

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

На правах рукописи

Шуркалов Петр Сергеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА
05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор

Тягунов М.Г.

Москва, 2014 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРО- ТРАНСПОРТА И ЕГО ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ	
1.1. Электрические транспортные средства и зарядная инфраструктура	13
1.1.1. Общие положения	13
1.1.2. Электромобили и гибридные автомобили в мире: современное состояние и перспективы развития	14
1.1.3. Зарядная инфраструктура в мире	19
1.1.3.1. Зарядные станции	19
1.1.3.2. Станции замены аккумуляторных батарей	21
1.1.3.3. Стимулирование развития зарядной инфраструктуры со стороны государства и частных компаний	23
1.1.3.4. Базы данных и интерактивные карты размещения зарядных станций	26
1.1.3.5. Зарядная инфраструктура: современное состояние и перспективы развития	27
1.1.4. Зарядные станции, работающие от возобновляемых источников энергии	29
1.1.4.1. Солнечные зарядные станции	30
1.1.4.2. Ветряные зарядные станции	34
1.1.5. Электрические транспортные средства и зарядная инфраструктура в России	35
1.2. Понятие гибридного энергетического комплекса	39
1.3. Аналитический обзор исследований и научных работ в области зарядной инфраструктуры для электротранспорта	40
1.4. Постановка задачи исследования	46
1.5. Выводы по главе	48

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЭК	
2.1. Общие положения	51
2.2. Построение структурно-функциональной модели ГЭК	52
2.3. Построение ресурсной модели ГЭК	53
2.3.1. Ресурсная модель прихода солнечного излучения	54
2.3.2. Ресурсная модель изменения скорости ветра	55
2.4. Построение технических моделей элементов ГЭК	55
2.4.1. Техническая модель солнечной фотоэлектрической установки	56
2.4.2. Техническая модель ветроэлектрической установки	57
2.4.3. Техническая модель дизельной электроустановки	58
2.4.4. Техническая модель потребителей энергии	58
2.4.4.1. Технические модели зарядных станций	59
2.4.4.2. Технические модели станций замены аккумуляторных батареи	70
2.5. Построение экономической модели ГЭК	84
2.6. Выводы по главе	91
3. ОБЩАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЭК	
3.1. Общие положения	93
3.2. ГЭК, включающие в свой состав зарядные станции	93
3.3. ГЭК, включающие в свой состав станции замены аккумуляторных батарей	105
3.4. Выводы по главе	118
4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
4.1. Общие положения	120
4.2. Расчёт режимов работы ГЭК	124
4.3. Экономическая оценка эффективности ГЭК	156
4.4. Выводы по главе	183
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	189
ЛИТЕРАТУРА	192

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Зарядная инфраструктура в мире и России.

Статистика 205

Приложение 2. Техническая модель потребителей энергии 219

Приложение 3. Результаты расчёта режимов работы ГЭК 229

Приложение 4. Результаты экономической оценки эффективности
ГЭК 240

Приложение 5. Информация по рассматриваемому в работе
оборудованию 267

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом количество автотранспортных средств, как в мире в целом, так и в России в частности, постепенно увеличивается. Следствием этого является рост потребления бензина и загрязнения атмосферы выхлопными газами автомобилей. В связи с этим очень остро ставится вопрос о разработке комплекса мер по экономии жидкого топлива и уменьшению содержания токсичных веществ в атмосфере. На сегодняшний день решение этих проблем идёт по нескольким направлениям, одним из которых является разработка практически нетоксичных электрических транспортных средств, их популяризация, интеграция в повседневную жизнь и постепенный переход на них с обычных автомобилей. Однако при этом возникает другая проблема, связанная с эксплуатацией таких автомобилей, а именно – для того, чтобы пользоваться электрическими транспортными средствами было комфортно, необходима соответствующая зарядная инфраструктура, которая обязательно должна включать в себя сети зарядных станций и/или станций замены аккумуляторных батарей (АКБ).

Сегодня в мире развитие инфраструктуры станций подзарядки, работающих от электрической сети, ведётся довольно большими темпами. Из упомянутых выше двух типов станций наибольшее распространение получили обычные зарядные станции, количество которых уже превышает 50 тысяч. Что же касается станций замены АКБ, то их сейчас всего несколько, однако со временем эта ситуация должна измениться. Кроме этого сравнительно недавно во многих странах мира начали появляться зарядные станции, работающие от возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а именно – от энергии солнца и ветра. Общее количество таких станций в мире уже насчитывает несколько сотен штук.

В России с недавнего времени также началось строительство такой инфраструктуры, но пока все из установленных зарядных станций являются сетевыми. Так в Москве и Московской области уже эксплуатируется 42 такие

станции подзарядки [1]. Россия же в свою очередь располагает большим потенциалом возобновляемых источников энергии, причём, вследствие её географического положения, размеров, разнообразия климата и особенностей местности, виды ВИЭ существенно варьируются [2]. В связи с этим вполне логичным является использование возобновляемых источников для энергоснабжения электростанций, которые ещё будут строиться на территории страны.

Актуальность темы диссертационной работы

Энергоснабжение станций подзарядки электротранспорта от ВИЭ в настоящее время весьма актуально, в первую очередь при учёте экологических факторов. Так, при подзарядке на сетевых станциях, которых сейчас большинство, эффект от снижения уровня выбросов за счёт замещения автомобилей электромобилями частично компенсирует рост выбросов тепловых электростанций (ТЭС), обеспечивающих рост мощности этого нового типа потребителей. Таким образом получается, что электрические транспортные средства способствуют улучшению экологической обстановки только в тех районах, где они используются, тогда как в районах, где расположены ТЭС, напротив, наблюдается рост загрязнения атмосферы. Станции, работающие от генерирующих установок на основе ВИЭ, такого недостатка практически лишены, так как в этом случае электроэнергия, необходимая для их работы, вырабатывается с использованием местных экологически чистых энергоресурсов (энергии солнца, ветра и др.). Кроме этого энергетические комплексы, включающие в себя установки на основе ВИЭ, зарядные станции и/или станции замены АКБ позволяют эффективно экономить ископаемое топливо за счёт замещения вырабатываемой на ТЭС электроэнергии для зарядки электротранспорта.

Помимо экологической и топливной составляющих использование энергокомплексов на основе ВИЭ и станций подзарядки позволяет также

повысить энергобезопасность и энергонезависимость энергорайонов страны. С точки зрения энергобезопасности строительство таких комплексов привнесёт в энергобаланс этих районов и регионов ещё один или несколько новых объектов генерации электроэнергии на основе ВИЭ. В случае выхода из строя традиционных объектов генерации (электростанций, дизельных электроустановок и др.) или объектов передачи и распределения электроэнергии, комплексы на основе ВИЭ смогут снабжать электроэнергией не только станции подзарядки электромобилей, но и другие объекты. В свою очередь для районов, удалённых от линий электропередачи (ЛЭП) комплексы на основе ВИЭ позволят снизить зависимость от поставок ископаемых видов топлива.

Следует отметить, что в мире данной теме посвящено значительное количество исследований. Более того, как уже было упомянуто, за рубежом уже действует значительное количество зарядных станций на основе ВИЭ. В России таких зарядных станций пока нет. Следовательно, проведение исследований эффективности использования ВИЭ для энергоснабжения станций подзарядки электротранспорта на территории России, а также создание методики проектирования соответствующих комплексов в части обоснования их структуры и параметров является актуальным.

Целью диссертационной работы является:

- исследование эффективности использования специализированных гибридных энергетических комплексов (ГЭК) на основе возобновляемых источников энергии для питания зарядных станций или станций замены аккумуляторных батарей средств электрического транспорта;
- разработка методики оптимизации структуры и параметров ГЭК для энергоснабжения зарядных станций или станций замены АКБ средств электрического транспорта и оценка эффективности их использования в разных регионах России.

Для создания типовых решений энергетических комплексов станций подзарядки на основе ВИЭ требуется решить ряд научных и инженерных задач по определению рациональной структуры и параметров этих ГЭК. При этом следует иметь в виду не только генерирующие источники, но и все остальные элементы, входящие в состав таких комплексов. В связи с этим, в работе уделяется большее внимание:

- использованию в составе ГЭК аккумуляторов электроэнергии, а именно типовых аккумуляторных батарей и аккумуляторных батарей электрических транспортных средств;
- процессам заряда-разряда рассматриваемых аккумуляторов электроэнергии;
- разным типам зарядных станций и станций замены АКБ;
- тому, каким образом станции подзарядки влияют на режимы работы ГЭК на основе ВИЭ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Проанализировать принципы работы зарядных станций и станций замены АКБ средств электрического транспорта и существующие методики их математического моделирования;
2. Разработать математическую модель ГЭК, включающего в себя генерирующие электроустановки на основе солнечной и ветровой энергии, работающие параллельно с электрической сетью и на автономного электропотребителя, и зарядные станции или станции замены АКБ средств электрического транспорта;
3. Исследовать влияние состава и параметров исследуемого ГЭК на режимы его работы;
4. Разработать методику и основанный на ней аппарат технико-экономического обоснования структуры и параметров ГЭК на основе ВИЭ для подзарядки средств электрического транспорта;

5. Оценить эффективность использования генерирующих установок на основе ВИЭ для энергоснабжения станций подзарядки средств электрического транспорта для различных потребителей в различных регионах России и разработать рекомендации по определению оптимальной структуры типовых энергетических комплексов на основе станций подзарядки и ВИЭ.

Методы и средства выполнения исследований

В исследовании применялись широко известные методы математического моделирования и финансово-экономической оценки проекта.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Разработаны математические модели зарядных станций и станций замены АКБ средств электрического транспорта, имитирующие работу этих станций в разных условиях эксплуатации;
2. Разработана математическая модель ГЭК, включающего в себя генерирующие электроустановки на основе солнечной и ветровой энергии, типовые аккумуляторы или аккумуляторные батареи электромобилей для накопления избыточной электроэнергии и зарядные станции или станции замены АКБ средств электрического транспорта с резервированием энергоснабжения от электрической сети или дизельных электроустановок (ДЭУ);
3. Показано влияние состава и параметров исследуемого ГЭК на режимы его работы и эффективность его использования;
4. Разработаны методика экономического обоснования структуры и параметров ГЭК на основе ВИЭ для подзарядки средств электрического транспорта и рекомендации по использованию

установок на основе ВИЭ для энергоснабжения разных типов зарядных станций и станций замены АКБ на территории России.

Достоверность полученных результатов основана на корректном использовании известных верифицированных методик и математических моделей отдельных элементов ГЭК, опубликованных в открытых отечественных и зарубежных источниках.

Практическая ценность работы состоит в возможности использования разработанной методики и рекомендаций для определения параметров ГЭК на ранних стадиях проектирования, а также для оценки размещения ГЭК со станциями подзарядки средств электрического транспорта в разных регионах России.

Личный вклад автора заключается в следующем:

- разработаны математические модели зарядных станций и станций замены АКБ разных типов;
- разработана математическая модель ГЭК на основе станций подзарядки и ВИЭ, позволяющая производить расчёт режимов работы ГЭК с разным составом оборудования и расположенных в разных регионах России;
- разработана методика обоснования состава и параметров ГЭК, предназначенного для зарядки средств электрического транспорта;
- проведены численные эксперименты, обработаны и обобщены их результаты, позволившие сформулировать выводы и разработать рекомендации по определению структуры ГЭК с использованием установок на основе ВИЭ для энергоснабжения зарядных станций и станций замены АКБ разных типов для различных регионов России.

Апробация работы

Результаты выполненной работы докладывались и обсуждались на Всероссийских и международных конференциях: Восьмая научная молодежная школа с международным участием «Возобновляемые источники энергии» (ФГБОУ ВПО «МГУ имени М.В. Ломоносова», 2012 г.), Девятнадцатая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «РАДИОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА» (ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», 2013 г.); на научных семинарах и заседаниях кафедры «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» («Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии») ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ».

Публикации

По основным результатам диссертации опубликовано 4 печатные работы, в том числе 2 в рекомендованном ВАК России издании.

Объём и структура диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, включающего 114 наименований, и 5 приложений.

Работа изложена на 166 страницах основного текста, содержит 134 рисунка, 63 таблицы и 79 страниц приложения.

Основные положения, выносимые на защиту

На защиту автором выносятся следующие положения:

1. Математические модели зарядных станций и станций замены АКБ средств электрического транспорта;

2. Математическая модель ГЭК, включающего в себя генерирующие электроустановки на основе ВИЭ и зарядные станции или станции замены АКБ средств электрического транспорта;
3. Методика экономического обоснования структуры и параметров ГЭК на основе ВИЭ для подзарядки средств электрического транспорта;
4. Результаты исследования влияния состава и параметров ГЭК на основе станций подзарядки и ВИЭ на режимы его работы;
5. Результаты исследования эффективности и рекомендации по использованию установок на основе ВИЭ для энергоснабжения разных типов зарядных станций и станций замены АКБ средств электрического транспорта на территории России.

Основные положения диссертационной работы отражены в следующих публикациях:

1. Тягунов М.Г., Шарапов С.А., Шуркалов П.С. Гибридные энергетические комплексы и алгоритмы управления ими // Вестник МЭИ №4, М.: Издательский дом МЭИ, 2013, с. 64-67;
2. Шуркалов П.С., Тягунов М.Г. Возможности подзарядки электромобилей от установок на основе возобновляемых источников энергии // Вестник МЭИ №5, М.: Издательский дом МЭИ, 2013, с. 61-66;
3. Шуркалов П.С. Инфраструктура зарядных станций для электрических транспортных средств на основе возобновляемых источников энергии // Возобновляемые источники энергии: материалы восьмой научной молодежной школы с международным участием – М.: Университетская книга, 2012, с. 465-469;
4. П.С. Шуркалов, М.Г. Тягунов. Зарядные станции на основе возобновляемых источников энергии // РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Девятнадцатая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 4 т. Т. 4. М.: Издательский дом МЭИ, 2013, с. 308.

1. СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА И ЕГО ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

1.1. Электрические транспортные средства и зарядная инфраструктура

1.1.1. Общие положения

Мировой парк автомобилей ежегодно увеличивается на 5-8% и более. Так в Москве, к примеру, за 2011 год прирост автотранспорта составил свыше 514 тыс. единиц или 12%, а в целом на конец года численность автомобильного парка в городе составила около 4,2 млн. [3]. В связи с этим с каждым годом становится всё более актуальной задача по устранению вреда современных автомобилей, а именно – загрязнения атмосферы отработавшими газами.

Согласно данным World Energy Council, около 17% глобального выброса парниковых газов попадает в окружающую среду из-за работы автотранспорта. В России на автотранспорт приходится приблизительно 42% загрязнений, причём в крупных мегаполисах эта цифра может достигать 90% [3]. Так, согласно исследованиям, проведенным в 2012 году для Москвы, проблема загрязнения воздуха автотранспортом по-прежнему остаётся для города наиболее актуальной: суммарный выброс загрязняющих веществ автотранспортом в 2012 году составил более 90% суммарного выброса загрязняющих веществ в атмосферу [3]. И это притом, что выхлопные газы являются высокотоксичными, так как содержат такие соединения как угарный газ, оксиды азота, углеводороды, альдегиды, сажу и т.д. Загазованный воздух оказывает прямое негативное влияние на здоровье человека, отравляющие вещества проникают в органы, нарушают их нормальную работу и приводят к развитию различных заболеваний

дыхательной системы, а также являются одним из факторов риска развития раковых опухолей [4].

Помимо загрязнения атмосферы отработавшими газами автотранспорт также является и основным источником шумового загрязнения. Так шум обладает крайне неприятной особенностью – он воздействует не только на орган слуха, но и на весь организм, вызывая при длительном воздействии ухудшение памяти, повышение кровяного давления, нервное расстройство и ряд других заболеваний. Главный санитарный врач Москвы Н. Филатов отмечает, что в шумных районах столицы за последние 10 лет в 2-3 раза увеличилось число сердечно-сосудистых заболеваний. По его данным, повышенный шум сокращает продолжительность жизни на 8-12 лет [5].

Таким образом, растущий уровень загрязнения больших городов очень остро ставит вопрос о разработке комплекса мер по уменьшению содержания токсичных веществ в атмосфере и снижению уровня шума. На сегодняшний день решение этих проблем идёт по нескольким направлениям, одним из которых является разработка практически нетоксичных и бесшумных транспортных средств. К таким средствам относятся электромобили и гибридные автомобили. Под гибридными автомобилями в дальнейшем подразумеваются только такие автомобили, которые используют электродвигатель в качестве одного из источников энергии для привода ведущих колёс. В качестве накопителя энергии, необходимого для работы электродвигателя, в составе таких автомобилей рассматриваются аккумуляторные батареи.

1.1.2. Электромобили и гибридные автомобили в мире: современное состояние и перспективы развития

Электромобили и гибридные электромобили сегодня уже не экзотика, а настоящая или завтрашняя производственная программа любого автоконцерна [1]. С каждым годом число таких транспортных средств в мире

неуклонно растёт. За 2012 год, к примеру, в мире было продано около 120 тысяч электромобилей и гибридных электромобилей, а к 2020 году прогнозируется, что доля электротранспорта составит порядка 10% от общего количества автомобилей (сегодня эта доля составляет менее 0,02%) [6, 7]. Во многих странах количество электромобилей уже насчитывает несколько сотен и даже тысяч единиц, а в странах, в которых до сих пор отсутствовал такой вид транспорта, электромобили начинают постепенно появляться.

На сегодняшний день лидирующие позиции по количеству электрических транспортных средств в мире занимают: США с количеством электромобилей и гибридов, превышающим 150 тыс. единиц, Япония – более 60 тыс. и Китай – около 40 тыс. [8]. Более подробно распределение числа электромобилей по странам мира (в процентном соотношении) показано на рисунке 1.1. Страны, где количество электромобилей не превышает 3000, на диаграмме объединены в категорию «Остальные страны».

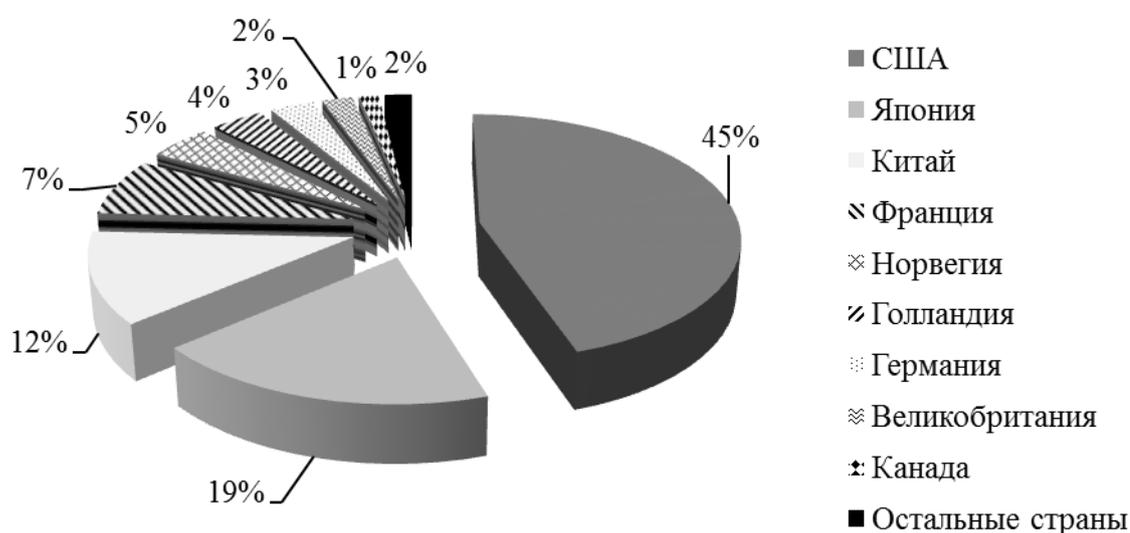


Рисунок 1.1 – Распределение количества электромобилей и гибридных электромобилей по странам мира.

Несмотря на то, что электрических транспортных средств в мире сейчас не так уж и много (более 300 тыс.) вскоре, согласно ряду прогнозов, они всё же будут способны составить конкуренцию обычным автомобилям.

Так в ближайшем будущем правительства некоторых стран мира планируют увеличить количество электрических транспортных средств в несколько раз:

1. В 2011 году президент США Барак Обама объявил об амбициозном плане по увеличению числа электромобилей в стране до 1 млн. к 2020 году [9];
2. Правительство Китая планирует увеличить к 2015 году число электрических транспортных средств в Пекине до полумиллиона, а ещё спустя пять лет до 5 млн. [10];
3. Правительство Германии объявило о намерении увеличить к 2020 году число электромобилей до 1 млн. единиц, а к 2030 г. – до 6 млн. [11];
4. Правительство Испании, с целью уменьшения количества выбросов в атмосферу и сокращения импорта нефти, планирует к 2014 году увеличить количество электромобилей до 1 млн. единиц [9];
5. В ноябре 2008 года Департамент транспорта Ирландии опубликовал план по увеличению количества электрических транспортных средств, согласно которому к 2020 году доля электромобилей составит около 10% от общего числа автомобилей в стране (приблизительно 230 тыс. электромобилей) [8];
6. Исполнительный директор компании Nissan Карлос Гон прогнозирует, что к 2020 году доля электромобилей в мире составит 10% [7].

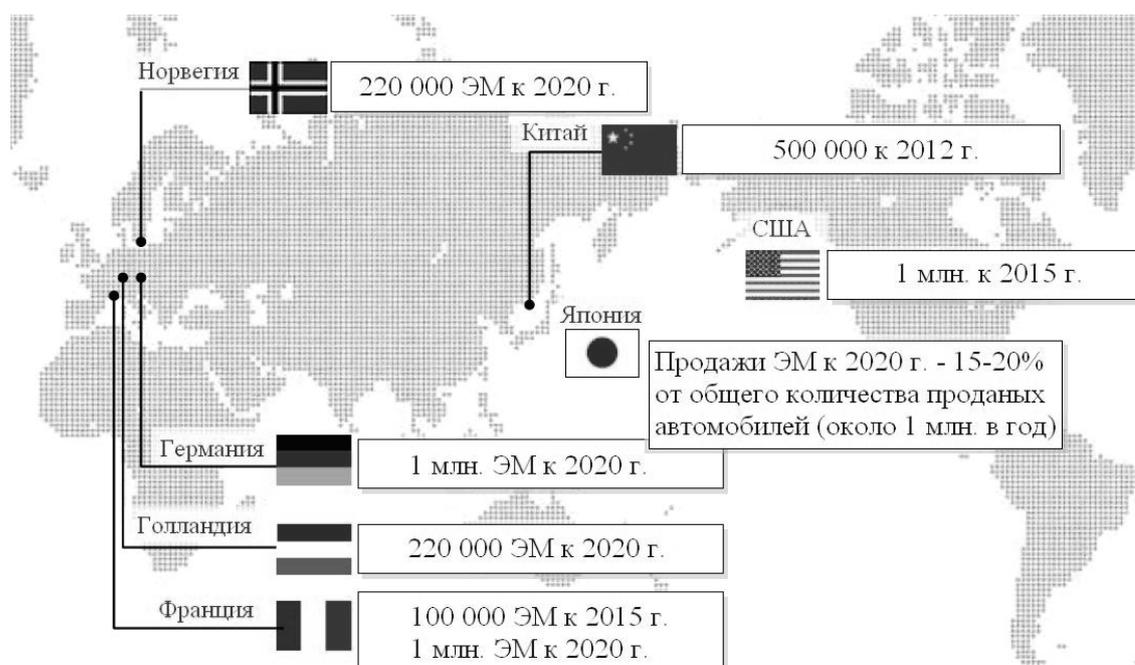


Рисунок 1.2 – Прогнозы развития рынка электрических транспортных средств в разных странах мира: ЭМ – электромобиль [12].

Как видно из вышеприведенной информации рынок электрических транспортных средств имеет большие перспективы на ближайшее будущее, и это, в первую очередь, обусловлено стремлением властей и представителей бизнеса жить в городах с чистым воздухом, не страдая при этом от гула автомобилей за окном. Кроме этого серьезный мотив также заключается и в том, что при исчерпаемости углеводородных ресурсов о создании конкурентоспособного транспорта, обходящегося без двигателя внутреннего сгорания, нужно думать уже сейчас. Причём эта перспектива, по мнению экспертов РосБизнесКонсалтинга, не такая уж и далёкая. По оптимистичным оценкам, стоимость аккумулятора, который определяет стоимость электромобиля, может быть значительно снижена благодаря новым технологиям уже в ближайшие несколько лет, а к 2015 г. при нынешней динамике цен на электроэнергию и топливо электромобиль может стать полноправным конкурентом автомобилю на бензине [13].

Что же касается того, каким образом предполагается достигнуть столь интенсивных темпов внедрения электрических транспортных средств, то этот

момент объясняется поддержкой отрасли со стороны правительства разных стран за счёт предоставления субсидий и различных льгот. Так, к примеру:

1. Правительство Китая предоставляет специальную скидку на все электромобили и гибридные автомобили и обеспечивает льготные условия для подзарядки таких транспортных средств [10]. Кроме того таксомоторным компаниям и органам местного самоуправления предоставляются субсидии за каждый приобретённый электромобиль или гибрид [8];
2. В Норвегии электромобили освобождаются от всех единовременных налогов, а именно от: налога на покупку транспортного средства, который довольно высок в этой стране, от ежегодного налога на транспортное средство, налога на парковку и т.д. Электромобильям также разрешается пользоваться специальными полосами, предназначенными для общественного транспорта [14, 15];
3. В Германии владельцы электромобилей тоже освобождаются от некоторых налогов. Кроме этого правительство страны также спонсирует разработки в области строения электрических транспортных средств [16];
4. В Швеции правительство выделило 200 млн. крон на программу по увеличению в стране количества электрических транспортных средств [8];
5. В Голландии, помимо всего прочего, владельцам электрических транспортных средств предоставляется возможность парковки в местах, где запрещено парковать обычные автомобили [17].

Приведённые здесь примеры инициатив также характерны и для ряда других стран. Однако, даже при поддержке со стороны государства, развитие отрасли электрических транспортных средств становится нецелесообразным без наличия соответствующей зарядной инфраструктуры, которая включала

бы в себя специализированные станции, предназначенные для обслуживания электромобилей, механизмы доступа к услугам и т.д.

1.1.3. Зарядная инфраструктура в мире

Как уже было сказано для комфортной эксплуатации электромобилей и гибридных автомобилей необходима соответствующая зарядная инфраструктура, которая должна включать в себя ряд элементов, основными из которых являются станции обслуживания электрических транспортных средств. На сегодняшний день существует два типа таких станций, принципы работы которых кардинальным образом отличаются друг от друга. Речь здесь идёт о зарядных станциях и станциях замены аккумуляторных батарей.

1.1.3.1. Зарядные станции

Зарядная станция – это электротехническое устройство, оснащённое необходимыми для подключения электромобилей разъёмами и коннекторами и позволяющее производить зарядку электромобилей в различных режимах [1]. Пример такой станции приведён на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Зарядная станция производства компании Ensto.

По скорости зарядки такие станции делятся на два типа, а именно:

- **станции стандартной зарядки.** Зарядка осуществляется переменным током. Время зарядки составляет от 4 до 14 ч в зависимости от режима зарядки и ёмкости аккумуляторной батареи электрического транспортного средства [1]. Данный тип зарядных станций позволяет подключить не более двух электромобилей и чаще всего используется на парковках, возле торгово-развлекательных и офисных центров, фитнес-клубов и в других общественных местах, где люди проводят много времени;
- **станции быстрой (экспресс) зарядки** (стандарт CHAdeMo) обеспечивают менее продолжительную зарядку электромобиля (около 15-40 мин.), чем станции стандартной зарядки. Зарядка электромобилей от данного типа станций осуществляется постоянным током силой до 125 А при напряжении до 550 В и мощности до 50 кВт. Зарядные станции стандарта CHAdeMo позволяют заряжать до 4 электромобилей одновременно [1].

Режимы подзарядки

С развитием электротранспорта европейские и американские производители электротехнического оборудования приступили к производству устройств, необходимых для зарядки электромобилей. Для унификации и создания стандартизованных разъёмов и режимов зарядки аккумуляторных батарей электромобилей было принято решение разработать ряд стандартов, характеризующих режим и способ зарядки электромобиля. В создании таких стандартов приняла участие Международная электротехническая комиссия (International Electrotechnical Commission, IEC). Результатом работы комиссии стал перечень международных стандартов, систематизирующих и регулирующих способы подключения зарядных устройств к электромобилю (виды коннекторов), а также описывающих

допустимые режимы зарядки электромобилей [1]. Собственно последние как раз и описаны в стандарте IEC 61851-1, согласно которому возможны следующие варианты подзарядки:

- Mode 1 – медленная зарядка переменным током от бытовой сети. Класс стандартных бытовых розеток варьируется в различных районах мира. В большинстве европейских стран стандартные розетки часто рассчитаны на напряжение 230 В, силу тока 16 А и выдают мощность до 3,7 кВт. Зарядка при таком режиме может занять от 8 до 14 ч [18];
- Mode 2 – медленная зарядка переменным током от бытовой сети с использованием системы защиты от поражения электрическим током, расположенной внутри кабеля [1];
- Mode 3 – медленная или быстрая зарядка переменным током с использованием специального разъёма, в котором реализована система защиты и контроля за ходом зарядки электромобиля. В этом случае зарядка производится переменным током до 32 А при напряжении до 380 В и мощности до 22 кВт. Время зарядки может составлять от 4 до 5 ч [18];
- Mode 4, он же стандарт CHAdeMo – быстрая зарядка постоянным током силой до 125 А при напряжении до 550 В и мощности до 50 кВт с использованием внешнего источника питания. Время зарядки – 15-40 мин. [1]

1.1.3.2. Станции замены аккумуляторных батарей

Станция замены аккумуляторных батарей в отличие от зарядной станции представляет собой небольшое строение, оснащённое средствами замены, зарядки и хранения аккумуляторов электрических транспортных средств. На таких станциях производится замена разряженных аккумуляторных батарей электромобилей на полностью заряженные батареи. Пример существующих станций приведён на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – Станции замены аккумуляторных батарей компании Better Place (Израиль).

На сегодняшний день разработками в этой области занимаются всего несколько компаний, из которых самой известной и наиболее активно продвигающей станции замены АКБ является компания Better Place (США, штат Калифорния). Так результатом работы именно этой компании являются все из ныне действующих в мире станций этого типа.

Компания Better Place разработала и опробовала возможность горячей замены батарей, благодаря чему процесс замены занимает около пяти минут. А чтобы не возникало дефицита сменных батарей, в компании также придумали технологию их перезарядки, которая занимает около 30-60 мин. (зарядка осуществляется мощностью до 50 кВт). При такой скорости зарядки батареи могут перегреться и испортиться, поэтому их принудительно охлаждают [19]. Сам процесс замены аккумуляторных блоков проиллюстрирован на рисунке 1.5.

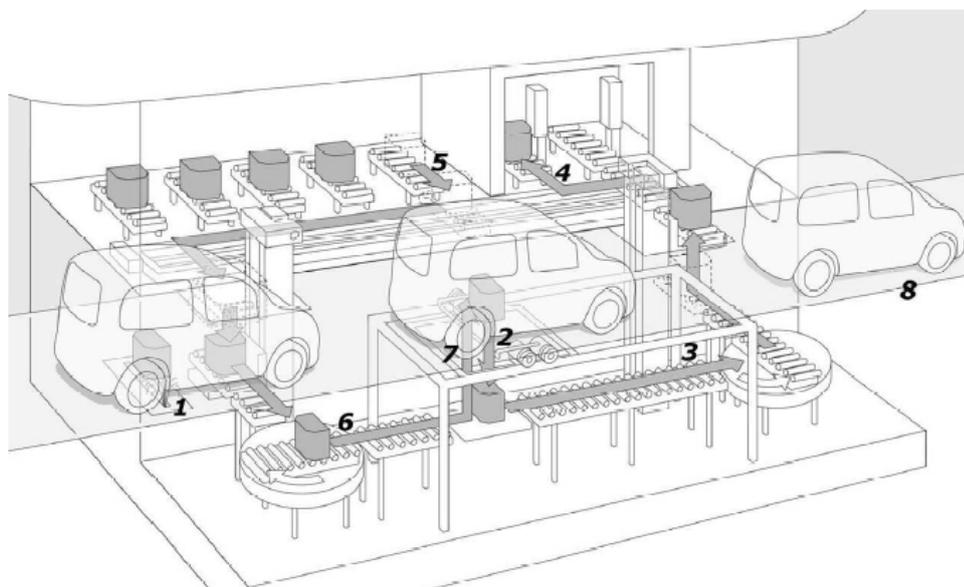


Рисунок 1.5 – Процесс замены аккумуляторных блоков на станции замены Better Place:
 1 – быстрая очистка и сушка дна автомобиля; 2 – выемка разряженного аккумулятора;
 3 – транспортировка разряженного аккумулятора; 4 – зона подзарядки аккумуляторов;
 5 – хранилище заряженных аккумуляторов; 6 – транспортировка заряженных аккумуляторов;
 7 – установка заряженного аккумулятора; 8 – отъезд автомобиля.

Таким образом, если судить по времени обслуживания электромобиля, можно сделать вывод, что станции замены АКБ являются более удобными для владельцев электрических транспортных средств, чем зарядные станции. Однако у таких станций всё же есть как минимум один недостаток, который заключается в том, что компания Better Place пока работает лишь с одной моделью электромобилей, а именно с Renault Fluence Z.E.

1.1.3.3. Стимулирование развития зарядной инфраструктуры со стороны государства и частных компаний

За последние несколько лет стремление властей разных стран развивать электротранспорт привело не только к увеличению числа электромобилей и гибридных автомобилей в мире, но также к вводу в эксплуатацию большого количества зарядных станций и нескольких станций замены аккумуляторных батарей. Так, власти отчётливо осознают, что для успешной реализации

планов по увеличению количества электромобилей необходима соответствующая зарядная инфраструктура, поэтому сегодня на строительство такой инфраструктуры выделяются большие средства и предоставляются разнообразные гранты. Кроме того, к строительству зарядных станций для электрических транспортных средств начинают подключаться и многие электроэнергетические компании, ведь для них создание зарядной инфраструктуры означает существенное увеличение полезного отпуска электроэнергии и, как следствие, рост доходов отрасли в целом. То, каким образом правительство разных стран и разные компании вносят свой вклад в строительство такой инфраструктуры, можно наблюдать в приведённых ниже примерах:

1. Во Франции, для того чтобы создать свою зарядную инфраструктуру, местная электроэнергетическая компания *Électricité de France (EDF)* подписала с компанией *Toyota*, а в последствии и с альянсом *Renault-Nissan*, соглашение о продвижении электрических транспортных средств с нулевым уровнем выбросов. Цель соглашения – установка зарядных станций и поставка электромобилей [11, 20];
2. В Италии были заключены соглашения между электроэнергетической компанией *Enel* и автопроизводителями *Daimler, Renault, Nissan*; в Испании – между электроэнергетической компанией *Endesa* и *Mitsubishi, Renault-Nissan* и японской организацией *CHAdeMO*; в Германии – между электроэнергетическими компаниями *Vattenfall, E.ON, RWE* и автопроизводителями *BMW, Volkswagen, Daimler, Renault* и *Nissan* [11, 21, 22, 23];
3. В Эстонии с этой же целью местное правительство вступило в сотрудничество с автопроизводителем *Mitsubishi* и компанией *ABB* [11];
4. Китайское Министерство промышленности и информационных технологий заключило соглашение с альянсом *Renault-Nissan*, целью

которого является создание сети станций подзарядки аккумуляторных батарей в городе Ухань [24];

5. В Испании правительство спонсирует проект по переоборудованию старых телефонных будок в зарядные станции [25];
6. В Дании для строительства соответствующей инфраструктуры и ввода новых электромобилей объединились электроэнергетическая компания Dong Energy и компания Better Place. На реализацию совместного проекта было выделено 103 млн. евро [8];
7. В Великобритании Министерство транспорта в рамках проекта “Plugged-In Places” предлагает гранты на развитие сети зарядных станций в стране [26];
8. В США правительство выделило несколько грантов на общую сумму в 115 млн. долл. для установки зарядных станций в 16 городах страны, а Департамент предпринимательства, экономического развития и туризма штата Гавайи запустил программу государственных скидок “EV Ready Grant”. В соответствии этой программой была профинансирована покупка 372 электромобилей и установка 246 зарядных станций [11, 27].

Из вышесказанного видно, что в развитии зарядной инфраструктуры сегодня заинтересованно множество сторон, поэтому со временем количество зарядных станций и станций замены АКБ в мире будет только расти. Однако так как количество таких станций пока не идёт ни в какое сравнение с обычными автозаправочными станциями, для того, чтобы владельцам электрических транспортных средств было удобнее ими пользоваться, необходимы специальные базы данных и карты, содержащие информацию о местоположении станций.

1.1.3.4. Базы данных и интерактивные карты размещения зарядных станций

Сегодня во всемирной сети Интернет существует множество специализированных баз данных и интерактивных карт по зарядным станциям, расположенным в разных странах мира. Эти базы данных и карты находятся в свободном доступе, и содержат информацию о местоположении зарядных станций, их типе, используемом на станциях оборудовании, о принадлежности государству или частным компаниям и т.д. Ниже приведено краткое описание нескольких наиболее крупных источников такой информации:

1. Проект **The Open Charge Map** является крупнейшим в мире открытым глобальным реестром по зарядным станциям мира. Его цель – предоставление наиболее полной информации по инфраструктуре. Информация в этой базе данных собирается из различных источников как вручную, так и автоматически [28];
2. Проект **EV Charger Maps** был создан усилиями добровольцев и координируется другим проектом под названием EV Charger News, в рамках которого осуществляется сбор и обработка информации по зарядным станциям, расположенным на территории США [29];
3. Правительство штатов Калифорния, Аризона и Невада, а также клубы автомобилистов, расположенные в этих штатах, финансируют свой проект, который называется **Clean Car Maps**. На официальном сайте проекта имеется информация по местоположению автозаправочных станций, специализирующихся на альтернативном топливе, среди которых есть и зарядные станции для электромобилей [30];
4. База данных **LEMnet** является проектом компании Park & Charge, которая занимается созданием инфраструктуры зарядных станций в Европе. Благодаря тому, что регистрацию зарядных станций в этой базе может произвести любой желающий, в ней имеется информация не

- только по станциям, принадлежащим к инфраструктуре Park & Charge, но также принадлежащим к инфраструктурам других компаний [31];
5. Проект под названием **ElektroTankstellen** управляется Европейской Ассоциацией по Возобновляемым Источникам Энергии Eurosolar и на сегодняшний день содержит в своей базе данных информацию по 3275 зарядным станциям Европы [32];
 6. **Базы данных Alargador и ElectroMap** содержат информацию по зарядным станциям Испании и Португалии. Причём Alargador также как и LEMnet позволяет любому желающему вносить информацию по новым зарядным станциям [33, 34];
 7. Информация по зарядным станциям Великобритании, в частности по их местоположению, может быть с лёгкостью получена на официальном сайте компании **POD Point**, которая занимается строительством зарядной инфраструктуры в этой стране [35].

1.1.3.5. Зарядная инфраструктура: современное состояние и перспективы развития

Согласно информации, которая была получена из упомянутых выше баз данных и карт, на сегодняшний день в мире уже установлено и эксплуатируется большое количество зарядных станций и лишь несколько станций замены аккумуляторных батарей. Последние есть пока только в Японии, Израиле, Дании, Австралии, Китае и Голландии. Что касается зарядных станций, то лидирующее положение по их количеству здесь занимают США – более 15000 станций, далее идёт Китай – более 8000 станций, и Япония – около 5000. [11, 28-36]. Более подробно распределение количества зарядных станций по странам мира (в процентном соотношении) показано на рисунке 1.6. Страны, где количество станций не превышает 2000, на диаграмме объединены в категорию «Остальные страны». Кроме этого информация о распределении станций по городам мира, об их типах, о

поставщиках услуг и т.д. приведена в Приложении 1 (см. таблицы П1.1-П1.14).

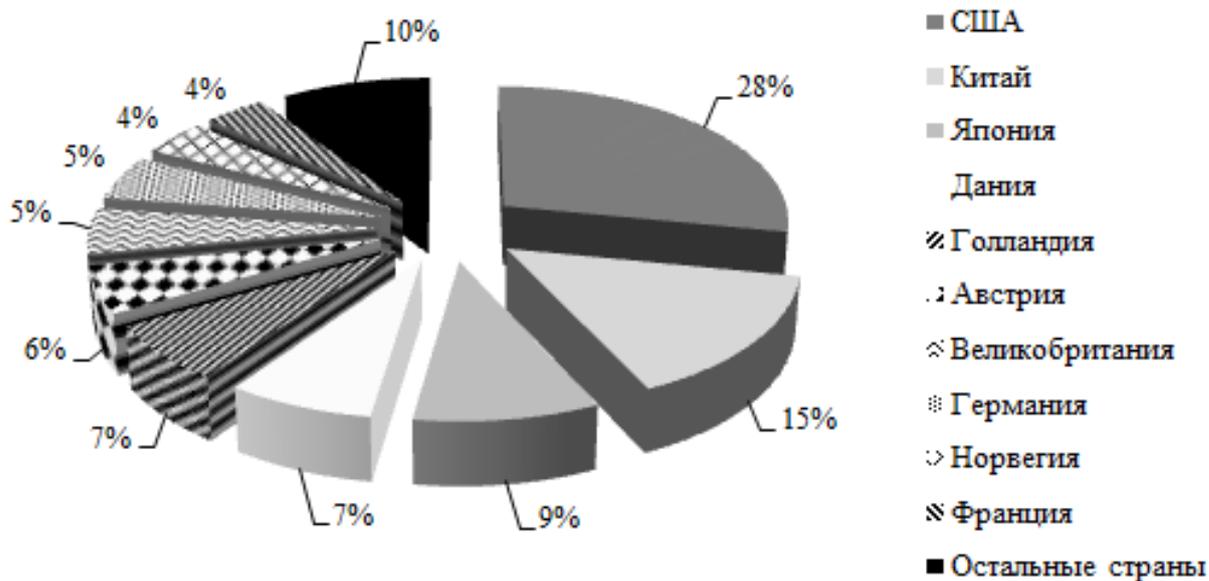


Рисунок 1.6 – Распределение количества зарядных станций по странам мира.

Что же касается перспектив развития зарядной инфраструктуры в будущем, то у многих стран уже имеются большие планы на этот счёт. Так:

1. Министерство охраны окружающей среды Франции объявило о намерении поддержать установку 400 тыс. зарядных станций в стране. Эти станции планируется ввести в эксплуатацию к 2015 году [11];
2. В своём 12-м пятилетнем плане (2011-2015 годы) Китай планирует установить около 222350 зарядных станций, среди которых также будут и станции замены АКБ. А уже к 2020 году предполагается ввести в эксплуатацию 10 млн. зарядных станций [37, 38];
3. В Италии действует проект “Zero Emission City Parma” (“Город Парма с нулевым уровнем выбросов”), целью которого является установка 300 зарядных станций, а также закупка 900 электромобилей до 2015 года. На реализацию проекта было выделено 9 млн. евро [39].
4. Электроэнергетическая компания RWE совместно с компанией Green Stream Cluster планируют установить около 330 зарядных станций в

пяти городах Польши: Варшаве, Гданьске, Катовице, Кракове и Мелеце [11];

5. В Лондоне (Великобритания), согласно плану “Electric Delivery Plan For London”, к 2015 году предполагается установить 25 тыс. зарядных станций [40].

В таблицах П1.1-П1.14 Приложения 1 приведена информация и по другим проектам установки зарядных станций и станций замены АКБ.

1.1.4. Зарядные станции, работающие от возобновляемых источников энергии

Как уже было отмечено ранее, использование электромобилей и гибридных автомобилей позволяет снизить выбросы выхлопных газов и уровень шумового загрязнения в городах. Однако, несмотря на это, снижение уровня выбросов автомобилями будет частично компенсироваться ростом выбросов тепловых электростанций, обеспечивающих в основном рост электрической нагрузки этого нового типа потребителей. Для того, чтобы этот эффект от использования электромобилей, не вызывал косвенного роста загрязнения атмосферы зарядку электротранспорта нужно осуществлять с использованием электроэнергии, производимой солнечными, ветро-, гидро- или атомными электростанциями. В связи с этим совершенно не удивительно, что компании-производители солнечных и ветроэлектрических установок, а также компании, занимающиеся разработкой и установкой зарядных станций, обратили внимание на возможность использования возобновляемых источников энергии для энергоснабжения таких станций экологически чистой и дешёвой энергией.

На сегодняшний день станций, работающих от возобновляемых источников энергии, в мире уже немало, и все они относятся к зарядным станциям. В зависимости от используемого ресурса такие станции

подразделяются на два типа, а именно на солнечные и ветряные зарядные станции. Причём наиболее широкое распространение за последнее время получили именно зарядные станции, работающие от энергии солнца. Что же касается станций замены аккумуляторных батарей, работающих от ВИЭ, то таких проектов, к сожалению, пока реализовано не было.

1.1.4.1. Солнечные зарядные станции

Солнечные зарядные станции чаще всего представляют собой обычные навесы для автомобилей, под или неподалёку от которых установлены зарядные устройства. На этих навесах или же на крышах соседних зданий монтируются фотоэлектрические панели, которые и вырабатывают необходимую для подзарядки электромобилей электроэнергию. Установленная мощность солнечных зарядных станций может варьироваться в довольно широких пределах – от 500 Вт до 100 кВт и более. А так как энергия солнца не постоянна во времени, многие из этих станций имеют подключение к электрической сети, а некоторые даже оборудованы аккумуляторными батареями для перераспределения энергии во времени.

Как уже было сказано ранее, зарядных станций такого типа в мире уже довольно много, а наибольшее их количество, согласно [41], сейчас расположено в США и Германии – всего около нескольких сотен штук. Также несколько таких станций имеется в Японии, Италии, Великобритании и Иордании. С более подробной информацией по действующим в мире солнечным зарядным станциям можно ознакомиться в таблице 1.1. Кроме того несколько примеров таких станций представлены на рисунках 1.7 и 1.8.

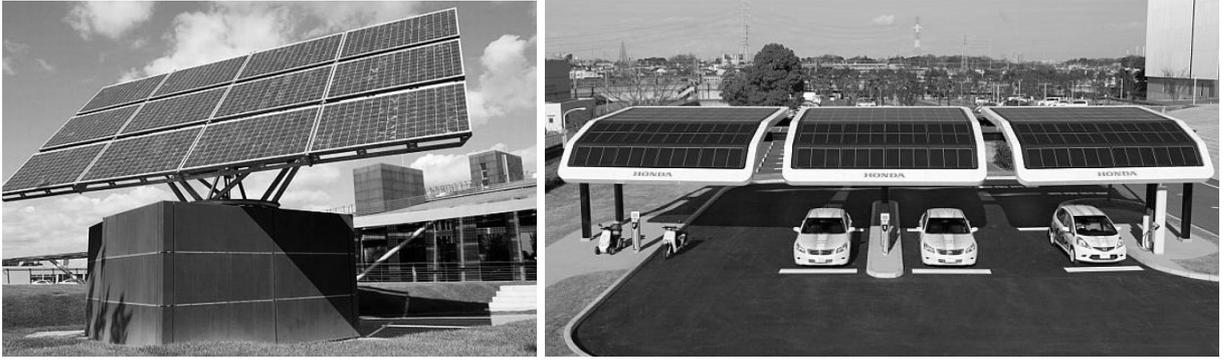


Рисунок 1.7 – Солнечная зарядная станция Yana (Германия, Италия) (слева) и зарядная станция компании Honda (Япония) (справа).



Рисунок 1.8 – Солнечная зарядная станция компаний Mitsubishi Electric и Mitsubishi Motors (США, штат Калифорния).

Таблица 1.1 – Солнечные зарядные станции мира [41-52].

Зарядная станция	Компания	Местоположение	Мощность установки, кВт	Кол-во одновременно заряжающихся электромобилей, шт.	Кол-во установок, шт.	Кол-во зарядных устройств, шт. / Режим заряда	Суммарная мощность, кВт	Ежегодная выработка, кВт·ч	Наличие АКБ	Подключение к сети	Примечание
Solar Tree Array	Envivion Solar		14,4		1	В состав не входят	14,4	30000		+	Вырабатывает достаточное кол-во энергии для зарядки 6 авто в день
Solar Grove (на базе Solar Tree)		Round Rock, штат Техас, США			11	2	110,6	131000		+	Для одновременной зарядки 2 электромобилей требуется 6 часов.
На базе Solar Tree		Штат Пеннильвания, США			2	1	28,8		Axion Power International's Power Cube	+	Вырабатывает достаточное кол-во энергии для зарядки 6 авто в день
NREL Solar Tree		Golden, штат Колорадо, США	3,5	2	1	1	3,5	1520		+	
На базе Solar Tree		США	14,4		6	1 / Mode 4	86,4		+		Вырабатывает достаточное кол-во энергии для зарядки 6 авто в день
Solar-Powered EV Charging Station	Mitsubishi Motors North America Inc. и Mitsubishi Electric & Electronics USA Inc.	Супресс, штат Калифорния, США	16,8	4	1	3 / Mode 2, Mode 4	16,8			+	Зарядка Mitsubishi i-MiEV занимает 22, 6 часов и 25 минут соответственно
Solar-Powered EV Charging Station	Beautiful Earth Group	Бруклин, штат Нью-Йорк, США	5,6		1		5,6		+		Зарядка BMW Mini-E занимает 3 часа
Solar-Powered EV Charging Station		Эшвилл, штат Северная Каролина, США	5		1		5		-	+	При проектировании станции ориентировались на Nissan Leaf и Chevrolet Volt
SP-300 EV Plug-N-Go	SunPods Inc.	Сан-Хосе, штат Калифорния, США	2,76÷3,0	2	-	1 / Mode 3, Mode 4	2,76÷3,0		+	+	

Таблица 1.1 (Продолжение) – Солнечные зарядные станции [41-52].

Зарядная станция	Компания	Местоположение	Мощность установки, кВт	Кол-во одновременно заряжающихся электромобилей, шт.	Кол-во установок, шт.	Кол-во зарядных устройств, шт. / Режим заряда	Суммарная мощность, кВт	Ежегодная выработка, кВт·ч	Наличие АКБ	Подключение к сети	Примечание
Solar Canopy	InSpec Group, Sanyo North America & Portland General Electric	Штат Орегон, США	8,2	3	1	2 / Mode 3	8,2	10000		+	
Solar EV Charging Station		Юджин, штат Орегон, США	40		1	18	40		+	-	
Solar EV Charging Station	EV4 Oregon	Сиэтл, штат Вашингтон, США	4 / 25		1	? / Mode 3, Mode 4	4 / 25		+	+	Ёмкость АКБ – до 125 кВт·ч
Solartankstelle		Hannover-Dohren, Германия	7		1	9	7			+	
Yana	Younicos AG	Берлин, Германия		8	1	? / 230 В, 16 А					Ёмкость АКБ – до 100 кВт·ч. Максимальная выдаваемая мощность – 10 кВт
		Умбрия, Италия									
Lotus	LumineXence	Италия	0,5 / 2,8		1, 2 или 4 / 1		0,5; 1 или 2 / 2,8			+	
E-Move	-	Bolzano, Италия	2,4	8	1		1,76	3000		+	
Antares	Pinnifarna	Италия	4,6	2	1		4,6			+	
Solar EV Charging Station	-	Амман, Иордания	7	2	1	1 / Mode 3 (220 В, 32 А)			+	-	Зарядка Nissan Leaf занимает 4 часа
Romag PowerPark	Romag	Дарем, Великобритания	1,5		1		1,5	1100		+	
Solar-Powered EV Charging Station	Toyota Industries Corp.	Toyota City, Япония	1,9		1		1,9			+	Ёмкость АКБ – 8,4 кВт·ч
GoGreen Solar EV Charging Station			1,2		1	1 / 120 В, 16 А	1,2			+	
Solar EV Charging Station	Solaranda		1,08÷6,48		1		1,08÷6,48	1621÷9727	-	+	

1.1.4.2. Ветряные зарядные станции

К сожалению, ситуация со станциями, работающими от энергии ветра, пока не так однозначна как в случае с солнечными зарядными станциями. Так в странах, где много сетевых ветроэлектростанций (ВЭС), принято считать, что электромобили заряжаются за счёт энергии ветра, что является не совсем верным, так как энергоснабжение зарядных станций в этом случае осуществляется от электрической сети, а не непосредственно от ветроэлектрических установок (ВЭУ). Такая ситуация, к примеру, наблюдается в Дании, Австралии, а с некоторых пор и в Великобритании. В связи с этим ветряная зарядная станция под названием Sanya SkyPump производства компаний Urban Green Energy (США, штат Нью-Йорк) и GE Energy (США, штат Джорджия), которая с недавнего времени выпускается серийно, является своего рода уникальным случаем.



Рисунок 1.9 – Ветряная зарядная станция Sanya SkyPump (Испания).

В состав этой станции входит ветроэлектрическая установка с вертикальной осью вращения UGE-4K производства компании Urban Green Energy (установленная мощность 4 кВт) и зарядное устройство WattStation (также может быть использовано устройство DuraStation) компании General Electric [53]. Технические характеристики этой станции приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Технические характеристики зарядной станции Sanya SkyPump [53-55].

ВЭУ UGE-4K			Станция WattStation		Станция DuraStation	
Мощность, кВт	Мин. скорость ветра, м/с	Ном. скорость ветра, м/с	Режим заряда	Мощность, кВт	Режим заряда	Мощность, кВт
4	3,5	12	240 В, 30 А	7,2	240 В, 16 А; Mode3 (400 В, 32 А)	3,6; 22

Станция Sanya SkyPump является первой в мире ветряной зарядной станцией для электромобилей, где зарядка осуществляется непосредственно от ВЭУ. В августе 2011 года одна такая станция была установлена в Барселоне (Испания), а к концу года несколько таких станций должно было быть установлено ещё в Австралии и США.

1.1.5. Электрические транспортные средства и зарядная инфраструктура в России

В крупных городах России, и в Москве в частности, выброс загрязняющих веществ в атмосферу автотранспортом сегодня весьма велик. В связи с этим в 2011 году Московское правительство внесло в государственную программу «Развитие транспортной системы города Москвы на 2012-2016 гг.» мероприятия, направленные на решение этой проблемы. Согласно программе, для улучшения экологической обстановки в городе предполагается сохранить на существующем уровне объём выбросов

в атмосферу загрязняющих веществ от работы транспорта за счёт увеличения количества электротранспорта, а также транспорта, использующего альтернативные источники энергии [56]. В феврале 2012 года в Экологическом центре правительства Москвы между Российским энергетическим агентством, правительством Москвы, Московской объединённой электросетевой компанией (МОЭСК) и компанией «Революта» был подписан меморандум о развитии в российской столице экологически чистого транспорта и зарядной инфраструктуры. Целью данного соглашения является совместная разработка и реализация программы «Экополис», в ходе которой планируется реализация проектов, направленных на развитие автономного электрического транспорта и зарядной инфраструктуры, развитие законодательства и нормативно-правовой базы [4].

Программа «Экополис» рассчитана на 3 года, и за это время планируется организовать оптимальную систему эксплуатации электромобилей на территории Москвы. Кроме этого в качестве долгосрочной цели этой программы также заявлено снижение негативного влияния на экологию города, уменьшение выбросов парниковых газов, шумового загрязнения, а также повышение энергоэффективности городского хозяйства и развитие особо охраняемых природных территорий города. Управляет ходом программы Департамент природопользования и охраны окружающей среды Москвы (ГКУ «Дирекция ДПиООС»), а Российское энергетическое агентство занимается поддержкой использования электротранспорта в корпоративных парках предприятий топливного энергетического комплекса. За техническое присоединение зарядной инфраструктуры, массовое использование электротранспорта для решения производственных задач компании и разработку типовых регламентов и технических условий для зарядной инфраструктуры отвечает МОЭСК. Она же будет внедрять новые станции в интеллектуальные сети Smart Grid – таким образом, владельцы электромобилей смогут расплачиваться за подзарядку с помощью электронных карт. В свою очередь к числу задач

компании «Революта», первого в России оператора и владельца сети зарядных станций, относится создание современной сетевой зарядной инфраструктуры и её интеграция в инфраструктуру Москвы, обслуживание клиентов, а также поставка электромобилей и их обслуживание. При этом программа «Экополис» является открытой всем заинтересованным участникам, и инициаторы надеются, что в ходе работы круг партнеров будет значительно расширен за счёт производителей электромобильной техники, зарядной инфраструктуры, транспортных операторов и владельцев недвижимости, на территории которой будет размещаться зарядная инфраструктура [4].

Одним из первых проектов программы «Экополис» стал проект по использованию электромобилей Mitsubishi i-MiEV и необходимой для их эксплуатации зарядной инфраструктуры для нужд ГКУ «Дирекция ДПиООС», сотрудники которого выполняют инспекционную работу на особо охраняемых природных территориях города Москвы. Так в рамках первого проекта программы было поставлено 10 электромобилей Mitsubishi i-MiEV и 20 зарядных станций переменного тока, которые были подключены к единой сети зарядных станций «Революта» [4]. В целом же сегодня в Москве эксплуатируется около 1000 электромобилей. К сожалению, стоимость Mitsubishi i-MiEV – единственного электромобиля, который официально реализуется в России – сейчас довольно высока (порядка 1,8 млн. руб.). Столь высокая цена в первую очередь обусловлена налогами и пошлинами, которыми облагается электромобиль при доставке в Россию. Однако в рамках меморандума планируется рассмотреть этот вопрос и тогда в ближайшие 5-7 лет в Москве может появиться 50-60 тысяч электромобилей [57]. А к 2020 году, согласно некоторым прогнозам, количество электромобилей в Москве и Московской области может достигнуть 100 тысяч [58].

Что же касается зарядной инфраструктуры, то её строительство началось ещё до подписания меморандума, в 2011 году. Проект по строительству зарядных станций в Москве и Московской области получил

название «МОЭСК-EV», и на сегодняшний день в его рамках действуют 28 зарядных станций, первая из которых была установлена на Садовнической улице, дом 36. Кроме этого, после завершения работы над проектом «МОЭСК-EV», компанией «Револьта» было введено в эксплуатацию ещё 14 станций [1, 59]. Конструкция всех действующих в России станций ничем не отличается от зарубежных аналогов, о которых было сказано ранее. Большинство из них являются станциями переменного тока и пока лишь 3 зарядные станции позволяют осуществлять экспресс зарядку электромобилей. Единственные станции быстрой зарядки находятся в Москве по адресам: улица Садовническая, дом 36; Дербеневская набережная, дом 7, строение 16 и на улице Обручева, дом 27, корпус 1. Более подробную информацию по действующим станциям см. в таблице П1.15 Приложения 1.

К сожалению, нельзя не отметить, что все 42 действующие сегодня в России зарядные станции являются сетевыми, т.е. все они работают от электрической сети. Зарядных станций, работающих от возобновляемых источников энергии, в стране пока не существует. В свою очередь Россия обладает огромными запасами возобновляемых источников энергии, причём, вследствие её географического положения, размеров, разнообразия климата и особенностей местности, виды ВИЭ существенно варьируются [2]. Использование возобновляемых источников для энергоснабжения будущих зарядных станций и станций замены аккумуляторных батарей могло бы не только существенно улучшить экологическую обстановку в стране, но и способствовать более широкому использованию энергии возобновляемых источников. Так, согласно Энергетической стратегии-2030, утвержденной Распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р, отмечается недостаточное развитие малой энергетики и низкая вовлечённость в энергобалансы местных источников энергии регионального и локального значения [60]. Это делает актуальным развитие малой энергетики как в зоне централизованного, так и в зоне децентрализованного энергоснабжения за счёт повышения, прежде всего, использования местных энергоресурсов и

расширенного использования ВИЭ. Следовательно, строительство на территории России зарядных станций и станций замены АКБ, имеющих в своём составе генерирующие установки возобновляемой энергетики, является очень актуальным.

1.2. Понятие гибридного энергетического комплекса

По сути, когда речь заходит о разработке зарядных станций или станций замены аккумуляторных батарей, работающих от ВИЭ, это должно подразумевать под собой разработку гибридных энергетических комплексов. Согласно [61] гибридным энергетическим комплексом называется совокупность взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенных для производства, преобразования энергии в другие виды (механическую, тепловую, электрическую и др.), распределения и потребления в рамках взаимосвязанного технологического процесса. ГЭК включает в себя потребителей, производителей и передатчиков различных видов энергии, которые и обеспечивают автономность его функционирования. Однако здесь необходимо отметить тот факт, что состав ГЭК чётко не определен. Так под гибридными энергокомплексами часто подразумевают:

- объединение энергоустановок разного типа, в том числе и на основе возобновляемых источников энергии;
- объединение генераторов, потребителей и объектов транспортно-коммутиционной сети локального объекта [61].

Для уточнения понятия гибридного энергокомплекса в [61] выделяются следующие его системные свойства:

- зависимость эффективности использования генераторов (преобразователей энергии разных видов первичной энергии в тепло и электроэнергию) от типов потребителей электроэнергии;

- необходимость гибкой взаимосвязи генераторов, работающих на разных видах первичной энергии, и потребителей различного типа и назначения с помощью развитой (умной) сети типа Micro-Grid;
- зависимость параметров генераторов каждого типа от соотношения параметров потребителей и графика поступления энергетических ресурсов, необходимых для балансирования генерации и потребления мощности и энергии элементов ГЭЖ.

Таким образом, в итоге можно сказать, что гибридные энергетические комплексы представляют собой техническую систему, объединяющую в рамках единого технологического процесса генераторы электрической и тепловой энергии различных типов, аккумуляторы энергии разных типов, средства коммутации и передачи электрической и тепловой энергии, средства преобразования электрической и тепловой энергии в вид, пригодный для использования потребителями электрической и тепловой электроэнергии [61].

1.3. Аналитический обзор исследований и научных работ в области зарядной инфраструктуры для электротранспорта

Во всём мире проводятся различные исследования и публикуются разнообразные научные работы, посвящённые эксплуатации зарядных станций и станций замены АКБ, а также их энергоснабжению от ВИЭ. Причём такие исследования ведутся не только за рубежом, но и в России. Однако для более чёткого представления, о чём же говорится в уже существующих на сегодняшний день работах, приведём краткий обзор научных работ и результатов исследований в области зарядной инфраструктуры.

Работа [62] посвящена в первую очередь сетям среднего напряжения постоянного тока. Также в работе уделяется внимание и зарядным станциям для электромобилей.

Цель работы заключалась в:

- моделировании различных типов энергогенерирующих установок, работающих от возобновляемых источников энергии, силовых энергопреобразующих устройств и систем хранения электроэнергии (аккумуляторные батареи и т.д.);
- создании модели зарядной станции, в состав которой входили бы ВИЭ;
- дальнейшем исследовании взаимодействия этих элементов друг с другом при нахождении их в составе сети среднего напряжения постоянного тока;
- определении эффективности использования сетей среднего напряжения для энергоснабжения зарядных станций электромобилей.

Сети среднего напряжения здесь рассматриваются как дополнительная ступень между уровнями напряжения сетей передачи и распределения, а также как основная платформа для подключения различных энергогенерирующих установок, работающих от возобновляемых источников энергии, и различных типов нагрузки, работающих на низком напряжении постоянного тока. Тем самым это позволяет уменьшить количество этапов преобразования напряжения на пути от низкого напряжения ВИЭ к высокому напряжению энергосистемы, использовать преобразующее оборудование с меньшей номинальной мощностью и повысить эффективность энергосистемы в целом [63].

Для решения поставленных задач была создана модель системы, в которую вошли: сеть постоянного тока напряжением 5 кВ, 3 ветроэлектрические установки по 5 МВт каждая, нагрузка, в роли которой выступала зарядная станция и некий промышленный объект, состоящий из индукционных машин суммарной мощностью 10 кВт, и преобразующее

оборудование (инверторы, выпрямители и преобразователи). Работа всей системы, а также каждого элемента в отдельности, была детально смоделирована с помощью программы PSCAD, которая как раз и предназначена для создания компьютерных моделей различных энергосистем. Отдельно стоит уточнить, что представляет собой рассматриваемая зарядная станция. Так в состав станции входят 2 зарядных устройства постоянного тока, солнечные панели суммарной мощностью 20 кВт и необходимые преобразователи напряжения. Сами зарядные устройства станции были смоделированы как аккумуляторные батареи [62, 63].

В ходе работы были рассмотрены два случая, когда зарядная станция подключена к сети среднего напряжения постоянного тока и когда нет. В каждом из этих случаев было рассмотрено, выступает ли станция в качестве нагрузки или как источник электроэнергии. В результате информация по работе представляет собой такие зависимости, как: напряжение на шине среднего напряжения постоянного тока в случаях, когда зарядная станция подключена и не подключена к сети, в зависимости от времени, в течение которого проводилось моделирование; потребляемая или вырабатываемая зарядной станцией мощность в зависимости от времени моделирования; выходной ток или напряжение различного преобразующего оборудования в зависимости от времени моделирования и т.д. [62]

Следующая работа, результаты которой представлены в [64], по сути является продолжением предыдущей работы. В ней описываются дальнейшие исследования сетей среднего напряжения постоянного тока, для чего на базе ранее сделанной модели была создана более сложная, в которую также вошли: ещё одна ВЭУ мощностью 5 МВт, солнечная фотоэлектрическая станция (СФЭС) мощностью 1 МВт, а также некая линейная нагрузка (с линейной характеристикой) или аккумуляторная

батарея. Цели и результаты данной работы аналогичны тем, что были описаны в [62].

В [65] особое внимание уделяется зарядным станциям для электромобилей, энергоснабжение которых осуществляется с помощью солнечных панелей. Цель этой работы заключалась в определении технических возможностей таких станций и в оценке их экономической эффективности. Для этого, в ходе работы выявляется соответствие результатов тестирования двух транспортных средств – гибридного электромобиля и электроскутера – данным по приходу солнечного излучения в рассматриваемом регионе в зависимости от времени года и погодных условий, и с доступной мощностью в зависимости от размера фотоэлектрической системы. В результате определяется время зарядки рассматриваемых транспортных средств, из которых выбирается оптимальное, которое в свою очередь и определяет стоимость станции. Что касается экономической эффективности и рентабельности зарядных станций различной мощности, то в работе рассчитаны сроки их окупаемости. Все результаты работы представлены соответствующими зависимостями.

В [66] описывается проект комбинированной системы из фотоэлектрических батарей и ветроэнергетических установок для энергоснабжения электромобильной заправочной станции. В ходе работы была спроектирована зарядная станция, состоящая из 5 ВЭУ мощностью 3 кВт каждая, 120 солнечных модулей по 230 Вт, 5 зарядных устройств, 64 аккумуляторных батарей ёмкостью 200 и 260 А·ч и т.д. Что касается зарядных устройств, то в проекте используются устройства переменного тока (220 В, 16 А), зарядка от которых может занимать от 4 до 10 часов в зависимости от ёмкости аккумулятора электромобиля.

Работа [67] посвящена исследованию возможности использования ВЭУ для зарядки электромобилей. Цель работы заключалась в том, чтобы определить годовую выработку ветроэлектрической установки и количество электроэнергии, потребляемое одним электромобилем за год, и сравнить между собой полученные данные. Для этого в работе использовалась ВЭУ мощностью 1,8 кВт и модифицированный гибридный электромобиль Toyota Prius, ёмкость аккумулятора которого составляет 5 кВт·ч.

В [68] рассматривается зарядная станция, состоящая из ВЭУ мощностью 900 Вт, солнечных панелей суммарной мощностью 980 Вт, аккумуляторной батареи, преобразующего и другого оборудования, которая была сконструирована и с помощью которой проводились дальнейшие исследования. Помимо снятия различных характеристик, описывающих работу оборудования, целью данной работы было определение возможности использования таких станций для подзарядки электромобилей. Для этого была определена годовая выработка станции, потребление энергии электромобилем на 100 км пробега, было рассчитано расстояние, которое электромобиль сможет пройти за год, если будет подзаряжаться только от этой станции, и на основании результатов работы были сделаны соответствующие выводы.

В [69] приводятся результаты исследования, цель которого заключалась в том, чтобы определить какое количество аккумуляторных блоков от электромобилей необходимо иметь на станции замены аккумуляторных батарей для её стабильной работы. Помимо этого в работе также рассматривается то, каким образом это количество зависит от частоты поступления электромобилей и от времени зарядки аккумуляторных батарей.

Вначале внимание уделяется тому, каким образом станции такого типа должны работать. В работе принимается, что зарядка аккумуляторных блоков производится непосредственно на станции. Таким образом,

суммарное количество аккумуляторных батарей во времени не изменяется, изменяется лишь количество разряженных и количество полностью заряженных АКБ. В заключение приводятся формулы, описывающие стохастический процесс управления станцией замены, основанный на теории очередей, а также соответствующие зависимости, полученные в ходе исследования.

Работа [70] посвящена разработке экспериментальной портативной солнечной зарядной станции, которая может быть использована для зарядки электромобилей. В работе все теоретические расчёты производились с помощью программы MathCAD, результаты которых позволили определиться с параметрами станции. В соответствии с полученной информацией был выполнен подбор оборудования и сконструирована экспериментальная модель такой станции, которая за свой внешний вид, похожий на римскую букву Ω , получила название “Omega Type Solar Charge Station” (“Солнечная зарядная станция типа Омега”). В состав станции вошли 16 фотоэлектрических модулей мощностью 55 Вт каждый, несколько вертикальных и расположенных под углом отражателей, наличие которых позволило повысить КПД станции, зарядное устройство, свинцово-кислотная батарея и др. оборудование. Что же касается зарядки электромобилей, то она возможна как непосредственно от зарядной станции, так и от её аккумуляторной батареи.

Приведенный аналитический обзор показывает, что не все темы пока охвачены существующими работами и имеются огромные возможности для проведения оригинальных исследований в секторе зарядной инфраструктуры для электротранспорта. Так в большинстве работ основное внимание уделяется только одному типу станций, а именно зарядным станциям (а не станциям замены АКБ), а также преимущественно одному типу возобновляемых источников энергии (либо энергии солнца, либо энергии

ветра). К тому же, даже при энергоснабжении зарядных станций от одного единственного источника возобновляемой энергии их экономическая эффективность может существенно изменяться в зависимости от состава оборудования. Однако, несмотря на это, практически во всех работах, за исключением [65, 69], для энергоснабжения зарядных станций рассматривается только один состав оборудования.

Исследованию режимов работы станций в рассмотренных работах также уделяется мало внимания. Так в [67, 68, 70] возможность энергоснабжения станций от ВИЭ объясняется простым сравнением годовой выработки генерирующих установок с годовым потреблением электромобилей. В [62-64] хоть и осуществляется моделирование зарядной станции, не уделяется должного внимания поступлению электромобилей на станцию в течение суток, и уж тем более с учётом недельной неравномерности. И это что касается зарядных станций. В случае же со станциями замены методика расчёта их режимов работы будет существенно отличаться, так как на таких станциях практически всегда должен быть резервный запас АКБ [69].

1.4. Постановка задачи исследования

На сегодняшний день зарядных станций и станций замены аккумуляторных батарей, работающих от возобновляемых источников энергии, на территории России пока не существует. Однако в будущем, по мере увеличения числа электрических транспортных средств, ввод таких станций в эксплуатацию позволит не только существенно улучшить экологическую обстановку, но также повысить энергобезопасность и энергонезависимость регионов страны и увеличить долю ВИЭ в энергобалансе России. К тому же с ростом цен на электроэнергию и топливо экономическая эффективность станций подзарядки на основе возобновляемых источников будет лишь возрастать, особенно это касается

станций, которые будут расположены удалённо от населённых пунктов и линий электропередачи. Таким образом, такие станции и соответствующая им инфраструктура являются актуальными не только для зарубежных стран, но и для России.

Анализ исследований и научных работ в области зарядной инфраструктуры, приведенный в п. 1.3, показал, что актуальным также является:

- создание модели гибридного энергетического комплекса, включающего в себя разные генерирующие установки возобновляемой энергетики и зарядные станции или станции замены АКБ, которая бы позволяла осуществлять расчёт режимов работы таких ГЭК;
- проведение исследований в части эффективности использования таких комплексов на территории России.

В связи с этим целью данной работы является:

- исследование эффективности использования специализированных ГЭК на основе ВИЭ для питания зарядных станций или станций замены АКБ средств электрического транспорта;
- разработка методики оптимизации структуры и параметров ГЭК для энергоснабжения зарядных станций или станций замены АКБ средств электрического транспорта и оценка эффективности их использования в разных регионах России.

Для достижения поставленной цели работы требовалось решить следующие задачи:

1. Проанализировать принципы работы зарядных станций и станций замены АКБ средств электрического транспорта и существующие методики их математического моделирования;
2. Разработать математическую модель ГЭК, включающего в себя генерирующие электроустановки на основе солнечной и ветровой

энергии, работающие параллельно с электрической сетью и на автономного электропотребителя, и зарядные станции или станции замены АКБ средств электрического транспорта;

3. Исследовать влияние состава и параметров исследуемого ГЭЖ на режимы его работы;
4. Разработать методику и основанный на ней аппарат технико-экономического обоснования структуры и параметров ГЭЖ на основе ВИЭ для подзарядки средств электрического транспорта;
5. Оценить эффективность использования генерирующих установок на основе ВИЭ для энергоснабжения станций подзарядки средств электрического транспорта для различных потребителей в различных регионах России и разработать рекомендации по определению оптимальной структуры типовых энергетических комплексов на основе станций подзарядки и ВИЭ.

При разработке математической модели ГЭЖ и методики их обоснования делаются следующие основные допущения:

1. Моделируются только нормальные режимы работы (не учитываются аварийные режимы, переходные режимы и т.д.);
2. Моделируются только режимы работы по активной мощности. Компенсация реактивной мощности [71-73] не рассматривается;
3. В работе рассматриваются установки, использующие энергию наиболее распространённых в России возобновляемых источников, а именно энергию солнца и энергию ветра.

1.5. Выводы по главе

1. На сегодняшний день, как в мире, так и в России довольно интенсивно развивается инфраструктура станций подзарядки аккумуляторных батарей электрических транспортных средств, а количество проданных

электромобилей и гибридных автомобилей с каждым годом только растёт;

2. Увеличение доли электромобилей и гибридных автомобилей от общего количества авто позволит снизить уровень шума и содержание токсичных веществ в атмосфере крупных городов. В свою очередь, для того, чтобы эффект от их использования был ощутимым, для подзарядки аккумуляторов электрических транспортных средств целесообразно использовать электроэнергию, производимую возобновляемыми источниками энергии;
3. Увеличение доли электрических транспортных средств также позволит сэкономить жидкое топливо, которое используется на обычных автомобилях, а использование ВИЭ для подзарядки АКБ электромобилей будет способствовать экономии таких видов топлива как уголь и газ (используются на тепловых электростанциях), которые иначе пришлось бы расходовать на выработку электроэнергии для энергоснабжения сетевых станций подзарядки;
4. Согласно Энергетической стратегии-2030 развитие возобновляемой энергетики в России является актуальным как для локальных электроэнергетических систем, так и для районов, охваченных сетью централизованного электроснабжения;
5. Использование на территории России гибридных энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии, включающих в себя станции подзарядки аккумуляторных батарей электромобилей, позволит повысить энергобезопасность и энергонезависимость регионов страны, а также увеличить долю ВИЭ в энергобалансе России;
6. Из распространённых на сегодняшний день в мире типов станций подзарядки наиболее перспективными являются зарядные станции быстрой зарядки и станции замены аккумуляторных батарей. Зарядка электромобиля на станциях первого типа занимает около 15-40 мин., а

замена аккумуляторной батареи электромобиля на станциях второго типа – около 5 мин.;

7. В главе проанализированы существующие научные исследования и работы в области зарядной инфраструктуры для электротранспорта, сделаны выводы относительно дальнейших исследований в этой сфере, сформулирована цель диссертационной работы и поставлены задачи, требующие решения.

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЭК

2.1. Общие положения

Обычно разработка проектов проходит в несколько этапов, первые из которых связаны с разработкой идеи, оценкой её реализуемости, планированием и получением технико-экономической оценки привлекательности этих проектов [74]. Проектирование гибридных энергетических комплексов также осуществляется в несколько этапов, в ходе которых может потребоваться разработка математических моделей как элементов ГЭК, так и самих ГЭК в целом.

Для достижения цели, сформулированной в п. 1.4, в данной работе как раз необходимо разработать ряд математических моделей, а именно:

- виртуальную модель – структурно-функциональную модель комплекса, включающую в себя все возможные элементы ГЭК, а также перечень задач, которые должны быть решены для удовлетворения главной цели проекта;
- ресурсную модель, которая представляет собой динамическую модель поступления энергоресурсов;
- техническую модель – конкретные технические решения, позволяющие реализовать функцию, определённую в структурно-функциональной модели;
- экономическую модель, которая позволит оценить экономическую реализуемость проекта [74].

В дальнейшем с использованием этих математических моделей разрабатывается общая модель гибридного энергетического комплекса, а на её основе – программа, позволяющая производить автоматизированные расчёты. Эта программа в свою очередь должна иметь модульный принцип построения для того, чтобы отдельные его элементы (математические

модели) можно было изменять, модернизировать, а при отсутствии необходимости не использовать.

2.2. Построение структурно-функциональной модели ГЭК

В работе структурно-функциональная модель гибридного энергетического комплекса представлена соответствующей схемой (см. рисунок 2.1). Данная схема была получена в результате анализа структуры и принципов работы существующих на сегодняшний день зарядных станций и станций замены АКБ (как сетевых, так и работающих от возобновляемых источников энергии), и актуальна для ГЭК, включающих один из этих типов станций подзарядки.

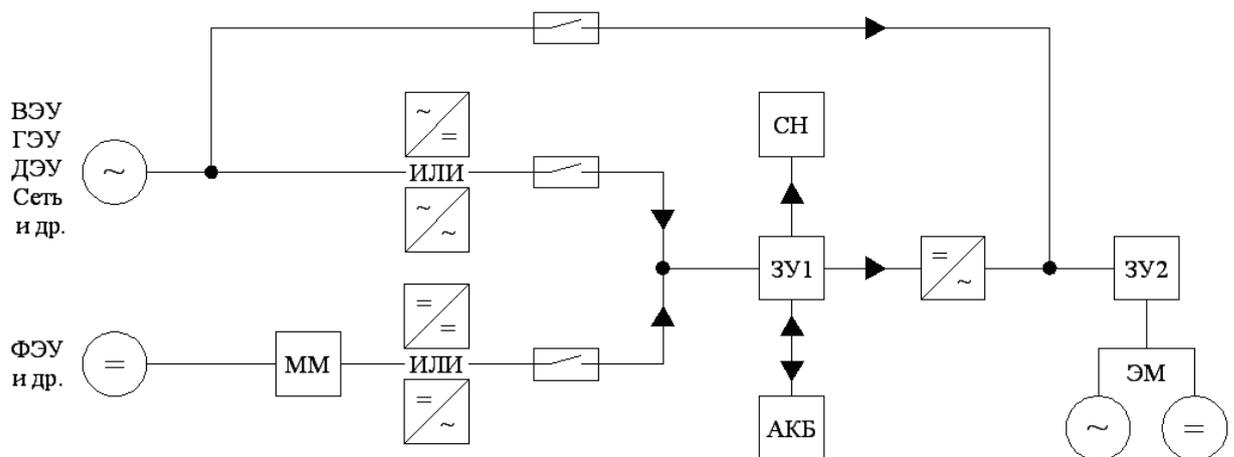


Рисунок 2.1 – Структурно-функциональная схема ГЭК:

ВЭУ – ветроэлектрическая установка, ГЭУ – гидроэлектрическая установка,
 ДЭУ – дизельная электрическая установка, ФЭУ – фотоэлектрическая установка,
 ММ – устройство отбора максимальной мощности, АКБ – аккумуляторная батарея,
 СН – собственные нужды ГЭК, ЗУ – зарядное устройство, ЭМ – электромобиль.

В структурно-функциональной схеме основными генерирующими элементами ГЭК являются установки, работающие от ВИЭ. Так как использование таких установок затруднено отсутствием у них возможности обеспечения гарантированного энергоснабжения, то для преодоления этого

затруднения в схеме присутствуют аккумуляторы энергии, а именно типовые аккумуляторные батареи для зарядных станций и аккумуляторные батареи электромобилей для станций замены АКБ. Помимо этого надёжность электроснабжения также обеспечивается за счёт наличия резервных источников питания: электрической сети и отдельных дизельных электроустановок. Что же касается самих станций подзарядки, то здесь они не обозначены, а показаны лишь их основные элементы, а именно: зарядные устройства, с помощью которых осуществляется подзарядка аккумуляторов электрических транспортных средств, и, в случае со станциями замены, некоторый запас аккумуляторных батарей электромобилей, который необходим для нормальной работы станций.

Особенностью схемы, представленной на рисунке 2.1, является то, что она учитывает все возможные элементы, параметры которых могут изменяться от 0 до заданного ненулевого значения. Таким образом, если, к примеру, в составе энергокомплекса из генерирующих установок присутствуют только ВЭУ и ФЭУ, то это говорит, что их мощность отлична от нуля. Что же касается другого оборудования, то его мощность будет равна нулю, что позволяет на производных схемах его не показывать.

2.3. Построение ресурсной модели ГЭК

Ресурсная модель представляет собой математическую модель источников первичной энергии, имеющих в точке предполагаемого размещения гибридного энергокомплекса значения, отличные от нуля. Обычно ресурсная модель строится на основании официальных данных о наблюдаемых значениях параметров ресурсов в этой точке. Однако, в случае, когда для рассматриваемых координат такие данные отсутствуют, модель допускает пересчёт данных по этим значениям на ближайших к рассматриваемой точке метеостанциях.

В рамках данной работы наибольший интерес представляют энергии ветра и солнца, поэтому в дальнейшем рассматриваются только эти два типа возобновляемых источников энергии.

2.3.1. Ресурсная модель прихода солнечного излучения

Исходную информацию для гелиоэнергетических расчётов сегодня можно получить из разных источников. Это может быть справочник по климату СССР [75], метеорологическая база данных NASA [76] и т.д. В данной же работе исходные данные, а именно значения потока суммарного и диффузного солнечного излучения (СИ) для каждого часа года, были получены из швейцарской базы данных (БД) о местных ресурсах под названием “Meteonorm” [77]. Эта БД позволяет получить для любой точки на поверхности Земли среднемесячные, среднесуточные и среднечасовые значения прихода СИ за период в 1 год. Однако следует отметить, что данные, полученные с помощью “Meteonorm”, основаны не на наблюдениях, а интерполируются программой по заложенным закрытым алгоритмам. В качестве исходной информации для интерполирования здесь используются данные о приходе СИ для более чем 8000 точек на поверхности Земли.

Далее значения потока суммарного и диффузного солнечного излучения пересчитывались для приёмной площадки, расположенной под оптимальным углом. Так, сегодня известно множество моделей, предназначенных для этих целей. Например, модели, описанные в [78-83]. Однако в данной работе для расчета прихода СИ на приёмную площадку, расположенную под оптимальным углом, использовалась модель изотропного прихода диффузного СИ, описанная в [84].

2.3.2. Ресурсная модель изменения скорости ветра

Исходная информация для ветроэнергетических расчётов тоже может быть получена из разных источников. Например, из специализированных баз данных по климатическим характеристикам ветра «Погода России» [85] и «Расписание Погоды» [86]. Однако в работе для этих целей использовалась всё та же метеорологическая база данных “Meteonorm”.

С помощью БД “Meteonorm” для каждого часа года были получены значения скорости ветра на высоте 10 м, которые в дальнейшем потребовалось пересчитать на высоту размещения ветроколеса рассматриваемой ветроэнергетической установки. Так, изменение скорости ветра по высоте зависит от множества факторов: шероховатости местности, рельефа, наличия искусственных препятствий и т.д. При проведении ветроэнергетических расчётов большое значение имеет выбор зависимости скорости ветра от высоты, которая аппроксимируется, как правило, степенной или логарифмической функциями [87]. Вертикальный профиль скорости ветра в данной работе представлен эмпирической зависимостью степенного вида:

$$\frac{V(h_2)}{V(h_1)} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^m, \quad (2.1)$$

где m – показатель степени, зависящий от множества факторов [88, 89], в работе принимается равным 0,2 о.е.

2.4. Построение технической модели ГЭК

Техническая модель представляет собой описание технических решений, позволяющих реализовать определенные функции.

В данном случае техническая модель содержит основные зависимости, которые отражают связь выходной мощности с мощностью входного (ресурсного) потока, а также учитывает различные технические решения по построению отдельных установок, входящих в состав ГЭК.

2.4.1. Техническая модель солнечной фотоэлектрической установки

Расчёт выработки солнечной фотоэлектрической установки для каждого часа года в работе осуществляется с помощью следующей формулы [84]:

$$\mathcal{E}_{\text{СФЭУ}}(i) = \mathcal{E}_{\Sigma}^{\beta\gamma}(i) \cdot F_{\text{СМ}} \cdot m \cdot \tau \cdot \eta_{\text{СМ}} \cdot K_{\text{зан.}} \cdot K_t \cdot \eta_{\Delta N}, \quad (2.2)$$

где i – час года;

$\mathcal{E}_{\Sigma}^{\beta\gamma}(i)$ – суммарный приход солнечного излучения на приёмную площадку, расположенную под оптимальным углом наклона к горизонту β , с азимутом γ , Вт·ч/м². Углы установки постоянны в течение года;

$F_{\text{СМ}}$ – площадь солнечного модуля, м²;

m – количество солнечных модулей, шт.;

τ – коэффициент светопропускания защитного покрытия солнечного модуля, о.е.;

$\eta_{\text{СМ}}$ – номинальный КПД солнечного модуля, о.е. При условии использования контроллера отбора максимальной мощности КПД солнечного модуля постоянен и равен его номинальному значению;

$K_{\text{зан.}}$ – коэффициент заполнения солнечными элементами всей площади солнечного модуля, о.е.;

$\eta_{\Delta N}$ – определяет собой потери мощности при последовательном соединении солнечных модулей. В работе принимается равным 0,97 о.е.;

K_t – коэффициент, учитывающий влияние температуры солнечного модуля на его КПД, о.е. Определяется по следующей формуле для заданной температуры:

$$K_t = 1 - \alpha(T - T_0), \quad (2.3)$$

где α – градиент изменения КПД солнечного модуля от температуры, о.е. Для кремниевых солнечных элементов можно принимать равным $\alpha = \eta_{CM} / 20^\circ$ [84].

2.4.2. Техническая модель ветроэлектрической установки

Определение выдаваемой ветроэлектрической установкой мощности в работе производится с помощью зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра на высоте размещения ветроколеса:

$$N_{ВЭУ}(i) = f(V_{H_\sigma}(i)). \quad (2.4)$$

Данная зависимость является основной технической характеристикой для каждой ветроэлектрической установки и входит в её паспортные данные. Пример технической характеристики ВЭУ приведён на рисунке 2.2.

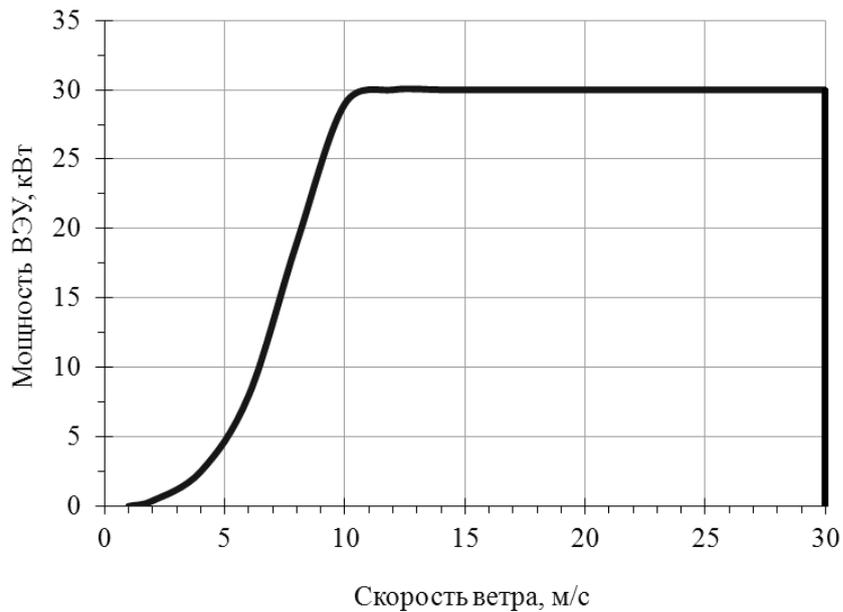


Рисунок 2.2 – Техническая характеристика ВЭУ PW-30/14 (АВЭУ-30).

2.4.3. Техническая модель дизельной электроустановки

Техническая модель дизельной электроустановки в работе представлена её рабочей мощностью. Рабочая мощность ДЭУ – это максимальная мощность, которую установка может развивать при непрерывной работе на переменной нагрузке неограниченное время. Минимальная мощность ДЭУ в данной работе не ограничена.

2.4.4. Техническая модель потребителей энергии

Техническая модель потребителей электрической и тепловой энергии представляется графиками электро- и теплоспо потребления или значениями среднесуточной мощности, необходимой для работы соответствующего потребительского комплекса. В данной работе зарядные станции и станции замены аккумуляторных батарей выступают в роли потребителей электроэнергии. Однако так как принцип работы станции замены АКБ довольно сильно отличается от принципа работы зарядной станции, техническая модель первой, помимо графика электропотребления, будет

представлена ещё и графиком поступления разряженных аккумуляторов на станцию.

Графики энергопотребления, которые моделируют станции подзарядки, в работе определяются ёмкостью аккумуляторных батарей электромобилей, а также собственными нуждами станций. Однако для того чтобы построить такие графики необходимо сначала определить количество электромобилей, которое обслуживается на одной такой станции в течение суток, а потом получить графики поступления этих электромобилей на рассматриваемые типы станций в течение суток, недели и т.д. В связи с этим проводится аналогия с обычными автозаправочными станциями (АЗС).

Согласно информации с официального сайта компании «Газпром нефть» в 2011 году средний объём реализации нефтепродуктов через одну АЗС компании, находящуюся на территории России, составил 14,2 тонны в день (около 19800 литров) [90]. В среднем объём топливного бака легкового автомобиля составляет порядка 40-60 л. Таким образом, за сутки на одной АЗС заправляется 330-500 автомобилей. В соответствии с прогнозами развития парка электрических транспортных средств (см. п. 1.1.2) к 2020 году доля электромобилей в мире составит около 10% от общего числа автомобилей. Сделаем допущение, что количество электромобилей, которое обслуживается на одной станции за сутки, также равно 10% от количества автомобилей, которое ежедневно заправляется на одной АЗС. Таким образом, за сутки на одной станции подзарядки может побывать 30-50 электромобилей. Для дальнейших расчётов берётся среднее значение – 40 электромобилей в сутки.

2.4.4.1. Технические модели зарядных станций

На сегодняшний день на территории Соединённых Штатов Америки осуществляются два крупных проекта по внедрению электромобилей и зарядной инфраструктуры. Первый из них называется “**The EV Project**”, и

возглавляет его компания ECOtality North America в партнёрстве с компаниями Nissan North America, General Motors, различными региональными правительствами и правительствами штатов, а также электроэнергетическими компаниями и другими организациями. Проект стартовал в октябре 2009 года и должен был быть завершён в конце 2013 года. Целью проекта является ввод в эксплуатацию около 14300 зарядных станций (режим зарядки Mode 3 и Mode 4, см. п. 1.1.3.1), поставка около 8300 электромобилей Nissan Leaf и Chevrolet Volt, их совместное тестирование, а также сбор информации о работе зарядных станций. Сбором и анализом такой информации занимается Национальная Лаборатория штата Айдахо (Idaho National Laboratory, INL) [91, 92].

Раз в квартал INL публикует отчёты, которые содержат исчерпывающую информацию по эксплуатации зарядных станций и электромобилей. В данном случае наиболее важной информацией являются данные по зарядным станциям. Так в отчётах [93-95] все зарядные станции делятся на несколько типов, а именно:

- зарядные станции с режимом заряда Mode 3, расположенные по месту жительства пользователей (Residential Level 2). Под этим типом подразумеваются такие станции, которые установлены недалеко от жилых домов. Как видно из рисунка 2.3, подзарядка электромобилей на таких станциях осуществляется преимущественно вечером и ночью, когда автовладельцы находятся дома. Днём же, когда большинство людей находится на работе, заряжающихся электромобилей гораздо меньше. В рамках данной работы такой тип станций был назван **ночными зарядными станциями**;

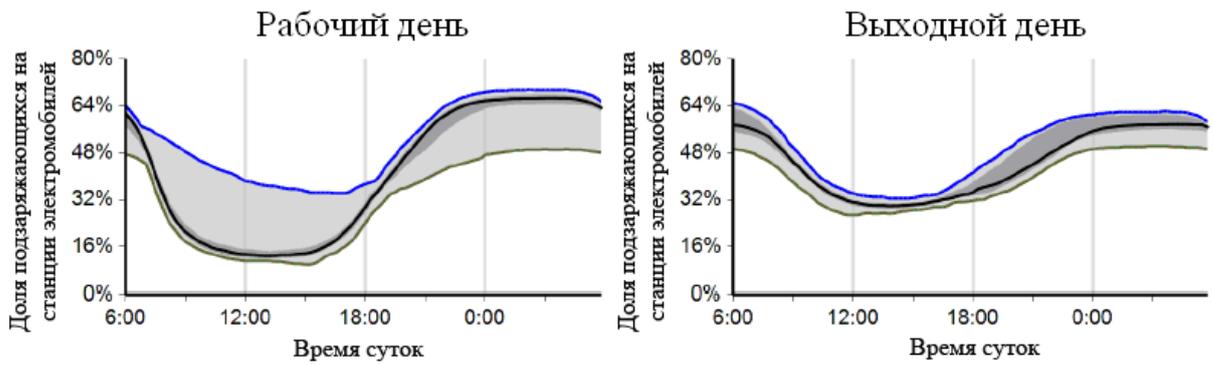


Рисунок 2.3 – Ночные зарядные станции с режимом заряда Mode 3. Доля электромобилей, подзаряжающихся на станциях, в зависимости от времени суток (для рабочего и выходного дня соответственно). Цветными линиями на графике отмечены максимальные, средние и минимальные значения.

- общественные зарядные станции (Publicly Available Level 2 и DC Fast), которые в свою очередь делятся на зарядные станции с режимом заряда Mode 3 и станции быстрой зарядки постоянным током. Под общественными станциями здесь подразумеваются станции, которые располагаются вблизи общественных мест, таких как торговые центры, аэропорты и т.д., а также на парковках неподалёку от мест, где работают люди. Таким образом, большинство электромобилей заряжается на зарядных станциях в дневное время суток, когда автовладельцы находятся на работе, совершают покупки и т.д. (см. рисунок 2.4). В дальнейшем в данной работе такие станции называются **дневными зарядными станциями**.

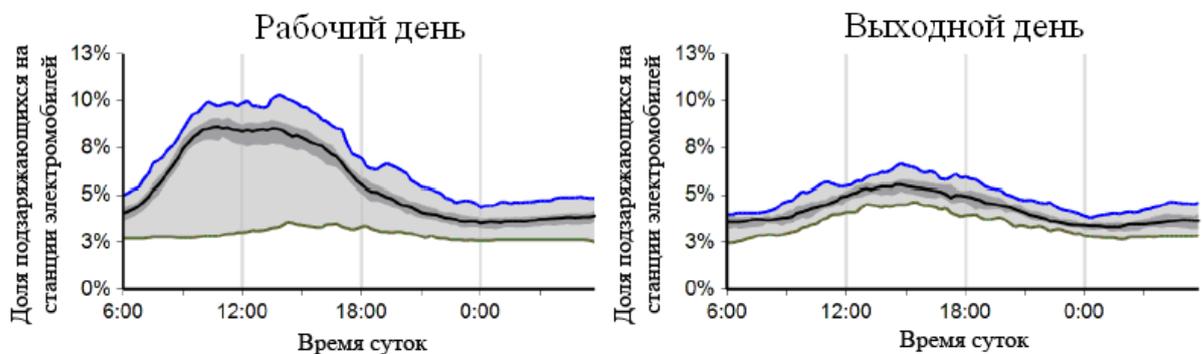


Рисунок 2.4 – Дневные зарядные станции с режимом заряда Mode 3. Доля электромобилей, подзаряжающихся на станциях, в зависимости от времени суток (для рабочего и выходного дня соответственно).

Второй проект по внедрению зарядной инфраструктуры в США называется “**ChargePoint America**”, и его спонсирует компания Coulomb Technologies. Целью проекта является ввод в эксплуатацию 4600 домашних (установленных в частных домах автовладельцев) и общественных зарядных станций ChargePoint. Сбором и анализом информации по проекту здесь также занимается Национальная Лаборатория штата Айдахо [92, 96].

Отчёты по ChargePoint America публикуются раз в квартал. Все зарядные станции здесь также делятся по типам. Помимо рассмотренных выше типов станций, в этом проекте добавился ещё один тип, который называется “Коммерческие зарядные станции” (Commercial Charging Stations) [97]. Этот тип станций является чем-то средним между другими двумя. Как видно из рисунка 2.5 в этом случае количество заряжающихся электромобилей равномерно распределено в течение суток.

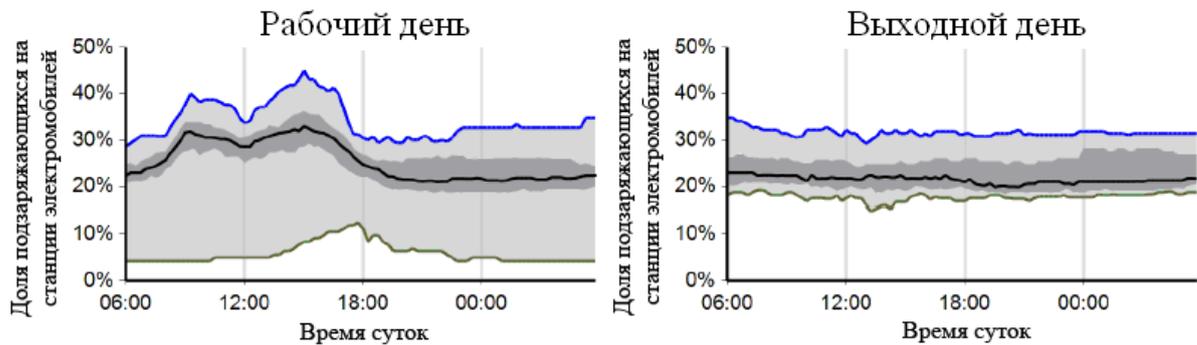


Рисунок 2.5 – Коммерческие зарядные станции с режимом заряда Mode 3. Доля электромобилей, подзаряжающихся на станциях, в зависимости от времени суток (для рабочего и выходного дня соответственно).

Другая информация по проектам The EV Project и ChargePoint America приведена в Приложении 2 на рисунках П2.1-П2.3.

В заключение также стоит отметить ещё один проект, получивший название “**The U.S. Department of Energy’s Advanced Vehicle Testing Activity**” (“Мероприятие Департамента электроэнергии США по тестированию транспортных средств”), который осуществлялся с 2007 по 2010 гг. Руководила проектом Национальная Лаборатория штата Айдахо

совместно с Университетом Калифорнии (University of California) и Институтом Транспортных Исследований имени Дэвиса (Davis's Institute for Transportation Studies). Цель его заключалась в тестировании в полевых условиях около 290 гибридных электромобилей и в сборе соответствующей информации. В ходе тестирования часть электромобилей была предоставлена обычным семьям, а часть – коммерческим организациям. По результатам эксперимента были получены графики зависимости количества подключенных электромобилей от времени суток и дня недели как для электромобилей, которые были в распоряжении обычных граждан, так и для тех, которые были предоставлены коммерческим организациям [98]. Пример таких графиков приведён на рисунке 2.6.

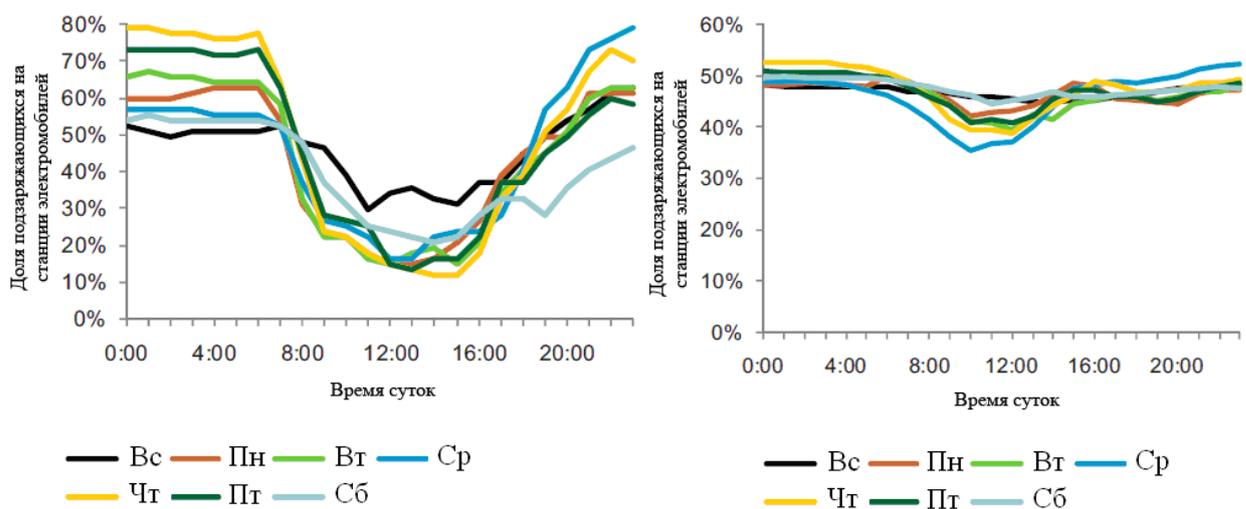


Рисунок 2.6 – Гибридные электромобили, находившиеся в распоряжении обычных граждан (слева) и в распоряжении коммерческих организаций (справа). Доля электромобилей, подключающихся на станциях, в зависимости от времени суток и дня недели.

Из приведённых выше графиков видно, что формы зависимостей количества подключенных к зарядным станциям электромобилей от времени суток для соответствующих типов зарядных станций по всем трём рассмотренным проектам схожи между собой. В связи с этим было решено

использовать эту информацию для того, чтобы рассмотреть в работе аналогичные три типа зарядных станций, а именно:

1. ночную зарядную станцию. Этот тип станций подразумевает размещение на общественных или частных автостоянках, расположенных неподалёку от жилых домов и ночных заведений (бары, клубы и др.). Пик спроса на подзарядку от станций такого типа приходится на вечернее-ночное время;
2. дневную зарядную станцию. В работе предполагается, что такой тип станций будет размещаться на общественных автостоянках неподалёку от муниципальных учреждений (поликлиники, больницы, школы, университеты и др.), торговых центров, зон отдыха (парки, зоопарки, парки развлечений и др.), аэропортов, вокзалов и т.д. Пик спроса на подзарядку в этом случае приходится на дневное время;
3. коммерческую зарядную станцию. Этот тип станций предположительно будет входить в состав обычных автозаправочных станций (АЗС) или размещаться на частных автостоянках вблизи офисных центров. Пик спроса на подзарядку электромобиля в этом случае также приходится на дневное время.

Кроме этого было сделано допущение, что на станциях этих типов будут использоваться зарядные устройства постоянного тока (Mode 4, см. п. 1.1.3.1), каждое из которых способно за час подзарядить 2 электромобиля. В дальнейшем используя имеющиеся графики, а также информацию о том, что за сутки на одной зарядной станции подзаряжается 40 электромобилей, были получены графики зависимости количества заряжающихся электромобилей от времени суток. Пример таких графиков приведён на рисунках 2.7-2.9. Остальные графики см. в Приложении 2 на рисунках П2.4-П2.6.

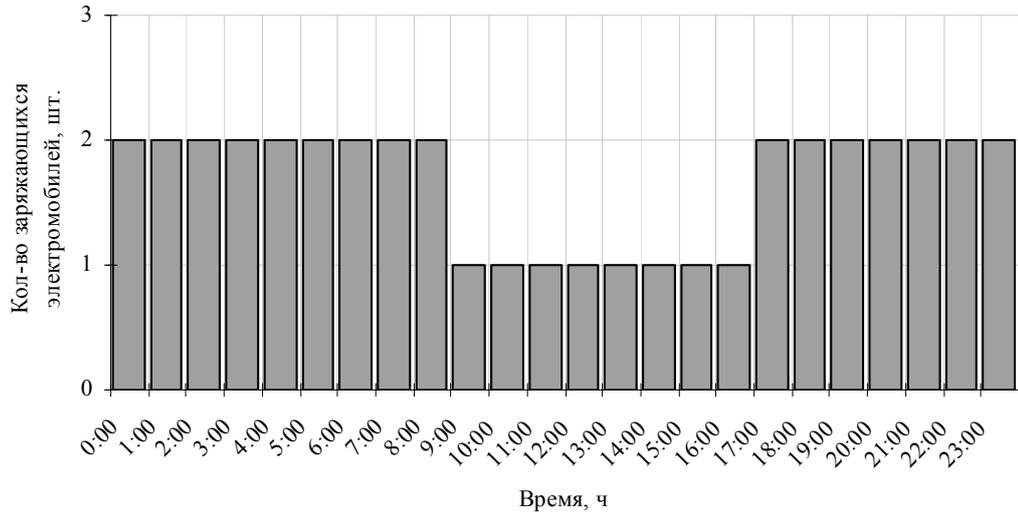


Рисунок 2.7 – Ночная зарядная станция. Количество заряжающихся электромобилей в зависимости от времени суток (для рабочего дня).

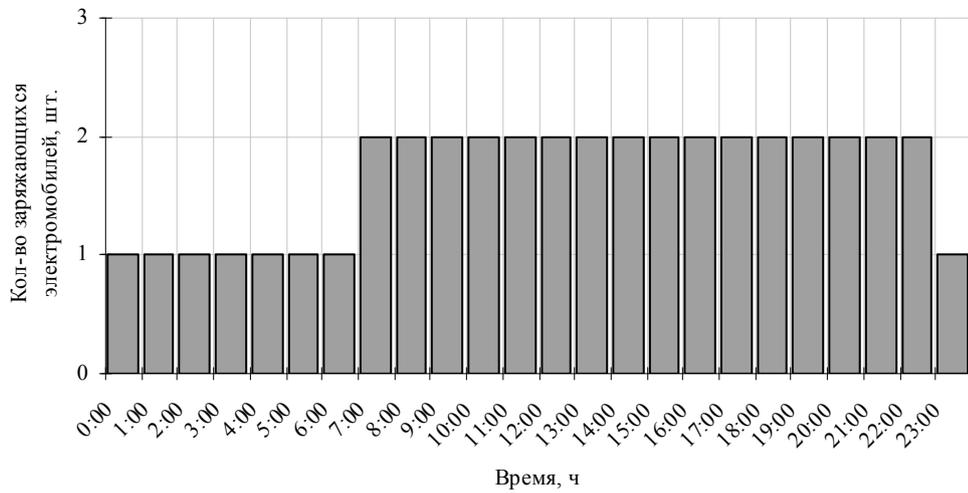


Рисунок 2.8 – Коммерческая зарядная станция. Количество заряжающихся электромобилей в зависимости от времени суток (для рабочего дня).

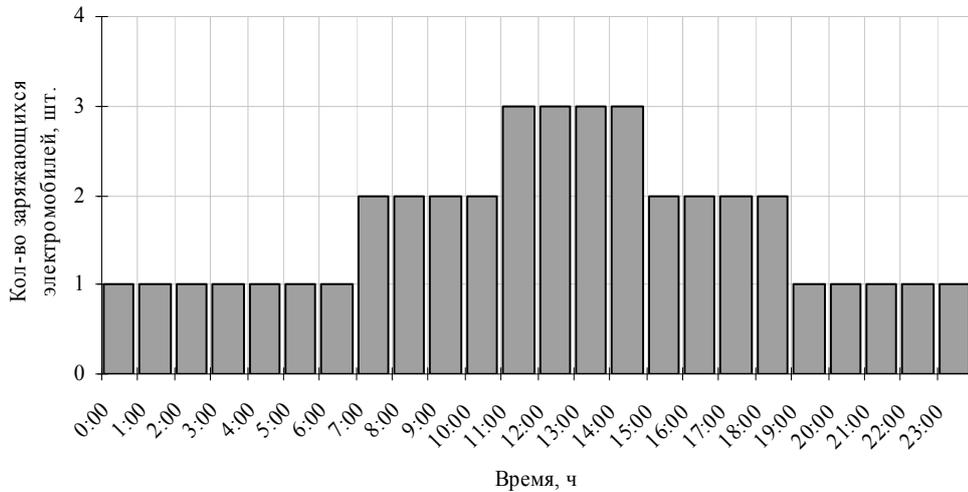


Рисунок 2.9 – Дневная зарядная станция. Количество заряжающихся электромобилей в зависимости от времени суток (для рабочего дня).

Для того чтобы из графиков зависимости количества заряжающихся электромобилей от времени суток получить графики нагрузки станций в данной работе делается ещё несколько допущений. Первое допущение заключается в том, что вышеупомянутые зарядные станции рассматриваются к использованию только в населённых пунктах. Это решение связано с тем, что подзарядка электрического транспортного средства на зарядных станциях может занимать довольно продолжительное время (в лучшем случае 15-40 мин. при зарядке на станции быстрой зарядки, см. п. 1.1.3.1), а как раз в населённых пунктах обычно имеется множество разных мест, где это время можно провести. В свою очередь, в районах, удалённых от населённых пунктов, места для времяпровождения встречаются довольно редко, если вообще встречаются, поэтому время зарядки электромобиля здесь имеет куда большее значение – для таких районов лучше подходят станции замены аккумуляторных батарей (процесс замены АКБ занимает менее 5 мин., см. п. 1.1.3.2), но о них речь пойдёт чуть позже.

Во втором допущении принимается, что либо в составе рассматриваемых зарядных станций не требуются различные сопутствующие сервисы (автомастерские, автомойки, магазины, кафе и т.д.), либо зарядные станции сами входят в состав обычных автозаправочных станций, где эти сопутствующие сервисы уже имеются. Таким образом, энергоснабжение сопутствующих сервисов и АЗС не входит в задачу. Единственным же строением, которое относится к зарядным станциям, является помещение, в котором располагаются аккумуляторные батареи станций.

Таблица 2.1 – Основные технические характеристики аккумуляторной батареи RA12-260.

Номинальная ёмкость, А·ч	260
Габаритные размеры, мм	520x225x268
Температурные условия работы АКБ, °С:	
Разряд	-20... +60
Заряд	0... +50
Оптимальная рабочая температура	25

Таблица 2.2 – Основные технические характеристики аккумуляторной батареи LG Chem (используется в гибридном электромобиле Chevrolet Volt).

Ёмкость, А·ч	45
Энергия, кВт·ч	16
Температурные условия работы АКБ, °С	-30... +55

В таблицах 2.1-2.2 приведены основные технические характеристики типовых аккумуляторов и аккумуляторных батарей электромобилей, которые в работе используются на зарядных станциях и станциях замены АКБ соответственно (остальные технические характеристики см. в Приложении 5). Согласно этой информации оптимальная температура работы обоих типов АКБ принимается равной 25°С. Таким образом, помещение, в котором располагаются аккумуляторы, зимой нужно каким-то образом отапливать, а летом – охлаждать. В работе рассматривается разное количество аккумуляторных батарей, в связи с чем делается допущение, что для их размещения будет достаточно помещения площадью 20 м². В свою очередь для отопления и кондиционирования этого помещения были рассмотрены несколько видов подходящего оборудования, на основе потребляемой мощности которых принимается, что в течение зимы на отопление тратится 3 кВт мощности, в течение лета на кондиционирование помещения – порядка 2 кВт [99, 100].

В заключение остаётся только учесть ёмкость АКБ электромобилей. Для этого используется информация по аккумуляторным батареям электромобилей, которые на сегодняшний день проходят тестирование на территории Москвы в рамках проекта «МОЭСК-EV» (см. таблицу 2.3).

Таблица 2.3 – Технические характеристики электромобилей, проходящих тестирование на территории Москвы в рамках проекта «МОЭСК-EV».

Параметр	Mitsubishi i-MiEV	Nissan Leaf	Chevrolet Volt
Пробег без подзарядки, км	150	160	65
Тип аккумуляторной батареи	Литий-ионная (88 ячеек)	Литий-ионная (48 модулей по 4 ячейки в каждом)	Литий-ионная (9 модулей по 32 ячейки в каждом)
Ёмкость батарей, кВт·ч	16	24	16

Так аккумулятор электромобиля Nissan Leaf имеет самую большую ёмкость (24 кВт·ч), в связи с чем делается очередное допущение, что именно такие электромобили будут подзаряжаться на рассматриваемых в данном параграфе зарядных станциях. В дальнейшем, перемножив ёмкость аккумуляторной батареи электромобиля и количество заряжающихся электромобилей за рассматриваемый промежуток времени, а также учтя нагрузку собственных нужд, были построены графики нагрузки рассматриваемых типов станций. Пример таких графиков приведён на рисунках 2.10-2.12. Остальные графики см. на рисунках П2.7-П2.15 Приложения 2.

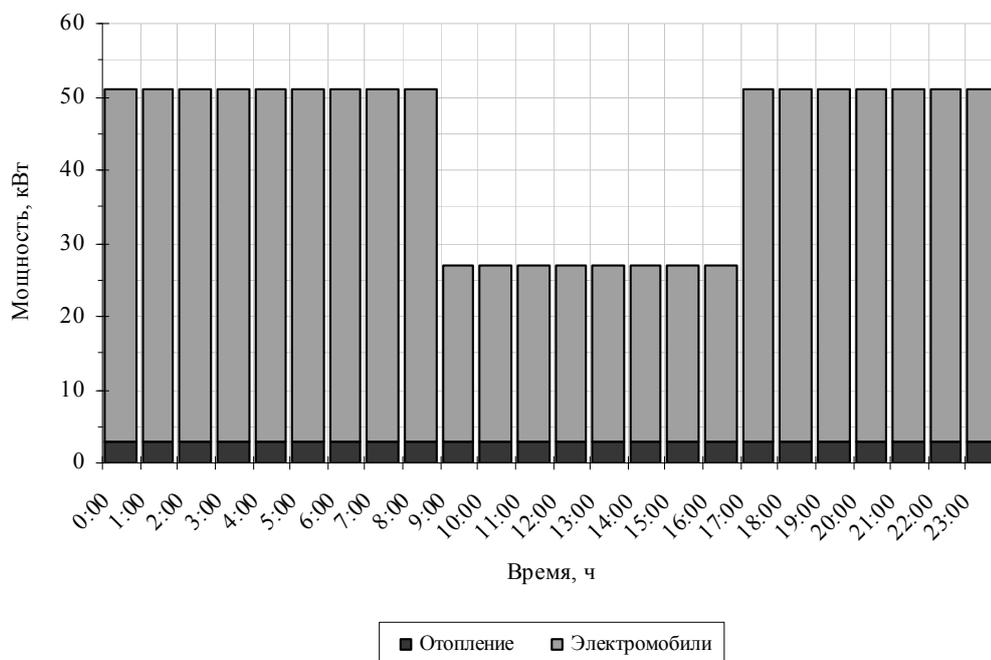


Рисунок 2.10 – Ночная зарядная станция. Зимний график нагрузки (для рабочего дня).

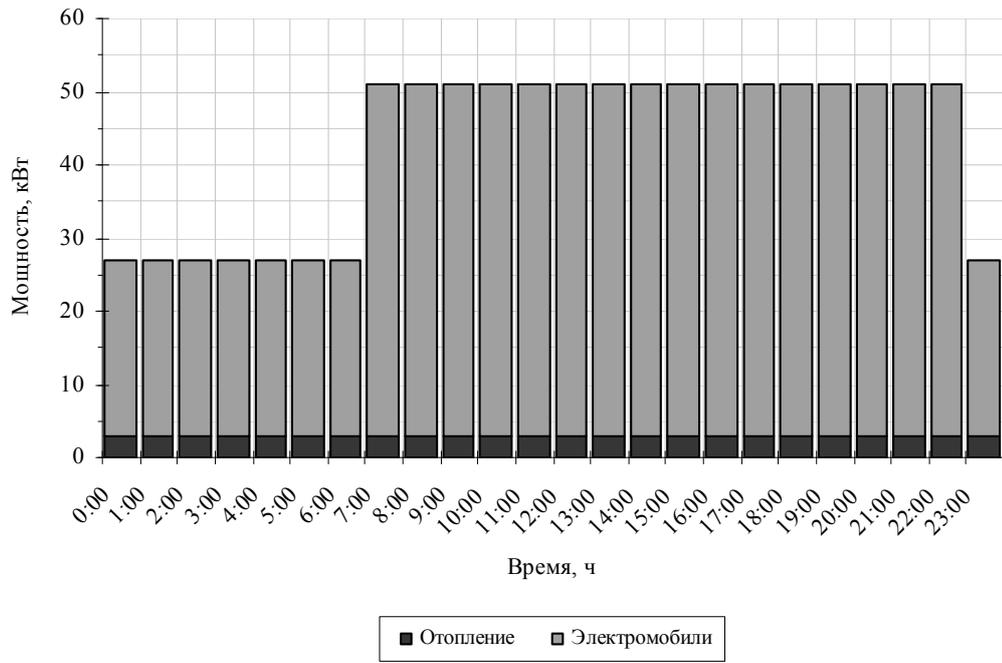


Рисунок 2.11 – Коммерческая зарядная станция. Зимний график нагрузки (для рабочего дня).

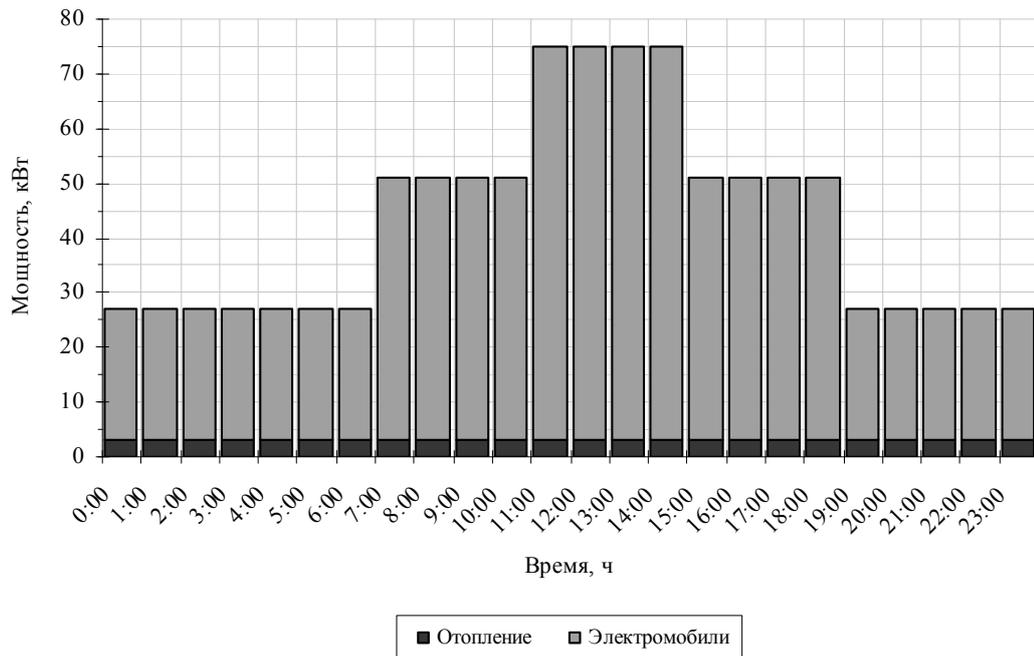


Рисунок 2.12 – Дневная зарядная станция. Зимний график нагрузки (для рабочего дня).

2.4.4.2. Технические модели станций замены аккумуляторных батарей

Как уже было отмечено ранее, станции замены аккумуляторных батарей в первую очередь отлично подходят для использования на удалении от населённых пунктов и линий электропередачи (ЛЭП). Так, обслуживание электромобилей на таких станциях занимает очень мало времени – около 5 минут (в отличие от зарядных станций, где в лучшем случае время зарядки составляет 15-40 мин., см. п. 1.1.3.1) – а это в свою очередь является очень существенным для тех автовладельцев, которые любят путешествовать или которым довольно часто приходится находиться в разъездах. Во-вторых, станции замены АКБ хорошо подходят для обслуживания автомобильных парков разных компаний, предприятий и т.д. Как правило, в такие автопарки входят однотипные автомобили и, таким образом, можно не беспокоиться о том, что сменные аккумуляторные батареи не подойдут к некоторым из авто.

В данной работе предлагается рассмотреть несколько типов станций замены АКБ, а именно:

1. станцию замены, обслуживающую автомобильный парк таксомоторной компании. Этот выбор был сделан потому, что спрос на услуги таксомоторных компаний, как правило, сильно неравномерен в течение суток и, следовательно, такими же неравномерными будут и соответствующие графики (графики зависимости количества обслуживаемых электромобилей-такси от времени, графики нагрузки и т.д.). Эта особенность и отличает данный вариант от других, а также делает его интересным для дальнейшего рассмотрения;
2. станцию замены АКБ, обслуживающую автопарк промышленного предприятия. Этот выбор связан с тем, что для промышленных предприятий электрические транспортные средства просто необходимы – вследствие отсутствия у электромобилей вредных выхлопов, они могут успешно использоваться как на открытой территории предприятия, так и в его закрытых помещениях;

3. станцию замены АКБ, которая обслуживает парк автомобилей, принадлежащий зоне отдыха. В этом случае экологически чистые электромобили также необходимы, а следовательно необходимы и соответствующие станции обслуживания;
4. полностью автономную станцию замены АКБ. Этот тип станций подразумевает размещение вдоль автотранспортных дорог, магистралей или в населённых пунктах, удалённых от линий электропередачи.

Станция замены АКБ для таксопарка электромобилей

Как и в случае с зарядными станциями, для того, чтобы получить графики поступления разряженных аккумуляторов на станцию замены АКБ с начала необходимо определить количество электромобилей, которое будет обслуживаться на такой станции за сутки. В России пока нет таксомоторных компаний, в которые входили бы электромобили, поэтому далее проводится аналогия с таксопарками обычных таксомоторных компаний. Таксомоторные компании бывают:

- малые – располагают небольшим таксопарком (10-20 автомобилей, реже до 50);
- средние – имеют в своём таксопарке от 50 до 100 машин;
- крупные – располагают большим парком автомобилей (более 100 шт.).

Кроме этого, за рубежом уже есть примеры работы электромобилей в таксопарках:

- в 2010 году американская компания Better Place в сотрудничестве с крупнейшим оператором такси Японии начала эксперимент, запустив первый в мире таксопарк с машинами, работающими на сменных литий-ионных батареях. Для этого также была построена специальная

станция замены аккумуляторов. На тот момент в таксопарке было задействовано три электромобиля [101];

- в скором времени в США появится таксопарк, в который войдут около 40 электромобилей Nissan Leaf [102].

На основе этой информации, а также того, что в России электромобили только начинают появляться, было принято решение рассмотреть в работе станцию, которая обслуживает автопарк небольшой таксомоторной компании, состоящий из 20 электромобилей. В свою очередь чтобы определить сколько раз за сутки эти электромобили пользуются услугами станции замены АКБ и построить соответствующий график необходимо сделать пару допущений. Так, первое допущение заключается в том, что один электромобиль за смену производит замену АКБ 4 раза. Данное решение принято исходя из опыта эксплуатации вышеупомянутого таксопарка электромобилей в Японии, где водители за смену производят замену батарей от 4 до 5 раз [103]. Второе допущение основывается на том, что каждый автомобиль закрепляется за одним водителем и, следовательно, используется посменно. С учётом этих моментов в итоге было получено, что за сутки на рассматриваемой станции замены АКБ электромобили таксомоторной компании обслуживаются 80 раз.

Согласно [104] типовой график изменения спроса на перевозки автомобили-такси по часам суток для городов России выглядит следующим образом:

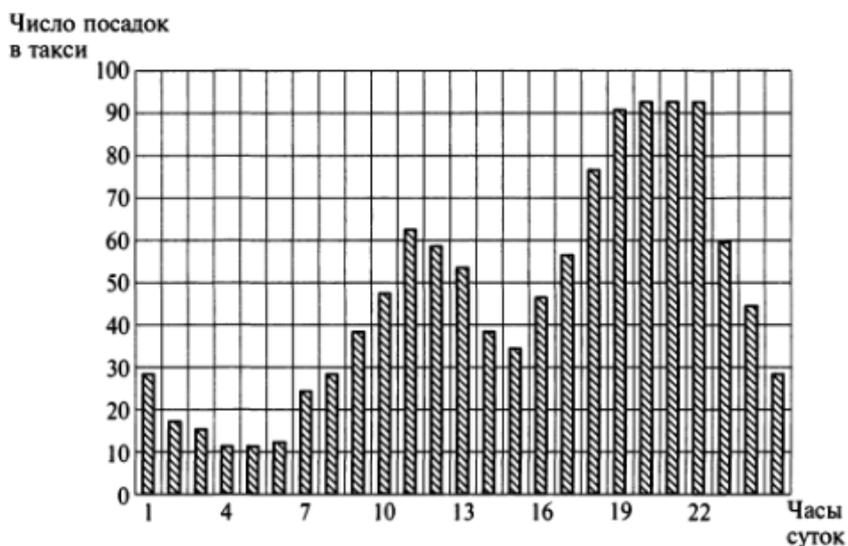


Рисунок 2.13 – Изменение спроса на перевозки автомобилями-такси по часам суток.

Смена, как правило, равна 8 часам, из чего следует, что электромобили меняют аккумуляторные батареи каждые 2 часа. Таким образом, для того, чтобы построить график зависимости количества замен от времени суток, нужно выше приведенный график (см. рисунок 2.13) сместить на 2 часа вправо. На базе этой информации, а также того, что за сутки на станции заряжается 80 АКБ, в итоге был получен следующий график:

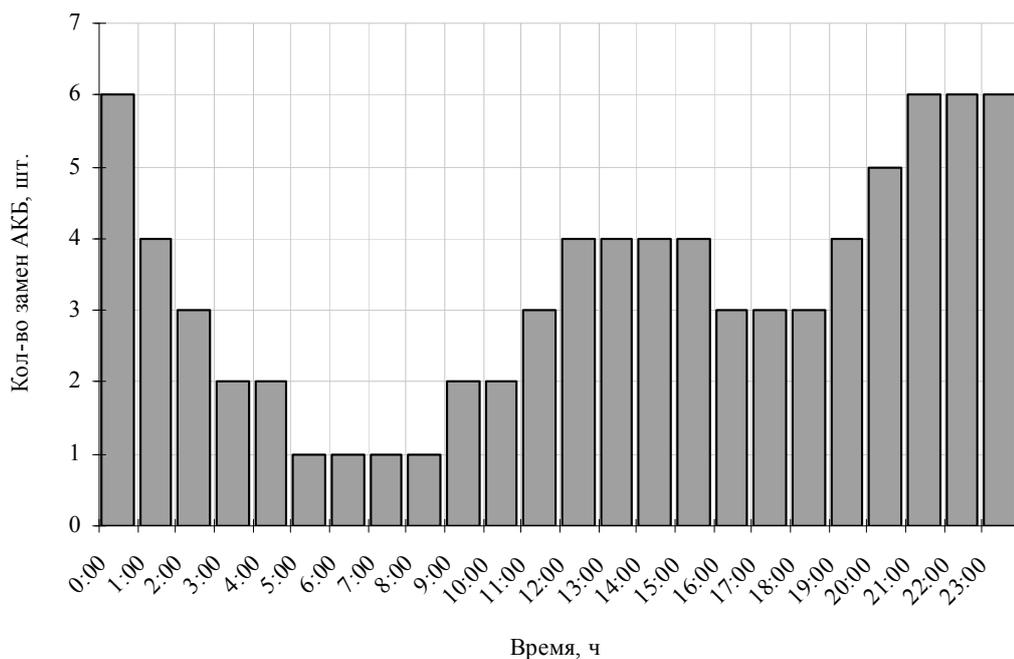


Рисунок 2.14 – Станция замены АКБ для таксопарка электромобилей. Количество замен АКБ в зависимости от времени суток.

Далее, чтобы построить график нагрузки, как и в случае с зарядными станциями, следует учесть собственные нужды (отопление и кондиционирование помещения с АКБ) и ёмкость аккумуляторных батарей, которые будут использоваться на станции. В работе принимается, что на станциях замены АКБ будут использоваться аккумуляторные батареи автомобиля Chevrolet Volt, ёмкость которых составляет 16 кВт·ч. Этот выбор в первую очередь связан с тем, что АКБ, используемые в Volt, могут быть установлены практически на любую другую машину. Кроме этого также делается допущение, что зарядка разряженных аккумуляторных батарей, заменённых на заряженные за текущий час, осуществляется в следующий час (см. рисунок 2.15). Пример полученного в итоге графика нагрузки (для зимы) приведён на рисунке 2.16. Соответствующий летний график нагрузки см. в Приложении 2 на рисунке П2.16.

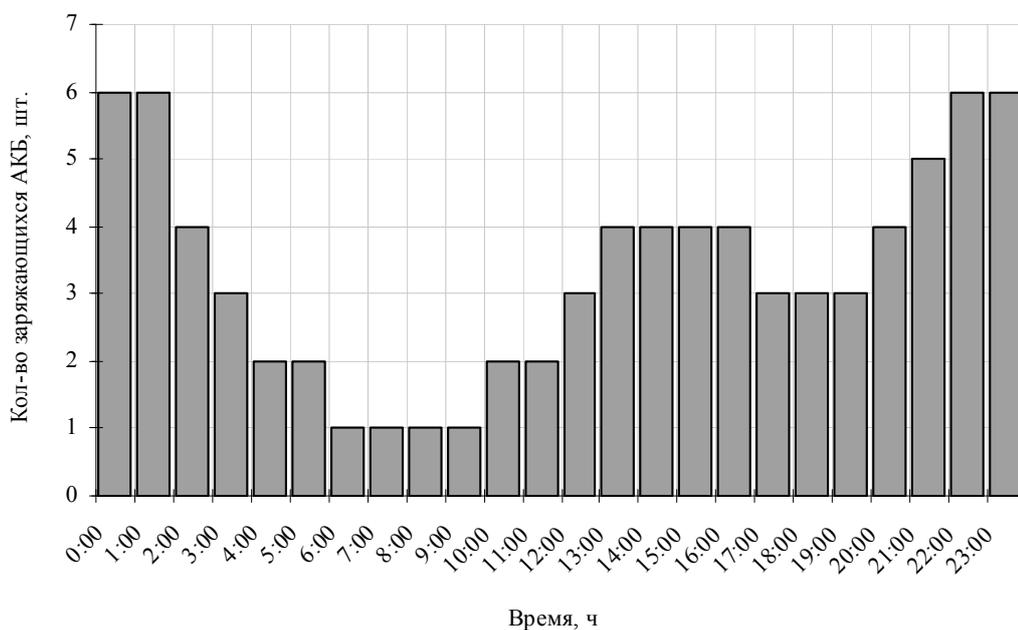


Рисунок 2.15 – Станция замены АКБ для таксопарка электромобилей. Количество заряжающихся АКБ в зависимости от времени суток.

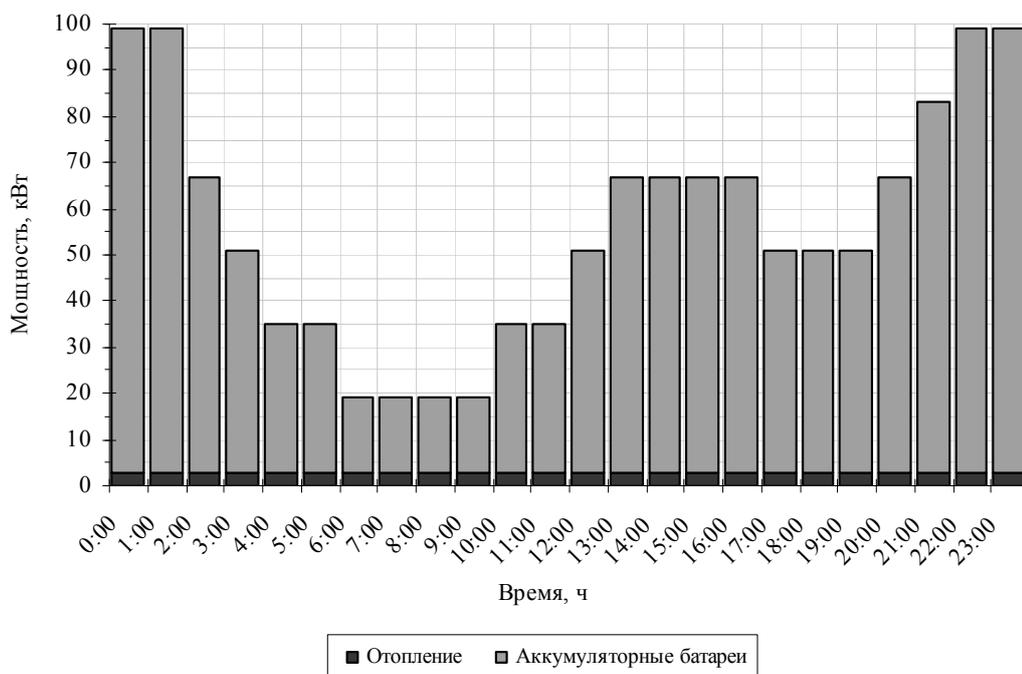


Рисунок 2.16 – Станция замены АКБ для таксопарка электромобилей. Зимний график нагрузки.

Помимо своего основного назначения аккумуляторы электромобилей могут использоваться и для хранения избыточной энергии возобновляемых источников. В связи с этим максимальное количество АКБ на рассматриваемой станции замены может быть практически любым, но не меньше некоторого минимального значения, которое необходимо для её нормальной работы. Это минимальное количество представляет собой запас полностью заряженных аккумуляторов, который постоянно присутствует на станции на случай отсутствия возможности подзарядки нужного количества АКБ (вследствие недостаточной выработки ВИЭ, либо из-за того, что часть зарядных устройств используется для других нужд).

Определение минимального количества аккумуляторных батарей осуществляется с помощью графика зависимости количества замен АКБ от времени суток (см. рисунок 2.14). Для этого по графику выбирается двух часовой временной интервал, суммарное количество замен за который является максимальным из всех возможных случаев. Этот выбор, объясняется тем, что всегда возможен случай, когда в конце текущего часа и

в начале следующего практически одновременно будет произведена замена n -ого количества АКБ, характерного для этих часов. В свою очередь, общее количество замен АКБ, соответствующее выбранному промежутку, и будет являться искомым минимальным количеством полностью заряженных аккумуляторных батарей, необходимым на станции. Так, в рассматриваемом варианте с таксопарком электромобилей минимально допустимое количество АКБ на станции замены составляет 12 шт. (соответствует временным интервалам с 21.00 до 23.00, с 22.00 до 0.00 и с 23.00 до 1.00).

В заключение остаётся определить количество зарядных устройств. Для этого, как и в случае с зарядными станциями, делается допущение, что на станции будут использоваться зарядные устройства постоянного тока (Mode 4, см. п. 1.1.3.1), каждое из которых способно за час подзарядить 2 электромобиля. Как видно из рисунка 2.15 максимальное количество одновременно заряжающихся АКБ за час составляет 6 шт., таким образом, на станции замены АКБ должно быть как минимум 3 зарядных устройства.

Станция замены АКБ для автопарка промышленного предприятия

В данном случае, для того, чтобы построить графики зависимости количества замен АКБ от времени суток, принимаются следующие допущения:

1. промышленное предприятие работает в три смены, без выходных дней;
2. в автопарк входит 10 электромобилей. Предполагается, что этого количества достаточно для нормальной работы предприятия;
3. электромобили работают также в три смены. Каждый электромобиль за смену производит замену АКБ 4 раза (по аналогии с электромобилями-такси из предыдущего варианта).

С учётом этих допущений было получено, что за сутки на станции замены аккумуляторных батарей электромобили автопарка обслуживаются 120 раз. Соответствующий график представлен на рисунке 2.17.

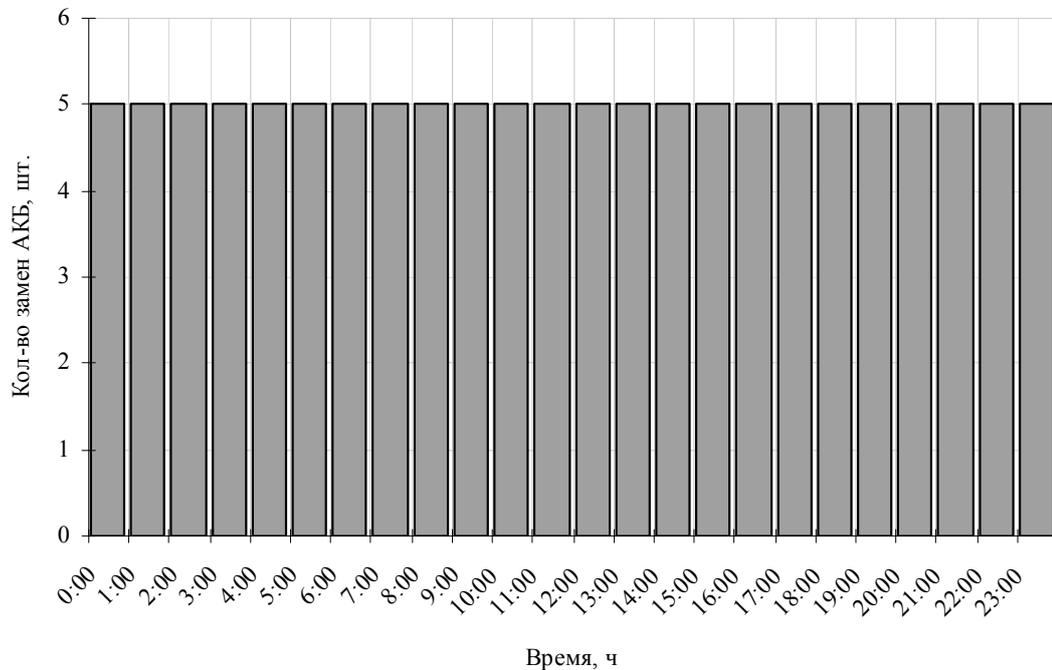


Рисунок 2.17 – Станция замены АКБ для автопарка промышленного предприятия.

Количество замен АКБ в зависимости от времени суток.

Чтобы из графика на рисунке 2.17 получить график нагрузки следует учесть ёмкость аккумуляторных батарей электромобилей, а также энергопотребление на охлаждение и обогрев помещения, в котором они будут располагаться. Что же касается непосредственно ёмкости АКБ электромобилей, то в данном случае, как и в варианте с таксомоторной компанией, принимается, что на предприятии используются Chevrolet Volt или другие электромобили, ёмкость АКБ которых составляет 16 кВт·ч. Пример полученного графика нагрузки (для зимы) приведён на рисунке 2.18. Соответствующий летний график нагрузки см. на рисунке П2.17 Приложения 2.

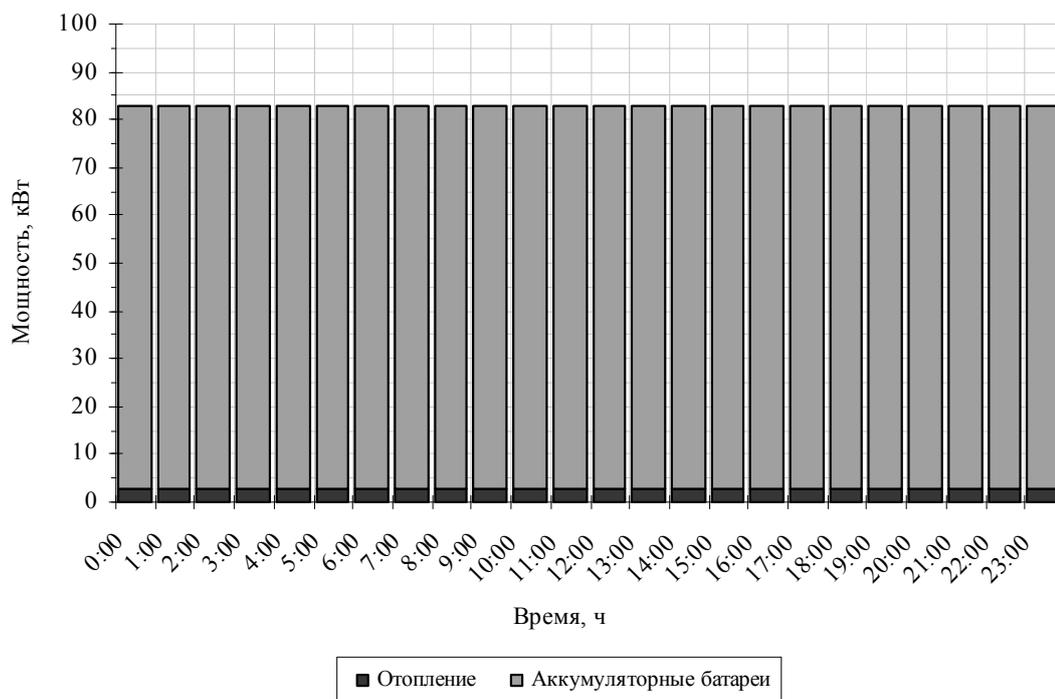


Рисунок 2.18 – Станция замены АКБ для автопарка промышленного предприятия.
Зимний график нагрузки.

По аналогии со станцией замены для таксопарка определяется и количество зарядных устройств, которое в данном случае равно 3 шт., и минимально допустимое количество АКБ, равное 10 шт.

Станция замены АКБ для автопарка зоны отдыха

Сделанные допущения:

1. автопарк зоны отдыха работает в две смены (с 8.00 до 0.00), без выходных дней;
2. в автопарк входит 10 автомобилей;
3. автомобили работают также в две смены. Каждый автомобиль за смену производит замену АКБ 4 раза (каждые 2 часа, по аналогии с автомобилями с автопарка таксомоторной компании).

С учётом этих допущений было получено, что за сутки на станции замены аккумуляторных батарей электромобили автопарка обслуживаются 80 раз. Соответствующий график представлен на рисунке 2.19.

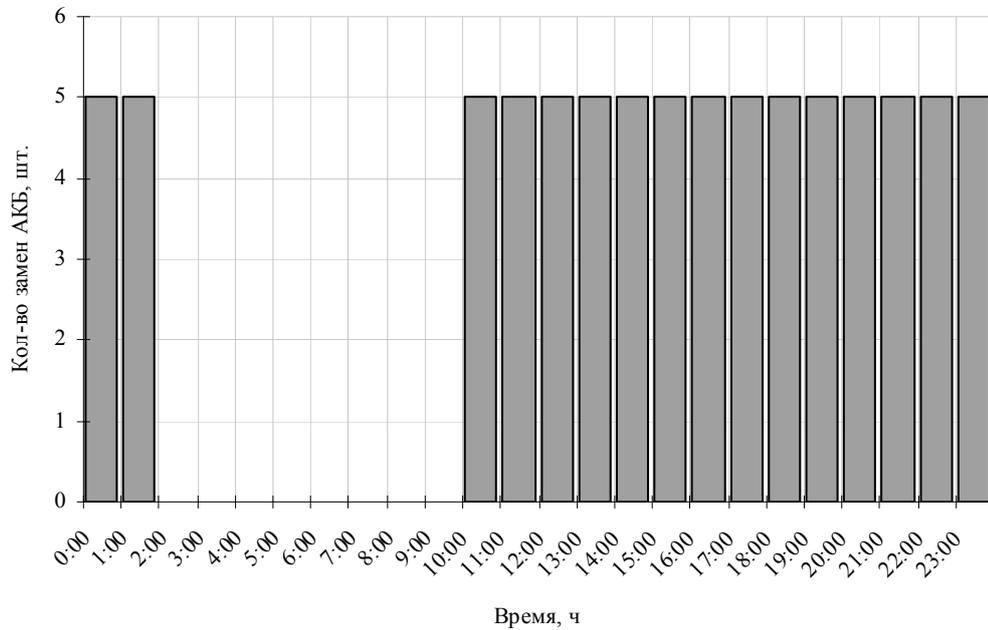


Рисунок 2.19 – Станция замены АКБ для автопарка зоны отдыха. Количество замен АКБ в зависимости от времени суток.

Далее, сдвинув полученный график на один час вправо (зарядка разряженных аккумуляторных батарей осуществляется в следующий час), а также учтя собственные нужды станции замены АКБ (энергопотребление на охлаждение и обогрев помещения с аккумуляторными батареями) и ёмкости электромобилей автопарка (Chevrolet Volt, ёмкость АКБ – 16 кВт·ч) были получены следующие графики:

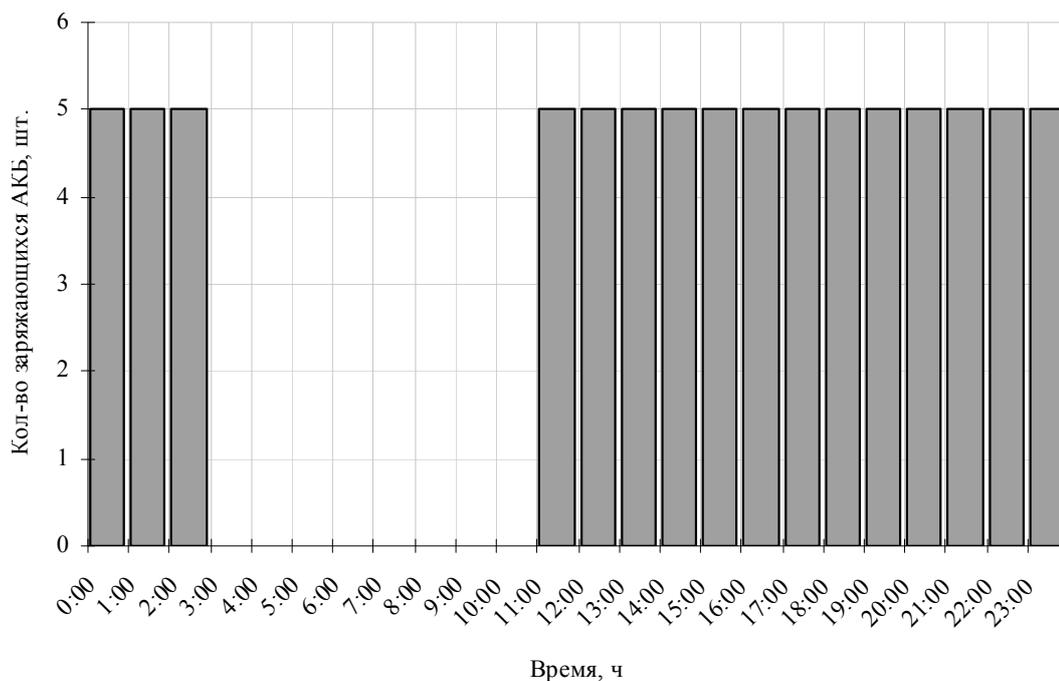


Рисунок 2.20 – Станция замены АКБ для автопарка зоны отдыха. Количество заряжающихся АКБ в зависимости от времени суток.

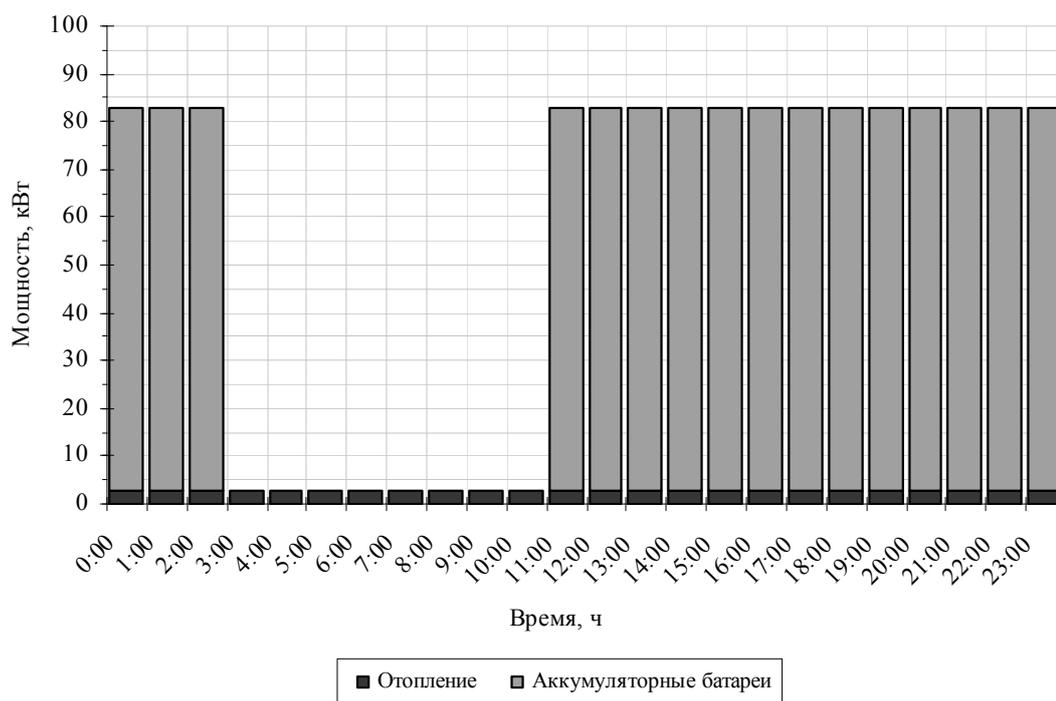


Рисунок 2.21 – Станция замены АКБ для автопарка зоны отдыха. Зимний график нагрузки.

Соответствующий летний график нагрузки см. на рисунке П2.18
Приложения 2.

Минимально допустимое количество АКБ на станции замены для автопарка зоны отдыха не должно быть меньше 10 шт. Количество зарядных устройств – 3 шт.

Полностью автономная станция замены АКБ

Количество обслуживаемых за сутки электромобилей на автономной станции замены в работе принимается таким же, как и в случае с зарядными станциями, а именно равным 40 шт. Что же касается графика зависимости количества замен АКБ от времени суток (см. рисунок 2.22), то он был построен исходя из предположения, что в дневное время заряжается больше электромобилей, чем в ночное.

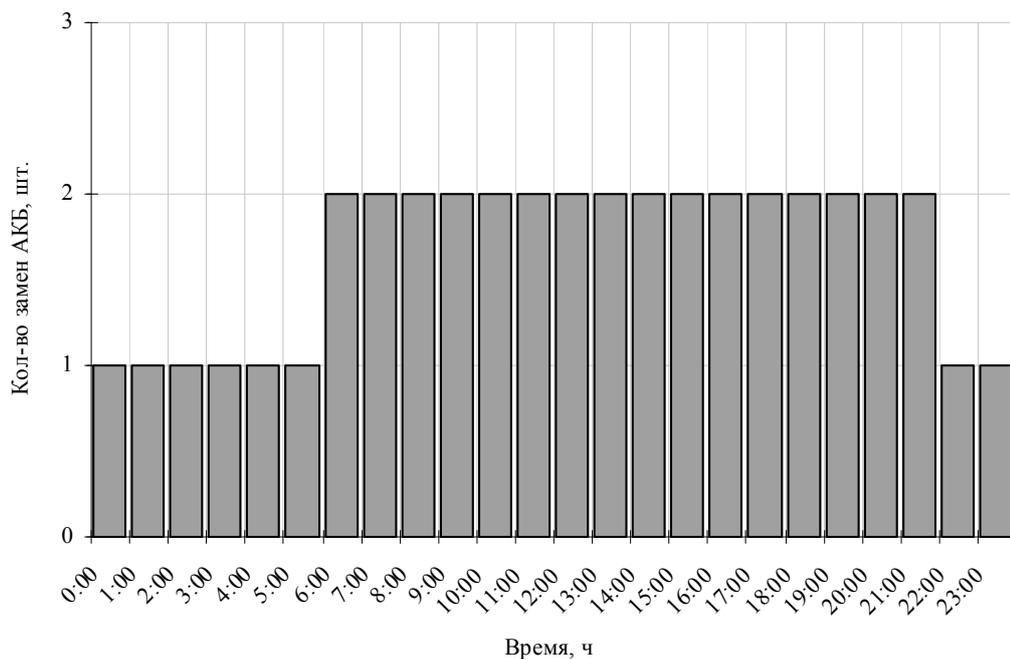


Рисунок 2.22 – Количество замен АКБ в зависимости от времени суток.

Собственные нужды такой станции включают в себя не только нагрузку на отопление и кондиционирование помещения, в котором размещаются сменные аккумуляторные батареи, но также нагрузку АЗС и сопутствующих сервисов. Это связано с тем, что автономная станция замены

располагается на значительном удалении от ЛЭП. Таким образом вводить её в состав уже каких-либо действующих автозаправочных станций, как это было с зарядными станциями, нет смысла. Так, в состав придорожных АЗС обычно входят следующие сопутствующие сервисы:

- туалетные комнаты;
- компрессоры для подкачки шин;
- круглосуточные магазины повседневного спроса;
- закусочные быстрого питания.

Чаще всего в состав придорожных АЗС в настоящее время входят магазины повседневного спроса, нагрузка которых значительно выше нагрузки остальных сервисов. Так типичный круглосуточный магазин в США за месяц может потреблять от 15000 до 50000 кВт·ч [105, 106]. На основании этой информации делается допущение, что в состав станции замены помимо АЗС также входят круглосуточный магазин и другие сервисы, нагрузка которых мала по сравнению с нагрузкой магазина. Суммарную нагрузку АЗС и магазина принимаем равной 20 кВт·ч.

Кроме этого, на станции, в качестве резерва, используются дизельные энергоустановки. В данной работе собственные нужды ДЭУ состоят из нагрузки по периодическому электроотоплению контейнера в зимних условиях (2 кВт·ч) и подогрева рабочей жидкости агрегата в течение всего года (3 кВт·ч). Эти системы включаются поочередно на один час через каждый час, что позволяет более равномерно распределить нагрузку во времени. Что же касается сменных аккумуляторных батарей, то в данном случае на автономной станции замены АКБ также используются аккумуляторы Chevrolet Volt. Пример полученного в итоге графика нагрузки (для зимы) приведён на рисунке 2.24. Соответствующий летний график нагрузки см. в Приложении 2 на рисунке П2.19.

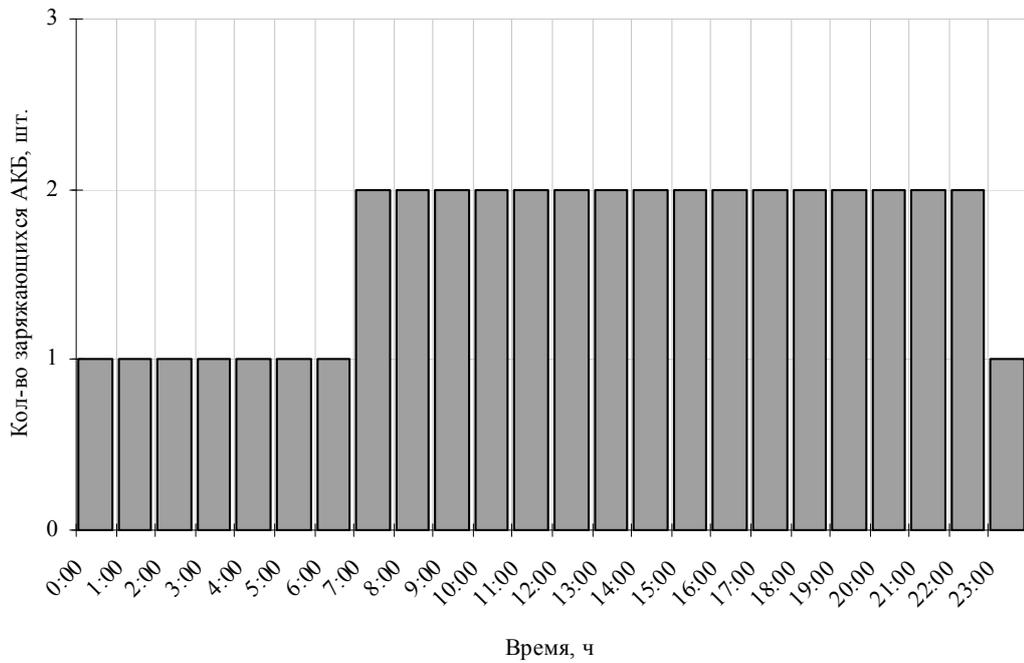


Рисунок 2.23 – Полностью автономная станция замены АКБ. Количество заряжающихся АКБ в зависимости от времени суток.

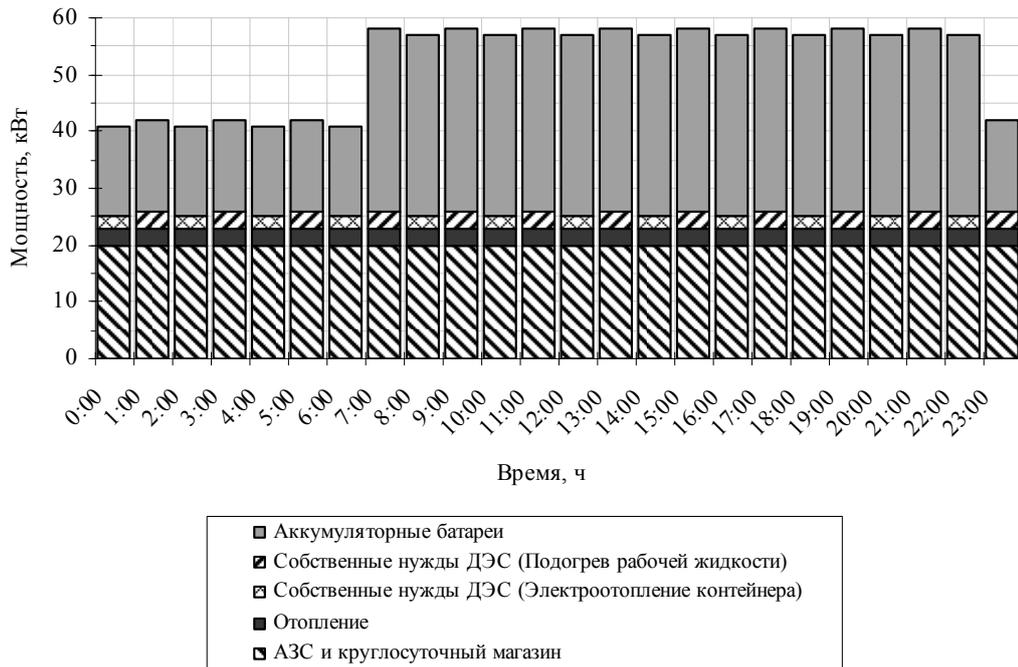


Рисунок 2.24 – Полностью автономная станция замены АКБ. Зимний график нагрузки.

Минимальное количество АКБ, которое должно быть на станции, составляет 4 шт. Количество зарядных устройств – 1 шт.

2.5. Построение экономической модели ГЭК

Экономическая модель позволяет оценить экономическую реализуемость проекта и должна рассматривать экономические оценки вариантов и отдельных технических решений с использованием различных критериев эффективности. На основе экономической модели впоследствии строится технико-экономическое обоснование (ТЭО) проекта, которое должно включать обоснование числа элементов комплекса и их состав, а также должно определить оценку целесообразности сооружения рассматриваемого комплекса в выбранном месте или дать сравнение вариантов мест предполагаемого строительства. При получении отрицательных экономических оценок по существующим методикам экономическая модель может рассмотреть возможные пути повышения инвестиционной привлекательности проекта за счёт привлечения средств бюджетов разного уровня, получения налоговых льгот и т.д.

В диссертационной работе процедура технико-экономического обоснования гибридного энергетического комплекса основана на последовательном сужении множества вариантов выбора структуры и параметров ГЭК с получением в результате одного или нескольких альтернативных вариантов состава энергокомплекса, причём в разных вариантах структуры параметры элементов энергокомплекса могут быть различными [107]. Оптимизация параметров энергокомплекса проводится методом прямого перебора вариантов. В свою очередь оценка эффективности гибридного энергетического комплекса сводится к определению чистого дисконтированного дохода (ЧДД). Рассматриваемый комплекс будет считаться эффективным в том случае, когда чистый дисконтированный доход за расчётный период будет положительным:

$$\text{ЧДД} > 0.$$

Если ЧДД отрицателен или же несколько ГЭК имеют положительный ЧДД, то тогда экономическим критерием выбора наиболее эффективного энергокомплекса и состава его оборудования является максимум чистого дисконтированного дохода за расчётный период.

Помимо ЧДД сравнение различных ГЭК и выбор лучшего из них может быть произведён с использованием следующих показателей:

- индекс доходности (ИД);
- срок окупаемости капитальных вложений ($T_{ок}$).

Исходные данные, необходимые для расчёта экономических показателей гибридного энергетического комплекса:

1. Тип, стоимость, срок службы оборудования, входящего в состав комплекса (основные данные представлены в таблице 2.4, более подробную информацию по оборудованию см. в Приложении 5), и количество этого оборудования;
2. Среднегодовые значения:
 - энергопотребления на собственные нужды ГЭК;
 - выработки генерирующих установок возобновляемой энергетики;
 - выработки дизельных электроустановок;
 - энергопотребления из сети в дневное и ночное время суток;
 - избыточной энергии, вырабатываемой установками возобновляемой энергетики;
 - расхода дизельного топлива на ДЭС;
 - расхода масла на ДЭС;
3. Тарифы на электроэнергию, дифференцированные по зонам суток: дневной – 4 руб. за кВт·ч, ночной – 1 руб. за кВт·ч;
4. Стоимость дизельного топлива и масла для ДЭУ. В работе принимается равной 30 и 35 руб. за л. соответственно;

5. Коэффициент дисконтирования – 10%;
6. Налог на имущество (2% от стоимости ГЭК) и на прибыль (18%);
7. Эксплуатационные издержки – 5% от стоимости комплекса;
8. Коэффициент инфляции на дизельное топливо – 8% в год;
9. Расчётный период принимается равным 20 годам.

Таблица 2.4 – Основные данные по оборудованию.

Ветроэлектрические установки			
Марка ВЭУ	PW-30/14 (АВЭУ-30)	TW 60	PK-10
Стоимость, тыс. руб.	2460	4600	1000
Срок службы, лет	20	20	20
Солнечные модули			
Марка СМ	ТСМ-200В		
Стоимость, тыс. руб.	19		
Срок службы, лет	25		
Дизельные электроустановки			
Марка ДЭУ	ДГУ АД-30	ДГУ АД-60	
Стоимость, тыс. руб.	250	350	
Срок службы, лет	10	10	
Контроллеры для солнечных модулей			
Марка контроллера	MPPT контроллер Morning TriStar TS-MPPT-45		
Стоимость, тыс. руб.	22		
Срок службы, лет	10		
Аккумуляторные батареи			
Марка АКБ	RA12-260		
Стоимость, тыс. руб.	21		
Срок службы, лет	10		
Аккумуляторные батареи электромобилей			
Электромобиль	Chevrolet Volt		
Стоимость, тыс. руб.	100		
Срок службы, лет	10		
Зарядные устройства			
Марка зарядного устройства	CirCarLife CCL-QP-MIX		
Стоимость, тыс. руб.	1500		
Срок службы, лет	10		

Допущения, принятые в ходе расчёта:

1. Все капитальные вложения осуществляются в первый год расчётного периода;
2. Продажа электроэнергии потребителям начинается со второго года;

3. Налог на имущество и амортизация начисляются с года введения энергокомплекса в эксплуатацию.

Что касается амортизационных отчислений, следует отметить, что коэффициент амортизации в работе рассчитывается для каждого варианта ГЭК и для каждого состава оборудования в отдельности таким образом, чтобы этих отчислений в итоге было достаточно для замены оборудования по истечении его срока службы. В среднем по всем рассмотренным вариантам коэффициент амортизации составляет приблизительно 10% от стоимости ГЭК. Амортизационные отчисления на протяжении всего расчётного периода принимаются постоянными.

Расчёт экономических показателей

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) при расчёте в текущих (базисных) ценах и постоянной норме дисконта определяется по следующей формуле [108]:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{T_{\text{расч}}} (R_t - Z_t) \cdot (1 + \varepsilon)^{-t} - \sum_{t=1}^{T_{\text{расч}}} K_t \cdot (1 + \varepsilon)^{-t}, \quad (2.5)$$

где t – порядковый номер года;

$T_{\text{расч}}$ – расчётный период;

ε – коэффициент дисконтирования;

R_t – результаты, достигаемые на t -м шаге расчёта реализации проекта;

Z_t – затраты, осуществляемые на t -м шаге расчёта;

K_t – капитальные вложения на t -м шаге расчёта.

В работе суммарные капиталовложения за первый год расчётного периода определяются следующим образом:

$$K_1 = \sum S_{Оборуд.} \cdot n_{Оборуд.} = S_{ВЭУ} \cdot n_{ВЭУ} + S_{СМ} \cdot n_{СМ} + \\ + S_{ДЭУ} \cdot n_{ДЭУ} + S_{АКБ} \cdot n_{АКБ} + S_{МРРТ} \cdot n_{МРРТ} + S_{ЗУ} \cdot n_{ЗУ}, \quad (2.6)$$

где S – стоимость оборудования (ветроэлектрической установки, солнечного модуля, дизельной электрической установки, аккумуляторной батареи, устройства отбора максимальной мощности для солнечных модулей, зарядного устройства);

n – количество этого оборудования на станции.

Разность R_t и Z_t определяет денежный поток (ДП) по операционной деятельности (эффект), достигаемый на t -м шаге расчёта [108]. ДП рассчитывается следующим образом:

$$ДП_t = ЧП_t + A_t, \quad (2.7)$$

где $ЧП_t$ – чистая прибыль от продажи электроэнергии потребителям;

A_t – амортизационные отчисления по ГЭК.

Чистая прибыль $ЧП_t$ определяется как разница балансовой прибыли $БП_t$ и налога на прибыль $НП_t$:

$$ЧП_t = БП_t - НП_t. \quad (2.8)$$

Величина налога на прибыль зависит от ставки налога. Согласно исходным данным налог на прибыль будет рассчитываться как:

$$НП_t = 0,18 \cdot БП_t. \quad (2.9)$$

Балансовая прибыль определяется следующим образом:

$$БП_t = R_t - И_t - НИ_t, \quad (2.10)$$

где $И_t$ – себестоимость продукции на t -м шаге расчёта;

$НИ_t$ – налог на имущество.

В работе результаты R_t для ГЭК формируются как выручка от продажи электроэнергии потребителям. Выручка принимается постоянной в течение всего расчётного периода, и определяется как:

$$R_2 = (\mathcal{E}_{ВЭС} + \mathcal{E}_{СФЭС} + \mathcal{E}_{ДЭС} + \mathcal{E}_{Сети} - \mathcal{E}_{СН} - \mathcal{E}_{Изб.}). S_{Эл.эн.}, \quad (2.11)$$

где $\mathcal{E}_{ВЭС}$, $\mathcal{E}_{СФЭС}$, $\mathcal{E}_{ДЭС}$ – годовая выработка ВЭС, СФЭС и ДЭС;

$\mathcal{E}_{Сети}$ – годовое энергопотребление из сети;

$\mathcal{E}_{СН}$ – энергия, потребляемая собственными нуждами станции за год;

$\mathcal{E}_{Изб.}$ – избыточная энергия ВИЭ за год;

$S_{Эл.эн.}$ – стоимость продаваемой электроэнергии.

Себестоимость продукции в данной работе включает в себя затраты на сетевую электроэнергию $З_{Эл.эн.}$ (если резервное энергоснабжение станции осуществляется от сети), на дизельное топливо $З_{Топл.}$ и масло $З_{Масло}$ (резервное энергоснабжение от ДЭУ), а также эксплуатационные издержки $ЭИ_t$ и амортизационные отчисления:

$$И_t = З_{Эл.эн.} + З_{Топл.} + З_{Масло} + ЭИ_t + A_t \quad (2.12)$$

В соответствие с исходной информацией налог на имущество определяется как:

$$НИ_t = 0,02 \cdot K_{Ocm.t} \quad (2.13)$$

Остаточная стоимость станции $K_{Ocm.t}$ рассчитывается как разница остаточной стоимости за предыдущий расчётный год и амортизационных отчислений:

$$K_{Ocm.t} = K_{Ocm.t-1} - A_t \quad (2.14)$$

По истечении срока службы оборудования станции осуществляется ввод нового оборудования за счёт амортизационных отчислений, стоимость которого также учитывается в значении $K_{Ocm.t}$.

Индекс доходности (ИД) определяется отношением суммы приведённых эффектов к величине дисконтированных капитальных вложений [108]:

$$ИД = \frac{\sum_{t=1}^{T_{расч.}} (R_t - Z_t) \cdot (1 + \varepsilon)^{-t}}{\sum_{t=1}^{T_{расч.}} K_t \cdot (1 + \varepsilon)^{-t}} \quad (2.15)$$

Срок окупаемости инвестиций ($T_{Ок.}$) представляет собой временной интервал (от начала осуществления проекта), за пределами которого интегральный эффект становится положительным. Иными словами, это период (месяцы, годы), в течение которого первоначальные капиталовложения по инвестиционному проекту покрываются суммарным эффектом от его осуществления [108]. Он определяется из условия:

$$\sum_{t=1}^{T_{\text{Ок}}} (R_t - Z_t) \cdot (1 + \varepsilon)^{-t} = \sum_{t=1}^{T_{\text{Ок}}} K_t \cdot (1 + \varepsilon)^{-t}. \quad (2.16)$$

2.6. Выводы по главе

1. В главе разработана структурно-функциональная схема гибридного энергетического комплекса, включающего в себя генерирующие электроустановки на основе возобновляемых источников энергии, зарядные станции или станции замены аккумуляторных батарей и другие элементы;
2. Проведён анализ существующих математических моделей поступления ресурсов различных видов ВИЭ (солнечная и ветровая энергия) и математических моделей электроустановок на основе ВИЭ, в результате чего были выбраны наиболее подходящие для данной работы модели;
3. Сформулированы несколько типов зарядных станций быстрой зарядки:
 - а. ночная зарядная станция – подразумевает размещение на общественных или частных автостоянках, расположенных неподалёку от жилых домов и ночных заведений (бары, клубы и др.);
 - б. дневная зарядная станция – подразумевает размещение на общественных автостоянках неподалёку от муниципальных учреждений (поликлиники, больницы, школы, университеты и др.), торговых центров, зон отдыха (парки, зоопарки, парки развлечений и др.), аэропортов, вокзалов и т.д.;
 - в. коммерческая зарядная станция – подразумевает размещение в составе обычных автозаправочных станций или на частных автостоянках вблизи офисных центров;

4. Сформулированы несколько типов станций замены аккумуляторных батарей:
 - а. станция замены АКБ для автопарка таксомоторной компании;
 - б. станция замены АКБ для автопарка промышленного предприятия;
 - в. станция замены АКБ для автопарка зоны отдыха;
 - г. полностью автономная станция замены АКБ – подразумевает размещение вдоль автотранспортных дорог, магистралей или в населённых пунктах, удалённых от линий электропередачи;

5. Для каждого из сформулированных типов станций подзарядки разработана своя математическая модель.

3. ОБЩАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЭК

3.1. Общие положения

Одним из пунктов достижения цели работы, поставленной в п. 1.4, является разработка математической модели гибридного энергетического комплекса. Математические модели элементов такого ГЭК уже были рассмотрены в главе 2, однако для того, чтобы создать общую модель комплекса также необходимо связать эти модели и описать режим работы гибридного энергокомплекса.

В диссертационной работе рассматриваются ГЭК с разным составом оборудования, поэтому их структурно-функциональные схемы могут отличаться от схемы, приведённой на рисунке 2.1 (см. п. 2.2). Ниже приводятся разные схемы ГЭК, которые являются производными структурно-функциональной схемы с рисунка 2.1, и рассматриваются алгоритмы расчёта режимов работы этих комплексов.

3.2. ГЭК, включающие в свой состав зарядные станции

Исходная информация для расчётов:

1. Технические характеристики аккумуляторных батарей, солнечных модулей и ветроэлектрических установок (основные характеристики представлены в таблице 3.1, более подробную информацию по оборудованию см. в Приложении 5) и их количество;
2. КПД выпрямителей, преобразователей напряжения и инверторов (в работе принимаются равными 90%);
3. Среднечасовые данные по приходу солнечного излучения на площадку с оптимальным углом наклона, температуре воздуха и скорости ветра на высоте флюгера (см. 2.3.1 и 2.3.2);
4. Графики нагрузки зарядных станций (см. п. 2.4.4.1).

Таблица 3.1 – Технические характеристики оборудования.

Ветроэлектрические установки			
Марка ВЭУ	PW-30/14 (ABЭУ-30)	TW 60	PK-10
Тип ВЭУ	С горизонтальной осью вращения	С горизонтальной осью вращения	С вертикальной осью вращения
Номинальная мощность установки, кВт	30	60	12
Высота башни, м	15	35	5,5
Скорость ветра включения, м/с	2,5	2,5	4
Расчётная скорость ветра, м/с	10	12	12
Скорость ветра выключения, м/с	30	25	25
Солнечные модули			
Марка СМ	ТСМ-200В		
Мощность (пиковая), Вт	200		
Номинальный КПД, о.е.	0,15		
Габаритные размеры, мм	1310x996x43		
Дизельные электроустановки			
Марка ДЭУ	ДГУ АД-30	ДГУ АД-60	
Основная мощность установки, кВт	30	60	
Удельный расход топлива, л/кВт·ч	0,34	0,23	
Удельный расход масла, л/ч	0,04	-	
Удельный расход масла, % от расхода топлива	-	0,04	
Аккумуляторные батареи			
Марка АКБ	RA12-260		
Номинальная ёмкость, А·ч	260		
Габаритные размеры, мм	520x225x268		
Аккумуляторные батареи электромобилей			
Электромобиль	Nissan Leaf	Chevrolet Volt	
Производитель АКБ	Automotive Energy Supply Corporation	LG Chem	
Ёмкость, А·ч	-	45	
Энергия, кВт·ч	24	16	

Сделанные допущения:

1. Типовые аккумуляторные батареи поставляются полностью заряженными;
2. Максимальная глубина разряда аккумуляторов принимается равной 30% от их ёмкости. Это связано с тем, что эксплуатация аккумуляторных батарей при более глубоком разряде приводит к

снижению числа циклов разряда-заряда АКБ (см. рисунок 3.2) и, соответственно, к необходимости их более частой замены. Следствием этого в свою очередь является удорожание системы;

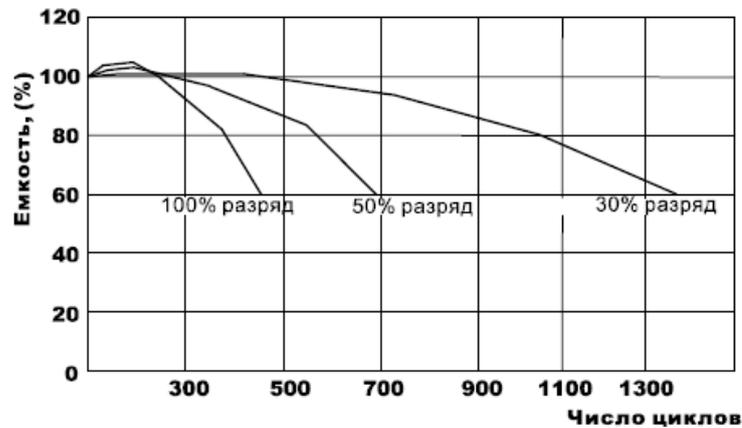


Рисунок 3.1 – Зависимость ёмкости аккумулятора от количества отработанных циклов.

3. Срок службы аккумуляторных батарей принимается равным указанному в паспорте (см. Приложение 5), т.е. количество циклов разряда-заряда не учитывается;
4. Аккумуляторы проходят полный цикл разряда-заряда, т.е. пока АКБ находятся в стадии разряда, заряжаться они не могут. Аналогично со стадией заряда;
5. Потери в линиях электропередачи, соединяющих элементы ГЭК, не учитываются;
6. В случае если энергия ВИЭ избыточна, происходит отключение некоторого количества генерирующих установок. Причём вначале отключаются солнечные модули, а потом ВЭУ. Если же и после этих мероприятий остаётся небольшая избыточная мощность, то она направляется на балластную нагрузку.

ГЭК с одной системой АКБ и энергоснабжением от сети

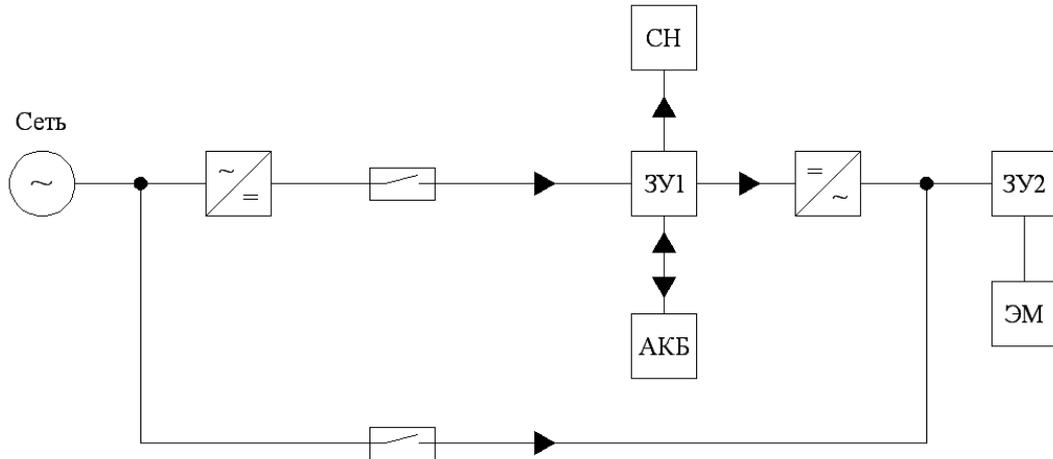


Рисунок 3.2 – Структурно-функциональная схема ГЭК: АКБ – аккумуляторная батарея, СН – собственные нужды станции, ЗУ – зарядное устройство, ЭМ – электромобиль.

В этой схеме типовые аккумуляторные батареи гибридного энергокомплекса используются для аккумуляции дешёвой ночной электроэнергии (с 23.00 до 6.00, когда тариф на неё более низкий) и последующего её использования в дневное время суток для энергоснабжения зарядной станции и собственных нужд ГЭК.

В зависимости от того, какое количество аккумуляторных батарей имеется в составе ГЭК, возможны 2 варианта режима работы:

1. Количество АКБ равно 0, тогда в каждый момент времени баланс мощности выполняется за счёт потребления электроэнергии из электрической сети:

$$N_{Сети}(t) = P_{ГЭК}(t), \quad (3.1)$$

где $N_{Сети}(t)$ – мощность, потребляемая из сети, кВт;

$P_{ГЭК}(t)$ – график нагрузки комплекса, кВт.

2. Количество АКБ больше 0. В этом случае возможны следующие варианты:

2.1. Действует ночной тариф на электроэнергию, т.е. $t = 23.00 \div 6.00$. Энергоснабжение комплекса осуществляется с помощью электрической сети. Если аккумуляторы ГЭК находятся в стадии заряда, то электроэнергия для их подзарядки также берётся из сети:

$$N_{Сети}(t) = P_{ГЭК}(t) + N_{АКБ}^{зар.} / \eta_{Выпр.}, \quad (3.2)$$

где $N_{АКБ}^{зар.}$ – мощность, которая идёт на заряд АКБ, кВт;

$\eta_{Выпр.}$ – КПД выпрямителя, о.е.

Если АКБ находятся в стадии разряда, то:

$$N_{Сети}(t) = P_{ГЭК}(t).$$

2.2. Действует дневной тариф на электроэнергию, т.е. $t = 6.00 \div 23.00$. Если аккумуляторные батареи находятся в стадии разряда, то энергоснабжение ГЭК осуществляется в первую очередь с помощью энергии АКБ:

$$N_{АКБ}^{Разр.}(t) = P_{ГЭК}(t) / \eta_{Инв.}, \quad (3.3)$$

где $N_{АКБ}^{Разр.}(t)$ – мощность разряда, которую выдаёт АКБ, кВт;

$\eta_{Инв.}$ – КПД инвертора, о.е.

Если же энергии аккумуляторов не достаточно для энергоснабжения зарядной станции и собственных нужд гибридного энергокомплекса,

недостаток энергии компенсируется за счёт энергопотребления из электрической сети:

$$N_{Сети}(t) = P_{ГЭК}(t) - N_{АКБ}^{Разр. max} \cdot \eta_{Выпр.} \quad (3.4)$$

где $N_{АКБ}^{Разр. max}$ – максимальная мощность разряда, которую могут выдать АКБ, кВт.

В случае если АКБ находятся в стадии заряда, то:

$$N_{Сети}(t) = P_{ГЭК}(t).$$

ГЭК с двумя системами АКБ и энергоснабжением от сети

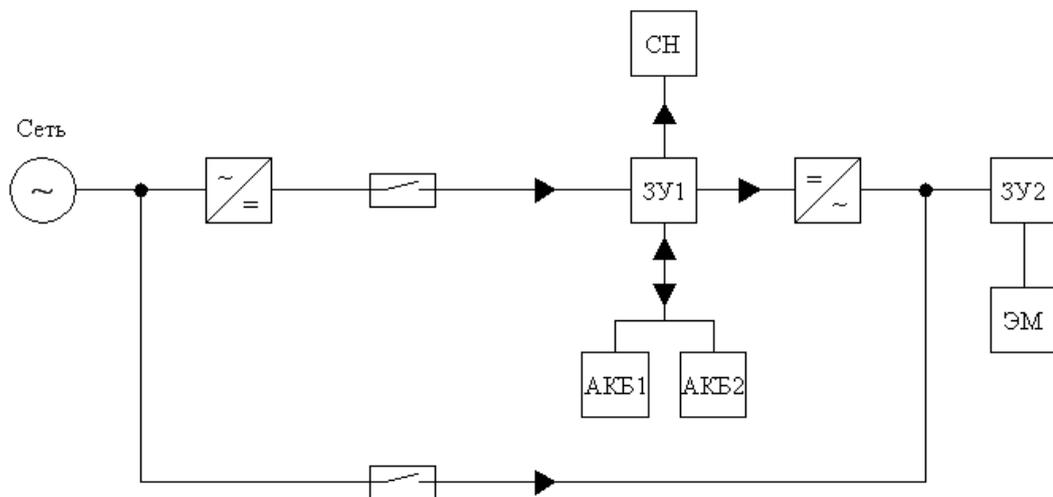


Рисунок 3.3 – Структурно-функциональная схема ГЭК: АКБ – аккумуляторная батарея, СН – собственные нужды станции, ЗУ – зарядное устройство, ЭМ – электромобиль.

В этом варианте общее количество аккумуляторных батарей, входящих в состав энергокомплекса, условно разбито на 2 системы АКБ (группы разряда и заряда). Таким образом, пока одна система аккумуляторов разряжается в дневное время суток, другая система может заряжаться от сети в ночное время. Это позволяет более полно использовать дешёвую ночную

энергию. Как и в предыдущем случае, подзарядка АКБ в дневное время суток и их разрядка в ночное время не допускаются.

Алгоритм расчёта режима работы гибридного энергетического комплекса с 2 системами АКБ аналогичен алгоритму расчёта с одной системой за исключением следующих моментов:

1. Так как систем АКБ в комплексе две, то предполагается, что они будут работать в «противофазе», т.е. пока одна система находится в стадии заряда, другая должна находиться в стадии разряда;
2. Несмотря на то, что сказано в пункте 1, всё же могут встречаться случаи, когда обе системы находятся либо в стадии заряда, либо в стадии разряда. В таком случае, если обе системы АКБ находятся в стадии заряда, вначале осуществляется подзарядка той системы, уровень заряда которой наибольший, а уже потом подзаряжается вторая система АКБ. В другом случае, сперва разряжается система аккумуляторов с наименьшим уровнем заряда. Если её энергии недостаточно для выполнения баланса мощности, то тогда подключается вторая система. Недостаток электроэнергии, если таковой имеет место быть, компенсируется за счёт энергии электрической сети только тогда, когда обе системы достигли минимального уровня разряда.

ГЭК с одной системой АКБ и энергоснабжением от возобновляемых источников энергии (резервное энергоснабжение – от сети)

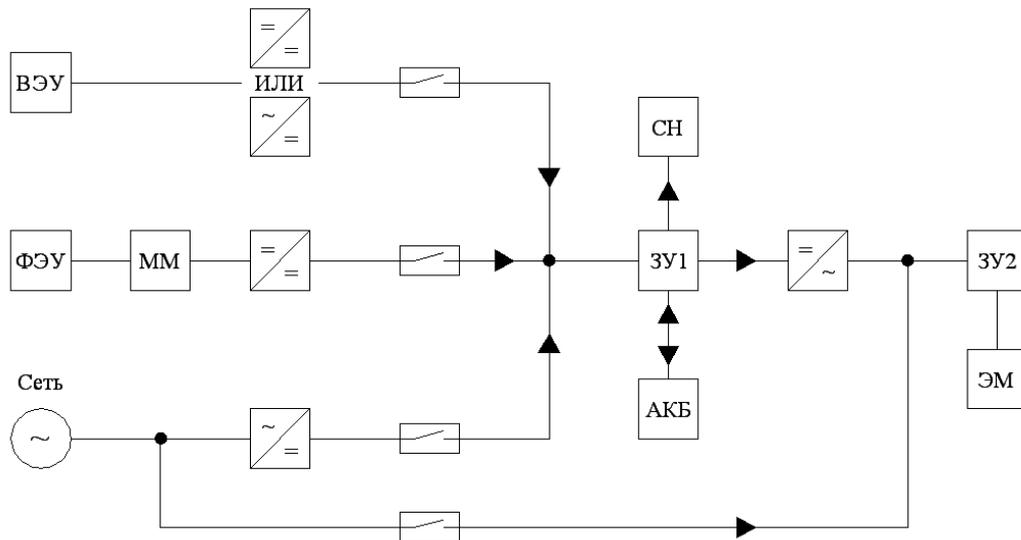


Рисунок 3.4 – Структурно-функциональная схема ГЭК: ВЭУ – ветроэлектрическая установка, ФЭУ – фотоэлектрическая установка, ММ – устройство отбора максимальной мощности, АКБ – аккумуляторная батарея, СН – собственные нужды станции, ЗУ – зарядное устройство, ЭМ – электромобиль.

Типовые аккумуляторные батареи, входящие в состав такого комплекса, используются только для перераспределения энергии возобновляемых источников энергии во времени. Подзарядка аккумуляторных батарей от сети не допускается.

В зависимости от того, какое количество аккумуляторных батарей имеется, возможны 2 варианта режима работы ГЭК:

1. Количество АКБ на станции равно 0. Тогда в зависимости от соотношения мощностей $P_{ГЭК}(t)$ и $N_{ВИЭ}(t)$ возможно следующее:

$$1.1. \quad P_{ГЭК}(t)/\eta_{Инв.} > N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} \quad (3.5)$$

где $N_{ВИЭ}(t)$ – мощность, вырабатываемая ВИЭ, кВт. Определяется согласно п. 2.4.1 и 2.4.2;

$\eta_{\text{Преобр.}}$ – КПД преобразователя, о.е.

Здесь нагрузка ГЭК в первую очередь снабжается электроэнергией, вырабатываемой установками ВИЭ, а недостаток энергии компенсируется энергопотреблением из сети:

$$N_{\text{Сети}}(t) = P_{\text{ГЭК}}(t) - N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}} \cdot \eta_{\text{Инв.}} \quad (3.6)$$

$$1.2. \quad P_{\text{ГЭК}}(t) / \eta_{\text{Инв.}} \leq N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}} \quad (3.7)$$

Здесь комплекс снабжается электроэнергией только от возобновляемых источников энергии. Мощность, потребляемая из сети, при этом равна 0:

$$N_{\text{Сети}}(t) = 0.$$

В случае если энергия, вырабатываемая возобновляемыми источниками, сильно превосходит потребности ГЭК, тогда производится отключение лишних энергоустановок. Избыточная мощность, оставшаяся после отключения генерирующего оборудования, направляется на балластную нагрузку:

$$N_{\text{Изб.}}^{\text{Полн.}}(t) = N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}} - P_{\text{ГЭК}}(t) / \eta_{\text{Инв.}}; \quad (3.8)$$

$$N_{\text{Изб.}}^{\text{Факт.}}(t) = N_{\text{ВИЭ}}^{\text{Факт.}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}} - P_{\text{ГЭК}}(t) / \eta_{\text{Инв.}}; \quad (3.9)$$

где $N_{\text{Изб.}}^{\text{Полн.}}(t)$ – избыточная мощность, которая имеет место при работе всех генерирующих установок, кВт;

$N_{\text{Изб.}}^{\text{Факт.}}(t)$ – избыточная мощность, которая осталась после отключения некоторого количества установок, кВт;

$N_{ВИЭ}^{Факт.}(t)$ – фактическая мощность, вырабатываемая оставшимися установками, кВт.

2. Количество АКБ на станции больше 0. В зависимости от соотношения мощностей $P_{ГЭК}(t)$ и $N_{ВИЭ}(t)$, а также от мощности, которую может выдать при разряде $N_{АКБ}^{Разр. max}$ или потребить при заряде $N_{АКБ}^{Зар. max}$ группа аккумуляторных батарей, возможны следующие варианты работы энергокомплекса:

$$2.1. \quad P_{ГЭК}(t)/\eta_{Инв.} > N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} .$$

В этом случае баланс мощности в первую очередь выполняется за счёт ВИЭ. Если аккумуляторные батареи ГЭК станции находятся в стадии разряда, то они также участвуют в энергоснабжении нагрузки ГЭК. В связи с этим рассмотрим два случая:

2.1.1. Энергии АКБ достаточно для восполнения недостатка энергии. В этом случае мощность, потребляемая из сети, равна 0.

$$N_{Сети}(t) = 0 .$$

2.1.2. Энергии АКБ либо не достаточно для восполнения недостатка энергии, либо максимальная мощность, которую может выдать группа аккумуляторов при разряде, меньше необходимой мощности. Таким образом, недостаток энергии восполняется за счёт энергии из сети:

$$N_{Сети}(t) = P_{ГЭК}(t) - (N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} + N_{АКБ}^{Разр.}(t)) \cdot \eta_{Инв.} \quad (3.10)$$

ИЛИ

$$N_{Сети}(t) = P_{ГЭК}(t) - (N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} + N_{АКБ}^{Разр. max}) \cdot \eta_{Инв.} . \quad (3.11)$$

Если же аккумуляторные батареи находятся в стадии заряда, то тогда баланс мощности будет выполняться с участием только электрической сети:

$$N_{Сети}(t) = P_{ГЭК}(t) - N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} \cdot \eta_{Инв.}.$$

$$2.2. \quad P_{ГЭК}(t) / \eta_{Инв.} \leq N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.}$$

Энергоснабжение гибридного энергетического комплекса производится от возобновляемых источников энергии. Мощность, потребляемая из сети, равна 0:

$$N_{Сети}(t) = 0.$$

В случае если система аккумуляторных батарей находится в стадии заряда, то тогда возможно следующее:

2.2.1. Избыточной мощности ВИЭ достаточно для подзарядки АКБ, и она не превышает максимальной мощности заряда АКБ. В таком случае вся избыточная мощность направляется на подзарядку аккумуляторных батарей и отключения энергоустановок не требуется:

$$N_{АКБ}^{Зар.}(t) = N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} - P_{ГЭК}(t) / \eta_{Инв.}. \quad (3.12)$$

2.2.2. Избыточная мощность ВИЭ превышает максимальную мощность заряда АКБ. Таким образом, производится подзарядка аккумуляторов, а избыточная мощность снижается за счёт отключения нескольких генерирующих установок:

$$N_{АКБ}^{Зар.}(t) = N_{АКБ}^{Зар.макс.}; \quad (3.13)$$

$$N_{Изб.}^{Полн.}(t) = N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} - N_{АКБ}^{Зар.макс.} - P_{ГЭК}(t) / \eta_{Инв.}; \quad (3.14)$$

$$N_{Изб.}^{Факт.}(t) = N_{ВИЭ}^{Факт.}(t) \cdot \eta_{Преобр.} - N_{АКБ}^{Зар. max} - P_{ГЭК}(t) / \eta_{Инв.} \quad (3.15)$$

Если же система АКБ – в стадии разряда, а энергия, вырабатываемая возобновляемыми источниками, превосходит потребность станции, то тогда также необходимо отключение лишних энергоустановок:

$$N_{Изб.}^{Полн.}(t) = N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} - P_{ГЭК}(t) / \eta_{Инв.} ;$$

$$N_{Изб.}^{Факт.}(t) = N_{ВИЭ}^{Факт.}(t) \cdot \eta_{Преобр.} - P_{ГЭК}(t) / \eta_{Инв.} .$$

ГЭК с двумя системами АКБ и энергоснабжением от возобновляемых источников энергии (резервное энергоснабжение – от сети)

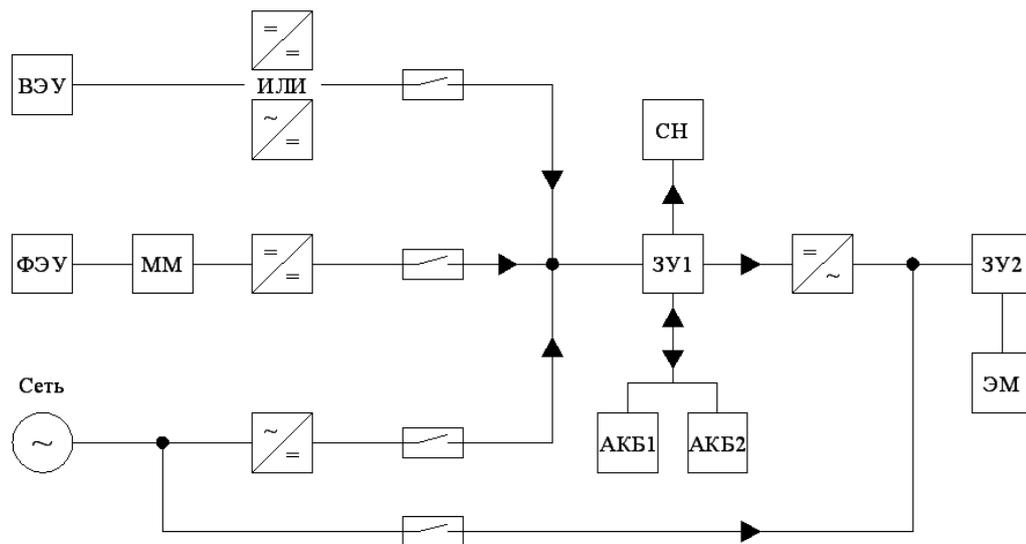


Рисунок 3.5 – Структурно-функциональная схема ГЭК: ВЭУ – ветроэлектрическая установка, ФЭУ – фотоэлектрическая установка, ММ – устройство отбора максимальной мощности, АКБ – аккумуляторная батарея, СН – собственные нужды станции, ЗУ – зарядное устройство, ЭМ – автомобиль.

Разделение общего количества аккумуляторных батарей энергокомплекса на две системы АКБ позволяет более полно использовать энергию возобновляемых источников, а также снизить количество вынужденных отключений генерирующего оборудования и уменьшить

мощность, выдаваемую на балластную нагрузку. Подзарядка аккумуляторов от сети в данном случае также не допускается.

Алгоритм расчёта режима работы рассматриваемого комплекса аналогичен предыдущему алгоритму расчёта режимов работы ГЭК (ГЭК с одной системой АКБ и энергоснабжением от ВИЭ). Исключением здесь является лишь то, что периодически возможны случаи, когда обе системы АКБ будут находиться в стадии заряда или разряда:

1. Обе системы АКБ находятся в стадии заряда. Вначале осуществляется подзарядка той системы, уровень заряда которой является наибольшим. После полного заряда первой системы осуществляется подзарядка второй системы, но только в том случае, если энергии ВИЭ для этого достаточно. Когда обе системы полностью заряжены, но всё ещё остаётся некоторый избыток энергии, тогда производится отключение лишних генерирующих установок;
2. Обе системы АКБ в стадии разряда. Вначале разряжается система с наименьшим уровнем заряда. Если этой энергии недостаточно для выполнения баланса мощности, то тогда подключается вторая система. После разряда обеих групп аккумуляторов для выполнения баланса мощности используется энергия электрической сети.

В остальное время системы аккумуляторных батарей энергокомплекса работают в «противофазе».

3.3. ГЭК, включающие в свой состав станции замены аккумуляторных батарей

Исходная информация для расчётов:

1. Технические характеристики аккумуляторных батарей, солнечных модулей и ветроэлектрических установок (основные характеристики

представлены в таблице 3.1, более подробную информацию по оборудованию см. в Приложении 5) и их количество;

2. Тип, параметры дизельных электроустановок (основные характеристики представлены в таблице 3.1, более подробную информацию по оборудованию см. в Приложении 5) и их количество;
3. КПД выпрямителей, преобразователей напряжения и инверторов (в работе принимаются равными 90%);
4. Среднечасовые данные по приходу солнечного излучения на площадку с оптимальным углом наклона, температуре воздуха и скорости ветра на высоте флюгера (см. 2.3.1 и 2.3.2);
5. Графики зависимости количества замен АКБ от времени суток (см. п. 2.4.4.2);
6. Графики зависимости количества заряжающихся аккумуляторов от времени суток (см. п. 2.4.4.2).
7. Графики нагрузки станций замены АКБ (см. п. 2.4.4.2);

Сделанные допущения:

1. Аккумуляторные батареи электромобилей поставляются полностью заряженными;
2. Аккумуляторы проходят полный цикл разряда-заряда, т.е. пока АКБ находятся в стадии разряда, заряжаться они не могут. Аналогично со стадией заряда;
3. В каждый момент времени количество полностью заряженных аккумуляторов на станции должно быть больше либо равно минимально допустимому количеству АКБ;
4. В случае, когда количество АКБ на станции равно минимальному, не допускается использовать их энергию для покрытия собственных нужд ГЭЖ;
5. Подзарядка разряженных аккумуляторных батарей, заменённых на заряженные за текущий час, осуществляется в следующий час;

6. Если энергоснабжение гибридного энергокомплекса производится от нескольких ДЭУ, то суммарная нагрузка распределяется по установкам равномерно;
7. Потери в линиях электропередачи, соединяющих элементы ГЭК, не учитываются;
8. В случае если энергия ВИЭ избыточна, происходит отключение некоторого количества генерирующих установок. Причём вначале отключаются солнечные модули, а потом ВЭУ. Если же и после этих мероприятий остаётся небольшая избыточная мощность, то она направляется на балластную нагрузку.

В работе, для удобства моделирования режимов работы таких комплексов, общее количество аккумуляторных батарей электромобилей делится на несколько типов, а именно:

- полностью заряженные АКБ – суммарное количество заряженных до номинальной ёмкости аккумуляторных батарей, имеющееся на станции замены;
- заряжающиеся АКБ (полная зарядка) – количество аккумуляторных батарей, которые за текущий час будут заряжены до своей номинальной ёмкости;
- заряжающиеся АКБ (частичная зарядка) – количество аккумуляторных батарей, которые будут частично заряжены (не до номинальной ёмкости) за текущий час. Данное количество может быть равно либо нулю, либо единице;
- разряжающиеся АКБ – количество аккумуляторных батарей, которые используются для энергоснабжения собственных нужд ГЭК;
- ожидающие зарядки АКБ – суммарное количество аккумуляторных батарей, ожидающих зарядки на станции.

ГЭК с энергоснабжением от сети

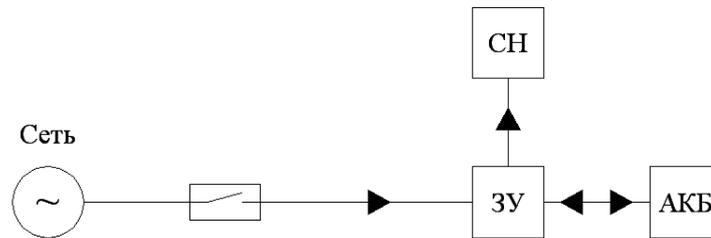


Рисунок 3.6 – Структурно-функциональная схема ГЭК: АКБ – аккумуляторная батарея, СН – собственные нужды станции, ЗУ – зарядное устройство.

Как и в случае с гибридным энергокомплексом, включающим зарядную станцию, наличие лишнего количества аккумуляторных батарей электромобилей в составе рассматриваемого ГЭК позволяет использовать их для аккумуляции сетевой энергии в ночное время суток (с 23.00 до 6.00) и энергоснабжения станции замены и собственных нужд комплекса в дневное время.

В зависимости от того, какое количество аккумуляторов имеется в составе ГЭК, возможны 2 варианта режима работы:

1. Количество АКБ равно минимальному значению. В этом случае расчёт режима работы ГЭК заключается в выполнении баланса мощности за каждый момент времени, так как по условию количество заряженных АКБ на станции замены не может быть меньше минимального, т.е. не допускается использовать энергию АКБ для снабжения собственных нужд. Энергоснабжение станции здесь осуществляется от электрической сети:

$$N_{\text{Сети}}(t) = P_{\text{ГЭК}}(t).$$

2. Количество АКБ больше минимального. В этом случае возможны следующие варианты:

- 2.1. Действует ночной тариф на электроэнергию, т.е. $t = 23.00 \div 6.00$. Замена аккумуляторных батарей производится в соответствии с графиком зависимости количества замен АКБ от времени суток. Энергоснабжение собственных нужд комплекса и зарядка полностью разряженных АКБ осуществляется за счёт энергии сети, причём количество заряжающихся аккумуляторов зависит от числа зарядных устройств на станции замены, и от количества АКБ, которое они могут одновременно заряжать.

Если на станции имеется частично заряженный аккумулятор, то:

$$N_{Cemu}(t) = N_{CH}(t) + n_{AKB}^{Зар.}(t) \cdot N_{AKB} + (N_{AKB} - N_{AKB}^{Текущ.}(t)), \quad (3.16)$$

где $N_{CH}(t)$ – энергия на собственные нужды ГЭК, кВт;

$n_{AKB}^{Зар.}(t)$ – количество заряжающихся АКБ (полная зарядка), шт.;

N_{AKB} – полная энергия АКБ, кВт·ч;

$N_{AKB}^{Текущ.}(t)$ – уровень заряда частично заряженной АКБ, кВт.

Иначе:

$$N_{Cemu}(t) = N_{CH}(t) + n_{AKB}^{Зар.}(t) \cdot N_{AKB}. \quad (3.17)$$

- 2.2. Действует дневной тариф на электроэнергию, т.е. $t = 6.00 \div 23.00$. Замена аккумуляторных батарей также производится в соответствии с графиком зависимости количества замен АКБ от времени суток. Энергоснабжение собственных нужд гибридного энергокомплекса осуществляется за счёт энергии заряженных аккумуляторных батарей. Так продолжается до тех пор, пока не наступит 23.00 или пока количество полностью заряженных АКБ не будет равно минимально

допустимому. В первом случае см. пункт 2.1, во втором – энергоснабжение собственных нужд будет уже осуществляться за счёт сети. Также от сети будут заряжаться и необходимые для последующей замены аккумуляторы электромобилей:

$$N_{\text{сети}}(t) = N_{\text{СН}}(t) + n_{\text{АКБ}}^{\text{зар.}}(t) \cdot N_{\text{АКБ}}$$

или

$$N_{\text{сети}}(t) = P_{\text{ГЭК}}(t).$$

ГЭК с энергоснабжением от дизельных электростанций

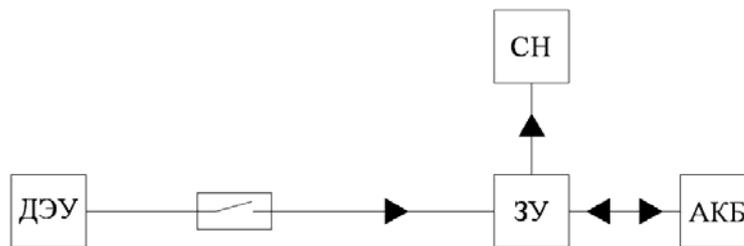


Рисунок 3.7 – Структурно-функциональная схема ГЭК: ДЭУ – дизельная электрическая установка, АКБ – аккумуляторная батарея, СН – собственные нужды станции, ЗУ – зарядное устройство.

В зависимости от количества аккумуляторов на станции замены АКБ, возможны 2 варианта режима работы:

1. Количество АКБ равно минимальному значению. Здесь всё полностью аналогично предыдущему варианту ГЭК (ГЭК с энергоснабжением от сети), за тем лишь исключением, что баланс мощности выполняется за счёт энергии, вырабатываемой дизельной электростанцией:

$$N_{\text{ДЭУ}}(t) = P_{\text{ГЭК}}(t), \quad (3.18)$$

где $N_{\text{ДЭУ}}(t)$ – мощность, вырабатываемая ДЭУ, кВт.

2. Количество АКБ больше минимального. Данный вариант является сомнительным, так как при наличии ДЭУ смысл в том, чтобы иметь в составе энергокомплекса избыточное количество АКБ для перераспределения энергии во времени, отсутствует. Однако этот вариант всё же рассматривается.

Так, согласно принятым допущениям, аккумуляторные батареи электромобилей поставляются на станцию полностью заряженными. В связи с этим замена АКБ будет производиться в соответствии с графиком зависимости количества замен АКБ от времени суток, а энергоснабжение собственных нужд комплекса будет осуществляться за счёт заряженных аккумуляторных батарей. Это будет продолжаться до тех пор, пока количество полностью заряженных АКБ не станет равно минимально допустимому. В дальнейшем энергоснабжение ГЭК (зарядка необходимого количества АКБ и снабжение электроэнергией собственных нужд) будет осуществляться с использованием ДЭУ в соответствии с графиком нагрузки:

$$N_{ДЭУ}(t) = N_{СН}(t) + n_{АКБ}^{зар.}(t) \cdot N_{АКБ} \quad (3.19)$$

или

$$N_{ДЭУ}(t) = P_{ГЭК}(t).$$

ГЭЖ с энергоснабжением от возобновляемых источников энергии (резервное энергоснабжение – от сети)

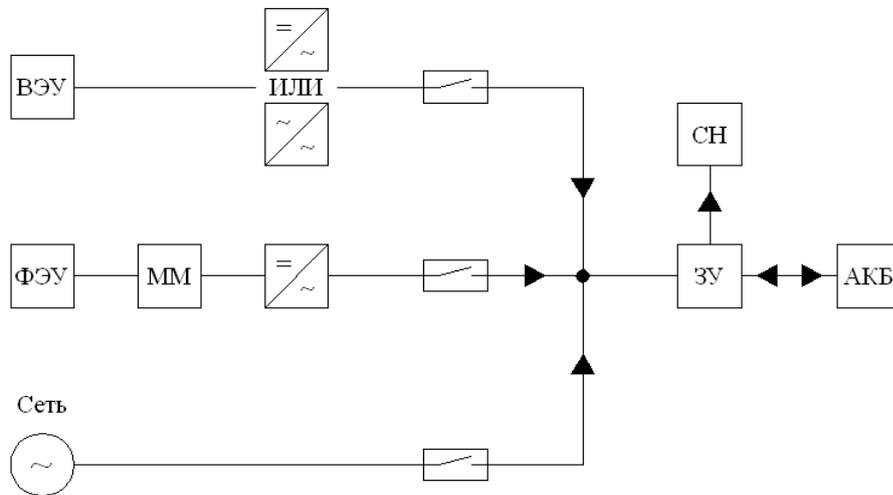


Рисунок 3.8 – Структурно-функциональная схема ГЭЖ: ВЭУ – ветроэлектрическая установка, ФЭУ – фотоэлектрическая установка, ММ – устройство отбора максимальной мощности, АКБ – аккумуляторная батарея, СН – собственные нужды станции, ЗУ – зарядное устройство.

Аккумуляторные батареи электромобилей, входящие в состав такого комплекса, используются только для перераспределения энергии возобновляемых источников во времени. Подзарядка аккумуляторных батарей от сети не допускается.

В зависимости от количества аккумуляторных батарей, возможны 2 варианта режима работы гибридного энергокомплекса:

1. Количество АКБ равно минимальному значению. В этом случае расчёт режима работы ГЭЖ заключается в выполнении баланса мощности за каждый момент времени. В зависимости от соотношения мощностей $P_{ГЭЖ}(t)$ и $N_{ВИЭ}(t)$ возможны следующие варианты работы энергокомплекса:

$$1.1. \quad P_{ГЭЖ}(t) > N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} \quad (3.20)$$

Нагрузка ГЭК в первую очередь снабжается энергией, вырабатываемой установками ВИЭ, а недостаток энергии компенсируется энергопотреблением из сети:

$$N_{Сети}(t) = P_{ГЭК}(t) - N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр}. \quad (3.21)$$

$$1.2. \quad P_{ГЭК}(t) \leq N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр}. \quad (3.22)$$

Здесь энергоснабжение станции замены и собственных нужд комплекса производится с помощью возобновляемых источников энергии. Мощность, потребляемая из сети, равна 0:

$$N_{Сети}(t) = 0.$$

В случае если энергия, вырабатываемая возобновляемыми источниками, сильно превосходит потребности ГЭК, то тогда производится отключение лишних энергоустановок. Избыточная мощность, оставшаяся после отключения генерирующего оборудования, направляется на балластную нагрузку:

$$N_{Изб.}^{Полн.}(t) = N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр}. - P_{ГЭК}(t); \quad (3.23)$$

$$N_{Изб.}^{Факт.}(t) = N_{ВИЭ}^{Факт.}(t) \cdot \eta_{Преобр}. - P_{ГЭК}(t). \quad (3.24)$$

2. Количество АКБ больше минимального. Тогда в зависимости от соотношения мощностей $P_{ГЭК}(t)$ и $N_{ВИЭ}(t)$, возможны следующие варианты:

$$2.1. \quad P_{ГЭК}(t) > N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр}.$$

Здесь энергоснабжение собственных нужд гибридного энергокомплекса может осуществляться по-разному:

2.1.1. Мощности ВИЭ недостаточно для энергоснабжения собственных нужд:

$$N_{CH}(t) > N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} \quad (3.25)$$

В этом случае часть нагрузки собственных нужд снабжается энергией возобновляемых источников, а часть, если имеется частично разряженный аккумулятор, – энергией этого АКБ. Если частично разряженных АКБ нет или же их энергии недостаточно для энергоснабжения части нагрузки собственных нужд, то тогда используются либо другие заряженные аккумуляторные батареи, либо недостаток энергии компенсируется из сети. Причём первый вариант (использование других заряженных АКБ) возможен лишь в том случае, если количество полностью заряженных АКБ на станции замены в текущий момент времени больше минимально допустимого. Таким образом, имеется ограничение по количеству АКБ, которые можно использовать:

$$n_{АКБ}^{Доступ.}(t) = n_{АКБ}^{Полн.зар.}(t) - n_{АКБ}^{min}, \quad (3.26)$$

где $n_{АКБ}^{Доступ.}(t)$ – количество АКБ, которые можно использовать для энергоснабжения собственных нужд ГЭК, шт.;

$n_{АКБ}^{Полн.зар.}(t)$ – количество полностью заряженных АКБ, шт.;

$n_{АКБ}^{min}$ – минимально допустимое количество АКБ, шт.

Если количества $n_{АКБ}^{Доступ.}(t)$ достаточно для выполнения баланса мощности, то:

$$N_{Сети}(t) = 0.$$

Если же и этого количества недостаточно, то недостающая часть нагрузки собственных нужд снабжается электроэнергией из сети:

$$N_{Сети}(t) = N_{СН}(t) - N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} - n_{АКБ}^{Част.разр.}(t) \cdot N_{АКБ}^{Текущ.}(t) - n_{АКБ}^{Доступн.}(t) \cdot N_{АКБ}, \quad (3.27)$$

где $n_{АКБ}^{Част.разр.}(t)$ – количество частично разряженных АКБ, шт.;

$N_{АКБ}^{Текущ.}$ – уровень заряда частично разряженной АКБ, кВт;

$N_{АКБ}$ – полная энергия АКБ, кВт·ч.

Что касается второго варианта, то если количество полностью заряженных аккумуляторов на станции замены равно минимально допустимому количеству АКБ, имеем:

$$N_{Сети}(t) = N_{СН}(t) - N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} - n_{АКБ}^{Част.разр.}(t) \cdot N_{АКБ}^{Текущ.}(t). \quad (3.28)$$

Если же это количество меньше минимально допустимого значения, то сеть снабжает электроэнергией не только собственные нужды энергокомплекса, но также подзаряжает и разряженные АКБ. Необходимое количество аккумуляторных батарей, которое должно быть заряжено, определяется следующим образом:

$$n_{АКБ}^{Зар.}(t) = n_{АКБ}^{\min} - n_{АКБ}^{Полн.зар.}(t). \quad (3.29)$$

В этом случае мощность, потребляемая из сети, определяется как:

$$N_{Сети}(t) = N_{СН}(t) - N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} - n_{АКБ}^{Част.разр.}(t) \cdot N_{АКБ}^{Текущ.}(t) + n_{АКБ}^{Зар.}(t) \cdot N_{АКБ}. \quad (3.30)$$

2.1.2. Мощность ВИЭ достаточна для энергоснабжения собственных нужд станции:

$$N_{CH}(t) \leq N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} \cdot \quad (3.31)$$

В этом случае нагрузка собственных нужд снабжается энергией возобновляемых источников, а избыток электроэнергии идёт на полную или частичную подзарядку разряженных или частично заряженных аккумуляторов. Причём количество заряжающихся аккумуляторов зависит от числа зарядных устройств на станции замены, и от количества АКБ, которое они могут одновременно заряжать. Если после этих мероприятий всё же останется некая избыточная мощность ВИЭ или же если количество разряженных или частично заряженных АКБ равно 0, то тогда производится отключение лишних генерирующих установок. Избыточная мощность, оставшаяся после отключения генерирующего оборудования, направляется на балластную нагрузку:

$$N_{Изб.}^{Полн.}(t) = N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} - N_{CH}(t) - n_{АКБ}^{Зар.}(t) \cdot N_{АКБ} - n_{АКБ}^{Част.зар.}(t) \cdot (N_{АКБ} - N_{АКБ}^{Текущ.}(t)) \quad (3.32)$$

ИЛИ

$$N_{Изб.}^{Полн.}(t) = N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} - N_{CH}(t); \quad (3.33)$$

$$N_{Изб.}^{Факт.}(t) = N_{ВИЭ}^{Факт.}(t) \cdot \eta_{Преобр.} - N_{CH}(t) - n_{АКБ}^{Зар.}(t) \cdot N_{АКБ} - n_{АКБ}^{Част.зар.}(t) \cdot (N_{АКБ} - N_{АКБ}^{Текущ.}(t)) \quad (3.34)$$

ИЛИ

$$N_{Изб.}^{Факт.}(t) = N_{ВИЭ}^{Факт.}(t) \cdot \eta_{Преобр.} - N_{CH}(t), \quad (3.35)$$

где $n_{АКБ}^{Зар.}(t)$ – количество заряжающихся АКБ (полная зарядка), шт.;

$n_{АКБ}^{Част.зар.}(t)$ – количество частично заряжающихся АКБ, шт.;

$N_{АКБ}^{Текущ.}(t)$ – уровень заряда частично заряженной АКБ, кВт.

В случае если суммарное количество полностью заряженных аккумуляторных батарей и аккумуляторов, заряжающихся полностью или частично за текущий час, меньше минимально допустимого, то недостающее количество АКБ заряжается от сети. Причём в первую очередь идёт дозаряд частично заряженных АКБ. Таким образом, количество заряжающихся аккумуляторов за текущий час:

$$n_{АКБ \Sigma}^{зар.}(t) = n_{АКБ}^{min} - n_{АКБ}^{Полн. зар.}(t).$$

Мощность, потребляемая из сети, определяться как:

$$N_{Сети}(t) = n_{АКБ \Sigma}^{зар.}(t) \cdot N_{АКБ} + N_{СН}(t) - N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.} \quad (3.36)$$

2.2. $P_{ГЭК}(t) \leq N_{ВИЭ}(t) \cdot \eta_{Преобр.}$. В этом случае решение аналогично пункту 2.1.2.

ГЭК с энергоснабжением от возобновляемых источников энергии (резервное энергоснабжение – от дизельных электростанций)

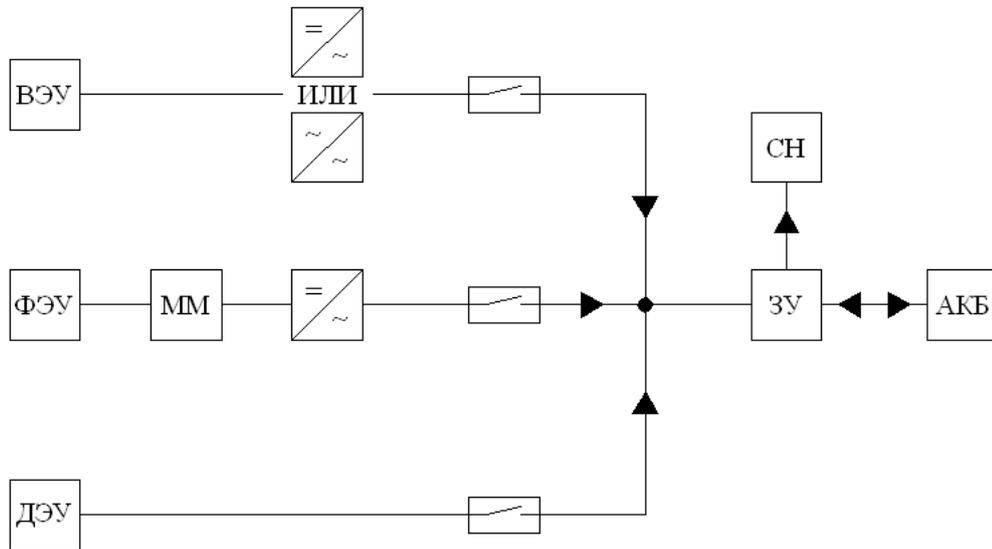


Рисунок 3.9 – Структурно-функциональная схема ГЭК: ВЭУ – ветроэлектрическая установка, ФЭУ – фотоэлектрическая установка, ММ – устройство отбора максимальной мощности, ДЭУ – дизельная электрическая установка, АКБ – аккумуляторная батарея, СН – собственные нужды станции, ЗУ – зарядное устройство.

Алгоритм расчёта режима работы гибридного энергетического комплекса на основе ВИЭ с резервным энергоснабжением от ДЭУ полностью аналогичен алгоритму расчёта ГЭК на основе ВИЭ с резервным энергоснабжением от сети (см. предыдущий вариант).

3.4. Выводы по главе

1. Разработанная математическая модель гибридного энергетического комплекса позволяет моделировать режимы работы следующих типов ГЭК, включающих в себя зарядные станции:
 - а. ГЭК с одной системой АКБ и энергоснабжением только от сети;
 - б. ГЭК с двумя системами АКБ и энергоснабжением только от сети;

- в. ГЭК с одной системой АКБ и энергоснабжением от ВИЭ (резервное энергоснабжение – от сети);
 - г. ГЭК с двумя системами АКБ и энергоснабжением от ВИЭ (резервное энергоснабжение – от сети);
2. Разработанная математическая модель ГЭК позволяет моделировать режимы работы следующих типов комплексов, включающих в себя станции замены АКБ:
- д. ГЭК с энергоснабжением только от сети;
 - е. ГЭК с энергоснабжением только от ДЭУ;
 - ж. ГЭК с энергоснабжением от ВИЭ (резервное энергоснабжение – от сети);
- з. ГЭК с энергоснабжением от ВИЭ (резервное энергоснабжение – от ДЭУ);
3. Варианты ГЭК а, б, в, г, д и ж предусматривают размещение в районах, охваченных сетью централизованного электроснабжения, тогда как варианты е и з могут размещаться на удалении от линий электропередачи;
4. В отличие от вариантов ГЭК а и в, варианты б и г, за счёт наличия двух систем аккумуляторных батарей, должны более эффективно использовать энергию сети и энергию возобновляемых источников соответственно;
5. Наличие избыточного количества аккумуляторных батарей электромобилей в вариантах д, ж и з позволяет использовать эти АКБ для перераспределения энергии сети и энергии возобновляемых источников во времени.

4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Общие положения

В соответствии с поставленной задачей (см. п. 1.4) в программной среде Microsoft Office Excel была разработана программа для расчёта режимов работы ГЭК. Программа основывается на математических моделях и алгоритмах, рассмотренных в параграфах 2.2-2.4 и главе 3, и имеет модульную структуру, что позволяет изменять, модернизировать и при отсутствии необходимости не использовать отдельные её элементы. Рабочее окно программы представлено на рисунке 4.1.

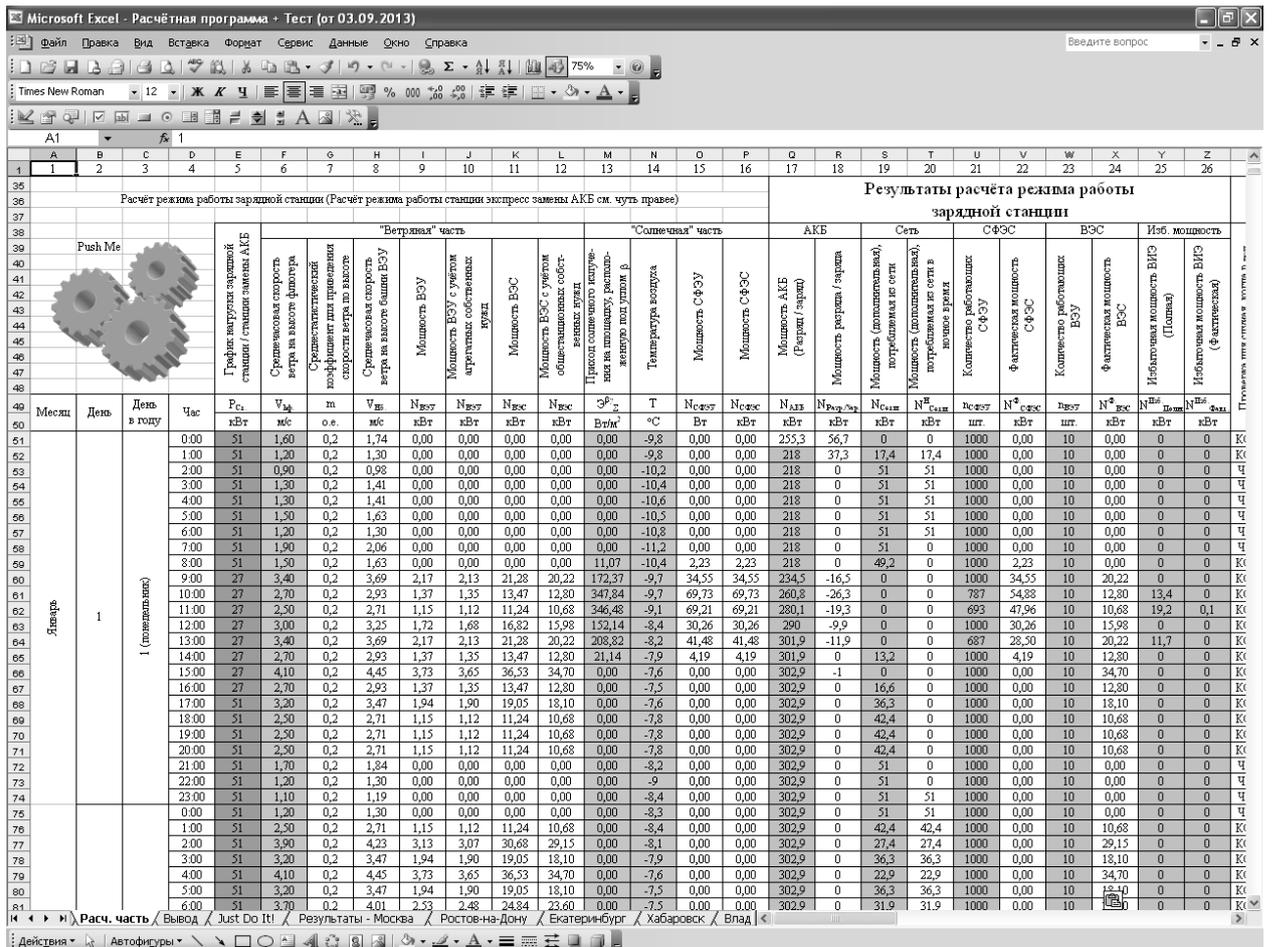


Рисунок 4.1 – Вид рабочего окна программы по расчёту режимов работы ГЭК.

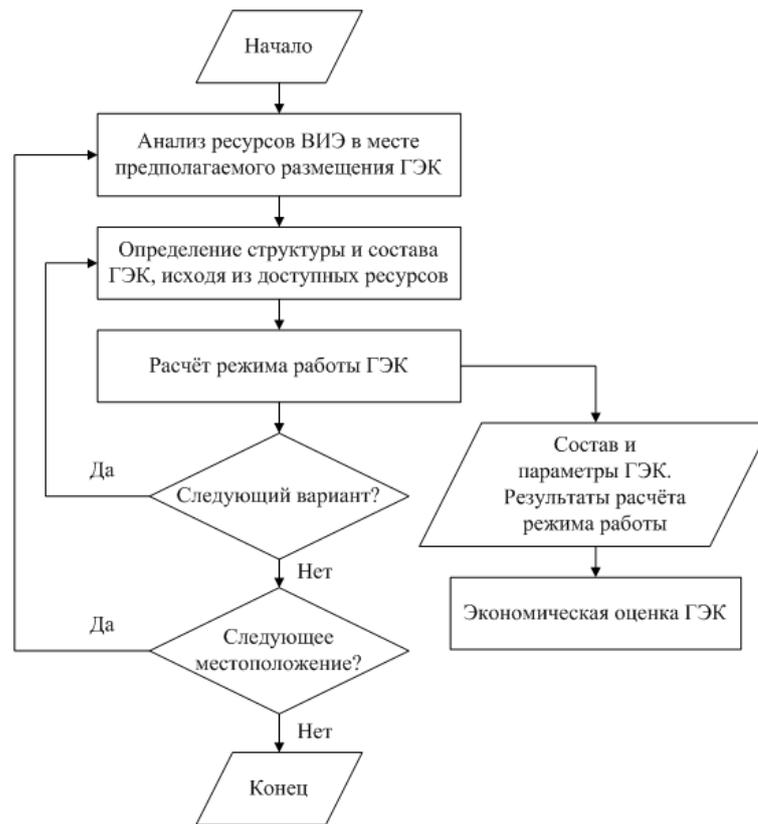


Рисунок 4.3 – Принципиальный алгоритм выбора структуры и параметров ГЭК.

Исходя из алгоритма, представленного на рисунке 4.3, в работе рассматриваются:

1. несколько вариантов ресурсов возобновляемых источников энергии (освещаются только ресурсы солнца и ветра).

Для этого с помощью карт распределения прихода солнечного излучения и среднегодовых значений скорости ветра по территории России, опубликованных в [109-111], было выбрано несколько городов (см. таблицу 4.1). Для них с помощью базы данных “Meteonorm” были получены среднечасовые значения прихода суммарного и диффузного солнечного излучения на горизонтальную приёмную площадку и среднечасовые значения температуры воздуха и скорости ветра. Далее, согласно п. 2.3.1 и 2.3.2, были рассчитаны среднегодовые значения прихода СИ на приёмную площадку, расположенную под оптимальным углом, и среднегодовые значения скорости ветра (представлены в таблице 4.1). Из всех городов в

итоге были выбраны пять, для ресурсов солнца и ветра которых в дальнейшем и проводились расчёты режимов гибридных энергокомплексов. В таблице эти города выделены серым цветом.

Таблица 4.1 – Среднегодовые значения прихода СИ на приёмную площадку, расположенную под оптимальным углом, и среднегодовые значения скорости ветра для различных городов России.

Город	$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{\text{Год}}, \text{Вт/м}^2$	$\bar{V}_{\text{Год}}, \text{м/с}$
Москва	125,2	2,57
Новосибирск	182	3,39
Ростов-на-Дону	167,3	3,49
Нижний Новгород	130,1	4,39
Петропавловск-Камчатский	166,9	4,43
Екатеринбург	151	4,55
Самара	146,1	5,18
Хабаровск	190,8	5,79
Владивосток	182,8	7,23

2. несколько вариантов состава и параметров ГЭК.

Для этого в ходе расчётов изменяются тип и количество генерирующих установок, количество типовых аккумуляторных батарей и аккумуляторных батарей электромобилей, а в качестве потребителей электроэнергии рассматриваются разные типы зарядных станций и станций замены аккумуляторных батарей (см. п. 2.4.4.1 и 2.4.4.2). Для того чтобы итоговое количество вариантов ГЭК не получилось слишком большим, в работе делается допущение, что среднегодовая выработка генерирующих установок, работающих от ВИЭ, не должна превышать удвоенного значения максимальной нагрузки потребителя.

4.2. Расчёт режимов работы ГЭК

Для того чтобы оценить эффективность гибридного энергетического комплекса сперва необходимо определить такие его экономические показатели, как чистый дисконтированный доход, индекс доходности и срок окупаемости. Для этого, в свою очередь, нужны свои исходные данные.

Цель расчёта режимов работы разных вариантов гибридных энергокомплексов заключается в том, чтобы получить такие промежуточные данные, которые в дальнейшем могут быть использованы в качестве исходных для расчёта экономических показателей этих вариантов ГЭК. Сам расчёт в данной диссертационной работе осуществляется с помощью соответствующей программы (см. п. 4.1).

Исходная информация для расчёта:

- технические характеристики рассматриваемого оборудования (основные характеристики представлены в таблице 4.2, более подробную информацию по оборудованию см. в Приложении 5);
- КПД выпрямителей, преобразователей напряжения и инверторов (в работе принимаются равными 90%);
- географические координаты точки предполагаемого размещения гибридного энергетического комплекса;
- состав оборудования комплекса;
- ряды среднечасовых значений температуры и прихода суммарного и диффузного солнечного излучения в рассматриваемой точке (для получения этих рядов в работе используется швейцарская база данных о местных ресурсах “Meteonorm”, см. п. 2.3.1);
- ряд среднечасовых значений скорости ветра на высоте флюгера в рассматриваемой точке (для получения этого ряда в работе также используется БД “Meteonorm”, см. п. 2.3.2);

- графики нагрузки зарядных станций и станций замены аккумуляторных батарей (см. п. 2.4.4.1 и 2.4.4.2);
- графики зависимости количества замен АКБ на станциях замены аккумуляторных батарей от времени суток (см. п. 2.4.4.2).
- графики зависимости количества заряжающихся на станциях замены АКБ аккумуляторов от времени суток (см. п. 2.4.4.2);

Таблица 4.2 – Технические характеристики оборудования.

Ветроэлектрические установки			
Марка ВЭУ	PW-30/14 (АВЭУ-30)	TW 60	PK-10
Тип ВЭУ	С горизонтальной осью вращения	С горизонтальной осью вращения	С вертикальной осью вращения
Номинальная мощность установки, кВт	30	60	12
Высота башни, м	15	35	5,5
Скорость ветра включения, м/с	2,5	2,5	4
Расчётная скорость ветра, м/с	10	12	12
Скорость ветра выключения, м/с	30	25	25
Солнечные модули			
Марка СМ	ТСМ-200В		
Мощность (пиковая), Вт	200		
Номинальный КПД, о.е.	0,15		
Габаритные размеры, мм	1310x996x43		
Дизельные электроустановки			
Марка ДЭУ	ДГУ АД-30	ДГУ АД-60	
Основная мощность установки, кВт	30	60	
Удельный расход топлива, л/кВт·ч	0,34	0,23	
Удельный расход масла, л/ч	0,04	-	
Удельный расход масла, % от расхода топлива	-	0,04	
Аккумуляторные батареи			
Марка АКБ	RA12-260		
Номинальная ёмкость, А·ч	260		
Габаритные размеры, мм	520x225x268		
Аккумуляторные батареи электромобилей			
Электромобиль	Nissan Leaf	Chevrolet Volt	
Производитель АКБ	Automotive Energy Supply Corporation	LG Chem	
Ёмкость, А·ч	-	45	
Энергия, кВт·ч	24	16	

Результирующая информация:

1. Состав оборудования комплекса;
2. Среднечасовые, среднемесячные и среднегодовые значения:
 - выработки одной генерирующей установки, работающей от возобновляемых источников энергии;
 - выработки всех генерирующих установок возобновляемой энергетики;
 - энергопотребления из сети в дневное и ночное время суток;
 - выработки дизельных электроустановок;
 - фактической выработки генерирующих установок, работающих от ВИЭ (здесь учитывается то, что часть установок может находиться в отключенном состоянии);
 - избыточной энергии, вырабатываемой всеми установками возобновляемой энергетики;
 - фактической избыточной энергии, вырабатываемой генерирующими установками на основе ВИЭ (здесь учитывается то, что часть установок может находиться в отключенном состоянии);
 - расхода дизельного топлива на ДЭС;
 - расхода масла на ДЭС;
3. Значения за каждый час года следующих параметров:
 - уровня заряда системы АКБ (если она одна) или каждой системы АКБ (если их две) для ГЭК, в состав которого входит зарядная станция;
 - количества полностью заряженных АКБ, заряжающихся АКБ (полная зарядка и частичная зарядка), разряжающихся АКБ и АКБ, ожидающих зарядки, (см. п. 3.3) для ГЭК, в состав которого входит станция замены АКБ;
 - уровня заряда заряжающейся или разряжающейся АКБ для ГЭК в составе со станцией замены АКБ;

- количества работающих генерирующих установок возобновляемой энергетики;
- количества работающих дизельных энергоустановок;
- мощности, приходящейся на одну дизельную энергоустановку.

Под избыточной энергией, упомянутой выше, в диссертационной работе подразумевается разница между энергией, вырабатываемой за заданный промежуток времени всеми генерирующими установками, работающими от ВИЭ, и энергией, которая требуется для энергоснабжения ГЭК в течение этого промежутка времени. Таким образом, эта энергия может либо выдаваться в сеть по некоторому тарифу, либо быть направлена на балластную нагрузку. В ходе расчёта режимов работы ГЭК рассматривается только второй вариант.

Под фактической избыточной энергией в свою очередь подразумевается разница между фактической выработкой генерирующих установок возобновляемой энергетики (часть установок может находиться в отключенном состоянии) за некий промежуток времени и энергопотреблением гибридного энергокомплекса за этот же промежуток времени. В работе этот тип избыточной энергии не используется, а направляется на балластную нагрузку.

В целом из всей информации, которая может быть получена в ходе расчёта режимов работы ГЭК, для дальнейшей оценки эффективности гибридных энергокомплексов необходимы лишь составы оборудования комплексов и среднегодовые данные. Пример такой информации представлен в таблице ПЗ.1. Однако, несмотря на то, что результаты проведенного расчёта являются всего лишь промежуточными на их основе всё-таки можно сделать и некоторые выводы. Для этого в диссертационной работе также рассматриваются только составы оборудования комплексов и среднегодовые данные. Эта информация для большей наглядности

представлена графическими зависимостями и приведена ниже. Там же приводится и анализ этих графиков, а также выводы, сделанные на их базе. Кроме этого выводы по результатам расчёта режимов работы ГЭК также сведены в п. 4.4, где представлены общие выводы по главе 4.

Результаты расчёта режимов работы ГЭК и их анализ

Представленные ниже зависимости позволяют оценить то, каким образом состав оборудования комплекса влияет на такие показатели, как энергопотребление из сети или выработку ДЭС. Это в свою очередь позволяет определить оптимальное с точки зрения минимума сетевого энергопотребления или экономии дизельного топлива количество оборудования разного типа.

Для удобства все полученные графики в работе подразделены на несколько групп в зависимости от того, за счёт какого объекта (электрической сети или разного типа электроустановок) осуществляется энергоснабжение гибридного энергетического комплекса.

ГЭК с энергоснабжением только от сети или только от дизельных электроустановок

Так как по двойному тарифу, который рассматривается в работе, днём цена на электроэнергию выше, чем ночью, то в случае с гибридными энергетическими комплексами, работающими только от сети, их эффективность можно повысить за счёт снижения дневного сетевого энергопотребления. Для этого необходимо ввести в состав этих комплексов аккумуляторные батареи (для ГЭК с зарядными станциями) или дополнительные АКБ электромобилей (для ГЭК со станциями замены), которые бы позволили аккумулировать электроэнергию ночью и использовать её уже в дневное время. На рисунках 4.4 и 4.5 представлены

зависимости отражающие изменение дневного энергопотребления от количества АКБ и типов зарядных станций или станций замены, входящих в состав ГЭК.

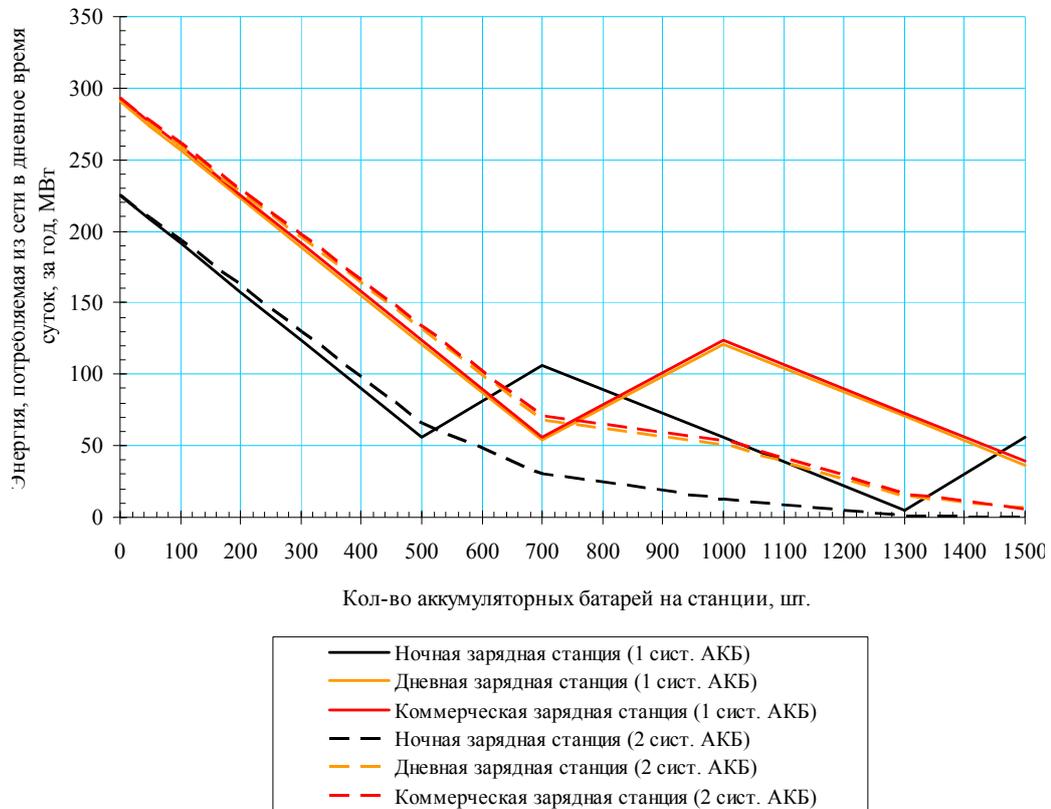


Рисунок 4.4 – Зависимость энергии, потребляемой ГЭК в дневное время суток за год, от типа зарядной станции и количества АКБ.

Как видно из рисунка 4.4, графики зависимости дневного энергопотребления от количества АКБ у энергокомплексов с дневной и с коммерческой станциями совпадают между собой. Это связано с тем, что суммарное энергопотребление из сети с 6.00 до 23.00 у этих зарядных станций одинаково. В свою очередь довольно специфическая форма графиков у ГЭК с одной системой аккумуляторных батарей, объясняется принятым ранее допущением, что аккумуляторные батареи проходят полный цикл заряда-разряда. Так, увеличение количества АКБ в составе комплексов до 500 шт. для ГЭК с ночной станцией и до 700 шт. для ГЭК с коммерческой и дневной станциями способствует снижению дневного энергопотребления из сети и увеличению цикла заряда-разряда системы аккумуляторных

батарей. Причём этот цикл пока не сильно влияет на режимы работы комплексов. Однако когда количество АКБ начинает превышать 500 или 700 шт., цикл заряда-разряда увеличивается настолько, что часто встречаются случаи, когда ночью система аккумуляторных батарей находится в стадии разряда (т.е. не может заряжаться), а днём – в стадии заряда (не может разряжаться). Этот момент и объясняет повышение дневного энергопотребления из сети на участках, где количество АКБ изменяется от 500 до 700 шт. для ГЭК с ночной станцией и от 700 до 1000 шт. для ГЭК с коммерческой и дневной станциями. Дальнейшее же снижение энергопотребления связано с тем, что суммарная ёмкость системы АКБ начинает компенсировать большой цикл заряда-разряда.

Совсем иная картина наблюдается при использовании в составе таких гибридных энергетических комплексов двух систем аккумуляторных батарей. Так, если на участках, где количество аккумуляторов изменяется от 0 до 520 шт. и от 0 до 740 АКБ, использование такого количества систем способствует чуть большему дневному сетевому энергопотреблению (до 18% при 500 АКБ и до 24% при 700 АКБ соответственно), чем при использовании одной системы, то уже при большем количестве аккумуляторных батарей две их системы АКБ позволяют значительно снизить энергопотребление из сети в дневное время. Снижение этого энергопотребления в последнем случае может достигать 100% (при 1400 АКБ), 84% и 84% (при 1500 АКБ) для ГЭК с ночной, коммерческой и дневной зарядными станциями соответственно. Таким образом, это говорит о том, что если существует необходимость в большом количестве аккумуляторных батарей, то их общее количество лучше делить на две группы заряда-разряда, чем использовать как одну.

В целом же можно отметить, что для комплексов с любыми типами зарядных станций наибольшее снижение в дневном энергопотреблении наблюдается при количестве АКБ, изменяющимся от 0 до 700 шт. Каждое увеличение количества АКБ на 100 шт. в этом случае снижает годовое дневное энергопотребление в среднем на 32 МВт·ч (до 37% при 500 АКБ по

сравнению с 400 АКБ для ночной станции и при 700 АКБ по сравнению с 600 АКБ для дневной и коммерческой станции). При этом для ГЭК с ночной зарядной станцией при количестве аккумуляторных батарей, изменяющимся от 0 до 520 шт., лучше всего использовать одну систему АКБ, а при количестве от 520 до 700 шт. – две системы заряда-разряда. Для ГЭК с дневной или коммерческой зарядной станцией на всём диапазоне от 0 до 700 АКБ эффективнее всего использовать только одну систему заряда-разряда.

В свою очередь дальнейшее увеличение количества аккумуляторных батарей (больше 700 шт.) в составе гибридных энергетических комплексов с зарядными станциями уже не приводит к такому сильному снижению в дневном энергопотреблении – в среднем 6,5 МВт·ч за год на каждые 100 АКБ при условии использования двух систем АКБ.

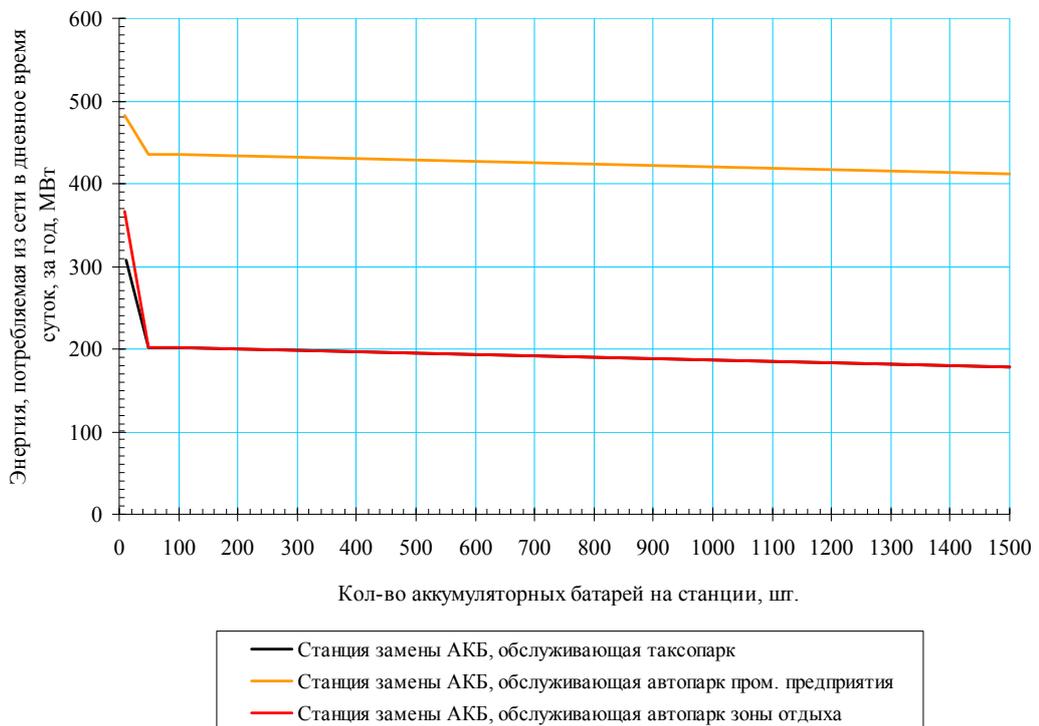


Рисунок 4.5 – Зависимость энергии, потребляемой ГЭК в дневное время суток за год, от типа станции замены и количества АКБ.

Что касается сетевых гибридных энергокомплексов, в состав которых входят станции замены АКБ, то для них характерны зависимости,

приведённые на рисунке 4.5. Особенностью этих зависимостей является резкое снижение дневного энергопотребления на участке от 12 до 50 аккумуляторных батарей для комплекса со станцией замены, обслуживающей таксопарк, и на участке от 10 до 50 АКБ для ГЭК, со станциями, обслуживающими автопарки промышленного предприятия и зоны отдыха. Это снижение связано с тем, что при 12 и 10 АКБ энергоснабжение энергокомплексов осуществляется согласно графикам нагрузки (см. соответствующие типы станций замены АКБ в п. 3.3), а уже при большем их количестве часть аккумуляторных батарей используется для перераспределения сетевой энергии в течение суток, тем самым снижая дневное энергопотребление.

В данном случае увеличение количества аккумуляторных батарей до 50 шт. позволяет снизить дневное энергопотребление из сети на 105, 47 и 164 МВт·ч за год (до 35%, 10% и 45%) для ГЭК со станциями замены АКБ, обслуживающими таксопарк, автопарк промышленного предприятия и автопарк зоны отдыха соответственно. При этом в случае с зоной отдыха это снижение наиболее существенно в связи с тем, что в ночное время спрос на заряженные аккумуляторные батареи полностью отсутствует, и тем самым все зарядные устройства на станции используются только для подзарядки АКБ с целью перераспределения дешёвой ночной энергии на дневное время суток. В случае же с промышленным предприятием снижение дневного сетевого энергопотребления минимально (из всех трёх рассмотренных вариантов). Это объясняется тем, что спрос на замену аккумуляторных батарей ночью здесь такой же как и спрос на замену АКБ днём. Таким образом, в ночное время суток АКБ подзаряжаются не только для того, чтобы потом днём можно было бы использовать накопленную ими электроэнергию, но также и для того, чтобы удовлетворить ночной спрос на полностью заряженные аккумуляторы.

Дальнейшее снижение в энергопотреблении на участке от 50 до 1500 АКБ связано с принятым ранее допущением, что аккумуляторы

поставляются на станции замены полностью заряженными, т.е. изначально уже имеется некий запас электроэнергии, который поначалу и используется. Таким образом, чем больше количество аккумуляторов электромобилей в составе комплексов, тем больше изначально запас электроэнергии и тем меньше годовое энергопотребление из сети, в частности в дневное время суток. То же самое касается снижения выработки дизельной электростанции и расхода топлива, потребляемого на ДЭС, с увеличением количества аккумуляторных батарей в составе автономного ГЭК со станцией замены АКБ (см. рисунки 4.6 и 4.7). В свою очередь, тот факт, что на этом же участке (от 50 до 1500 АКБ, см. рисунок 4.5) соответствующие зависимости для ГЭК со станциями замены АКБ, обслуживающими таксопарк и автопарк зоны отдыха, совпадают между собой, можно объяснить одинаковым суточным спросом на замену АКБ. И в первом, и во втором случае на станциях замены за сутки электромобили обслуживаются 80 раз (см. п. 2.4.4.2).

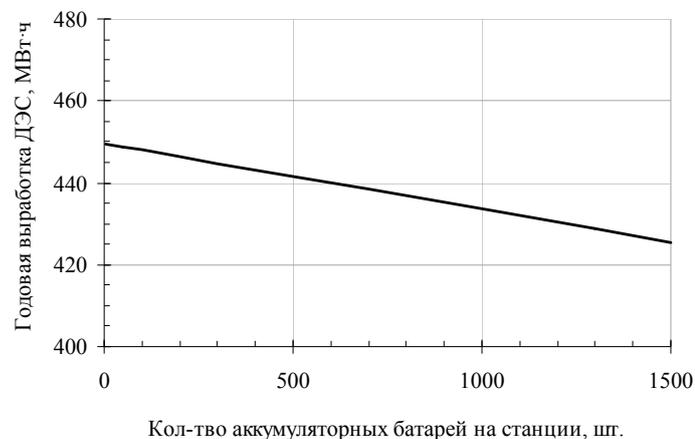


Рисунок 4.6 – Зависимость годовой выработки ДЭС, входящей в состав автономного ГЭК со станцией замены АКБ.

В целом для гибридных энергетических комплексов, работающих от электрической сети, иметь на станциях замены больше 50 аккумуляторных батарей не целесообразно. Так каждая сотня дополнительных аккумуляторов в этом случае снижает годовое дневное энергопотребление из сети всего лишь на 1,6 МВт·ч.

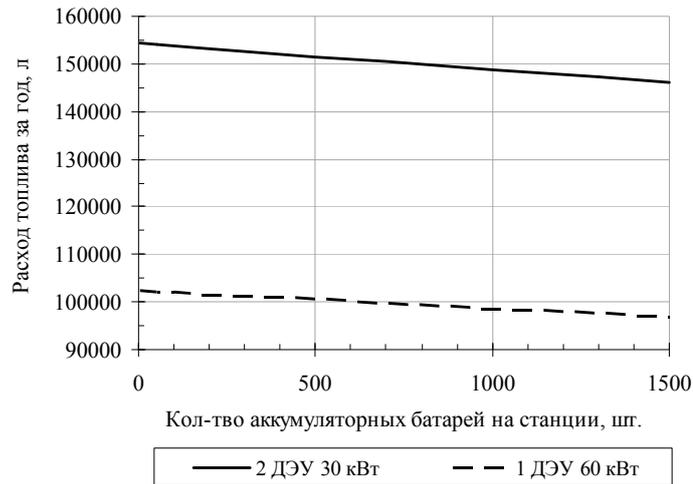


Рисунок 4.7 – Зависимость годового расхода топлива от типа и количества ДЭУ, входящих в состав автономного ГЭК со станцией замены АКБ.

Что же касается автономного ГЭК, то для него оптимальным количеством АКБ является минимально допустимое, а именно – 4 шт. (см. п. 2.4.4.2). Каждая последующая сотня АКБ здесь снижает выработку ДЭС также только на 1,6 МВт·ч за год. Кроме этого для энергоснабжения такого комплекса, согласно рисунку 4.7, гораздо эффективнее с точки зрения экономии дизельного топлива использовать одну дизельную электроустановку большой единичной мощности (в работе рассматривалась ДЭУ мощностью 60 кВт), чем использовать несколько ДЭУ меньшей единичной мощности (2 ДЭУ 30 кВт). Экономия в этом случае может достигать 35%.

В заключение следует отметить, что помимо всего прочего на вид графика зависимости дневного энергопотребления от количества аккумуляторов для ГЭК со станциями замены АКБ (см. рисунок 4.5) также влияет количество используемых зарядных устройств (ЗУ). Эти ЗУ определяют, сколько аккумуляторных батарей может одновременно заряжаться на станциях замены.

В расчётах число зарядных устройств на всех рассмотренных типах станций замены АКБ принималось постоянным и не изменялось в зависимости от количества аккумуляторных батарей. После анализа

результатов проведенных расчётов, выяснилось, что некоторое количество АКБ в составе рассмотренных комплексов в полной мере не используется из-за недостаточного количества ЗУ. Поэтому с увеличением количества аккумуляторных батарей также следует увеличивать и количество зарядных устройств. Чтобы подтвердить это предположение для гибридного комплекса, работающего только от сети и включающего в себя станцию замены, обслуживающую таксопарк, были проведены дополнительные расчёты, по результатам которых были построены соответствующие зависимости (см. рисунок 4.8). Для сетевых гибридных энергетических комплексов с другими типами станций замены АКБ, а также для ГЭК, работающих от возобновляемых источников энергии, такие расчёты в диссертационной работе не проводились.

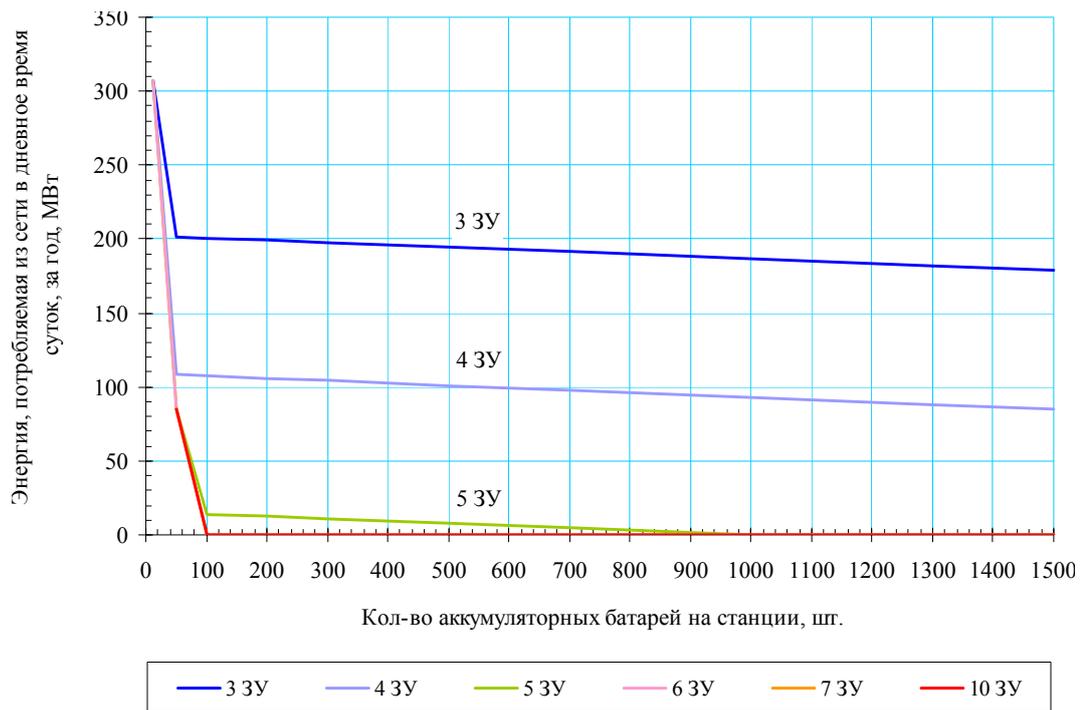


Рисунок 4.8 – Зависимость годового дневного энергопотребления ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей таксопарк, от количества ЗУ и АКБ на станции.

Как видно из рисунка 4.8, увеличение количества зарядных устройств на станции замены аккумуляторных батарей позволяет значительно уменьшить энергопотребление из сети в дневное время за счёт

перераспределения сетевой электроэнергии в течение суток. При использовании 6 ЗУ и 100 АКБ и более, дневное энергопотребление снижается на 100%.

ГЭК с энергоснабжением от солнечной фотоэлектрической станции (резервное энергоснабжение – от сети или дизельных электроустановок)

В случае с гибридными энергетическими комплексами, работающими от возобновляемых источников энергии, их эффективность может быть повышена за счёт снижения энергопотребления из сети (сетевые ГЭК) или выработки дизельной электростанции (автономные ГЭК). Для этого следует либо увеличить долю генерирующих установок на основе ВИЭ, либо ввести в состав этих комплексов аккумуляторные батареи (для ГЭК с зарядными станциями) или дополнительные АКБ электромобилей (для ГЭК со станциями замены), которые бы позволили перераспределять энергию возобновляемых источников во времени. На рисунках, приведённых ниже, представлены зависимости отражающие изменение сетевого энергопотребления или выработки ДЭС от типа и количества генерирующих установок возобновляемой энергетики, количества аккумуляторных батарей и типа зарядной станции или станции замены, входящих в состав ГЭК.

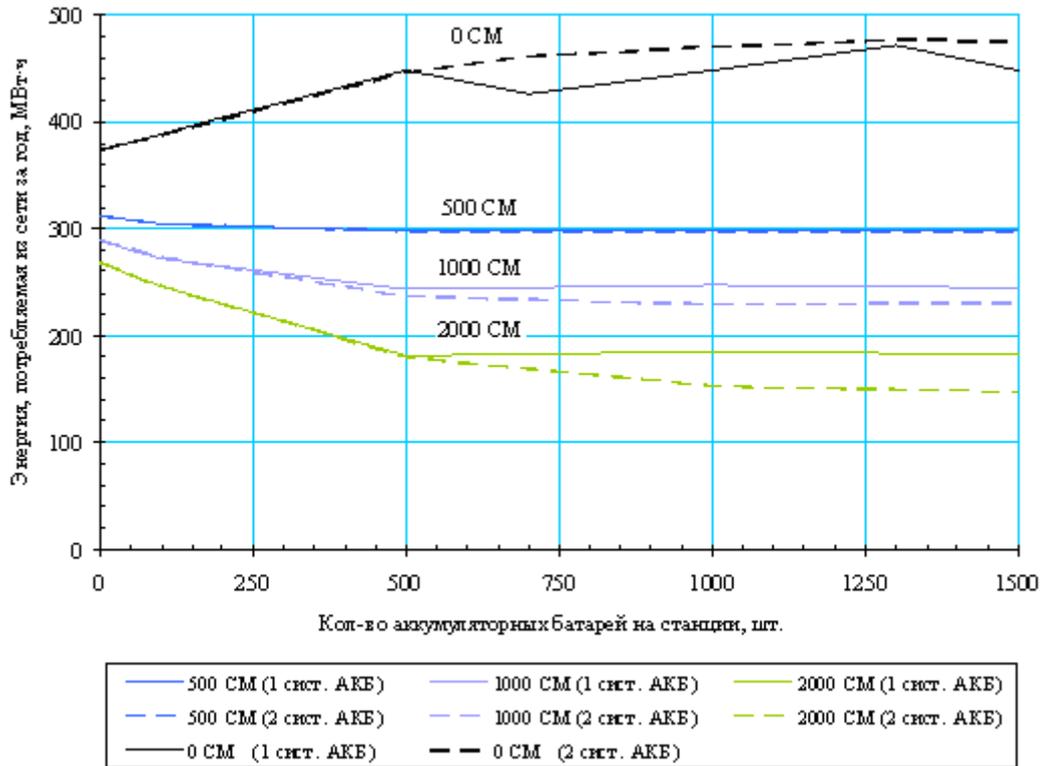


Рисунок 4.9 – ГЭК с ночной зарядной станцией. $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\text{Бу}} \approx 125 \text{ Вт/м}^2$. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества солнечных модулей и АКБ.

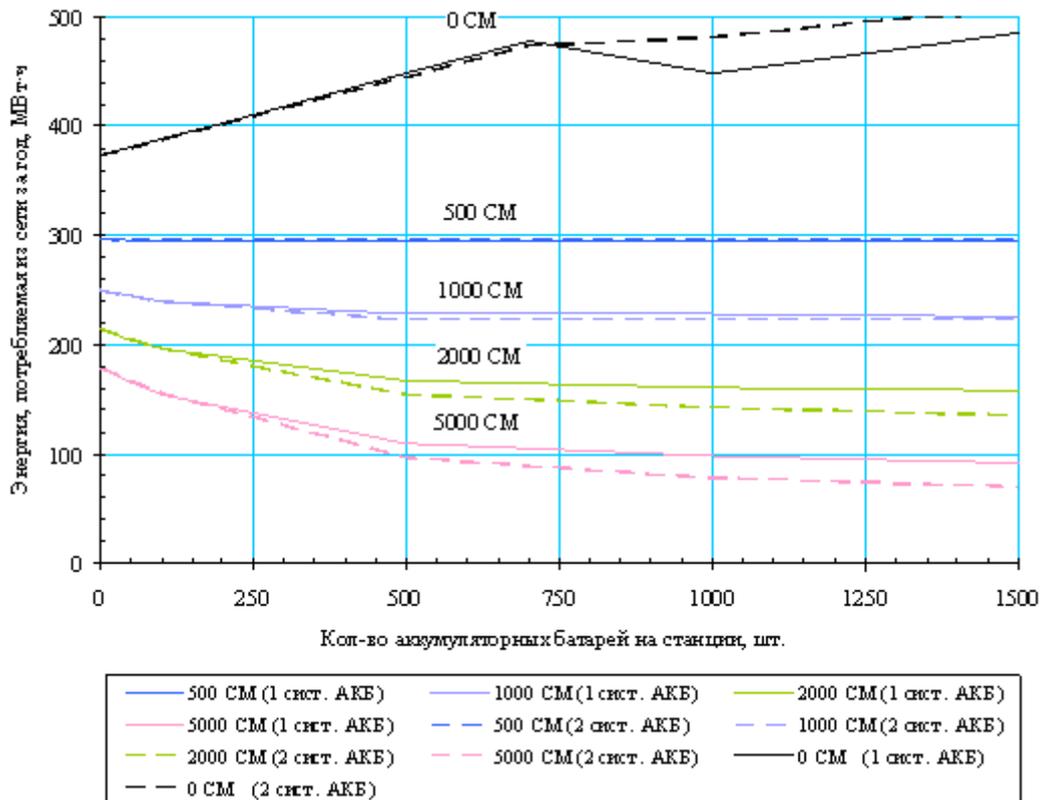


Рисунок 4.10 – ГЭК с дневной зарядной станцией. $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\text{Бу}} \approx 125 \text{ Вт/м}^2$. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества солнечных модулей и АКБ.

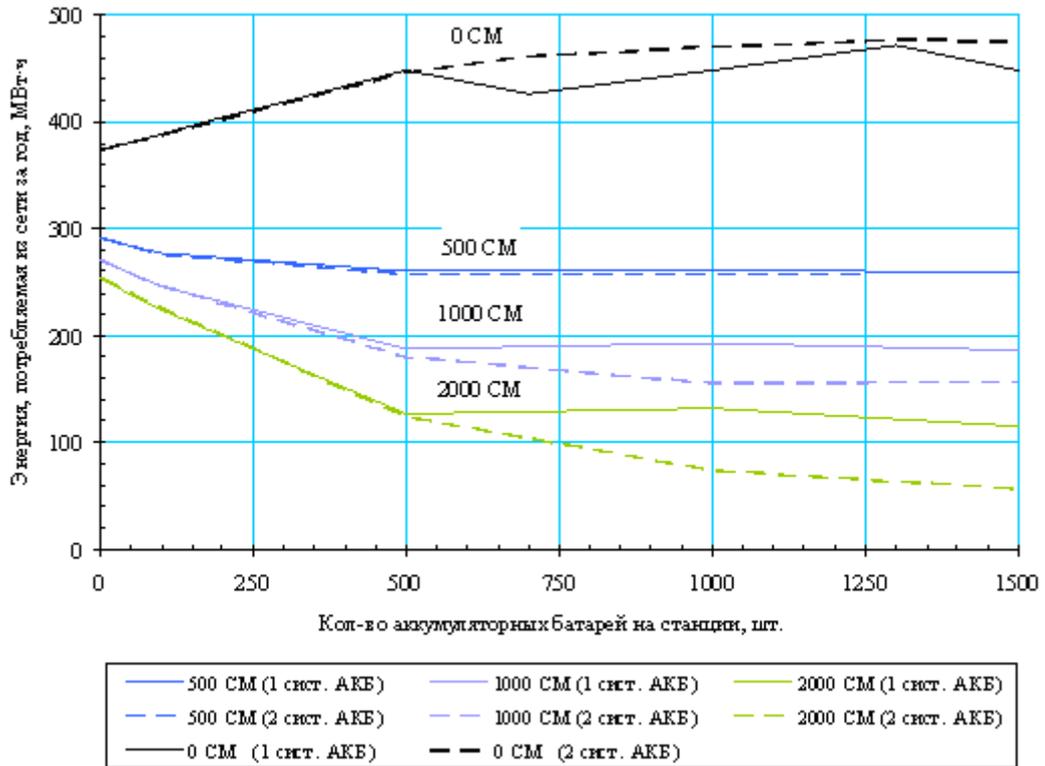


Рисунок 4.11 – ГЭК с ночной зарядной станцией. $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества солнечных модулей и АКБ.

Согласно графиками на рисунках 4.9 и 4.10, при одинаковом спросе на подзарядку в течение суток (40 электромобилей в сутки), гибридный энергетический комплекс с ночной зарядной станцией потребляет за год больше электроэнергии из сети, чем ГЭК с дневной зарядной станцией. Это объясняется тем, что пик энергопотребления у дневной станции приходится на дневное время суток и практически совпадает с пиком прихода солнечного излучения и, соответственно, с выработкой СФЭС. Таким образом, этому комплексу для выполнения баланса мощности требуется меньше сетевой электроэнергии. У ночной же станции пик энергопотребления приходится на вечер-ночь, когда выработка СФЭС минимальная, в результате чего имеет место большее энергопотребление из сети. По этой же причине у комплекса с ночной зарядной станцией влияние разного количества аккумуляторных батарей, а также двух систем АКБ, на режим работы гораздо сильнее – аккумуляторы активно используются для

перераспределения на вечернее-ночное время энергии СФЭС, выработанной днём. Кроме этого влияние двух систем аккумуляторных батарей также растёт с увеличением количества АКБ в их составе и с ростом прихода солнечного излучения (см. рисунки 4.9 и 4.11).

Разница в энергопотреблении из сети между ГЭК с ночной станцией и ГЭК с дневной здесь может достигать 82 МВт·ч за год (32% при 2000 СМ, 0 АКБ и $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ год}}^{\beta\gamma} \approx 183 \text{ Вт/м}^2$) как при использовании одной системы аккумуляторных батарей, так и при использовании двух систем АКБ. Что же касается влияния двух систем АКБ на режимы работы комплексов, то в случае с ГЭК с ночной зарядной станцией использование двух систем позволяет снизить годовое энергопотребление по сравнению с использованием одной системы максимум на 63 МВт·ч (45% при 2000 СМ, 1000 АКБ и $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ год}}^{\beta\gamma} \approx 183 \text{ Вт/м}^2$). Для ГЭК с дневной зарядной станцией это снижение может достигать 40 МВт·ч за год (50% при 2000 СМ, 1500 АКБ и $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ год}}^{\beta\gamma} \approx 183 \text{ Вт/м}^2$).

В свою очередь гибридный комплекс с коммерческой зарядной станцией потребляет из сети за год больше электроэнергии, чем ГЭК с дневной станцией, но меньше, чем ГЭК с ночной (соответствующие графики см. в Приложении 3 на рисунке П3.1). Разница в энергопотреблении в первом случае может достигать 26 МВт·ч (13% при 2000 СМ, 0 АКБ и $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ год}}^{\beta\gamma} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$), а во втором – 56 МВт·ч (22% при 2000 СМ, 0 АКБ и $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ год}}^{\beta\gamma} \approx 183 \text{ Вт/м}^2$). Влияние двух систем АКБ на режим работы этого комплекса может составлять 48 МВт·ч за год (49% при 2000 СМ, 1500 АКБ и $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ год}}^{\beta\gamma} \approx 183 \text{ Вт/м}^2$).

Таким образом, приведенные результаты говорят о том, что с точки зрения минимума сетевого энергопотребления в составе комплексов с СФЭС лучше всего использовать зарядные станции, пик энергопотребления которых приходится на дневное время. К тому же если ещё существует и

необходимость в большом количестве аккумуляторных батарей, то их общее количество лучше делить на две группы заряда-разряда, чем использовать как одну.

В целом, касательно количества аккумуляторных батарей в составе рассмотренных энергокомплексов, согласно полученным результатам (см. также рисунки 4.9-4.11 и ПЗ.1) можно отметить, что для ГЭК с:

1. ночной зарядной станцией при количестве солнечных модулей равном:
 - 500 шт. наибольшее снижение в сетевом энергопотреблении наблюдается при количестве АКБ, изменяющимся от 0 до 100 шт. Так оно может достигать 16 МВт·ч за год (5% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\overline{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\beta\gamma} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$). При этом здесь лучше всего использовать две системы аккумуляторных батарей. Дальнейшее увеличение количества АКБ уже не приводит к такому сильному снижению – максимум на 5 МВт·ч за год на 100 АКБ;
 - 1000 и 2000 шт. наибольшее снижение наблюдается на участке от 0 до 500 АКБ. Здесь оно может достигать 24 и 30 МВт·ч за год соответственно (9% и 12% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\overline{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\beta\gamma} \approx 183 \text{ Вт/м}^2$). Причём на участке от 0 до 100 АКБ лучше использовать одну систему АКБ, а на участке от 100 до 500 АКБ – две системы. При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 5 и 10 МВт·ч за год (для 1000 и 2000 СМ) на 100 АКБ;
2. коммерческой зарядной станцией при количестве СМ равном:
 - 500 шт. наибольшее снижение в сетевом энергопотреблении – на участке от 0 до 100 АКБ. Максимум – 7 МВт·ч за год (3% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\overline{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\beta\gamma} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$). Лучше всего использовать две системы АКБ. При дальнейшем увеличении

количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 2 МВт·ч за год на 100 АКБ;

- 1000 и 2000 шт. наибольшее снижение – на участке от 0 до 500 АКБ. Максимум – 20 и 28 МВт·ч за год соответственно (9% и 14% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$). На участке от 0 до 100 АКБ лучше использовать одну систему АКБ, а на участке от 100 до 500 АКБ – две системы. При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 2 и 8 МВт·ч за год (для 1000 и 2000 СМ) на 100 АКБ;

3. дневной зарядной станцией при количестве СМ равном:

- 500 шт. наибольшее снижение в сетевом энергопотреблении – на участке от 0 до 100 АКБ. Максимум – 3 МВт·ч за год (1% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$). Лучше всего использовать две системы АКБ. При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 0,2 МВт·ч за год на 100 АКБ;
- 1000, 2000 и 5000 шт. наибольшее снижение – на участке от 0 до 500 АКБ. Максимум – 18, 26 МВт·ч за год (9% и 14% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$) и 30 МВт·ч за год (19% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma} \approx 167 \text{ Вт/м}^2$) соответственно. На участке от 0 до 100 АКБ лучше использовать одну систему АКБ, а на участке от 100 до 500 АКБ – две системы. При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 1, 6 и 4,5 МВт·ч за год (для 1000, 2000 и 5000 СМ) на 100 АКБ.

Что же касается гибридных энергетических комплексов на основе СФЭС, в состав которых входят станции замены аккумуляторных батарей, то для них характерно всё то, что было ранее сказано про аналогичные ГЭК, но работающие только от сети или ДЭС. Графики, соответствующие таким комплексам, приведены в Приложении 3 на рисунках ПЗ.2-ПЗ.5. Единственное здесь следует отметить то, что согласно полученным результатам для ГЭК со:

1. станцией замены АКБ, обслуживающей таксопарк, на участке от 12 до 50 аккумуляторных батарей электромобилей, при количестве солнечных модулей равном 500, 1000, 2000 и 5000 шт. снижение в сетевом энергопотреблении может достигать 33, 100, 150 и 186 МВт·ч за год соответственно (9%, 28%, 45% и 59% при 50 АКБ по сравнению с 12 АКБ, $\overline{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\beta\gamma} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$). При дальнейшем увеличении количества АКБ (больше 50) снижение энергопотребления – не более чем на 1,6 МВт·ч (для 500, 1000 и 2000 СМ) и 7,5 МВт·ч (для 5000 СМ) за год на 100 АКБ;
2. станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк промышленного предприятия, на участке от 10 до 50 аккумуляторных батарей электромобилей, при количестве солнечных модулей равном:
 - 500 шт. снижение в сетевом энергопотреблении может достигать всего 1,2 МВт·ч за год (0,2% при 50 АКБ по сравнению с 12 АКБ, $\overline{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\beta\gamma} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$). Таким образом, в данном случае целесообразно использовать только минимально допустимое количество АКБ, а именно 10 шт.;
 - 1000, 2000 и 5000 шт. снижение – максимум на 19, 36 МВт·ч за год (4% и 8% при 50 АКБ по сравнению с 12 АКБ, $\overline{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\beta\gamma} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$) и 51 МВт·ч за год (12% при 50 АКБ по сравнению с 12 АКБ, $\overline{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\beta\gamma} \approx 183 \text{ Вт/м}^2$) соответственно. При

дальнейшем увеличении количества АКБ (больше 50) снижение энергопотребления – не более чем на 1,6 МВт·ч за год на 100 АКБ;

3. станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк зоны отдыха, на участке от 10 до 50 аккумуляторных батарей электромобилей, при количестве солнечных модулей равном 500, 1000, 2000 и 5000 шт. снижение в сетевом энергопотреблении может достигать 45, 97, 139 МВт·ч за год (11%, 28% и 43% при 50 АКБ по сравнению с 12 АКБ, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ год}}^{\beta\gamma} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$) и 168 МВт·ч за год (57% при 50 АКБ по сравнению с 12 АКБ, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ год}}^{\beta\gamma} \approx 183 \text{ Вт/м}^2$) соответственно. При дальнейшем увеличении количества АКБ (больше 50) снижение энергопотребления – не более чем на 1,6 МВт·ч за год на 100 АКБ.

В свою очередь для автономного гибридного энергокомплекса всё также оптимальным количеством аккумуляторных батарей является минимально допустимое, а именно – 4 шт.

ГЭЖ с энергоснабжением от ветряной электростанции (резервное энергоснабжение – от сети или дизельных электроустановок)

При энергоснабжении от ВЭС гибридных энергетических комплексов с ночной, коммерческой и дневной зарядными станциями сетевое энергопотребление этих комплексов почти не зависит от типа станций (см. рисунки 4.12, 4.13 и ПЗ.6). Это связано с тем, что ветер есть практически всегда, и величина его скорости мало зависит от времени суток, чего нельзя сказать о приходе солнечного излучения.

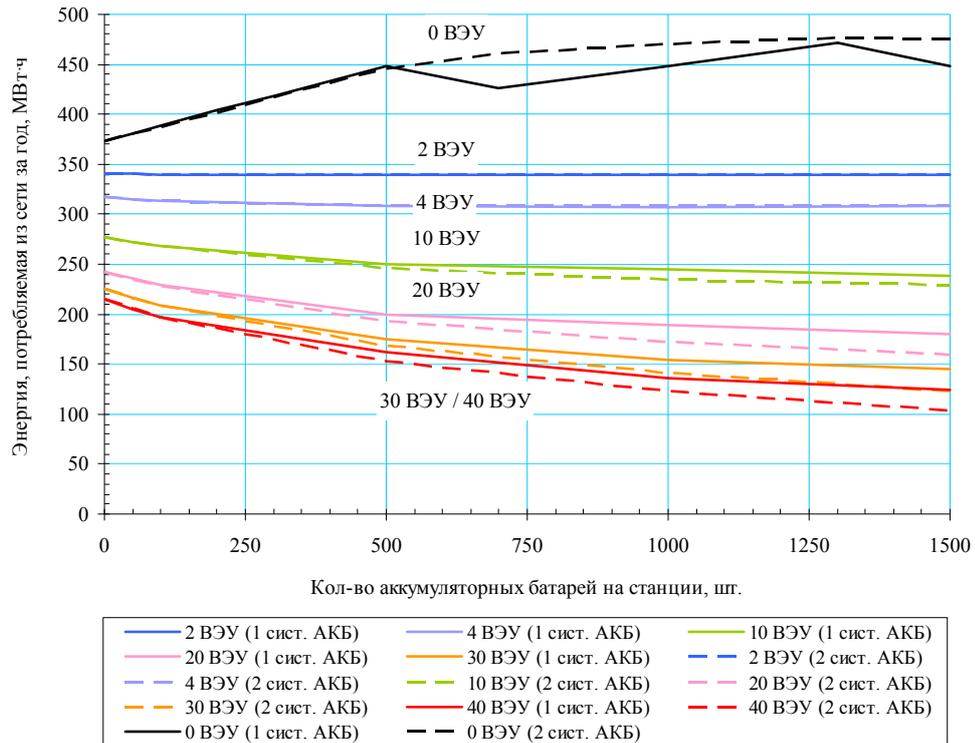


Рисунок 4.12 – ГЭК с ночной зарядной станцией. Установленная мощность ВЭУ – 30 кВт.

$\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества ветроэнергетических установок и АКБ.

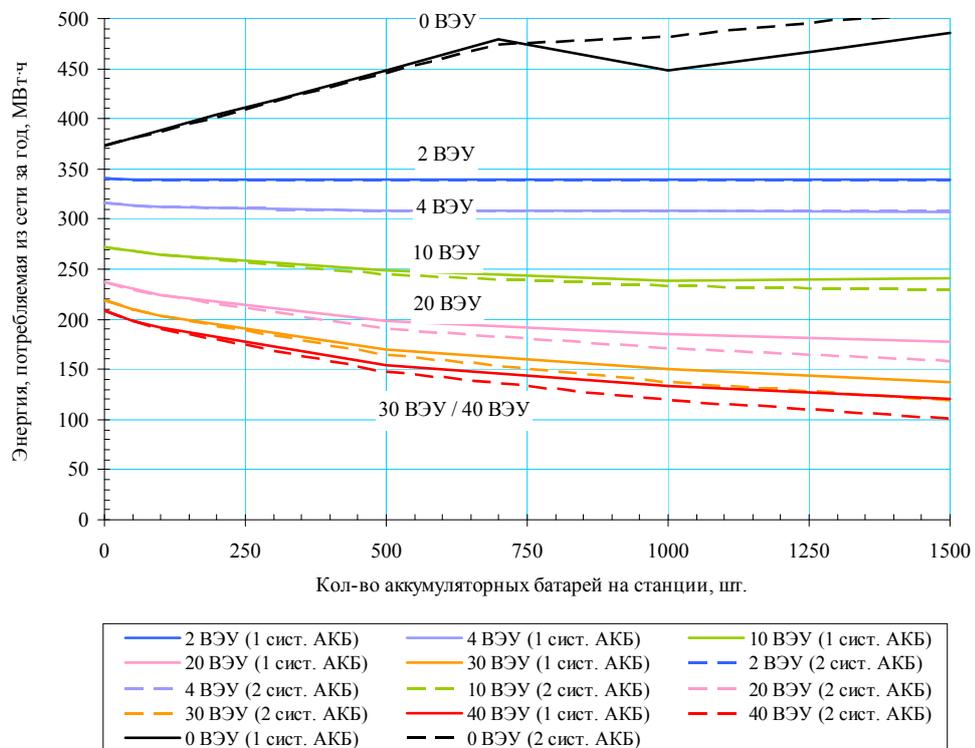


Рисунок 4.13 – ГЭК с дневной зарядной станцией. Установленная мощность ВЭУ –

30 кВт. $\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества ветроэнергетических установок и АКБ.

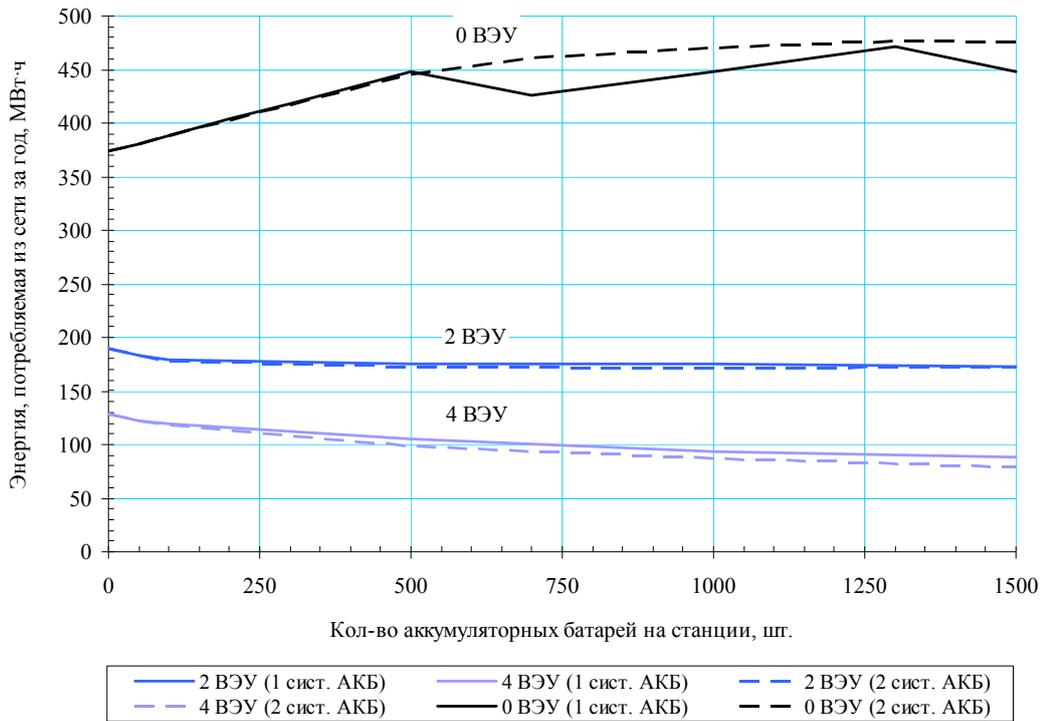


Рисунок 4.14 – ГЭК с ночной зарядной станцией. Установленная мощность ВЭУ – 30 кВт.

$\bar{V}_{Год} \approx 7,2$ м/с. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества ветроэнергетических установок и АКБ.

Что же касается влияния разного количества аккумуляторных батарей, а также двух систем АКБ, на режимы работы этих комплексов, то, так как ВЭС обычно вырабатывает электроэнергию в течение всех суток, это влияние уже не такое существенное и также практически не зависит от типа станции в составе комплекса. Однако, как и в случае с ГЭК на основе СФЭС, влияние двух систем аккумуляторных батарей на сетевое энергопотребление растёт с увеличением количества АКБ в их составе и с увеличением скорости ветра (см. рисунки 4.12 и 4.14).

Для комплексов с ночной, коммерческой и дневной зарядными станциями использование двух систем аккумуляторных батарей позволяет снизить годовое энергопотребление из сети по сравнению с использованием одной системы АКБ максимум на:

1. 23 МВт·ч (16% при 30 ВЭУ, 1500 АКБ и $\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с), 20 МВт·ч (11% при 20 ВЭУ, 1500 АКБ и $\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с) и 20 МВт·ч (16% при 40 ВЭУ,

- 1500 АКБ и $\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с) соответственно – энергоснабжение ГЭК осуществляется от ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт;
2. 18, 17 МВт·ч (13% и 14% при 10 ВЭУ, 1500 АКБ и $\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с) и 23 МВт·ч (27% при 20 ВЭУ, 1500 АКБ и $\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с) соответственно – ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт;
 3. 17 МВт·ч (7% при 100 ВЭУ, 1500 АКБ и $\bar{V}_{Год} \approx 3,5$ м/с), 14 и 15 МВт·ч (8% и 9% при 100 ВЭУ, 1500 АКБ и $\bar{V}_{Год} \approx 4,5$ м/с) соответственно – ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт.

Эти результаты также подтверждают тот факт, что если существует необходимость в большом количестве аккумуляторных батарей, то их общее количество лучше делить на две группы заряда-разряда, чем использовать одну.

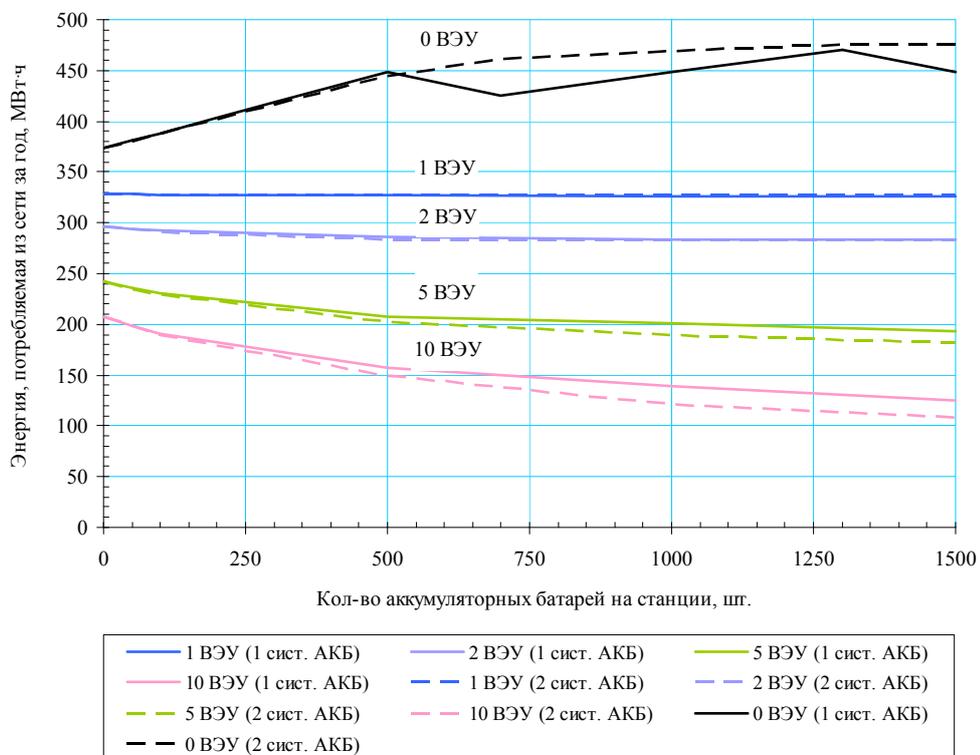


Рисунок 4.15 – ГЭК с ночной зарядной станцией. Установленная мощность ВЭУ – 60 кВт.

$\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества ветроэнергетических установок и АКБ.

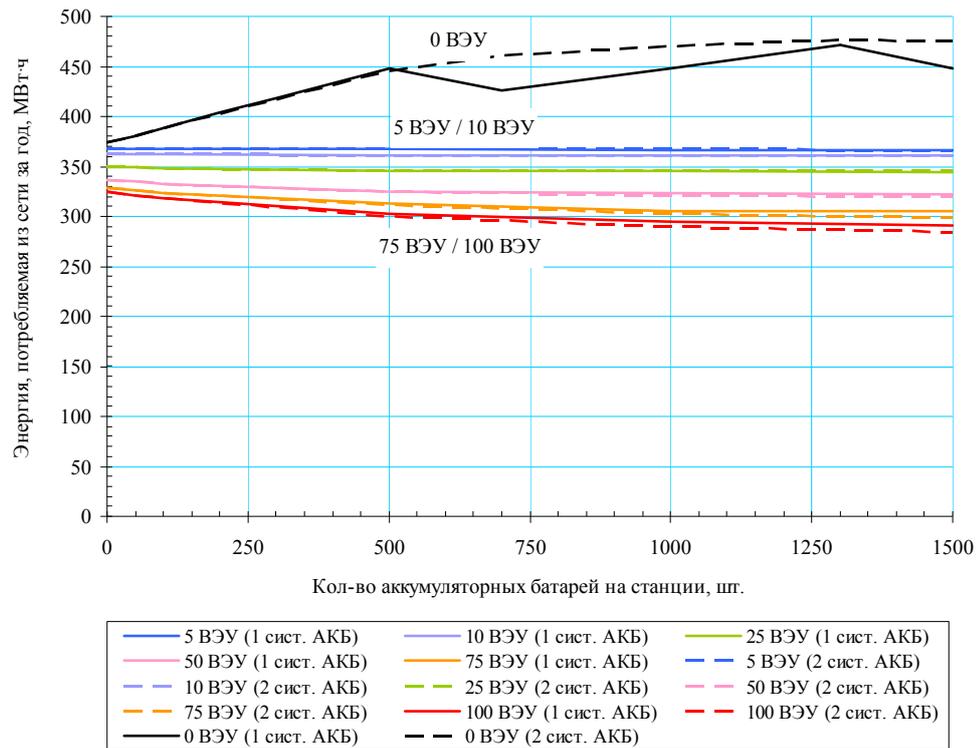


Рисунок 4.16 – ГЭК с ночной зарядной станцией. Установленная мощность ВЭУ – 12 кВт.

$\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества ветроэнергетических установок и АКБ.

Как уже было отмечено ранее, а также как это можно было заметить из представленных выше результатов, в диссертационной работе рассматриваются разные типы генерирующих установок. На рисунках 4.12, 4.15 и 4.16 приводятся результаты расчёта режимов работы гибридных энергетических комплексов, энергоснабжение которых осуществляется от ветроэлектрических установок с разной установленной мощностью. Согласно графикам с этих рисунков, при одинаковой мощности ВЭС (например, 2 ВЭУ 60 кВт и 10 ВЭУ 12 кВт) для энергоснабжения ГЭК эффективнее использовать небольшое количество ВЭУ с большой установленной мощностью, чем большое количество ВЭУ с меньшей установленной мощностью. Иногда это позволяет значительно снизить годовое энергопотребление из сети:

1. для ГЭК с ночной зарядной станцией – максимум на 181 МВт·ч при использовании 40 ВЭУ 30 кВт по сравнению со 100 ВЭУ 12 кВт (64%

- при 1500 АКБ, двух системах АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с); на 54 МВт·ч при использовании 10 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 20 ВЭУ 30 кВт (30% при 1500 АКБ, одной системе АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с); на 211 МВт·ч при использовании 10 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 50 ВЭУ 12 кВт (66% при 1500 АКБ, двух системах АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с);
2. для ГЭК с коммерческой зарядной станцией – максимум на 183 МВт·ч при использовании 40 ВЭУ 30 кВт по сравнению со 100 ВЭУ 12 кВт (65% при 1500 АКБ, двух системах АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с); на 55 МВт·ч при использовании 10 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 20 ВЭУ 30 кВт (31% при 1500 АКБ, одной системе АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с); на 214 МВт·ч при использовании 10 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 50 ВЭУ 12 кВт (67% при 1500 АКБ, двух системах АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с);
3. для ГЭК с дневной зарядной станцией – максимум на 183 МВт·ч при использовании 40 ВЭУ 30 кВт по сравнению со 100 ВЭУ 12 кВт (64% при 1500 АКБ, двух системах АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с); на 53 МВт·ч при использовании 10 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 20 ВЭУ 30 кВт (30% при 1500 АКБ, одной системе АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с); на 223 МВт·ч при использовании 15 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 75 ВЭУ 12 кВт (74% при 1500 АКБ, двух системах АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с).

Что же касается того, как количество аккумуляторных батарей в составе рассмотренных энергетических комплексов влияет на режимы работы этих комплексов, то соответствующие результаты приведены ниже, но только для ГЭК с ветроэлектрическими установками с установленной мощностью 60 кВт. Это решение связано с тем, что, согласно ранее приведенной информации, при одинаковой мощности ВЭС использовать ВЭУ 60 кВт с точки зрения снижения сетевого энергопотребления более эффективно, чем ВЭУ 30 кВт или ВЭУ 12 кВт. В свою очередь результаты по

ГЭК с ВЭУ 30 кВт и ВЭУ 12 кВт в работе было решено не приводить из-за большого объёма информации.

Согласно данным, полученным в ходе расчёта режимов работы гибридных энергетических комплексов (см. также рисунки 4.12-4.14 и ПЗ.6), можно отметить, что для ГЭК с:

1. ночной зарядной станцией и ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт при их количестве равном:
 - 1 шт. наибольшее снижение в сетевом энергопотреблении наблюдается при количестве АКБ, изменяющимся от 0 до 100 шт. Так оно может достигать 13 МВт·ч за год (7% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{V}_{\text{год}} \approx 7,2$ м/с). При этом здесь лучше всего использовать две системы аккумуляторных батарей. Дальнейшее увеличение количества АКБ уже не приводит к такому сильному снижению – максимум на 1,6 МВт·ч за год на 100 АКБ;
 - 2, 5 и 10 шт. наибольшее снижение наблюдается на участке от 0 до 500 АКБ. Здесь оно может достигать 12 МВт·ч за год (11% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{V}_{\text{год}} \approx 7,2$ м/с), 15 МВт·ч за год (8% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{V}_{\text{год}} \approx 3,5$ м/с) и 18 МВт·ч за год (9% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{V}_{\text{год}} \approx 2,6$ м/с) соответственно. Лучше всего использовать две системы АКБ. При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 2,5; 4 и 6 МВт·ч за год (для 2, 5 и 10 ВЭУ) на 100 АКБ;
2. коммерческой зарядной станцией и ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт при их количестве равном:
 - 1 шт. наибольшее снижение в сетевом энергопотреблении – на участке от 0 до 100 шт. Максимум – 11 МВт·ч за год (6% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{V}_{\text{год}} \approx 7,2$ м/с). Лучше всего

- использовать две системы аккумуляторных батарей. При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 1,2 МВт·ч за год на 100 АКБ;
- 2, 5 и 10 шт. наибольшее снижение – на участке от 0 до 500 АКБ. Максимум – 11 МВт·ч за год (10% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{V}_{\text{год}} \approx 7,2$ м/с), 13 МВт·ч за год (8% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{V}_{\text{год}} \approx 3,5$ м/с) и 17 МВт·ч за год (9% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{V}_{\text{год}} \approx 2,6$ м/с) соответственно. Лучше всего использовать две системы АКБ. При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 2, 3 и 5 МВт·ч за год (для 2, 5 и 10 ВЭУ) на 100 АКБ;
3. дневной зарядной станцией и ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт при их количестве равном:
- 1 шт. наибольшее снижение в сетевом энергопотреблении – на участке от 0 до 100 шт. Максимум – 13 МВт·ч за год (7% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{V}_{\text{год}} \approx 7,2$ м/с). Лучше всего использовать две системы аккумуляторных батарей. При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 2 МВт·ч за год на 100 АКБ;
 - 2, 5, 10, 15 и 20 шт. наибольшее снижение – на участке от 0 до 500 АКБ. Максимум – 11 МВт·ч за год (8% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{V}_{\text{год}} \approx 5,6$ м/с), 14 МВт·ч за год (8% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{V}_{\text{год}} \approx 3,5$ м/с), 17, 20 и 20 МВт·ч за год (9%, 11% и 11% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ, $\bar{V}_{\text{год}} \approx 2,6$ м/с) соответственно. Лучше всего использовать две системы АКБ. При дальнейшем увеличении количества АКБ

снижение энергопотребления – не более чем на 2, 3, 5, 6 и 6 МВт·ч за год (для 2, 5, 10, 15 и 20 ВЭУ) на 100 АКБ.

Для гибридных энергокомплексов на основе ВЭС, в состав которых входят станции замены аккумуляторных батарей, характерно всё то же, что было ранее сказано про аналогичные ГЭК, но работающие только от сети или ДЭС. Графики, соответствующие таким комплексам, приведены в Приложении 3 на рисунках ПЗ.7-ПЗ.10. Единственное что здесь следует отметить, так это, во-первых, каким образом на годовое энергопотребление из сети влияет использование ветроэлектрических установок с разной установленной мощностью:

1. для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей таксопарк, снижение сетевого энергопотребления может достигать 277 МВт·ч при использовании 40 ВЭУ 30 кВт по сравнению со 100 ВЭУ 12 кВт (91% при 1000 АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 3,5$ м/с); 92 МВт·ч при использовании 10 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 20 ВЭУ 30 кВт (84% при 1500 АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 3,5$ м/с); 335 МВт·ч при использовании 10 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 50 ВЭУ 12 кВт (95% при 1500 АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 3,5$ м/с);
2. для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк промышленного предприятия, снижение сетевого энергопотребления – максимум на 276 МВт·ч при использовании 20 ВЭУ 30 кВт по сравнению со 50 ВЭУ 12 кВт (55% при 1000 АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 4,5$ м/с); на 97 МВт·ч при использовании 10 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 20 ВЭУ 30 кВт (28% при 1500 АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 3,5$ м/с); на 340 МВт·ч при использовании 10 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 50 ВЭУ 12 кВт (57% при 1000 АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 3,5$ м/с);
3. для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк зоны отдыха, снижение сетевого энергопотребления – максимум на

265 МВт·ч при использовании 30 ВЭУ 30 кВт по сравнению со 75 ВЭУ 12 кВт (79% при 500 АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 3,5$ м/с); на 92 МВт·ч при использовании 10 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 20 ВЭУ 30 кВт (78% при 1000 АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 3,5$ м/с); на 335 МВт·ч при использовании 10 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 50 ВЭУ 12 кВт (93% при 1000 АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 3,5$ м/с);

4. для автономного ГЭК со станцией замены АКБ снижение сетевого энергопотребления – максимум на 157 МВт·ч при использовании 20 ВЭУ 30 кВт по сравнению со 50 ВЭУ 12 кВт (44% при 50 АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 3,5$ м/с); на 53 МВт·ч при использовании 5 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 10 ВЭУ 30 кВт (21% при 50 АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 3,5$ м/с); на 207 МВт·ч при использовании 5 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 25 ВЭУ 12 кВт (61% при 100 АКБ и $\bar{V}_{год} \approx 4,5$ м/с).

Во-вторых, следует отметить и то, как количество аккумуляторных батарей в составе рассмотренных энергетических комплексов влияет на режимы работы этих комплексов. Так, согласно полученным результатам для ГЭК со:

1. станцией замены АКБ, обслуживающей таксопарк, и ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт при их количестве равном:
 - 1 шт. наибольшее снижение в сетевом энергопотреблении наблюдается при количестве АКБ, изменяющимся от 12 до 50 шт. Так оно может достигать 28 МВт·ч за год (10% при 50 АКБ по сравнению с 12 АКБ, $\bar{V}_{год} \approx 7,2$ м/с). Дальнейшее увеличение количества АКБ уже не приводит к такому сильному снижению – максимум на 1,6 МВт·ч за год на 100 АКБ;
 - 2, 5, 10 и 15 шт. наибольшее снижение наблюдается на участке от 12 до 500 АКБ. Здесь оно может достигать 60 МВт·ч за год (36%

- при 50 АКБ по сравнению с 12 АКБ, $\bar{V}_{год} \approx 7,2$ м/с), 66, 85 и 95 МВт·ч за год (26%, 42% и 36% при 50 АКБ по сравнению с 12 АКБ, $\bar{V}_{год} \approx 3,5$ м/с) соответственно. При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 2 МВт·ч за год на 100 АКБ;
- 20 шт. наибольшее снижение – на участке от 12 до 100 АКБ. Максимум – 101 МВт·ч за год (40% при 50 АКБ по сравнению с 12 АКБ, $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с). При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 6 МВт·ч за год на 100 АКБ;
2. станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк промышленного предприятия, и ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт при их количестве равном:
- 1 шт. снижение в сетевом энергопотреблении может достигать всего 2 МВт·ч за год (0,1% при 50 АКБ по сравнению с 10 АКБ, $\bar{V}_{год} \approx 7,2$ м/с). Таким образом, в данном случае целесообразно использовать только минимально допустимое количество АКБ, а именно 10 шт.;
 - 2, 15 и 20 шт. наибольшее снижение в сетевом энергопотреблении – на участке от 10 до 50 шт. Максимум – 30 МВт·ч за год (11% при 50 АКБ по сравнению с 10 АКБ, $\bar{V}_{год} \approx 7,2$ м/с), 40 и 45 МВт·ч за год (10% и 12% при 50 АКБ по сравнению с 10 АКБ, $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с) соответственно. При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 1,6; 1,6 и 3 МВт·ч за год (для 5, 15 и 20 ВЭУ) на 100 АКБ;
 - 5 шт. наибольшее снижение – на участке от 10 до 500 АКБ. Максимум – 42 МВт·ч за год (27% при 50 АКБ по сравнению с

- 10 АКБ, $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2$ м/с). При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 1,6 МВт·ч за год на 100 АКБ;
- 10 шт. наибольшее снижение – на участке от 10 до 100 АКБ. Максимум – 45 МВт·ч за год (14% при 50 АКБ по сравнению с 10 АКБ, $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 3,5$ м/с). При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 1,6 МВт·ч за год на 100 АКБ;
3. станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк зоны отдыха, и ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт при их количестве равном:
- 1 шт. наибольшее снижение в сетевом энергопотреблении – на участке от 10 до 50 шт. Максимум – 73 МВт·ч за год (23% при 50 АКБ по сравнению с 10 АКБ, $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2$ м/с). При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 1,6 МВт·ч за год на 100 АКБ;
 - 2, 5 и 10 шт. наибольшее снижение – на участке от 10 до 500 АКБ. Максимум – 74 МВт·ч за год (40% при 50 АКБ по сравнению с 10 АКБ, $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2$ м/с), 86 МВт·ч за год (40% при 50 АКБ по сравнению с 10 АКБ, $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 4,5$ м/с) и 90 МВт·ч за год (44% при 50 АКБ по сравнению с 10 АКБ, $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 3,5$ м/с) соответственно. При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 2 МВт·ч за год на 100 АКБ;
 - 15 и 20 шт. наибольшее снижение – на участке от 10 до 100 АКБ. Максимум – 96 и 100 МВт·ч за год (37% и 40% при 50 АКБ по сравнению с 10 АКБ, $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 2,6$ м/с). При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение энергопотребления – не более чем на 5 и 6 МВт·ч за год (для 15 и 20 ВЭУ) на 100 АКБ;

Что же касается автономного гибридного энергокомплекса со станцией замены АКБ и ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт, то для него при количестве ВЭУ равном 1, 2, 5, 10 и 15 шт. наибольшее снижение в выработке ДЭС наблюдается при количестве АКБ, изменяющимся от 4 до 50 шт. Так оно может достигать 6, 22 МВт·ч за год (3% и 17% при 50 АКБ по сравнению с 4 АКБ, $\bar{V}_{год} \approx 7,2$ м/с), 22 МВт·ч за год (14% при 50 АКБ по сравнению с 4 АКБ, $\bar{V}_{год} \approx 4,5$ м/с), 13 и 16 МВт·ч за год (5% и 7% при 50 АКБ по сравнению с 4 АКБ, $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с) соответственно. При дальнейшем увеличении количества АКБ снижение выработки ДЭС – не более чем на 1,6 МВт·ч за год на 100 АКБ.

Как и в случае с энергетическими комплексами на основе ВЭС, включающими в себя зарядные станции, результаты для ГЭК со станциями замены АКБ и ВЭУ 30 и 12 кВт в работе было решено не приводить из-за большого объёма информации.

ГЭК с энергоснабжением от солнечной фотоэлектрической станции и ветряной электростанции (резервное энергоснабжение – от сети или дизельных электроустановок)

Для гибридных энергетических комплексов, энергоснабжение которых осуществляется как от СФЭС, так и от ВЭС, характерно всё то же, что ранее было сказано о ГЭК, работающих только от сети или ДЭС, о ГЭК только на основе СФЭС и о ГЭК только на основе ВЭС. Примеры графиков, соответствующих комплексам на основе СФЭС и ВЭС, представлены в Приложении 3 на рисунках ПЗ.11-ПЗ.17. Что же касается других результатов, то они в данной работе не приводятся в связи с их большим объёмом.

4.3. Экономическая оценка эффективности ГЭК

Как это уже было отмечено ранее, для того чтобы дать экономическую оценку эффективности гибридного энергетического комплекса необходимо знать его экономические показатели. Данный параграф посвящён расчёту таких показателей ГЭК, как чистый дисконтированный доход, индекс доходности и срок окупаемости.

Расчёт экономических показателей энергокомплексов в диссертационной работе осуществляется с помощью соответствующей программы (см. п. 4.1), в качестве исходных данных для которой используются результаты, полученные в ходе расчёта режимов работы ГЭК (см. п. 4.2).

Исходная информация для расчёта:

1. Тип, стоимость и срок службы рассматриваемого оборудования (основные данные представлены в таблице 4.3, более подробную информацию по оборудованию см. в Приложении 5);
2. Составы оборудования разных вариантов ГЭК;
3. Среднегодовые значения:
 - энергопотребления на собственные нужды ГЭК;
 - выработки всех генерирующих установок возобновляемой энергетики;
 - выработки дизельных электроустановок;
 - энергопотребления из сети в дневное и ночное время суток;
 - фактической выработки генерирующих установок, работающих от ВИЭ (здесь учитывается то, что часть установок может находиться в отключенном состоянии);
 - избыточной энергии, вырабатываемой всеми установками возобновляемой энергетики;

- фактической избыточной энергии, вырабатываемой генерирующими установками на основе ВИЭ (здесь учитывается то, что часть установок может находиться в отключенном состоянии);
 - расхода дизельного топлива на ДЭС;
 - расхода масла на ДЭС;
4. Тарифы на электроэнергию, дифференцированные по зонам суток: дневной – 4 руб. за кВт·ч, ночной – 1 руб. за кВт·ч;
 5. Стоимость дизельного топлива и масла для ДЭУ. В работе принимается равной 30 и 35 руб. за л. соответственно;
 6. Коэффициент дисконтирования – 10%;
 7. Налог на имущество (2% от стоимости ГЭК) и на прибыль (18%);
 8. Эксплуатационные издержки – 5% от стоимости комплекса;
 9. Коэффициент инфляции на дизельное топливо – 8% в год;
 10. Расчётный период принимается равным 20 годам.

Результирующая информация:

1. Оптимальный состав оборудования гибридного энергетического комплекса;
2. Значение чистого дисконтированного дохода (ЧДД), соответствующее оптимальному варианту ГЭК;
3. Значение индекса доходности (ИД);
4. Значение срока окупаемости капитальных вложений ($T_{ок.}$).

Таблица 4.3 – Основные данные по оборудованию.

Ветроэлектрические установки			
Марка ВЭУ	PW-30/14 (АВЭУ-30)	TW 60	PK-10
Стоимость, тыс. руб.	2460	4600	1000
Срок службы, лет	20	20	20
Солнечные модули			
Марка СМ	ТСМ-200В		
Стоимость, тыс. руб.	19		
Срок службы, лет	25		
Дизельные электроустановки			
Марка ДЭУ	ДГУ АД-30	ДГУ АД-60	
Стоимость, тыс. руб.	250	350	
Срок службы, лет	10	10	
Контроллеры для солнечных модулей			
Марка контроллера	MPPT контроллер Morning TriStar TS-MPPT-45		
Стоимость, тыс. руб.	22		
Срок службы, лет	10		
Аккумуляторные батареи			
Марка АКБ	RA12-260		
Стоимость, тыс. руб.	21		
Срок службы, лет	10		
Аккумуляторные батареи электромобилей			
Электромобиль	Chevrolet Volt		
Стоимость, тыс. руб.	100		
Срок службы, лет	10		
Зарядные устройства			
Марка зарядного устройства	CirCarLife CCL-QP-MIX		
Стоимость, тыс. руб.	1500		
Срок службы, лет	10		

Из всех трёх экономических показателей, которые могут быть получены в ходе данного расчёта, для последующей оценки эффективности гибридных энергокомплексов в работе используются только значения чистого дисконтированного дохода. Критерием эффективности при этом является положительное значение ЧДД. Примеры результатов расчёта экономических показателей ГЭК представлены в таблицах 4.4-4.6 и в таблицах П4.1-П4.6 Приложения 4. Приведённые в этих таблицах составы оборудования комплексов являются оптимальными для каждого из рассмотренных типов ресурсов возобновляемой энергетики и для каждого типа станций подзарядки.

К сожалению, при цене продаваемой электроэнергии, равной 1 руб. за кВт (такой тариф был задан по умолчанию), ни один из рассмотренных вариантов ГЭК, не окупается в течение расчётного периода в 20 лет (значения ЧДД меньше нуля). В связи с этим возникает необходимость в проведении дополнительных исследований, которые бы позволили определить, при каких условиях сооружение ГЭК со станциями подзарядки может быть экономически оправдано. Так в ходе одного из исследований изменяются тарифы на сетевую электроэнергию (для ГЭК, имеющих подключение к сети) и стоимость дизельного топлива (для автономных ГЭК). В ходе другого исследования осуществляется сравнение стоимости электрозарядки электромобилей со стоимостью заправки бензином обычных автомобилей. Результаты этих исследований приведены чуть ниже, сразу после анализа данных, представленных в таблицах 4.4-4.6 и П4.1-П4.6.

Из таблиц 4.4-4.6 и П4.1-П4.6 видно, что с точки зрения максимального значения ЧДД для энергетических комплексов, расположенных неподалёку от линий электропередачи, наиболее эффективными являются те варианты, в которых энергоснабжение ГЭК осуществляется только от сети. Это объясняется наименьшими капиталовложениями. Далее по эффективности идут комплексы, которые работают от ветроэлектрических станций и для которых электрическая сеть – резервный источник питания, а за ними – ГЭК, работающие от солнечных электростанций. Наименее эффективным является энергоснабжение гибридных энергокомплексов от ВЭС и СФЭС одновременно, так как в этом случае требуются наибольшие капиталовложения.

Таблица 4.4 – Результаты расчёта экономических показателей ГЭК с разными типами станций подзарядки.

$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{By}$	$\bar{V}_{Год}$	$n_{ВЭУ}$	$n_{СМ}$	$n_{АКБ}$	$n_{МРРТ}$	$n_{ЗУ}$	$\mathcal{E}_{СН}$	$\mathcal{E}_{ВЭС}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}$	$\mathcal{E}_{Сети}^Д$	$\mathcal{E}_{Сети}^Н$	$\mathcal{E}_{ВЭС}^Ф$	$\mathcal{E}_{СФЭС}^Ф$	$\mathcal{E}_{Изб.}^П$	$\mathcal{E}_{Изб.}^Ф$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
Вт/м ²	м/с	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	млн. руб	млн. руб	о.е.
Энергоснабжение станции осуществляется только от сети. В состав ГЭК входит ночная зарядная станция																		
-	-	0	0	0	0	1	21,96	0	0	225,5	147,9	0	0	0	0	1,5	-6,767	-3,511
В состав ГЭК входит коммерческая зарядная станция																		
-	-	0	0	0	0	1	21,96	0	0	290,7	82,6	0	0	0	0	1,5	-8,118	-4,412
В состав ГЭК входит дневная зарядная станция																		
-	-	0	0	0	0	2	21,96	0	0	293,2	80,1	0	0	0	0	3	-10,09	-2,363
В состав ГЭК входит станция замены АКБ, обслуживающая таксопарк																		
-	-	0	0	12	0	3	21,96	0	0	307,4	182,9	0	0	0	0	5,7	-13,85	-1,429
В состав ГЭК входит станция замены АКБ, обслуживающая автопарк промышленного предприятия																		
-	-	0	0	10	0	3	21,96	0	0	483,1	241,5	0	0	0	0	5,5	-17,25	-2,136
В состав ГЭК входит станция замены АКБ, обслуживающая автопарк зоны отдыха																		
-	-	0	0	10	0	3	21,96	0	0	366,0	124,3	0	0	0	0	5,5	-14,80	-1,692
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС (резервное энергоснабжение – от сети). В состав ГЭК входит ночная зарядная станция																		
191	-	0	500	0	84	1	21,96	0	150,9	146	145,9	0	100,7	45,3	0,092	25,67	-37,68	-0,468
В состав ГЭК входит коммерческая зарядная станция																		
191	-	0	500	0	84	1	21,96	0	150,9	180,6	80,6	0	138,5	11,2	0,058	25,67	-38,17	-0,487
В состав ГЭК входит дневная зарядная станция																		
191	-	0	500	0	84	2	21,96	0	150,9	177,6	78,1	0	145,3	5,1	0,032	27,17	-39,98	-0,471
В состав ГЭК входит станция замены АКБ, обслуживающая таксопарк																		
191	-	0	500	12	84	3	21,96	0	150,9	206,4	180,7	0	114,8	32,6	0,074	29,87	-44,23	-0,481
В состав ГЭК входит станция замены АКБ, обслуживающая автопарк промышленного предприятия																		
191	-	0	500	10	84	3	21,96	0	150,9	350,2	239,3	0	150,2	0,7	0,009	29,67	-46,75	-0,575
В состав ГЭК входит станция замены АКБ, обслуживающая автопарк зоны отдыха																		
191	-	0	500	10	84	3	21,96	0	150,9	275,9	123,6	0	101,0	45,0	0,042	29,67	-45,50	-0,533

Таблица 4.4 (Продолжение) – Результаты расчёта экономических показателей ГЭК с разными типами станций подзарядки.

$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год}$	$\bar{V}_{Год}$	$n_{ВЭУ}$	$n_{СМ}$	$n_{АКБ}$	$n_{МРРТ}$	$n_{ЗУ}$	$\mathcal{E}_{СН}$	$\mathcal{E}_{ВЭС}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}$	$\mathcal{E}_{Сети}^D$	$\mathcal{E}_{Сети}^H$	$\mathcal{E}_{ВЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Pi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Phi}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
Вт/м ²	м/с	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	млн. руб	млн. руб	о.е.
Энергоснабжение осуществляется от ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети). Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт.																		
В состав ГЭК входит ночная зарядная станция																		
-	7,2	1	0	0	0	1	21,96	127,2	0	153,8	116,5	127,2	0	0	0	7,28	-12,27	-0,686
В состав ГЭК входит коммерческая зарядная станция																		
-	7,2	1	0	0	0	1	21,96	127,2	0	219,1	51,3	127,2	0	0	0	7,281	-13,63	-0,872
В состав ГЭК входит дневная зарядная станция																		
-	7,2	1	0	0	0	2	21,96	127,2	0	221,6	48,8	127,2	0	0	0	8,781	-15,6	-0,776
В состав ГЭК входит станция замены АКБ, обслуживающая таксопарк																		
-	7,2	1	0	12	0	3	21,96	127,2	0	229,9	148,7	127,2	0	2,6	2,6	11,48	-19,25	-0,677
В состав ГЭК входит станция замены АКБ, обслуживающая автопарк промышленного предприятия																		
-	7,2	1	0	10	0	3	21,96	127,2	0	403,5	206,7	127,2	0	0	0	11,28	-22,59	-1,002
В состав ГЭК входит станция замены АКБ, обслуживающая автопарк зоны отдыха																		
-	7,2	1	0	10	0	3	21,96	127,2	0	302,0	103,6	127,2	0	29,6	29,6	11,28	-20,68	-0,833

Где: $n_{ВЭУ}$, $n_{СМ}$, $n_{АКБ}$, $n_{МРРТ}$, $n_{ЗУ}$ – количество ветроэнергетических установок, солнечных модулей, аккумуляторных батарей, устройств отбора максимальной мощности для солнечных модулей и зарядных устройств; $\mathcal{E}_{СН}$ – энергия, потребляемая собственными нуждами ГЭК за год; $\mathcal{E}_{ВЭС}$, $\mathcal{E}_{СФЭС}$ – годовая выработка ВЭС и СФЭС; $\mathcal{E}_{Сети}^D$, $\mathcal{E}_{Сети}^H$ – годовое энергопотребление из сети в ночное и дневное время суток; $\mathcal{E}_{ВЭС}^{\Phi}$, $\mathcal{E}_{СФЭС}^{\Phi}$ – фактическая годовая выработка ВЭС и СФЭС (с учётом отключения энергоустановок); $\mathcal{E}_{Изб.}^{\Pi}$ – избыточная энергия, вырабатываемая ВИЭ за год; $\mathcal{E}_{Изб.}^{\Phi}$ – фактическая избыточная энергия, вырабатываемая ВИЭ (с учётом отключения энергоустановок) за год; ЧДД – чистый дисконтированный доход; ИД – индекс доходности.

Таблица 4.5 – Результаты расчёта экономических показателей ГЭК с ночной зарядной станцией. Энергоснабжение осуществляется от ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети)

$\bar{\Xi}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год}$	$\bar{V}_{Год}$	$n_{ВЭУ}$	$n_{СМ}$	$n_{АКБ}$	$n_{МРРТ}$	$n_{ЗУ}$	$\Xi_{СН}$	$\Xi_{ВЭС}$	$\Xi_{СФЭС}$	$\Xi_{Сети}^D$	$\Xi_{Сети}^H$	$\Xi_{ВЭС}^{\Phi}$	$\Xi_{СФЭС}^{\Phi}$	$\Xi_{Изб.}^П$	$\Xi_{Изб.}^{\Phi}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
Вт/м ²	м/с	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	млн. руб	млн. руб	о.е.
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт																		
-	7,2	1	0	0	0	1	21,96	127,2	0	153,8	116,5	127,2	0	0	0	7,28	-12,27	-0,686
-	7,2	2	0	0	0	1	21,96	254,4	0	104,5	85,2	254,2	0	25	24,96	13,06	-18,42	-0,41
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт																		
-	7,2	1	0	0	0	1	21,96	273,4	0	96,1	79,2	273,4	0	26,1	26,1	12,31	-17,1	-0,389
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт																		
-	7,2	1	0	0	0	1	21,96	21,8	0	212,9	142,8	21,8	0	0	0	3,885	-9,603	-1,472
-	7,2	5	0	0	0	1	21,96	108,8	0	168,1	122,6	103,6	0	6,1	1,427	13,43	-21,11	-0,572

Таблица 4.6 – Результаты расчёта экономических показателей автономных ГЭК со станцией замены АКБ.

$\bar{\Xi}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год}$	$\bar{V}_{Год}$	$n_{ВЭУ}$	$n_{СМ}$	$n_{ДЭУ}$	$n_{АКБ}$	$n_{МРРТ}$	$n_{ЗУ}$	$\Xi_{СН}$	$\Xi_{ВЭС}$	$\Xi_{СФЭС}$	$\Xi_{ДЭС}$	$\Xi_{ВЭС}^{\Phi}$	$\Xi_{СФЭС}^{\Phi}$	$\Xi_{Изб.}^П$	$\Xi_{Изб.}^{\Phi}$	V_T	V_M	Кап. вл.	ЧДД	ИД
Вт/м ²	м/с	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	л	л	млн. руб	млн. руб	о.е.
Энергоснабжение осуществляется только от ДЭС																				
Для энергоснабжения ГЭК используются ДЭУ с установленной мощностью 30 кВт																				
-	-	0	0	2	4	0	1	215,2	0	0	449,4	0	0	0	0	154300	878,3	2,5	-51,11	-19,44
Для энергоснабжения ГЭК используются ДЭУ с установленной мощностью 60 кВт																				
-	-	0	0	1	4	0	1	215,2	0	0	449,4	0	0	0	0	102330	878,4	2,32	-34,27	-13,77
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС (резервное энергоснабжение – от ДЭС)																				
Для резервного энергоснабжения ГЭК используются ДЭУ с установленной мощностью 60 кВт																				
191	-	0	500	1	4	84	1	215,2	0	150,9	324	0	139,5	10,4	0,052	73715	688,1	26,49	-58,28	-1,2

Таблица 4.6 (Продолжение) – Результаты расчёта экономических показателей автономных ГЭК со станцией замены АКБ.

$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год}$	$\bar{V}_{Год}$	$n_{ВЭУ}$	$n_{СМ}$	$n_{ДЭУ}$	$n_{АКБ}$	$n_{МРРТ}$	$n_{ЗУ}$	$\mathcal{E}_{СН}$	$\mathcal{E}_{ВЭС}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}$	$\mathcal{E}_{ДЭС}$	$\mathcal{E}_{ВЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Pi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Phi}$	V_T	V_M	Кап. вл	ЧДД	ИД
Вт/м2	м/с	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	л	л	млн. руб	млн. руб	о.е.
Энергоснабжение осуществляется от ВЭС (резервное энергоснабжение - от ДЭС)																				
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. Для резервного энергоснабжения – ДЭУ с установленной мощностью 60 кВт																				
-	4,5	1	0	1	4	0	1	215,2	63,8	0	392,1	63,8	0	0	0	89198	833,9	8,101	-37,89	-3,678
-	5,8	1	0	1	4	0	1	215,2	94,6	0	364,4	94,6	0	0	0	82863	812,8	8,101	-35,84	-3,425
-	7,2	2	0	1	4	0	1	215,2	254,4	0	227,6	254,5	0	7,2	7,157	51786	454,5	13,88	-33,59	-1,42
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт. Для резервного энергоснабжения – ДЭУ с установленной мощностью 60 кВт																				
-	5,8	1	0	1	4	0	1	215,2	215,2	0	260,5	215,1	0	4,7	4,692	59277	542,4	13,13	-35,01	-1,666
-	7,2	1	0	1	4	0	1	215,2	273,4	0	211,1	273,4	0	7,7	7,7	48027	421,4	13,13	-31,34	-1,387
Для энергоснабжения используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт. Для резервного энергоснабжения – ДЭУ с установленной мощностью 60 кВт																				
-	7,2	1	0	1	4	0	1	215,2	21,8	0	429,8	21,8	0	0	0	97814	878,4	4,705	-36,06	-6,665
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС и ВЭС (резервное энергоснабжение - от ДЭС)																				
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. Для резервного энергоснабжения – ДЭУ с установленной мощностью 60 кВт																				
183	7,2	1	500	1	4	84	1	215,2	127,2	145,7	232,6	127,2	113,9	28,7	0,076	52884	508,9	32,27	-59,36	-0,839
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт. Для резервного энергоснабжения – ДЭУ с установленной мощностью 60 кВт																				
183	7,2	1	500	1	4	84	1	215,2	273,4	145,7	143,2	273,4	75,5	71	7,821	32577	298,3	37,3	-59,57	-0,597
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт. Для резервного энергоснабжения – ДЭУ с установленной мощностью 60 кВт																				
183	7,2	1	500	1	4	84	1	215,2	21,8	145,7	312,1	21,8	130,9	13,4	0,054	71012	686,8	28,88	-60,65	-1,1

В свою очередь, если отдельно рассмотреть варианты с ГЭК на основе ВЭС, состоящих из ветроэнергетических установок с разной установленной мощностью, то можно отметить, что при одной и той же суммарной мощности ВЭС для энергоснабжения энергокомплексов эффективнее использовать небольшое количество ВЭУ с большой установленной мощностью (1 ВЭУ 60 кВт), чем большое количество ВЭУ с меньшей установленной мощностью (2 ВЭУ 30 кВт или 5 ВЭУ 12 кВт) (см. таблицу 4.5). Также это относится и к автономным комплексам, включающим в себя дизельные электростанции с установками разной установленной мощности (см. таблицу 4.6).

Помимо всего прочего эффективность ГЭК так же зависит и от того, какой тип станции подзарядки входит в его состав. Для комплексов, имеющих подключение к сети, при одинаковом спросе на подзарядку в течение суток (40 электромобилей в сутки), наименее затратными с точки зрения больших значений ЧДД являются комплексы, которые в своём составе имеют ночную зарядную станцию. Это связано с тем, что у таких станций пик энергопотребления приходится на ночное время, таким образом, комплексы их включающие потребляют большую часть сетевой электроэнергии ночью по минимальному тарифу. В свою очередь ГЭК с коммерческой и дневной станциями больше электроэнергии потребляют днём по повышенному тарифу, в связи с чем значения ЧДД у этих комплексов меньше.

Что же касается гибридных энергокомплексов со станциями замены аккумуляторных батарей, то сравнивать их с ГЭК, включающими в себя зарядные станции, нельзя, так как спрос на обслуживание электромобилей в этом случае разный. Единственное здесь можно сравнить между собой ГЭК, со станциями замены, обслуживающими таксопарк и автопарк зоны отдыха, так как в обоих случаях на станциях подзарядается одинаковое количество аккумуляторов, а именно 80 АКБ в сутки. Так ГЭК, работающий на таксопарк, потребляет в ночное время суток больше сетевой электроэнергии,

а в дневное время меньше, чем ГЭК, работающий на зону отдыха. В связи с этим, по аналогии с зарядными станциями, у первого комплекса значения ЧДД выше, чем у второго.

Как уже было отмечено выше, ни один из вариантов состава оборудования ГЭК, приведенных в таблицах 4.4-4.6 и П4.1-П4.6, не окупается в течение рассматриваемого расчётного периода. В связи с этим в работе были проведены дополнительные расчёты, во время которых для гибридных энергокомплексов, имеющих подключение к электрической сети, изменялись тарифы на сетевую электроэнергию, а для автономных энергокомплексов изменялась стоимость дизельного топлива. В результате оказалось, что для того, чтобы рассмотренные ГЭК на основе возобновляемых источников энергии стали более эффективны, чем ГЭК, работающие только от сети, тарифы на электроэнергию должны вырасти более чем в 2 раза, что в ближайшее время маловероятно. В таблице 4.7 приведены результаты расчёта для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк промышленного предприятия. Соответствующие результаты, полученные для других типов гибридных энергокомплексов, приведены в таблицах П4.7-П4.12 (см. Приложение 4). Из всех рассматриваемых типов ВЭУ в вышеупомянутых таблицах было решено представить данные только по ВЭУ 60 кВт. Для ВЭУ 30 и 12 кВт результаты в работе не приводятся в связи с большим объёмом информации.

Таблица 4.7 – Оптимальные варианты состава оборудования для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк промышленного предприятия, в зависимости от стоимости сетевой электроэнергии.

$\Delta S_{\text{Эл.эн.}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{ДЭУ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
о.е.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от СФЭС (резервное энергоснабжение – от сети)							
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{By}} \approx 167 \text{ Вт/м}^2$							
4	0	1000	0	50	57,82	-201,3	-2,482
6	0	2000	0	50	106,1	-347,9	-2,277
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети). Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт							
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 5,8 \text{ м/с}$							
2	1	0	0	10	16,31	-57,68	-2,536
3	2	0	0	10	27,12	-92,57	-2,413
4	5	0	0	50	63,55	-132,7	-1,088
6	5	0	0	100	68,55	-194,9	-1,844
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от СФЭС и ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети). Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт							
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{By}} \approx 183 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2 \text{ м/с}$							
3	2	500	0	50	55,29	-95,94	-0,735
7	2	1000	0	50	79,44	-198,6	-1,500
8	2	1000	0	100	84,44	-225,5	-1,670

Где: $\Delta S_{\text{Эл.эн.}}$ – во сколько раз должна увеличиться стоимость электроэнергии, чтобы приведённый вариант состава оборудования стал более выгодным, чем вариант с ГЭК, работающим только от сети.

Сопоставив данных из таблиц 4.7 и П4.7-П4.12 можно отметить, что чем больше нагрузка гибридного энергетического комплекса, тем меньше значения $\Delta S_{\text{Эл.эн.}}$, при которых этот ГЭК будет более эффективным, чем ГЭК работающих только от сети. Так комплекс со станцией замены, работающий на промышленное предприятие, имеет наибольшую суточную нагрузку из всех рассмотренных типов ГЭК, в связи с чем значения $\Delta S_{\text{Эл.эн.}}$, полученные для этого комплекса являются наименьшими. Таким образом, можно

предположить, что при ещё большей суточной нагрузке комплексы на основе возобновляемых источников энергии уже при нынешних ценах на сетевую электроэнергию смогут составить конкуренцию комплексам, работающим только от сети, но только при условии больших среднегодовых значений прихода солнечного излучения и скорости ветра.

В свою очередь совсем иная ситуация обстоит с автономными гибридными энергетическими комплексами, работающими от ВЭС. Так по результатам расчётов было установлено, что такие комплексы уже сейчас вполне могут составить конкуренцию ГЭК, энергоснабжение которых осуществляется только от ДЭС, и даже быть более эффективны. К сожалению, этого же пока нельзя сказать о комплексах, работающих от СФЭС, и о ГЭК, работающих одновременно от СФЭС и ВЭС. На рисунке 4.17, а также в таблице П4.13 Приложения 4 представлены результаты расчётов, которые показывают, при каких условиях энергоснабжение автономных гибридных комплексов от ВЭС будет более эффективно с точки зрения максимального значения чистого дисконтированного дохода по сравнению с их энергоснабжением только от дизельных электроустановок. Из всех рассмотренных типов ВЭУ здесь также приводятся данные только по ВЭУ 60 кВт.

Согласно рисунку 4.17 для комплексов, расположенных на значительном удалении от населённых пунктов и линий электропередачи (стоимость дизельного топлива с учётом доставки превышает 100 руб. за л), ВЭС представляют большой интерес уже при среднегодовой скорости ветра 3-3,5 м/с. Для менее удалённых от ЛЭП районов ГЭК на основе ВЭС становятся актуальными уже при среднегодовой скорости ветра не менее 4,5 м/с.

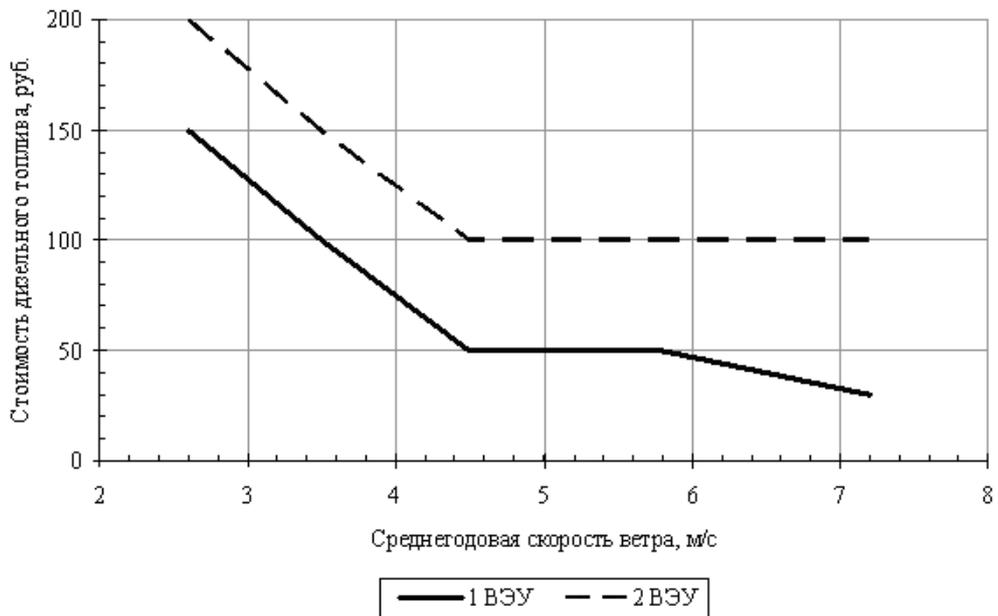


Рисунок 4.17 – Зависимость состава оборудования автономного ГЭК, основное энергоснабжение которого осуществляется от ВЭС, от стоимости дизельного топлива для ДЭС и среднегодовой скорости ветра. В состав ВЭС входят ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт, в состав ДЭС – 1 ДЭУ мощностью 60 кВт.

Другим способом оценки экономического эффекта применения гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии, включающих в свой состав разные типы станций подзарядки, является сравнение стоимости электрозарядки со стоимостью заправки бензином автомобилей. Для этого в ходе расчётов изменялась величина тарифа на продаваемую потребителям электроэнергию (по умолчанию тариф на электроэнергию был принят равным 1 руб. за кВт), что позволило определить для каждого из рассмотренных вариантов ГЭК такую стоимость электроэнергии, при которой бы эти комплексы окупались в течение расчётного периода. Результаты соответствующих расчётов для удобства были представлены в графическом виде, подразделены на несколько групп в зависимости от того, за счёт какого объекта (электрической сети или разного типа электроустановок) осуществляется энергоснабжение ГЭК, и приведены ниже. Кроме этого также см. рисунки П4.1-П4.12 в Приложении 4.

ГЭЖ с энергоснабжением только от сети или только от дизельных электроустановок

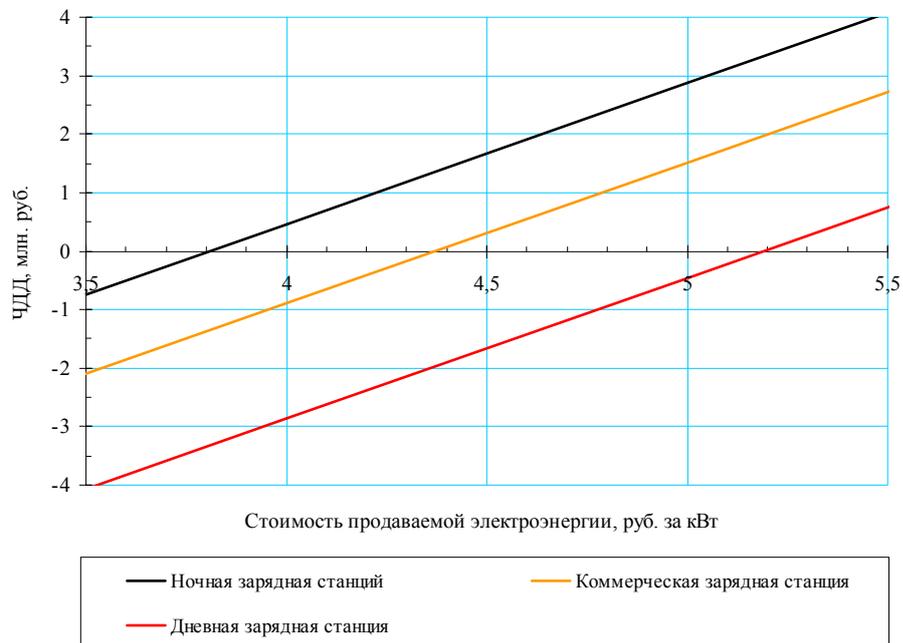


Рисунок 4.18 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии и типа зарядной станции, входящей в состав ГЭЖ.

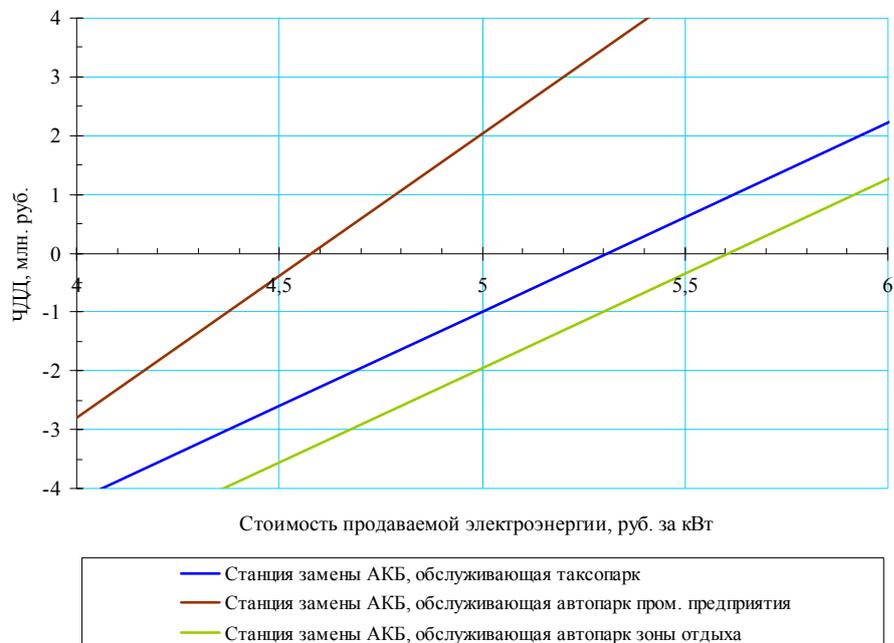


Рисунок 4.19 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии и типа станции замены АКБ, входящей в состав ГЭЖ.

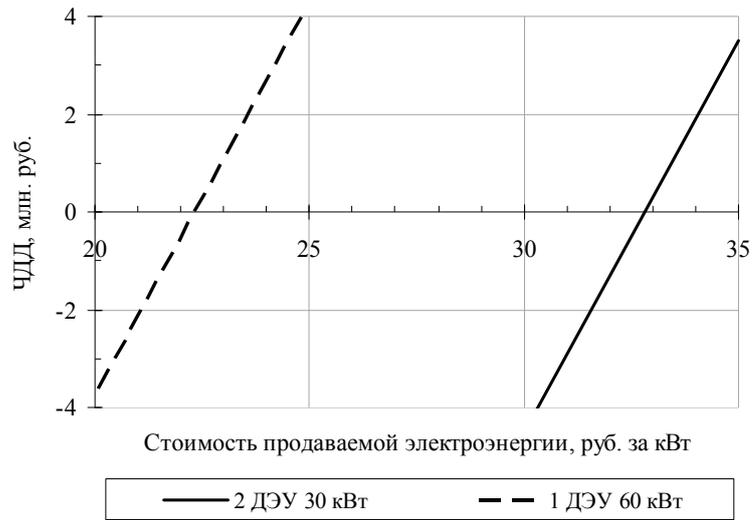


Рисунок 4.20 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, типа и количества ДЭУ, входящих в состав автономного ГЭК со станцией замены АКБ.

ГЭК с энергоснабжением от солнечной фотоэлектрической станции (резервное энергоснабжение – от сети или дизельных электроустановок)

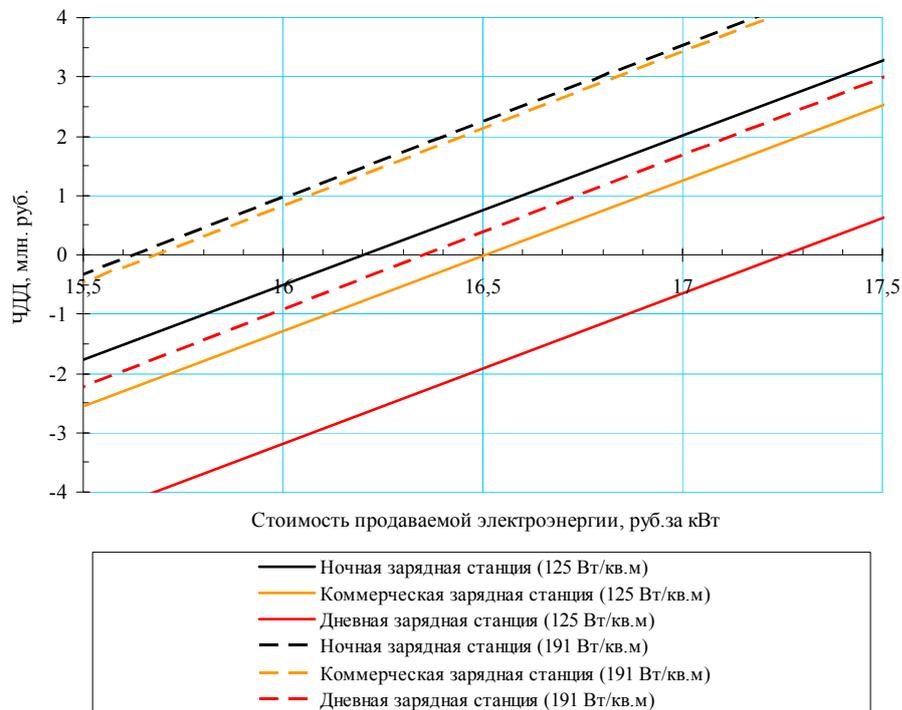


Рисунок 4.21 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодового прихода солнечного излучения и типа зарядной станции, входящей в состав ГЭК.

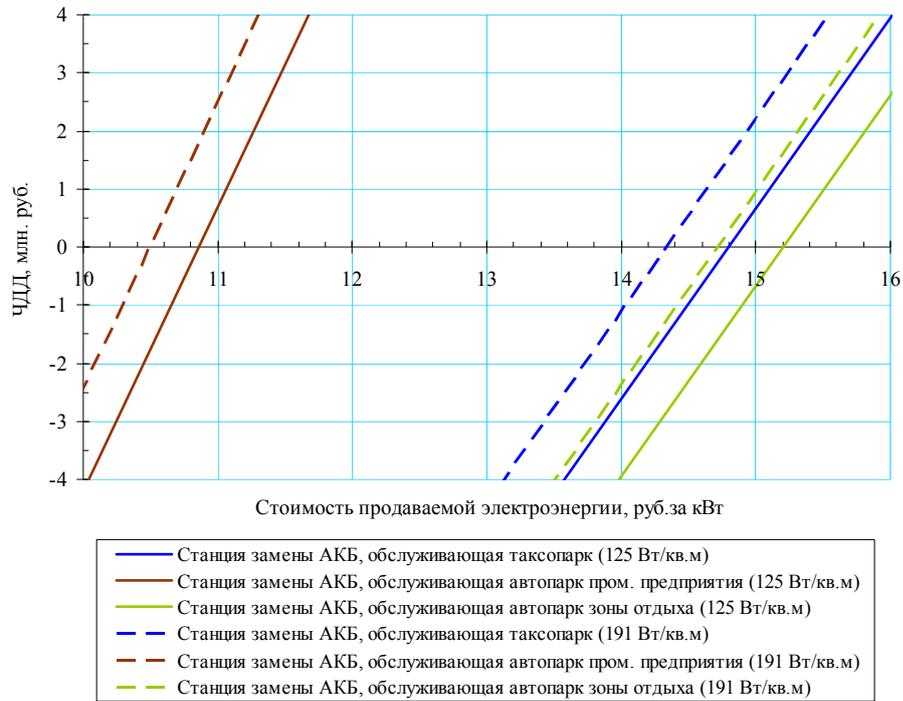


Рисунок 4.22 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодового прихода солнечного излучения и типа станции замены АКБ, входящей в состав ГЭК.

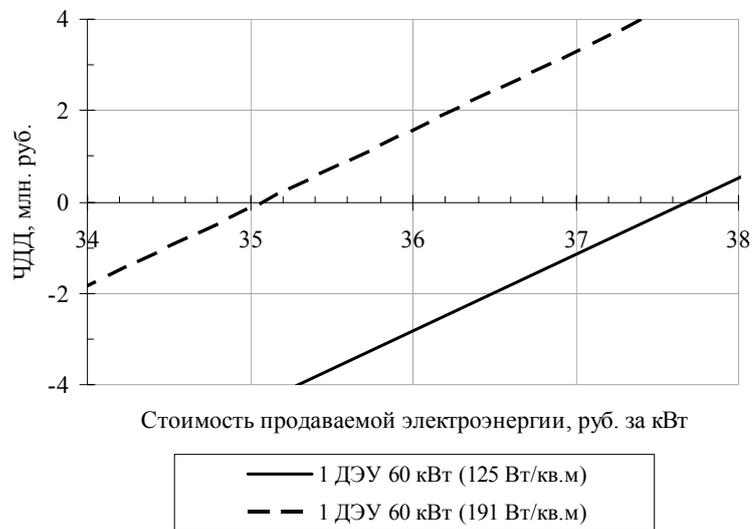


Рисунок 4.23 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии и среднегодового прихода солнечного излучения для автономного ГЭК со станцией замены АКБ.

ГЭЖ с энергоснабжением от ветряной электростанции (резервное энергоснабжение – от сети или дизельных электроустановок)

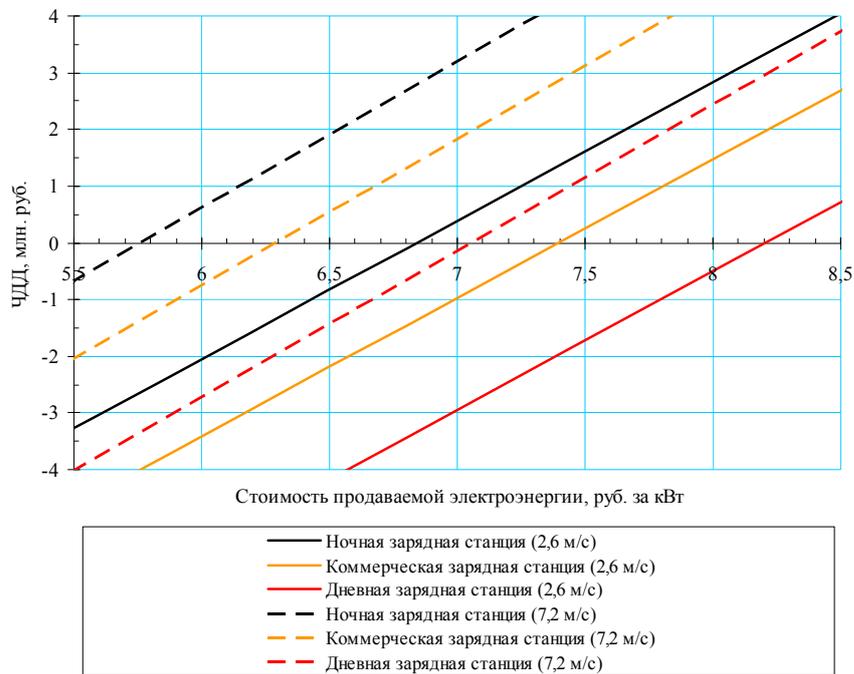


Рисунок 4.24 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодовой скорости ветра и типа зарядной станции, входящей в состав ГЭЖ. Для энергоснабжения ГЭЖ используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт.

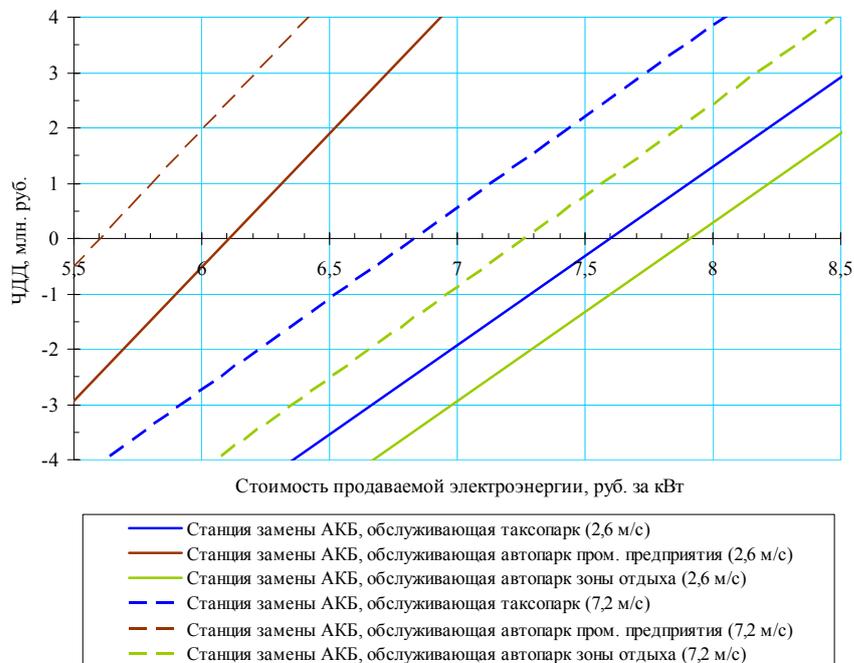


Рисунок 4.25 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодовой скорости ветра и типа станции замены АКБ, входящей в состав ГЭЖ. Для энергоснабжения ГЭЖ используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт.

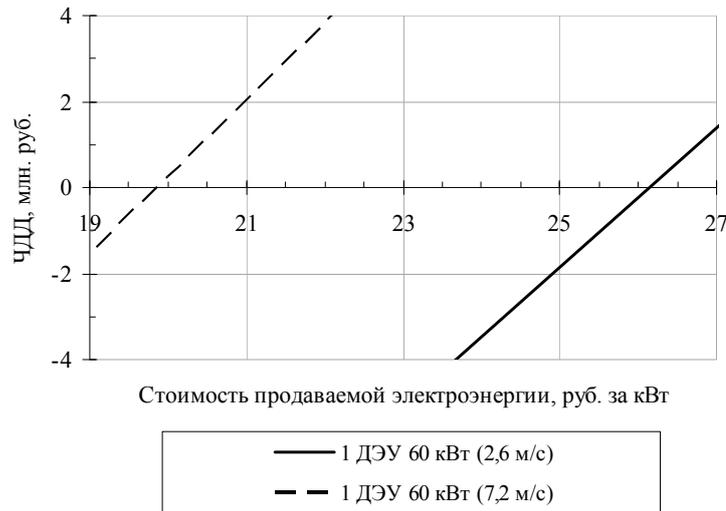


Рисунок 4.26 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии и среднегодовой скорости ветра для автономного ГЭК со станцией замены АКБ. Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт.

ГЭК с энергоснабжением от солнечной фотоэлектрической станции и ветряной электростанции (резервное энергоснабжение – от сети или дизельных электроустановок)

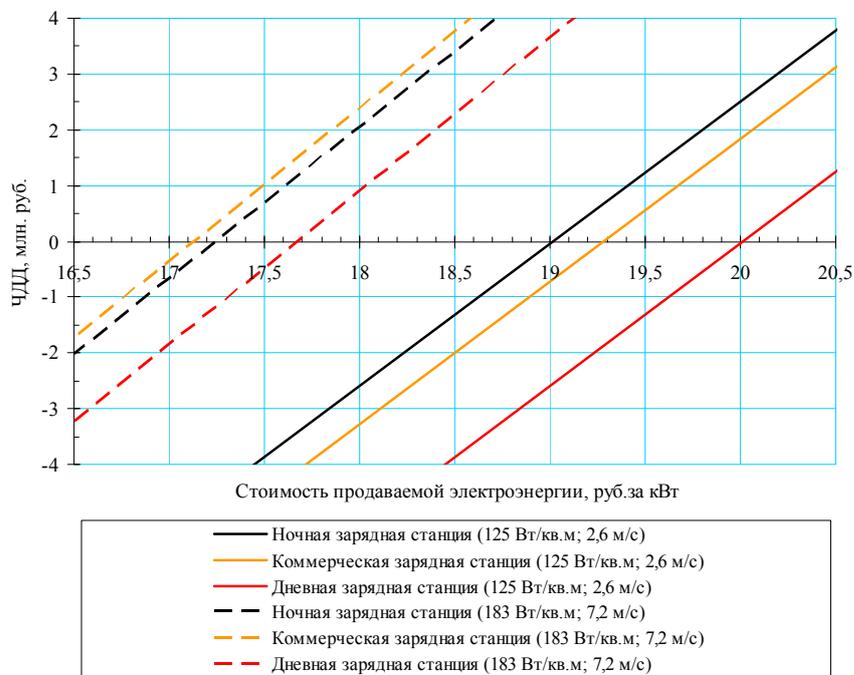


Рисунок 4.27 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодового прихода солнечного излучения, среднегодовой скорости ветра и типа зарядной станции, входящей в состав ГЭК. Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт.

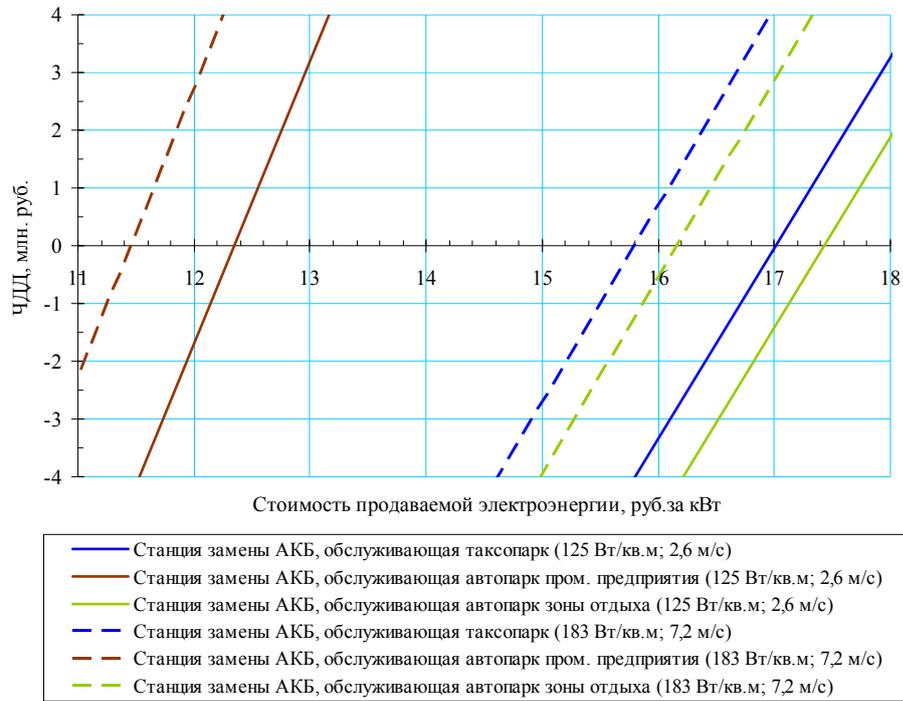


Рисунок 4.28 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодового прихода солнечного излучения, среднегодовой скорости ветра и типа станции замены АКБ, входящей в состав ГЭК. Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт.

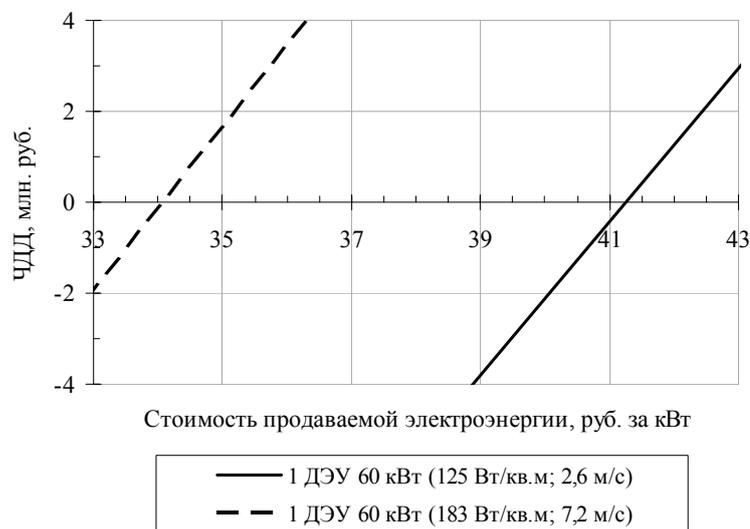


Рисунок 4.29 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодового прихода солнечного излучения и среднегодовой скорости ветра для автономного ГЭК со станцией замены АКБ. Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт.

На рисунках 4.18-4.29 и П4.1-П4.12 зона окупаемости ГЭК соответствует значениям $ЧДД \geq 0$, причём чем больше значение ЧДД, тем меньше времени нужно комплексу, чтобы окупиться. Равенство чистого дисконтированного дохода нулю в свою очередь соответствует сроку окупаемости в 20 лет.

Для легковых автомобилей расход топлива на 100 км пробега составляет порядка 8-10 л, что эквивалентно стоимости в 250-315 руб. для бензина А-95 и около 260-320 руб. для дизельного топлива [112]. Электромобили типа Nissan Leaf, согласно тестам Агентства по охране окружающей среды США, потребляют 21 кВт·ч на 100 км пробега [113]. Гибридные электромобили типа Chevrolet Volt, согласно [114], на 160 км пробега потребляют 39 кВт·ч. В пересчёте на 100 км это соответствует энергопотреблению в 23 кВт·ч. Таким образом, перемножив эти значения энергопотребления электромобилей со значениями тарифов на продаваемую электроэнергию (см. рисунки 4.18-4.29 и П4.1-П4.12), в итоге были получены следующие результаты:

1. Сетевые ГЭК с зарядными станциями окупаются за расчётный период в 20 лет при стоимости продаваемой электроэнергии равной 3,8-5,2 руб. за кВт. В пересчёте на 100 км пробега затраты на электроэнергию для автовладельцев Nissan Leaf составят 80-110 руб., для владельцев Chevrolet Volt – 87-120 руб.;
2. Сетевой ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей таксопарк электромобилей, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной 5,3 руб. за кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt при такой стоимости обойдётся в 122 руб.;
3. Сетевой ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк промышленного предприятия, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной 4,6 руб. за кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt при такой стоимости обойдётся в 106 руб.;

4. Сетевой ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк зоны отдыха, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной 5,6 руб. за кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt при такой стоимости обойдётся в 129 руб.;
5. Автономный ГЭК со станцией замены АКБ, работающий только от ДЭС, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной 22 руб. за кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt при такой стоимости обойдётся в 510 руб.;
6. ГЭК, в состав которых входят зарядные станции и СФЭС, окупаются за расчётный период в 20 лет при стоимости продаваемой электроэнергии равной 15,6-17,3 руб. за кВт. Подзарядка электромобиля Nissan в этом случае будет стоить 328-363 руб., Chevrolet – 360-398 руб.;
7. ГЭК, в состав которого входит станция замены АКБ, обслуживающая таксопарк, и СФЭС, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной 14,3-14,8 руб. за кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt при такой стоимости обойдётся в 329-340 руб.;
8. ГЭК, в состав которого входит станция замены АКБ, обслуживающая автопарк промышленного предприятия, и СФЭС, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной 10,5-10,9 руб. за кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt при такой стоимости обойдётся в 242-251 руб.;
9. ГЭК, в состав которого входит станция замены АКБ, обслуживающая автопарк зоны отдыха, и СФЭС, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной 14,7-15,2 руб. за кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt при такой стоимости обойдётся в 338-350 руб.;
10. Автономный ГЭК со станцией замены АКБ, работающий от СФЭС и ДЭС, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной 35-37,6 руб. за кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt при этом будет стоить 805-865 руб.;

11. ГЭК, в состав которых входят зарядные станции и ВЭС, окупаются за расчётный период в 20 лет при стоимости продаваемой электроэнергии равной:
- 5,7-8,2 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. Подзарядка Nissan в этом случае будет стоить – 120-172 руб., Chevrolet – 130-190 руб.;
 - 7,2-10,5 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт. Подзарядка Nissan – 150-220 руб., Chevrolet – 166-240 руб.;
 - 4,9-6,5 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт. Подзарядка Nissan – 103-137 руб., Chevrolet – 113-150 руб.;
12. ГЭК, в состав которого входит станция замены АКБ, обслуживающая таксопарк, и ВЭС, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной:
- 6,8-7,6 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt – 156-175 руб.;
 - 8-9,4 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt – 184-216 руб.;
 - в среднем 6,2 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt – 143 руб.;
13. ГЭК, в состав которого входит станция замены АКБ, обслуживающая автопарк промышленного предприятия, и ВЭС, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной:
- 5,6-6,1 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt – 129-140 руб.;

- 6,3-7,3 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt – 145-168 руб.;
 - в среднем 5,2 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt – 120 руб.;
14. ГЭК, в состав которого входит станция замены АКБ, обслуживающая автопарк зоны отдыха, и ВЭС, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной:
- 7,3-7,9 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt – 168-182 руб.;
 - 8,5-9,8 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt – 196-225 руб.;
 - в среднем 6,5 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt – 150 руб.;
15. Автономный ГЭК со станцией замены АКБ, работающий от ВЭС и ДЭС, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной:
- 19,7-26,2 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt – 453-603 руб.;
 - 18,4-28,4 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt – 423-653 руб.;
 - 23,2-24,3 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt – 534-560 руб.;
16. ГЭК, в состав которых входят зарядные станции, СФЭС и ВЭС, окупаются за расчётный период в 20 лет при стоимости продаваемой электроэнергии равной:

- 17-20 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. Подзарядка Nissan в этом случае будет стоить – 357-420 руб., Chevrolet – 390-460 руб.;
 - 18-22 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт. Подзарядка Nissan – 378-462 руб., Chevrolet – 414-506 руб.;
 - 16,6-18,6 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт. Подзарядка Nissan – 350-390 руб., Chevrolet – 382-428 руб.;
17. ГЭК, в состав которого входит станция замены АКБ, обслуживающая таксопарк, СФЭС и ВЭС, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной:
- 15,8-17 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt – 363-390 руб.;
 - 16,8-18,8 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt – 386-432 руб.;
 - 15,2-15,8 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt – 350-363 руб.;
18. ГЭК, в состав которого входит станция замены АКБ, обслуживающая автопарк промышленного предприятия, СФЭС и ВЭС, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной:
- 11,4-12,4 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt – 262-285 руб.;
 - 12,2-13,6 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt – 281-313 руб.;

- 11,1-11,5 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt – 255-265 руб.;
19. ГЭЖ, в состав которого входит станция замены АКБ, обслуживающая автопарк зоны отдыха, СФЭС и ВЭС, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной:
- 16,2-17,4 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt – 373-400 руб.;
 - 17,2-19,2 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt – 396-442 руб.;
 - 15,5-16,2 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt – 357-373 руб.;
20. Автономный ГЭЖ со станцией замены АКБ, работающий от СФЭС, ВЭС и ДЭС, окупается за 20 лет при стоимости электроэнергии равной:
- 34-41,3 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. Подзарядка аккумулятора Chevrolet Volt – 782-950 руб.;
 - 32,4-43,3 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt – 745-996 руб.;
 - 36,2-39,5 руб. за кВт – при использовании ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт. Подзарядка АКБ Chevrolet Volt – 833-908 руб.

На основании полученных данных можно отметить, что в районах, охваченных сетью централизованного электроснабжения, наиболее выгодно подзаряжать электромобили на зарядных станциях ГЭЖ, работающих только от сети – стоимость зарядки в этом случае минимальна (80-120 руб.). Однако, несмотря на очевидную эффективность сетевой подзарядки, в таких районах могут быть также эффективны и энергетические комплексы, работающие от

возобновляемых источников энергии. Так, даже при небольшой среднегодовой скорости ветра (от 2,5 м/с), подзарядка электромобиля на зарядной станции ГЭК на основе ВЭС обойдётся значительно дешевле (от 103 до 240 руб.), чем заправка обычного автомобиля на автозаправочной станции (250-315 руб.). В свою очередь при скорости ветра более 7 м/с такие комплексы могут даже составить конкуренцию сетевым зарядным станциям – стоимость подзарядки электромобиля в этом случае составляет в среднем 110 руб.

Гибридные энергокомплексы на основе СФЭС также могут быть эффективны в районах централизованного энергоснабжения, но только если для этих районов характерны высокие значения среднегодового прихода солнечного излучения (от 190 Вт/м²). В этом случае стоимость подзарядки электромобиля на зарядной станции почти эквивалентна стоимости заправки обычного авто – минимум 328 руб. Что же касается зарядных станций ГЭК на основе СФЭС и ВЭС, то они пока не эффективны для подзарядки электромобилей – тарифы на подзарядку в этом случае получаются выше чем у ГЭК, работающих только от СФЭС, и гораздо выше чем у комплексов, работающих только от ВЭС.

Для подзарядки аккумуляторных батарей корпоративных электромобилей, входящих в состав, например, таксопарков, автопарков промышленных предприятий, зон отдыха и т.д., также наиболее выгодно использовать комплексы, работающие только от сети – зарядка аккумулятора одного электромобиля здесь будет стоить 106-129 руб. Причём чем больше суточная нагрузка таких комплексов, тем меньше итоговая стоимость подзарядки АКБ. Что же до ГЭК на основе ВЭС и ГЭК на основе СФЭС, то они тоже хорошо подходят для этих целей (в особенности первые), даже если и для места их размещения характерны малые значения среднегодовой скорости ветра и среднегодового прихода СИ (от 2,6 м/с и от 125 Вт/м² соответственно). Стоимость подзарядки АКБ в этом случае может составлять 120-220 руб. для комплексов с ВЭС и 242-350 руб. для комплексов с СФЭС.

В отличие от гибридных энергетических комплексов с зарядными станциями использование одновременно и СФЭС и ВЭС для энергоснабжения станций замены АКБ, обслуживающих корпоративные автопарки, также является эффективным, но только тогда, когда комплексы, включающие эти станции, имеют большую суточную нагрузку. В качестве примера здесь можно привести вариант с ГЭК со станцией замены, обслуживающей автопарк промышленного предприятия, где стоимость подзарядки одной АКБ изменяется от 255 до 313 руб. К тому же крупные компании вполне могут позволить себе вложить деньги в такого рода проекты, которые потом будут окупаться как за счёт экономии на топливе, так и за счёт использования избыточной мощности ВИЭ в целях компаний (в проведенных расчётах избыточная мощность не использовалась).

В свою очередь, как это уже отмечалось ранее, для автономных энергокомплексов со станцией замены АКБ, расположенных в районах, удалённых от линий электропередачи, использовать ВЭС уже сейчас может быть более эффективно, чем использовать ДЭС. Полученные выше данные лишь подтверждают это. Так при среднегодовой скорости ветра 5 м/с, зарядка АКБ от автономного ГЭК с ВЭС будет стоить 420-500 руб., что дешевле или почти эквивалентно подзарядке АКБ от ГЭК с ДЭС (510 руб. при стоимости дизельного топлива с учётом доставки, равной 30 руб. за л). Что же касается СФЭС, а также комплекса из СФЭС и ВЭС, то такие станции и их комплексы пока не эффективны для энергоснабжения автономных ГЭК со станциями замены.

В заключение следует отметить, что гибридные энергетические комплексы на основе станций подзарядки электрических транспортных средств и возобновляемых источников энергии, сегодня только начинают появляться. Их количество в мире пока не велико, а в России такие комплексы вообще отсутствуют. Кроме этого они пока менее эффективны, чем станции подзарядки, работающие только от сети. Однако, несмотря на это, согласно проведенным исследованиям, подзарядка аккумуляторных

батареями электромобилей на станциях, работающих от ВИЭ, обойдётся всё же значительно дешевле, чем заправка обычных автомобилей на АЗС, что в свою очередь не должно помешать популяризации электрических транспортных средств. А учитывая актуальность комплексов на основе станций подзарядки и ВИЭ с точки зрения экологии, экономии ископаемых видов топлива, энергобезопасности и энергонезависимости, а также того, что со временем цены на сетевую электроэнергию и дизельное топливо будут расти, а соответствующие технологии развиваться, можно с уверенностью сказать, что такие ГЭК будут становиться только привлекательнее. Особенно это касается районов, удалённых от населённых пунктов и линий электропередачи. К тому же следует также иметь в виду и возможную поддержку со стороны государства, которая в итоге может сильно повлиять на развитие таких энергокомплексов.

4.4. Выводы по главе

1. Для гибридных энергетических комплексов, работающих только от сети и включающих станцию подзарядки, наибольшее снижение в дневном энергопотреблении (за счёт перераспределения электроэнергии в течение суток) наблюдается при количестве аккумуляторных батарей, изменяющимся от 0 до 700 шт. для зарядной станции и от минимально допустимого количества до 50 АКБ для станции замены аккумуляторных батарей. В первом случае (для зарядной станции) каждое увеличение количества АКБ на 100 шт. снижает годовое дневное энергопотребление из сети в среднем на 32 МВт·ч (до 37% при 500 АКБ по сравнению с 400 АКБ для ГЭК с зарядной станцией с пиком энергопотребления в ночное время). В случае со станцией замены снижение дневного сетевого энергопотребления может достигать 164 МВт·ч за год (до 45% при

50 АКБ по сравнению с 10 АКБ для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк зоны отдыха);

2. Для сетевых (имеющих подключение к электрической сети) энергетических комплексов, работающих от солнечной фотоэлектрической станции и включающих станцию подзарядки, наибольшее снижение в энергопотреблении из сети наблюдается при количестве аккумуляторных батарей, изменяющимся от 0 до 500 шт. для зарядной станции и от минимального допустимого количества до 50 АКБ для станции замены АКБ. При этом указанные диапазоны не зависят от количества солнечных модулей в составе СФЭС и типа станции подзарядки. Так, в случае с зарядной станцией снижение сетевого энергопотребления может достигать 30 МВт·ч за год на 100 АКБ (до 12% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ для ГЭК с 2000 СМ и зарядной станцией с пиком энергопотребления в ночное время, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ год}}^{\beta\gamma} \approx 183 \text{ Вт/м}^2$). В случае со станцией замены АКБ снижение энергопотребления – максимум на 186 МВт·ч за год (до 59% при 50 АКБ по сравнению с 12 АКБ для ГЭК с 5000 СМ и станцией замены АКБ, обслуживающей таксопарк, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ год}}^{\beta\gamma} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$).

В свою очередь для автономных гибридных энергокомплексов, работающих только от дизельной электростанции или от СФЭС и ДЭС и включающих станцию замены аккумуляторных батарей, оптимальным количеством АКБ является минимально допустимое количество. Для рассмотренного в данной работе автономного комплекса это количество равно 4 АКБ;

3. Для сетевых энергокомплексов, работающих от ветряной электростанции и включающих зарядную станцию, наибольшее снижение в энергопотреблении из сети наблюдается при количестве аккумуляторных батарей, изменяющимся от 0 до 100 шт. для одной ВЭУ в составе ВЭС и от 0 до 500 АКБ для двух и более ВЭУ в составе

ВЭС. При этом указанные диапазоны не зависят от типа зарядной станции. Так, в первом случае (с одной ВЭУ) снижение сетевого энергопотребления может достигать 13 МВт·ч за год на 100 АКБ (до 7% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ для ГЭК с зарядной станцией с пиком энергопотребления в ночное время, $\bar{V}_{год} \approx 7,2$ м/с). Во втором случае (с двумя и более ВЭУ) снижение энергопотребления – максимум на 20 МВт·ч за год на 100 АКБ (до 11% при 100 АКБ по сравнению с 0 АКБ для ГЭК с 20 ВЭУ 60 кВт и зарядной станцией с пиком энергопотребления в дневное время, $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с).

У сетевых ГЭК с ВЭС и станцией замены АКБ, в свою очередь, энергопотребление из сети сильно зависит как от количества ветроэлектрических установок в составе ВЭС, так и от того, для нужд какого объекта используется комплекс. В связи с этим наибольшее снижение в сетевом энергопотреблении здесь может наблюдаться как при количестве аккумуляторных батарей, изменяющимся в диапазоне от минимально допустимого количества АКБ до 50 шт., так и в диапазоне с верхним пределом в 100 и даже в 500 АКБ. Более конкретную информацию см. в п. 4.2;

Для автономных ГЭК с ВЭС, ДЭС и станцией замены АКБ оптимальное количество аккумуляторных батарей с точки зрения снижения выработки ДЭС и, следовательно, расхода топлива может изменяться в диапазоне от 4 до 50 АКБ в независимости от количества ВЭУ в составе ВЭС. При этом снижение выработки ДЭС может достигать 22 МВт·ч за год (до 17% при 50 АКБ по сравнению с 4 АКБ для ГЭК с 2 ВЭУ 60 кВт, $\bar{V}_{год} \approx 7,2$ Вт/м²);

4. При одинаковой мощности ветряных или дизельных электростанций для энергоснабжения гибридных энергокомплексов эффективнее использовать небольшое количество электроустановок с большой установленной мощностью, чем большее количество электроустановок

с маленькой установленной мощностью. Это позволяет существенно снизить энергопотребление из сети или расход дизельного топлива и, следовательно, уменьшить себестоимость вырабатываемой электроэнергии. Так, в случае с сетевыми ГЭК, работающими от ВЭС, снижение энергопотребления из сети может достигать 340 МВт·ч за год (до 57% при использовании 10 ВЭУ 60 кВт по сравнению с 50 ВЭУ 12 кВт для ГЭК с 1000 АКБ и станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк промышленного предприятия, $\bar{V}_{\text{год}} \approx 3,5$ м/с). В случае с автономными ГЭК, работающими от ДЭС, снижение расхода дизельного топлива составляет 35% (при использовании 1 ДЭУ 60 кВт по сравнению с 2 ДЭУ 30 кВт);

5. В составе энергокомплексов, имеющих подключение к электрической сети, наиболее эффективно с точки зрения максимума чистого дисконтированного дохода использовать зарядные станции или станции замены аккумуляторных батарей, пик энергопотребления которых приходится на вечернее-ночное время суток. Станции подзарядки с пиком энергопотребления в утреннее-дневное время здесь соответственно менее эффективны;
6. С точки зрения максимума ЧДД для районов, охваченных сетью централизованного электроснабжения, наиболее эффективными являются комплексы, работающие только от электрической сети. Далее по эффективности идут комплексы, работающие от ВЭС, а за ними – ГЭК, работающие от СФЭС. Наименее эффективны гибридные энергокомплексы, работающие одновременно и от СФЭС, и от ВЭС. Несмотря на очевидное превосходство сетевой подзарядки, ГЭК на основе возобновляемых источников энергии также могут быть эффективны в таких районах. Так, если сравнить стоимость электрочарядки со стоимостью заправки бензином автомобилей, то можно отметить, что:

- ГЭК, работающие от ВЭС и включающие зарядную станцию, могут быть эффективны уже при среднегодовой скорости ветра от 2,5 м/с. Подзарядка электромобилей от зарядной станции в этом случае будет обходиться значительно дешевле (от 105 до 240 руб.), чем заправка обычных авто (250-315 руб.). В свою очередь при среднегодовой скорости ветра более 7 м/с такие комплексы вполне могут составить конкуренцию комплексам, работающим только от сети. Электрозарядка от зарядной станции ГЭК на основе ВЭС здесь будет стоить 105 руб., что почти эквивалентно стоимости подзарядки от сети (80-120 руб. в зависимости от типа зарядной станции);
- ГЭК, работающие от СФЭС и включающие зарядную станцию, могут быть эффективны только при высоких значениях среднегодового прихода солнечного излучения – более 190 Вт/м². Стоимость подзарядки от зарядной станции (около 330 руб.) здесь почти эквивалентна заправке обычного автомобиля на АЗС (315 руб.);
- ГЭК, работающие от ВЭС или СФЭС и включающие станцию замены аккумуляторных батарей, могут быть эффективны даже при малых значениях среднегодовой скорости ветра или среднегодового прихода СИ – от 2,5 м/с и от 125 Вт/м² соответственно. Такие комплексы хорошо подходят для обслуживания автопарков крупных компаний, предприятий, зон отдыха и т.д. Стоимость подзарядки АКБ в этом случае может составлять 120-225 руб. и 240-350 руб.;
- ГЭК, работающие одновременно и от ВЭС, и от СФЭС, также могут быть эффективны при малых значениях среднегодовой скорости ветра или среднегодового прихода СИ (от 2,5 м/с и от 125 Вт/м² соответственно), но только в том случае, если они, во-первых, включают в себя станцию замены АКБ, а во-вторых,

работают на объекты (компании, предприятия, зоны отдыха и т.д.) с большим автопарком (более 100 замен АКБ в сутки). Стоимость электрозарядки здесь может изменяться от 255 до 315 руб.;

7. С точки зрения максимума ЧДД для районов, расположенных на значительном удалении от линий электропередачи (стоимость дизельного топлива с учётом доставки превышает 100 руб. за л), гибридные энергетические комплексы, работающие от ВЭС и включающие станцию замены аккумуляторных батарей, могут быть более эффективны, чем ГЭК, работающие только от ДЭС, уже при среднегодовых скоростях, превышающих 3 м/с. Для не столь удалённых от ЛЭП районов ГЭК на основе ВЭС становятся актуальными уже при среднегодовых скоростях ветра, равных 4,5 м/с и более. СФЭС, а также комплексы из ВЭС и СФЭС, в свою очередь не эффективны для энергоснабжения автономных ГЭК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы были решены все поставленные задачи, что в итоге позволило сделать следующие выводы по использованию гибридных энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии для энергоснабжения зарядных станций и станций замены аккумуляторных батарей средств электрического транспорта:

1. На основе анализа принципов работы современных станций подзарядки разработаны математические модели зарядных станций и станций замены АКБ средств электрического транспорта, имитирующие работу этих станций в разных условиях эксплуатации. Разработанные модели станций включены в математическую модель ГЭК;
2. Разработана математическая модель ГЭК, включающего в себя генерирующие электроустановки на основе солнечной и ветровой энергии, типовые АКБ или АКБ электромобилей и зарядные станции или станции замены АКБ средств электрического транспорта с резервированием энергоснабжения от электрической сети или ДЭС;
3. Исследование влияния состава и параметров ГЭК на режимы его работы показало, что:
 - для энергоснабжения потребителей электроэнергии выгоднее использовать малое количество электроустановок с большой установленной мощностью, чем большое количество установок с маленькой установленной мощностью;
 - в составе ГЭК, имеющих подключение к электрической сети, наиболее эффективно с точки зрения снижения сетевого энергопотребления использовать станции подзарядки, пик энергопотребления которых приходится на вечернее-ночное время суток;

- для ГЭК с подключением к электрической сети, включающих станцию подзарядки и работающих от ВИЭ или только от сети, наибольшее снижение сетевого энергопотребления (для ГЭК, работающих только от сети – днём) наблюдается при количестве АКБ, изменяющимся от 0 до 500 шт. для зарядной станции и от минимально допустимого количества до 50 АКБ для станции замены АКБ;
 - для автономных ГЭК, включающих станцию замены АКБ и работающих от СФЭС и ДЭС или только от ДЭС, количество АКБ на станции должно быть минимальным;
 - для автономных ГЭК, включающих станцию замены АКБ и работающих от ВЭС и ДЭС, оптимальное количество АКБ может изменяться в диапазоне от минимально допустимого количества до 50 АКБ;
4. Разработанная методика обоснования состава и параметров ГЭК реализована в виде программ, написанных в программной среде Microsoft Office Excel. Программы имеют модульную структуру и включают в себя математические модели элементов ГЭК, что позволяет изменять, модернизировать и при отсутствии необходимости не использовать отдельные элементы ГЭК;
5. Сравнение стоимости подзарядки АКБ электромобиля со стоимостью заправки бензином автомобиля для районов с централизованным электроснабжением показывает, что:
- ГЭК, работающие от ВЭС и включающие зарядную станцию, эффективны при среднегодовой скорости ветра от 2,5 м/с. Подзарядка электромобилей от зарядной станции в этом случае будет дешевле (от 105 до 240 руб.), чем заправка автомобилей (250-315 руб.);
 - ГЭК, работающие от СФЭС и включающие зарядную станцию, эффективны при среднегодовом приходе СИ от 190 Вт/м².

Стоимость подзарядки от зарядной станции (около 330 руб.) здесь почти эквивалентна заправке автомобиля (315 руб.);

- ГЭК, работающие от ВЭС или СФЭС и включающие станцию замены АКБ, эффективны при среднегодовой скорости ветра или среднегодовом приходе СИ от 2,5 м/с и от 125 Вт/м² соответственно. Стоимость подзарядки АКБ в этом случае может составлять 120-225 руб. и 245-350 руб.;
- ГЭК, работающие одновременно и от ВЭС, и от СФЭС, эффективны при среднегодовой скорости ветра или среднегодовом приходе СИ от 2,5 м/с и от 125 Вт/м² соответственно, но только в том случае, если они, во-первых, включают в себя станцию замены АКБ, а во-вторых, работают на объекты с большим автопарком (более 100 замен АКБ в сутки). Стоимость электрозарядки здесь может изменяться от 255 до 315 руб.;

Для районов, удалённых от ЛЭП, автономные ГЭК, работающие от ВЭС и включающие станцию замены АКБ, могут быть более эффективны, чем ГЭК, работающие только от ДЭС, уже при среднегодовой скорости от 3-4,5 м/с;

6. Разработаны рекомендации по определению оптимальной структуры типовых ГЭК на основе станций подзарядки и ВИЭ, позволяющие представителям малых и средних предприятий оценивать эффективность использования ГЭК в различных регионах страны. Определение мест размещения ГЭК по территории России осуществляется с помощью гео-информационных систем при задании для каждой территории значений валового потенциала ВИЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Революта. Зарядная инфраструктура. Электротранспорт. МОЭСК-EV: [Электронный ресурс]. Революта, М., 2011-2013. URL: <http://revolta.ru>;
2. А.С. Мартынов, В.В. Семикашев. Консолидированный обзор «Эффективность использования ВИЭ, местных видов топлива и вторичных энергоресурсов в регионах России», Тематическое сообщество «Энергоэффективность и Энергосбережение», 2011;
3. Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2012 году / Правительство Москвы, Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы; [под общ. ред. А.О. Кульбачевского]. – М.: Спецкнига, 2012;
4. «Меморандум о реализации программы развития экологически чистого автономного электрического транспорта и зарядной инфраструктуры на территории г. Москвы (программа «Экополис»)». Пресс-релиз, 2012;
5. Иванов Н. Этот шумный, шумный мир. «Наука и жизнь», №1, 2012, с. 53-57;
6. Worldwide Electric Vehicle Sales to Reach 3.8 Million Annually by 2020: [Электронный ресурс] // Forbes.com LLC, 2013. URL: <http://www.forbes.com/sites/tjmccue/2013/01/03/worldwide-electric-vehicle-sales-to-reach-3-8-million-annually-by-2020/>;
7. Battery Electric Vehicle: [Электронный ресурс] // Wikipedia, the Free Encyclopedia. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Battery_electric_vehicle;
8. Electric Car Use by Country: [Электронный ресурс] // Wikipedia, the Free Encyclopedia. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car_use_by_country;
9. Electric Vehicle: [Электронный ресурс] // Wikipedia, the Free Encyclopedia. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle;

10. В Пекине появятся электротакси: [Электронный ресурс] // Научно-популярный портал Energy Fresh, 2010-2013. URL: <http://www.energy-fresh.ru/tech/car/?id=525>;
11. Electric Vehicle Network: [Электронный ресурс] // Wikipedia, the Free Encyclopedia. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle_network;
12. The World is Going Electric // MMC Predictions for EV Market, 1st Israeli Conference for Batteries, 2011;
13. Смертельные гонки: электромобили вступили в борьбу с бензином: [Электронный ресурс] // РосБизнесКонсалтинг, 1995-2013. URL: <http://top.rbc.ru/economics/27/09/2011/617464.shtml>;
14. Norwegian Parliament Extends Electric Car Initiatives Until 2018: [Электронный ресурс] // Avere – The European Association for Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicles, 2010. URL: <http://www.aveer.org/www/newsMgr.php?action=view&frmNewsId=611§ion=&type=&SGLSESSID=tqiice0pmjdclt7l4q0s3s1o27>;
15. Lars Ole Valoen. Electric Vehicle Policies in Norway. Miljo Innovasjon AS, 2012;
16. Berlin Plugs in Electric Mobility Strategy: [Электронный ресурс] // Deutsche Welle, 2013. URL: <http://www.dw.de/berlin-plugs-in-electric-mobility-strategy/a-5533192-1>;
17. UK: Nissan Leaf Costlier in Europe Even with Incentives: [Электронный ресурс] // Just-Auto.com, 2013. URL: http://www.just-auto.com/news/nissan-leaf-costlier-in-europe-even-with-incentives_id104404.aspx?lk=dm;
18. Gianfranco Pistoia. Electric and Hybrid Vehicles. Power Sources, Models, Sustainability, Infrastructure and the Market. First Edition. Elsevier, 2010;
19. Better Place. How It Works. Battery Switch Stations: [Электронный ресурс] // Better Place, 2012. URL: <http://www.betterplace.com/How-it-Works/battery-switch-stations>;

20. Renault-Nissan, EDF to Develop E-Cars and Infrastructure in France: [Электронный ресурс] // EETE Automotive, 2009-2012. URL: http://www.automotive-eetimes.com/en/renault-nissan-edf_to_develop_e-cars_and_infrastructure_in_france?cmp_id=7&news_id=211100106;
21. E-Mobility: [Электронный ресурс] // Enel.com. URL: http://www.enel.com/en-GB/innovation/project_technology/zero_emission_life/mobile_sustainability/e-mobility.aspx;
22. Renault, Nissan Expand Their Electric Vehicle Empire: [Электронный ресурс] // GigOM.com, 2013. URL: <http://gigaom.com/2010/04/09/renault-nissan-expand-their-electric-vehicle-empire>;
23. Endesa and Mitsubishi Sign an Agreement to Promote the Electric Car in Spain: [Электронный ресурс] // Endesa S.A., 2011. URL: http://www.endesa.com/EN/SALADEPRENSA/NOTICIAS/20110921_MitsubishiENG;
24. China Outlines Plans for Making Electric Cars: [Электронный ресурс] // The New York Times, 2013. URL: http://www.nytimes.com/2009/04/11/business/energy-environment/11electric.html?_r=0;
25. Madrid Reverses the Chargers with Electric Car Plan: [Электронный ресурс] // The Guardian, 2013. URL: <http://www.theguardian.com/environment/2009/sep/08/electric-car-plan-spain>;
26. Making the Connection. The Plug-In Vehicle Infrastructure Strategy. Department for Transport, June, 2011;
27. Plug-In Electric Vehicles in the United States: [Электронный ресурс] // Wikipedia, the Free Encyclopedia. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in_electric_vehicles_in_the_United_States;

28. OpenChargeMap, the Global Registry of Electric Vehicle Charging Locations: [Электронный ресурс] // URL: <http://openchargemap.org>;
29. EV Charger Maps: [Электронный ресурс] // URL: <http://www.evchargermaps.com>;
30. Clean Car Maps. The Primary Information Source for Clean Fuel Stations: [Электронный ресурс] // URL: <http://www.cleancarmaps.com>;
31. LEMnet. Verzeichnis der Infrastruktur für Elektrofahrzeuge: [Электронный ресурс] // LEMnet, 1997-2012. URL: <http://www.lemnet.org>;
32. Elektrotankstellen-Verzeichnis: [Электронный ресурс] // URL: <http://www.elektrotankstellen.net>;
33. Alargador. Guía de Puntos de Recarga VE: [Электронный ресурс] // URL: <http://www.alargador.org>;
34. ElectroMaps. Mapa de Puntos de Recarga: [Электронный ресурс] // URL: <http://www.electromaps.com>;
35. POD Point. Next-Generation Electric Vehicle Charging Infrastructure: [Электронный ресурс] // POD Point Ltd., 2011. URL: <http://www.pod-point.com>;
36. Electric Vehicle Infrastructure: [Электронный ресурс] // Wikipedia, the Free Encyclopedia.
URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle_infrastructure;
37. China has Largest Electric Vehicle Charging Network: [Электронный ресурс] // People's Daily Online.
URL: <http://english.peopledaily.com.cn/90001/90778/7307489.html>;
38. Report: China Working on Plan to Install 10 Million Charging Stations by 2020: [Электронный ресурс] // AutoblogGreen, 2013.
URL: <http://green.autoblog.com/2011/01/19/report-china-working-on-plan-to-install-10-million-charging-sta/>;
39. Parma: Realm of the Electric Car: [Электронный ресурс] // Italian Hydrogen and Fuel Cell Association.

- URL: <http://www.h2it.org/en/2011/news/notizie-nazionali/parma-citta-dellauto-elettrica>;
40. An Electric Vehicle Delivery Plan for London. Mayor of London. May, 2009;
 41. SolarChargedDriving. Plugging the World into the Power of the Sun: [Электронный ресурс] // SolarChargedDriving, 2009-2013. URL: <http://solarchargeddriving.com>;
 42. Solar Tree Socket Brochure: [Электронный ресурс] // Envision Solar, 2013. URL: <http://envisionsolar.com/pdf/envisionsocket.pdf>;
 43. Solar Tree Structure: [Электронный ресурс] // Envision Solar, 2013. URL: <http://envisionsolar.com/pdf/solartree.pdf>;
 44. Kyocera Solar Grove Brochure: [Электронный ресурс] // Envision Solar, 2013. URL: http://envisionsolar.com/downloads/Kyocera_Solar_Grove.pdf;
 45. UCSD Gilman Solar Grove: [Электронный ресурс] // Envision Solar, 2013. URL: <http://envisionsolar.com/admin/UCSD%20Gilman.pdf>;
 46. UCSD Hopkins Solar Grove: [Электронный ресурс] // Envision Solar, 2013. URL: <http://envisionsolar.com/admin/UCSD%20Hopkins.pdf>;
 47. NREL Solar Tree Brochure: [Электронный ресурс] // Envision Solar, 2013. URL: <http://envisionsolar.com/admin/NREL%20Solar%20Tree.pdf>;
 48. SunPods SP-300 EV Plug-N-Go Brochure: [Электронный ресурс] // SunPods, 2011. URL: <http://www.sunpods.com/pdf/ev.pdf>;
 49. LumineXence Lotus Brochure: [Электронный ресурс] // LumineXence, 2013. URL: <http://www.luminexence.com/pdf/LumineXence%20-%20Lotus%20by%20Giancarlo%20Zema.pdf>;
 50. EcoFriend. The 10 Coolest Solar Powered EV Charging Stations: [Электронный ресурс] // Solar Feeds, 2013. URL: <http://www.solarfeeds.com/the-10-coolest-solar-powered-ev-charging-stations/>;
 51. E-Move Charging Station. Solar Tankstelle. Stazione Solare: [Электронный ресурс] // E-Move GmbH / Srl, 2013. URL: <http://www.e-move.bz>;

52. Mitsubishi Electric and Mitsubishi Motors Debut Solar-Powered Vehicle Charging Station: [Электронный ресурс] // PR Newswire Association LLC, 2013. URL: <http://www.prnewswire.com/news-releases/mitsubishi-electric-and-mitsubishi-motors-debut-solar-powered-vehicle-charging-station-125162704.html>;
53. Sanya SkyPump EV Charging Station: [Электронный ресурс] // Urban Green Energy. URL: <http://www.urbangreenenergy.com/products/sanya-skyump>;
54. WattStation and WattStation Connect – Fact Sheet: [Электронный ресурс] // LilyPad EV, 2013. URL: http://www.lilypadev.com/wp-content/uploads/2012/08/DEQ178_WattStation_FactSheet_v8.pdf;
55. EV Charging Station Installation Manual. Ed. 02. GE Energy Industrial Solutions, 2011;
56. Государственная программа города Москвы «Развитие транспортной системы на 2012-2016 гг.»: [Электронный ресурс] // Официальный портал Мэра и Правительства Москвы, 2005-2013. URL: https://www.mos.ru/documents/?id_4=127164;
57. Электромобили в России: дорого и неэффективно. И никому не выгодно: [Электронный ресурс] // Сетевое издание «РИА Новости». URL: <http://ria.ru/analytics/20120301/583457319.html#13663540789113&message=resize&relto=register&action=addClass&value=registration>;
58. В Москве увеличится количество заправок для электромобилей: [Электронный ресурс] // Сетевой журнал “Альтернативный киловатт”. URL: <http://www.akw-mag.ru/content/view/166/29/>;
59. МОЭСК-EV: [Электронный ресурс] // МОЭСК-EV, 2011-2013. URL: <http://moesk-ev.ru>;
60. Энергетическая стратегия-2030, утвержденная Распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р;
61. Системные свойства гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии / Тягунов М.Г., Афонин В.С.,

- Васьков А.Г., Дерюгина Г.В., Шестопалова Т.А. // Энергобезопасность и энергосбережение, №2, 2012, с. 20-27;
62. Sparacino, A.R. Design and Simulation of a DC Electric Vehicle Charging Station Interconnected with a MVDC Network // University of Pittsburgh, 2012;
63. Sparacino, A.R.; Grainger, B.M.; Kerestes, R.J.; Reed, G.F. Design and Simulation of a DC Electric Vehicle Charging Station Connected to a MVDC Infrastructure // Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2012, pp. 1168-1175;
64. Reed, G.F.; Grainger, B.M.; Sparacino, A.R.; Kerestes, R.J.; Korytowski, M.J. Advancements in Medium Voltage DC Architecture Development with Applications for Powering Electric Vehicle Charging Stations // Energytech, 2012, pp. 1-8;
65. Johannes Urban; Manfred Bruckmann; Andreas Welsch. Evaluation of Solar DC/DC Charging Concepts in Off-Grid Operation // HS Regensburg, 2012;
66. Горинов К.А., Тюхов И.И. Фотоэлектрические станции для зарядки электромобилей // Возобновляемые источники энергии: материалы восьмой научной молодежной школы с международным участием – М.: Университетская книга, 2012, с. 80-85;
67. Patten, John; Christensen, Nathan; Srivastava, Steven; Nola, Gary. Wind Charged Plug-In Hybrid Electric Vehicle // Green Manufacturing Research Journal, 2011;
68. Jessica Grove-Smith. Charging Station for Electric Vehicles // Nordic Folkecenter for Renewable Energy, 2008;
69. Honma Yudai, Kurita Osamu. A Safety Stock Problem in Battery Switch Stations for Electric Vehicles // The Eighth International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA), 2009, pp. 332-339;
70. Farah Tatar. Experiment Station to Observe the Solar Charge Station Behavior for a Year Period // Izmir Institute of Technology, 2003;

71. Masoud Farivar, Christopher R. Clarke, Steven H. Low, K. Mani Chandy
Inverter VAR Control for Distribution Systems with Renewables:
[Электронный ресурс] //
URL: <http://smart.caltech.edu/papers/varrenewables.pdf>;
72. T. Aziz, U.P. Mhaskar, T.K. Saha. A Grid Compatible Methodology for
Reactive Power Compensation in Renewable Based Distribution System:
[Электронный ресурс] //
URL: <http://igrid.net.au/resources/downloads/project1/journals/aziz%20PESGM%202011.pdf>;
73. M.M.A. Mahfouz and Mohamed A.H. El-Sayed Modeling and Reactive
Power Control of Wind and Fuel Cell Technologies in Distribution
Networks International Conference on Renewable Energies and Power
Quality: [Электронный ресурс] //
URL: <http://www.icrepq.com/icrepq'12/285-mahfouz.pdf>;
74. Тягунов М.Г., Тягунов А.М. Почему инженеру нужна проектная
подготовка? // Известия Академии электротехнических наук РФ, 2011,
№ 2, с. 60-65;
75. Научно-прикладной справочник по климату СССР. С-Пб.:
Гидрометеоиздат, 1992;
76. Метеорологическая база данных NASA: [Электронный ресурс] //
URL: <http://eosweb.larc.nasa.gov>;
77. Метеорологическая база данных "Meteonorm": [Электронный ресурс] //
URL: <http://meteonorm.com>;
78. R. Perez, R. Stewart, C. Arbogast, R. Seals and J. Scott. An Anisotropic
Hourly Diffuse Radiation Model for Sloping Surfaces: Description,
Performance Validation, Site Dependency Evaluation // Solar Energy,
Vol. 36, No. 6, 1986, pp. 481-497;
79. R. Perez, R. Seals, P. Ineichen, R. Stewart and D. Menicucci. A New
Simplified Version of the Perez Diffuse Irradiance Model for Tilted Surfaces
// Solar Energy, Vol. 39, No.3, 1987, pp. 221-231;

80. R. Perez, P. Ineichen, R. Seals, J. Michalsky and R. Stewart. Modeling Daylight Availability and Irradiance Components From Direct and Global Irradiance // *Solar Energy*, Vol. 44, No. 5, 1990, pp. 271-289;
81. R. Perez, P. Ineichen, E. Maxwell, R. Seals and A. Zelenka. Dynamic Models for Hourly Global-to-Direct Irradiance Conversion // *Solar World Congress 1991*. Vol. 1, Pt. II. Proceedings of the Biennial Congress of the International Solar Energy Society, Denver, Colorado, USA, Aug. 1991, pp. 19-23;
82. Perez R., Stewart R., Seals R., Guertin T. The Development and Verification of the Perez Diffuse Radiation Model // *Atmospheric Sciences Research Center*, Albany, 1988;
83. B. Ridley, J. Boland, and P. Lauret. Modelling of Diffuse Solar Fraction with Multiple Predictors // *Renewable Energy*, Vol. 35, No. 2, 2010, pp. 478-483;
84. Солнечная энергетика / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин. Под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Изд-во МЭИ, 2008 г;
85. Российский метеорологический сайт «Погода России»: [Электронный ресурс] // URL: <http://www.meteo.infospace.ru>;
86. Российский метеорологический сайт «Расписание погоды»: [Электронный ресурс] // URL: <http://www.rp5.ru>;
87. Erik L. Petersen, Niels G. Mortensen, Lars Landberg, Jorden Hojstrup, Helmut P. Frank. *Wind Power Meteorology* // Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1997;
88. Дерюгина Г.В., Кунакин Д.Н., Пугачёв Р.В. Модель определения ветроэнергетических ресурсов с учётом ландшафта местности // Труды Второй Всероссийской научно-практической конференции «Повышение надёжности и эффективности эксплуатации электрических станций и энергетических систем – ЭНЕРГО-12»

- (Москва, 4-6 июня 2012 г.) – М.: Издательский дом МЭИ, 2012, с. 361-364;
89. Васьков А.Г., Дерюгина Г.В., Чернов Д.А. Моделирование вертикального профиля ветра по данным аэрологических метеостанций России // Энергосбережение – теория и практика: труды Шестой Международной школы-семинара молодых учёных и специалистов (2012 г., Москва). – М.: Издательский дом МЭИ, 2012, с. 301-305;
90. Сеть автозаправочных станций: [Электронный ресурс] // ОАО «Газпром нефть», 2006-2013. URL: http://www.gazprom-neft.ru/business/retail/petrol_stations.php;
91. American Recovery and Reinvestment Act (ARRA) – Light-Duty Electric Drive Vehicle and Charging Infrastructure Testing. EV Project: [Электронный ресурс] // Idaho National Laboratory. URL: <http://avt.inel.gov/evproject.shtml>;
92. John Smart. Advanced Vehicle Testing Activity – Plug-in Electric Vehicle Demonstration Results // Idaho National Laboratory, 2012;
93. EV Project Electric Vehicle Charging Infrastructure Summary Report // Idaho National Laboratory and ECOtality North America, 2012;
94. Stephen Schey, Don Scoffield, John Smart. A First Look at the Impact of Electric Vehicle Charging on the Electric Grid in The EV Project // EVS26 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, 2012;
95. Smart, J. and Schey S. Battery Electric Vehicle Driving and Charging Behavior Observed Early in The EV Project // SAE Int. J. Alt. Power, 2012;
96. American Recovery and Reinvestment Act (ARRA) – Light-Duty Electric Drive Vehicle and Charging Infrastructure Testing. ChargePoint America Vehicle Charging Infrastructure: [Электронный ресурс] // Idaho National Laboratory. URL: <http://avt.inel.gov/chargepoint.shtml>;
97. ChargePoint America Vehicle Charging Infrastructure Summary Report // Idaho National Laboratory and ECOtality North America, 2012;

98. John Smart, Jamie Davies, Matthew Shirk, Casey Quinn, Kenneth S. Kurani. Electricity Demand of PHEVs Operated by Private Households and Commercial Fleets: Effects of Driving and Charging Behavior // The 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition, 2010;
99. Системы вентиляции и кондиционирования: [Электронный ресурс] // ООО “Климат-Комфорт”, 2009-2013. URL: <http://www.vipklimat.com/>;
100. Комплексное снабжение промышленным оборудованием: [Электронный ресурс] // Концерн ПромСнабКомплект. URL: <http://www.kpsk.ru/>;
101. В Токио появилось первое в мире электротакси: [Электронный ресурс] // РосБизнесКонсалтинг, 1995-2013. URL: <http://top.rbc.ru/wildworld/28/04/2010/400394.shtml>;
102. First All-Electric Taxi Fleet Could Hit Roads in US: [Электронный ресурс] // Zee Media Corporation Ltd. URL: http://zeenews.india.com/business/automobiles/automania/first-all-electric-taxi-fleet-could-hit-roads-in-us_62781.html;
103. Tokyo’s Electric Taxi Experiment: [Электронный ресурс] // Reuters. URL: <http://www.reuters.com/article/2010/09/10/us-autos-charging-taxis-idUSTRE6891YH20100910>;
104. Спирин И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / И.В. Спирин. – 5-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2010;
105. Filling Station: [Электронный ресурс] // Wikipedia, the Free Encyclopedia. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Filling_station;
106. Managing Energy Costs in Convenience Stores, E Source Companies LLC, 2009;

107. Малая, но необходимая: [Электронный ресурс] // Энергетика и промышленность России, 2011.
URL: <http://www.eprussia.ru/epr/183/13375.htm>;
108. Аврашков Л.Я., Графова Г.Ф., “Критерии и показатели эффективности инвестиционных проектов”. Журнал “Аудитор” №7, №8, 2003;
109. О.С. Попель, С.Е. Фрид, Ю.Г. Коломиец, С.В. Киселева, Е.Н. Терехова. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России – М.: Печатный салон ШАНС, 2010;
110. Национальный Кадастр ветроэнергетических ресурсов России и методические основы их определения. Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И. // Под редакцией канд. физ.-мат. наук В.Г. Николаева – М.: Изд. «АТМОГРАФ», 2008;
111. Ресурсное и технико-экономическое обоснование широкомасштабного развития ветроэнергетики в России / Николаев В.Г. – М.: АТМОГРАФ, 2011;
112. Цены на бензин и карта АЗС России: [Электронный ресурс] // Benzin Price, 2008-2013. URL: <http://www.benzin-price.ru>;
113. Электромобиль Nissan Leaf: [Электронный ресурс] // ЭКОМОТОРС, 1997-2012. URL: <http://ecomotors.ru/index.php?productID=1255>;
114. Сравнительный тест Chevrolet Volt и Toyota Prius PHV. Между электричеством и бензином: [Электронный ресурс] // Drom.ru, 1999-2013. URL: <http://info.drom.ru/surveys/16031/>.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1.

Зарядная инфраструктура в мире и России. Статистика

Таблица П1.1 – Зарядная инфраструктура в Швейцарии.

Статус	Регион (местоположение)	Поставщик услуг	Количество	Режим заряда	Начало строительства
Действующие станции	Швейцария	Park & Charge	230	230 В, 16 А	1992

Таблица П1.2 – Зарядная инфраструктура в Голландии.

Статус	Регион (местоположение)	Поставщик услуг	Количество	Режим заряда	Начало строительства
Действующие станции	Амстердам	Nuon / Alliander	100	230 В, 16 А	2009
	Амстердам	Несколько поставщиков	100	--/--	2009
	Нидерланды	E-Laad.nl	1500	Mode 3 (400 В, 16 А)	2009
Станции, находящиеся в стадии строительства	Нидерланды	E-Laad.nl	10000	--/--	2012
	Амстердам	Essent / Nuon / Heijmans	1000	--/--	2011

Таблица П1.3 – Зарядная инфраструктура в Португалии.

Статус	Регион (местоположение)	Поставщик услуг	Количество	Начало строительства	Примечание
Действующие станции	Португалия	MOBILE	100	2010	В сотрудни- честве с Renault- Nissan
Станции, находящиеся в стадии строительства	Португалия	MOBILE	1350	2011	

Таблица П1.4 – Зарядная инфраструктура в Израиле.

Статус	Регион (местоположе- ние)	Поставщик услуг	Количество	Начало строительства	Примечание
Действующие станции	Тель-Авив	Better Place	1	2010	
	Израиль	Gnrgy	4	2011	
Станции, находящиеся в стадии строительства	Израиль	Better Place	200	2011	
	Израиль	Gnrgy	25	2011	
Запланирован- ные станции	Израиль	Better Place	400 + 40 станций замены АКБ		В сотрудни- честве с Ranault
	Израиль	Gnrgy	500		
Предложенные станции	Израиль	Better Place	220		В сотрудни- честве с Israel Railways

Таблица П1.5 – Зарядная инфраструктура в Австралии.

Статус	Регион (местоположение)	Поставщик услуг	Количество	Режим заряда	Начало строительства
Действующие станции	Сидней, Канберра, Мельбурн, Аделаида	Charge Point	17	230 В, 15 А	2010
	Перт	CO2 Smart	12	Mode 3	2010
	Мельбурн	ECOtality	1	230 В, 15 А	2010

Таблица П1.6 – Зарядная инфраструктура в Китае.

Статус	Регион (местоположение)	Поставщик услуг	Количество	Начало строительства
Действующие станции	Окраины Пекина	North China Grid	103	2010
	27 городов	State Grid Corp	7031	2010
Станции, находящиеся в стадии строительства	27 городов	State Grid Corp	75	2010
	Zhejiang	State Grid Corp	384	2011
Запланированные станции		State Grid Corp	6209 + несколько станций замены АКБ	
Предложенные станции		State Grid Corp	222350	

Таблица П1.7 – Зарядная инфраструктура во Франции.

Статус	Регион (местоположение)	Поставщик услуг	Количество	Режим заряда	Начало строительства	Примечание
Действующие станции	Париж	Paris	178	230 В, 16 А	2010	
	Страсбург		135	--/--	2010	Тестовые испытания Toyota Prius
Станции, находящиеся в стадии строительства	Ile de France		300	Mode 3	2011	Тестовые испытания Renault-Nissan
	Западная Франция	Vinci Autoroutes	738		2012	В сотрудничестве с Renault
	Paris-Yvelines		200	Mode 3; Mode 4	2011	
Запланированные станции	Монако		300			
Предложенные станции	Франция	EDF	400000			

Таблица П1.8 – Зарядная инфраструктура в Италии.

Статус	Регион (местоположение)	Поставщик услуг	Количество	Начало строительства
Действующие станции	Пиза	Enel	35	2010
	Рим	Enel	59	2010
	Милан, Болонья	Enel	4	2010
	Больцано		4	2009
	Рим, Милан, Пиза, Болонья	Enel	40	
Станции, находящиеся в стадии строительства	Рим, Милан, Пиза, Болонья	Enel	400	2008
Запланированные станции	Парма		300	
Предложенные станции	Ломбардия	Enel	150	

Таблица П1.9 – Зарядная инфраструктура в Германии.

Статус	Регион (местоположение)	Поставщик услуг	Количество	Режим заряда	Начало строительства
Действующие станции	Германия	Park & Charge	115	230 В, 16 А; Mode 3 (400 В, 32 А)	1998
	Германия	Drehstromnetz	190	--/--	2006
	Берлин	Vattenfall	42	--/--	2009
	Берлин	RWE	77	--/--	2009
	Германия	Ladenetz.de	150	--/--	2010
	Rhein-Ruhr	RWE	165	--/--	2010
	Koeln-Bonn	RWE	57	--/--	2010
	Rhein-Main	RWE	34	--/--	2010
	Гамбург	RWE / Orlen	28	--/--	2010
	Другое	RWE	98	--/--	2010
	Мюнхен	E.ON	21	--/--	2009
	Штутгарт	EnBW	25	--/--	2010
	Штутгарт / Карлсруэ	EnBW	42	--/--	2011
Станции, находящиеся в стадии строительства	Германия	Ladenetz.de	100	--/--	2012
	Штутгарт / Карлсруэ	EnBW	260	--/--	2011
	Мюнхен	E.ON	200	--/--	
	Гамбург	Vattenfall	50	--/--	2011
	Берлин	RWE	500		2011
	Rhein-Ruhr	RWE	400		2011
Запланированные станции	Баден-Вюртемберг	EnBW	700		

Таблица П1.10 – Зарядная инфраструктура в Ирландии.

Статус	Регион (местоположение)	Поставщик услуг	Количество	Режим заряда	Начало строительства	Примечание
Действующие станции	Ирландия	ESB	50	Mode 3	2010	
	Ирландия	ESB	20	Mode 4	2010	
Станции, находящиеся в стадии строительства	Ирландия	ESB E-Cars	1500 (22 кВт) 30 (50 кВт)	Mode 3; Mode 4	2010	В сотрудничестве с Renault-Nissan, Mitsubishi, Toyota, PSA Peugeot Citroën

Таблица П1.11 – Зарядная инфраструктура в Польше.

Статус	Регион (местоположение)	Поставщик услуг	Количество	Режим заряда	Начало строительства	Примечание
Действующие станции	Варшава	RWE	11	230 В, 16 А; Mode 3 (400 В, 32 А)	2010	В рамках проекта “E-Mobility”
Станции, находящиеся в стадии строительства	Варшава	Green Stream	130	230 В, 16 А	2011	В сотрудничестве с RWE
	Zielona Gora	EasyPoint	130			Проект фирмы Ekoenergetyka- Zachod
Запланированные станции	Варшава, Гданьск, Катовице, Краков, Mielec	Green Stream	330			В сотрудничестве с RWE

Таблица П1.12 – Зарядная инфраструктура в Испании.

Статус	Регион (местоположение)	Поставщик услуг	Количество	Режим заряда	Начало строительства	Примечание
Действующие станции	Барселона	Endesa	55	230 В, 16 А	2010	Live Barcelona
	Галисия		21	Mode 3 (230 В, 16 А); Mode 4	2011	Сеть многофункциональных станций BlueMobility
Станции, находящиеся в стадии строительства	Барселона	Endesa	191	230 В, 16 А	2012	В рамках проекта “MOVELE”
		Endesa		Mode 4	2012	
	Мадрид	Telefonica	30		2011	В рамках проекта “MOVELE”
Запланированные станции	Севилья, Мадрид, Барселона	Endesa	546	230 В, 16 А		--/--

Таблица П1.13 – Зарядная инфраструктура в Великобритании.

Статус	Регион (местоположение)	Поставщик услуг	Количество	Режим заряда	Начало строительства	Примечание
Действующие станции	Лондон	Elektromotive	687	230 В, 13 А	2007	
	Лондон	Zero Carbon World	76	230 В, 13 А; Mode 3 (230 В, 32 А)	2010	
	Лондон	Siemens	200	--/--	2011	В рамках проекта “Source London”
	Соединённое Королевство	Electrocity	12	230 В, 13 А; Mode 3 (400 В, 32 А)	2011	
Станции, находящиеся в стадии строительства		Elektromotive	4000	230 В, 13 А	2012	
	Лондон	Siemens	1300	230 В, 13 А; Mode 3 (230 В, 32 А)	2011	В рамках проекта “Source London”
Запланированные станции	Лондон, северо- восток		2500			
	Лондон		2500			
	Центральная Шотландия, Восточная Англия, Большой Манчестер, Milton Keynes, северо- восточная часть Англии, Северная Ирландия	Программа по финансированию	8500	Mode 3		В рамках проекта “Plugged-In Place”
		Zero Carbon World	1000	230 В, 32 А		В рамках дарственной программы

Таблица П1.14 – Зарядная инфраструктура в Соединённых Штатах Америки.

Статус	Регион (местоположение)	Поставщик услуг	Количество	Режим заряда	Начало строительства
Действующие станции	Калифорния	Tesla	15		2010
	Портленд	Portland G. Electric	20		2008
	Калифорния	ChargePoint	580	240 В, 30 А	2010
	Штат Вашингтон	ChargePoint	237	--/--	2011
	Округ Чикаго	ChargePoint	350	--/--	2011
	Бостон	ChargePoint	108	--/--	2011
	Нью-Йорк / Нью-Джерси	ChargePoint	128	--/--	2011
	Вашингтон / Балтимор	ChargePoint	164	--/--	2011
	Флорида	ChargePoint	275	--/--	2011
	Сан-Антонио / Хьюстон	ChargePoint	261	--/--	2011
	Сан-Диего	EV Project	261	--/--	2012
	Сиэтл	EV Project	407	--/--	2012
	Феникс	EV Project	285	--/--	2012
	Хьюстон	EV Project	177	--/--	2012
	Теннеси	EV Project	365	--/--	2012
	Южная Калифорния	EATON	100	--/--	2010
	Даллас / Хьюстон	NRG Energy	15	--/--	2010
	Гавайи	Better Place	340		2011

Таблица П1.14 (Продолжение) – Зарядная инфраструктура в Соединённых Штатах Америки.

Статус	Регион (местоположение)	Поставщик услуг	Количество	Режим заряда	Начало строительства
Станции, находящиеся в стадии строительства	Район залива Сан-Франциско		109		2010
	Сан-Диего	EV Project	1500		2012
	Техас	NRG Energy	50		2010
	Калифорния	NRG Energy	200		2012
	Детройт, Нью-Йорк, Вашингтон, Калифорния, штат Вашингтон, Остин	ChargePoint	4600		2011
Запланированные станции		NRG Energy	6350	Mode 4	

Таблица П1.15 – Зарядная инфраструктура в Москве и Московской области.

Статус	Местоположение	Наименование	Владелец	Доступ	Режим заряда
Действующие	Шоссе Энтузиастов, д. 12, к. 2	000-004	Револьта		Разъём 1 (Mennekes) – 3-ф., 32 А, 380 В; Разъём 2 (Shuko) – 1-ф., 16 А, 220 В
		000-005			
	Ул. Садовническая, д. 36, стр. 1	001-001	МОЭСК	Закрытый	--/--
		001-002			
		001-003			
		001-004			
		021-004			
	Ул. Нижняя Красносельская, д. 6, стр. 1	001-005	МОЭСК	Закрытый	Разъём 1 (Mennekes) – 3-ф., 32 А, 380 В; Разъём 2 (Shuko) – 1-ф., 16 А, 220 В
	Ул. Голубинская, д. 10	001-006	МОЭСК	Публичный	--/--
	3-й Нижнелихоборский проезд, д. 1	001-007	МОЭСК	Закрытый	--/--
	Казанский переулок, д. 3	001-008	МОЭСК	Закрытый	--/--
	Ул. Обручева, д. 27	001-009	МОЭСК	Публичный	--/--
	Новорижское ш., 5-й км от МКАД	001-010	МОЭСК	Публичный	--/--
	Ярославское ш., д. 31	001-011	МОЭСК	Публичный	--/--
	Ул. Перовская, д. 1	001-012	МОЭСК	Закрытый	--/--
	Г. Котельники, 1-й Покровский проезд, д. 6	001-013	МОЭСК	Публичный	--/--
Инновационный центр “Сколково”	001-014	МОЭСК	Публичный	--/--	
	001-019				

Статус	Местоположение	Наименование	Владелец	Доступ	Режим заряда
	2-й Магистральный тупик, д. 5А	001-015	МОЭСК	Публичный	--/--
	Зеленоград, Солнечная аллея, д. 1, стр. 5	001-016	МОЭСК	Закрытый	--/--
	Ул. Горбунова, д. 14	001-017	МОЭСК	Публичный	--/--
	Алтуфьевское ш., д. 31, стр. 1	001-018	МОЭСК	Публичный	--/--
	Химки, Ленинградское ш., вл. 21	001-020	МОЭСК	Публичный	--/--
	5-й Войковский проезд, д. 2 стр. 5	002-001	Револьта	Закрытый	--/--
		002-002			
		002-003			
	Ул. Косыгина, д. 20	002-004	Револьта	Закрытый	--/--
	2-й переклок Измайловского Зверинца, д. 10, стр. 5	002-005	Револьта	Закрытый	--/--
		002-006			
	Новоясеневский тупик, д. 1, стр. 1	002-009	Револьта	Закрытый	--/--
		002-010			
	Ул. Дербеневская, д. 7, стр. 16	005-002 (2 зарядные станции)	Револьта		--/--
		021-001	МОЭСК	Публичный	Разъём 1 (Yazaki) – 80 А, 380 В; Разъём 2 (Mennekes) – 3-ф., 32 А, 380 В
	Сколковское ш., ул. Новая	005-003 (2 зарядные станции)	Револьта		Разъём 1 (Mennekes) – 3-ф., 32 А, 380 В; Разъём 2 (Shuko) – 1-ф., 16 А, 220 В
	Шоссе Энтузиастов, д. 12, к. 2	011-001	МОЭСК	Публичный	--/--
		011-002			
	2-й Павелецкий проезд, д. 3	011-003	МОЭСК	Закрытый	--/--
		011-004			

Статус	Местоположение	Наименование	Владелец	Доступ	Режим заряда
		011-005			
Не действующие	Ул. Дербеневская, д. 7, стр. 16	005-001 (2 зарядные станции)	Революта		--/--
	Ул. Обручева, д. 27	021-002	МОЭСК	Публичный	--/--

Приложение 2.
Техническая модель потребителей энергии

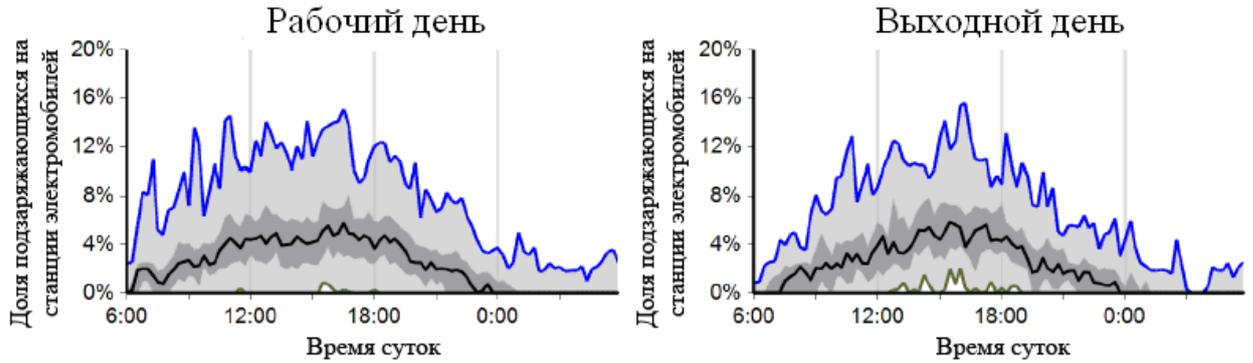


Рисунок П2.1 – Дневные зарядные станции экспресс зарядки постоянным током. Доля электромобилей, подзаряжающихся на станциях, в зависимости от времени суток (для рабочего и выходного дня соответственно) согласно проекту The EV Project. Цветными линиями на графике отмечены максимальные, средние и минимальные значения.

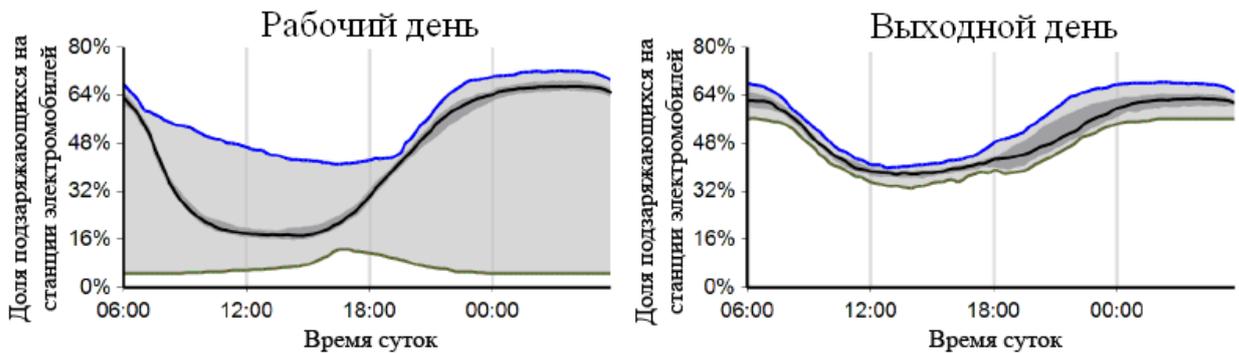


Рисунок П2.2 – Ночные зарядные станции с режимом заряда Mode 3. Доля электромобилей, подзаряжающихся на станциях, в зависимости от времени суток (для рабочего и выходного дня соответственно) согласно проекту ChargePoint America.

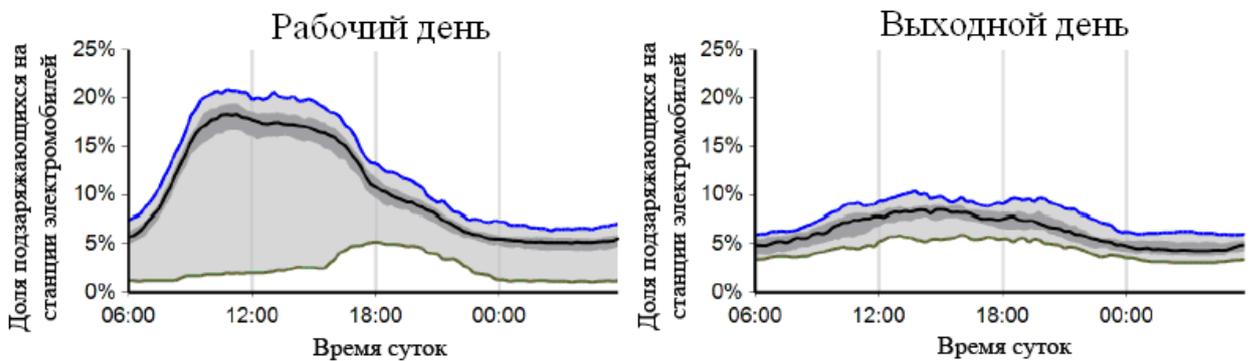


Рисунок П2.3 – Дневные зарядные станции с режимом заряда Mode 3. Доля электромобилей, подзаряжающихся на станциях, в зависимости от времени суток (для рабочего и выходного дня соответственно) согласно проекту ChargePoint America.

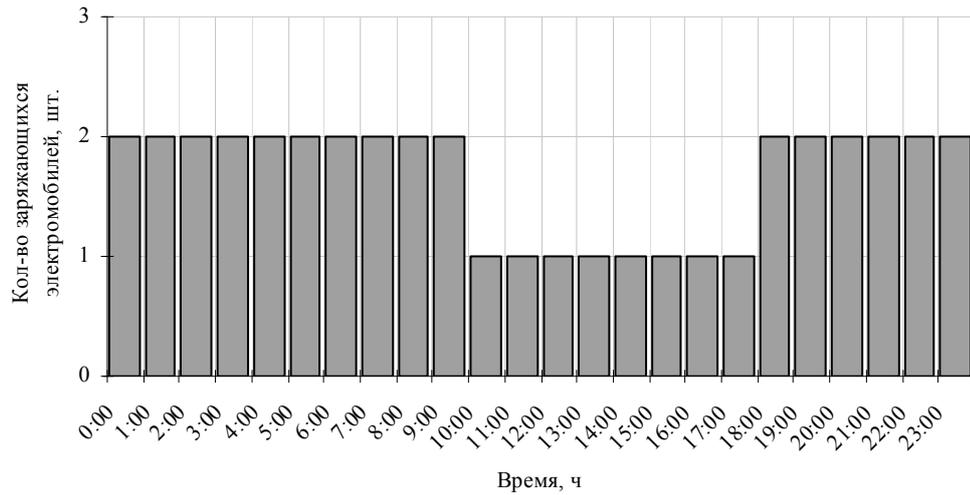


Рисунок П2.4 – Ночная зарядная станция. Количество заряжающихся электромобилей в зависимости от времени суток (для выходного дня).

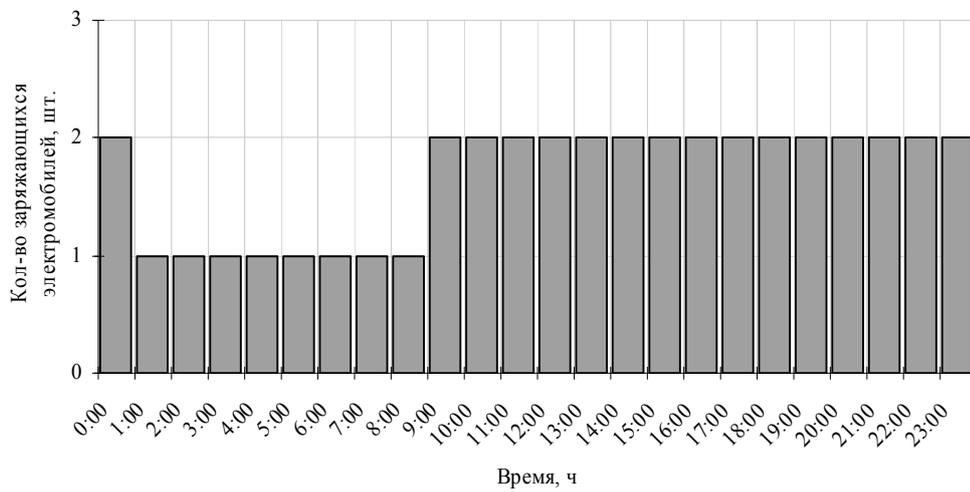


Рисунок П2.5 – Коммерческая зарядная станция. Количество заряжающихся электромобилей в зависимости от времени суток (для выходного дня).

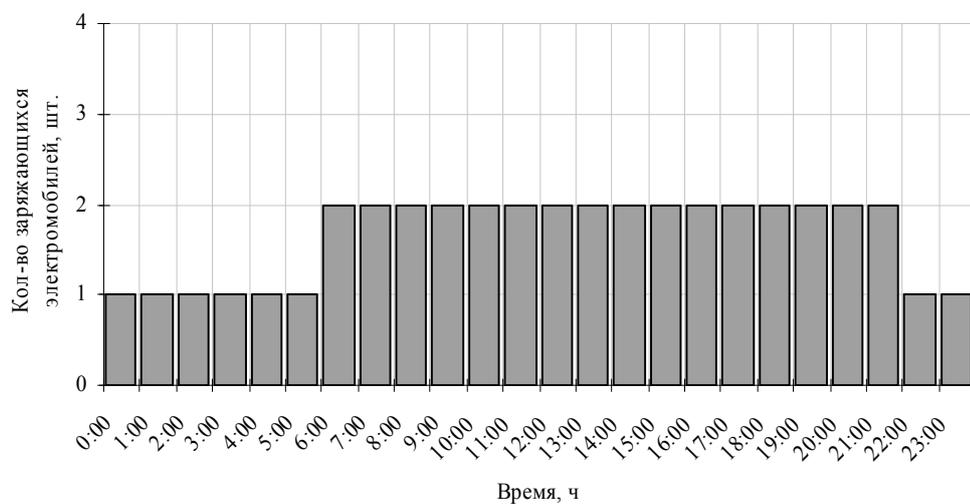


Рисунок П2.6 – Дневная зарядная станция. Количество заряжающихся электромобилей в зависимости от времени суток (для выходного дня).

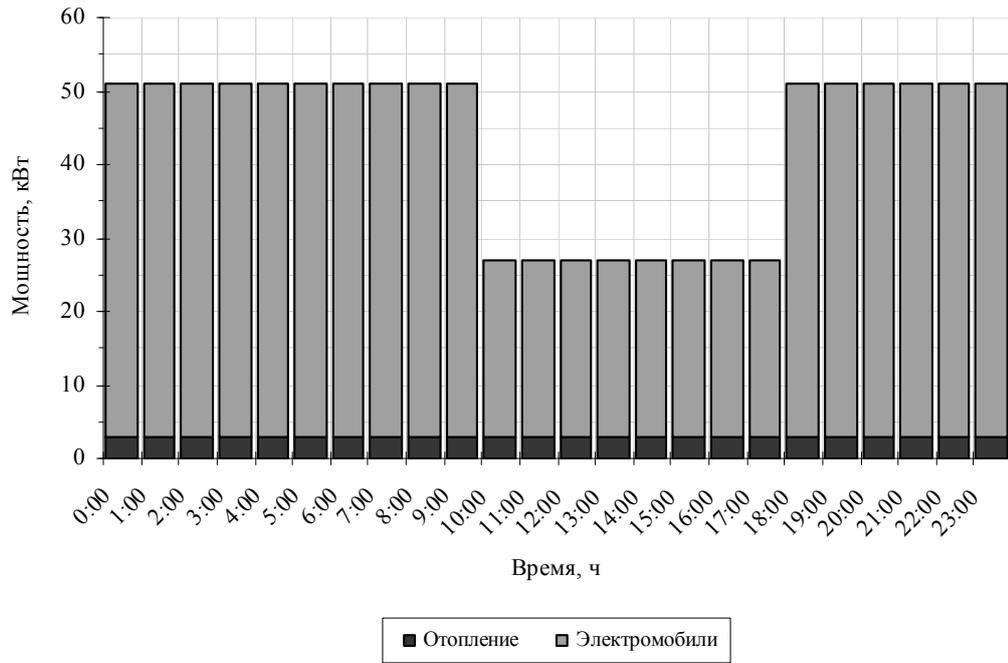


Рисунок П2.7 – Ночная зарядная станция. Зимний график нагрузки (для выходного дня).

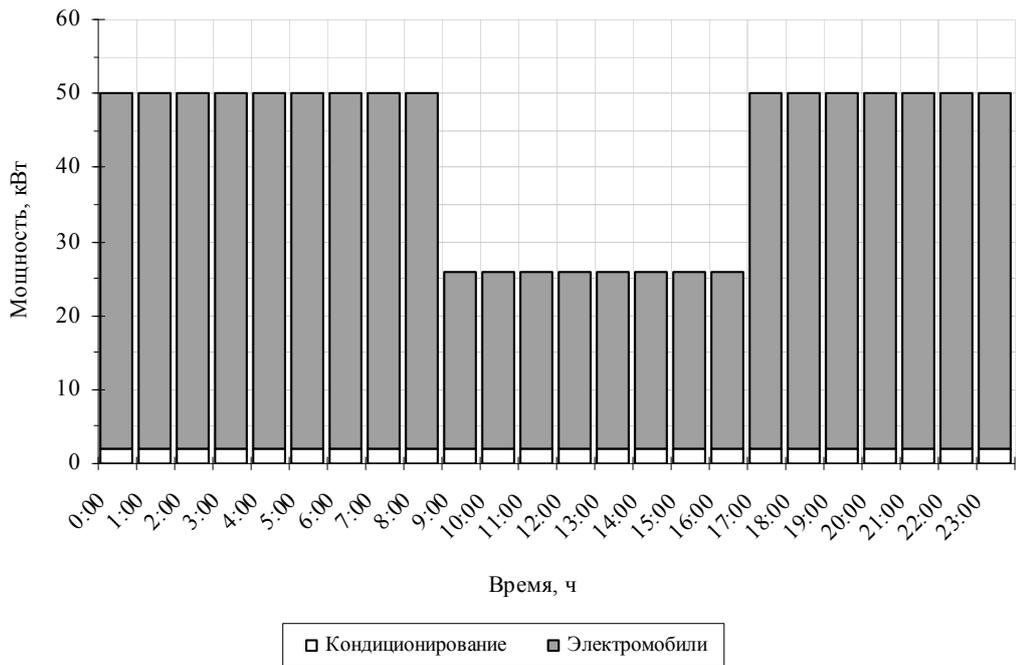


Рисунок П2.8 – Ночная зарядная станция. Летний график нагрузки (для рабочего дня).

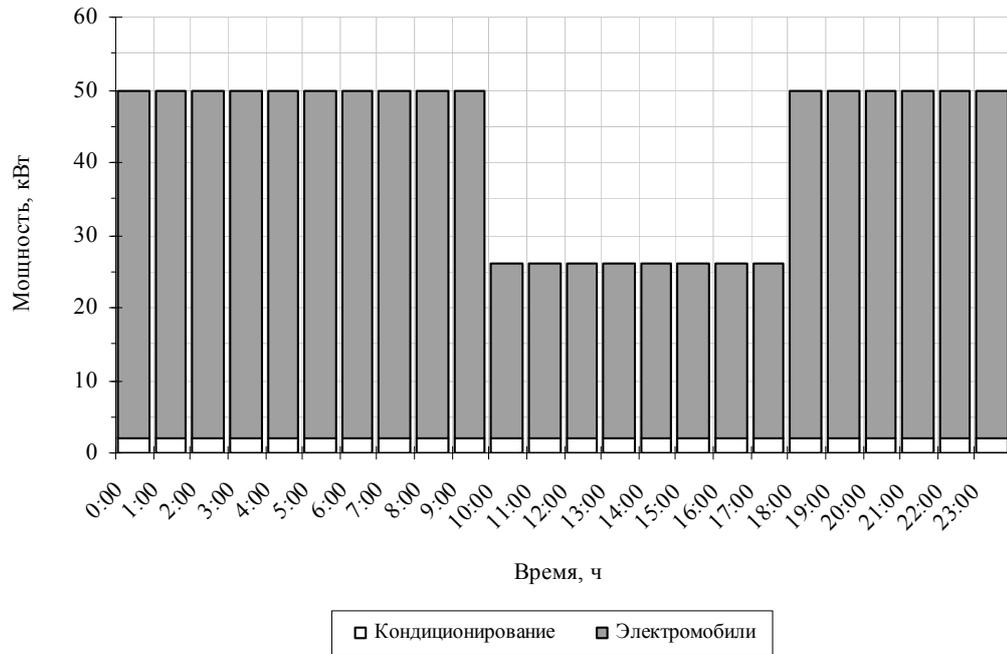


Рисунок П2.9 – Ночная зарядная станция. Летний график нагрузки (для выходного дня).

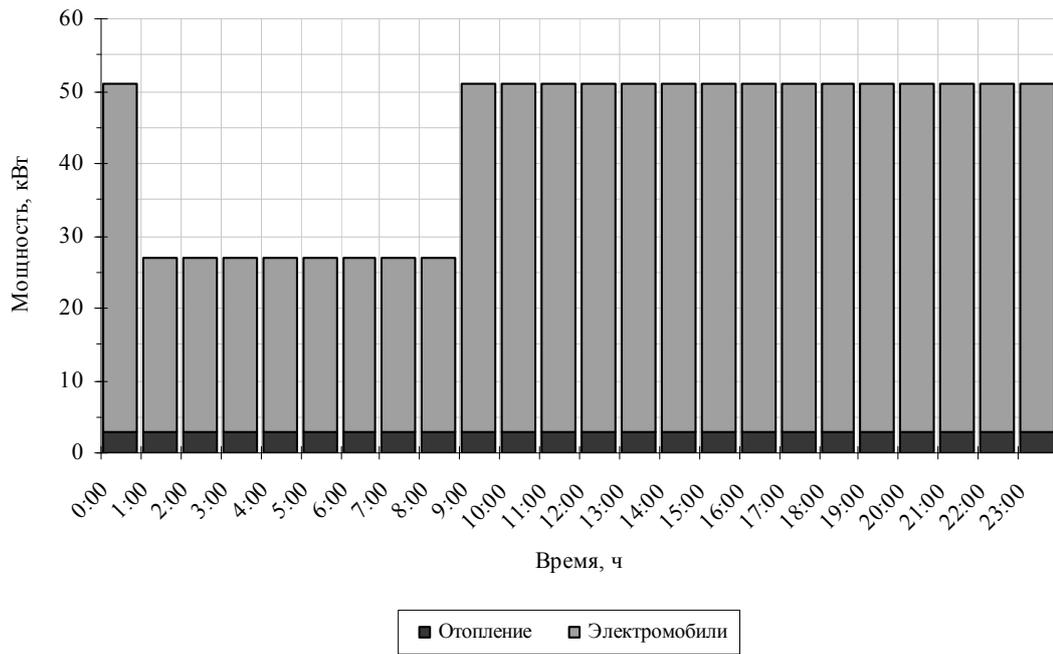


Рисунок П2.10 – Коммерческая зарядная станция. Зимний график нагрузки (для выходного дня).

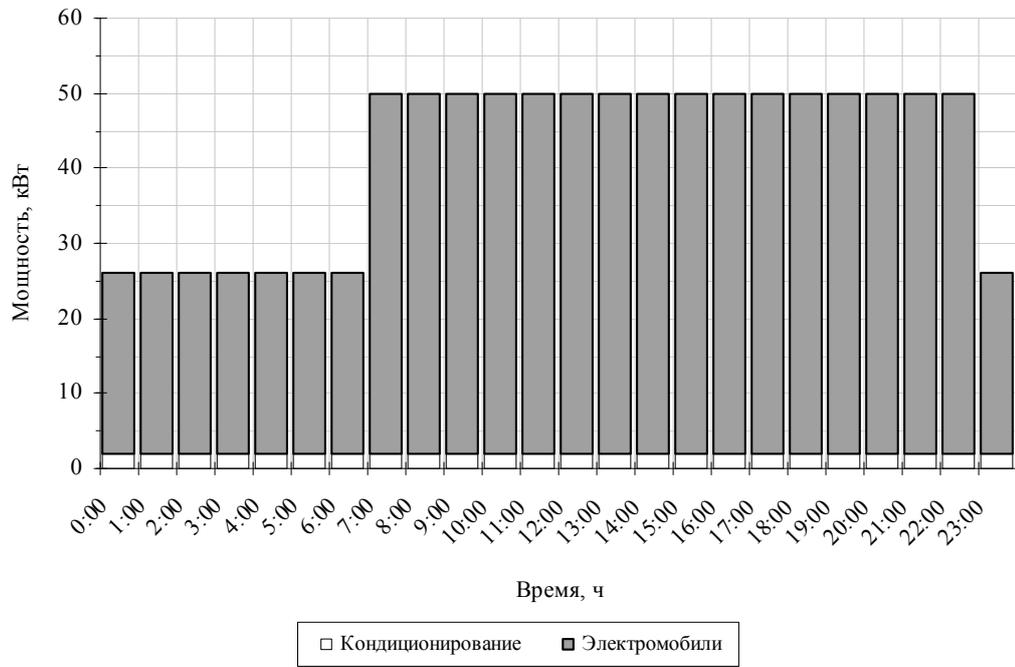


Рисунок П2.11 – Коммерческая зарядная станция. Летний график нагрузки (для рабочего дня).

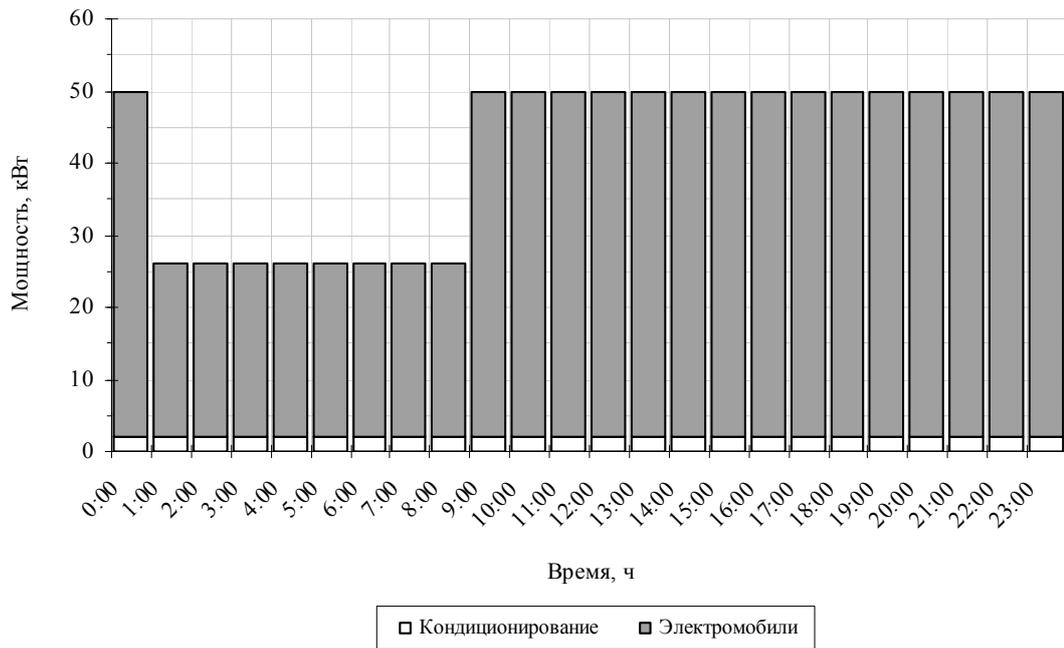


Рисунок П2.12 – Коммерческая зарядная станция. Летний график нагрузки (для выходного дня).

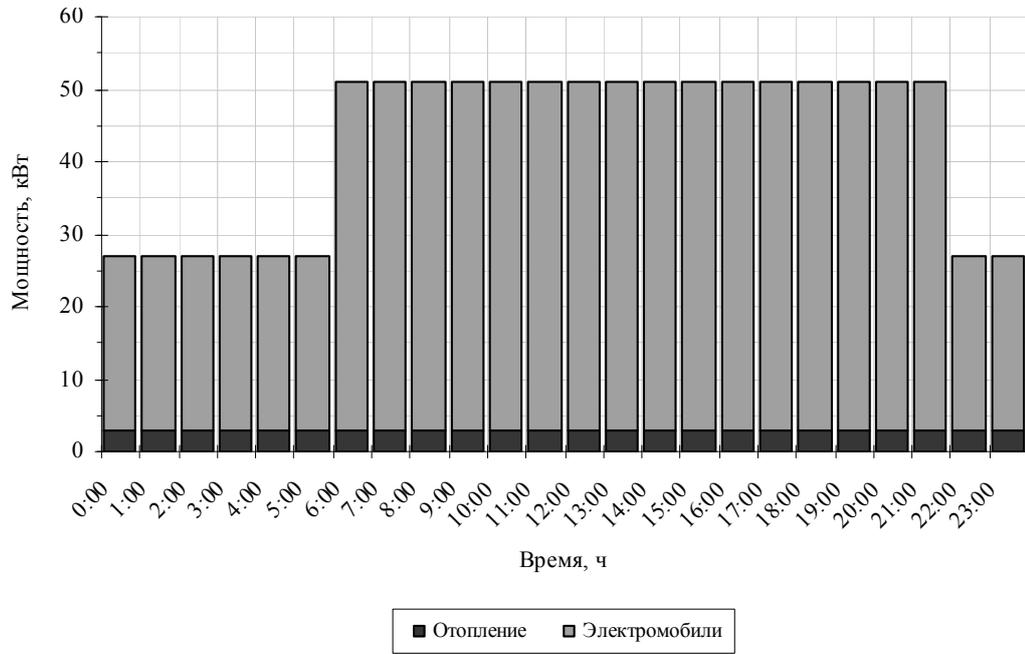


Рисунок П2.13 – Дневная зарядная станция. Зимний график нагрузки (для выходного дня).

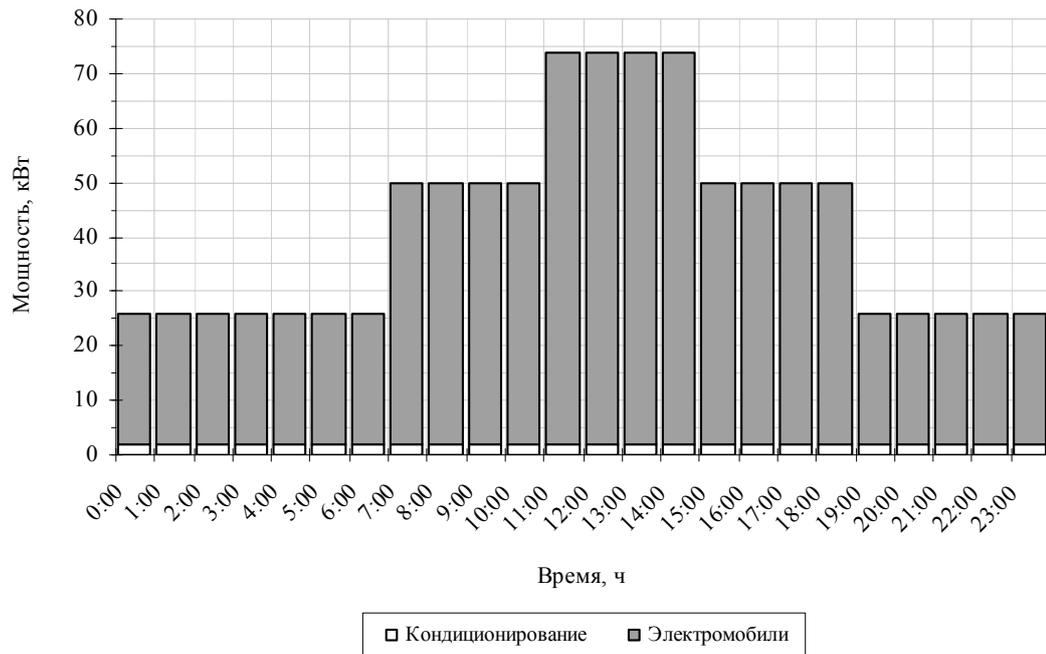


Рисунок П2.14 – Дневная зарядная станция. Летний график нагрузки (для рабочего дня).

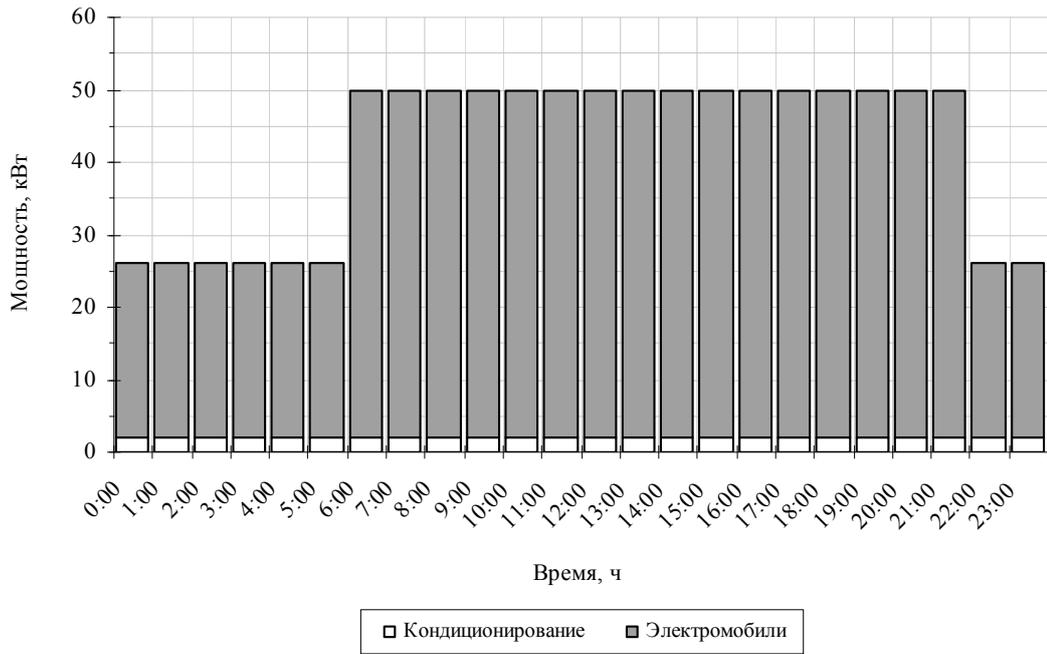


Рисунок П2.15 – Дневная зарядная станция. Летний график нагрузки (для выходного дня).

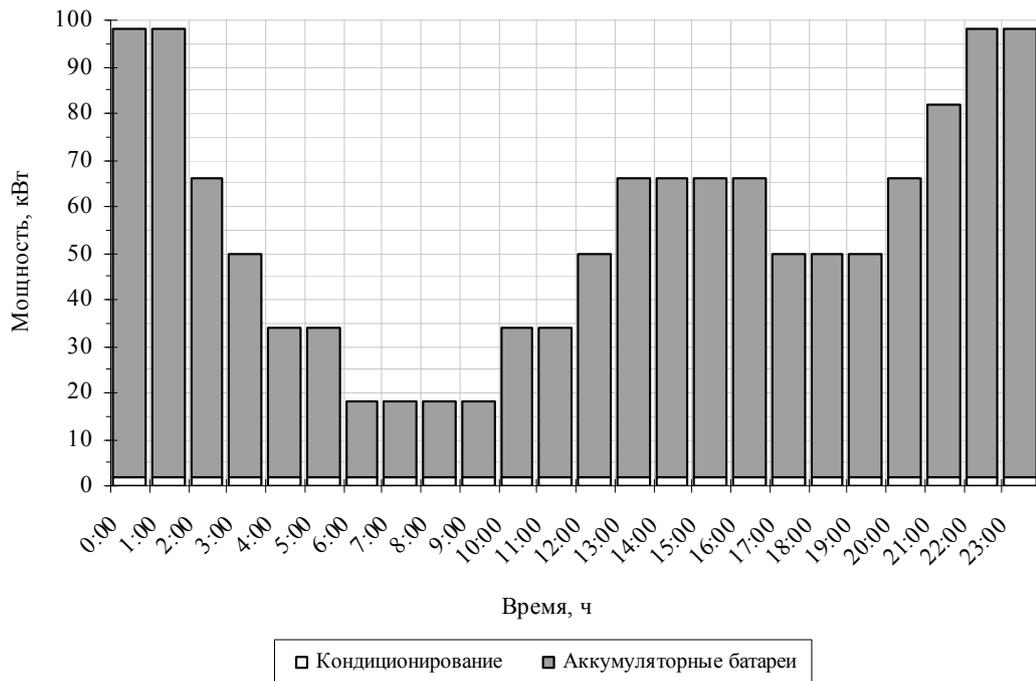


Рисунок П2.16 – Станция замены АКБ для таксопарка электромобилей. Летний график нагрузки.

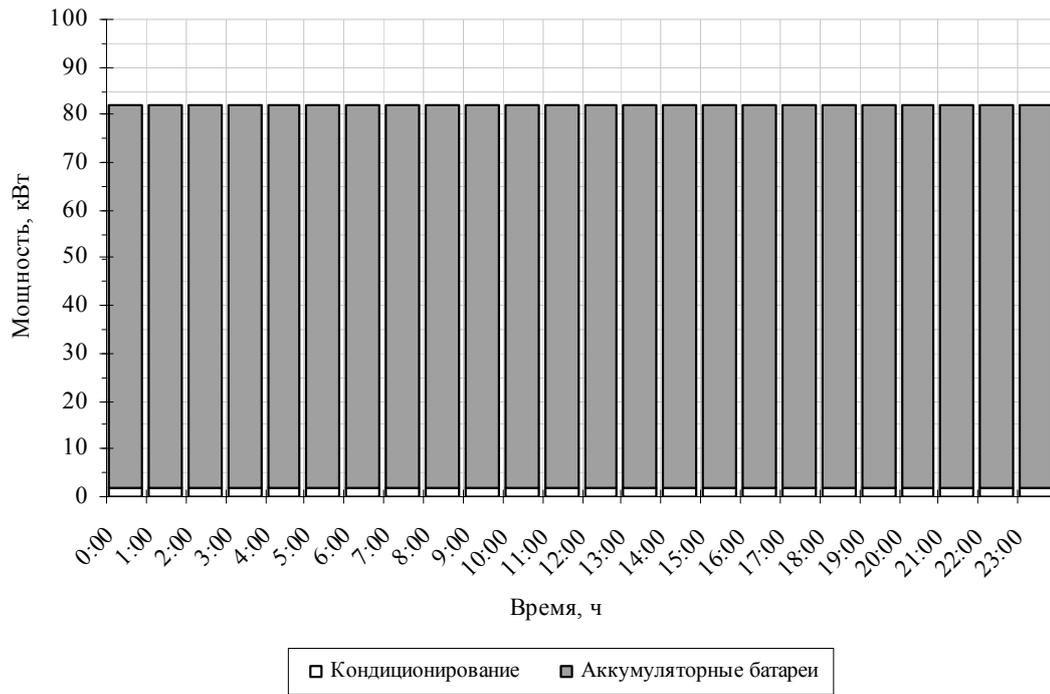


Рисунок П2.17 – Станция замены АКБ для автопарка промышленного предприятия.

Летний график нагрузки.

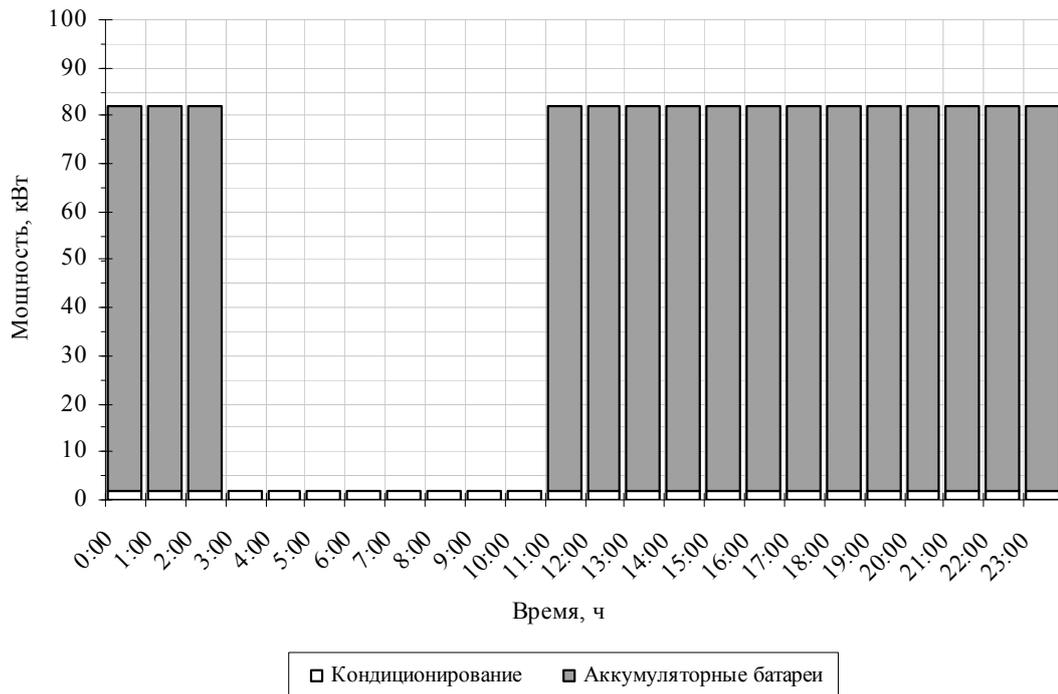


Рисунок П2.18 – Станция замены АКБ для автопарка зоны отдыха. Летний график нагрузки.

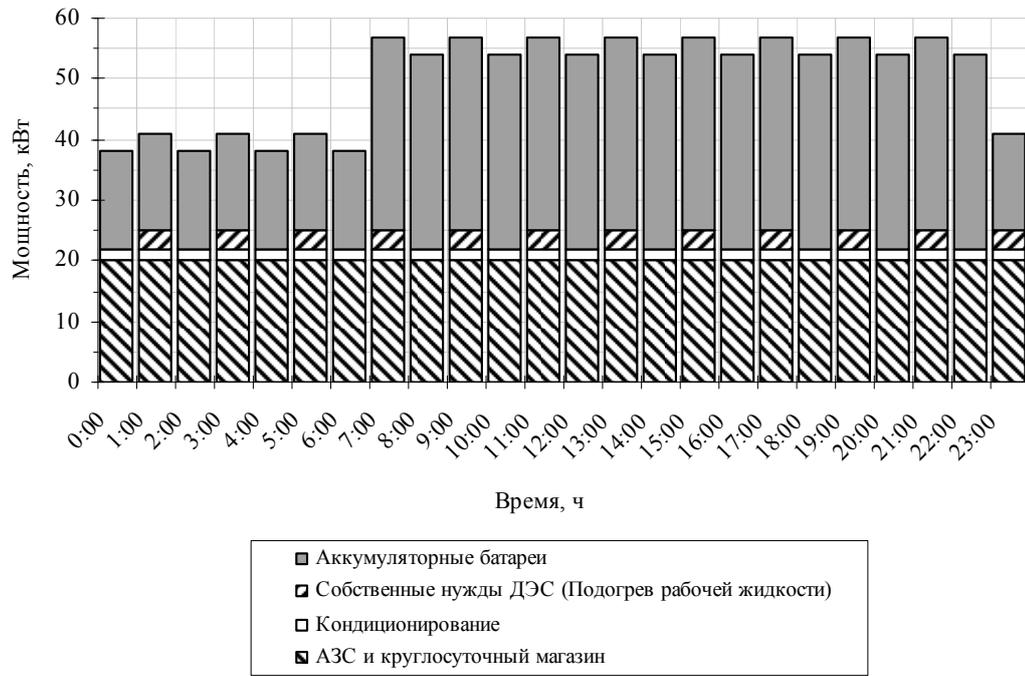


Рисунок П2.19 – Полностью автономная станция замены АКБ. Летний график нагрузки.

Приложение 3.
Результаты расчёта режимов работы ГЭЖ

Таблица ПЗ.1 – Результаты расчёта режимов работы ГЭК, включающих в себя ночную зарядную станцию. Энергоснабжение осуществляется от СФЭС и ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети). $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{By}} \approx 125 \text{ Вт/м}^2$, $\bar{V}_{\text{год}} \approx 2,6 \text{ м/с}$.

№ п/п	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{ДЭУ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	$n_{\text{МРРТ}}$	$n_{\text{ЗУ}}$	$\mathcal{E}_{\text{СН}}$	$\mathcal{E}_{\text{ВЭС}}$	$\mathcal{E}_{\text{СФЭС}}$	$\mathcal{E}_{\text{ДЭС}}$	$\mathcal{E}_{\text{Сети}}^{\text{Д}}$	$\mathcal{E}_{\text{Сети}}^{\text{Н}}$	$\mathcal{E}_{\text{Сети}}^{\Sigma}$	$\mathcal{E}_{\text{ВЭС}}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{\text{СФЭС}}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{\text{Изб.}}^{\text{П}}$	$\mathcal{E}_{\text{Изб.}}^{\Phi}$	B_{T}	$B_{\text{М}}$
	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	л	л
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт																			
Для перераспределения энергии ВИЭ во времени используется 2 системы аккумуляторных батарей																			
1	1	500	0	0	84	1	21,96	20,9	96,1	0	158,5	140	298,5	20,9	71,5	22,2	0,046	0	0
2	1	500	0	50	84	1	21,96	20,9	96,1	0	153,7	140	293,7	20,9	78,5	15,8	0,039	0	0
3	1	500	0	100	84	1	21,96	20,9	96,1	0	149,7	140	289,7	20,9	84,4	10,5	0,031	0	0
4	1	500	0	500	84	1	21,96	20,9	96,1	0	142,1	139,7	281,8	20,9	96,1	0	0	0	0
5	1	500	0	1000	84	1	21,96	20,9	96,1	0	148,6	133,8	282,4	20,9	96,1	0	0	0	0
6	1	500	0	1500	84	1	21,96	20,9	96,1	0	150,9	131,1	282	20,9	96,1	0	0	0	0
7	2	2000	0	0	334	1	21,96	41,9	384,3	0	119,1	126,6	245,7	41,9	117,6	241,8	1,656	0	0
8	2	2000	0	50	334	1	21,96	41,9	384,3	0	107,9	126,6	234,5	41,9	133,6	227,1	1,339	0	0
9	2	2000	0	100	334	1	21,96	41,9	384,3	0	97,2	126,5	223,7	41,9	148,9	213	1,105	0	0
10	2	2000	0	500	334	1	21,96	41,9	384,3	0	61,5	94,6	156,1	41,9	246,5	124,6	0,538	0	0
11	2	2000	0	1000	334	1	21,96	41,9	384,3	0	58,8	70,3	129,1	41,9	285,8	89,1	0,354	0	0

Где: $n_{\text{ВЭУ}}$, $n_{\text{СМ}}$, $n_{\text{ДЭУ}}$, $n_{\text{АКБ}}$, $n_{\text{МРРТ}}$, $n_{\text{ЗУ}}$ – количество ветроэнергетических установок, солнечных модулей, дизельных энергетических установок, аккумуляторных батарей, устройств отбора максимальной мощности для солнечных модулей, зарядных устройств; $\mathcal{E}_{\text{СН}}$ – энергия, потребляемая собственными нуждами ГЭК за год; $\mathcal{E}_{\text{ВЭС}}$, $\mathcal{E}_{\text{СФЭС}}$, $\mathcal{E}_{\text{ДЭС}}$ – годовая выработка ВЭС, СФЭС и ДЭС; $\mathcal{E}_{\text{Сети}}^{\text{Д}}$, $\mathcal{E}_{\text{Сети}}^{\text{Н}}$ – годовое энергопотребление из сети в ночное и дневное время суток; $\mathcal{E}_{\text{ВЭС}}^{\Phi}$, $\mathcal{E}_{\text{СФЭС}}^{\Phi}$ – фактическая годовая выработка ВЭС и СФЭС (с учётом отключения энергоустановок); $\mathcal{E}_{\text{Изб.}}^{\text{П}}$ – избыточная энергия, вырабатываемая ВИЭ за год; $\mathcal{E}_{\text{Изб.}}^{\Phi}$ – фактическая избыточная энергия, вырабатываемая ВИЭ (с учётом отключения энергоустановок) за год; B_{T} – годовой расход дизельного топлива; $B_{\text{М}}$ – годовой расход масла.

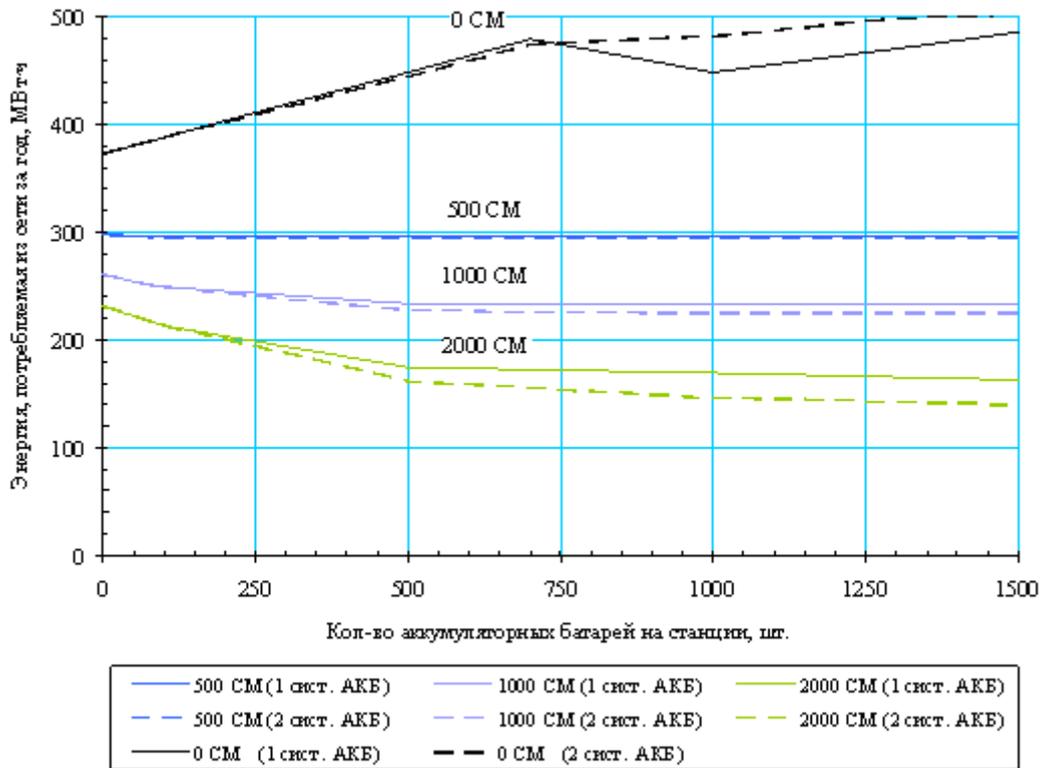


Рисунок ПЗ.1 – ГЭК с коммерческой зарядной станцией. $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma} \approx 125 \text{ Вт/м}^2$. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества солнечных модулей и АКБ.

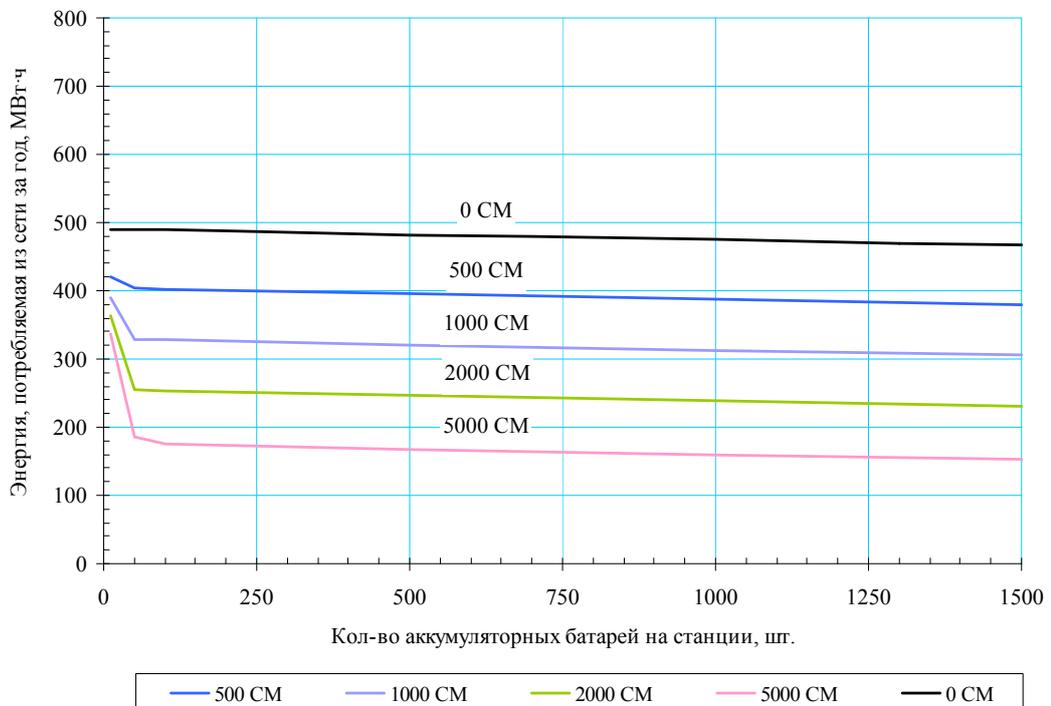


Рисунок ПЗ.2 – ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей таксопарк.

$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma} \approx 125 \text{ Вт/м}^2$. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества солнечных модулей и АКБ.

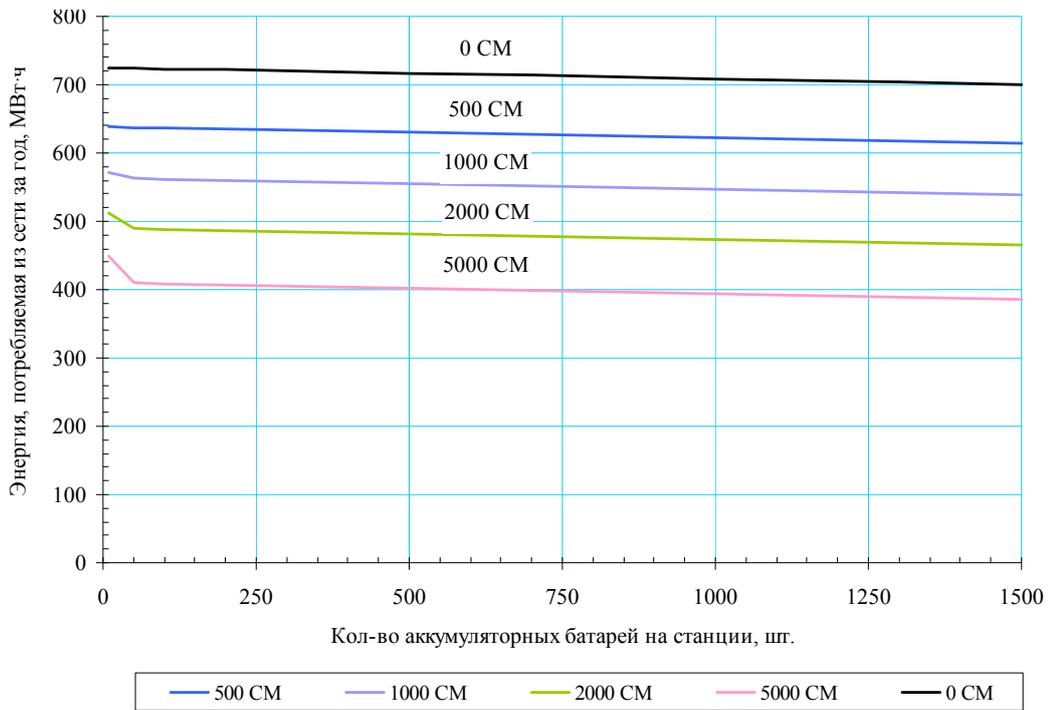


Рисунок ПЗ.3 – ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк промышленного предприятия. $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\text{By}} \approx 125 \text{ Вт/м}^2$. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества солнечных модулей и АКБ.

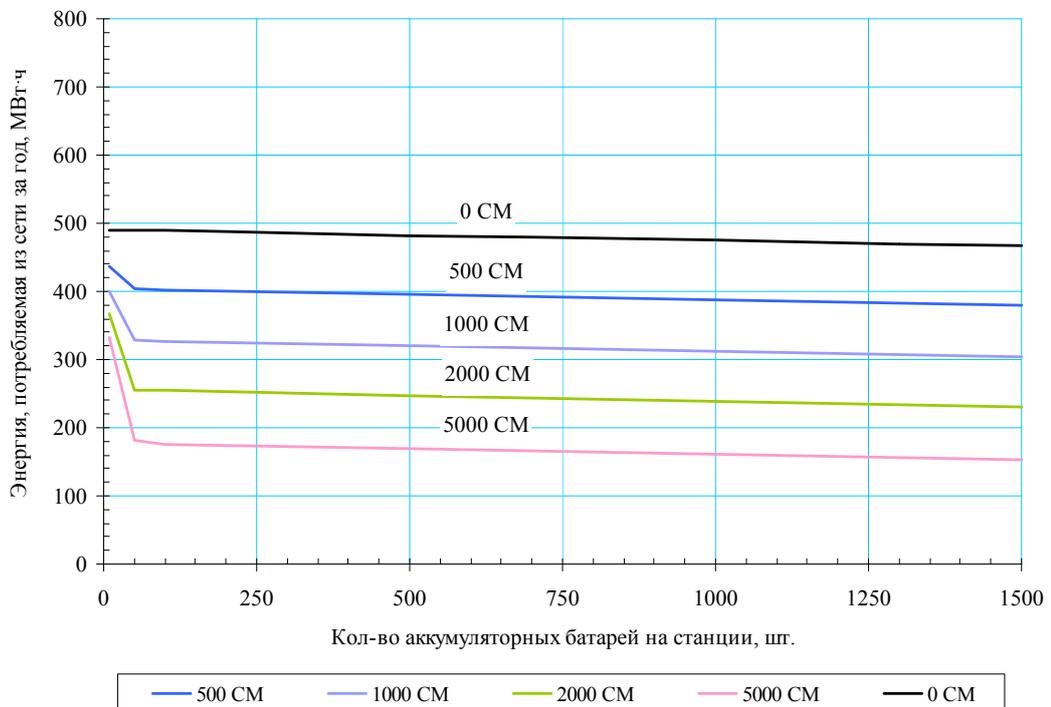


Рисунок ПЗ.4 – ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк зоны отдыха.

$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\text{By}} \approx 125 \text{ Вт/м}^2$. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества солнечных модулей и АКБ.

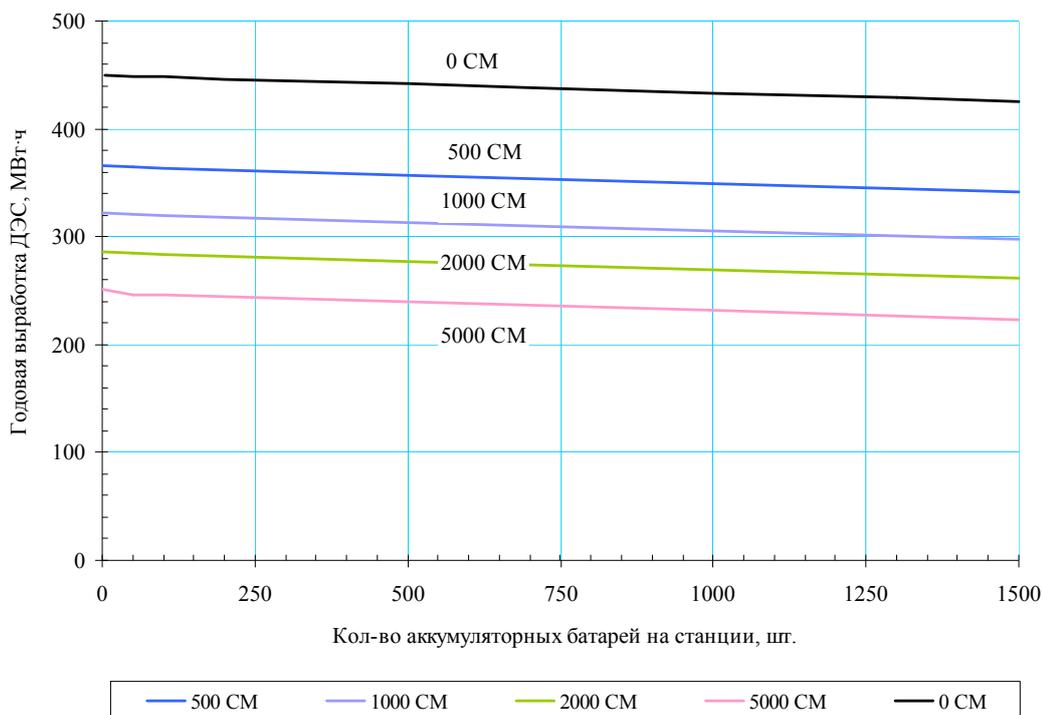


Рисунок ПЗ.5 – Автономный ГЭК со станцией замены АКБ. $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta y} \approx 125 \text{ Вт/м}^2$.

Зависимость годовой выработки ДЭС от количества солнечных модулей и АКБ.

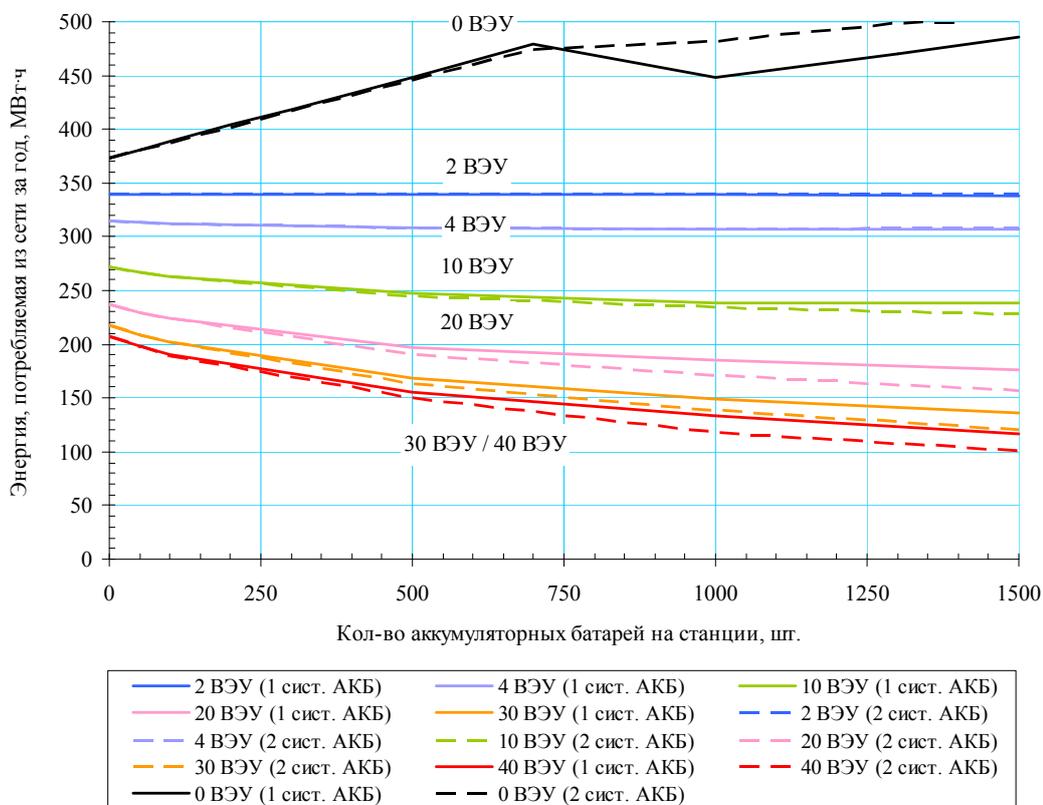


Рисунок ПЗ.6 – ГЭК с коммерческой зарядной станцией. Установленная мощность ВЭУ –

30 кВт. $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 2,6 \text{ м/с}$. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от

количества ветроэнергетических установок и АКБ.

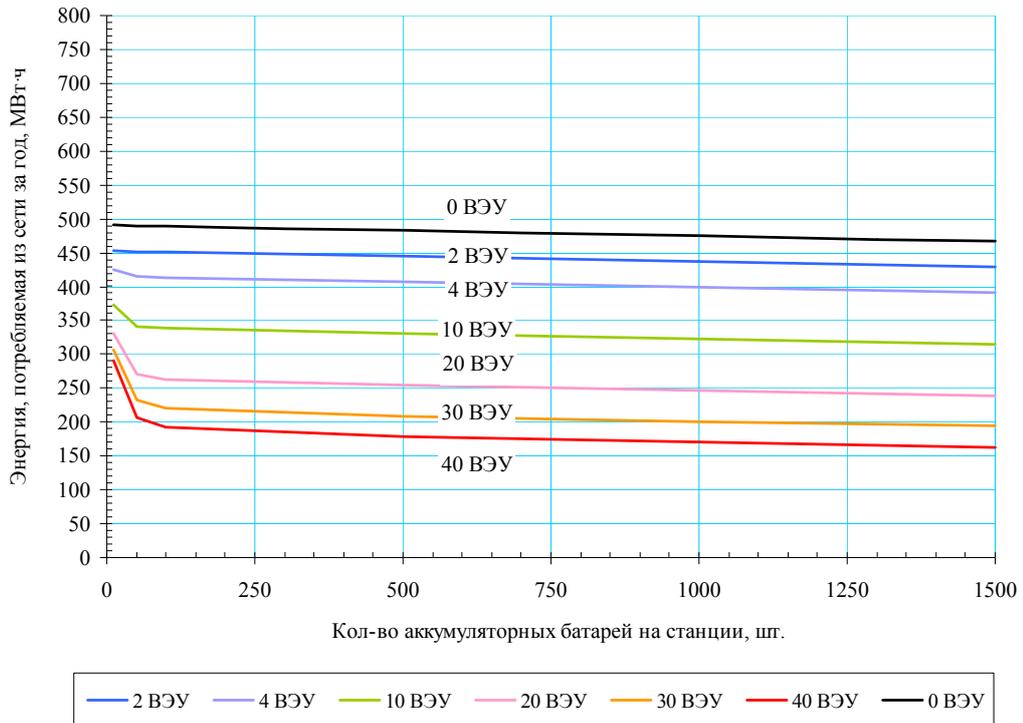


Рисунок ПЗ.7 – ГЭЖ со станцией замены АКБ, обслуживающей таксопарк. Установленная мощность ВЭУ – 30 кВт. $\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества ветроэнергетических установок и АКБ.

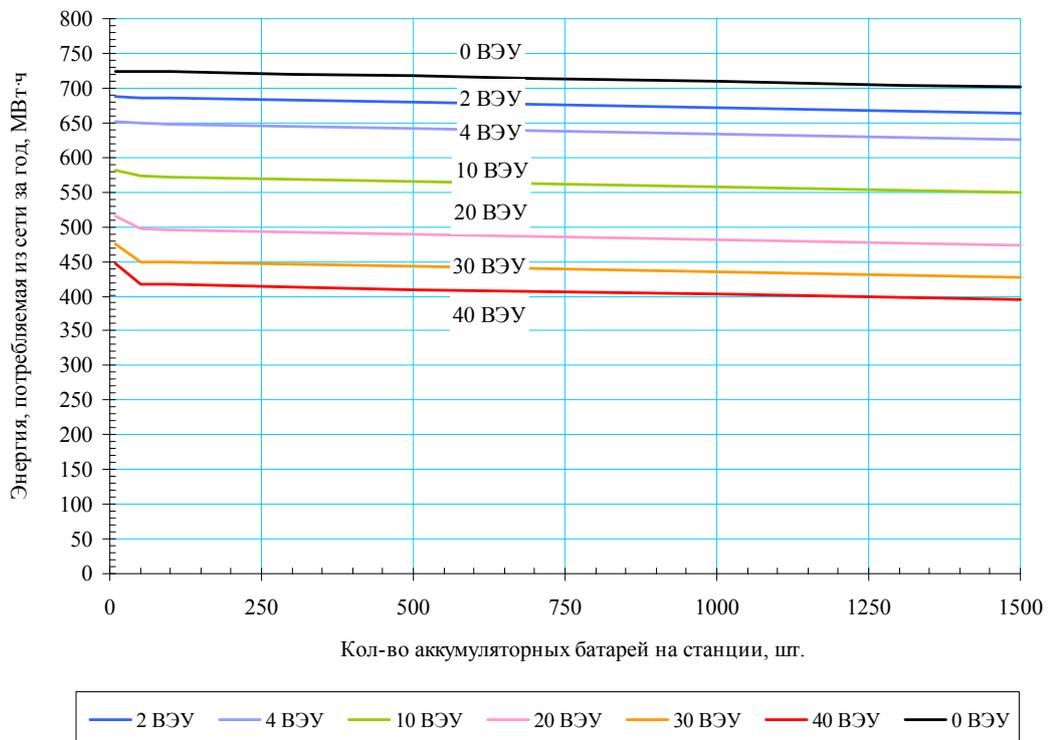


Рисунок ПЗ.8 – ГЭЖ со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк промышленного предприятия. Установленная мощность ВЭУ – 30 кВт. $\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества ветроэнергетических установок и АКБ.

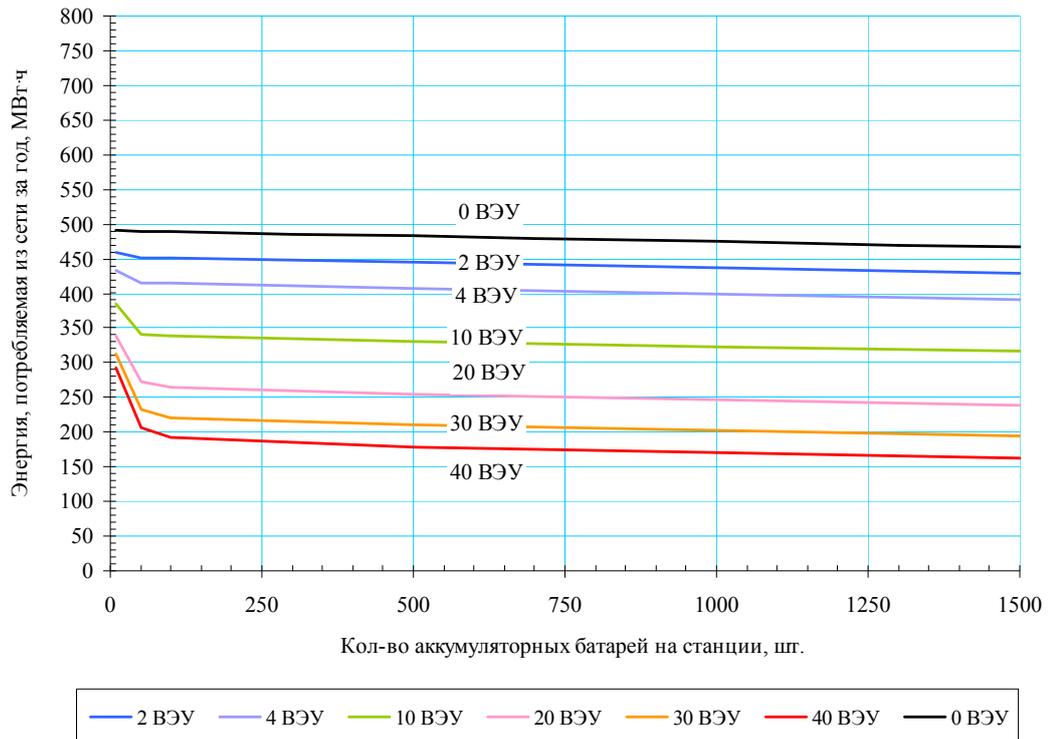


Рисунок ПЗ.9 – ГЭЖ со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк зоны отдыха.

Установленная мощность ВЭУ – 30 кВт. $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с. Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества ветроэнергетических установок и АКБ.

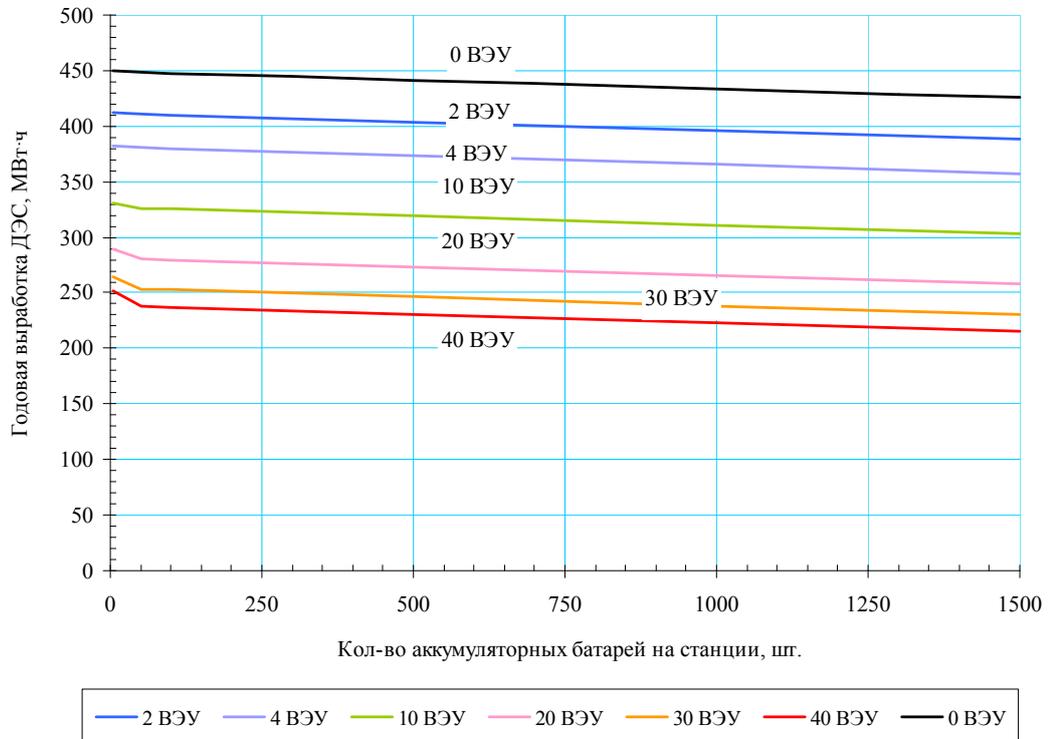


Рисунок ПЗ.10 – Автономный ГЭЖ со станцией замены АКБ. Установленная мощность ВЭУ – 30 кВт. $\bar{V}_{год} \approx 2,6$ м/с. Зависимость годовой выработки ДЭС от количества солнечных модулей и АКБ.

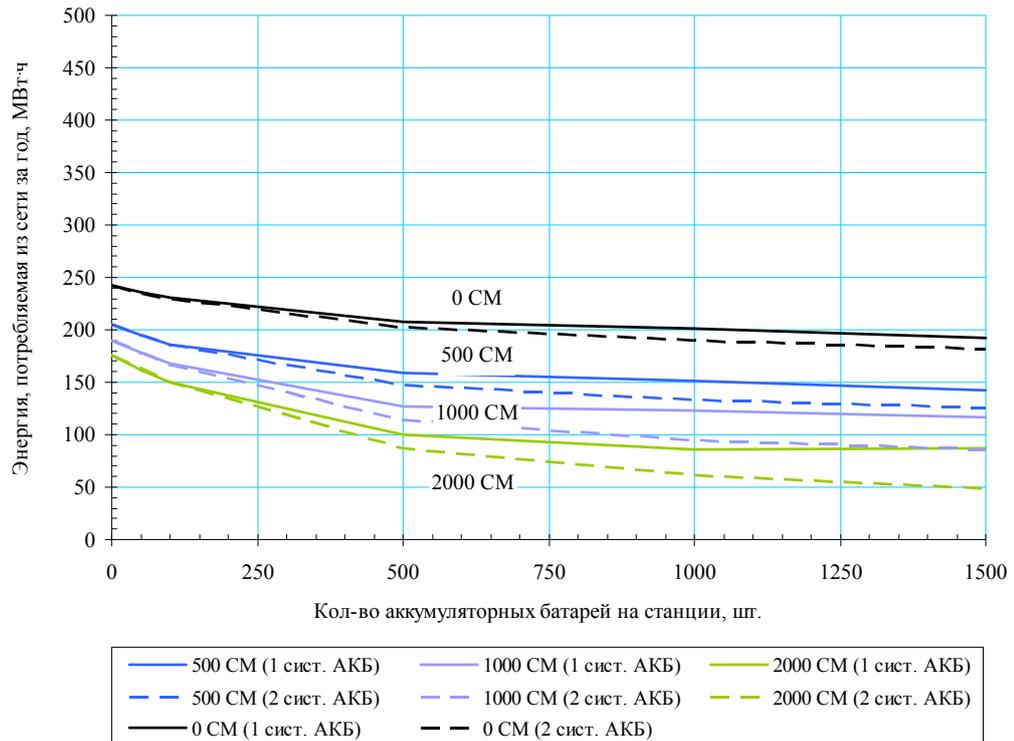


Рисунок ПЗ.11 – ГЭЖ с ночной зарядной станцией. В состав ВЭС входит 5 ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. $\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год} \approx 125$ Вт/м². Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества солнечных модулей и АКБ.

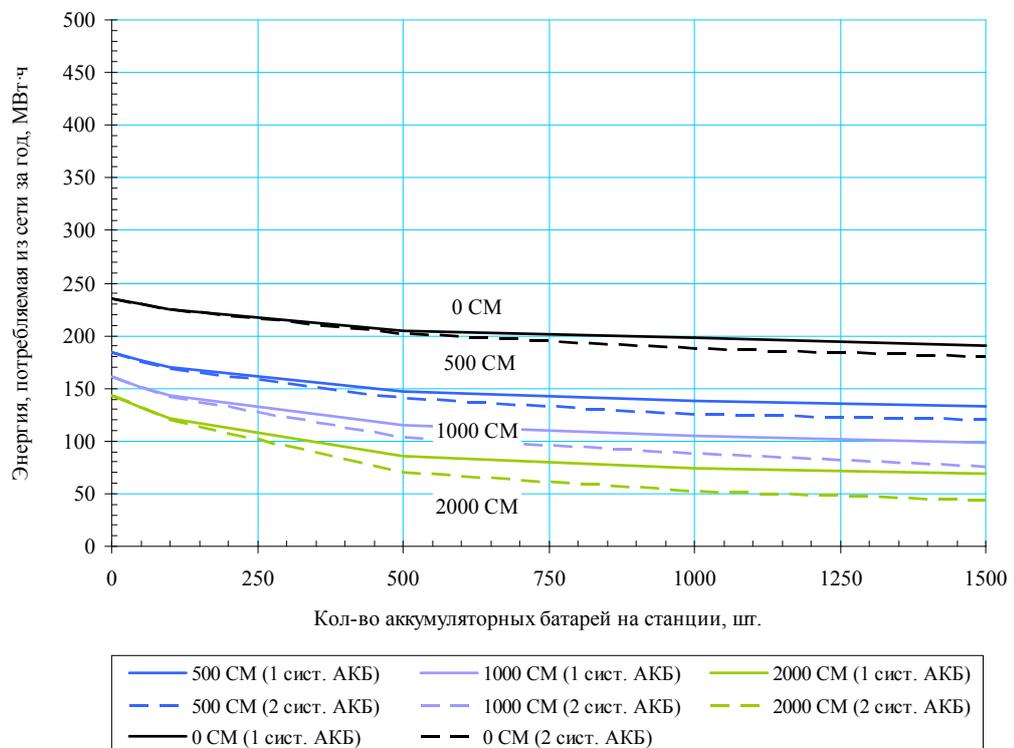


Рисунок ПЗ.12 – ГЭЖ с коммерческой зарядной станцией. В состав ВЭС входит 5 ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. $\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год} \approx 125$ Вт/м². Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества солнечных модулей и АКБ.

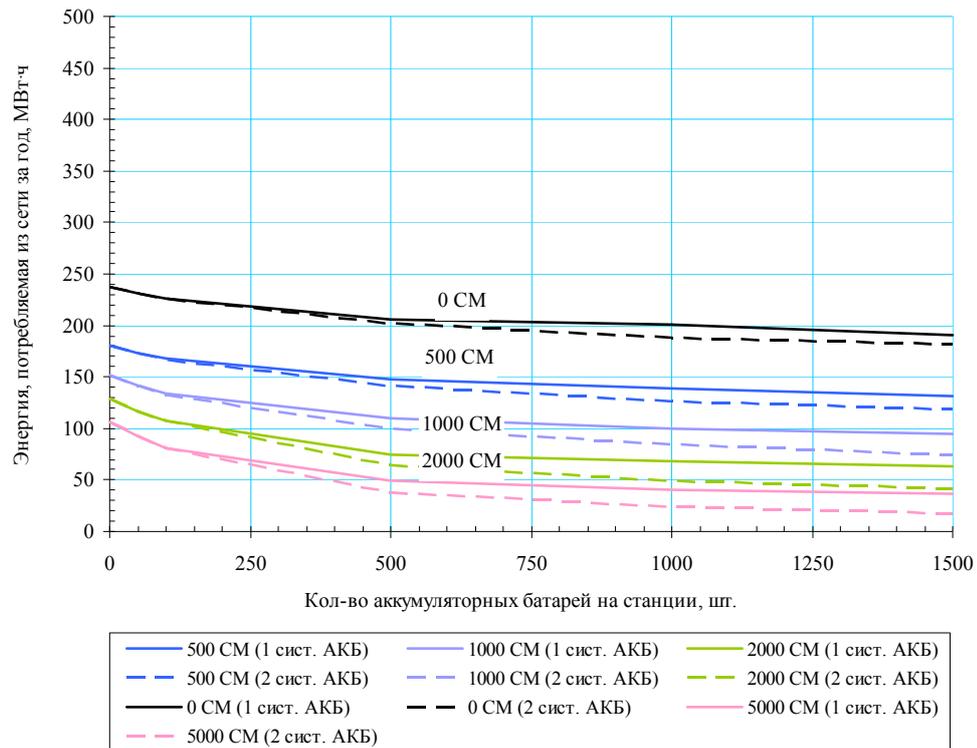


Рисунок ПЗ.13 – ГЭК с дневной зарядной станцией. В состав ВЭС входит 5 ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. $\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год} \approx 125$ Вт/м². Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества солнечных модулей и АКБ.

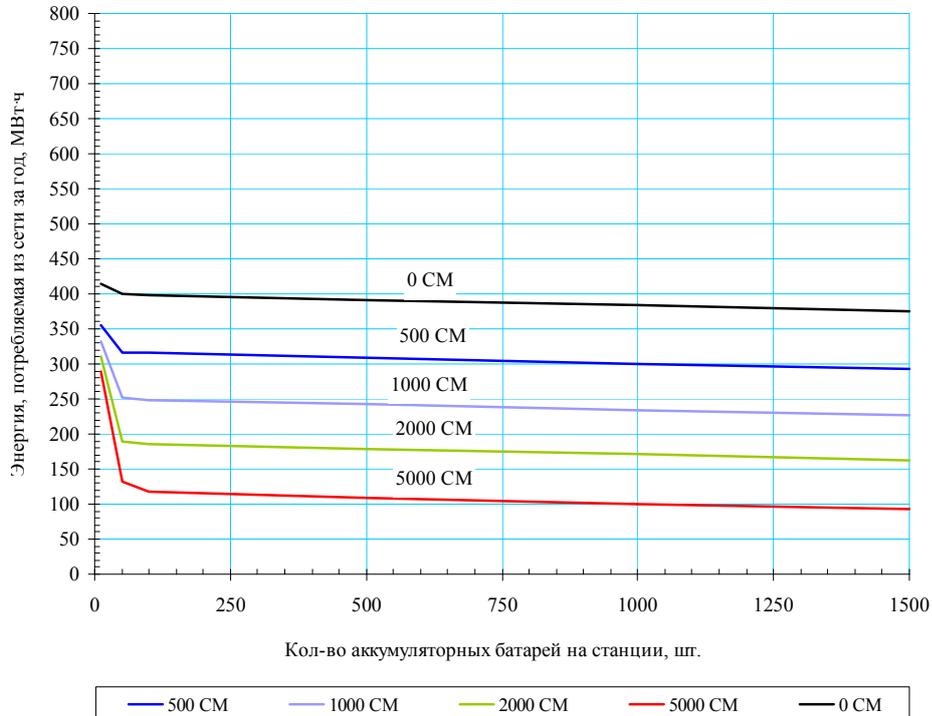


Рисунок ПЗ.14 – ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей таксопарк. В состав ВЭС входит 5 ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. $\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год} \approx 125$ Вт/м².

Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества солнечных модулей и АКБ.

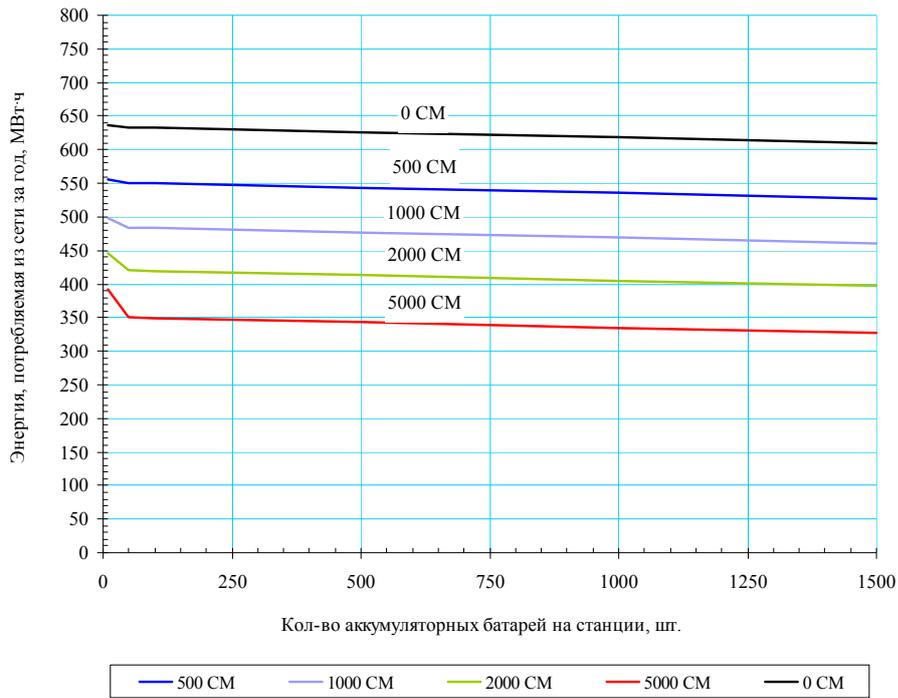


Рисунок П3.15 – ГЭЖ со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк промышленного предприятия. В состав ВЭС входит 5 ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. $\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{Б\gamma}_{Год} \approx 125$ Вт/м². Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества солнечных модулей и АКБ.

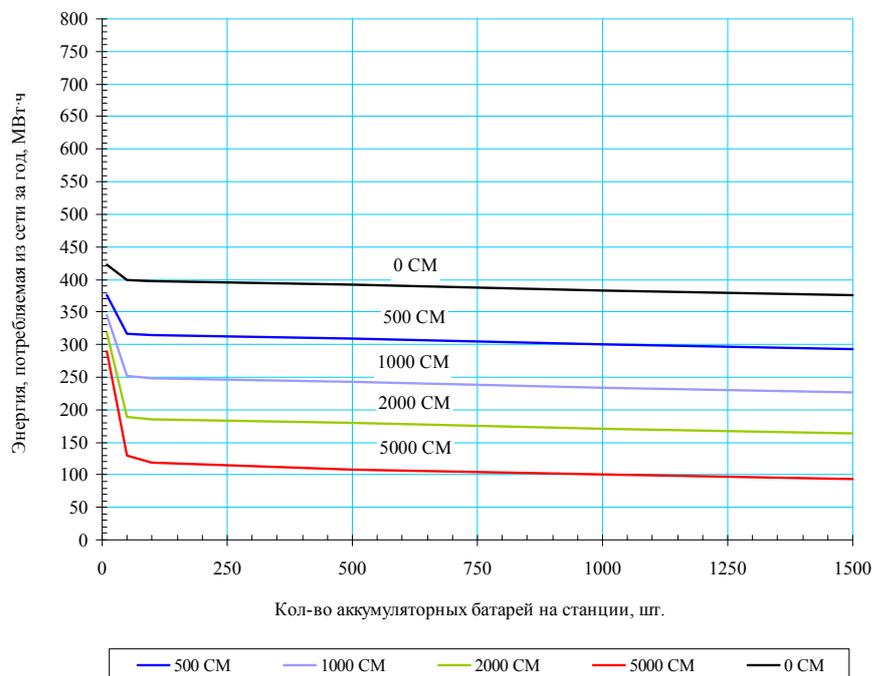


Рисунок П3.16 – ГЭЖ со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк зоны отдыха.

В состав ВЭС входит 5 ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. $\bar{V}_{Год} \approx 2,6$ м/с, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{Б\gamma}_{Год} \approx 125$ Вт/м². Зависимость энергии, потребляемой из сети за год, от количества солнечных модулей и АКБ.

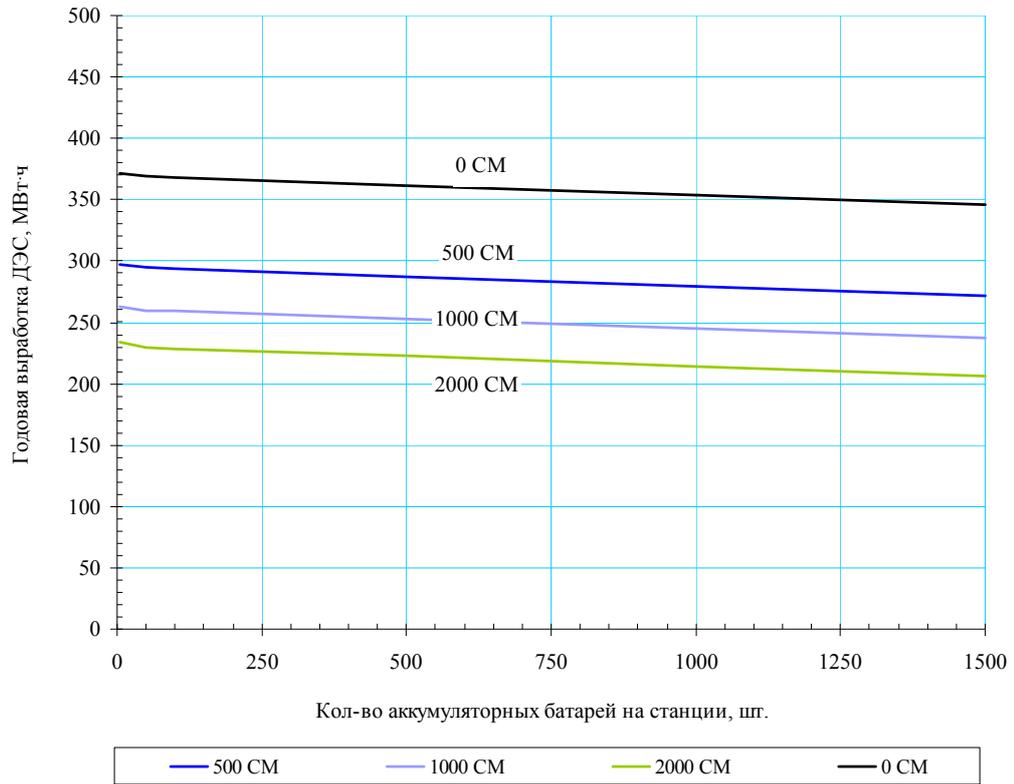


Рисунок ПЗ.17 – Автономный ГЭЖ со станцией замены АКБ. В состав ВЭС входит 5 ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт. $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 2,6$ м/с, $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{Год}}^{\beta\gamma} \approx 125$ Вт/м². Зависимость годовой выработки ДЭС от количества солнечных модулей и АКБ.

Приложение 4.

Результаты экономической оценки эффективности ГЭК

Таблица П4.1 – Результаты расчёта экономических показателей ГЭК с ночной зарядной станцией.

$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{\text{Год}}$	$\bar{V}_{\text{Год}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	$n_{\text{МРРТ}}$	$n_{\text{ЗУ}}$	$\mathcal{E}_{\text{СН}}$	$\mathcal{E}_{\text{ВЭС}}$	$\mathcal{E}_{\text{СФЭС}}$	$\mathcal{E}_{\text{Сету}}^{\text{Л}}$	$\mathcal{E}_{\text{Сету}}^{\text{Н}}$	$\mathcal{E}_{\text{ВЭС}}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{\text{СФЭС}}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{\text{Изб.}}^{\text{П}}$	$\mathcal{E}_{\text{Изб.}}^{\Phi}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
Вт/м ²	м/с	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	млн. руб	млн. руб	о.е.
Энергоснабжение станции осуществляется только от сети																		
-	-	0	0	0	0	1	21,96	0	0	225,5	147,9	0	0	0	0	1,5	-6,767	-3,511
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
125	-	0	500	0	84	1	21,96	0	96,1	168	144,4	0	75,2	18,8	0,044	25,67	-38,34	-0,493
151	-	0	500	0	84	1	21,96	0	117,6	157,6	145,4	0	86,9	27,7	0,06	25,67	-38,03	-0,481
167	-	0	500	0	84	1	21,96	0	130	151,6	146,4	0	93	33,5	0,076	25,67	-37,86	-0,475
183	-	0	500	0	84	1	21,96	0	145,7	148,4	146,6	0	96,8	44,1	0,091	25,67	-37,76	-0,471
191	-	0	500	0	84	1	21,96	0	150,9	146	145,9	0	100,7	45,3	0,092	25,67	-37,68	-0,468
Энергоснабжение осуществляется от ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт																		
-	2,6	1	0	0	0	1	21,96	20,9	0	212,9	143,5	20,9	0	0	0	7,28	-14,23	-0,955
-	2,6	2	0	0	0	1	21,96	41,9	0	201,7	139,1	41,9	0	1,6	1,6	13,06	-21,74	-0,664
-	3,5	1	0	0	0	1	21,96	38,2	0	202,6	139,8	38,2	0	0	0	7,28	-13,9	-0,909
-	3,5	2	0	0	0	1	21,96	76,3	0	183,1	131,8	76,3	0	3,8	3,8	13,06	-21,13	-0,618
-	4,5	1	0	0	0	1	21,96	63,8	0	190,9	130,8	63,8	0	0	0	7,28	-13,48	-0,852
-	4,5	2	0	0	0	1	21,96	127,6	0	162	113,7	127,6	0	6,4	6,4	13,06	-20,36	-0,559
-	5,8	1	0	0	0	1	21,96	94,6	0	171,1	125,6	94,6	0	0	0	7,28	-12,86	-0,766
-	5,8	2	0	0	0	1	21,96	189,2	0	131,3	103,3	189,3	0	16,2	16,2	13,06	-19,36	-0,482
-	7,2	1	0	0	0	1	21,96	127,2	0	153,8	116,5	127,2	0	0	0	7,28	-12,27	-0,686
-	7,2	2	0	0	0	1	21,96	254,4	0	104,5	85,2	254,2	0	25	24,96	13,06	-18,42	-0,41

Таблица П4.1 (Продолжение) – Результаты расчёта экономических показателей ГЭК с ночной зарядной станцией.

$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год}$	$\bar{V}_{Год}$	$n_{ВЭУ}$	$n_{СМ}$	$n_{АКБ}$	$n_{МРРТ}$	$n_{ЗУ}$	$\mathcal{E}_{СН}$	$\mathcal{E}_{ВЭС}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}$	$\mathcal{E}_{Сету}^L$	$\mathcal{E}_{Сету}^H$	$\mathcal{E}_{ВЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Pi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Phi}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
Вт/м ²	м/с	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	млн. руб	млн. руб	о.е.
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт																		
-	2,6	1	0	0	0	1	21,96	57,5	0	193,3	135,5	57,4	0	2,3	2,269	12,31	-20,44	-0,66
-	3,5	1	0	0	0	1	21,96	98,5	0	171,7	126,5	98,5	0	5,2	5,189	12,31	-19,73	-0,603
-	4,5	1	0	0	0	1	21,96	154	0	149,5	106,7	154	0	8,5	8,5	12,31	-18,91	-0,536
-	5,8	1	0	0	0	1	21,96	215,1	0	119,8	96,4	215,1	0	19	18,96	12,31	-17,94	-0,458
-	7,2	1	0	0	0	1	21,96	273,4	0	96,1	79,2	273,4	0	26,1	26,1	12,31	-17,1	-0,389
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт																		
-	2,6	1	0	0	0	1	21,96	1,5	0	224,6	147,6	1,5	0	0	0	3,885	-9,986	-1,57
-	2,6	5	0	0	0	1	21,96	7,3	0	221	146,5	7,2	0	0	0	13,43	-22,86	-0,703
-	3,5	1	0	0	0	1	21,96	3,2	0	223,5	147,3	3,2	0	0	0	3,885	-9,951	-1,561
-	3,5	5	0	0	0	1	21,96	16,1	0	215,7	144,8	16	0	0,2	0,084	13,43	-22,69	-0,69
-	4,5	1	0	0	0	1	21,96	6,9	0	221,7	146	6,9	0	0	0	3,885	-9,888	-1,545
-	4,5	5	0	0	0	1	21,96	34,3	0	207,4	138,8	33,8	0	0,7	0,222	13,43	-22,4	-0,668
-	5,8	1	0	0	0	1	21,96	13	0	217,8	145	13	0	0	0	3,885	-9,765	-1,514
-	5,8	5	0	0	0	1	21,96	65,2	0	189,5	133,4	63	0	2,6	0,673	13,43	-21,83	-0,626
-	7,2	1	0	0	0	1	21,96	21,8	0	212,9	142,8	21,8	0	0	0	3,885	-9,603	-1,472
-	7,2	5	0	0	0	1	21,96	108,8	0	168,1	122,6	103,6	0	6,1	1,427	13,43	-21,11	-0,572
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС и ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт																		
125	2,6	1	500	0	84	1	21,96	20,9	96,1	158,5	140	20,9	71,5	22,2	0,046	31,45	-45,89	-0,459
167	3,5	1	500	0	84	1	21,96	38,2	130	137,6	138,4	38,2	82,1	43,3	0,079	31,45	-45,25	-0,439
151	4,5	1	500	0	84	1	21,96	63,8	117,6	132,7	128,4	63,8	74,9	38,5	0,064	31,45	-45,02	-0,431
191	5,8	1	500	0	84	1	21,96	94,6	150,9	114,2	123,6	94,6	72,8	70,4	0,097	31,45	-44,42	-0,412
183	7,2	1	500	0	84	1	21,96	127,2	145,7	105,6	115,3	127,2	61,2	76,1	0,093	31,45	-44,09	-0,402

Таблица П4.1 (Продолжение) – Результаты расчёта экономических показателей ГЭК с ночной зарядной станцией.

$\bar{E}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год}$	$\bar{V}_{Год}$	$n_{ВЭУ}$	$n_{СМ}$	$n_{АКБ}$	$n_{МРРТ}$	$n_{ЗУ}$	$\mathcal{E}_{СН}$	$\mathcal{E}_{ВЭС}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}$	$\mathcal{E}_{Сети}^D$	$\mathcal{E}_{Сети}^H$	$\mathcal{E}_{ВЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Pi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Phi}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
Вт/м ²	м/с	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	млн. руб	млн. руб	о.е.
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт																		
125	2,6	1	500	0	84	1	21,96	57,5	96,1	144	132	57,5	65,3	30,1	2,314	36,48	-52,24	-0,432
167	3,5	1	500	0	84	1	21,96	98,5	130	118,5	125,1	98,5	67,5	61,6	5,258	36,48	-51,41	-0,409
151	4,5	1	500	0	84	1	21,96	154	117,6	103,8	104,3	154	59,4	61	8,561	36,48	-50,80	-0,393
191	5,8	1	500	0	84	1	21,96	215,1	150,9	81,3	94,4	215,1	50	109,9	19,01	36,48	-50,02	-0,371
183	7,2	1	500	0	84	1	21,96	273,4	145,7	66,4	78	273,4	38,2	122,9	26,19	36,48	-49,44	-0,355
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт																		
125	2,6	1	500	0	84	1	21,96	1,5	96,1	167,3	144,1	1,5	75	19	0,045	28,06	-41,56	-0,481
167	3,5	1	500	0	84	1	21,96	3,2	130	150,4	145,8	3,2	92,1	34,3	0,077	28,06	-41,07	-0,464
151	4,5	1	500	0	84	1	21,96	6,9	117,6	154,7	143,6	6,9	85,8	28,7	0,065	28,06	-41,18	-0,468
191	5,8	1	500	0	84	1	21,96	13	150,9	141,2	143	13	97,1	48,6	0,091	28,06	-40,77	-0,453
183	7,2	1	500	0	84	1	21,96	21,8	145,7	140,5	141,5	21,8	91,1	49,2	0,088	28,06	-40,73	-0,452

Где: $n_{ВЭУ}$, $n_{СМ}$, $n_{АКБ}$, $n_{МРРТ}$, $n_{ЗУ}$ – количество ветроэнергетических установок, солнечных модулей, аккумуляторных батарей, устройств отбора максимальной мощности для солнечных модулей и зарядных устройств; $\mathcal{E}_{СН}$ – энергия, потребляемая собственными нуждами ГЭК за год; $\mathcal{E}_{ВЭС}$, $\mathcal{E}_{СФЭС}$ – годовая выработка ВЭС и СФЭС; $\mathcal{E}_{Сети}^D$, $\mathcal{E}_{Сети}^H$ – годовое энергопотребление из сети в ночное и дневное время суток; $\mathcal{E}_{ВЭС}^{\Phi}$, $\mathcal{E}_{СФЭС}^{\Phi}$ – фактическая годовая выработка ВЭС и СФЭС (с учётом отключения энергоустановок); $\mathcal{E}_{Изб.}^{\Pi}$ – избыточная энергия, вырабатываемая ВИЭ за год; $\mathcal{E}_{Изб.}^{\Phi}$ – фактическая избыточная энергия, вырабатываемая ВИЭ (с учётом отключения энергоустановок) за год; ЧДД – чистый дисконтированный доход; ИД – индекс доходности.

Таблица П4.2 – Результаты расчёта экономических показателей ГЭК с коммерческой зарядной станцией.

$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год}$	$\bar{V}_{Год}$	$n_{ВЭУ}$	$n_{СМ}$	$n_{АКБ}$	$n_{МРРТ}$	$n_{ЗУ}$	$\mathcal{E}_{СН}$	$\mathcal{E}_{ВЭС}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}$	$\mathcal{E}_{Сети}^D$	$\mathcal{E}_{Сети}^H$	$\mathcal{E}_{ВЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Pi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Phi}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
Вт/м ²	м/с	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	млн. руб	млн. руб	о.е.
Энергоснабжение станции осуществляется только от сети																		
-	-	0	0	0	0	1	21,96	0	0	290,7	82,6	0	0	0	0	1,5	-8,118	-4,412
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
191	-	0	500	0	84	1	21,96	0	150,9	180,6	80,6	0	138,5	11,2	0,058	25,67	-38,17	-0,487
Энергоснабжение осуществляется от ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт																		
-	7,2	1	0	0	0	1	21,96	127,2	0	219,1	51,3	127,2	0	0	0	7,281	-13,63	-0,872
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт																		
-	7,2	1	0	0	0	1	21,96	273,4	0	139,2	31,2	273,4	0	20,6	20,6	12,31	-17,95	-0,458
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт																		
-	7,2	1	0	0	0	1	21,96	21,8	0	278,2	77,5	21,8	0	0	0	3,885	-10,96	-1,82
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС и ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт																		
183	7,2	1	500	0	84	1	21,96	127,2	145,7	129,7	50,1	127,2	111,8	30,5	0,079	31,45	-44,27	-0,408
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт																		
183	7,2	1	500	0	84	1	21,96	273,4	145,7	81	30,4	273,4	72,9	86,2	20,69	36,48	-49,49	-0,356
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт																		
183	7,2	1	500	0	84	1	21,96	21,8	145,7	174,2	76,2	21,8	130	14,2	0,057	28,06	-41,19	-0,468

Таблица П4.3 – Результаты расчёта экономических показателей ГЭК с дневной зарядной станцией.

$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год}$	$\bar{V}_{Год}$	$n_{ВЭУ}$	$n_{СМ}$	$n_{АКБ}$	$n_{МРРТ}$	$n_{ЗУ}$	$\mathcal{E}_{СН}$	$\mathcal{E}_{ВЭС}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}$	$\mathcal{E}_{Сети}^D$	$\mathcal{E}_{Сети}^H$	$\mathcal{E}_{ВЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Pi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Phi}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
Вт/м ²	м/с	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	млн. руб	млн. руб	о.е.
Энергоснабжение станции осуществляется только от сети																		
-	-	0	0	0	0	2	21,96	0	0	293,2	80,1	0	0	0	0	3	-10,09	-2,363
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
191	-	0	500	0	84	2	21,96	0	150,9	177,6	78,1	0	145,3	5,1	0,032	27,173	-39,98	-0,471
Энергоснабжение осуществляется от ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт																		
-	7,2	1	0	0	0	2	21,96	127,2	0	221,6	48,8	127,2	0	0	0	8,781	-15,6	-0,776
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт																		
-	7,2	1	0	0	0	2	21,96	273,4	0	148,3	29,4	273,4	0	28,7	28,7	13,81	-20,12	-0,457
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт																		
-	7,2	1	0	0	0	2	21,96	21,8	0	280,7	75	21,8	0	0	0	5,385	-12,93	-1,401
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС и ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт																		
183	7,2	1	500	0	84	2	21,96	127,2	145,7	120,6	47,6	127,2	126,2	17,6	0,06	32,95	-45,91	-0,393
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт																		
183	7,2	1	500	0	84	2	21,96	273,4	145,7	73,9	28,6	273,4	93	76,2	28,8	37,98	-51,19	-0,348
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт																		
183	7,2	1	500	0	84	2	21,96	21,8	145,7	169,7	73,7	21,8	138,6	6,4	0,035	29,56	-42,96	-0,453

Таблица П4.4 – Результаты расчёта экономических показателей ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей таксопарк.

$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год}$	$\bar{V}_{Год}$	$n_{ВЭУ}$	$n_{СМ}$	$n_{АКБ}$	$n_{МРРТ}$	$n_{ЗУ}$	$\mathcal{E}_{СН}$	$\mathcal{E}_{ВЭС}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}$	$\mathcal{E}_{Сети}^D$	$\mathcal{E}_{Сети}^H$	$\mathcal{E}_{ВЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Pi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Phi}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
Вт/м ²	м/с	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	млн. руб	млн. руб	о.е.
Энергоснабжение станции осуществляется только от сети																		
-	-	0	0	12	0	3	21,96	0	0	307,4	182,9	0	0	0	0	5,7	-13,85	-1,429
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
191	-	0	500	12	84	3	21,96	0	150,9	206,4	180,7	0	114,8	32,6	0,074	29,87	-44,23	-0,481
Энергоснабжение осуществляется от ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт																		
-	7,2	1	0	12	0	3	21,96	127,2	0	229,9	148,7	127,2	0	2,6	2,6	11,48	-19,25	-0,677
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт																		
-	7,2	1	0	12	0	3	21,96	273,4	0	157,2	114,6	273,4	0	27,6	27,57	16,51	-23,75	-0,439
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт																		
-	7,2	1	0	12	0	3	21,96	21,8	0	293,5	177,3	21,8	0	0	0	8,085	-16,65	-1,06
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС и ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт																		
183	7,2	1	500	12	84	3	21,96	127,2	145,7	153,5	147,8	127,2	86	56,4	2,705	35,65	-50,33	-0,412
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт																		
183	7,2	1	500	12	84	3	21,96	273,4	145,7	106	113,9	273,4	57,7	106,8	27,64	40,68	-55,53	-0,365
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт																		
183	7,2	1	500	12	84	3	21,96	21,8	145,7	196,2	175,8	21,8	109,7	32,4	0,073	32,26	-47,15	-0,462

Таблица П4.5 – Результаты расчёта экономических показателей ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк промышленного предприятия.

$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{\text{Год}}$	$\bar{V}_{\text{Год}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	$n_{\text{МРРТ}}$	$n_{\text{ЗУ}}$	$\mathcal{E}_{\text{СН}}$	$\mathcal{E}_{\text{ВЭС}}$	$\mathcal{E}_{\text{СФЭС}}$	$\mathcal{E}_{\text{Сети}}^{\text{Д}}$	$\mathcal{E}_{\text{Сети}}^{\text{Н}}$	$\mathcal{E}_{\text{ВЭС}}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{\text{СФЭС}}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{\text{Изб.}}^{\text{П}}$	$\mathcal{E}_{\text{Изб.}}^{\Phi}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
Вт/м ²	м/с	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	млн. руб	млн. руб	о.е.
Энергоснабжение станции осуществляется только от сети																		
-	-	0	0	10	0	3	21,96	0	0	483,1	241,5	0	0	0	0	5,5	-17,25	-2,136
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
191	-	0	500	10	84	3	21,96	0	150,9	350,2	239,3	0	150,2	0,7	0,009	29,67	-46,75	-0,575
Энергоснабжение осуществляется от ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт																		
-	7,2	1	0	10	0	3	21,96	127,2	0	403,5	206,7	127,2	0	0	0	11,28	-22,59	-1,002
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт																		
-	7,2	1	0	10	0	3	21,96	273,4	0	313,3	165,2	273,4	0	0	0	16,31	-26,56	-0,628
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт																		
-	7,2	1	0	10	0	3	21,96	21,8	0	469,1	235,8	21,8	0	0	0	7,885	-20,05	-1,543
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС и ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт																		
183	7,2	1	500	10	84	3	21,96	127,2	145,7	280,1	205,3	127,2	138,7	6,3	0,035	35,45	-52,36	-0,477
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт																		
183	7,2	1	500	10	84	3	21,96	273,4	145,7	206,2	163,8	273,4	120,6	22,6	0,072	40,48	-56,78	-0,403
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт																		
183	7,2	1	500	10	84	3	21,96	21,8	145,7	340,8	234,4	21,8	144,2	1,3	0,014	32,06	-49,69	-0,55

Таблица П4.6 – Результаты расчёта экономических показателей ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк зоны отдыха.

$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma}_{Год}$	$\bar{V}_{Год}$	$n_{ВЭУ}$	$n_{СМ}$	$n_{АКБ}$	$n_{МРРТ}$	$n_{ЗУ}$	$\mathcal{E}_{СН}$	$\mathcal{E}_{ВЭС}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}$	$\mathcal{E}_{Сети}^D$	$\mathcal{E}_{Сети}^H$	$\mathcal{E}_{ВЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{СФЭС}^{\Phi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Pi}$	$\mathcal{E}_{Изб.}^{\Phi}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
Вт/м ²	м/с	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	МВт·ч	млн. руб	млн. руб	о.е.
Энергоснабжение станции осуществляется только от сети																		
-	-	0	0	10	0	3	21,96	0	0	366,0	124,3	0	0	0	0	5,5	-14,80	-1,692
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
191	-	0	500	10	84	3	21,96	0	150,9	275,9	123,6	0	101,0	45,0	0,042	29,67	-45,50	-0,533
Энергоснабжение осуществляется от ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт																		
-	7,2	1	0	10	0	3	21,96	127,2	0	302,0	103,6	127,1	0	29,6	29,6	11,28	-20,68	-0,833
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт																		
-	7,2	1	0	10	0	3	21,96	273,4	0	233,6	82,5	273,4	0	71,7	71,7	16,31	-25,39	-0,557
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт																		
-	7,2	1	0	10	0	3	21,96	21,8	0	353,4	119,9	21,8	0	2,6	2,551	7,885	-17,66	-1,239
Энергоснабжение осуществляется от СФЭС и ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети)																		
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 30 кВт																		
183	7,2	1	500	10	84	3	21,96	127,2	145,7	218,1	103,5	127,2	93,3	76,8	29,66	34,45	-51,55	-0,454
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт																		
183	7,2	1	500	10	84	3	21,96	273,4	145,7	162,4	82,4	273,4	79,2	131,6	71,79	40,48	-56,61	-0,398
Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт																		
183	7,2	1	500	10	84	3	21,96	21,8	145,7	264,0	119,6	21,8	99,8	43,9	2,584	32,06	-48,38	-0,509

Таблица П4.7 – Оптимальные варианты состава оборудования для ГЭК с ночной зарядной станцией в зависимости от стоимости сетевой электроэнергии.

$\Delta S_{\text{Эл.эн.}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{ДЭУ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	Кол-во систем АКБ	Кап. вл.	ЧДД	ИД
о.е.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от СФЭС, от ВЭС или от СФЭС и ВЭС одновременно (резервное энергоснабжение – от сети).								
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\beta\gamma} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$, $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2 \text{ м/с}$ или $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\beta\gamma} \approx 183 \text{ Вт/м}^2$ и $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2 \text{ м/с}$ соответственно								
1	0	0	0	0	-	1,5	-6,767	-3,511
2	0	0	0	500	1	12	-24,06	-1,005
3	0	0	0	700	2	16,2	-34,26	-1,115
5	0	0	0	1000	2	22,5	-50,46	-1,243
6	0	0	0	1300	2	28,8	-54,01	-0,875

Где: $\Delta S_{\text{Эл.эн.}}$ – во сколько раз должна увеличиться стоимость электроэнергии, чтобы приведённый вариант состава оборудования стал более выгодным, чем вариант с ГЭК, работающим только от сети.

Таблица П4.8 – Оптимальные варианты состава оборудования для ГЭК с коммерческой зарядной станцией в зависимости от стоимости сетевой электроэнергии.

$\Delta S_{\text{Эл.эн.}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{ДЭУ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	Кол-во систем АКБ	Кап. вл.	ЧДД	ИД
о.е.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от СФЭС, от ВЭС или от СФЭС и ВЭС одновременно (резервное энергоснабжение – от сети)								
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\beta\gamma} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$, $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2 \text{ м/с}$ или $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\beta\gamma} \approx 183 \text{ Вт/м}^2$ и $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2 \text{ м/с}$ соответственно								
1	0	0	0	0	-	1,5	-8,117	-4,412
2	0	0	0	700	1	16,2	-29,42	-0,816
5	0	0	0	1300	2	28,8	-60,31	-1,094
6	0	0	0	1500	2	33	-65,92	-0,998

Таблица П4.9 – Оптимальные варианты состава оборудования для ГЭК с дневной зарядной станцией в зависимости от стоимости сетевой электроэнергии.

$\Delta S_{\text{Эл.эн.}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{ДЭУ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	Кол-во систем АКБ	Кап. вл.	ЧДД	ИД
о.е.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от СФЭС, от ВЭС или от СФЭС и ВЭС одновременно (резервное энергоснабжение – от сети)								
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\beta\gamma} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$, $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2 \text{ м/с}$ или $\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\beta\gamma} \approx 183 \text{ Вт/м}^2$ и $\bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2 \text{ м/с}$ соответственно								
1	0	0	0	0	-	3	-10,09	-2,363
2	0	0	0	700	1	17,7	-31,57	-0,784
5	0	0	0	1500	2	34,5	-62,43	-0,809

Таблица П4.10 – Оптимальные варианты состава оборудования для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей таксопарк электромобилей, в зависимости от стоимости сетевой электроэнергии.

$\Delta S_{\text{эл.эн.}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{ДЭУ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
о.е.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от СФЭС (резервное энергоснабжение – от сети)							
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{бу}} \approx 125 \text{ Вт/м}^2$							
1	0	0	0	12	5,7	-13,85	-1,429
2	0	0	0	50	9,5	-35,24	-2,71
7	0	2000	0	50	106,1	-289,6	-1,728
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{бу}} \approx 151 \text{ Вт/м}^2$							
1	0	0	0	12	5,7	-13,85	-1,429
2	0	0	0	50	9,5	-35,24	-2,71
6	0	1000	0	50	57,82	-204,7	-2,54
7	0	2000	0	50	106,1	-244,6	-1,305
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{бу}} \approx 167 \text{ Вт/м}^2$							
1	0	0	0	12	5,7	-13,85	-1,429
2	0	0	0	50	9,5	-35,24	-2,71
5	0	1000	0	50	57,82	-151,4	-1,619
7	0	2000	0	50	106,1	-215,9	-1,034
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{бу}} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$							
1	0	0	0	12	5,7	-13,85	-1,429
2	0	0	0	50	9,5	-35,24	-2,71
5	0	1000	0	50	57,82	-137	-1,369
8	0	2000	0	50	106,1	-211,8	-0,995
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети). Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт							
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 2,6 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	12	5,7	-13,85	-1,429
2	0	0	0	50	9,5	-35,24	-2,71
8	10	0	0	100	122,6	-346,7	-1,828
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 3,5 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	12	5,7	-13,85	-1,429
2	0	0	0	50	9,5	-35,24	-2,71
5	5	0	0	100	68,55	-155,3	-1,266
8	10	0	0	100	122,6	-243,4	-0,985
9	10	0	0	500	162,6	-252,5	-0,553

Таблица П4.10 (Продолжение) – Оптимальные варианты состава оборудования для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей таксопарк электромобилей, в зависимости от стоимости сетевой электроэнергии.

$\Delta S_{\text{эл.эн.}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{ДЭУ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
о.е.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 4,5 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	12	5,7	-13,85	-1,429
2	0	0	0	50	9,5	-35,24	-2,71
4	2	0	0	50	31,12	-102,4	-2,292
5	5	0	0	100	68,55	-128,4	-0,874
8	5	0	0	500	108,5	-176,7	-0,627
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 5,8 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	12	5,7	-13,85	-1,429
2	0	0	0	50	9,5	-35,24	-2,71
3	2	0	0	50	31,12	-62,37	-1,004
5	2	0	0	100	36,12	-102,5	-1,837
6	5	0	0	100	68,55	-114,9	-0,676
9	5	0	0	500	108,5	-144,9	-0,335
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	12	5,7	-13,85	-1,429
2	0	0	0	50	9,5	-35,24	-2,71
3	2	0	0	50	31,12	-53,79	-0,729
5	2	0	0	100	36,12	-77,41	-1,143
7	5	0	0	100	68,55	-106,5	-0,554
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от СФЭС и ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети). Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт							
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{ВЭУ}} \approx 125 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{Год}} \approx 2,6 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	12	5,7	-13,85	-1,429
2	0	0	0	50	9,5	-35,24	-2,71
6	2	1000	0	50	79,44	-213,3	-1,685
7	5	1000	0	50	111,9	-243,1	-1,173
8	5	1000	0	100	116,9	-270,1	-1,311
10	10	1000	0	100	170,9	-329	-0,925
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{ВЭУ}} \approx 167 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{Год}} \approx 3,5 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	12	5,7	-13,85	-1,429
2	0	0	0	50	9,5	-35,24	-2,71
5	2	1000	0	50	79,44	-139,9	-0,76
8	5	1000	0	100	116,9	-189,3	-0,619

Таблица П4.10 (Продолжение) – Оптимальные варианты состава оборудования для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей таксопарк электромобилей, в зависимости от стоимости сетевой электроэнергии.

$\Delta S_{\text{эл.эн.}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{ДЭУ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
о.е.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{By}} \approx 151 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{Год}} \approx 4,5 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	12	5,7	-13,85	-1,429
2	0	0	0	50	9,5	-35,24	-2,71
4	2	500	0	50	55,29	-105,2	-0,903
5	2	500	0	100	60,29	-123,2	-1,043
7	5	500	0	100	92,72	-153,3	-0,653
10	5	500	0	500	132,7	-176	-0,326
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{By}} \approx 191 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{Год}} \approx 5,8 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	12	5,7	-13,85	-1,429
2	0	0	0	50	9,5	-35,24	-2,71
4	2	500	0	50	55,29	-89,92	-0,626
5	2	500	0	100	60,29	-99,06	-0,643
9	2	1000	0	100	84,44	-136	-0,611
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{By}} \approx 183 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	12	5,7	-13,85	-1,429
2	0	0	0	50	9,5	-35,24	-2,71
4	1	500	0	50	44,48	-80,92	-0,819
5	2	500	0	50	55,29	-88,94	-0,609
6	2	500	0	100	60,29	-94,49	-0,567

Таблица П4.11 – Оптимальные варианты состава оборудования для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк промышленного предприятия, в зависимости от стоимости сетевой электроэнергии.

$\Delta S_{\text{эл.эн.}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{ДЭУ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
о.е.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от СФЭС (резервное энергоснабжение – от сети)							
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{бу}} \approx 125 \text{ Вт/м}^2$							
1	0	0	0	10	5,5	-17,25	-2,136
3	0	0	0	50	9,5	-121,7	-11,82
5	0	1000	0	50	57,82	-309,4	-4,351
7	0	2000	0	50	106,1	-507,5	-3,781
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{бу}} \approx 151 \text{ Вт/м}^2$							
1	0	0	0	10	5,5	-17,25	-2,136
3	0	0	0	50	9,5	-121,7	-11,82
5	0	1000	0	50	57,82	-286,0	-3,947
6	0	2000	0	50	106,1	-372,8	-2,512
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{бу}} \approx 167 \text{ Вт/м}^2$							
1	0	0	0	10	5,5	-17,25	-2,136
3	0	0	0	50	9,5	-121,7	-11,82
4	0	1000	0	50	57,82	-201,3	-2,482
6	0	2000	0	50	106,1	-347,9	-2,277
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети). Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт							
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 2,6 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-17,25	-2,136
3	0	0	0	50	9,5	-121,7	-11,82
5	5	0	0	10	59,55	-317,7	-4,335
7	10	0	0	50	117,6	-517,8	-3,403
9	15	0	0	50	171,6	-747,1	-3,353
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 3,5 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-17,25	-2,136
3	0	0	0	50	9,5	-121,7	-11,82
4	2	0	0	10	27,12	-195,8	-6,222
5	5	0	0	50	63,55	-260,1	-3,093
6	10	0	0	50	117,6	-326,3	-1,775
10	10	0	0	100	122,6	-626,9	-4,113

Таблица П4.11 (Продолжение) – Оптимальные варианты состава оборудования для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк промышленного предприятия, в зависимости от стоимости сетевой электроэнергии.

$\Delta S_{\text{эл.эн.}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{ДЭУ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
о.е.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 4,5 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-17,25	-2,136
3	2	0	0	10	27,12	-111,6	-3,117
4	5	0	0	50	63,55	-164,9	-1,594
8	5	0	0	100	68,55	-412,5	-5,017
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 5,8 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-17,25	-2,136
2	1	0	0	10	16,31	-57,68	-2,536
3	2	0	0	10	27,12	-92,57	-2,413
4	5	0	0	50	63,55	-132,7	-1,088
6	5	0	0	100	68,55	-194,9	-1,844
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-17,25	-2,136
2	2	0	0	10	27,12	-52,44	-0,934
4	2	0	0	50	31,12	-109,7	-2,525
5	5	0	0	100	68,55	-128,7	-0,878
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от СФЭС и ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети). Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт							
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{By}} \text{Год} \approx 125 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{Год}} \approx 2,6 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-17,25	-2,136
3	0	0	0	50	9,5	-121,7	-11,82
5	2	1000	0	50	79,44	-294,9	-2,712
6	5	1000	0	50	111,9	-366,0	-2,271
8	5	2000	0	50	160,2	-518,1	-2,234
9	10	2000	0	50	214,2	-580,6	-1,710
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{By}} \text{Год} \approx 167 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{Год}} \approx 3,5 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-17,25	-2,136
3	0	0	0	50	9,5	-121,7	-11,82
4	2	500	0	10	51,29	-185,4	-2,615
5	2	1000	0	50	79,44	-237,8	-1,993
6	5	1000	0	50	111,9	-278,8	-1,492
8	10	1000	0	50	165,9	-372,7	-1,246
10	10	1000	0	100	170,9	-456,0	-1,668

Таблица П4.11 (Продолжение) – Оптимальные варианты состава оборудования для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк промышленного предприятия, в зависимости от стоимости сетевой электроэнергии.

$\Delta S_{\text{эл.эн.}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{ДЭУ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
о.е.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\text{By}} \approx 151 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{Год}} \approx 4,5 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-17,25	-2,136
3	0	0	0	50	9,5	-121,7	-11,82
4	2	500	0	50	55,29	-169,2	-2,061
5	5	500	0	50	87,72	-202,0	-1,303
6	5	1000	0	50	111,9	-237,8	-1,126
7	5	1000	0	100	116,9	-269,4	-1,305
10	5	2000	0	100	165,2	-384,3	-1,326
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\text{By}} \approx 191 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{Год}} \approx 5,8 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-17,25	-2,136
3	0	0	0	50	9,5	-121,7	-11,82
4	2	500	0	50	55,29	-135,1	-1,444
5	5	500	0	50	87,72	-163,2	-0,861
6	5	500	0	100	92,72	-183,2	-0,976
8	5	1000	0	100	116,9	-227,0	-0,942
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\text{By}} \approx 183 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-17,25	-2,136
3	2	500	0	50	55,29	-95,94	-0,735
7	2	1000	0	50	79,44	-198,6	-1,500
8	2	1000	0	100	84,44	-225,5	-1,670

Таблица П4.12 – Оптимальные варианты состава оборудования для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк зоны отдыха, в зависимости от стоимости сетевой электроэнергии.

$\Delta S_{\text{эл.эн.}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{ДЭУ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
о.е.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от СФЭС (резервное энергоснабжение – от сети)							
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{бу}} \approx 125 \text{ Вт/м}^2$							
1	0	0	0	10	5,5	-14,80	-1,692
2	0	0	0	50	9,5	-35,23	-2,711
9	0	2000	0	50	106,1	-466,3	-3,393
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{бу}} \approx 151 \text{ Вт/м}^2$							
1	0	0	0	10	5,5	-14,80	-1,692
2	0	0	0	50	9,5	-35,25	-2,711
7	0	2000	0	50	106,1	-292,6	-1,756
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{бу}} \approx 183 \text{ Вт/м}^2$							
1	0	0	0	10	5,5	-14,80	-1,692
2	0	0	0	50	9,5	-35,25	-2,711
6	0	2000	0	50	106,1	-217,2	-1,046
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\text{бу}} \approx 191 \text{ Вт/м}^2$							
1	0	0	0	10	5,5	-14,80	-1,692
2	0	0	0	50	9,5	-35,25	-2,711
6	0	1000	0	50	57,82	-212,6	-2,677
7	0	2000	0	50	106,1	-239,8	-1,259
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети). Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт							
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 2,6 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-14,80	-1,692
2	0	0	0	50	9,5	-35,25	-2,711
9	10	0	0	100	122,6	-450,3	-2,673
10	15	0	0	100	176,6	-508,9	-1,881
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 3,5 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-14,80	-1,692
2	0	0	0	50	9,5	-35,25	-2,711
6	5	0	0	100	68,55	-206,4	-2,011
7	10	0	0	100	122,6	-239,7	-0,955
8	10	0	0	500	162,6	-252,9	-0,556

Таблица П4.12 (Продолжение) – Оптимальные варианты состава оборудования для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк зоны отдыха, в зависимости от стоимости сетевой электроэнергии.

$\Delta S_{\text{эл.эн.}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{ДЭУ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
о.е.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 4,5 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-14,80	-1,692
2	0	0	0	50	9,5	-35,25	-2,711
5	5	0	0	100	68,55	-137,1	-1,000
7	5	0	0	500	108,5	-174,5	-0,607
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 5,8 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-14,80	-1,692
2	0	0	0	50	9,5	-35,25	-2,711
4	2	0	0	50	31,12	-89,22	-1,867
5	5	0	0	100	68,55	-112,1	-0,635
8	5	0	0	500	108,5	-145,0	-0,336
$\bar{V}_{\text{Год}} \approx 7,2 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-14,80	-1,692
2	0	0	0	50	9,5	-35,25	-2,711
3	2	0	0	50	31,12	-57,06	-0,834
4	2	0	0	100	36,12	-70,44	-0,950
7	5	0	0	100	68,55	-111,7	-0,629
10	2	0	0	500	76,12	-135,4	-0,779
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от СФЭС и ВЭС (резервное энергоснабжение – от сети). Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт							
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\text{By}} \approx 125 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{Год}} \approx 2,6 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-14,80	-1,692
2	0	0	0	50	9,5	-35,25	-2,711
7	5	1000	0	100	116,9	-273,9	-1,344
9	10	1000	0	100	170,9	-339,2	-0,984
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\text{By}} \approx 167 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{Год}} \approx 3,5 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-14,80	-1,692
2	0	0	0	50	9,5	-35,25	-2,711
5	2	1000	0	50	79,44	-156,2	-0,966
7	5	1000	0	100	116,9	-194,0	-0,660
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ Год}}^{\text{By}} \approx 151 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{Год}} \approx 4,5 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-14,80	-1,692
2	0	0	0	50	9,5	-35,25	-2,711
5	2	500	0	100	60,29	-137,6	-1,282
6	5	500	0	100	92,72	-152,9	-0,649
8	5	500	0	500	132,7	-175,5	-0,323

Таблица П4.12 (Продолжение) – Оптимальные варианты состава оборудования для ГЭК со станцией замены АКБ, обслуживающей автопарк зоны отдыха, в зависимости от стоимости сетевой электроэнергии.

$\Delta S_{\text{эл.эн.}}$	$n_{\text{ВЭУ}}$	$n_{\text{СМ}}$	$n_{\text{ДЭУ}}$	$n_{\text{АКБ}}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
о.е.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ год}}^{\text{By}} \approx 191 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{год}} \approx 5,8 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-14,80	-1,692
2	0	0	0	50	9,5	-35,25	-2,711
4	2	500	0	50	55,29	-96,85	-0,752
5	2	500	0	100	60,29	-107,6	-0,785
7	2	1000	0	100	84,44	-135,0	-0,599
8	5	500	0	100	92,72	-141,8	-0,529
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma \text{ год}}^{\text{By}} \approx 183 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{\text{год}} \approx 7,2 \text{ м/с}$							
1	0	0	0	10	5,5	-14,80	-1,692
2	0	0	0	50	9,5	-35,25	-2,711
4	2	500	0	50	55,29	-87,25	-0,578
5	2	500	0	100	60,29	-94,13	-0,561
10	2	500	0	500	100,3	-130,8	-0,304

Таблица П4.13 – Оптимальные варианты состава оборудования для автономных ГЭК со станцией замены АКБ в зависимости от цены на дизельное топливо.

$S_{Топл.}$	$n_{ВЭУ}$	$n_{СМ}$	$n_{ДЭУ}$	$n_{АКБ}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
руб./л.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от СФЭС (резервное энергоснабжение – от сети). Для энергоснабжения ГЭК используются ДЭУ с установленной мощностью 60 кВт							
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma} \approx 125 \text{ Вт/м}^2$							
31	0	0	1	4	2,32	-34,27	-13,77
200	0	500	1	4	26,49	-206,2	-6,784
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma} \approx 151 \text{ Вт/м}^2$							
31	0	0	1	4	2,32	-34,27	-13,77
150	0	500	1	4	26,49	-157,3	-4,936
300	0	1000	1	4	50,64	-279,8	-4,525
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{\beta\gamma} \approx 183 \text{ Вт/м}^2$							
31	0	0	1	4	2,32	-34,27	-13,77
150	0	500	1	4	26,49	-150,5	-4,682
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от ВЭС (резервное энергоснабжение – от ДЭС). Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт и ДЭУ с установленной мощностью 60 кВт							
$\bar{V}_{Год} \approx 2,6 \text{ м/с}$							
31	0	0	1	4	2,32	-34,27	-13,77
150	1	0	1	4	13,13	-156,3	-10,9
200	2	0	1	4	23,94	-199	-7,314
300	5	0	1	4	56,37	-277,9	-3,93
$\bar{V}_{Год} \approx 3,5 \text{ м/с}$							
31	0	0	1	4	2,32	-34,27	-13,77
100	1	0	1	4	13,13	-101	-6,696
150	2	0	1	4	23,94	-137,1	-4,728
250	5	0	1	50	60,97	-198,8	-2,261
$\bar{V}_{Год} \approx 4,5 \text{ м/с}$							
31	0	0	1	4	2,32	-34,27	-13,77
50	1	0	1	4	13,13	-53	-3,036
100	2	0	1	4	23,94	-87,35	-2,649
200	5	0	1	50	60,97	-141,8	-1,326
$\bar{V}_{Год} \approx 5,8 \text{ м/с}$							
31	0	0	1	4	2,32	-34,27	-13,77
50	1	0	1	4	13,13	-46,62	-2,551
100	2	0	1	4	23,94	-72,81	-2,041
200	2	0	1	50	28,54	-114	-2,994
250	5	0	1	50	60,97	-125,5	-1,058

Таблица П4.13 (Продолжение) – Оптимальные варианты состава оборудования для автономных ГЭК со станцией замены АКБ в зависимости от цены на дизельное топливо.

$S_{Топл.}$	$n_{ВЭУ}$	$n_{СМ}$	$n_{ДЭУ}$	$n_{АКБ}$	Кап. вл.	ЧДД	ИД
руб./л.	шт.	шт.	шт.	шт.	млн. руб.	млн. руб.	о.е.
$\bar{V}_{Год} \approx 7,2 \text{ м/с}$							
31	1	0	1	4	13,13	-31,34	-1,387
100	2	0	1	4	23,94	-61,1	-1,552
150	2	0	1	50	28,54	-74,71	-1,618
Рассмотрены варианты энергоснабжения ГЭК от СФЭС и ВЭС (резервное энергоснабжение – от ДЭС). Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт и ДЭУ с установленной мощностью 60 кВт							
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{By} \approx 125 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{Год} \approx 2,6 \text{ м/с}$							
31	0	0	1	4	2,32	-34,27	-13,77
200	2	500	1	4	48,11	-197,8	-3,112
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{By} \approx 167 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{Год} \approx 3,5 \text{ м/с}$							
31	0	0	1	4	2,32	-34,27	-13,77
150	2	500	1	4	48,11	-141,8	-1,947
300	5	500	1	50	85,14	-217,5	-1,554
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{By} \approx 151 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{Год} \approx 4,5 \text{ м/с}$							
31	0	0	1	4	2,32	-34,27	-13,77
100	1	500	1	4	37,3	-103,19	-1,766
150	2	500	1	4	48,11	-125,2	-1,602
250	5	500	1	50	85,14	-165,3	-0,941
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{By} \approx 191 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{Год} \approx 5,8 \text{ м/с}$							
31	0	0	1	4	2,32	-34,27	-13,77
100	1	500	1	4	37,3	-91,15	-1,444
150	2	500	1	4	48,11	-107,9	-1,242
200	2	500	1	50	52,71	-121,7	-1,308
$\bar{\mathcal{E}}_{\Sigma}^{By} \approx 183 \text{ Вт/м}^2, \bar{V}_{Год} \approx 7,2 \text{ м/с}$							
31	0	0	1	4	2,32	-34,27	-13,77
100	1	500	1	4	37,3	-82,74	-1,218
150	2	500	1	50	52,71	-94,2	-0,787

Где: $S_{Топл.}$ – стоимость дизельного топлива, при которой приведённый вариант состава оборудования является более выгодным, чем вариант с ГЭК, работающим только от ДЭУ.

ГЭЖ с энергоснабжением от ветряной электростанции (резервное энергоснабжение – от сети или дизельных электроустановок)

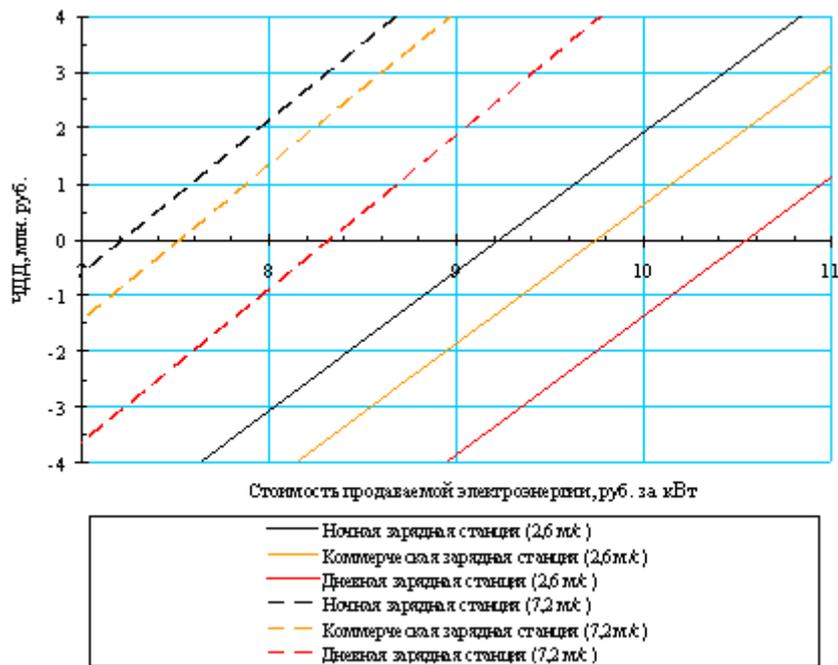


Рисунок П4.1 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодовой скорости ветра и типа зарядной станции, входящей в состав ГЭЖ. Для энергоснабжения ГЭЖ используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт.

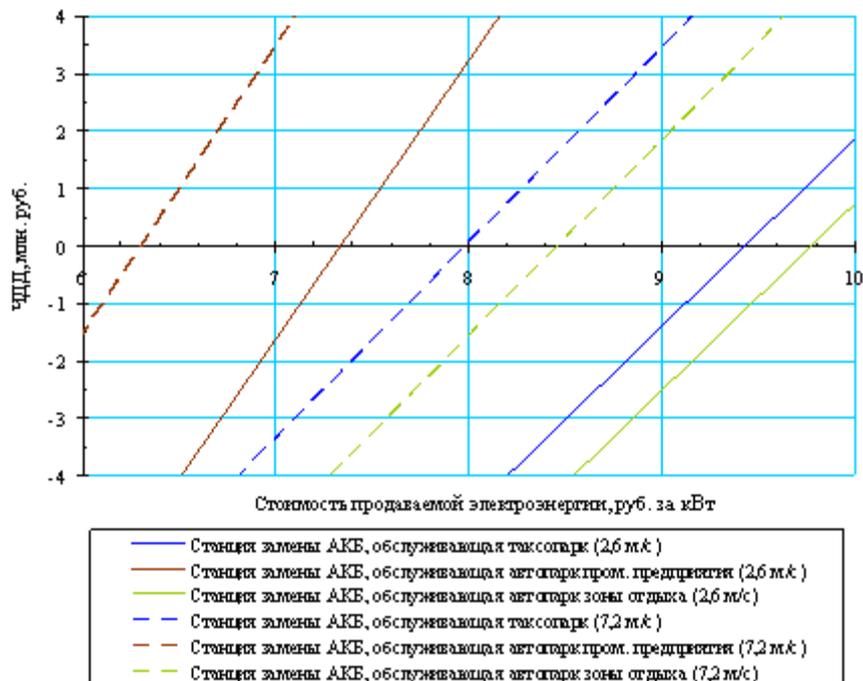


Рисунок П4.2 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодовой скорости ветра и типа станции замены АКБ, входящей в состав ГЭЖ. Для энергоснабжения ГЭЖ используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт.

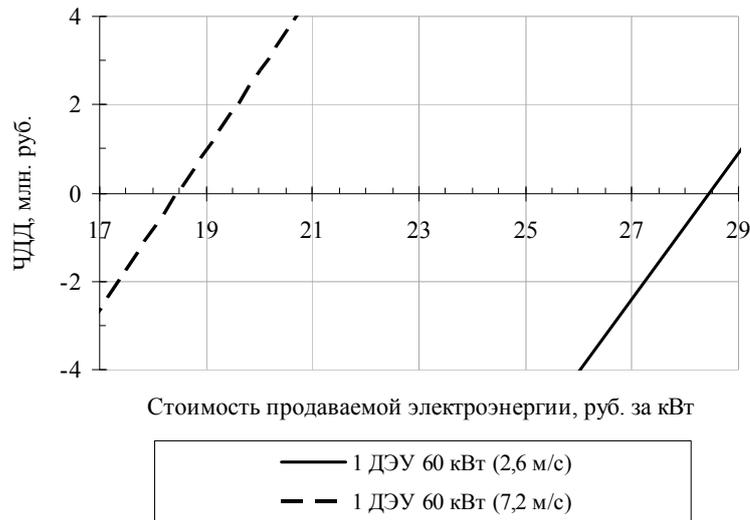


Рисунок П4.3 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии и среднегодовой скорости ветра для автономного ГЭЖ со станцией замены АКБ. Для энергоснабжения ГЭЖ используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт.

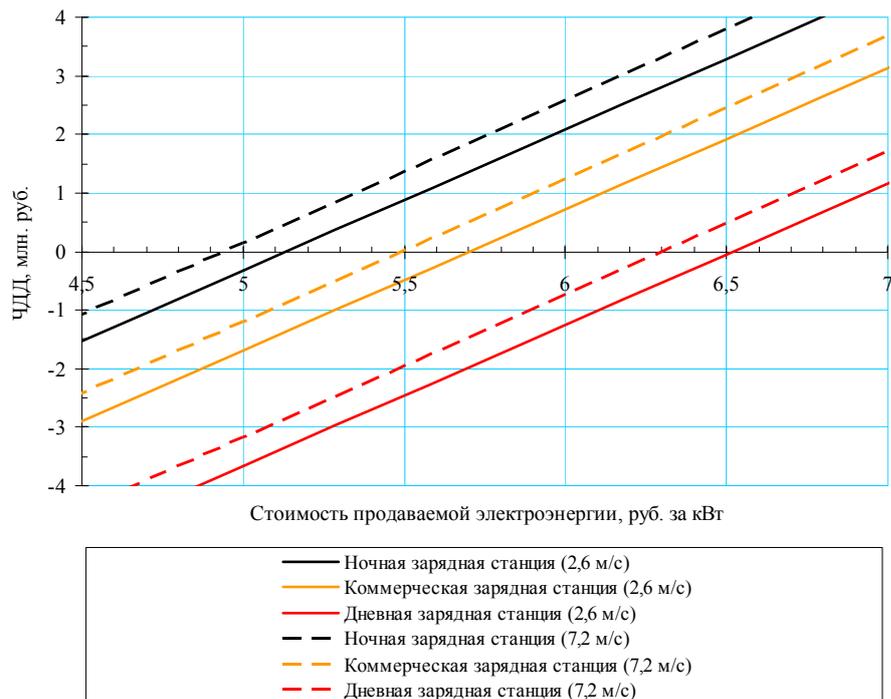


Рисунок П4.4 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодовой скорости ветра и типа зарядной станции, входящей в состав ГЭЖ. Для энергоснабжения ГЭЖ используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт.

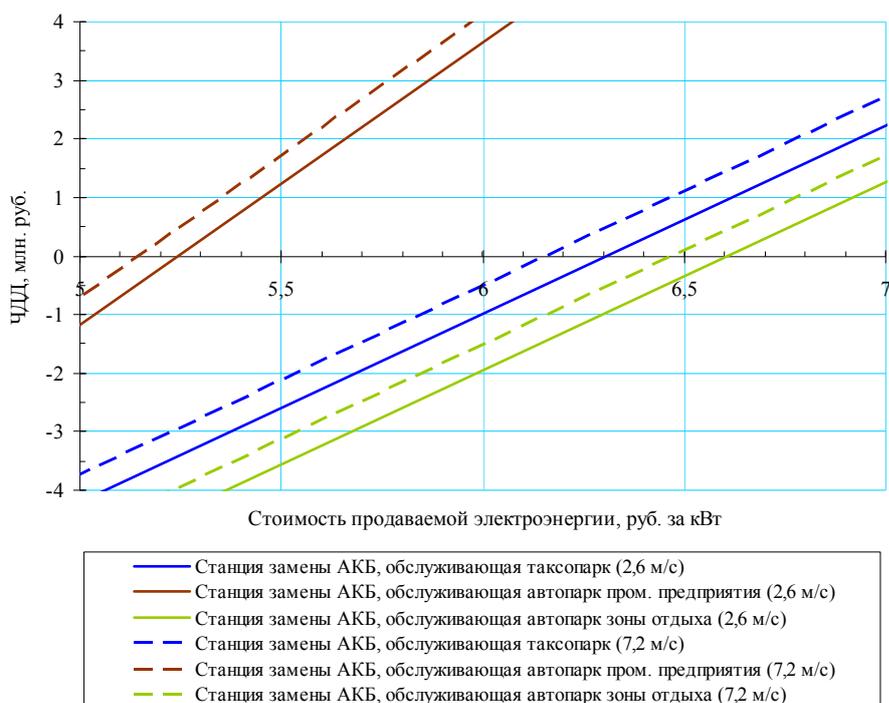


Рисунок П4.5 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодовой скорости ветра и типа станции замены АКБ, входящей в состав ГЭК. Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт.

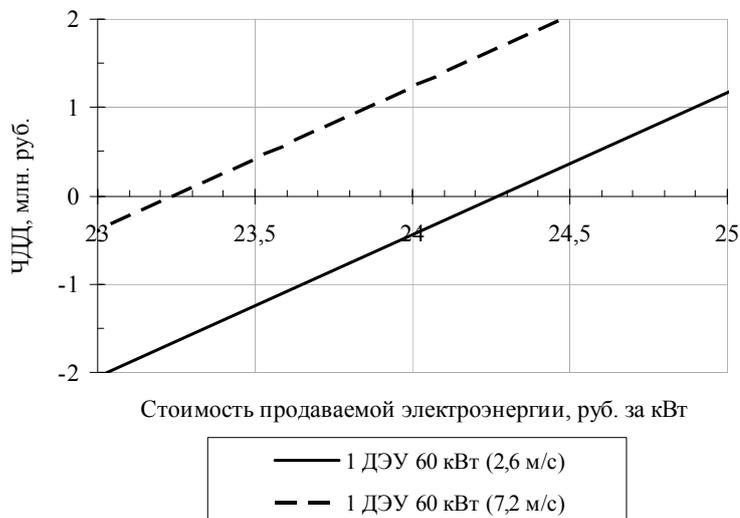


Рисунок П4.6 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии и среднегодовой скорости ветра для автономного ГЭК со станцией замены АКБ. Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт.

ГЭК с энергоснабжением от солнечной фотоэлектрической станции и ветряной электростанции (резервное энергоснабжение – от сети или дизельных электроустановок)

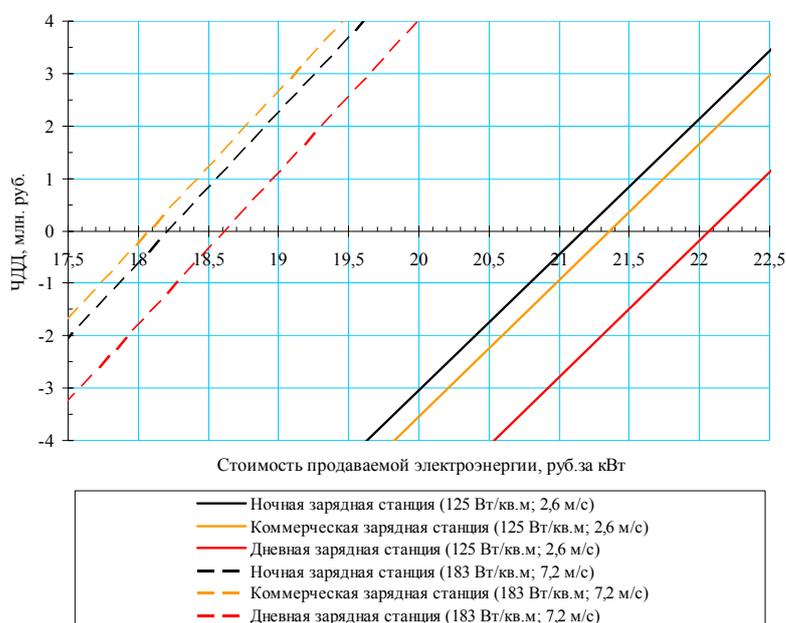


Рисунок П4.7 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодового прихода солнечного излучения, среднегодовой скорости ветра и типа зарядной станции, входящей в состав ГЭК. Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт.

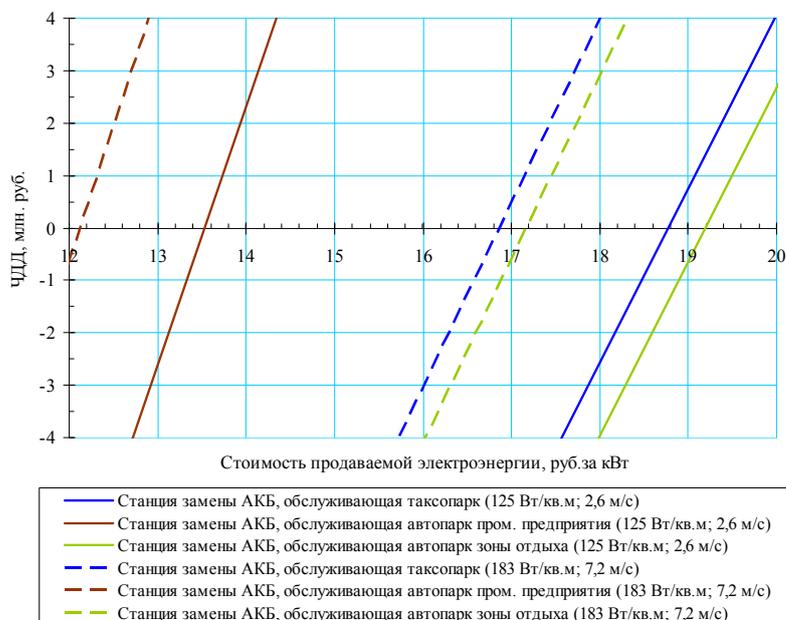


Рисунок П4.8 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодового прихода солнечного излучения, среднегодовой скорости ветра и типа станции замены АКБ, входящей в состав ГЭК. Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт.

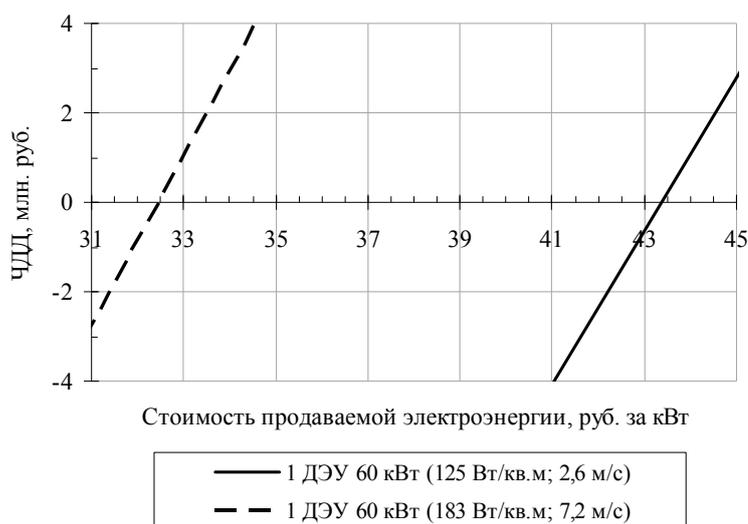


Рисунок П4.9 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодового прихода солнечного излучения и среднегодовой скорости ветра для автономного ГЭК со станцией замены АКБ. Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 60 кВт.

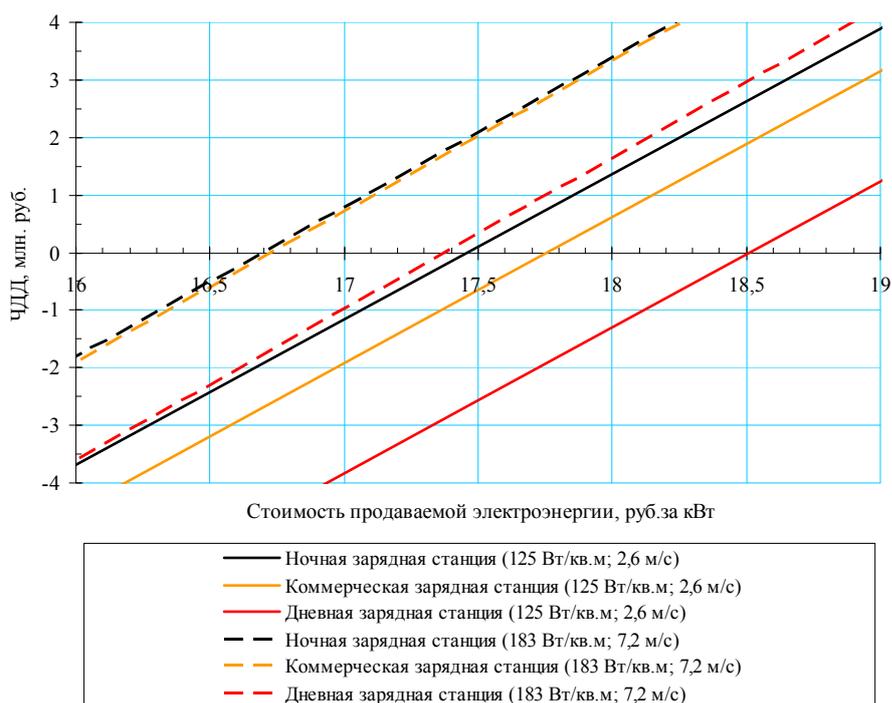


Рисунок П4.10 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодового прихода солнечного излучения, среднегодовой скорости ветра и типа зарядной станции, входящей в состав ГЭК. Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт.

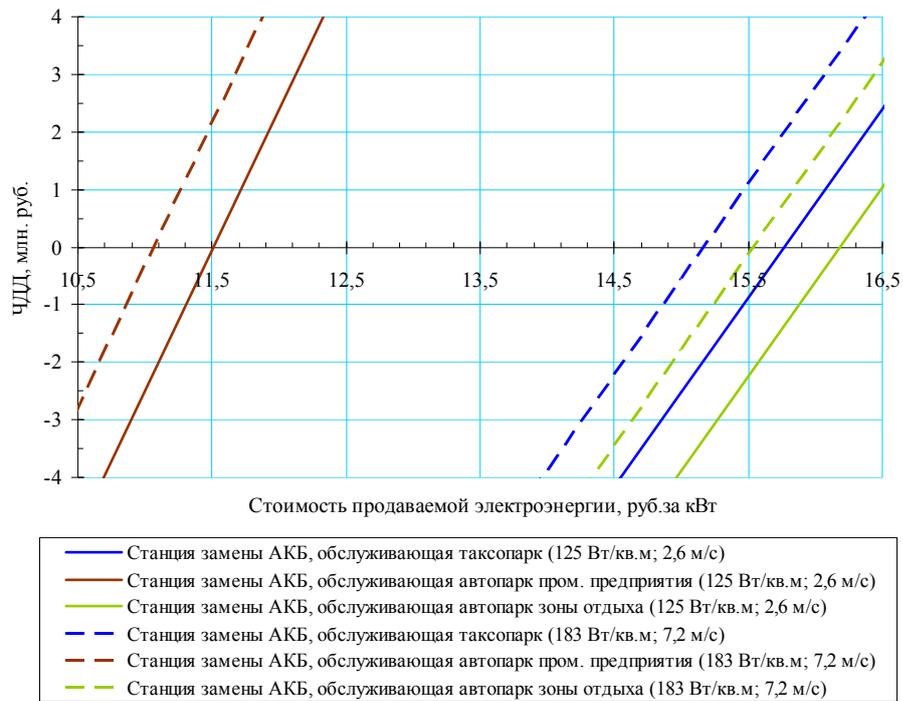


Рисунок П4.11 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодового прихода солнечного излучения, среднегодовой скорости ветра и типа станции замены АКБ, входящей в состав ГЭК. Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт.

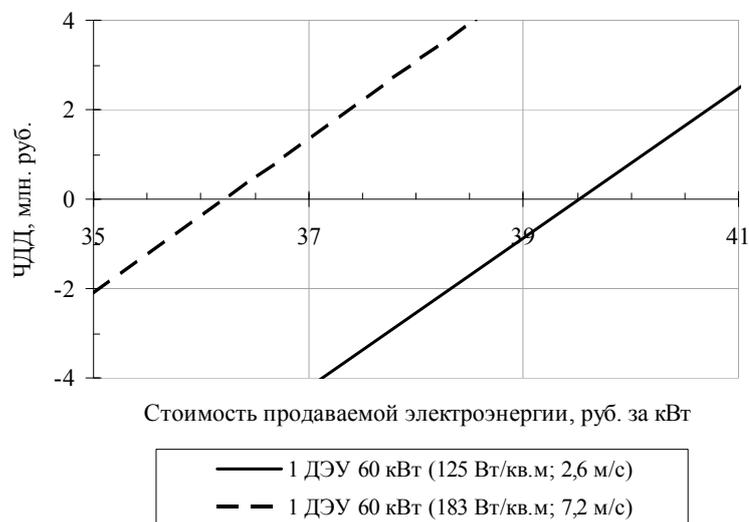


Рисунок П4.12 – Зависимость значения ЧДД от стоимости продаваемой электроэнергии, среднегодового прихода солнечного излучения и среднегодовой скорости ветра для автономного ГЭК со станцией замены АКБ. Для энергоснабжения ГЭК используются ВЭУ с установленной мощностью 12 кВт.

Приложение 5.

Информация по рассматриваемому в работе оборудованию

ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ

ВЭУ PW-30/14 (АВЭУ-30, компания ОАО “ЛЭМЗ” совместно с Pitch Wind System АВ)



Рисунок П5.1 – ВЭУ PW-30/14 (АВЭУ-30)

Таблица П5.1 – Технические характеристики ВЭУ PW-30/14 (АВЭУ-30).

Номинальная мощность установки, кВт	30
Высота башни, м	15
Диаметр рабочего колеса, м	14
Скорость ветра включения, м/с	2,5
Расчётная скорость ветра, м/с	10
Скорость ветра выключения, м/с	30
Максимально допустимая скорость ветра, м/с	55

Таблица П5.2 – Характеристика зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра.

Скорость ветра, м/с	1	2	4	6	8	10	12-30
Мощность, кВт	0	0,4	2,5	8	19	29	30

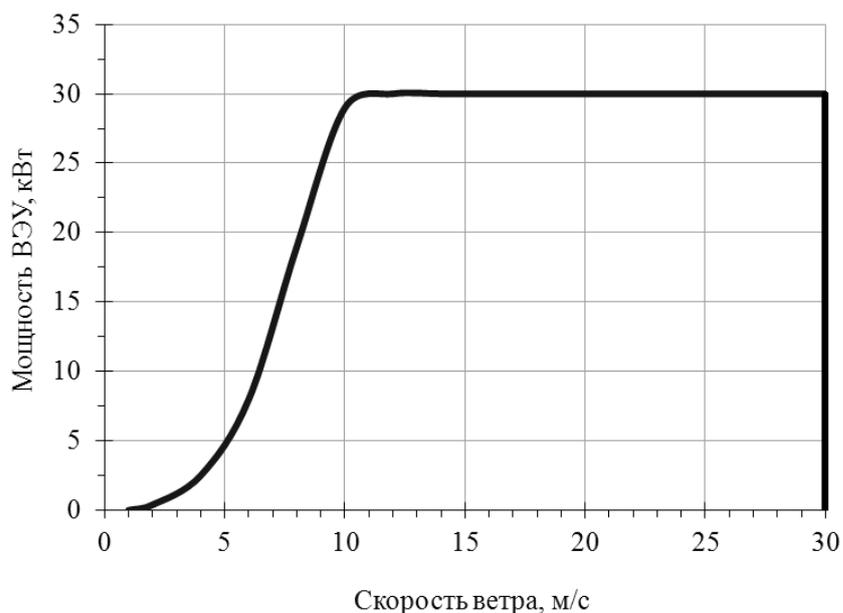


Рисунок П5.2 – Характеристика зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра.

Температурные условия работы ВЭУ – -60... +40 °С.

Стоимость ВЭУ составляет порядка 2,46 млн. руб.

Таблица П5.3 – Распределение капиталовложений при строительстве ВЭС.

Затраты	От стоимости ВЭУ, о.е.	Стоимость, руб.
ВЭУ	1	2460000
Фундамент	0,17	418200
Монтаж и наладка	0,18	442800
Вспомогательное оборудование	0,4	984000
Проект	0,4	984000
Транспортировка	0,2	492000
	Итого	5781000

Срок службы – 20 лет.

ВЭУ TW 60 (компания Taske WindTechnik)

Рисунок П5.3 – ВЭУ TW 60.

Таблица П5.4 – Технические характеристики ВЭУ TW 60.

Мощность установки, кВт	60
Высота башни, м	35
Диаметр рабочего колеса, м	17,5
Скорость ветра включения, м/с	2,5
Расчётная скорость ветра, м/с	12
Скорость ветра выключения, м/с	25
Максимально допустимая скорость ветра, м/с	60

Таблица П5.5 – Характеристика зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра.

Скорость ветра, м/с	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мощность, кВт	0	3	7	11	15	20	29	39	49

Таблица П5.5 (Продолжение) – Характеристика зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра.

Скорость ветра, м/с	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Мощность, кВт	58	63	66	63	58	53	51	50	52

Таблица П5.5 (Продолжение) – Характеристика зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра.

Скорость ветра, м/с	20	21	22	23	24	25
Мощность, кВт	53	54	55	56	57	58

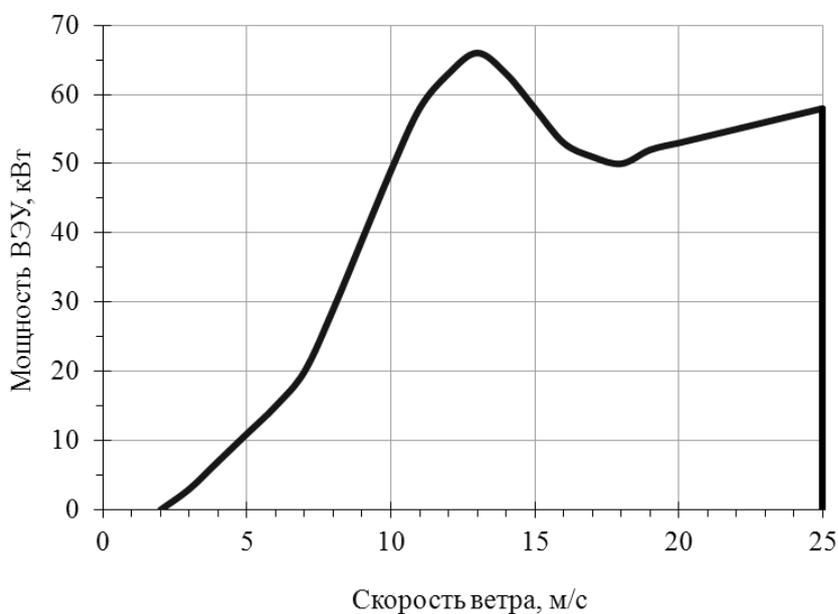


Рисунок П5.4 – Характеристика зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра.

Стоимость ВЭУ составляет порядка 4,6 млн. руб.

Таблица П5.6 – Распределение капиталовложений при строительстве ВЭС.

Затраты	От стоимости ВЭУ, о.е.	Стоимость, руб.
ВЭУ	1	4600000
Фундамент	0,17	782000
Монтаж и наладка	0,18	828000
Вспомогательное оборудование	0,4	1840000
Проект	0,4	1840000
Транспортировка	0,2	920000
	Итого	10810000

Срок службы – 20 лет.

ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ

ВЭУ РК-10 (компания Shanghai Aeolus Windpower Technology)



Рисунок П5.5 – ВЭУ РК-10.

Таблица П5.7 – Технические характеристики ВЭУ РК-10.

Мощность установки, кВт	12
Высота башни, м	5,5
Диаметр рабочего колеса, м	6
Скорость ветра включения, м/с	4
Расчётная скорость ветра, м/с	12
Скорость ветра выключения, м/с	25
Максимально допустимая скорость ветра, м/с	55

Таблица П5.8 – Характеристика зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра.

Скорость ветра, м/с	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14-25
Мощность, кВт	0,3	0,65	1,2	2	3	4,3	6	7,9	10	11	12

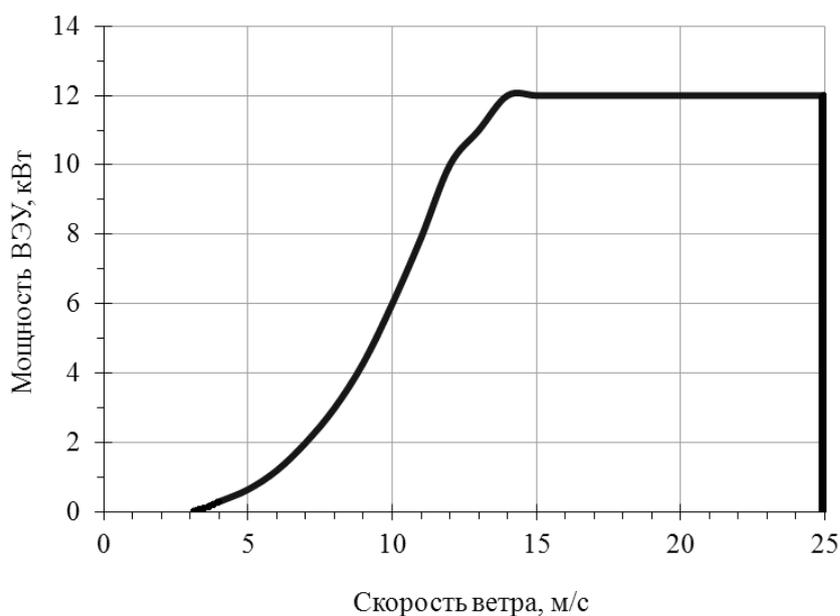


Рисунок П5.6 – Характеристика зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра.

Стоимость ВЭУ составляет порядка 1 млн. руб.

Таблица П5.9 – Распределение капиталовложений при строительстве ВЭС.

Затраты	От стоимости ВЭУ, о.е.	Стоимость, руб.
ВЭУ	1	1015000
Фундамент	0,17	172550
Монтаж и наладка	0,18	182700
Вспомогательное оборудование	0,4	406000
Проект	0,4	406000
Транспортировка	0,2	203000
	Итого	2385250

Срок службы – 20 лет.

СОЛНЕЧНЫЕ МОДУЛИ

Из множества компаний, производящих солнечные модули в России в работе рассматривается продукция компании Телеком-СТВ. Из отечественных производителей Телеком-СТВ даёт самую длительную гарантию на солнечные модули – 10 лет. Также Телеком-СТВ является

единственной в России компанией, производящей модули из элементов с повышенным КПД.

Солнечный модуль ТСМ-200В (компания Телеком-СТВ)

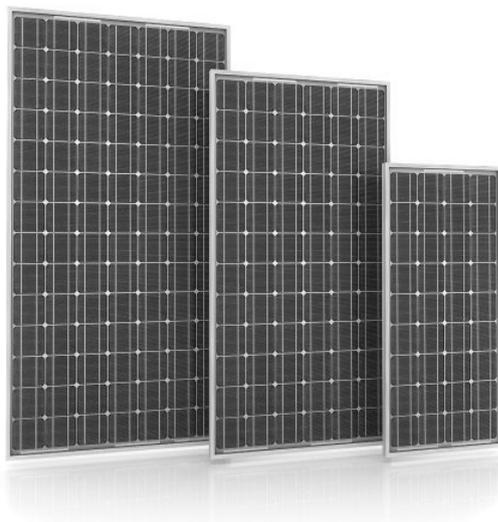


Рисунок П5.7 – Солнечные модули ТСМ-200В.

Таблица П5.10 – Технические характеристики солнечного модуля ТСМ-200В.

Мощность (пиковая), Вт	200
Номинальное напряжение, В	24
Номинальный КПД, о.е.	0,15
Коэффициент светопропускания, о.е.	0,85
Коэффициент заполнения, о.е.	0,97
Габаритные размеры, мм	1310x996x43

Градиент изменения КПД солнечного модуля от температуры определяется как:

$$\alpha = \frac{\eta_{CM}}{20} = \frac{0,15}{20} = 0,0077. \quad (\text{П5.1})$$

Температурные условия работы солнечного модуля – -40... +50 °С.

Стоимость солнечного модуля составляет 19000 руб.

Таблица П5.11 – Распределение капиталовложений при строительстве СФЭС.

Затраты	От стоимости СМ, о.е.	Стоимость, руб.
СМ	1	19000
Фундамент	0,17	3230
Монтаж и наладка	0,18	3420
Вспомогательное оборудование	0,4	7600
Проект	0,4	7600
Транспортировка	0,2	3800
	Итого	44650

Срок службы – 25 лет.

ДИЗЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

В работе для резервного энергоснабжения автономных гибридных энергетических комплексов используется два типа ДЭУ, мощностью 30 кВт и 60 кВт соответственно.

ДГУ АД-30 (компания Промышленные силовые машины)

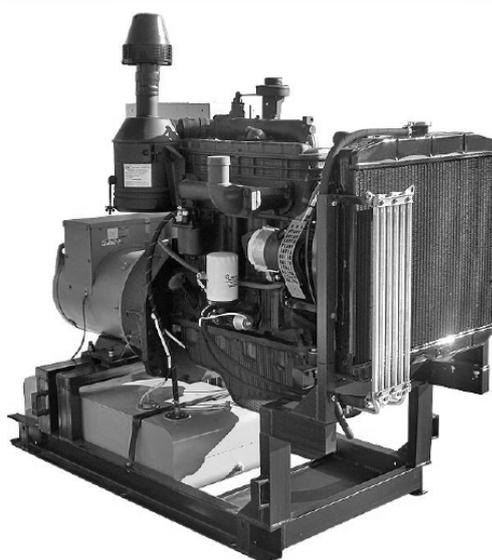


Рисунок П5.8 – ДГУ АД-30.

Таблица П5.12 – Технические характеристики ДГУ АД-30.

Основная мощность установки, кВт	30
Номинальное напряжение, В пер. тока	400
Удельный расход топлива, л/кВт·ч	0,34
Удельный расход масла, л/ч	0,04

Температурные условия работы ДЭУ – -40... +40 °С.

Стоимость ДЭУ составляет 250 тыс. руб. Стоимость строительного-монтажных работ принимается равной 20 % от стоимости ДЭУ.

Срок службы – 10 лет.

ДГУ АД-60 (компания Промышленные силовые машины)



Рисунок П5.9 – ДГУ АД-60.

Таблица П5.13 – Технические характеристики ДГУ АД-60.

Основная мощность установки, кВт	60
Номинальное напряжение, В пер. тока	400
Удельный расход топлива, л/кВт·ч	0,23
Удельный расход масла, % от расхода топлива	0,04

Температурные условия работы ДЭУ – -40... +40 °С.

Стоимость ДЭУ составляет 350 тыс. руб. Стоимость строительного-монтажных работ принимается равной 20 % от стоимости ДЭУ.

Срок службы – 10 лет.

КОНТРОЛЛЕРЫ

Для того чтобы увеличить выработку солнечных модулей был выбран MPPT контроллер, который позволяет отслеживать точку максимальной мощности солнечной батареи.

MPPT контроллер Morning TriStar TS-MPPT-45 (компания MorningStar)



Рисунок П5.10 – MPPT контроллер Morning TriStar TS-MPPT-45.

Таблица П5.14 – Технические характеристики контроллера Morning TriStar TS-MPPT-45.

Пиковая эффективность, %	До 99
Номинальное напряжение системы, В	12/24/36/48
Диапазон напряжений АКБ, В	8-72
Максимальная мощность подключаемых панелей, Вт	600 (12 В), 1200 (24 В), 2400 (48 В)
Собственное потребление, Вт	1,3-2,7
Типы используемых АКБ	GEL, AGM, закрытые, открытые

Температурные условия работы контроллера – -40... +45 °С.

Стоимость контроллера составляет 22000 руб.

Срок службы – 10 лет.

АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ

Для использования в работе были выбраны аккумуляторные батареи AGM типа. Такие батареи рекомендуется использовать в резервных системах электроснабжения, где основную часть времени они находятся в заряженном

состоянии и лишь периодически отдают энергию в систему электроснабжения. Аккумуляторы AGM типа также лучше применять в тех случаях, когда их некому обслуживать или когда нет специального вентилируемого помещения.

RA12-260 (компания RITAR)



Рисунок П5.11 – АКБ RA12-260.

Таблица П5.15 – Технические характеристики аккумуляторной батареи RA12-260.

Номинальная ёмкость, А·ч	260
Номинальное напряжение, В	12
Количество элементов, шт.	6
Саморазряд	Менее 0,1 % в день
Габаритные размеры, мм	520x225x268

Таблица П5.16 – Характеристика разряда постоянным током (за 1 час).

Напряжение на клеммах, В	Разрядный ток, А	Разрядная мощность, Вт
9,60	169,00	1622
10,0	168,22	1682
10,2	166,66	1700
10,5	165,10	1734
10,8	161,20	1741
11,1	153,14	1700

Где разрядная мощность (Вт) определяется как произведение напряжения на клеммах (В) на разрядный ток (А).

Таблица П5.17 – Характеристика заряда постоянным напряжением.

Время заряда, ч	0	1	2	3	4	5
Ёмкость, %	0	9,4	18,8	28,3	37,0	45,7
Ток заряда, % СА	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Напряжение заряда, В	12,0	12,3	12,6	12,75	12,8	12,9
Ток заряда, А	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
Зарядная мощность, Вт	354,9	354,9	354,9	354,9	354,9	354,9
Переданная энергия, Вт·ч	0	354,9	709,8	1065	1420	1775
Запасённая энергия, Вт·ч	0	302,6	605,2	907,9	1210	1513

Таблица П5.17 (Продолжение) – Характеристика заряда постоянным напряжением.

Время заряда, ч	6	7	8	9	10	11
Ёмкость, %	55,1	64,5	72,5	80,4	86,2	91,3
Ток заряда, % СА	0,1	0,1	0,087	0,064	0,049	0,039
Напряжение заряда, В	13,2	13,5	13,65	13,65	13,65	13,65
Ток заряда, А	26,0	26,0	22,6	16,6	12,7	10,1
Зарядная мощность, Вт	354,9	354,9	308,8	227,1	173,9	138,4
Переданная энергия, Вт·ч	2129	2484	2793	3020	3194	3333
Запасённая энергия, Вт·ч	1816	2118	2382	2575	2724	2842

Таблица П5.17 (Продолжение) – Характеристика заряда постоянным напряжением.

Время заряда, ч	12	13	14	15
Ёмкость, %	94,2	96,4	97,8	100,0
Ток заряда, % СА	0,03	0,025	0,02	0,017
Напряжение заряда, В	13,65	13,65	13,65	13,65
Ток заряда, А	7,8	6,5	5,2	4,4
Зарядная мощность, Вт	106,5	88,7	71,0	60,3
Переданная энергия, Вт·ч	3439	3528	3599	3659
Запасённая энергия, Вт·ч	2932	3008	3069	3120

Где:

- ток заряда (А) определяется как произведение номинальной ёмкости (А·ч) на ток заряда (% СА);
- зарядная мощность (Вт) – произведение напряжения заряда (В) на ток заряда (А). В работе напряжение заряда принято постоянным в течение всего рассматриваемого отрезка времени и равным 13,65 В;
- переданная энергия (Вт·ч) – сумма переданной энергии (Вт·ч) за текущий час и за прошедший час;
- запасённая энергия (Вт·ч) определяется по следующей формуле:

$$\frac{\text{Запасённая энергия (Вт}\cdot\text{ч)} = \text{Переданная энергия (Вт}\cdot\text{ч)} \times \frac{\text{Номинальная ёмкость (А}\cdot\text{ч)} \cdot \text{Номинальное напряжение (В)}}{\text{Максимальная переданная энергия (за 15 ч., Вт}\cdot\text{ч)}}}{\text{Максимальная переданная энергия (за 15 ч., Вт}\cdot\text{ч)}} \quad (\text{П5.2})$$

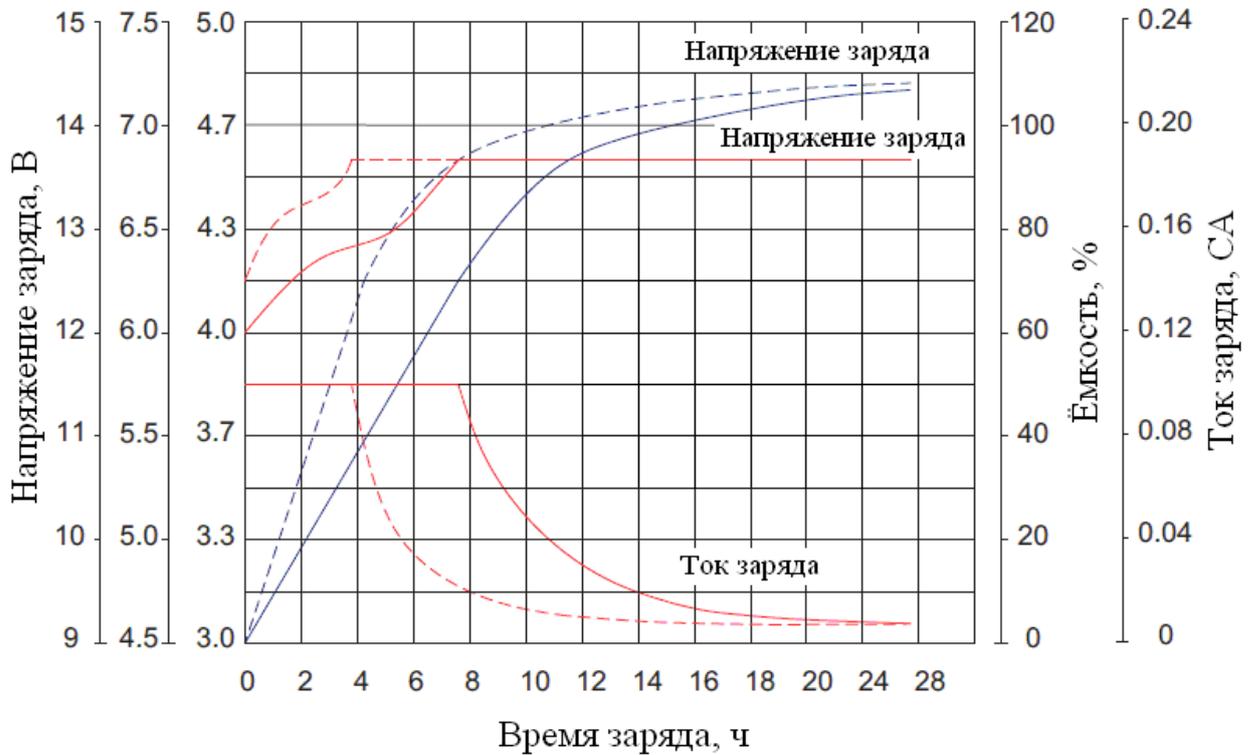


Рисунок П5.12 – Характеристика заряда постоянным напряжением.

Разрядная мощность аккумуляторной батареи в работе принимается постоянной и равной минимальному значению разрядной мощности (т.е. 1622 Вт) из таблицы П5.17.

Температурные условия работы аккумуляторной батареи:

- разряд – $-20 \dots +60$ °С;
- заряд – $0 \dots +50$ °С;
- оптимальная рабочая температура – 25 °С.

Стоимость аккумулятора составляет 21000 руб.

Срок службы – 10 лет.

АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ И ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Литий-ионная аккумуляторная батарея компании Automotive Energy Supply Corporation (Nissan Leaf)



Рисунок П5.13 – АКБ AESC.

Таблица П5.18 – Технические характеристики аккумуляторной батареи AESC.

Ёмкость элемента, А·ч	33
Номинальное напряжение, В	3,7
Количество элементов в модуле, шт.	4
Габаритные размеры модуля, мм	303x223x35
Количество модулей в блоке, шт.	48
Номинальное напряжение, В	360
Полная энергия, кВт·ч	24
Суммарная мощность, Вт	Более 90

Литий-ионная аккумуляторная батарея компании LG Chem (Chevrolet Volt)

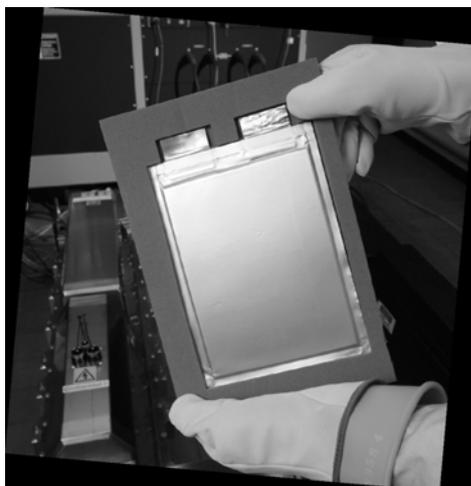


Рисунок П5.14 – АКБ LG Chem.

Таблица П5.19 – Технические характеристики аккумуляторной батареи LG Chem.

Ёмкость элемента, А·ч	15
Номинальное напряжение, В	3,7
Количество элементов в модуле, шт.	288
Номинальное напряжение, В	370
Ёмкость, А·ч	45
Энергия, кВт·ч	16

Температурные условия работы аккумуляторной батареи: -30... +55 °С.

Стоимость АКБ, согласно различным статьям, варьируется от \$3000 до \$5000. В работе она принимается равной 100 тыс. руб.

ЗАРЯДНЫЕ УСТРОЙСТВА

Согласно официальному сайту компании «Революта» на сегодняшний день в составе зарядных станций быстрой зарядки, расположенных в Москве, используется 2 типа зарядных устройств: CirCarLife CCL-QP-MIX и DBT (серия NQC006). Наиболее полная техническая информация имеется по зарядному устройству CirCarLife, поэтому оно в итоге и было выбрано для данной работы.

Зарядное устройство CirCarLife CCL-QP-MIX (компания CirControl)



Рисунок П5.15 – ЗУ CirCarLife CCL-QP-MIX.

Таблица П5.20 – Технические характеристики ЗУ CirCarLife CCL-QP-MIX.

Тип зарядки	Быстрая
Тип установки	Наземная
Тип подключения электромобиля	Разъёмы Yazaki и Mennekes
Входные параметры тока (переменный)	
Напряжение, В	380
Сила тока, А	80
Мощность, кВт	55
Выходные параметры тока (постоянный)	
Мощность, кВт	50
Номинальное напряжение, В	50-500
Сила тока, А	120

Диапазон рабочей температуры зарядного устройства – $-25 \dots +65$ °С.

Что касается стоимости зарядного устройства, то согласно компаниям ОАО «Холдинг МРСК» и ООО «РОЛЬФ Импорт» строительство одной зарядной станции обходится в сумму от 300 тыс. до 1,5 млн. рублей. Очевидно, что станции быстрой зарядки должны быть самыми дорогими, поэтому в работе стоимость рассматриваемого зарядного устройства принимается равной 1,5 млн. руб.

Срок службы – 10 лет.