проверить достоверность этого предположения.

Определение технических возможностей применения постоянного тока для электроснабжения электроустановок различных групп потребителей объектов ЖКХ, включая жилые помещения, предприятия малого бизнеса, установки уличного освещения; доказательство экономической эффективности применения постоянного тока рассматривается в статье [8].

В статье [9] проведены исследования, обосновывающие возможность создания систем автономного электроснабжения исключительно на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). Рассмотрены вопросы синхронизации генерирующих модулей ВИЭ на постоянном токе, накопления энергии, её преобразования, распределения, регулирования и осуществления баланса в системе. Представлена современная элементная база с системой автоматического управления и контроля решающие эти задачи. Выполнена экономическая оценка использования систем автономного электроснабжения на основе ВИЭ при разных условиях эксплуатации.

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		10

Бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией является одним из важных вопросов. В статье [10] представлено изобретение повышающее надежность электроснабжения потребителей за счет увеличения длительности режима потребления пиковых нагрузок потребителем вследствие использования накопителя с требуемой емкостью, и за счет снижения потерь на дополнительное регулирование параметров источника переменного тока. А также расширение функциональных возможностей способа за счет расширения диапазона мощностей энергосистемы, значительно превышающих мощности возобновляемых источников энергии, и за счет увеличения числа подключаемых к энергосистеме потребителей.

За последние десятилетие наблюдается значительный рост доли возобновляемых источников электрической энергии (ВИЭ) в общем объеме генерирующих мощностей. Однако внедрение все большего числа ВИЭ ставит перед энергетической системой новые вызовы. Непостоянный характер генерации ВИЭ, а также постепенный переход от централизованной системы энергоснабжения к распределенной, ведут к уменьшению стабильности и надежности энергетической системы. Одним из признанных вариантов решения данной проблемы является применение систем накопления электрической энергии (НЭЭ). В статье [11] проведен сравнительный анализ современных технологий НЭЭ и определены наиболее оптимальные варианты для применения на уровне распределенной генерации с участием ВИЭ.

Интерес к возобновляемой энергетике в настоящее время связан уже не столько с экологическими преимуществами, сколько с устойчивым, безопасным энергоснабжением. Высокие темпы роста возобновляемой энергетике на почти стагнирующем энергетическом рынке говорят о том, что возобновляемая энергетика с новыми технологиями претендует на серьезные роли в будущей мировой энергетике. Важным подтверждением этому является такой показатель, как приток инвестиций в данный сектор энергетике. В посткризисный период произошел географический сдвиг в инвестициях в возобновляемую энергетике - развивающиеся страны приблизились по абсолютному уровню инвестиций к группе развитых стран. Одним из объективных критериев уровня привлечения инвестиций является душевой показатель. По этому показателю в статье [12] составлена карта «География инвестиций в возобновляемую энергетике мира», по ней выделена и дана характеристика четырем типам стран.

В статье [13] рассказывается о результатах исследования, согласно которому глобальный переход на энергосистему, основанную на 100%-м употреблении возобновляемых источников энергии, является целесообразным. При этом такой переход является более рентабельным, чем существующая сегодня система генерации электричества, основанная, по большей части, на использовании ископаемого топлива и атомной энергии.

В статье [14] рассматриваются особенности стратегических концепций интенсивного применения возобновляемой энергетике в ключевых государствах-лидерах - Китай, США, Индия, страны Европейского союза, Великобритания и

другие - в области использования «зеленой» энергетики, их основные параметры, которые планируется достигнуть в среднесрочной перспективе. Отдельное внимание уделяется новому сегменту возобновляемой энергетики - рынку промышленного хранения энергии, оцениваются его инвестиционная и инновационная емкость. Кратко рассмотрены перспективы использования сопутствующих инноваций в возобновляемой энергетике, таких, как технологии блокчейн, микрогриды, цифровая энергетика. Автор дает оценку потенциалу финансового сбережения, формирующему саморазвитие отрасли, которым обладает возобновляемая энергетика. Оценивается текущее и потенциальное формирование новых рабочих мест в отрасли. Рассматриваются обобщенные принципы государственного стимулирования применения возобновляемой энергии на примере ряда стран. Кроме этого, исследуется государственное регулирование соотношения возобновляемой и невозобновляемой энергии. Предложены рекомендации по использованию передового мирового опыта для применения его в отечественных условиях. Приводятся примеры положительного воздействия массового применения возобновляемой энергии на повышение уровня жизни населения и её возможности по проведению более гибкой и менее дифференцированной ценовой политики в масштабах больших территорий, лишенных возможности использования централизованной энергии. Исследуются причины массового выхода из инвестиций в невозобновляемую энергию. Даны рекомендации по локализации средств производства возобновляемой энергии.

В статье [15] выполнен обзор эко-технологий, связанных с применением возобновляемых источников электроэнергии. Рассмотрены технические и экологические аспекты применения различных видов накопителей энергии, в том числе сверхпроводящих индуктивных накопителей энергии, гидроаккумулирующих станций, водородных и кинетических накопителей. Показаны преимущества последних по большинству показателей применения, а также по экологическим требованиям загрязнения, утилизации и эксплуатации.

Вывод по разделу один:

Приведен обзор состояния и рассмотрены перспективы развития возобновляемой энергетики, и электроснабжения потребителей постоянным током. В результате изучения научных статей и литературы можно сделать вывод о необходимости развития возобновляемой энергетики, которая в сравнении с традиционной энергетикой оказывает меньше отрицательных воздействий на окружающую среду. Территория нашей страны не полностью освоена человеком, а возобновляемые источники энергии, в свою очередь, позволяют обеспечить электроэнергией труднодоступные для традиционного электроснабжения районы.

В связи с ростом количества нелинейных потребителей (преобразователи частоты, выпрямители управляемые и неуправляемые, ЭВМ, полупроводниковые АБП и различные регуляторы и пр.) переменного тока напряжением до 1000В и особенно однофазной нагрузки резко возросли потери электроэнергии при ее

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		12

транспорте от источника генерации до потребителя. Существенный рост потерь происходит из-за сильного искажения формы тока, асимметричного протекания рабочих токов в кабельных и воздушных линиях, в трансформаторах, во внутри-домовых электрических сетях. Передача избыточной реактивной мощности также существенно снижает пропускную способность электрических линий и силовых трансформаторов. Применение постоянного тока для электроснабжения позволит снизить потери электроэнергии.

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		13

2 РАСЧЕТ НАГРУЗКИ ГОРНОЛЫЖНОГО КОМПЛЕКСА

2.1 Разработка плана горнолыжного комплекса

Проектируемый горнолыжный комплекс находится в гористой местности на высоте 1000 – 1290 м над уровнем моря. ГК находится на удаленном расстоянии от подстанций, в связи с этим в качестве источника энергии планируется применять солнечные панели и ветроэлектростанции с вертикально расположенным валом генератора.

Климат местности резко-континентальный с жарким летом и холодной зимой. Имеют место значительные колебания в температуре, как между сезонами, так и между временами суток.

На рисунке 2.1 изображен план проектируемого горнолыжного комплекса, цифрами обозначены номера домов.

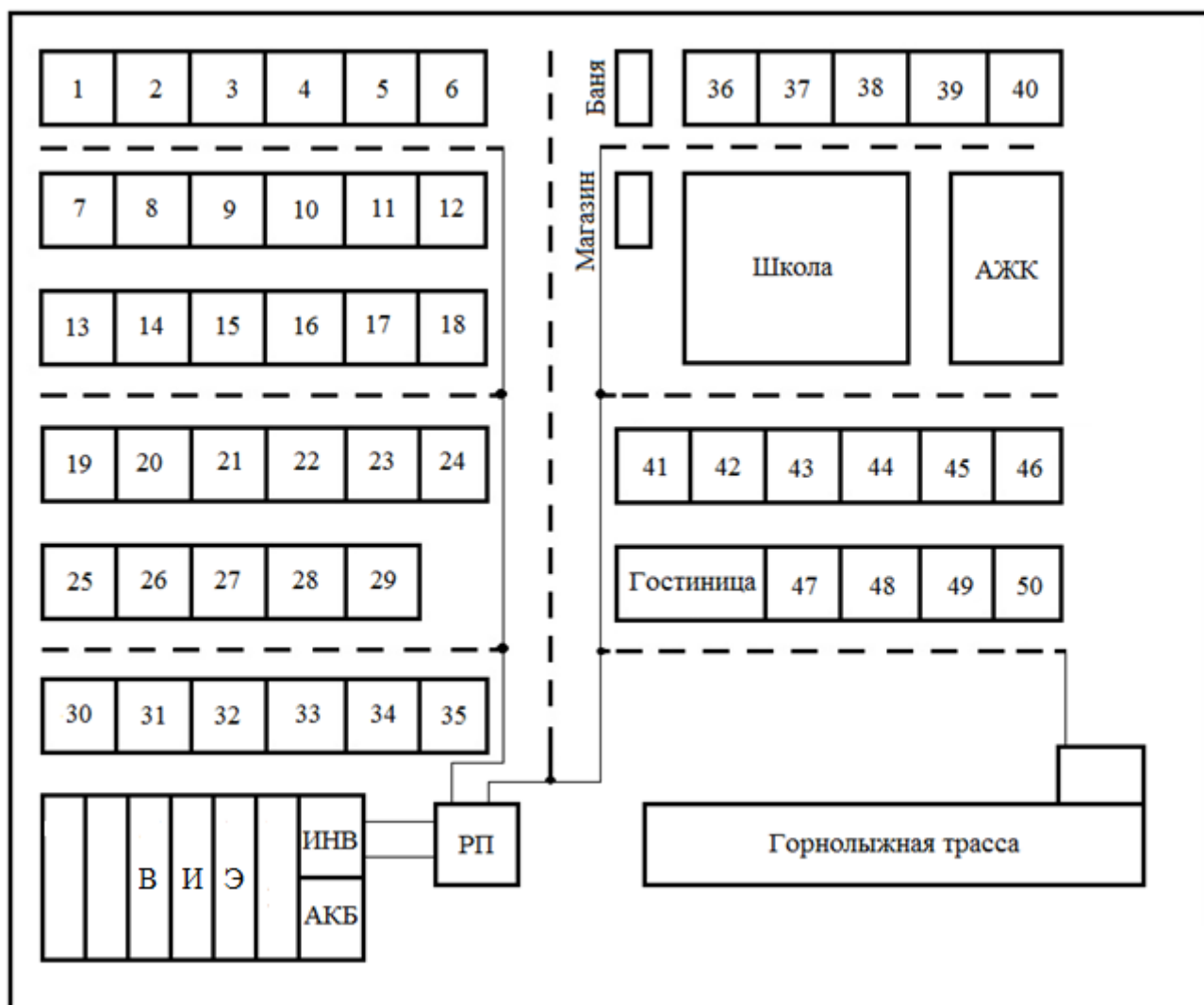


Рисунок 2.1 – План проектируемого ГК

2.2 Дополнительные сведения о горнолыжном комплексе

В горнолыжном комплексе расположены горнолыжная трасса, гостиничный комплекс, пятьдесят домов, обслуживающий персонал альтернативной ЖК, магазин, баня, школа. Альтернативная жилищная компания ведет расчет квитанций и отвечает за годовой и суточный график. Анализируя данные о потреблении мощности в сутки, заносим их в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристика потребителей

№	Потребитель и	Мощность, кВт				Коэф.	
		P_d	P_n	Q_d	Q_n	k_3	k_L
1	Горнолыжная трасса	60	39	30	-	2	2
2	Школа	24	30	8	20	2	2
3	Гостиница	16	31	7	20	2	2
4	Магазин	4	7	1	1	2	2
5	Обслуживающий персонал	11	11	15	8	2	2
6	Баня	9	8	7	5	2	2
7	Жилые дома (50 шт.)	120	200	57,5	75	2	2
8	Уличное освещение	-	4,9	-	3	2	2

2.3 Категории надежности электроснабжения потребителей горнолыжного комплекса

С точки зрения обеспечения надёжного и бесперебойного питания, приёмники электрической энергии подразделяются на три категории [16].

К первой категории относятся электроприёмники, перерыв электроснабжения которых может привести к: опасности для жизни людей, значительному ущербу народному хозяйству, повреждению дорогостоящего основного оборудования, массовому браку продукции, расстройству сложных технологических процессов, нарушению функционирования весьма значимых элементов коммунального хозяйства. На электроприёмники должно поступать электропитание от двух и более источников, при этом перерыв электроснабжения допустим лишь на время АВР 1 – 2 сек.

Во вторую категорию входят электроприёмники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой массовый недоотпуск продукции, массовый простой рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушение нормальной деятельности значительного числа городских и сельских жителей. Для приёмников данной категории перерыв электроснабжения допустим на время необходимое для включения резерва, но не более одного-двух часов.

В третью категорию входят все остальные электроприёмники, которые не подходят под определение к первой и второй категории. К ним относят различные

вспомогательные механизмы в основных цехах, цеха несерийного производства. Перерыв на всё время ремонта, но не более чем на 1 сутки.

Таким образом, приведенная классификация на категории надёжности электроснабжения дает возможность выполнить рациональный подбор общей комплектации системы на объекте электропотребления.

Классификация потребления ГК заносится в таблицу 2.2.

Таблица 2.2– Классификация потребителей ГК

№ э/п	Потребители	Категория потребителей э/э
1	Горнолыжная трасса	II
2	Школа	II
3	Гостиница	II
4	Магазин	III
5	Обслуживающий персонал	III
6	Баня	II
7	Жилые дома (50 шт.)	III
8	Уличное освещение	III

2.4 Расчет нагрузки

Чтобы спроектировать электрические линии, подстанции требуется рассчитать нагрузки отдельных электроприемников и их групп.

Основываясь на результатах исследований определяются основные вероятностные характеристики нагрузок потребителей ГК. Указаны средние значения активной P и реактивной Q мощностей для режимов вечернего и дневного максимума. Для примера в таблицу 2.3 сводятся характеристики нагрузок всех объектов горнолыжного комплекса.

Таблица 2.3 – Характеристики нагрузок дневного и ночного потребления

Дневное потребление								
№	Потребитель и	n	P_i , кВт	K_o	P_p , кВт	Q_i , кВт	Q_p , кВт	S_p , кВт
1	Горнолыжная трасса	1	60	1	60	30	30	
2	Школа	1	14	0,6	14	10	10	
3	Гостиница	1	15	0,6	15	8	8	
4	Магазин	1	2	0,6	2	-	-	
5	Обсл. персонал	1	15	1	15	20	20	
6	Баня	1	8	1	8	7	7	
7	Жилые дома (50 шт.)	50	175	0,6	175	57,5	57,5	

Окончание таблицы 2.3

8	Уличное освещение	1	-	0	-	-	-	
	Всего				289		117,5	406,5
Ночное потребление								
№	Потребитель и	n	P _i , кВт	K _о	P _p , кВт	Q _i , кВт	Q _p , кВт	S _p , кВт
1	Горнолыжная трасса	1	-	0	-	-	-	
2	Школа	1	15	1	40	15	20	
3	Гостиница	1	30	1	16	30	8	
4	Магазин	1	3	1	4	3	-	
5	Обслуживающий персонал	1	2	0,6	9	2	-	
6	Баня	1	8	1	3	8	6	
7	Жилые дома (50 шт.)	50	200	1	200	200		
8	Уличное освещение	1	4,9	1	4,9	4,9	3	
	Всего				262,9		93	352,9

2.5 Построение суточных и годовых графиков нагрузки

Для выбора электроснабжающей установки необходимо построить суточные и годовые графики нагрузок потребления электроэнергии горнолыжного комплекса.

Чтобы построить суточный график необходимо использовать получасовые значения нагрузок. Потребляемая электроэнергия является суммарной нагрузкой суточного графика. Расчет зимней нагрузки изображен на рисунке 2.2.

Построение годового графика нагрузки основывается на значениях нагрузки, повторяемой по часам. Используя максимальные нагрузки данных графиков можно выбрать установки. На рисунке 2.3 изображен график зимней нагрузки.

Расчет потребления зимней годовой электроэнергии:

$$W_3 = W_t \cdot n = 4465,05 \cdot 185 = 826034,25 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Суточное потребление зимней энергии:

$$W_t = \sum P = 4465,05 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Расчет потребления летней годовой электроэнергии:

$$W_3 = 4291,65 \cdot 180 = 772497 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Расчет суточного летнего потребления энергии:

$$W_t = \sum P = 4291,65 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Расчет годового потребления электроэнергии:

$$W_{\text{ГОД}} = 1598531,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Построение годового графика по продолжительности осуществляется, используя суточные летние и зимние графики. Годовая нагрузка показана на рисунке 2.6.

D2		fx		=B2*C2	
	A	B	C	D	E
1	t, час	P, кВт	%	Pp, кВт	
2	0_1	289	0,4	115,6	
3	1_2	289	0,4	115,6	
4	2_3	289	0,4	115,6	
5	3_4	289	0,4	115,6	
6	4_5	289	0,45	130,05	
7	5_6	289	0,5	144,5	
8	6_7	289	0,6	173,4	
9	7_8	289	0,65	187,85	
10	8_9	289	0,75	216,75	
11	9_10	289	0,9	260,1	
12	10_11	289	1	289	
13	11_12	289	0,8	231,2	
14	12_13	289	0,7	202,3	
15	13_14	289	0,6	173,4	
16	14_15	289	0,75	216,75	
17	15_16	289	0,75	216,75	
18	16_17	289	0,7	202,3	
19	17_18	289	0,7	202,3	
20	18_19	289	1	289	
21	19_20	289	0,95	274,55	
22	20_21	289	0,7	202,3	
23	21_22	289	0,5	144,5	
24	22_23	289	0,45	130,05	
25	23_24	289	0,4	115,6	
26	Всего			4465,05	

Рисунок 2.2 – Расчет зимней нагрузки

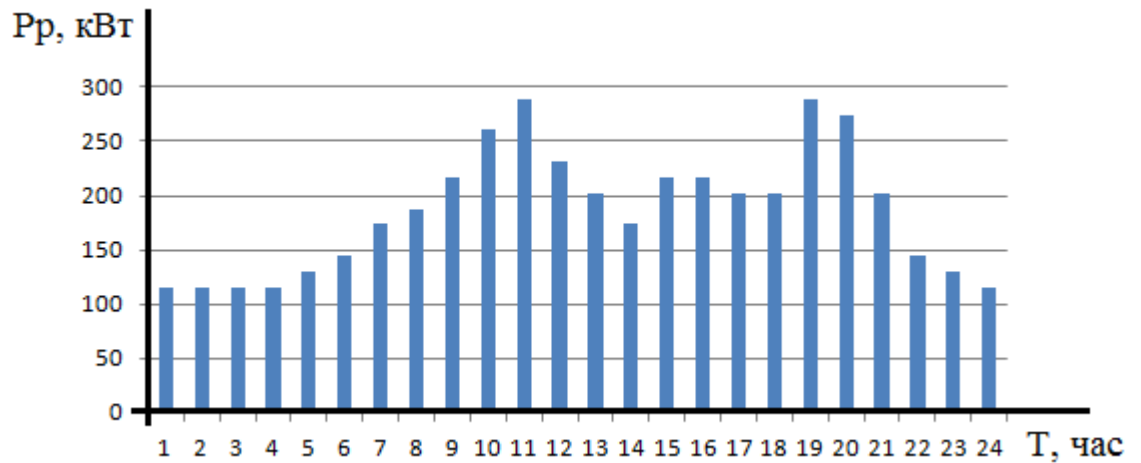


Рисунок 2.3 – График зимней нагрузки

На рисунке 2.4 изображен расчет летних нагрузок.

D2		fx		=B2*C2	
	A	B	C	D	E
1	t, час	P, кВт	%	Pp, кВт	
2	0_1	289	0,35	101,15	
3	1_2	289	0,35	101,15	
4	2_3	289	0,35	101,15	
5	3_4	289	0,35	101,15	
6	4_5	289	0,4	115,6	
7	5_6	289	0,5	144,5	
8	6_7	289	0,6	173,4	
9	7_8	289	0,7	202,3	
10	8_9	289	0,8	231,2	
11	9_10	289	0,9	260,1	
12	10_11	289	1	289	
13	11_12	289	0,8	231,2	
14	12_13	289	0,55	158,95	
15	13_14	289	0,55	158,95	
16	14_15	289	0,65	187,85	
17	15_16	289	0,7	202,3	
18	16_17	289	0,7	202,3	
19	17_18	289	0,65	187,85	
20	18_19	289	0,65	187,85	
21	19_20	289	0,65	187,85	
22	20_21	289	0,7	202,3	
23	21_22	289	1	289	
24	22_23	289	0,6	173,4	
25	23_24	289	0,35	101,15	
26	Всего			4291,65	

Рисунок 2.4 – Расчет летней нагрузки

График летней нагрузки показан на рисунке 2.5.

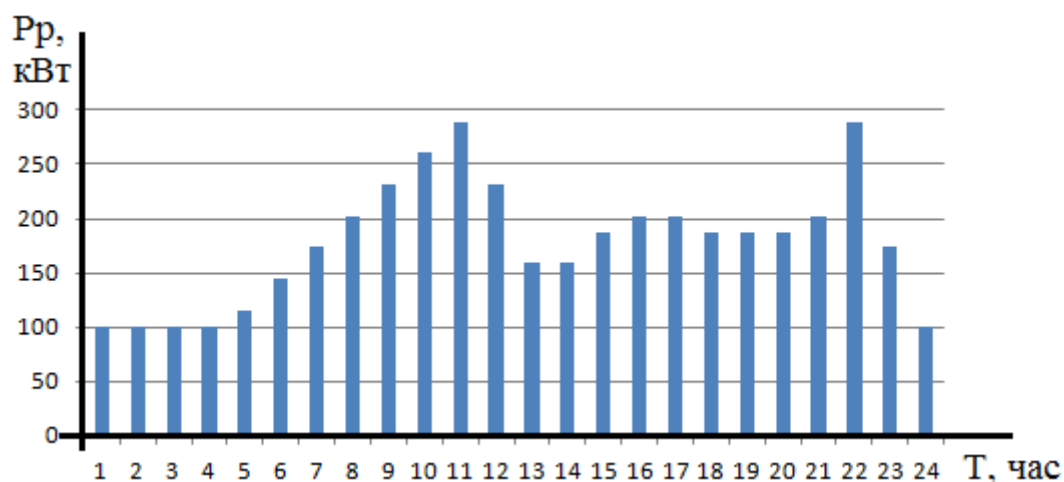


Рисунок 2.5 – График летней нагрузки

C2		fx =A2*B2	
	A	B	C
1	Pp, кВт	t, час	W, кВт*час
2	101,15	900	91035
3	115,6	1105	127738
4	130,05	370	48118,5
5	144,5	550	79475
6	158,95	360	57222
7	173,4	730	126582
8	187,85	905	170004,25
9	202,3	1460	295358
10	216,75	555	120296,25
11	231,2	545	126004
12	260,1	365	94936,5
13	274,55	185	50791,75
14	289	730	210970
15	Всего	8760	1598531,3

Рисунок 2.6 – Расчет годовой нагрузки

График годовой нагрузки показан на рисунке 2.7.

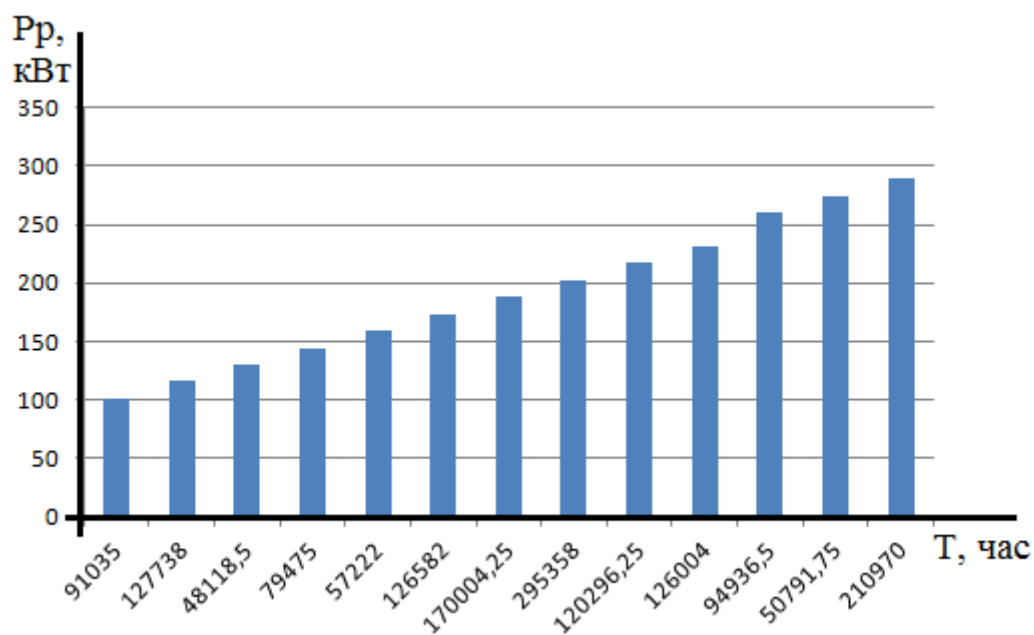


Рисунок 2.7 – Годовой график нагрузки

Вывод по разделу два:

Разработан план горнолыжного комплекса, проведена классификация потребителей горнолыжного комплекса по категориям надежности, рассчитаны и построены суточные и годовые графики нагрузки.

3. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРНОЛЫЖНОГО КОМПЛЕКСА

3.1 Определение координат РП

Координаты РП определяются по формуле:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P p_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^{i=n} P p_i},$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P p_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^{i=n} P p_i}.$$

Таблица 3.1 – Определение координат РП

№	Название объекта	P, кВт	x	y	x · P	y · P
1	Школа	10	327,5	317,5	6765	6156
2	Гостиница	20	267,5	170	8425	5500
3	Магазин	5	265	340	1130	1420
4	Баня	9	265	380	2160	3240
5	Жилые дома (50 шт.)	311	98,5	227	28850	66800
6	АЖК	16	426,5	306	6502	4605
7	Горнолыжная трасса	60	405	95	24300	5700
Всего		437			78097	93765

Полученные координаты РП: X=179, Y=215.

3.2 Выбор защитных аппаратов

Согласно ПУЭ [1] на линии 0,38 кВ и ее концах определяется падение напряжения.

$L_1 = 0,13$ км; $L_2 = 0,22$ км.

СИП 4x95; $r_0 = 0,651$ Ом/км.

$$R_1 = L_1 \cdot r_0$$

$$R_1 = 0,13 \cdot 0,65 = 0,119 \text{ Ом}$$

$$R_2 = L_2 \cdot r_0$$

$$R_2 = 0,22 \cdot 0,65 = 0,27 \text{ Ом}$$

$$I_{1,2} = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi}$$

где $P = 3,5 \text{ кВт}$ – активная мощность одного коттеджа; $\cos\varphi = 0,9$

$$I_{1,2} = \frac{3,5}{0,38 \cdot 0,9} = 10,23 \text{ А}$$

$$\Delta U = 2 \sum I_i \cdot R_i$$

$$\Delta U = 2[(10,23 + 10,23) \cdot 0,019 + 10,23 \cdot 0,07] = 4,64 \text{ В}$$

$$S_p = S_i \cdot n$$

$$S_p = 3,5 \cdot 6 = 21 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H}$$

$$I_p = \frac{21}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9} = 35,45 \text{ А}$$

Выбор автоматического выключателя для марки ВА88 - 32:

1) $I_{\text{ном.ав.}} > I_{\text{дл.}}$; $125 \text{ А} > 35,45 \text{ А}$

2) $I_{\text{ном.расц.}} > I_{\text{дл.}}$; $125 > 35,45 \text{ А}$

3) $I_{\text{сраб.эл.расц.}} > 1,25 \cdot I_{\text{пуск}}$; $500 \text{ А} > 1,25 \cdot 106,35 \text{ А}$; $500 \text{ А} > 132,9 \text{ А}$.

Выбор автоматического выключателя на 0,38 кВ.

$$S_{p0,4} = 411,05 \text{ кВА}$$

$$I_{p0,4} = \frac{S_{\text{ЛЭП}}}{\sqrt{3} \cdot U_H},$$

$$I_{p0,4} = \frac{411,05}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 624,54 \text{ А},$$

$$I_{\text{н.авт.}} \geq I_{p0,4} \quad 750 \text{ А} > 624,54 \text{ А},$$

$$I_{н.расц.} \geq I_{p0,4} \quad 750A > 624,54A,$$

Тип автомата ВА88 - 35.

Выбор шинпровода:

$$I_p = 624,54 A.$$

$$I_p < I_{шин}, \quad 624,54 A < 750 A$$

ШРА73ВУЗ 750А

Выбор кабелей от инверторов до РП.

Расчет тока, проходящего по одной линии:

$$I_{рЛЭП} = \frac{S_{ЛЭП}}{\sqrt{3} \cdot U_H},$$

$$I_{рЛЭП} = \frac{430,75}{\sqrt{3} \cdot 10} = 24,87 A.$$

Сечение проводов определяется по экономической плотности тока:

$$F = \frac{I_{рЛЭП}}{j}, \text{ мм}^2$$

где $j = 1,1 \text{ A/мм}^2$ экономическая плотность тока.

$$F = \frac{24,87}{1,1} = 22,6, \text{ мм}^2$$

для кабельной линии на 0,4кВ не проверяется. Выбирается кабель АВВБ - 95 мм² с $I_{д.д} = 250A$ (одножильный).

Провода выбираются из условия проверки выбранных проводов по допустимому нагреву:

$$I_{доп} = 105A > I_p = 24,87A$$

Выбирается провод АС - 16/2,7, $I_{доп} = 105 A$ [5].

Потери электроэнергии в ЛЭП:

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		24

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}} = 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot \tau, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}} = 3 \cdot 24,87^2 \cdot 3,56 \cdot 919,58 = 6074,5, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

где R – реактивное сопротивление, Ом.

$$R = r_0 \cdot L, \text{ Ом}$$

$$R = 1,78 \cdot 2 = 3,56, \text{ Ом}$$

Расчет мощности для каждой улицы сводится в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Расчет мощности

Улицы	Строения	P _i , кВт	Точка нагрузки	Длина линий, км	ΔU
Аносова	Жилой дом	3,5	6	0,345	4,29
Бейвеля	Жилой дом	3,5	6	0,240	3,53
Воровского	Жилой дом	3,5	6	0,150	3,59
Гагарина	Школа	20	3	0,405	10,3
	АЖК	15			
	Магазин	2			
Гагарина	Жилой дом	3,5	3	0,360	10,8
	Баня	20	1		
Энгельса	Жилой дом	3,5	3	0,270	2,76
Ленина	Жилой дом	3,5	2	0,225	2,33
	Гостиница	30	1		

Выбираются провода маркой и сечением СИП - 4.

Самонесущий изолированный провод (СИП) используется в воздушных линиях электропередач, в силовых электросетях, а также применяется для освещения при напряжении до 1000 В. [17] Достоинства проводов СИП:

- 1) Нет необходимости в установке мощных изоляторов на линии.
- 2) Изолированная линия безопасна для специалистов, обслуживающих ее.
- 3) Ширина трассы линии уменьшена из-за того, что все жилы соединены в одной изоляции.
- 4) Применяется в любых условиях погоды.
- 5) Не подвержены коррозии.
- 6) Кража проводов затруднительна, и легко видна.
- 7) Экологически безвредны для людей и животных.

- 8) Невосприимчивы к переклестыванию проводов.
- 9) Простая и легкая укладка линии.
- 10) Реактивные потери снижаются в 3 раза по сравнению с традиционными проводами на изоляторах.
- 11) Более стабильные параметры при передаче электроэнергии.

Маркировка СИП:

1) СИП-1 имеет одинаковые фазные жилы, но нулевые несущие отличаются. В этом варианте нулевая жила оголена, а в марке с индексом "н" - изолированная.

2) СИП-2 изготовлен точно так же, но изоляцией является сшитый полиэтилен, сохраняющий высокие механические и электрические свойства при температуре 130 °С (обычный материал теряет форму уже при 85 °С). Изделия данной марки применяются в условиях активных атмосферных воздействий.

3) СИП-3 состоит всего из одной жилы со стальным сердечником и может применяться в воздушных ЛЭП мощностью до 35 кВ.

4) СИП-4 и 5 – изделия содержат токопроводящие жилы при отсутствии несущей нулевой. Если есть обозначение "н", то это говорит о том, что материалом является алюминиевый сплав. Марки проводов используются для создания отводов от ЛЭП к жилым строениям и для осветительных сетей. Кроме них, также может применяться другая марка, например провод СИП-2х16. Последнее число здесь означает минимальный размер сечения в квадратных мм.

Внешний вид провода СИП - 4 показан на рисунке 3.1.

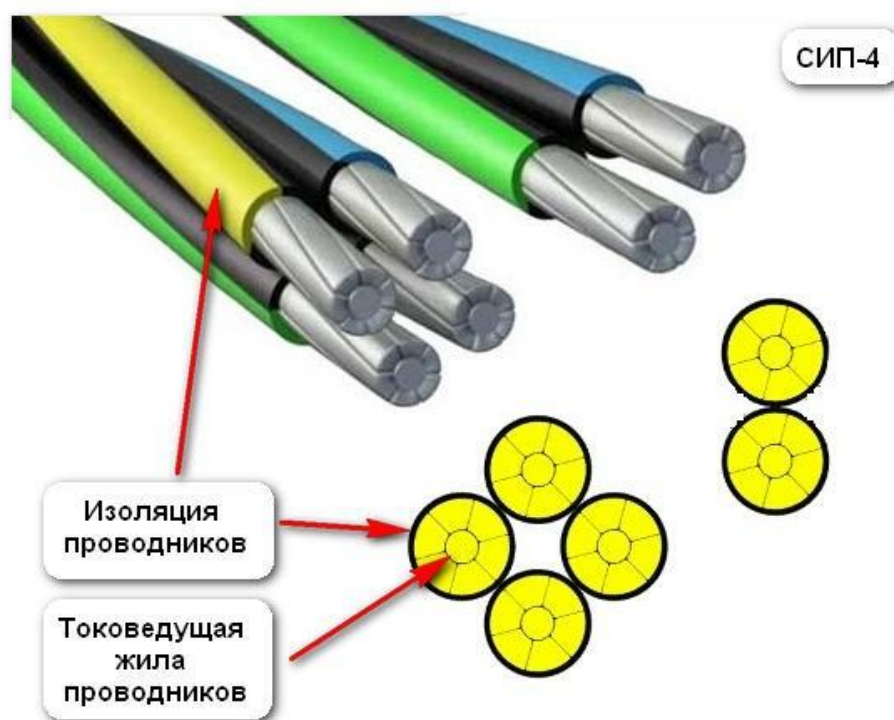


Рисунок 3.1– Внешний вид провода СИП - 4

В таблице 3.3 приведен выбор выключателей и линий электропередач.

Таблица 3.3- Выбор выключателей и линий электропередач

Улица	Учрежде-не	Мощность одного учрежде-ния	Кол -во	Sp, кВА	Ip, А	Iп. А	Ток распрепителя, А		Уставка мгновен- ного срабатыва- ния, А		Токовая нагрузка провода		Марка и сечение провода
							Iрасч расч	Iрасч и ом	Iср.расч	Iном.ср	К3*Iз	Iдоп. пров., А	
Аносова	Жилой дом	3,5	12	21	35,45	106,35	35,45	125	132, 9	500	125	130	СИП4х50
	Жилой дом	3,5	12	21	35,45	106,35	35,45	125	132, 9	500	125	130	СИП4х50
Воровского	Жилой дом	3,5	11	21	35,45	106,35	35,45	125	132, 9	500	125	130	СИП4х50
	Школа	20	1	20									
	АЖК	15	1	15	65,84	194,52	65,84	125	243, 1	500	125	130	СИП 4х70
Гагарина	Магазин	4	1	4									
	Жилой дом	3,5	5	17,5	43,04	129,12	43,04	125	161, 4	500	125	130	СИП4х50
Гагарина	Баня	8	1	8									
	Жилой дом	3,5	6	21	35,45	106,35	35,45	125	132, 9	500	125	130	СИП4х50
Энгельса	Жилой дом	3,5	4	14	57,39	172,17	57,39	125	215, 2	500	125	130	СИП 4х70
	Гостиница	30	1	30									

3.3 Расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования

Расчёт токов короткого замыкания проводится в относительных единицах. Базисными величинами принимаются мощность $S_б = 10$ кВт, и напряжение $U_б = 380$ В, тогда базисный ток будет:

Кабель ААБГ-3(1х95)+(1х70): $r_{каб} = 0,41$ мОм/м; $x_{каб} = 0,057$ мОм/м.

$$R_{каб} = r_{каб} \cdot l$$

где l – длина кабеля, равная 1000м

$$R_{каб} = 0,41 \cdot 1000 = 410 \text{ мОм};$$

$$X_{каб} = x_{каб} \cdot l$$

$$X_{каб} = 0,057 \cdot 1000 = 57 \text{ мОм}.$$

Шинопровод ШРА73ВУЗ: $R_{шпра} = 0,21$ мОм; $X_{шпра} = 0,21$ мОм;

Выключатель ВА88 - 35: $R_{авт} = 0,305$ мОм; $X_{авт} = 0,235$ мОм;

Провод СИП4х50 : $R_{пров} = 2,4$ мОм; $X_{пров} = 0,078$ мОм.

$$R_1 = R_{каб} + R_{шин} + R_{авт} + R_{пров} = 412,9 \text{ мОм};$$

$$X_1 = X_{каб} + X_{шин} + X_{авт} + X_{пров} + X_{сет} = 71,963 \text{ мОм}.$$

На рисунке 3.2 изображена схема короткого замыкания.

Ток трехфазного короткого замыкания определяется по формуле:

$$I_{КЗ}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z}, \text{ А}$$

где U_H – номинальное напряжение сети, равное 0,4 кВ.

Полное сопротивление сети определяется по формуле:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \text{ Ом}$$

В точке К1 ток трехфазного короткого замыкания:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{412,9^2 + 71,963^2} = 419,12, \text{ мОм};$$

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		28

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 419,12} = 0,52, \text{кА.}$$

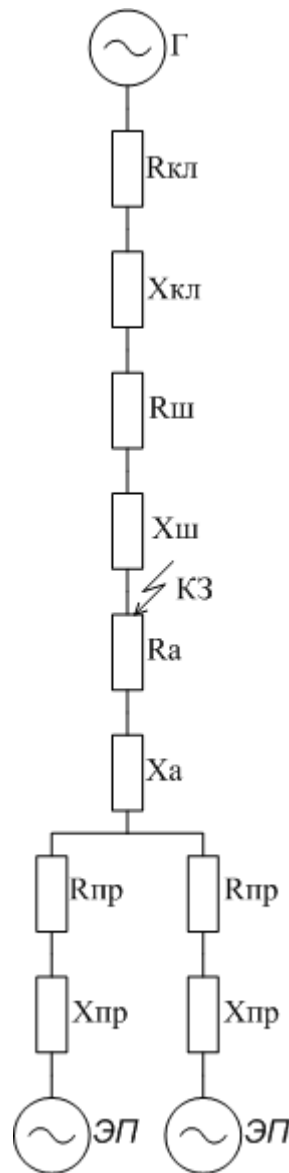


Рисунок 3.2 – Схема короткого замыкания

Ток двухфазного короткого замыкания определяется по формуле:

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = I_{\text{кз}}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = 0,52 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,45 \text{кА}$$

Ток однофазного короткого замыкания рассчитывается по формуле:

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{1}{3}Z_{mp} + Z_n}$$

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{220}{\frac{1}{3} + 419,12} = 0,524 \text{кА}$$

Кратность тока однофазного короткого замыкания в самой отдаленной точке сети должна удовлетворять требованию:

$$I_{(1)к.мин.} \geq 1,25 I_{ном.расц.}$$

Проверка выбранных автоматических выключателей:

Выключатель ВА88 - 35 : $0,527 \cdot 10^3 \geq 1,25 \cdot 250$.

Автоматические выключатели ВА88 предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях, перегрузке, недопустимых снижениях напряжения, а также для оперативных включений и отключений участков электрических цепей и рассчитаны для эксплуатации в электроустановках с номинальным рабочим напряжением до 400В и на номинальные токи до 1600А [18].

Выключатель ВА88 выполнен в виде моноблока и состоит из основания и крышки с фальшпанелью, в которой имеется окно для рукоятки управления и толкатель кнопки «Тест» проверки механизма отключения выключателя. Основание является несущей конструкцией для присоединительных зажимов, неподвижных силовых контактов с системой дугогашения, механизма управления с системой подвижных контактов, блока защиты от сверхтоков. Крышка закрывает все подвижные элементы механизма управления и внутренние токоведущие части.

На рисунках 3.3 и 3.4 изображены внешний вид и составные части выключателя ВА-88 соответственно. В Таблице 3.4 описаны технические характеристики выключателя ВА88.

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		30



Рисунок 3.3 – Внешний вид выключателя ВА-88

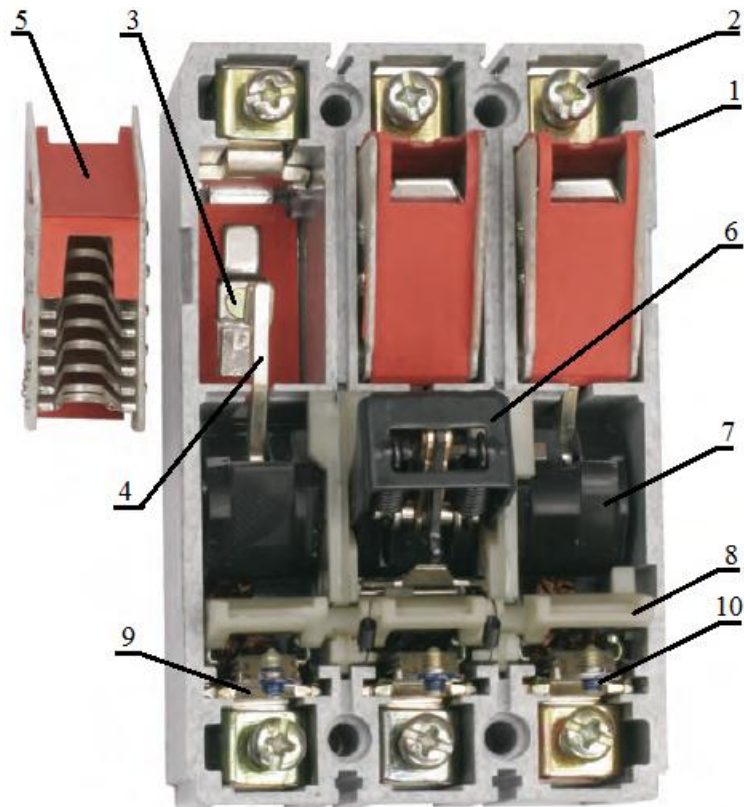


Рисунок 3.4 – Составные части выключателя ВА-88

где 1 – корпус из термостойкой ABS пластмассы. 2 – соединительные зажимы. 3 – неподвижные силовые контакты. 4 – подвижные силовые контакты. 5 – система дугогашения. 6 – механизм взвода. 7 – изолирующая рейка. 8 – плоская рейка. 9 – узел теплового и электромонтажного расцепителя. 10 – регулировочные винты теплового расцепителя.

Таблица 3.4 – Технические характеристики выключателя ВА88

Характеристики	Значение
Максимальный номинальный ток, А	125, 160, 250, 400, 800, 1600
Номинальный ток тепловых расцепителей, А	12,5 ÷ 1600
Номинальное рабочее напряжение, В	400
Номинальная частота напряжения сети, Гц	50
Количество полюсов	3
Температура настройки расцепителей, °С	40
Срок службы не менее, лет	15
Группа механического исполнения	МЗ
Вид климатического исполнения	УХЛЗ

Принцип действия автоматического выключателя ВА88 :

Механизм управления выключателя выполнен по принципу переламывающегося рычага и снабжен мощной возвратной пружиной. Взведение рукоятки механизма управления приводит в движение изолирующую рейку, на которой закреплены подпружиненные подвижные силовые контакты с гибкими соединениями. Поворот рейки в боковых направляющих, обеспечивает замыкание подвижных и неподвижных силовых контактов, а также необходимые провалы для увеличения и выравнивания давления на подвижные контакты.

Действие возвратной пружины блокируется элементами переламывающегося рычага, находящимися в этот момент на одной прямой линии и опирающимися одним коленом на выступ поворотного элемента «сброса» механизма управления. Сброс механизма управления осуществляется при помощи плоской рейки, на которую воздействуют через регулировочные винты толкатели биметаллических пластин тепловых расцепителей и электромагнитов защиты от коротких замыканий.

Достоинства выключателя:

- Высокая коммутационная способность;
- Вес и габариты - на 10 - 20% меньше аналогов выключателей других отечественных производителей, это дает возможность монтировать щиты и шкафы меньшего размера. Также, небольшие размеры позволяют заменить старые автоматические выключатели на выключатели серии ВА88 ;
- Большой ассортимент аксессуаров;
- Простая самостоятельная установка дополнительных устройств (аварийный контакт, дополнительный контакт, независимый расцепитель, расцепитель минимального напряжения, привод ручной поворотный, электропривод, втычная панель, выкатная панель);
- Работает в любом положении относительно вертикали;
- Стандартная комплектация каждого автоматического выключателя включает в себя переходные шины или кабельные наконечники, межфазные перегородки,

комплекты винтов и гаек для подсоединения проводников, комплекта винтов для крепления автоматического выключателя к монтажной панели;

- Возможность монтировать автоматы на DIN-рейку;
- Насечки на контактах, исключающие перегрев и оплавление проводов за счет надежной фиксации в местах присоединения;
- Срок службы не менее 15 лет.

На рисунке 3.4 изображена схема электрическая принципиальная выключателя ВА88-35.

На рисунке 3.5 изображен внешний вид быстромонтируемой малогабаритной комплектной трансформаторной подстанции.

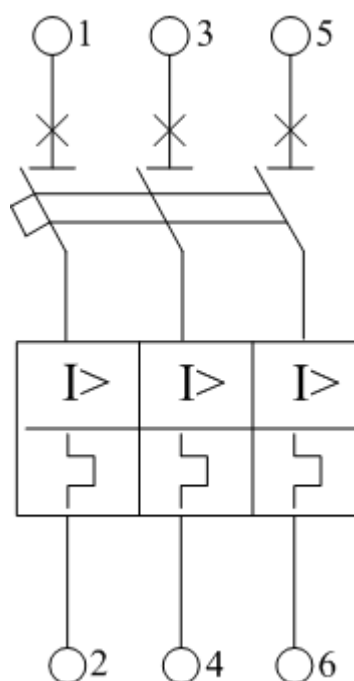


Рисунок 3.4 – Схема электрическая принципиальная выключателя ВА88-35.

Быстромонтируемая малогабаритная комплектная трансформаторная подстанция напряжением 10(6)/0,4 кВ с трансформаторами мощностью до 400 кВА, осуществляет прием, преобразование и распределение электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц [19].

Подстанции выполняются киоскового типа. БМКТП – изделие высокой заводской готовности, в пределах одного блока с завершенным циклом строительных и электромонтажных работ, выполнено размещение силовых трансформаторов, распределительных устройств со стороны высшего и низшего напряжения.

Подстанции применяются в городских электрических сетях и электрических сетях поселков городского типа, тупиковых сетях.

Подстанция разделена на четыре отсека: два отсека под силовые трансформаторы, отсек высшего напряжения, отсек низшего напряжения.



Рисунок 3.5 – Внешний вид БМКТП

Вывод по разделу три:

Произведен выбор оборудования, выключателей и линий электропередач, рассчитаны токи короткого замыкания.

4 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА И СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

4.1 Разработка структурной схемы ветро-солнечной энергосистемы

На рисунке 4.1 приведена структурная схема системы автономного электроснабжения.

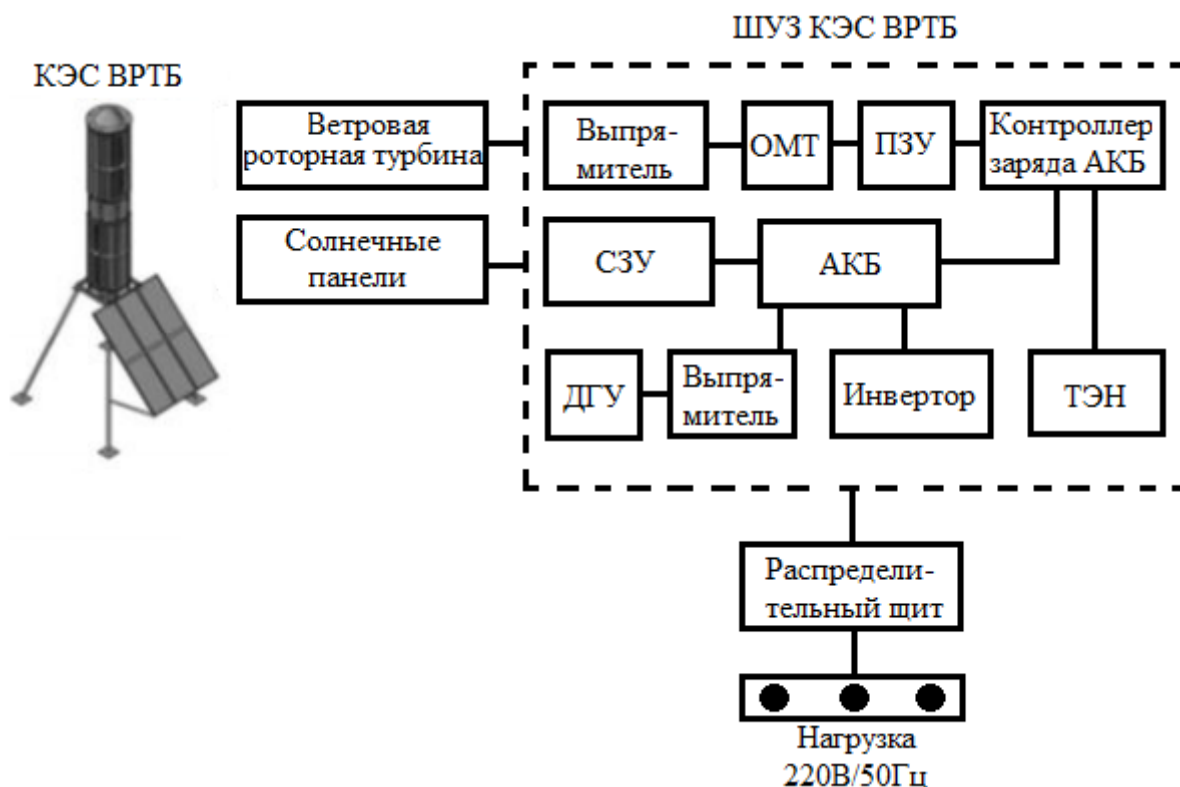


Рисунок 4.1 – Структурная схема ветро-солнечной системы электроснабжения где ОМТ – ограничитель максимального тока, ПЗУ – порционное зарядное устройство, СЗУ – солнечное зарядное устройство, ВРТБ – ветровая роторная турбина Болотова, ТЭН – термоэлектрический нагреватель, ДГУ – дизельная генераторная установка.

Электроснабжение данного объекта будет осуществляться в результате преобразования энергии ветра и солнца в электрическую энергию. Основной источник электроэнергии – ветрогенератор. Энергия ветра преобразуется с помощью ветрогенератора в энергию трехфазного переменного тока. Выпрямитель преобразует трехфазный переменный ток в постоянный для зарядки аккумуляторов. Солнечные панели в системе электроснабжения выполняют функцию дополнительного источника электроэнергии. Резервным источником питания будет ДГУ. Солнеч-

ное зарядное устройство в дневное время суток заряжает аккумуляторные батареи.

Для защиты порционного зарядного устройства от больших токов, которые способны нанести вред аккумуляторным батареям или же вывести их из строя, применяется ограничитель максимального тока. ПЗУ предназначено для равномерного распределения заряда между аккумуляторными батареями, в которых осуществляется накопление электрической энергии.

Инвертор преобразует напряжение 48 В постоянного тока в стандартное синусоидальное напряжение 220 В 50 Гц. Контроллер используется для защиты аккумуляторных батарей от перезаряда. При избыточном заряде батареи контроллер включает ТЭН.

Если погода безветренная, то потребители питаются через инвертор, который преобразует напряжение постоянного тока аккумуляторной батареи в напряжение переменного тока. Инвертор осуществляет контроль за разряженностью АКБ по величине напряжения. Когда напряжение становится ниже установленного, инвертор посылает команду на запуск ДГУ. После выхода на рабочий режим ДГУ, через выпрямитель происходит подзарядка АКБ до полного заряда или до получения энергии от основных источников.

ВРТБ - ветроэлектростанция с вертикально расположенным валом генератора. Основное преимущество конструкции ветростанции заключается в независимом "наведении на ветер". Ветросиловая часть установки осуществляет прием потока ветра с любой стороны автоматически без каких-либо настроечных операций и не требует разворота станции при изменении направления ветра. Благодаря неограниченной скорости вращения ротора возможна работа со всеми встречающимися ветрами, включая штормовые.

Внутренняя аэродинамика модулей согласована с местными свойствами ветра, а количество установленных модулей определяется требуемой мощностью 35 ветроэлектростанций. Ветросиловая часть станции сконструирована так, что кинетическая энергия ветра преобразуется в механическую энергию вращения вала с высоким КПД, и работоспособна в любом диапазоне встречающихся в природе ветров.

Функциональные элементы комплексной энергетической системы ВРТБ:

- модули ВРТБ для преобразования энергии ветра;
- солнечная фотоэлектрическая установка для генерации электрической энергии;
- аккумуляторные батареи для хранения выработанной энергии и обеспечения потребителя электроэнергией;
- ШУЗ ВРТБ – устройство обеспечения корректного функционирования станции, контроля заряда, автоматики;
- генератор (преобразование механического вращения модулей в электроэнергию);

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		36

- инвертор - прибор преобразования постоянного тока, вырабатываемого КЭС, в переменный, требуемый потребителю, с возможностью выдачи электроэнергии в сеть.

ШУЗ обеспечивает бесперебойное питание потребителей, правильное функционирования всего оборудования КЭС ВРТЬ. ШУЗ выполняет следующие функции:

- обеспечивает заряд аккумуляторных батарей от энергетического источника;
- «ветер» в диапазоне от 2 до 25 м/с;
- защищает аккумуляторные батареи от перезаряда/переразряда (то есть оптимизирует процессы и предотвращает преждевременное старение);
- защищает генератор от перегрузок;
- снабжен системой АВР для поддержания питания потребителей при любых режимах работы.

На рисунке 4.2 изображен ШУЗ КЭС ВРТЬ.



Рисунок 4.2 – ШУЗ КЭС ВРТЬ.

Отдельно можно отметить высокую работоспособность конструкции windrotor ВРТЬ при порывистых и неоднородных по скорости ветровых потоках характерных для многих регионов России, Казахстана и Средней Азии. Стремление всех мировых производителей увеличить величину площади ометаемой ветроколесом привело к созданию гигантских ветроколёс диаметром до 126 м, с применением при этом очень дорогих лёгких и сверхпрочных материалов. Удельная мощность, снимаемая с 1 м^2 , при этом остаётся крайне низкой, так как её увеличить можно лишь многократным увеличением числа лопастей и соответственного увеличения стоимости и понижения надёжности.

Вертикально осевая турбина, построенная по принципу рабочих элементов «парус - крыло», усиливается наличием направляющего аппарата, имеет малую собственную постоянную времени и срабатывает порывы, пульсации и шквалы. Преимущества ВРТБ:

- при одинаковых размерах с винтовыми роторные имеют большую площадь "ометаемой" поверхности и, следовательно, большую мощность (в 2-3 раза);
- не боятся резких кратковременных порывов ветра (шквалов);
- ротор не стоит на месте (в одной плоскости, как воздушный винт), а постоянно уходит от ветра, поэтому установки не боятся штормовых ветров и легко, без дополнительных мер безопасности, в том числе конструктивных, используются в более широком диапазоне ветров (от 2 до 50 м/сек). С повышением скорости ветра только увеличивается устойчивость (эффект волчка или гироскопа);
- эффективная работа при малых скоростях ветра (3-4 м/сек);
- возможность монтажа установки на различных площадях (крыши зданий, платформы, вышки, мобильные сооружения (бытовки, вагончики и пр.);
- полная бесшумность при всех режимах работы (30 В на расстоянии 5 при ветре 15 м/с);
- отсутствие необходимости флюгерной системы, ориентирующей винт на ветер, что позволяет установке работать при неустойчивых по направлению ветрах, при резкой смене направления ветра;
- сравнительно малая скорость вращения ротора (до 200 об/мин) увеличивает ресурс работы подшипников, интервал между смазкой движущихся поверхностей, общий ресурс работы;
- возможность использования приземного низового ветра;
- уникальный генератор с контрвращением;
- простота монтажа и технического обслуживания;
- быстрый ввод в эксплуатацию.

4.2 Выбор инвертора

Инверторы подразделяют на две группы, которые различаются по стоимости:

1) более дорогие инверторы, обеспечивают синусоидальное выходное напряжение.

2) обеспечивает выходное напряжение в виде упрощенного сигнала - квазисинуса, заменяющего синусоиду.

Выбор инвертора производится исходя из пиковой мощности энергопотребления стандартного напряжения 220В/50Гц. Существует два режима работы инвертора.

1) режим длительной работы – соответствует номинальной мощности инвертора.

2) режим перегрузки – в течение нескольких десятков минут (до 30) могут отдавать мощность в 1,5 раза больше номинальной, а в течении нескольких секунд мощность в 2,5-3,5 раза больше номинальной. Сильная кратковременная пере-

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		38

грузка возникает, например, при включении холодильника. Как правило, мощность инвертора примерно равна расчетной мощности ВЭУ.

На рисунке 5.3 изображен инвертор Loher DYNAVERT.

Loher DYNAVERT T 560 кВт 230/400 В, с входным напряжением на 230 В, номинальным выходным напряжением 380 В. DYNAVERT T поддерживает все стандартные напряжения питания и может обеспечивать управление как асинхронными, так и синхронными двигателями



Рисунок 4.3 – Инвертор Loher DYNAVERT

При проектировании могут быть учтены любые особенности привода:

- габаритные ограничения в месте установки;
- проблемы с подводом кабелей и шин;
- специфические нагрузки и муфты;
- нестандартные двигатели, кабели;
- состояние питающей сети;
- большое количество информационных сигналов;
- контроль и управление вспомогательными приводами.

В таблице 4.1 показаны технические характеристики инвертора.

Таблица 4.1 – Технические характеристики Loher DYNAVERT T

Характеристики	Единица измерения	Количество
Максимальная мощность нагрузки	кВА/кВт	560/450
Номинальное входное напряжение	В	230
Диапазон входного напряжения	В	210-230
Номинальное выходное напряжение	В	220/380
Диапазон выходного напряжения	В	220-400
Стабилизация выходного напряжения	%	±2

Окончание таблицы 4.1

Характеристики	Единица измерения	Количество
Номинальная выходная частота	Гц	50
Стабилизация выходной частоты	%	±0,03
Максимальный входной ток	А	684
Коэффициент напряжения	-	0-1
Наработка на отказ (MTBF)	ч	н/д
Диапазон ограниченной средней температуры	°С	+20...-50
Диапазон окружающей среды	°С	-40...+70
Относительная влажность воздуха	%	0...95
Цена	руб.	813450

4.3 Выбор аккумуляторных батарей

Для системы электроснабжения основанной на получении электроэнергии от ветра и солнца особое внимание нужно уделить выбору аккумуляторных батарей. Использовать обычные автомобильные аккумуляторы неприемлемо, так как они:

- не рассчитаны на циклические режимы, когда необходимо отдавать накопленную энергию;
- выделяют вредные газы.

Возможно применение АКБ с жидким электролитом (серия OpzS), а также герметичные, гелиевые (серия OpzV). Несмотря на то, что они дороже в несколько раз автомобильных АКБ, при правильном проектировании гарантируется надежное электроснабжение.

Промежуточное положение занимают батареи, выполненные по технологии GEL (Gel Electrolite) или AGM (Absorbent Glass Mat). Отличительными особенностями от автомобильных являются лучшее качество, отсутствие выделения вредных веществ.

4.3.1 Аккумуляторные батареи с технологией AGM

AGM батареи – герметичные, необслуживаемые, не требуют вентилируемого помещения для установки, хорошо работают в режиме подзарядки и срок службы составляет 10 – 12 лет. При использовании в циклическом режиме (регулярный разряд-заряд) срок службы уменьшается.

AGM батареи применяются в источниках бесперебойного питания (для аварийного завершения работ), а не для питания нагрузки в постоянном режиме.

4.3.2 Аккумуляторные батареи с технологией GEL

Срок службы гелиевых аккумуляторов примерно на 10-30% больше чем с технологией AGM. Они хорошо переносят полный разряд, при понижении температуры аккумулятора потеря емкости значительно меньше.

Таким образом, гелиевые аккумуляторы рекомендуется использовать там, где необходимо обеспечить долгий срок службы при более глубоких режимах разряда, а также, если температура аккумуляторов опускается ниже 5 °С.

Основные характеристики аккумуляторов используемых в комплексных энергетических системах ВРТБ:

- разрядное напряжение;
- удельная энергия в Втч/кг;
- удельная энергия в Втч/л;
- ресурс (число циклов) при глубине разряда 30-80% ;
- саморазряд при 20°С;
- диапазон рабочих температур;
- отдача по энергии;
- номинальный ток разряда;
- максимальный ток разряда;
- интенсивность газовыделения;
- возможность проведения ускоренных зарядов;
- степень безопасности при эксплуатации;
- объём регламентных работ при обслуживании;
- стоимость.

4.3.3 Определение энергопотребления и емкости АБ:

Берется максимальное суточное зимнее потребление энергии, затем умножается получившееся значение на коэффициент 1,2 учитывающий потери в инверторе:

$$W_{\text{полн}} = W \cdot K, \text{Вт} \cdot \text{ч}$$

$$W_{\text{полн}} = 4465050 \cdot 1,2 = 5358060, \text{Вт} \cdot \text{ч}$$

Требуемая емкость для системы электроснабжения определяется по формуле:

$$C = \frac{W_{\text{полн}}}{U_{\text{ак}}}, \text{А} \cdot \text{ч},$$

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		41

где $W_{\text{полн}}$ – суточное потребление электроэнергии, Вт·ч; $U_{\text{ак}}$ – напряжение аккумулятора.

$$C = \frac{5358060}{12} = 446505, \text{ А} \cdot \text{ч}$$

4.3.4 Определение количества аккумуляторных батарей

Последовательное подключение аккумуляторов увеличивает их суммарное напряжение, при этом емкость остается неизменной, то есть равной емкости одного аккумулятора. Таким образом, если напряжение аккумуляторов одинаковое, то напряжение батареи равно напряжению одного аккумулятора, умноженному на количество аккумуляторов в аккумуляторной батарее. На рисунке 4.4 изображено последовательное соединение аккумуляторов.

Общее число аккумуляторов определяется по формуле:

$$N = \frac{C}{C_{\text{ак}}}, \text{ шт.}$$

где C – требуемая емкость для системы электроснабжения, $C_{\text{ак}}$ – емкость одного аккумулятора.

$$N = \frac{446505}{200} = 2233, \text{ шт.}$$

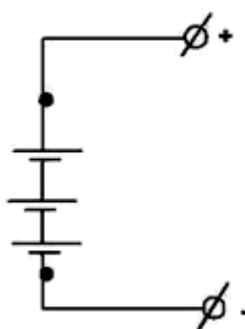


Рисунок 4.4 – Последовательное соединение аккумуляторов

Число последовательно соединенных батарей определяется по формуле:

$$p = \frac{U_{\text{треб}}}{U_{\text{ак}}}, \text{ шт.}$$

где $U_{ак}$ – аккумуляторное напряжение, В; $U_{треб}$ – напряжение от РП до потребителя, В.

$$p = \frac{400}{12} = 33, \text{ шт.}$$

Параллельное соединение аккумуляторов увеличивает суммарную емкость, при этом напряжение остается неизменным, то есть равным напряжению одного аккумулятора. Таким образом, если емкость аккумуляторов одинаковая, то емкость батареи равна емкости одного аккумулятора, умноженной на количество аккумуляторов в аккумуляторной батарее. На рисунке 4.5 изображено параллельное соединение аккумуляторов.

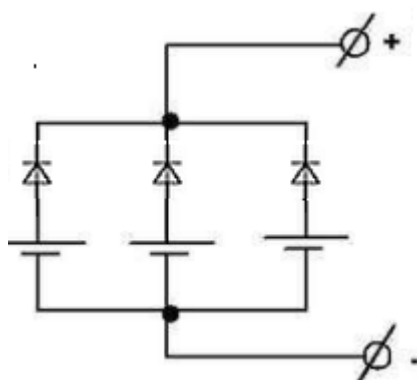


Рисунок 4.5 – Параллельное соединение аккумуляторов

Число параллельно соединенных батарей определяется по формуле:

$$n = \frac{N}{p}, \text{ шт.}$$

$$n = \frac{2233}{33} = 68, \text{ шт.}$$

Выбираются гелиевые аккумуляторные батареи Delta – GEL GX 12-200, показанные на рисунке 4.6.



Рисунок 4.6 – Аккумуляторные батареи Delta –GEL GX 12-200

Технические характеристики описаны в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Технические характеристики Delta –GEL GX 12-200

Характеристики	Единица измерения	Количество
Напряжение	В	12
Емкость	А·ч	200
Длина	мм	522
Ширина	мм	238
Высота	мм	218
Высота с клеммой	мм	227
Срок службы	лет	10-12
Количество циклов при разряде на 30%	-	1400
Количество циклов при разряде на 100%	-	330
Внутреннее сопротивление	мОм	3,6
Саморазряд (при 20 °С) в месяц	%	3
Рекомендуемый ток заряда	А	20
Максимальный ток заряда	А	60
Максимальный ток разряда (пусковой)	А	1000
Температурная компенсация зарядного напряжения	мВ/ °С	30
Рабочий температурный диапазон	°С	-20...+60
Вес	кг	65
Цена	руб.	26900

Время общего заряда аккумуляторных батарей рассчитывается по формуле:

$$T = t_1 + t_2 = \frac{C_{AB} \cdot 0,5}{i \cdot \eta_{AB}} + t_1, \text{ ч.}$$

где C_{AB} – емкость АКБ, А·ч; i – ток, А.

$$T = \frac{200 \cdot 0,5}{20 \cdot 0,8} + 2 = 8,25, \text{ ч.}$$

Выбираются модульные унифицированные стеллажи австрийской фирмы MONTANARO INDUSTRIAL BATTERY COMPONENT SGMBH, применяемые для стационарного размещения и эксплуатации аккумуляторов. Стеллажи выполнены со специальным кислотно-защитным покрытием для защиты от коррозии в случае контакта материала с электролитом и подходят для всех типов промышленных АКБ.

Стеллажи обладают высокой прочностью для возможности размещения батареи большого веса. В зависимости от модели аккумуляторов и их количества выбираются размеры стеллажа. Возможные исполнения:

- одно- и многорядные;
- одно- и многоуровневые;
- одно- и многоэтажные.

Внешний вид стеллажей показан на рисунке 4.7.



Рисунок 4.7 – Внешний вид стеллажей

Отличия от других стеллажей:

- Подходят для батарей любых типов;
- Высокая прочность;
- Кислотно-защитное покрытие;
- Простой монтаж.

4.4 Расчет фотоэлектрических модулей

Общая емкость аккумуляторных батарей рассчитывается по формуле:

$$\sum C = C_{\text{ак}} \cdot p, \text{ А}\cdot\text{ч},$$

где $C_{\text{ак}}$ – емкость одного аккумулятора, p – количество последовательно соединенных аккумуляторов.

$$\sum C = 200 \cdot 33 = 6600, \text{ А}\cdot\text{ч}.$$

Учитываются потери на заряд-разряд аккумуляторной батареи (обычно 20% при использовании специальных батарей):

$$1,2 \cdot \sum C = 1,2 \cdot 6600 = 7920, \text{ А}\cdot\text{ч}.$$

Среднее количество пиковых солнечных часов для местности: $t = 5$ ч. Требуемое число А·ч от солнечных батарей определяется по формуле:

$$C = \frac{\sum C}{t}, \text{ А}\cdot\text{ч}$$

$$C = \frac{7920}{5} = 1584, \text{ А}\cdot\text{ч}$$

Ток фотоэлектрического модуля в точке максимальной мощности (спецификации производителя) равен 10,35 А.

Определение количества модулей, соединенных параллельно:

$$\frac{1584}{10,35} = 153 \text{ шт.}$$

4.4.1 Выбор фотоэлектрических модулей

Выбирается фотоэлектрический модуль ТСМ-180. Модуль односторонний кремниевый монокристаллический находится под стеклом в алюминиевой рамке, с обратной стороны расположена клеммная коробка. Для минимизации потери световой энергии будет применяться текстурированное стекло. Благодаря этому получится примерно 15% больше мощности с единицы площади модуля [21].

Внешний вид модуля показан на рисунке 4.8, технические характеристики в таблице 4.3.



Рисунок 4.8 – Внешний вид ФМ ТСМ-180

Таблица 4.3 - Технические характеристики ФМ ТСМ-180

Модель	Мощность, Вт	$U_{ХХ}$, В	U_n , В	I_m , А	Размеры, мм	Вес, кг
ТСМ-180	180	21	12	10,35	1340x990x38	18

Фотоэлемент – это панель, состоящая из:

- 1 - солнечного излучения (фотоны);
- 2 - наружного контакта;
- 3 - отрицательно заряженного слоя;
- 4 - слоя утечки;
- 5 - положительно заряженного слоя;
- 6 - внутреннего контакта.

Преобразование солнечного излучения показано на рисунке 4.9.

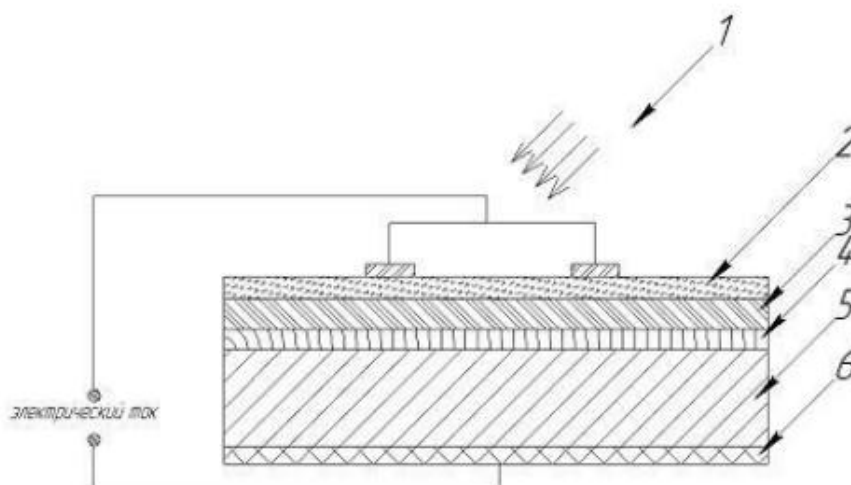


Рисунок 4.9 – Преобразование солнечного излучения

В основе этого способа получения электричества лежит солнечный свет- фотонов. Преобразование энергии в фотоэлектрических панелей основано на фотоэлектрическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения. неоднородность структуры фотоэлектрических преобразований может быть получена легированием одного и того же полупроводника различными примесями создание p-n переходов или путём соединения различных полупроводников с неодинаковой шириной запрещённой зоны — энергии отрыва электрона из атома создание гетеропереходов, или же за счёт изменения химического состава полупроводника, приводящего к появлению градиента ширины запрещённой зоны. Возможны также различные комбинации перечисленных способов [22].

4.5 Выбор ветроэнергетической установки

Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) – преобразует кинетическую энергию ветра в электрическую, за счет вращения лопастей ротора потоком воздуха, который соединен с генератором через механический редуктор.

Существует множество конструкций ветроэлектростанций, выделяют два основных типа ВЭУ:

1) ВЭУ с горизонтальной осью вращения:

а) крыльчатые (2-5);

2) ВЭУ с вертикальной осью вращения:

а) карусельные:

- лопастные (1);

- ортогональные (6).

На рисунке 4.10 изображены типы ветроэлектродвигателей.

Основное различие крыльчатых ветродвигателей заключается в количестве лопастей. Стабилизатор – устройство автоматического поворота оси вращения, применяется для повышения эффективности за счет перпендикулярного воздействия воздушного потока относительно плоскости вращения лопастей. Преимущество карусельных ветродвигателей заключается в работе при любом направлении ветра, не меняя своего положения.

Большое распространение крыльчатые ветроагрегаты получили за счет высокой скорости вращения и возможностью соединения с электрогенератором без использования мультипликатора. Так как скорость вращения имеет обратную зависимость от количества лопастей, то в основном применяются агрегаты с количеством лопастей не более трех.

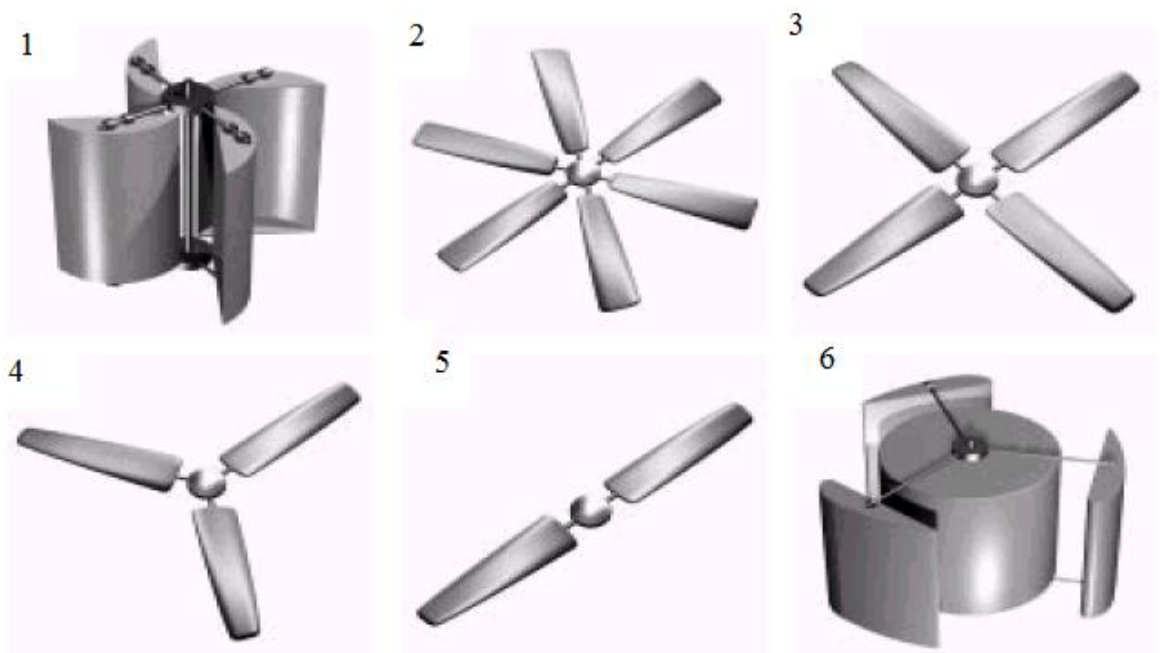


Рисунок 4.10 – Типы ветроэлектродвигателей

При увеличении скорости ветра карусельные установки быстро наращивают силу тяги, после этого скорость стабилизируется, это является одним из преимуществ на традиционными установками. Тихоходность карусельных установок позволяет использовать простые электрические схемы без риска потерпеть аварию при резких порывах ветра, например, с асинхронным генератором. Единственным требованием является применение многополюсного генератора, работающего на малых оборотах. Такие генераторы не нашли широкого применения, а использования мультипликаторов не эффективно из-за низкого КПД.

Приземные потоки ветра постоянно меняют свое направление, карусельные установки способны без дополнительного оборудования следить за направлением ветра, что является ценным преимуществом карусельной конструкции.

Карусельный лопастный ветродвигатель прост в эксплуатации в сравнении с традиционными ветряками. Его конструкция обеспечивает максимальный момент при запуске и автоматическое регулирование максимальной скорости вращения в процессе работы. Увеличение нагрузки сопровождается уменьшением скорости вращения и возрастанием вращающего момента вплоть до полной остановки. [23]

По мнению специалистов, ортогональные ветроагрегаты лучше применять в большой энергетике. Проблемы запуска негативно сказываются на перспективах их применения в малой энергетике.

У ортогональных установок и сверхзвуковых самолетов схожий профиль крыла. Как сверхзвуковому самолету перед использованием подъемной силы крыла необходимо набрать определенную скорость, так и ортогональная установка в начале процесса осуществляет переход из режима двигателя в режим генератора дополнительным подводом энергии, далее начинается непосредственно генерирование энергии [24].

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

4.5.1 ВЭУ с горизонтальной осью вращения

Наиболее распространенные виды таких ВЭУ имеют две или три лопасти, установленные на вершине башни в гондоле. Модели с большим количеством лопастей получили название «монолитные установки» или «ромашки».

Ось машины – это расположение ведущего вала ротора как части ветровой турбины, соединяющей лопасти с соосным электрическим генератором.

Существует два положения рабочего состояния ротора турбины относительно направления ветра:

- перед гондолой – наветренный ротор;
- за гондолой – подветренный ротор.

«Монолитные установки», или «ромашки» используются, в основном, в качестве водяных насосов. Отличительной особенностью от турбин с малым количеством лопастей является то, что площадь лопастей ротора турбины сплошная. Чтобы ВЭУ работала эффективнее, ее лопасти должны максимально взаимодействовать с набегающим ветровым потоком, проходящим через ометаемую поверхность.

ВЭУ с большим количеством лопастей работают на низкой скорости вращения, создавая большой вращательный момент на валу установки. Ветровые установки с двумя-тремя лопастями вращаются на высокой скорости, для того чтобы максимально «охватить» ветровые потоки, проходящие ометаемую поверхность.

Теоретически, чем больше лопастей у ротора, тем эффективней должна работать установка, но за счет завихрений воздушных потоков при срыве с крыла лопасти, приводящих к снижению подъемной силы крыла (турбулентности) создаются помехи, которые делают их менее эффективными в сравнении с турбинами с двумя или тремя лопастями.

Определяющим показателем для водяных насосов, работающих при помощи ветра, является создание высокого стартового вращающего момента. Это обеспечивается за счет низкого коэффициента окружной скорости на конце лопасти и установка может работать при малых скоростях ветра.

4.5.2 ВЭУ с вертикальной осью вращения

Ведущий вал ротора в ветроустановках с вертикальной осью вращения располагается вертикально. Лопасти - длинные дугообразные пластины, прикрепленные к верхней и нижней частям башни. Н-образные турбины захватывают ветер любого направления, не меняя при этом положение ротора при изменении направления ветрового потока, благодаря вертикальному расположению ведущего вала ротора. За счет размещения редуктора и электрического генератора на земле, а не в гондоле башни, поднимаемой на верх опорной конструкции, исключает раскачивание, следовательно, не нужно устанавливать тросовые растяжки для фиксации положения.

Автор идеи создания турбины с вертикальной осью вращения французский инженер Дарье (Darieus), запатентовавший этот тип ветровых турбин в 1903 году. Из-за проблем с гибким и длинным валом такие ветроустановки не нашли заметного применения.

Использование выработанной энергии:

- напрямую потребителем;
- поставка в электрическую сеть для общего пользования;
- накопление в АКБ и параллельно питание потребителя.

Классификация ВЭУ по способу взаимодействия с ветром:

- лопасти специального аэродинамического профиля жестко закреплены к ротору без регулирования (стол-регулирование);
- цельные лопасти сделаны с возможностью поворота вокруг своей продольной оси для изменения угла атаки (питч - регулирование)

Достоинства и недостатки конструкций:

Турбины с жестко закрепленными к ротору лопастями специального аэродинамического сечения (стол-регулирование) просты в изготовлении и в обслуживании в сравнении с ВЭУ с питч-регулированием, но менее эффективно используют энергию ветра.

ВЭУ с питч-регулированием, изменяющие угол атаки лопасти, принудительно поворачиваясь вокруг своей продольности, имеют более высокий коэффициент использования ветрового потока, вырабатывая при этом больше электроэнергии. Работа таких агрегатов начинается при низких скоростях ветра. Но эти ВЭУ оснащаются дополнительными специальными подшипниками, усложняющими конструкцию агрегата и могут явиться причиной неисправностей и поломок ветроагрегатов. Помимо этого, для привода питч-регулирования ВЭУ необходима гидравлика, работа которой при температурах ниже -30°C может быть нарушена.

Рабочие характеристики ВЭУ показаны на рисунке 4.11. Светлым цветом (кривая а) показана зависимость выработки мощности на валу ВЭУ с питч-регулированием, а темная линия (б) характеризует ВЭУ со стол-регулированием.

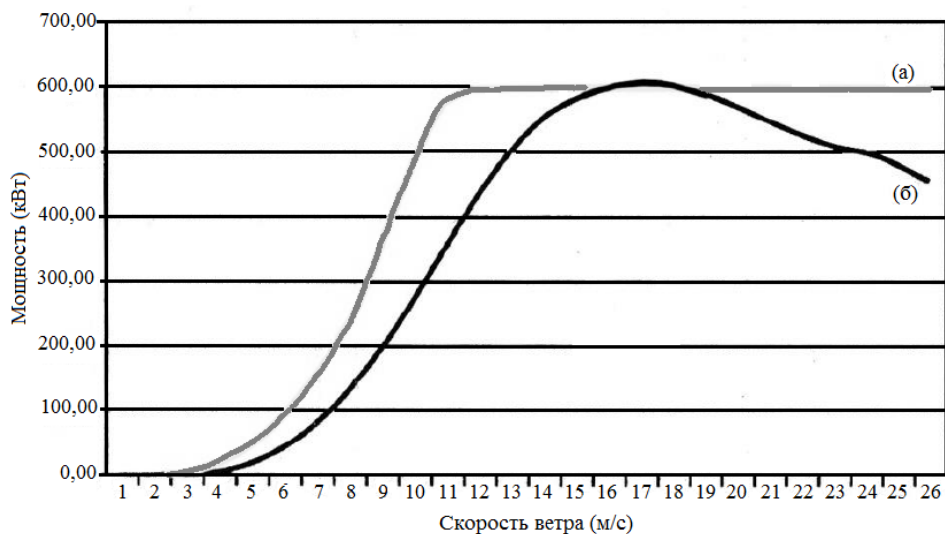


Рисунок 4.11 – Рабочие характеристики ВЭС

Из графика видно, что работают данные ВЭУ в диапазоне скоростей ветров от 2 до 25 м/с. При сильных ветрах (скорости ветра выше 25 м/с) они затормаживаются и прекращают свою работу во избежание механических поломок лопастей и самой конструкции ВЭУ.

Основные энергетические характеристики ВЭУ:

- мощность;
- габариты;
- вес;
- быстроходность;
- частота вращения;
- коэффициент использования энергии ветра;
- способ управления постановкой на ветер;
- воздействие на окружающую среду и человека.

4.5.3 Отличительные особенности вертикально-осевых ВЭУ

Главное преимущество вертикально-осевых ВЭУ – высокий коэффициент использования малых и средних скоростей ветра, порядка 0,45 – 0,5.

В литературных источниках при сравнительном анализе горизонтально-осевых (ГО) и вертикально-осевых (ВО) часто ограничиваются упоминанием лишь отсутствия необходимости ориентации на ветер у ВО, как следствие, упрощением конструкции за счет исключения поворотных систем и устройств. Но, это преимущество не является единичным. ВО и ГО ВЭУ - принципиально разные устройства, многие технические решения которых не повторяются.

Ниже приведены некоторые сопоставительные оценки отличительных особенностей ВО и ГО ветроустановок.

При этом рассматриваются горизонтально-осевой ветроагрегат в традиционном исполнении и вертикально-осевая ветроустановка с ВРГБ.

Рассмотрим основные параметры работы ВЭУ, такие как:

- ориентация на ветер;
- зависимость эффективности от алгоритма работы;
- размещение генератора и мультипликатора;
- запуск ротора;
- коэффициент использования энергии ветра;
- поворот лопастей;
- конструкция и эффективность лопасти;
- быстроходность;
- воздействие на окружающую среду;
- рациональность силовой схемы ротора;
- динамика опорной башни.

4.5.4 Ориентация на ветер

Чтобы повысить эффективность горизонтально-осевых ВЭУ необходимо обеспечить непрерывную коллинеарность оси ветроколеса и направления ветра. Это можно получить при использовании механизмов и систем постоянного слежения за направлением ветра, поворотом ветроколеса и его удержания. Однако из-за этого конструкция ГО ВЭУ усложняется и снижается их надежность, увеличиваются затраты на эксплуатацию (причиной 13% отказов являются неполадки в системе ориентации).

Система ориентации всегда работает с некоторым запаздыванием. В мегаваттных установках с $D_{КОЛЕСА} > 30$ м из-за некомпланарности и разной скорости ветрового потока по диаметру размаха лопастей уменьшается эффективность ориентации на ветер. Установить ветроколесо в оптимальное положение при таких условиях невозможно, следовательно, уменьшается выработка электроэнергии и экономическая эффективность.

Разрыв жесткой связи между гондолой с ветроколесом и опорной башни является причиной появления автоколебаний и отличий в частотных характеристиках подвижной и неподвижной частей конструкции. В месте разрыва жесткой связи между гондолой и башней для предотвращения скручивания силовых шин угол поворота гондолы ограничивают с дальнейшей раскруткой или применяют токосъемник. Это еще один недостаток горизонтально-осевых ветроагрегатов, негативно влияющий на надежность всей системы и увеличивающий эксплуатационные затраты.

Вывод: эффективность работы ГО ветроагрегатов существенно уменьшается из-за позднего срабатывания системы ориентации при изменении направления ветрового потока и постоянной неколлинеарности оси вращения ветроколеса с направлением скорости ветра. Механизмы ориентации нуждаются в применении приводов, потребляющих энергию, это также уменьшает количество выдаваемой потребителю электроэнергии.

Вертикально-осевые ВЭУ не зависят от направления ветра, следовательно, не нуждаются в устройствах ориентации на ветер, автоколебания отсутствуют, так как опорный узел ротора жестко закреплен на башне ВО ветроустановки.

4.5.5 Зависимость эффективности от алгоритма работы

Расчетная скорость вращения, достигающаяся после того как ветроколесо раскрутится, постоянна во всех рабочих диапазонах ветров. Постоянство поддерживается благодаря повороту лопастей вокруг их продольной оси для изменения угла атаки к набегающему потоку ветра. Выбор рабочей скорости вращения ветроколеса производится путем обеспечения максимального коэффициента использования при работе основной скорости ветра. Основная скорость ветра рассчитывается по номинальной мощности ветроэнергетической установки. Если скорости

ветра отличаются от номинальной, то коэффициент использования энергии ветра уменьшается. (Алгоритм работы ГО ВЭУ).

В ВО ВЭУ чтобы увеличить коэффициент использования энергии ветра для каждой скорости ветра соответствует свое значение скорости вращения ротора. Скорость вращения ротора управляется нагрузкой на генераторе, имеющей обратную зависимость.

Вывод: ВО ВЭУ работают эффективно в широком диапазоне скоростей, а ГО в узком.

4.5.6 Размещение генератора и мультипликатора

Преимущество ВО ВЭУ над ГО: мультипликатор, генератор и тормозное устройство быстроходного вала возможно разместить на фундаменте опорной башни. Это упрощает передачу электроэнергии от генератора к потребителю, монтаж.

4.5.7 Запуск ротора

У горизонтально-осевых ВЭУ ветроколесо запускается если поток ветра точно направлен на лопасти, если ветер имеет боковое направление, то большие ветроколеса не смогут раскрутиться. В таком случае принято применять дополнительный источник энергии, чтобы развернуть гондолу с ветроколесом на ветер.

В отличие от горизонтально-осевых ВЭУ вертикально-осевые имеют нулевой момент запуска. Чтобы начать работу, необходимы дополнительное устройство разгона или дополнительный источник электроэнергии. Коэффициент заполнения для классического ротора Дарье составляет приблизительно 0,05...0,07.

ВРГБ в рассматриваемой выпускной квалификационной работе обладает большим коэффициентом заполнения, благодаря этому у ротора появляется стартовый момент, которого хватит для запуска (ротор гарантированно начнет вращение при $v_{\text{ветра}} = 2\text{м/с}$).

4.5.8 Коэффициент использования энергии ветра

Несмотря на то, что в теории коэффициент использования энергии ветра идеальных горизонтально-осевого и вертикально-осевого роторов составляет 0,539 и 0,687 соответственно, на практике этот показатель составляет 0,4...0,45.

На рисунке 4.12 показаны типы ветрогенераторов и коэффициенты использования энергии ветра.

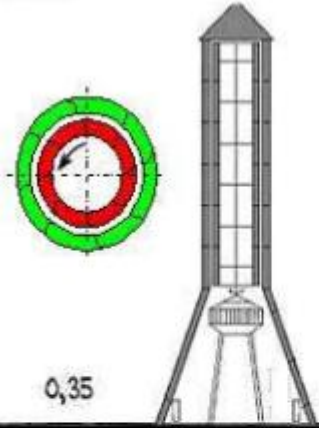


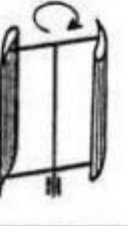





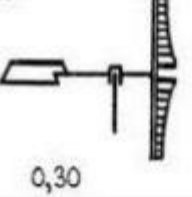

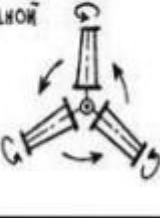


<p>ВРТЬ</p>  <p>0,35</p>	<p>Репеллерный</p>  <p>0,35</p>  <p>0,40</p>	<p>Ортогональный</p>  <p>0,30</p>
<p>Многолопастный</p>  <p>0,25</p>	<p>Репеллерный с вихреобразователем</p>  <p>0,45</p>  <p>0,50</p>	<p>Савонюса</p>  <p>0,25</p>  <p>0,25</p>
<p>Парусный</p>  <p>0,30</p>	<p>Дарье</p>  <p>0,35</p>	<p>Роторноприводной флетнера</p>  <p>0,20</p>
<p>Мак-Гроув</p>  <p>0,35</p>	<p>Геликоидный</p>  <p>0,40</p>	

Рисунок 4.12 – Типы ветрогенераторов и коэффициенты использования энергии ветра

4.5.9 Поворот лопастей

Система поворота лопастей в горизонтально-пропеллерных ветроустановках используется для удержания ветроколеса на постоянной рабочей скорости вращения. А также для торможения ветроколеса, если вдруг скорость ветра достигает предельно допустимого значения, но усложняет конструкцию.

Использование поворотных лопастей в вертикально-осевых ВЭУ для поддержания оптимального угла атаки не нашло широкого распространения, так как:

- лопасть за один оборот должна произвести несколько качаний, сориентированных на направление ветра;
- системы и устройства для поворота лопастей усложняют конструкцию и снижают уровень надежности;
- появляется зависимость от направления ветра.

Вывод: таким образом, учитывая перечисленные факторы и коэффициент использования энергии ветра сопоставимый между ВО и ГО ВЭУ, можно не использовать систему поворота в ВО ВЭУ, не усложняя тем самым конструкцию.

4.5.10 Конструкция и эффективность лопасти

Сечения горизонтально-пропеллерных ветроустановок расположены в разных энергетических состояниях из-за разницы их окружных скоростей и углов атаки. Для уменьшения влияния этого явления на эффективность съема лопастью энергии ветра используют крутку профиля и сужение концевой части лопасти, это значительно сглаживает различия в энергетике отдельных сечений пропеллерных лопастей и увеличивает их эффективность, но не устраняет эту проблему полностью. При этом крутка лопасти и ее сужение к концевой части усложняют форму лопасти и ее конструктивную схему, что приводит к усложнению технологии изготовления.

Вертикальная лопасть ВРТБ сконструирована проще и представляет собой прямоугольную симметричную относительно хордовой плоскости лопасть, все сечения этой лопасти имеют равную быстроходность, следовательно, эффективность. Значение снимаемой энергии у вертикально-осевых ВЭУ по длине лопасти изменяются незначительно и зависит лишь от разницы скорости ветра по высоте.

Вывод: эффективность съема энергии ветра лопастями можно считать равной при более простой конструкции вертикально-осевых ВЭУ.

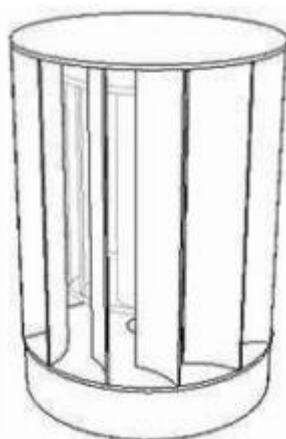


Рисунок 4.13 – Общий вид турбины со статором

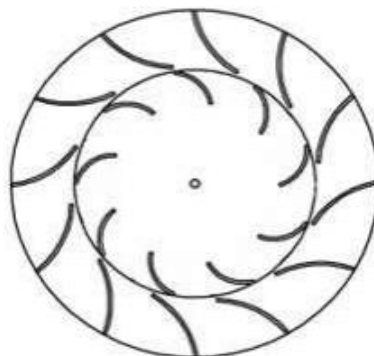


Рисунок 4.14 – Сечение турбины со статором

4.5.11 Быстроходность

Наиболее распространены горизонтально-севые ветроустановки с быстроходностью 5-7 и числом лопастей 2-3, так как они имеют большой коэффициент использования энергии ветра. У горизонтально-осевых ветроагрегатов с большим диаметром ветроколеса увеличивается влияние некомпланарности скорости ветра по высоте, воздействие гравитационных сил, вызывающих пульсирующие нагрузки на конструкцию ветроустановки и кориолисовой силы при повороте гондолы с вращающимся ветроколесом. Эти влияния увеличиваются пропорционально быстроходности ветроколеса, что требует дополнительного внимания к динамической устойчивости работы всех вращающихся элементов, прочности и точности изготовления конструкции, качеству монтажа и балансировке вращающихся деталей.

Одним из главных преимуществ вертикально-осевой ветроустановки считается тихоходность работы. При таких же энергетических характеристиках как у горизонтально-осевых ветроустановок, быстроходность ВРТБ не превышает значения 3. Снижение уровня динамического ротора улучшает условия эксплуатации, благодаря снижению быстроходности в 2-3 раза упрощаются требования к опорно-трансмиссионным узлам.

4.5.12 Воздействие на окружающую среду

Ветроэнергетика в сравнении с традиционной энергетикой признана экологически чистой, но все же она оказывает неблагоприятные воздействия на природу. В основном это шумы, вибрации, возможный сход льда с поверхности лопастей при запуске установки, возможность разлета осколков лопастей при их разрушении.

Уровень аэродинамических и механических шумов ВРТБ меньше чем у горизонтально-осевых ветроустановок вследствие низкой линейной скорости движения лопастей. В шумовом аэродинамическом спектре ветроустановок присутствуют инфразумы, частоты которых могут совпадать с резонансными частотами основных органов человека (от 3 до 30 Гц), что наносит вред здоровью. Американские ученые выяснили что при воздействии на человека частотой от 3 до 7 Гц в течение 5-10 лет приведет к необратимым психическим расстройствам.

Зона распространения инфразумов у ВРТБ меньше чем у горизонтально-осевых ВЭУ, так как главный вектор распространения инфразумов направлен в плоскости ветроколеса по всем направлениям, а у вертикально-осевых ветроустановок вверх и вниз по оси вращения ветротурбины.

Основные источники механических шумов горизонтально-осевых ветроагрегатов (генератор и мультипликатор) расположены в гондole на высоте опорной башни, в связи с чем, радиус их затухания намного больше, чем у вертикально-осевых ВЭУ, у которых данное оборудование располагается в машинной станции на уровне земли.

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		57

Линейная скорость вращения лопастей вертикально-осевых ВЭУ значительно ниже, чем у горизонтально-осевых, в следовательно радиус разлета наледи с лопастей и обломков лопастей при их разрушении у ВРТБ значительно меньше (благодаря внешнему статору), чем у горизонтально-осевого ветроагрегата.

Тихоходный ВРТБ, имеющий поверхность вращения лопастей в виде вертикально-расположенного цилиндра, хорошо заметен и по дуге легко обгибается птицами, которые имеют хорошую маневренность в горизонтальной плоскости.

Вывод: таким образом, у ВРТБ отрицательное воздействие на окружающую среду ниже, чем у горизонтально осевых ВЭУ.

4.5.13 Рациональность силовой схемы ротора

В горизонтально-осевых ветроустановках лопасть комлевой частью без дополнительных элементов крепится к ступице, которая расположена на оси вращения ротора. Инерционные силы при вращении ветроколеса направлены вдоль лопасти, т. е. наиболее выгодным образом. Ступица горизонтально-пропеллерного ветроколеса и опорно-подшипниковые узлы относительно малогабаритны и компактны.

В вертикально-осевых ВЭУ лопасть установлена в рабочем вертикальном положении с помощью горизонтальных или наклонных траверс, проходящих через ось вращения ротора. Дополнительные элементы для крепления лопасти (траверсы) увеличивают массу Н-ротора. Инерционные нагрузки в вертикально-осевой ветротурбине направлены поперек лопасти, то есть не самым выгодным образом. Опорно-подшипниковый узел имеет повышенные габариты и массу. Аэродинамические нагрузки на лопасть ВРТБ имеют знакопеременный характер, что обуславливает повышенные требования к их циклической прочности.

Вывод: вертикально-осевая ветротурбина в меньшей степени удовлетворяет требованию рациональности силовой схемы, чем горизонтально-пропеллерное ветроколесо.

4.5.14 Динамика опорной башни

Горизонтально-осевые ветроустановки работают, как правило, с постоянной скоростью вращения ветроколеса и быстроходностью до 5-7 единиц. Работа вертикально-осевых ВЭУ отличается непостоянством рабочей скорости вращения ветротурбины и рабочими значениями быстроходности от 1 до 3 единиц. При этом резонансная частота вертикально-осевой ветротурбины, в среднем, вдвое ниже, чем у горизонтально-осевого ветроколеса. Собственная частота колебаний стальных цилиндрических опорных башен ветроустановок обоих типов находится в пределах частот возмущающих колебаний их роторов. Задача исключения резонансных явлений в конструкциях горизонтально-осевых и вертикально-осевых ВЭУ решается в прямо противоположных направлениях.

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		58

При проектировании горизонтально-осевых ветроустановок опорная башня выполняется в соответствии с условиями статической прочности, т.е. с низкими значениями частот собственных колебаний, например, по первым двум собственным формам, которые меньше, чем возмущающая частота ветроколеса. Следовательно во время разгона ВЭУ конструкция опорной башни проходит резонансную частоту достаточно быстро при малой кинетической энергии ветроколеса. При этом резонансные явления не успевают сформироваться и не создают каких-либо аварийных ситуаций. На рабочем режиме частота возмущающих колебаний ветроколеса превышает резонансную частоту опорной башни. Размещение оборудования в гондоле на верхнем торце башни помогает снизить ее собственную частоту и, следовательно, повысить безопасность конструкции.

У вертикально-осевых ветроагрегатов наоборот повышается собственная частота опорной башни выше уровня возмущающих внешних частот. При этом башня выполняется с жесткостью, соответствующей повышенной собственной частоте колебаний. Она становится более прочной и массивной, чем того требуют статические нагрузки. Нижнее расположение оборудования способствует повышению собственных частот, так как размещение больших масс на верхнем торце башни резко снизило бы ее собственные частоты.

Результаты сравнения вертикально-осевых и горизонтально осевых ВЭУ сведен в таблицу 4.4.

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		59

Таблица 4.4 – Основные характеристики ветроустановок

№	Основные характеристики	Горизонтально-пропеллерные ВЭУ		Вертикально-осевые ВЭУ	
		Особенность	Оценка	Особенность	Оценка
1	Ориентация на ветер	Наличие узлов и систем ориентации на ветер	1.Снижается эффективность 2.Усложняется конструкция	Не требуется	1.Повышается эффективность 2.Упрощается конструкция
2	Съем энергии ветра ротором	Мах. съем энергии в узком диапазоне ветров	1.Снижается эффективность	Мах. съем энергии во всем диапазоне ветров	1.Повышается эффективность
3	Размещение генератора и мультипликатора	В гондоле на башне	1.Усложняется монтаж и обслуживание 2.Усложняются условия эксплуатации 3.Усложняется передача электроэнергии	На фундаменте башни	1.Упрощается монтаж и обслуживание 2.Упрощаются условия эксплуатации 3.Упрощается передача электроэнергии
4	Самозапуск	Есть	1.Упрощается конструкция 2.Нет потерь электроэнергии	Есть	1.Упрощается конструкция 2.Нет потерь электроэнергии
5	Коэффициент использования энергии ветра	До 0,45	1.Высокий	До 0,45	1.Высокий
6	Поворот лопастей	Есть	1.Усложняется конструкция	Нет	1.Упрощается конструкция
7	Конструкция лопасти	Крутка и сужение лопасти	1.Усложняется конструкция 2.Снижается эффективность	Лопасть с постоянным профилем	1.Упрощается конструкция
8	Быстроходность	Высокая	1.Повышаются требования к ветроколесу	Низкая	1.Упрощаются требования к ветротурбине
9	Воздействие на окружающую среду	Повышенное	1.Высокий уровень шумов 2.Большой радиус разлета осколков 3.Большая опасность для птиц	Пониженное	1.Низкий уровень шумов 2.Маленький радиус разлета осколков 3.Малая опасность для птиц
10	Рациональность силовой схемы ротора	Рациональная схема	1.Низкий уровень нагрузок 2.Низкая материалоемкость	Нерациональная схема	1.Высокий уровень нагрузок 2.Высокая материалоемкость
11	Динамика опорной башни	Собственная частота ниже резонансной	1.Низкая материалоемкость	Собственная частота выше резонансной	1.Высокая материалоемкость

По таблице 4.4 можно сделать вывод, что горизонтально-осевые ВЭУ имеют больше недостатков, чем вертикально-осевые ветроустановки:

- необходимость ориентации ветроколеса на ветер снижает эффективность ветроагрегата за счет запаздывания поворотов гондолы за постоянно меняющимся направлением ветра и неколлинеарности оси ветроколеса и направления скорости ветра, усложняет конструкцию и снижает надежность ветроагрегата за счет введения специальных систем и механизмов;

- работа ветроагрегата с постоянной скоростью вращения ветроколеса, что обеспечивает максимальный съем энергии в узком диапазоне рабочих скоростей ветра и, соответственно, снижает эффективность ветроагрегата;

- размещение генератора и мультипликатора в гондole на верхнем торце опорной башни усложняет требования к их габаритным и массовым характеристикам, также усложняет условия эксплуатации конструкций за счет возникновения дополнительных вибраций, толчков и, соответственно, повышения уровня нагружений опорной башни, мультипликатора, генератора, ухудшает условия монтажа и эксплуатации оборудования из-за его расположения на высоте опорной башни, усложняет передачу вырабатываемой электроэнергии из вращающейся гондолы на неподвижную опорную башню;

- применение поворота лопастей для регулирования скорости вращения ветроколеса усложняет конструкцию, кроме этого применяемые в автономных ветроагрегатах инерционные регуляторы отличаются неточностью регулирования;

- уменьшение хорды и крутка сечений к концевой части лопасти, применяют для выравнивания аэродинамической отдачи всех ее сечений, что повышает энергетическую лопасти, но и приводит к усложнению конструкции и технологии ее изготовления;

- повышенная быстроходность ветроколеса повышает требования к его динамической устойчивости, балансировке, прочности и надежности;

- повышенная быстроходность ветроколеса приводит к повышенному воздействию на окружающую среду за счет высокого уровня аэродинамических и механических шумов, большого радиуса разлета наледи и осколков лопасти в случае ее разрушения. Кроме этого вращающееся ветроколесо создает на пути птиц непреодолимую преграду.

Горизонтально-пропеллерные ветроагрегаты имеют более рациональные силовую схему ветроколеса и динамику опорной башни:

- рациональность силовой схемы ветроколеса за счет крепления лопастей к ступице, расположенной непосредственно на оси вращения, что не требует дополнительных узлов крепления лопасти и создает оптимальное ее нагружение;

- оптимальная материалоемкость опорной башни, за счет распределения частоты резонанса ее собственных колебаний ниже возмущающих рабочих частот ветроколеса.

Такие характеристики как самозапуск ротора и коэффициент использования энергии ветра для обеих рассматриваемых схем находятся на одном уровне.

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		61

При проведении сравнительного анализа учитывалось, что мировая ветроэнергетика имеет значительный опыт разработки, изготовления, строительства и эксплуатации горизонтально-осевых ветроагрегатов.

Таким образом, проведенный анализ показал, что благодаря таким принципиальным особенностям, как отсутствие необходимости ориентации на ветер, работа с переменной скоростью вращения, нижнее расположение генератора и мультипликатора, самозапуск ротора при любом направлении ветра, отсутствие поворота лопастей, постоянство сечения лопастей по длине, тихоходность, минимальное воздействие на окружающую среду, автономные вертикально-осевые ветроустановки ВРТЬ выгодно отличаются от традиционных горизонтально-осевых ветроагрегатов по таким характеристикам, как эффективность, простота конструкции, надежность, экологическая чистота, удобство технического обслуживания и ремонта.

В соответствии с проведенным анализом, выбираем к расчету ветроустановку ВРТЬ 10 кВт.

4.6 Расчет энергии ветра

Эффективность преобразования кинетической энергии ветра в электрическую энергию определяется рядом его специфически особенностей как энергоносителя, а также свойствами механических преобразователей энергии – ветровых турбин [25].

Удельная мощность воздушного потока представляется как энергия, поступающая через его сечение площадью 1 м^2 , расположенное перпендикулярно его направлению. Величина развиваемой мощности зависит от плотности воздуха ρ , скорости его движения V и определяется выражением:

$$P_i(V_i) = 0.5 \cdot \rho \cdot V^3, \text{ Вт/м}^2$$

где ρ - плотности воздуха, кг/м^3 ; V – скорость ветра, м/с .

В нормальном режиме работы плотность воздуха $\rho = 1,226 \text{ кг/м}^3$.

Рассчитаем потенциал энергий ветра по формуле:

$$W_{\text{уд}} = P_{\text{уд}} \cdot V_i \cdot t(V) \cdot 8760$$

где $P_{\text{уд}}$ – собственная мощность ветра, Вт/м^2 ; V_i - скорость i -го ветра, м/с ; $t_i(V_i)$ - зависимость i -го времени от скорости ветра.

Результаты расчета показаны в таблице 4.5.

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		62

Таблица 4.5 – Энергетический потенциал ветра

V_i , м/с	t, час	P_m , кВт/ м ²	W_m , кВт·ч/м ²
0,5	65	0,076625	4,980625
1	250	0,613	153,25
2	450	4,904	2206,8
3	550	16,551	9103,05
4	605	39,232	23735,36
5	630	76,625	48273,75
6	620	132,408	82092,96
7	600	210,259	126155,4
8	570	313,856	178897,92
9	540	446,877	241313,58
10	490	613	300370
11	450	815,903	367156,35
12	400	1059,264	423705,6
13	360	1346,761	484833,96
14	320	1682,072	538263,04
15	280	2068,875	579285
16	240	2510,848	602603,52
17	210	3011,669	632450,49
18	180	3575,016	643502,88
19	150	4204,567	630685,05
20	130	4904	637520
21	110	5676,993	624469,23
22	100	6527,224	652722,4
23	80	7458,371	596669,68
24	70	8474,112	593187,84
25	60	9578,125	574687,5
26	50	10774,09	538704,5
27	40	12065,68	482627,2
28	32	13456,58	430610,56
29	28	14950,46	418612,88
30	22	16551	364122
31	17	18261,88	310451,96
32	15	20086,78	301301,7
33	14	22029,38	308411,32
34	10	24093,35	240933,5
35	6	26282,38	157694,28
36	5	28600,13	143000,65
37	4	31050,29	124201,16
38	3	33636,54	100909,62

Окончание таблицы 4.5

39	2	36362,55	72725,1
40	2	39232	78464
Всего	8760		13666820

На рисунке 4.12 изображен график скорости ветра.

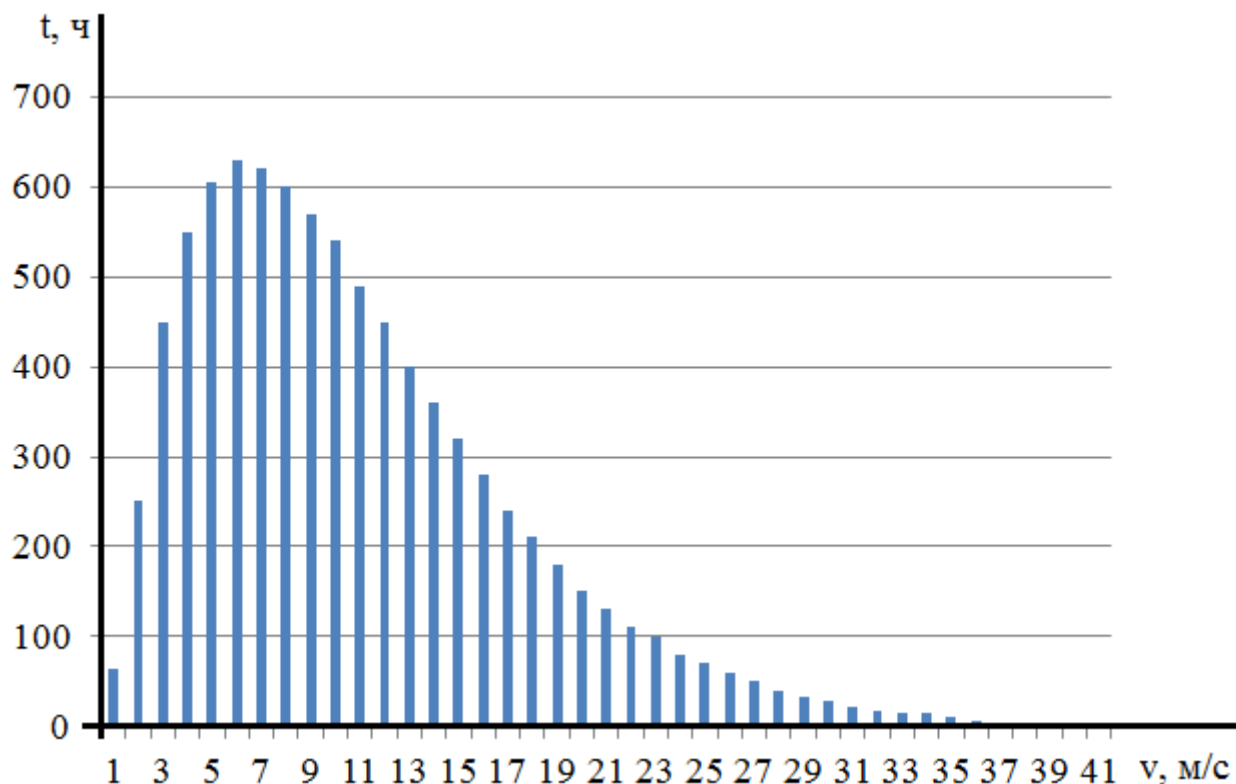


Рисунок 4.15 – График скорости ветра

В таблице 4.6 показаны мощности ВЭУ.

Таблица 4.6 – Мощности ВЭУ

V_i , м/с	t, час	$V_{ВЭУ}$, м/с	$P_{ВЭУ}$, кВт	$W_{ВЭУ}$, кВт·ч
3	550	12	0,15625	85,9375
4	605	12	0,37037	224,07385
5	630	12	0,72338	455,7294
6	620	12	1,25	775
7	600	12	1,984954	1190,9724
8	570	12	2,962963	1688,88891

Окончание таблицы 4.6

9	540	12	4,21875	2278,125
10	490	12	5,787037	2835,64813
11	450	12	7,702546	3466,1457
12	400	12	10	4000
13	360	12	12,71412	4577,0832
14	320	12	15,87963	5081,4816
15	280	12	19,53125	5468,75
16	240	12	23,7037	5688,888
17	210	12	28,43171	5970,6591
18	180	12	33,75	6075
19	150	12	39,69329	5953,9935
20	130	12	46,2963	6018,519
21	110	12	53,59375	5895,3125
22	100	12	61,62037	6162,037
23	80	12	70,41088	5632,8704
24	70	12	80	5600
25	60	12	90,42245	5425,347
26	50	12	101,713	5085,65
27	40	12	113,9063	4556,252
28	32	12	127,037	4065,184
29	28	12	141,14	3951,92
30	22	12	156,25	3437,5
31	17	12	172,4016	2930,8272
32	15	12	189,6296	2844,444
33	14	12	207,9688	2911,5632
34	10	12	227,4537	2274,537
35	6	12	248,1192	1488,7152
36	5	12	270	1350
37	4	12	293,1308	1172,5232
38	3	12	317,5463	952,6389
39	2	12	343,2813	686,5626
40	2	12	370,3704	740,7408
Всего				129000

4.7 Расчет количества ВРТБ

Исходя из расчета, годовое потребление электроэнергии составляет $W=1598531,3$ кВт·ч., а годовая мощность ВЭУ составляет $W_{ВЭУ}=129000$ кВт·ч. Количество ВРТБ рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{1598531,3}{129000} = 13 \text{ шт.}$$

Вывод: таким образом, в ходе сравнительного анализа ветроустановок и расчета была выбрана ВРТБ мощностью 10кВт, количеством 13 шт.

4.8 Выбор резервного источника питания

В качестве резервного источника питания выбирается дизель-генераторная установка, главной задачей которой является поддержание работоспособности системы в случае нехватки электрической энергии, преобразуемой основными источниками.

Поскольку энергия всех источников питания, в том числе и дизель-генератора, идет на заряд аккумуляторных батарей, а уже потом непосредственно к станции, учет пусковых токов не критичен.

Потребляемая мощность горнолыжного комплекса не превышает 280 кВт·ч. С учетом данного условия, выбирается дизель-генераторная установка АД-280 (FPT-Iveco). Внешний вид ДГУ изображен на рисунке 4.13, технические характеристики показаны в таблице 4.7 [26].

Таблица 4.7 – Технические характеристики АД-280 (FPT-Iveco).

Основная мощность	280 кВт / 350 кВА
Резервная мощность	308 кВт / 385 кВА
Вырабатываемый ток	переменный, 3-фазный
Номинальная частота	50 Гц
Расход топлива (75% нагрузки)	52,8 л/ч
Топливный бак	750 л
Автономная работа	14,2 ч
Габариты ДЭС, Д x Ш x В	3350 x 1300 x 1800 мм
Масса ДЭС	2950 кг
Генератор	Leroy-Somer LSA 47.2 VS2
Тип генератора переменного тока	3-фазный, 4-полюсной, синхронный, бесщеточный, одноопорный, 50 Гц, 400/230 В
Номинальная сила тока	504 А

Окончание таблицы 4.7

КПД генератора, при 75% нагрузки	93,9 %
Модель двигателя	FPT-Iveco C13 TE2A
Тип двигателя	дизельный, 4-тактный
Основная мощность	315 кВт
Автоматический ввод резерва (АВР)	да (опционально)
Параллельная работа ДЭС	да (опционально)
Удаленный мониторинг и управление	да (опционально)



Рисунок 4.16 – Внешний вид АД-280 (FPT-Iveco).

Вывод по разделу четыре:

Разработана структурная схема ветро-солнечной энергосистемы, выбран инвертор Loher, аккумуляторные батареи Delta и стеллажи, фотоэлектрические модули ТСМ, проведя анализ, произведен выбор ВЭУ, подобран резервный источник питания АД-280.

5 ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

В рассматриваемом проекте предлагается провести исследованиеи электро-снабжения на постоянном токе. В современной бытовой технике, как правило, происходит преобразование переменного входного напряжения в постоянное, для дальнейшего использования. Следовательно, всем этим приборам тип питающего напряжения абсолютно безразличен [47]. Суть исследования заключается, в том, чтобы передавать потребителям электроэнергию не переменного тока, а постоянного.

5.1 Проблемы трехфазного тока в России

Искажение формы тока связано, прежде всего, с массовым внедрением бытовой, вычислительной техники, энергосберегающих светильников и другой преобразовательной техники в быту, в учреждениях здравоохранения, образования, культуры, малом бизнесе и т.п. Большая часть всей этой техники однофазная, но распределить токи потребления равномерно по трем фазам практически невозможно. Также, нечетные гармоники трехфазной системы, создают токи нулевой последовательности, величина которых сегодня достигает достаточно внушительных величин, нередко превышая величины фазных токов. Следовательно, увеличивается вероятность возгорания электропроводки, особенно старой и изношенной. [48]

Вся нормативная техническая документация по устройству электрических сетей, проектированию электроустановок, выбору оборудования и аппаратуры для защиты линий, учета электроэнергии, по расчетам потерь электроэнергии базируются на трехфазном, симметричном и линейном токе. Фактически сегодня токи в сети несинусоидальные и несимметричные.

На сегодняшний день имеется расхождение реальной ситуации в электрических сетях и электроустановках потребителей с одной стороны, и нормативно-технической документацией в электроэнергетике с другой стороны. Рост тарифов - один из сигналов о неблагополучии в электроэнергетике. Установкой только электросчетчиков у потребителей эту проблему разрешить не получится.

Потери электроэнергии сегодня подсчитываются экономическим путем и не соотносятся с техническими причинами, порождающими эти потери. Повышение эффективности расходования энергоресурсов в основном связано с дальнейшим использованием энергосберегающей техники. В основе данного подхода вновь лежит экономический подход, когда счетчик электроэнергии показывает меньшую величину. Причина увеличения потерь в линиях, во внутридомовых сетях и трансформаторах остается неизменной, и, следовательно, использование энергоэффективной техники не решает проблему сокращения потерь, а наоборот приводит к их росту и искажению показаний приборов учета электроэнергии и измерительных трансформаторов.

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		68

На сегодняшний день нет исследований по потерям в силовых трансформаторах, связанных с асимметричным режимом их работы и протекании в них несинусоидальных токов. Также неизвестно, как растут потери электроэнергии при протекании в линиях электропередачи искаженного и асимметричного тока нагрузки. Очевидным остается тот факт, что потери при таких режимах растут, количество генерируемой энергии лишь частично доходит до потребителя.

Дальнейшее применение трехфазного тока для электроснабжения социально-бытового сектора экономики страны, при быстром росте однофазной нелинейной нагрузки приведет к лавинообразному росту потерь электроэнергии при ее транспортировке и потреблении. Нужно искать альтернативные схемы обеспечения электроэнергией этого сектора экономики, такие как однофазные и многофазные источники электроэнергии, постоянный ток, высокочастотный ток и т.д.

5.2 Электроснабжение на постоянном токе

Трехфазный ток по происхождению предназначен для промышленности и тяжелой индустрии, для передачи электроэнергии на дальние расстояния. Он, собственно, для этого и был изобретен. Применение постоянного тока для электроснабжения электроустановок зданий предлагается как один из альтернативных вариантов для электроснабжения сектора экономики с однофазной нагрузкой с целью существенного снижения потерь электроэнергии (по предварительным оценкам до 20%). [47]

В основе данного предложения лежат следующие аксиомы:

1. Схема электроснабжения на постоянном токе симметрирует однофазную нагрузку в трехфазной сети и силовых трансформаторах в результате применения в ней двенадцатипульсного выпрямителя. Нарботка на отказ современной силовой электроники достаточно высокая, имеется опыт эксплуатации данного оборудования в электрофицированном транспорте и специальных объектах.

2. Постоянный ток по самой своей природе не имеет гармонических токов и реактивной составляющей электроэнергии. Это также снижает потери электроэнергии при ее передаче по линиям электропередачи, в трансформаторах, в сетях потребителя в целом до 20% .

3. Большинство техники, использующейся в быту и офисах, может работать на постоянном токе, так как в основе их работы лежит принцип выпрямления переменного тока и преобразование его в частотных преобразователях по структурам техники для применения или выполнения разных функций, например для регулирования скорости вращения двигателей, изменения звука, цвета и т.п. Кроме того, промышленностью выпускается оборудование, непосредственно работающее от постоянного тока.

4. Учет электроэнергии постоянного тока не имеет привнесенных погрешностей в отличие от переменного тока с искаженной формой.

5. Постоянный ток практически не создает в окружающей среде переменное электромагнитное поле, влияющее на физиологию человека, т.е. в электроустановках с постоянным током электромагнитная обстановка чистая и безопасная.

6. В качестве источника постоянного тока для электроснабжения жилых домов, кроме основного источника, можно использовать аккумуляторы и альтернативные источники электроэнергии. При этом нетрадиционные источники электроэнергии можно использовать напрямую без преобразования и синхронизации, что существенно упрощает и удешевляет их применение.

В настоящее время постоянный ток можно применять во внутренних и уличных сетях освещения. Для организации работ на постоянном токе имеется комплекс стандартов серии ГОСТ Р 50571-2000 «Электроустановки зданий. Требования по обеспечению безопасности».

5.3 Потребители электрической энергии комплекса

В таблице 5.1 приведен список потребителей постоянного и переменного тока.

Таблица 5.1 – Перечень бытовой техники горнолыжного комплекса

Наименование техники	Ток	Примечание
Телевизор	постоянный	-
Компьютер	постоянный	-
Роутер	постоянный	-
Зарядное устройство для телефона	постоянный	-
Микроволновая печь	постоянный	-
Пылесос	постоянный	Применение инверторного двигателя
Стиральная машина	постоянный	Применение инверторного двигателя
Холодильник	постоянный	Применение инверторного двигателя
Фен	постоянный	-
Насос	постоянный	
Освещение	постоянный	-
Двигатель горнолыжного подъемника	переменный	-
Вентиляция бани	переменный	-

Вывод: подавляющее большинство потребителей электроэнергии питаются постоянным током, следовательно, можно провести распределение на постоянном токе, потребителей переменного тока запитать отдельной линией.

Применение инверторного двигателя, за счет сокращения механических деталей, позволяет экономить потребляемую электроэнергию минимум на 50%.

На рисунке 5.1 показаны результаты расчета потерь в выпрямителе для одного объекта (дома).

Техника	Мощность, кВт·ч	КПД выпрямителя	Потери, кВт·ч
Телевизор	0,18	0,75	0,045
Компьютер	0,4	0,75	0,1
ЗУ для телефона	0,01	0,75	0,0025
Микроволновая печь	0,8	0,75	0,2
Пылесос	0,17	0,8	0,034
Стиральная машина	0,19	0,8	0,038
Холодильник	0,032	0,8	0,0064
Фен	0,8	0,75	0,2
Насос	0,5	0,8	0,1
Итого	3,082		0,7259

Рисунок 5.1 – Расчет потерь в выпрямителе

Таким образом, если убрать выпрямитель из используемой бытовой техники можно сэкономить на потерях электроэнергии, в рамках одного дома эти потери кажутся небольшими, однако при совокупности нескольких объектов (50 домов) это позволит сэкономить 36,3 киловатта энергии в час, что в денежном эквиваленте за сутки составит 2700 рублей.

5.4 Экономическое обоснование исследования возможности электроснабжения на постоянном токе

Так как планируется не модернизация горнолыжного комплекса, а его строительство, то целесообразным будет закупать бытовую технику, питаемую от постоянного тока, а именно, технику с применением инверторного двигателя. Таким образом, в исходном проекте можно заменить инвертор, на тот, которого будет достаточно для электроснабжения горнолыжного подъемника и вентиляции бани.

Выбирается инвертор Gamesa E-100, данного инвертора будет более чем достаточно для электроснабжения потребителей переменного тока. Стоимость данного инвертора ниже более чем на 500 000 руб. Внешний вид инвертора показан на рисунке 5.2.

В исходном проекте можно заменить инвертор, на тот, которого будет достаточно для электроснабжения горнолыжного подъемника и вентиляции бани.

Выбирается инвертор Gamesa E-100 [49], данного инвертора будет более чем достаточно для электроснабжения потребителей переменного тока. Стоимость данного инвертора ниже более чем на 500 000 руб.



Рисунок 5.2 – Внешний вид Gamesa E-100

Таким образом, применение данного инвертора позволяет снизить капитальные вложения в проект, и тем самым уменьшить срок окупаемости проекта.

5.5 Применение частотного преобразователя для экономии электроэнергии

Для экономии электроэнергии на каждый двигатель рекомендуется устанавливать преобразователь частоты. Преобразователи частоты позволяют регулировать скорость вращения электродвигателя за счет изменения входной частоты [50].

Частотный преобразователь, или преобразователь частоты - электротехническое устройство (система управления), используемое для контроля скорости и момента двигателей переменного тока путем изменения частоты и напряжения питания электродвигателя.

Согласно ГОСТ 23414-84 полупроводниковый преобразователь частоты - полупроводниковый преобразователь переменного тока, осуществляющий преобразование переменного тока одной частоты в переменный ток другой частоты

Частотный преобразователь - это устройство, используемое для того чтобы обеспечить непрерывное управление процессом. Обычно частотный преобразователь способен управлять скоростью и моментом асинхронных и синхронных двигателей.

На рисунках 5.3 и 5.4 представлен внешний вид частотного преобразователя небольшой мощности и высоковольтного преобразователя соответственно.

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		72

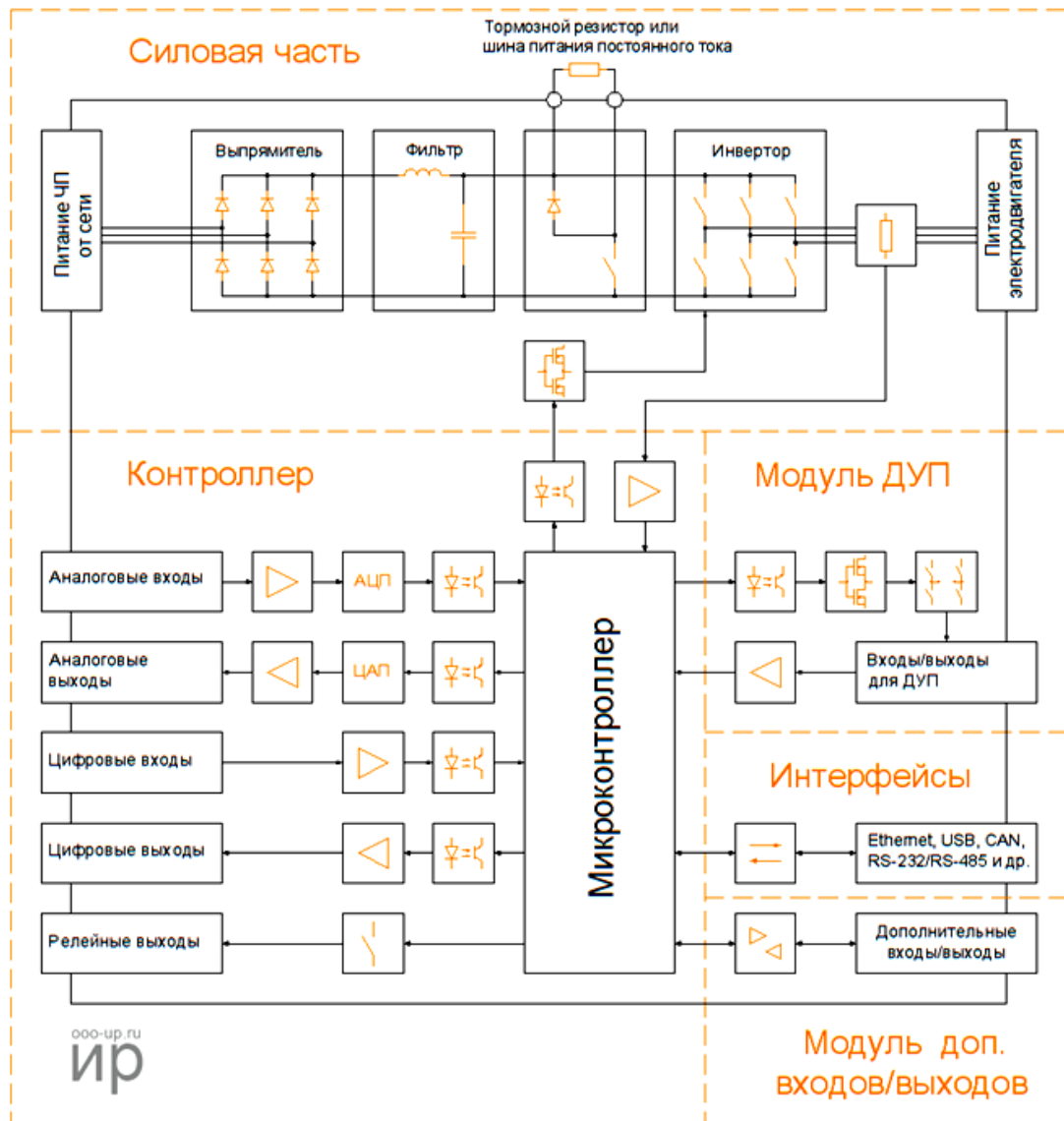


Рисунок 5.3 – Внешний вид частотного преобразователя
небольшой мощности



Рисунок 5.4 – Внешний вид высоковольтного преобразователя

5.5.1 Конструкция частотного преобразователя



Обозначения:



ЧП - частотный преобразователь

ДУП - датчик угла поворота

Рисунок 5.5 – Функциональная схема

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата
------	------	-------------	-------	------

13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ

Лист

74

Основными элементами частотного преобразователя являются силовая часть (преобразователь электрической энергии) и управляющее устройство (контроллер). Современные частотные преобразователи обычно имеют модульную архитектуру, что позволяет расширять возможности устройства. Также зачастую имеется возможность установки дополнительных интерфейсных модулей и модулей расширения каналов ввода/вывода.

5.5.2 Методы управления

На микроконтроллере частотного преобразователя выполняется программное обеспечение, которое управляет основными параметрами электродвигателя (скоростью и моментом). Основные методы управления бесщеточными двигателями, используемые в частотных преобразователях представлены на рисунке 7.5.

Метод управления электродвигателем		Диапазон регулирования скорости	Погрешность скорости ³ , %	Время нарастания момента, мс	Пусковой момент	Цена	Стандартные применения
Скалярный		1:10 ¹	5-10	Не доступно	Низкий	Очень низкая	Низкопроизводительные: насосы, вентиляторы, компрессоры, ОВК (отопление, вентиляция и кондиционирование)
Векторный	Линейный	Полеориентированное управление	>1:200 ²	0	<1-2	Высокий	Высокопроизводительные: краны, лифты, транспорт и т.д.
		Прямое управление моментом с ПВМ	>1:200 ²	0	<1-2	Высокий	
	Нелинейный	Прямое управление моментом с таблицей включения	>1:200 ²	0	<1	Высокий	
		Прямое самоуправление	>1:200 ²	0	<1-2	Высокий	Высокопроизводительные: электрическая тяга, быстрое ослабление поля

Рисунок 5.5 – Характеристики основных способов управления электродвигателями используемых в частотных преобразователях

Примечание:

1. Без обратной связи.

2. С обратной связью.
3. В установившемся режиме

5.5.3 Методы модуляции

Широкое развитие силовых электрических преобразователей в последние десятилетия привело к увеличению количества исследований в области модуляции. Метод модуляции непосредственно влияет на эффективность всей энергосистемы (силовой части, системы управления), определяя экономическую выгоду и производительность конечного продукта.

Главная цель методов модуляции – добиться лучшей формы сигналов (напряжений и токов) с минимальными потерями. Другие второстепенные задачи управления могут быть решены посредством использования правильного способа модуляции, такие как уменьшение синфазной помехи, выравнивание постоянного напряжения, уменьшение пульсаций входного тока, снижение скорости нарастания напряжения. Одновременное достижение всех целей управления невозможно, необходим компромисс. Каждая схема силового преобразователя и каждое приложение должны быть глубоко изучены для определения наиболее подходящего метода модуляции.

Методы модуляции можно разделить на четыре основные группы:

- 1) ШИМ - широтно-импульсная модуляция
- 2) ПВМ - пространственно-векторная модуляция
- 3) гармоническая модуляция
- 4) методы переключения переменной частоты

Выбирается частотный преобразователь производства Schneider Electric ALTIVAR ATV930, внешний вид которого показан на рисунке 5.6, а технические характеристики приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Технические характеристики ALTIVAR ATV930

Характеристики	Значение
Мощность, кВт	75
Напряжение, В	220/380
Ток номинальный, А	145
Стоимость, руб.	200000
Степень защиты	IP 21



Рисунок 5.6 – Внешний вид ALTIVAR ATV930

Вывод по разделу пять:

Проведено исследование возможности электроснабжения потребителей постоянным током, в результате исследования в рассматриваемой работе рассчитаны потери электроэнергии в выпрямителе, экономия на потерях в выпрямителе составила 2700 рублей с 50-ти домов в сутки.

Был заменен мощный инвертор, предназначенный для электроснабжения переменным током всех потребителей, на инвертор малой мощности, которой достаточно для электроснабжения горнолыжного подъемника и вентиляции. Экономия на замене инвертора составила более 500000 рублей.

Рассмотрено применение частотных инверторов для экономии электроэнергии, выбран частотный преобразователь, обоснование экономии электроэнергии описано в экономическом разделе.

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		77

6 РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

6.1 Расчет финансовых показателей

Расчет капитальных вложений:

Определим капиталовложения на строительство системы электроснабжения горнолыжного комплекса, которые состоят из стоимости ветрогенератора, солнечных панелей, дизельного генератора, аккумуляторных батареи, инвертора и прочего оборудования.

Таблица 6.1 – Капитальные вложения

Год	CF, тыс.руб.	$\frac{CF}{(1+r)^t}$, тыс.руб.	NPV, тыс.руб.
0	-113520,04	-113520,04	-113520,04
1	18163,21	18163,21	-95356,83
2	18163,21	15572,02503	-79784,80497
3	18163,21	14418,5417	-65366,26327
4	18163,21	13350,50157	-52015,76169
5	18163,21	12361,57553	-39654,18616
6	18163,21	11445,90327	-28208,2829
7	18163,21	10598,05858	-17610,22431
8	18163,21	9813,017206	-7797,207108
9	18163,21	9086,127042	1288,919934

Количество капитальных вложений на оборудование:

$$K_{\text{обор}} = 104146,8 \text{ тыс. руб.}$$

Расчет капитальных вложений на транспортировку оборудования:

$$K_{\text{тран}} = 0,05 \cdot K_{\text{обор}},$$

где 0,05 - норма отчисления на транспортировку оборудования

$$K_{\text{тран}} = 0,05 \cdot 104146,8 = 5207,34 \text{ тыс. руб.}$$

Расчет капитальных вложений на монтаж оборудования:

$$K_{\text{монт}} = 0,04 \cdot K_{\text{обор}},$$

где 0,04 - норма отчисления на монтаж оборудования

$$K_{\text{монт}} = 0,04 \cdot 104146,8 = 4165,9 \text{ тыс. руб.}$$

Расчет суммарных капитальных вложений:

$$K_{\text{сумм}} = K_{\text{обор}} + K_{\text{тран}} + K_{\text{монт}}, \text{ тыс. руб.}$$

$$K_{\text{сумм}} = 104146,8 + 5207,34 + 4165,9 = 113520,04, \text{ тыс. руб.}$$

Расчет эксплуатационных издержек:

$$I_{\text{общ}} = I_{\text{а}} + I_{\text{об/рем}},$$

где $I_{\text{а}}$ - ежегодные амортизационные издержки, $I_{\text{об/рем}}$ - издержки на обслуживание и ремонт.

Расчет амортизационных издержек:

$$I_{\text{а}} = n_{\text{а}} \cdot K_{\text{сумм}},$$

где $n_{\text{а}}$ - норма амортизации, составляющая 16% по методу ускоренной амортизации.

$$I_{\text{а}} = 0,16 \cdot 113520,04 = 18163,21, \text{ тыс. руб.}$$

Расчет издержек на обслуживание и ремонт:

$$I_{\text{об/рем}} = 0,05 \cdot K_{\text{сумм}},$$

где 0,05 - норма издержек на обслуживание и ремонт.

$$I_{\text{об/рем}} = 0,05 \cdot 113520,04 = 5676,002, \text{ тыс. руб.}$$

$$I_{\text{общ}} = 18163,21 + 5676,002 = 23839,212, \text{ тыс. руб.}$$

6.2 Расчет показателя экономической эффективности инвестиций:

Используя показатель чистого приведенного дохода (NPV или ЧПС) можно сопоставить величину капитальных вложений с общей суммой чистых денежных поступлений, генерируемых ими в течение прогнозного периода, характеризует современную величину эффекта от будущей реализации инвестиционного проекта. Приток денежных средств дисконтируется с помощью коэффициента r , так как он распределен во времени. Используя данные о стоимости инвестированного капитала, устанавливается коэффициент r .

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		79

Для расчета показателя экономической эффективности (NPV) выполняется прогноз величины финансовых потоков за каждый год проекта, после выполнить сравнение во времени, для этого необходимо привести их общему знаменателю.

Таким образом, NPV - разница между суммой денежных поступлений порождаемых реализацией проекта и дисконтированных текущих стоимостей и всех затрат необходимых для реализации этого проекта.

Определение чистой приведенной стоимости:

$$NPV = \sum_1^n \frac{CF}{(1+r)^t} - I_0$$

где CF - ежегодные денежные поступления, t - годы реализации проекта, I₀ - полные суммарные инвестиции, r - процентная ставка: 8% .

Определение денежного потока:

$$CF = I_a$$

где I_a - ежегодные издержки на амортизацию, тыс. руб.

$$I_a = 18163,21 \text{ тыс. руб.}$$

В таблице 6.2 приведен расчет NPV для банковского процента r = 8% .

Таблица 6.2 – Расчет NPV

Год	CF, тыс.руб.	$\frac{CF}{(1+r)^t}$, тыс.руб.	NPV, тыс.руб.
0	-113520,04	-113520,04	-113520,04
1	18163,21	18163,21	-95356,83
2	18163,21	15572,02503	-79784,80497
3	18163,21	14418,5417	-65366,26327
4	18163,21	13350,50157	-52015,76169
5	18163,21	12361,57553	-39654,18616
6	18163,21	11445,90327	-28208,2829
7	18163,21	10598,05858	-17610,22431
8	18163,21	9813,017206	-7797,207108
9	18163,21	9086,127042	1288,919934

Если NPV > 0, тогда предприятие получит дополнительную рыночную стоимость; NPV > 0, тогда, учитывая выплачиваемые налоги, необходимо проводить дополнительные исследования по рассматриваемому проекту; NPV < 0 означает уменьшение рыночной стоимости имущества, следовательно, проект отвергается.

В рассматриваемом проекте $NPV > 0$, срок окупаемости составил около 8,5 лет, следовательно, проект можно принять.

6.3 Экономическое обоснование выполненной работы

В начале проектирования горнолыжного комплекса был выбран инвертор Loher DYNAVERT, стоимость которого составляет 813450 рублей, но после проведения исследования возможности электроснабжения на постоянном токе было принято заменить его на Gamesa E-100, стоимостью 310000 рублей, это позволило сократить планируемые капиталовложения на 500000 рублей.

Чтобы определить экономию электроэнергии преобразователя частоты на производственных объектах пользуются такими факторами:

- а) экономия электрической энергии 20%;
- б) уменьшение затрат на текущий ремонт, управления и обслуживания;
- в) повышение срока службы электромотора;
- г) уменьшение размера тока запуска мотора номинальной нагрузкой и отсутствие негативного влияния на питающую сеть;
- д) мягкий запуск двигателя обуславливает исключение или значительное уменьшение действий датчика динамики на производство.

Приведем расчет срока окупаемости частотного преобразователя:

$$T_{\text{окупаемости}} = \frac{C_{\text{преобр}}}{\lambda \cdot C_{\text{элек}}}$$

где $T_{\text{окупаемости}}$ – срок окупаемости, $C_{\text{преобр}}$ – цена частотного преобразователя, $C_{\text{элек}}$ – стоимость киловатта электроэнергии, λ – коэффициент, зависящий от постоянных параметров (от 1,2 до 1,6).

Зная имеющийся интервал нагруженности, среднюю экономию электрической энергии берем 20%. Подсчитаем экономию электроэнергии (В) в среднем за месяц (учитывая 15 часовую эксплуатацию двигателя за 30 дней):

$$B = t \cdot M \cdot 20\%$$

где t – время эксплуатации (час.), M – мощность (кВт).

$$B = 450 \cdot 69 \cdot 0,2 = 6210 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Определим стоимость электрической энергии, которая сэкономлена (1кВт·ч = 3,03 руб.):

$$C_{\text{элек}} = 6210 \cdot 3,03 = 18816 \text{ руб.}$$

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		81

$$T_{\text{окупаемости}} = \frac{200000}{1,2 \cdot 18816} \approx 9 \text{ мес.}$$

Таким образом, срок окупаемости частотного преобразователя составит 9 месяцев, при этом экономия электрической энергии будет составлять 20000 руб./мес.

Вывод по разделу шесть:

Рассчитаны финансовые показатели и показатели экономической эффективности, приведено экономическое обоснование выполненной работы, срок окупаемости проекта составил менее 8 лет, экономия электроэнергии благодаря использованию частотных преобразователей, ежемесячно будет составлять 20000 рублей.

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		82

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе разработан план предлагаемого для строительства горнолыжного комплекса и рассчитаны нагрузки. Произведен выбор защитных аппаратов и оборудования, разработана структурная схема и приведено описание ветро-солнечной энергосистемы.

Выполнены необходимые расчеты для выбора инвертора, аккумуляторных батарей, ветрогенератора, фотоэлектрических модулей и их количества. Приведено описание различных ветроустановок, в ходе которого была выбрана ветровая роторная турбина Болотова. Подобран резервный источник питания.

Проведено исследование возможности электроснабжения на постоянном токе, уделено внимание применению частотных преобразователей, что позволит уменьшить капиталовложения, сократить срок окупаемости и экономично использовать электроэнергию.

Выполнено технико-экономическое обоснование выполненной работы, срок окупаемости составил менее 8 лет.

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		83

46. Аналитический отчет МФК 2011–Политика России в области возобновляемых источников энергии: пробуждение Российского великана. Аналитический отчет «Доклад МФК». Международная финансовая корпорация (IFC).
47. Яковлев Г.Н. Применение постоянного тока в электроснабжении социально-бытового сектора экономики с целью снижения потерь электроэнергии // Энергосовет. 2011. №6 (19).С. 65 – 66.
48. Журавлев А.С. Применение постоянного тока в электроснабжении с целью снижения потерь электроэнергии // "Энергосовет". 2012. №7. С. 56-62.
49. Gamesa E-100 // <https://www.worldfutureenergysummit.com> / (дата обращения 05.01.2019)
50. Частотный преобразователь // <http://chistotnik.ru/preobrazovatel-chastoty-ekonomiya-elektroenergii.html> / (дата обращения 06.01.2019)

					13.04.02.2019.569.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		87

