МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения
Кафедра «Энергетика»

Актюренов Даурен Маратович

«Оценка способов снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6В07101– «Энергетика»

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения
Кафедра «Энергетика»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНИТУ им.К.И.Сатпаева»
Институт энергетики
и машиностроения
06

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой «Энергетика»
PhD, ассоц. профессор
_____ Е.А.Сарсенбаев
«06» 06 2023г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

на тему: «Оценка способов снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы»

6В07101– «Энергетика»

Выполнил Актюренов Д. М.

Рецензент
АО «Академия логистики и транспорта»,
канд. тех. наук, зав. каф. «Энергетика»
_____ А.Т. Егзекова,
«25» 05 2023г.

Научный руководитель
PhD, ассоц. профессор
_____ К.Б. Шакенов
«10» 06 2023г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения
Кафедра «Энергетика»

6В07101– "Энергетика"

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой «Энергетика»
PhD, ассоц. профессор
_____Е.А.Сарсенбаев
«16» 01 2023г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломной работы

Обучающейся *Актюренов Даурен Маратович*
Тема: *Оценка способов снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы*
Утверждена приказом Проректора по академическим вопросам
Приказ №*408* от «*23*» *октября* *2022г.*
Срок сдачи законченной работы *«08» июня 2023г.*
Исходные данные к работе: *Проводим расчет и выбор аккумуляторных батарей для интеграции их в дом с потреблением 5 кВт в сутки, питающийся от солнечных панелей 5 кВт/день или 1 кВт/час.*
Краткое содержание дипломной работы:
а) Обзор возобновляемых источников энергии
б) Анализ существующих проблем при интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистему
в) Рассмотрение различных способов снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы
г) Аналитический расчет применения накопителей энергии
Перечень графического материала: *представлены 11 слайдов презентации работы*
Рекомендуемая литература: *из 16 наименований*

ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименования разделов, перечень рассматриваемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Основная часть	30.01.23 – 17.03.23	нет
Специальная часть	20.03.23 – 26.05.23	нет

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	**Консультанты, И.О.Ф. (уч.степень, звание)**	**Дата подписания**	**Подпись**
Основной раздел	Шакенов К. Б., PhD, ассоц. профессор,	08.06.2023	
Специальный раздел	Шакенов К. Б., PhD, ассоц. профессор,	08.06.2023	
Нормоконтроль	А.О. Бердибеков, магистр техн.наук, ст. преподаватель	08.06.2023	

Научный руководитель _____ Шакенов К. Б.
(подпись)

Задание принял к исполнению обучающаяся _____ Актюренов Д. М.
(подпись)

Дата «16» 09 2023г.

АҢДАТПА

Бұл мақала желілік энергия ресурстарының күштігін энергия жүйесінің ықыласына тиесілікті езу әдістерін бағалауға арналған. Өзарағы нысандарды қосу аясында жасалған энергия жүйесіне желілік энергия ресурстарының күштігінің талқыланып алынуы мен оны төмендету әдістері қарастырылады. Мағынаны табу үшін, желілік энергия ресурстарының қолданымының өсуіне байланысты жетілдірулерге негізделген ең әділ жолдарды талқылайды. Бұл жұмыс көптеген энергия жағдайларын бақылайтын энергетика жұмысшыларына және энергия жүйесін басқарушыларына практикалық және ғылымды мән береді.

АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа оценивает влияние возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы и предлагает способы его снижения. Работа исследует актуальную проблему интеграции возобновляемых источников энергии в существующую систему, анализирует их влияние и оценивает различные методы для сокращения этого влияния. Результаты исследования позволяют выделить наиболее эффективные подходы, способствуя развитию устойчивых энергосистем с учетом роста использования возобновляемых источников энергии. Анализ работы представляет практическую и научную ценность для специалистов в области энергетики и руководителей энергосистем.

ANNATETION

This thesis evaluates the impact of renewable energy sources on the stability of the power system and proposes methods to mitigate this impact. The study addresses the pressing issue of integrating renewable energy sources into existing systems, analyzes their influence, and assesses various approaches to reducing this influence. The findings highlight the most effective strategies for developing sustainable power systems while accommodating the increasing use of renewable energy sources. The analysis of this work holds practical and scientific value for energy professionals and power system managers.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 7
1. Вводная часть дипломной работы 7
1.1.Общая характеристика проблемы и актуальность темы; 7
1.2.Цель и задачи работы; 8
1.3.Обзор существующих исследований по данной теме; 9
1.4.Методология исследования. 10
Основная часть 11
2. Основная часть дипломной работы 11
2.1.Обзор возобновляемых источников энергии и их роль в производстве электроэнергии; 11
2.2.Анализ существующих проблем при интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистему; 15
2.3.Проблематика, связанная с интеграцией возобновляемых источников энергии в сеть; 18
2.3.1. Ветровая энергетическая система; 18
2.3.2. Система солнечной энергии. 19
2.4.Рассмотрение различных способов снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы; 19
2.4.1. Использование энергоскладов и накопительных устройств; 24
2.4.1.1.Обзор накопителей электрической энергии; 25
2.4.2. Применение смарт-сетей; 30
2.4.3. Использование технологий управления энергосистемой; 31
2.4.4. Применение гибридных систем энергопроизводства; 33
2.4.5. Другие подходы и методы. 35
2.5.Оценка эффективности и достоинств выбранного способа для снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы; 36
2.6.Аналитический расчет применения накопителей энергии для снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы. 37
Заключение 45
Список литературы 46

ВВЕДЕНИЕ

1 Вводная часть дипломной работы

1.1 Общая характеристика проблемы и актуальность темы

Современный мир все больше и больше зависит от электроэнергии, и по мере роста населения и экономического развития энергопотребление постоянно увеличивается. Одновременно с этим, запасы традиционных источников энергии, таких как нефть, газ и уголь, постепенно исчезают, и их добыча становится все сложнее и дороже.

В этой ситуации возобновляемые источники энергии, такие как солнечные батареи, ветрогенераторы и гидроэлектростанции, становятся все более важными для обеспечения устойчивого развития и удовлетворения потребностей человечества в энергии. При этом возобновляемые источники энергии имеют ряд преимуществ перед традиционными источниками: они экологически чистые, не исчерпаемы, и их использование не приводит к выбросу вредных веществ в атмосферу.

Однако, интеграция возобновляемых источников энергии в энергосистему также вносит свои вызовы и проблемы. Например, возобновляемые источники энергии, такие как солнечные батареи и ветрогенераторы, зависят от погодных условий и имеют нестабильную производительность. Это значит что, когда погода меняется, производство энергии также меняется, что может приводить к нестабильности в энергосистеме.

Кроме того, по мере увеличения доли возобновляемых источников энергии в энергосистеме, возникают проблемы с управлением и поддержанием стабильности энергосистемы. Возобновляемые источники энергии имеют переменную производительность, что усложняет прогнозирование и управление спросом и предложением энергии. При большом количестве возобновляемой энергии в системе, могут возникать ситуации, когда производство энергии превышает спрос на нее, либо наоборот, когда спрос на энергию превышает возможности ее производства, что может приводить к сбоям в работе энергосистемы, а в крайних случаях - к ее поломке.

Таким образом, внедрение возобновляемых источников энергии в энергосистему, несмотря на их многие преимущества, также может вызывать сложности и нестабильность. Поэтому необходимо оценить способы снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы, а также определить оптимальное сочетание традиционных и возобновляемых источников энергии для обеспечения стабильной и надежной энергосистемы.

Таким образом, данная тема является актуальной и имеет большое значение для обеспечения устойчивого развития и энергетической безопасности в мире. В данной работе будут рассмотрены различные способы снижения

влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы, а также их преимущества и недостатки.

1.2 Цель и задачи работы

Цель данной дипломной работы заключается в оценке способов снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

Изучить теоретические основы энергосистем и возобновляемых источников энергии. В данной работе будет представлена общая характеристика возобновляемых источников энергии, их виды, принципы работы и преимущества в сравнении с традиционными источниками энергии. Также будут рассмотрены основы функционирования энергосистем, их основные параметры и характеристики.

Оценить влияние возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы. В данном разделе будут проанализированы проблемы, связанные с внедрением возобновляемых источников энергии в энергосистему и их влияние на устойчивость энергосистемы. Будут рассмотрены примеры, когда переход к использованию возобновляемых источников энергии приводил к нестабильности и поломкам в работе энергосистем.

Исследовать различные способы снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы. В данном разделе будут представлены различные методы и технологии, которые могут помочь снизить влияние возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы. Будут рассмотрены технологии управления энергосистемой, использование энергоскладов, а также комбинирование возобновляемых и традиционных источников энергии.

Определить оптимальное сочетание традиционных и возобновляемых источников энергии для обеспечения стабильной и надежной энергосистемы. В данном разделе будут проанализированы различные сценарии развития энергосистемы и определено оптимальное сочетание традиционных и возобновляемых источников энергии для обеспечения устойчивой и надежной работы энергосистемы.

Провести экономический анализ использования возобновляемых источников энергии в энергосистеме. В данном разделе будет проведен анализ экономических преимуществ и недостатков использования возобновляемых источников энергии. Будут рассмотрены финансовые вопросы, связанные с инвестированием в возобновляемые источники энергии, их эксплуатацией и сопутствующими расходами.

Определить социальный эффект использования возобновляемых источников энергии в энергосистеме. В данном разделе будет проанализирован социальный эффект перехода на возобновляемые источники энергии. Будут рассмотрены социально-экономические последствия, связанные с развитием

инфраструктуры для возобновляемых источников энергии, изменениями в трудовой занятости и качестве жизни населения.

Предложить рекомендации по улучшению устойчивости энергосистемы при использовании возобновляемых источников энергии. В данном разделе будут представлены рекомендации и решения, направленные на повышение устойчивости энергосистемы при использовании возобновляемых источников энергии. Будут рассмотрены решения, связанные с оптимизацией процессов управления энергосистемой, использованием новых технологий и развитием инфраструктуры для возобновляемых источников энергии.

Таким образом, данная дипломная работа будет посвящена комплексному исследованию возобновляемых источников энергии и их влиянию на устойчивость энергосистемы. Работа будет иметь важное значение для развития энергетической отрасли и поможет определить оптимальные решения для перехода на возобновляемые источники энергии в условиях обеспечения устойчивости и надежности работы энергосистемы

1.3 Обзор существующих исследований по данной теме

Перед тем, как приступить к собственному исследованию, необходимо изучить существующие научные работы и публикации, посвященные данной теме. Обзор литературы позволит ознакомиться с результатами исследований других авторов и выявить недостатки и проблемы, которые могут быть учтены при выполнении собственной работы.

В настоящее время существует значительное количество научных исследований, посвященных проблемам возобновляемых источников энергии и их влиянию на устойчивость энергосистемы. Одним из основных направлений исследований является определение оптимальных режимов работы смешанной энергетической системы, включающей как возобновляемые, так и нефоссильные источники энергии.

Также изучаются вопросы, связанные с экономическими и социальными последствиями перехода на возобновляемые источники энергии. В частности, проводятся анализы затрат на инвестирование в возобновляемые источники энергии, оценка эффективности их использования, а также исследуются вопросы влияния перехода на возобновляемые источники на трудовую занятость и качество жизни населения.

Среди научных работ, посвященных данной теме, можно выделить такие, как "Системный анализ перспектив развития энергетики на основе возобновляемых источников энергии" (А.А. Кузнецов), "Моделирование работы смешанной энергетической системы на основе возобновляемых источников энергии" (А.В. Сухарев), "Экономический анализ использования возобновляемых источников энергии в энергосистеме" (Н.В. Ковалева) и многие другие.

В ходе выполнения данной дипломной работы будет проведен более подробный анализ существующих исследований и полученные результаты будут использованы при разработке собственной методики оценки влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энерго системы.

1.4 Методология исследования

Для выполнения данной работы были использованы различные методы и подходы, которые позволили достичь поставленной цели и решить поставленные задачи.

В рамках данной работы был проведен обзор литературы, включающий в себя анализ научных статей, публикаций, монографий и других источников, посвященных влиянию возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы.

Был проведен анализ и обобщение результатов исследований других авторов, а также выявлены недостатки и проблемы, которые могут быть учтены при выполнении собственной работы.

В рамках данной работы также был использован метод моделирования, который позволил оценить влияние различных сценариев развития возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы.

Также в работе были использованы методы математической статистики и экономического анализа, которые позволили провести оценку экономических и социальных последствий перехода на возобновляемые источники энергии.

Для анализа полученных результатов был использован метод сравнительного анализа, позволяющий сопоставить различные сценарии развития возобновляемых источников энергии и определить наиболее оптимальный сценарий.

Основная часть

2. Основная часть дипломной работы

2.1 Обзор возобновляемых источников энергии и их роль в производстве электроэнергии

Возобновляемая энергия получила значительное внимание по всему миру благодаря своему потенциалу смягчить изменение климата, снизить зависимость от ископаемых топлив и способствовать устойчивому развитию. В этой главе мы рассмотрим различные типы возобновляемых источников энергии, их текущий статус и их изменяющуюся роль в удовлетворении глобальных энергетических потребностей.

Обзор возобновляемых источников энергии:

Возобновляемые источники энергии охватывают разнообразные технологии, использующие природные ресурсы, такие как солнечная энергия, ветер, вода, геотермальное тепло и биомасса. Эти источники имеют преимущество быть устойчивыми и возобновляемыми со временем, в отличие от ограниченных запасов ископаемых топлив. Технологии возобновляемой энергии претерпевают значительные улучшения, что делает их все более конкурентоспособными и надежными вариантами для генерации электроэнергии.

Солнечная энергия:

Солнечная энергия, получаемая из солнечного света, быстро развивается по всему миру. Фотоэлектрические системы (ФЭС), использующие солнечные панели, преобразуют солнечный свет непосредственно в электрическую энергию. Эффективность солнечных панелей значительно повысилась, что делает солнечную энергию все более экономически эффективным решением. Кроме того, установка распределенных солнечных ФЭС на крышах зданий и в коммунальных системах позволяет индивидуалам и бизнесам активно участвовать в производстве электроэнергии.

Ветровая энергия:

Энергия ветра является одним из самых быстрорастущих сегментов возобновляемой энергетики. Ветряные турбины преобразуют энергию ветра в электрическую энергию. Благодаря технологическим улучшениям и увеличению размеров турбин, их эффективность и мощность значительно возросли. Ветровая энергия может быть произведена как на суше, так и на море, открывая широкие возможности для развертывания ветровых ферм в различных регионах мира.

Гидроэнергия:

Гидроэнергия использует потоки воды для генерации электроэнергии. Гидроэлектростанции могут быть крупномасштабными, такими как плотины и ГЭС, или маломасштабными, такими как микрогидроэлектростанции. Гидроэнергетика предлагает стабильное и надежное производство электроэнергии, особенно в регионах с изобилием водных ресурсов.

Геотермальная энергия:

Геотермальная энергия основана на использовании тепла, накапливающегося внутри Земли. Технологии геотермальной энергии могут применяться для производства электроэнергии и обеспечения теплоснабжения. Она является устойчивым источником энергии, доступным в течение всего дня.[1]

Роль возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии:

Возобновляемые источники энергии играют все более важную роль в мировом производстве электроэнергии. В 2021 году доля возобновляемых источников составила 28 процентов в структуре мирового энергопотребления. Благодаря постоянному снижению стоимости технологий возобновляемой энергии и внедрению эффективных политик поддержки, их доля продолжает расти. Важно отметить, что возобновляемая энергия также способствует созданию рабочих мест и развитию экономики.

В мировой энергетике наблюдаются значительные изменения в последнее время. В свете роста мирового потребления энергии, увеличения населения и развития новых сервисов, традиционные методы производства энергии становятся все более энергоэффективными. Однако прогнозы указывают на увеличение общего энергопотребления. Согласно данным Международного энергетического агентства, в 2015 году мировое энергопотребление составило 20,76 трлн. кВтч, а к 2030 году ожидается увеличение до 33,4 трлн. кВтч, а к 2050 году - до 41,3 трлн. кВтч. В связи с этим возникает потребность в увеличении производства энергии при сокращении затрат на ее получение.[2]

В структуре энергопотребления наблюдается влияние альтернативных источников энергии, которые вносят изменения в структуру потребления энергоресурсов. Доля возобновляемых источников энергии, включая гидроэнергию, в глобальной системе производства электроэнергии стремительно увеличивается с конца 2000-х годов и достигла 28 процентов в 2021 году. Прежде чем перейти к анализу влияния альтернативных источников на структуру энергопотребления, важно рассмотреть понятие альтернативных или возобновляемых источников энергии.

Возобновляемые источники энергии представляют собой широкий спектр ресурсов, таких как солнечный свет, ветер, вода, внутреннее тепло земли, биомасса и отходы, которые способны само обновляться и использоваться для производства электроэнергии. В отличие от ископаемых ресурсов, которые являются ограниченными в геологическом масштабе времени, возобновляемые источники энергии не имеют таких ограничений и являются без углеродными решениями для обеспечения энергоснабжения.

Один из ключевых отличий возобновляемых источников энергии от ископаемого топлива заключается в количестве выбросов парниковых газов, особенно углекислого газа. Возобновляемые ресурсы, такие как биомасса, имеют нейтральный топливный цикл. Другие ресурсы либо используются напрямую, либо преобразуются с использованием систем, которые не являются источниками выбросов, за исключением тех, которые могут возникать при их

производстве и транспортировке. Вместе с исчерпанием запасов ископаемых ресурсов, не возобновляемая энергетика также имеет негативное экологическое воздействие, превышающее уровень выбросов возобновляемых ресурсов в 10-20 раз.

Таким образом, возобновляемые источники энергии представляют собой перспективное решение для обеспечения энергоснабжения с минимальным воздействием на окружающую среду. Их использование позволяет уменьшить выбросы парниковых газов и снизить зависимость от ископаемых ресурсов.

Альтернативные источники энергии имеют свои возможности и ограничения. Доступность является важным фактором при оценке использования возобновляемых источников для производства электроэнергии. Однако, они также подвержены определенным ограничениям. Например, солнечную энергию можно получать только днем, за исключением периодов пасмурной погоды. Ветряная турбина должна работать при скорости ветра не более 25 м/с, чтобы избежать повреждений. Также, для эффективной генерации электроэнергии требуется скорость ветра не менее 3 метров в секунду. Геотермальная энергия способна непрерывно производить электроэнергию в течение 24 часов, однако она ограничена географически.

Также, эффективность генерации электроэнергии из различных источников значительно разнится. На примере можно видеть различные уровни эффективности различных технологий. Фотоэлектрическая энергия имеет эффективность от 4 процентов до 22 процентов, ветроэнергетика - от 24 процентов до 54 процентов, гидроэлектроэнергия - более 90 процентов, геотермальная энергия - от 10 процентов до 20 процентов. В сравнении с этими возобновляемыми источниками, уголь имеет эффективность от 32 процентов до 45 процентов, а природный газ - от 45 процентов до 53мпроцентов.

Структура мирового энергопотребления продолжает меняться. В то время как растет спрос на доступные и надежные источники энергии, наблюдается тенденция перехода на энергосистемы с низким углеродным содержанием. Однако ископаемые источники энергии, такие как уголь и природный газ, все еще доминируют в производстве электроэнергии и транспортных системах. В то же время, доля возобновляемых источников энергии остается невеликой, несмотря на их быстрый рост, особенно солнечной и ветровой энергии.

Распределение видов топлива различается по регионам. Нефть остается главным видом топлива в Африке, Европе и Америке, а природный газ доминирует в СНГ и на Ближнем Востоке. Уголь является основным видом топлива в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Доля угля в энергопотреблении снизилась в Северной Америке и Европе, но остается значительной.

На сегодняшний день нефть составляет самую большую долю в энергопотреблении (31,2 процента), а уголь занимает второе место (27,2 процента). Доля природного газа и возобновляемых источников энергии выросла до рекордных значений (28 и 5,7 процентов соответственно), превысив долю ядерной энергии (4,3 процента). Доля гидроэнергетики также увеличилась (6,9 процентов).

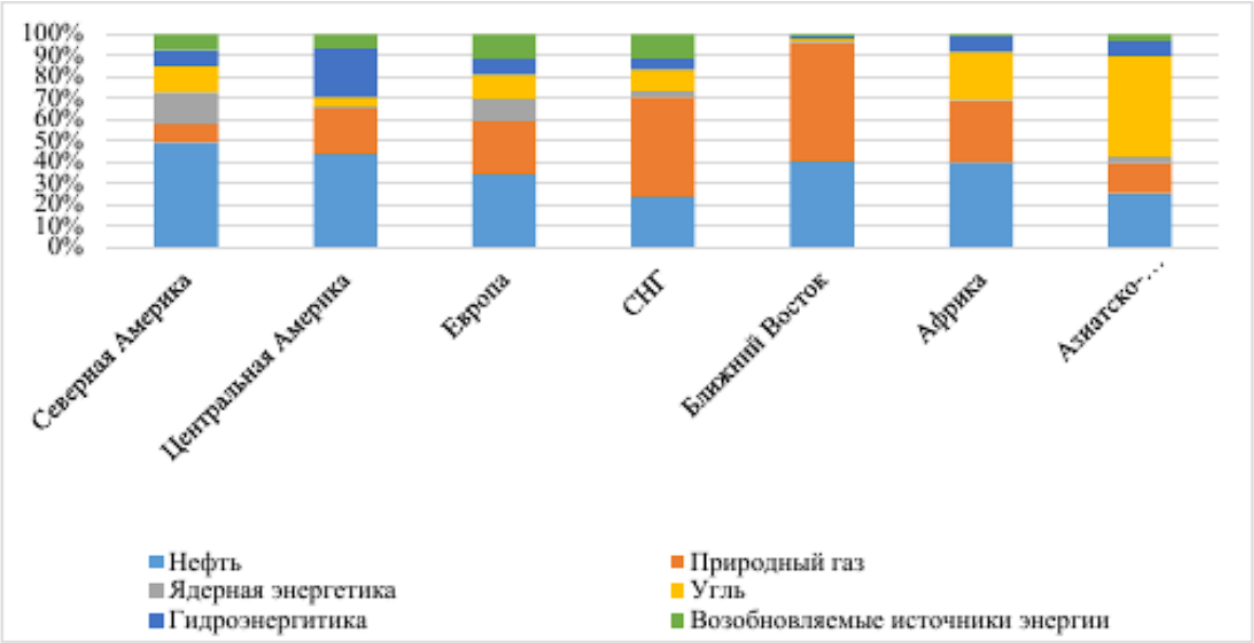

Рисунок 2.1 – Структура регионального потребления, 2020г.

В структуре мирового энергопотребления доля возобновляемых источников энергии составила 28 процента в 2021 году (рисунок 2). Использование солнечной фотоэлектрической энергии превышало другие источники в 2020 году. Однако вопрос о росте мощностей в 2022 году остается неопределенным, особенно для распределенных солнечных фотоэлектрических систем. В прошлом году пятая часть всех установленных возобновляемых мощностей принадлежала частным лицам и обслуживала малые и средние предприятия. В настоящее время установка распределенных солнечных фотоэлектрических систем снизилась или замедлилась во многих странах.

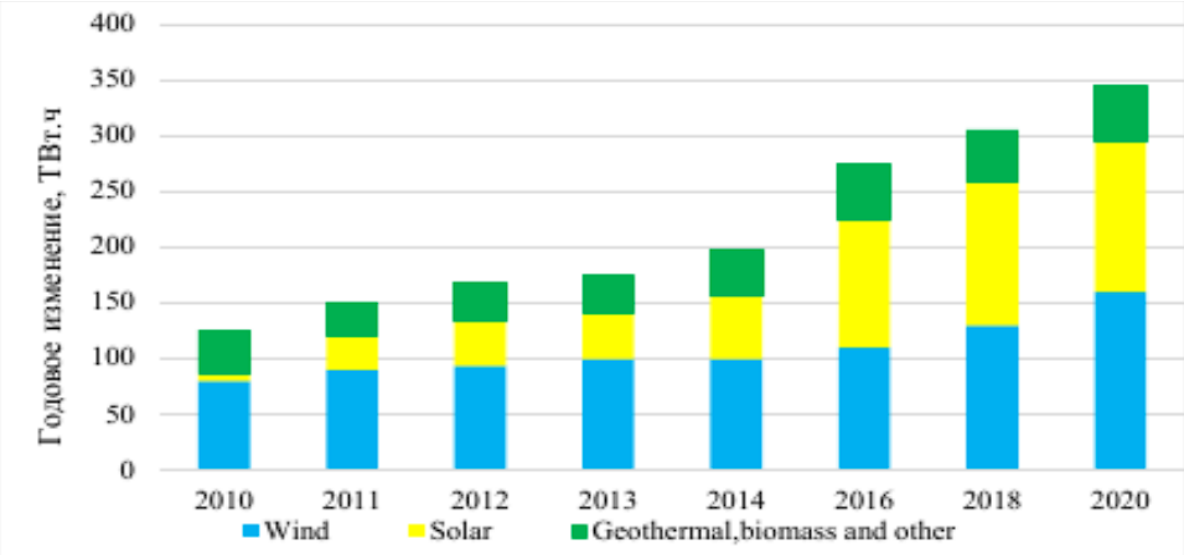

Рисунок 2.1 – Динамика увеличения использования возобновляемой энергетики

Энергия ветра является быстрорастущим возобновляемым источником энергии по всему миру, средний темп роста составляет 30 процента. Несмотря на значительные трудности, вызванные глобальной пандемией и экономическим спадом, в 2021 году мощность ветровой и солнечной энергии увеличилась на 238 ГВт, что превышает рекордные значения в истории на 50 процентов.

Возобновляемые источники энергии представляют собой перспективное решение для производства электроэнергии. Солнечная энергия, ветровая энергия, гидроэнергия и геотермальная энергия предлагают стабильные и экологически чистые варианты для удовлетворения наших энергетических потребностей. Настоящее и будущее лежат в переходе к устойчивой энергетике, и возобновляемые источники энергии играют ключевую роль в этом процессе.

Ожидается, что к 2023 году общая установленная мощность ветровых и солнечных фотоэлектрических систем превысит мощность, обеспечиваемую природным газом, а к 2024 году - углем. В ближайшие годы до 2025 года ожидается, что солнечная энергия будет составлять 60 процентов новых установок возобновляемых источников энергии, а ветровая энергия – 30 процентов. Ожидается также значительный рост оффшорной ветроэнергетики, которая будет составлять значительную долю рынка ветроэнергии к 2025 году. Этот быстрый рост возобновляемых источников энергии требует внимания политиков, чтобы обеспечить надежную и экономически эффективную интеграцию в электросистемы.

Аналитические доклады, такие как Ежегодный энергетический прогноз Международного энергетического агентства (IAE) на 2021 год, Статистический обзор мировой энергетики 2021 года и Прогноз ОПЕК по мировой добыче нефти на 2022 год, указывают на то, что возобновляемые источники энергии превзойдут уголь и станут главным источником производства электроэнергии в мире уже к 2025 году. Ожидается, что к этому времени они будут поставлять третью часть мировой электроэнергии. Гидроэнергетика продолжит оставаться важным источником возобновляемой электроэнергии, обеспечивая почти половину ее производства. Ветровые и солнечные фотоэлектрические установки также будут играть значительную роль. Снижение стоимости возобновляемых источников энергии меняет стратегии инвесторов и роль политики. Ожидается, что доля роста возобновляемых источников энергии вырастет с 5 процентов до более чем 15 процентов к 2025 году. [3]

2.2 Анализ существующих проблем при интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистему

Интеграция возобновляемых источников энергии в энергосистему представляет собой несколько сложностей, которые необходимо решить для успешного и эффективного перехода к более устойчивому будущему энергетики. Данный анализ направлен на выявление и обсуждение некоторых существующих проблем, связанных с интеграцией возобновляемых источников.

Разбивая анализ проблем при интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистему на более удобные пункты, можно выделить следующие аспекты:

1) Прерывистость возобновляемой генерации энергии:
   – Вариабельность выработки энергии в зависимости от погодных условий;
   – Сложности в балансировке электроснабжения и спроса;
   – Влияние на стабильность сети и надежность энергосистемы.
2) Модернизация сети и развитие инфраструктуры:
   – Необходимость адаптации существующей инфраструктуры для поддержки возобновляемых источников энергии;
   – Инвестиции в системы передачи и распределения электроэнергии;
   – Технологии управления сетью и возможности хранения энергии.
3) Политические и регуляторные аспекты:
   – Разработка и внедрение поддерживающих политик и стандартов;
   – Адаптация регуляторных рамок для учета динамики возобновляемой генерации;
   – Сетевые правила, правила рынка и стандарты взаимодействия.
4) Финансовые аспекты:
   – Высокие первоначальные инвестиции в разработку и внедрение возобновляемых энергетических проектов;
   – Доступ к механизмам финансирования и стимулам к инвестициям;
   – Привлечение частного капитала и облегчение развертывания инфраструктуры возобновляемой энергии.

Одной из ключевых проблем является прерывистость возобновляемой генерации энергии. В отличие от традиционных электростанций, работающих на ископаемые топлива или ядерную энергию, возобновляемые источники, такие как ветро- и солнечная энергия, зависят от погодных условий, и их выработка варьируется соответственно. Это прерывистость создает сложности в балансировке электроснабжения и спроса, что может привести к нестабильности сети и проблемам с надежностью.

Еще одной значительной проблемой является необходимость модернизации сети и развития инфраструктуры для адаптации к увеличивающейся доле возобновляемых источников энергии. Существующая инфраструктура электросетей была в основном спроектирована для поддержки централизованной генерации электроэнергии от традиционных источников. Интеграция крупномасштабных возобновляемых энергетических установок, таких как ветряные фермы и солнечные электростанции, требует инвестиций в системы передачи и распределения, технологии управления сетью и возможности хранения для эффективного управления и распределения прерывистой энергии возобновляемых источников.

Кроме того, интеграция возобновляемых источников энергии также вызывает проблемы, связанные с политикой и регулированием. Разработка и

внедрение поддерживающих политик, таких как тарифы на энергию, стандарты портфеля возобновляемой энергии и сетевое сальдо, играют важную роль в стимулировании инвестиций в возобновляемую энергию и обеспечении справедливого и конкурентоспособного рынка. Кроме того, необходимо адаптировать регулирующие рамки для учета изменяющейся динамики возобновляемой генерации энергии, включая сетевые правила, правила рынка и стандарты взаимодействия.

Наконец, финансовые аспекты интеграции возобновляемых источников энергии также представляют определенные сложности. Несмотря на снижение стоимости возобновляемых технологий, первоначальные инвестиции, необходимые для разработки и внедрения проектов по возобновляемой энергии, остаются значительным барьером. Доступ к механизмам финансирования и стимулам к инвестициям являются важными для привлечения частного капитала и облегчения развертывания инфраструктуры возобновляемой энергии.

В заключение, интеграция возобновляемых источников энергии в энергосистему сопровождается различными проблемами. Решение проблем, связанных с прерывистостью возобновляемой генерации, модернизацией сетевой инфраструктуры, установлением поддерживающих политик и регулирования, а также обеспечением адекватных механизмов финансирования являются ключевыми факторами в преодолении этих проблем и обеспечении успешной интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистему.

Параметры качества электроэнергии имеют влияние на распределительные сети и подвержены различным типам помех как со стороны генератора, так и со стороны нагрузки, что приводит к изменению характеристик электроснабжения. Основные параметры электропитания, такие как напряжение, частота и уровень шума, должны быть постоянно контролируемыми, поскольку изменения в этих параметрах могут снизить качество электроэнергии.

Вот основные параметры качества электроэнергии:

Падение напряжения: кратковременное снижение напряжения от 10 процентов до 90 процентов от номинального значения в течение 0,5 цикла до 1 минуты.

Гармоническое искажение: возникает из-за гармоник и субгармоник напряжения и тока, вызванных нелинейными нагрузками, такими как дуговые печи, сварочные аппараты, выпрямители и оборудование для обработки данных.

Скачки напряжения: быстрое и кратковременное увеличение напряжения в течение нескольких микросекунд до нескольких миллисекунд, вызванное молниями, переключениями конденсаторов и отключением тяжелых нагрузок.

Прерывания напряжения: состояние, когда напряжение на клеммах питания приближается к нулю, их длительность может быть кратковременной или длительной и обусловлена срабатыванием или отказом защитных устройств.

Дисбаланс напряжения в трехфазной системе: различие величин трех фазных напряжений и неравенство разности фаз между ними, вызванное несбалансированной нагрузкой.

Отклонения частоты: изменение относительно небольшого значения частоты от ее номинального значения, которая является одним из важных параметров энергосистемы.

Коэффициент мощности: определяется как отношение средней мощности к полной мощности нагрузки. Гармоники тока при несинусоидальном питании влияют на коэффициент мощности, и для его повышения используются соответствующие конденсаторы в фильтрах гармоник.

Однако основной технической проблемой является изменчивость энергии ветра и солнца, которая влияет на нагрузку, баланс генерации, спрос на реактивную мощность и стабильность напряжения. [4]

2.3 Проблематика, связанная с интеграцией возобновляемых источников энергии в сеть

2.3.1 Ветровая энергетическая система

Ветровые энергетические системы стремятся развивать электрификацию сельских районов, благодаря обилию ветропотенциала, который может быть использован для производства энергии. Однако существуют некоторые ограничения, которые затрудняют интеграцию ветровой энергии в сеть. Прогнозирование скорости ветра имеет высокую степень неопределенности, волатильность и низкую предсказуемость, что снижает надежность системы. Большинство ветрогенераторов не могут поддерживать реактивную мощность в системе, что также создает проблемы стабильности и возможные отключения электроэнергии. Введение в систему большого количества энергии ветра также влияет на частотное поведение системы из-за более низкой инерции ветрогенераторов. Это может снижать общую эффективность и качество электроэнергии. Исследования показывают, что горизонтальные и вертикальные сдвиги ветра оказывают влияние на работу ветрогенераторов и колебания напряжения соответственно.

С точки зрения конструкции, некоторые ветрогенераторы напрямую подключаются к сети через выделенный трансформатор, тогда как другие используют силовую электронику для улучшения управляемости и расширения рабочего диапазона. Новые сетевые коды, разработанные для интеграции большого количества энергии ветра в электрическую сеть, требуют, чтобы ветряные электростанции могли обеспечивать управление напряжением и реактивной мощностью, управление частотой и исправление неисправностей для поддержания стабильности электрических систем. В связи с этим, ветряные электростанции с индукционными генераторами фиксированной скорости должны быть сняты с производства, поскольку они не могут обеспечить необходимое управление напряжением и частотой. Асинхронные генераторы с двойным питанием в настоящее время считаются наиболее эффективными вариантами для регулирования реактивной мощности и угловой скорости с целью максимизации выходной мощности. Они также могут поддерживать

систему во время провалов напряжения. Однако системы на основе преобразователей имеют некоторые недостатки, такие как гармонические искажения, вносимые в сеть.[9]

2.3.2 Система солнечной энергии

Существует значительный потенциал использования солнечной энергии на Земле. Клиенты проявляют интерес к солнечной энергии из-за ее экологической природы, гибкости установки и отсутствия потребления реактивной энергии солнечными батареями.

Однако существуют некоторые ограничения солнечной генерации, такие как высокая стоимость установки солнечных панелей, низкая мощность генерации, неопределенность солнечного излучения и колебания мощности из-за изменений освещения. Проникновение солнечной энергии также влияет на профиль напряжения и частотные характеристики системы. Фотоэлектрическая система разработана с коэффициентом мощности, равным единице, а характеристики выходной мощности зависят от инвертора. В связи с отсутствием инерции в фотоэлектрической системе, требуются дополнительные устройства для поддержания частоты в системе. Фотоэлектрическая система обеспечивает активную мощность и не потребляет реактивную мощность. Исследования переходных эффектов от облачности при развертывании фотоэлектрических панелей в качестве централизованной станции показали, что максимально допустимый уровень проникновения фотоэлектрических панелей в систему составлял около 5 процентов, ограничение было связано с возможностями обычных генераторов в наборе мощности. При рассмотрении вопросов регулирования напряжения было выяснено, что при прохождении облаков над областью с высоким уровнем проникновения фотоэлектрических панелей, при их широком распределении, уровни проникновения на уровне 15% вызывают значительные, но разрешимые проблемы с колебаниями мощности в энергосистеме. Таким образом, можно считать, что 15 процентов является максимальным уровнем проникновения распределенных фотоэлектрических систем в энергосистему. [4]

2.4 Рассмотрение различных способов снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы

В настоящее время происходят значительные изменения в мировой электроэнергетике в отношении способов производства электроэнергии. Наблюдается постепенный переход от крупных электростанций к распределенной генерации. В будущем, когда доля распределенной генерации станет значительной, а технология разумных сетей (Smart Grid) будет внедрена, локальные электросети (микросети) смогут работать автономно или в составе общей энергосистемы.

Возможности распределенной генерации обусловлены проблемами существующей энергетической инфраструктуры: ростом спроса на электроэнергию, перегрузкой сетей и снижением общей надежности. Замена или расширение сетей являются сложными техническими мероприятиями, требующими дополнительных затрат. Также необходимо учитывать политику по сокращению выбросов парниковых газов и переходу к безвредным источникам энергии, одновременно обеспечивающим стабильность. В процессе декарбонизации мировой энергетики возобновляемые источники энергии (ВИЭ) станут основными источниками электроэнергии, удовлетворяющими требованиям к качеству и надежности. Это возможно только при эффективной системе балансирования мощностей, включая использование систем аккумулирования энергии.

Необходимо выполнить преобразование распределительной сети с целью взятия на себя дополнительных функций, связанных не только с балансировкой всей энергосистемы, но и с обеспечением работы локальных сетей. Для обеспечения надежного электроснабжения невозможно обойтись без привлечения дополнительного резерва мощности в локальных участках распределительной сети. Локальная электрическая сеть, являющаяся системообразующей, представляет собой сложный объект диспетчерского и автоматического управления. Введение в систему станций, работающих на возобновляемых источниках энергии, таких как ветровые и солнечные электростанции (ВЭС и СЭС), приводит к появлению дополнительных режимных параметров и управляющих воздействий. Баланс мощности (активной и реактивной) может поддерживаться путем взаимодействия с системообразующей сетью, распределенной генерацией и компенсирующими устройствами, такими как резервные мощности и системы накопления энергии (СНЭ), установленные непосредственно на месте потребления электроэнергии. Параметры сети будут определяться показателями надежности электроснабжения и технико-экономическими показателями, учитывающими снижение энергетических потерь.

Учитывая несовершенство прогнозируемости возобновляемых источников энергии (ВИЭ) из-за их зависимости от природных факторов, целесообразно создание гибридных энергетических систем, включающих средства регулирования текущей мощности. Однако возникает вопрос о построении оптимальной структуры такой системы, учитывая процессы преобразования энергии от ВИЭ. Существующие подходы к моделированию и оптимизации энергетической инфраструктуры часто не учитывают свойства ветровых и солнечных электростанций, традиционных энергосистем, дизель-генераторов и аккумуляторов энергии как единый комплекс. Хотя экономические и физические характеристики этих компонентов хорошо изучены, некоторые особенности интегрированных систем, обладающие случайным характером, требуют дополнительного исследования.

Вопросы оптимизации состава и режимов работы гибридных систем, объединяющих различные технологии на основе ВИЭ, широко обсуждаются в

современных исследованиях. Авторы отмечают некоторые недостатки таких систем, такие как проблемы надежности поставки энергии и стоимости. Определение оптимальной структуры системы представляет сложную задачу из-за случайности процессов генерации и потребления энергии. Для таких исследований обычно используются специальные расчетные методы, и моделирование и примеры часто ограничены конкретными условиями. Системы с высоким уровнем проникновения ВИЭ являются особенно сложными с точки зрения энергетического управления. Необходимо включить в такие энергетические системы средства накопления энергии, чтобы обеспечить поставку в условиях отсутствия внешней генерации. Однако требования надежности часто приводят к использованию источников на традиционных топливах, в частности, дизель-генераторов. В работе приведены различные гибридные конфигурации ветровых, солнечных и дизельных систем для уединенного поселения в определенном регионе. Рассматриваются следующие варианты: только дизельное топливо, ветро-дизельная генерация, солнечная энергия и дизельное топливо, а также комбинация всех источников. Выбор оптимальной альтернативной системы основан на минимизации энергозатрат и минимальном воздействии на окружающую среду. В качестве исходных данных используются почасовые показатели местной скорости ветра, солнечной радиации и нагрузки. Такие расчеты, основанные на локальных данных, отражают некоторые общие свойства гибридных систем, но их применимость ограничена. Приведены подобные результаты, где исследуется обеспечение надежности с помощью дизель-генератора. Показано, что при использовании различных возобновляемых источников энергии эффективность системы повышается, а нагрузка на дизель-генератор значительно снижается. Поиск оптимальной комбинации источников энергии зависит от требований к системе и конкретных потребностей потребителя.

У систем с использованием дизель-генераторов присущи некоторые недостатки, такие как зависимость от моторного топлива, что создает проблемы логистики, экологии и экономической эффективности. Кроме того, такие системы обладают дискретной генерацией, что приводит к неравномерности в поставке энергии. Для регулирования баланса энергии популярны системы аккумулирования энергии, которые имеют ряд преимуществ перед топливными двигателями. Среди различных методов хранения энергии для балансировки мощности в локальных системах преобладают электрохимические аккумуляторы, а в больших энергосистемах используются гидро-аккумулирующие станции (ГАЭС).

Ожидается, что уже в 2030 году литий-ионные аккумуляторы с мощностью около 100 МВт станут конкурентоспособными по сравнению с ГАЭС и смогут обеспечивать оперативную балансировку мощности в энергосистемах с высокой долей возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в течение суток или даже недели. Аккумуляторные системы независимо от своего расположения могут использоваться для балансировки энергосистемы как в нормальных, так и в аварийных режимах. Кроме того, аккумуляторные системы, размещенные в

местах потребления, могут участвовать в балансировке локальных изолированных энергосетей. Особенностью работы аккумуляторных систем, особенно с высокой долей ВИЭ, является широкий диапазон изменений в генерации и потреблении энергии. Возможность использования избыточной энергии определяется уровнем заряда аккумулятора и скоростью его зарядки, превышающей темп роста мощности. Это относится к электрохимическим аккумуляторам, однако ограничение на скорость зарядки характерно для различных технологий хранения энергии.

Исследования, связанные с аккумуляторными системами (СНЭ), в основном сосредоточены на выборе оптимальных параметров и расположении этих систем в распределительных сетях. Для решения данной задачи часто применяются методы нелинейного математического программирования. Целевые функции включают максимизацию использования возобновляемой энергии, снижение капитальных затрат на установку СНЭ, повышение надежности электроснабжения и уменьшение потерь электроэнергии.

В некоторых исследованиях рассматривается задача многокритериальной оптимизации, где рассматриваются две или более целевые функции одновременно. Наиболее обоснованным и практичным подходом является выбор мощности и емкости СНЭ на основе анализа фактических суточных нагрузочных профилей, однако эти результаты зависят от конкретных условий. Одной из значительных проблем при использовании гибридных систем с накоплением энергии в микросетях является выбор размера накопителей (емкости и мощности).

Для оценки влияния размера батареи на оптимальную конфигурацию системы используется функция общей стоимости, направленная на минимизацию. Предлагаемая стратегия основывается на реальных данных о солнечной радиации, скорости ветра и профиле нагрузки. Неравномерность возобновляемых источников энергии является негативным фактором, усложняющим выбор соответствующих размеров СНЭ. В одной из работ была предложена обобщенная математическая модель для определения оптимальных размеров системы, состоящей из фотоэлектрических и ветровых станций, а также аккумуляторных батарей для изолированных районов. При этом учитывается не только стоимостной аспект, но и вероятность потери энергоснабжения (индекс LPSP).

Использование аккумуляторных систем в гибридных энергетических системах ограничивается высокой стоимостью и возможностью недостатка емкости при длительном дисбалансе мощностей. Поэтому многие решения для таких систем предусматривают одновременное применение резервного генератора и системы накопления энергии, что обеспечивает наилучшие результаты с точки зрения надежности и стоимости. Это особенно важно для децентрализованных потребителей, так как возобновляемые источники энергии, такие как ветряные и солнечные станции, могут быть размещены ближе к конечным потребителям энергии. Однако использование централизованной электросети способствует повышению надежности и экономической

эффективности благодаря возможности использования избыточной энергии. При этом важно провести предварительное исследование местных климатических условий и особенностей потребления энергии.

В некоторых исследованиях были рассмотрены обобщенные гибридные системы, включающие ветряные турбины, фотоэлектрические панели, аккумуляторные батареи и дизель-генераторы. Оптимизация таких систем касается различных факторов, таких как использование возобновляемых источников энергии, тепловое и электрическое потребление, цена на дизельное топливо. Исследования показали преимущества интегрированных систем с накоплением энергии. Численные результаты относятся к конкретным местоположениям и потребителям. Для оптимизации состава локальной энергетической системы был использован программный комплекс HOMER, с требованием обеспечения полной удовлетворенности энергетических потребностей. Аналогичная задача по определению оптимального размера гибридной энергетической системы, включающей фотоэлектрические модули, ветряные турбины, аккумуляторные батареи и дизель-генераторы, решается с использованием генетического алгоритма. В этом случае выбираются технические параметры для определенных типов оборудования (размеры конструкции, угол наклона и т.д.) и количество энергетических установок для достижения минимальной стоимости энергии в эквиваленте углеродного диоксида (COE). Задача считается сложной из-за большого количества возможных вариантов структуры системы и непостоянного характера энергии от ветра и солнца, поэтому она не может быть решена с помощью классических методов.

В литературе обсуждаются общие аспекты, которые необходимо учесть при планировании локальной энергосистемы. Они включают выбор источников возобновляемой энергии, механизмы для регулирования баланса мощности, учет климатических условий, методы прогнозирования, моделирование работы системы и оценку результатов.

Цитируемые исследования фокусируются на конкретных энергетических системах и типах оборудования. Однако требуется разработка математической модели, которая бы представляла систему с формализованными параметрами и позволяла выбирать оптимальные варианты из широкого спектра возможностей. Ранее упомянутые работы в основном касаются экономических и, иногда, экологических аспектов, требующих комплексных оценок. Однако для оценки надежности обеспечения потребителей необходимо учитывать случайный характер процессов генерации и потребления с быстрыми изменениями мощности в течение нескольких минут. Для получения адекватных оценок эффективности выбранной системы энергоснабжения требуется соответствующая математическая модель, учитывающая стохастическую природу процессов. Важно учитывать как местные климатические условия, так и особенности потребления энергии. Учет временного поведения ветра и солнца позволяет получить вероятностные оценки с необходимой точностью. В данном исследовании особое внимание уделяется учету быстрых изменений мощности

ветровых и солнечных электростанций, условий включения резервного генератора, процессов накопления несбалансированной энергии и реального состояния зарядки аккумуляторов.

Цель данного исследования заключается в изучении характеристик энергобаланса при работе электроэнергетической системы, включающей традиционные источники энергии (электросеть), возобновляемые источники энергии (ветровые и солнечные электростанции), резервный управляемый генератор и аккумулятор электроэнергии. Для получения оценок интересующих нас параметров предлагаются математические модели, которые учитывают быстрые случайные изменения текущего состояния данной комбинированной системы. Задачей такой модели является оценка вероятности различных состояний системы и, тем самым, определение надежности энергоснабжения, а также выбор оптимального состава системы генерации и алгоритма работы резервного генератора для обеспечения необходимого баланса мощностей. [4]

2.4.1 Использование энергоскладов и накопительных устройств

Использование энерго-складов и накопительных устройств (аккумуляторов) становится все более важным в современной энергетике. Они играют роль ключевых компонентов для эффективного управления энергией и интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в электроэнергетические системы. Вот несколько основных аспектов использования энерго-складов и накопительных устройств в энергетике:

Управление нагрузкой и пиковым спросом: Энерго-склады позволяют накапливать энергию в периоды низкого спроса и высокой производительности ВИЭ, а затем использовать ее во время пикового спроса или когда производство энергии от ВИЭ снижается. Это помогает сгладить нагрузку на электрическую сеть и повысить ее надежность.

Интеграция ВИЭ: ВИЭ, такие как солнечная и ветровая энергия, являются нестабильными и зависят от погодных условий. Энерго-склады позволяют сохранять избыточную энергию, производимую ВИЭ в периоды низкого спроса, и использовать ее во время отсутствия производства от ВИЭ. Это способствует более эффективному использованию возобновляемых источников энергии и уменьшению зависимости от традиционных источников энергии.

Регулирование частоты и стабильность электрической сети: Энерго-склады могут выполнять роль регуляторов частоты и стабилизаторов в электрической сети. Они могут быстро вводить или выводить энергию для компенсации временных колебаний в спросе и производстве энергии. Это помогает поддерживать стабильность и надежность работы электрической сети.

Энергонезависимость и резервное питание: Накопительные устройства могут служить резервным источником энергии в случае аварийных ситуаций или отключения основного электропитания. Они позволяют поддерживать работу важных систем, таких как больницы, телекоммуникационное оборудование или критическая инфраструктура, даже при временных сбоях в сети.

Использование энерго-складов и накопительных устройств в энергетике имеет потенциал для повышения энергоэффективности, интеграции ВИЭ и улучшения устойчивости электроэнергетических систем. Однако, внедрение этих технологий требует учета экономических, технических и правовых аспектов, а также совершенствования стандартов и регулирования для обеспечения их эффективного использования и интеграции в существующие энергетические системы. [4]

2.4.1.1 Обзор накопителей электрической энергии

У различных типов накопителей энергии есть свои характеристики, режимы работы и особенности конструкции, которые определяют их область применения.

Накопители электрической энергии могут быть классифицированы на два типа: накопители со статической активной зоной, такие как электрохимические, индуктивные и емкостные, и накопители с динамической активной зоной, такие как электромеханические. Первые предназначены для накопления и хранения электрической энергии, а вторые - для накопления и хранения механической энергии с последующим ее преобразованием в электрическую энергию для дальнейшего использования.

Для оценки применимости накопителей энергии в преобразовании и хранении электрической энергии используются следующие показатели:

Удельная энергоемкость накопителя энергии, которая определяет количество накопленной энергии, относительно массы накопителя.

Энергоемкость системы накопления энергии в целом определяет способность системы накопления энергии использовать энергию в данном техническом решении относительно общей массы накопителя, включая внешние устройства (например, зарядное устройство, силовой преобразователь) и массу компонентов (таких как жидкость, газ, хладагент, электролит), необходимых для выполнения одного цикла работы системы.

Объемная удельная энергоемкость – это соотношение энергетической емкости аккумулятора к его объему.

КПД накопителя – это отношение энергии, которая может быть использована в данном техническом решении (энергия разряда), к энергии, необходимой для восстановления прежнего энергетического запаса системы накопления (энергия, затрачиваемая на заряд).

Удельная мощность определяется как внутренними характеристиками накопителя энергии, так и внешними устройствами, связанными с его работой.

Для более точного сравнения и оценки эффективности накопителей электрической энергии, важно ввести понятие удельной энергии системы накопления за полное число циклов заряда-разряда, которую накопитель должен обеспечить в течение своего срока службы.

Также важным аспектом при разработке конструкций является относительная стоимость одного киловатт-часа энергии и необходимая

мощность для поддержания аккумулятора на постоянном энергетическом уровне без его полезного использования.

Существует широкий спектр накопителей с постоянной активной зоной, и рассмотрим некоторые из них:

1) Сверхпроводящие индуктивные накопители (СПИН) обладают высокими показателями массо-габаритной эффективности, позволяя достичь предельных значений плотности тока в активной зоне. Они могут применяться как в автономных, так и в крупных энергосистемах благодаря своей способности длительно сохранять энергию и быстро реагировать на изменения нагрузки, а также обладают высокой удельной мощностью. Однако, при увеличении плотности тока, связанного с увеличением массы системы охлаждения и конструктивных элементов, преимущество в массе индуктивных накопителей сокращается. Кроме того, их энергоемкость невелика (приблизительно 1 МВтч), и дальнейшее увеличение сталкивается с проблемами размещения из-за громоздких магнитных полей, требующих создания дорогостоящих экранирующих систем.

2) Суперконденсаторы, также известные как ионисторы, представляют собой электрохимическое устройство для импульсного энергетического хранения. В отличие от различных типов аккумуляторов, они обладают значительно меньшей удельной энергоемкостью (до 4 Вт-ч/кг) и повышенной удельной мощностью (до 10 кВт/кг). При соблюдении определенных зарядных напряжений, химические превращения веществ в процессе работы не происходят, что обеспечивает длительный ресурс системы, достигающий до 1 миллиона циклов заряд-разряд. Суперконденсаторы также обладают высокой эффективностью (до 95 процентов), неполярностью, простотой зарядного устройства и высокими скоростями заряда и разряда. Однако, недостатками являются значительный уровень саморазряда (300 процентов в месяц) и зависимость напряжения от степени заряженности.

3) Свинцово-кислотные аккумуляторы (СКА) широко применяются благодаря хорошо усвоенной технологии производства и обширному опыту использования. Их можно разделить на стартерные, тяговые и резервные свинцово-кислотные аккумуляторы. Стартерные аккумуляторы используются для запуска двигателей автомобилей и рассчитаны на разряд с высокими токами. У них более высокая удельная энергоемкость по сравнению со стационарными аккумуляторами. Стационарные аккумуляторы предназначены для длительного разряда с использованием низких токов, с некоторым увеличением глубины разряда, но с худшими массогабаритными показателями. Тяговые аккумуляторы занимают промежуточное положение и используются в электротранспорте.

Технология относительно недорогая и позволяет легко создавать накопители энергии с емкостью десятков мегаватт-часов для выравнивания нагрузки и стабилизации сети. Аккумуляторы этого типа обладают высокой надежностью и длительным сроком службы, хорошо подходят для быстрой зарядки и разрядки, обладают низким саморазрядом (40 процентов в год) и могут пройти от 200 до 1000 циклов при разряде на уровне 80%. К недостаткам можно

отнести низкую удельную энергоемкость (30–40 Вт-ч/кг), относительно низкую эффективность (75 процентов), значительные эксплуатационные затраты и строгие требования к экологической безопасности при утилизации.

4) Серно-натриевые аккумуляторы (Na-S) отличаются от свинцово-кислотных аккумуляторов более чем вчетверо большей энергетической плотностью, высоким числом циклов заряд-разряд (до 5000 циклов при 90 процентном разряде) и быстрым временем отклика, измеряемым в миллисекундах для полной зарядки и разрядки. Они имеют большой потенциал для использования в регулировании напряжения и частоты в централизованных энергетических системах, что позволяет повысить качество электроэнергии в сочетании, например, с гидроаккумулирующими станциями, а также для стабилизации работы систем, использующих возобновляемые источники энергии. Технология высокоэффективна (КПД - 92 процента), не подвержена саморазряду, требует минимального обслуживания и имеет длительный срок службы - до 15 лет. Серно-натриевые аккумуляторы изготавливаются из широко распространенных и недорогих материалов, что позволяет массовое производство и модульную сборку для увеличения мощности и энергоемкости накопителя, а также сократить время установки. Как и другие электрохимические аккумуляторы, они состоят из двух электродов, разделенных электролитом. Анодом служит расплавленный натрий, катодом - смесь серы и графита, а в качестве электролита используется алюминат натрия (твердый электролит). Оптимальная рабочая температура для поддержания электродов в расплавленном состоянии составляет 250-300 градусов Цельсия. Однако, для поддержания этой температуры, часть запасенной энергии расходуется, что приводит к быстрому саморазряду, несмотря на нулевой саморазряд ячейки. Высокая рабочая температура также оказывает влияние на конструкцию модулей и ограничивает возможности размещения.

Развитием серно-натриевых аккумуляторов являются аккумуляторы типа ZEBRA (Zeolite Battery Research Africa Project). В отличие от серно-натриевых аккумуляторов, в аккумуляторах ZEBRA катод выполнен из пористой никель-хлоридной структуры, пропитанной расплавом хлоралюминита натрия. Кроме того, была изменена конструкция, и катод был помещен внутри анода, что позволило снизить проблемы с коррозией. Эта технология была сфокусирована на создании аккумуляторов для специальных применений, таких как электрический автотранспорт и морской транспорт.

5) Никель-кадмиевые аккумуляторы (Ni-Cd) имеют долгую историю существования. Их принцип работы основан на образовании гидроокиси кадмия на аноде и гидроокиси никеля на катоде. У них удельная энергоемкость почти в два раза выше, чем у свинцово-кислотных аккумуляторов, и они способны работать при низких температурах, при этом допускают более высокие токи заряда и разряда. Благодаря этим преимуществам никель-кадмиевые аккумуляторы широко применяются в транспортных, авиационных и стационарных системах. Однако они также обладают некоторыми недостатками, такими как эффект памяти - снижение энергоемкости при неполном заряде или

разряде, требующее специальных алгоритмов для ее восстановления. Кроме того, никель-кадмиевые аккумуляторы требуют точного соблюдения правил эксплуатации. Несмотря на эти недостатки, они рассматривались как альтернатива свинцово-кислотным аккумуляторам в области электротранспорта до появления более совершенных и менее требовательных в эксплуатации систем. Однако из-за более высокой стоимости они не смогли полностью вытеснить свинцово-кислотные аккумуляторы.

6) Никель-металл-гидридные аккумуляторы (Ni-MH) представляют собой вариацию никель-кадмиевых аккумуляторов, где анодом является водородный металлогидридный электрод, электролитом - гидроксид калия, а катодом - оксид никеля. Эти аккумуляторы обладают многими преимуществами никель-кадмиевых аккумуляторов, включая способность к глубокому разряду. Они также обладают более высокой плотностью энергии (приблизительно на 30 процентов), но имеют немного большее внутреннее сопротивление и высокий уровень саморазряда (в 1,5-2 раза выше). Никель-металл-гидридные аккумуляторы практически не подвержены "эффекту памяти". Они широко применяются в бытовой электронике, а также нашли свое применение в гибридных электромобилях с киловаттным диапазоном мощности.

7) Литий-ионные аккумуляторы (Li-Ion) обладают рядом характеристик, которые делают их привлекательными для использования. Они обладают высокой удельной энергоемкостью (90-180 Вт-ч/кг), способностью к глубоким циклам заряда и разряда (70-80 процентов) и большим числом циклов (1000-7000). Они не подвержены "эффекту памяти" и имеют низкий уровень саморазряда (3-5 процента в месяц). Литий-ионные аккумуляторы способны обеспечивать высокие кратковременные токи нагрузки (до 65% от емкости аккумулятора в постоянном режиме и до 500 процентов в импульсном режиме) и практически не требуют обслуживания. Из-за их низкого саморазряда и большого числа циклов заряда и разряда, литий-ионные аккумуляторы являются предпочтительным выбором для альтернативной энергетики.

В настоящее время в массовом производстве литий-ионных аккумуляторов используются различные классы катодных материалов, такие как оксиды лития с кобальтом и никелат лития, литий-марганцевая шпинель и литий-ферро-фосфат. Различные электрохимические схемы литий-ионных аккумуляторов включают литий-кобальтовые и литий-железо-фосфатные. Литий-ферро-фосфат является успешным материалом для создания аккумуляторов, поскольку он способен отдавать практически всю накопленную энергию, оставаясь стабильным. Батареи с катодом из наноструктурированного ферро-фосфата лития, благодаря увеличенной активной поверхности и улучшенной проводимости за счет наночастиц углерода, обладают высокими токами разряда. Литий-железо-фосфатные аккумуляторы ($LiFePO_4$) не взрываются при внутреннем коротком замыкании из-за ограниченной проводимости катодного материала. Они также более экономичны и имеют более длительный срок хранения (до 15 лет), но обладают меньшей энергетической плотностью (90-130 Вт-ч/кг).

Тестируется новый тип литий-ионных аккумуляторов - нанопроводниковые аккумуляторы, где традиционный графитовый анод заменен на анод из нержавеющей стали, покрытый кремниевым нанопроводником. Кремний способен удерживать в десять раз больше лития, чем графит, что позволяет создавать аккумуляторы с более высокой энергетической плотностью и меньшей массой. В будущем увеличение площади поверхности анода позволит ускорить процесс зарядки и разрядки.

Литий-ионные аккумуляторы могут быть собраны в виде последовательной цепочки аккумуляторов для получения батарей с высоким напряжением или с комбинацией последовательного и параллельного соединения для обеспечения большей мощности. Безопасность эксплуатации таких батарей обеспечивается внешней электронной защитой, которая контролирует напряжение и предотвращает перезарядку и переразрядку. Электронная защита обычно располагается непосредственно на аккумуляторе и может включать систему охлаждения или подогрева.

Металло-воздушные аккумуляторы – это тип аккумуляторов, который отличается высокой удельной энергоемкостью, превосходящей литий-ионные аккумуляторы. Однако у них есть некоторые ограничения, такие как короткий срок эксплуатации из-за высыхания электролита и сложности перезарядки. Вместо электрической перезарядки большинство металло-воздушных аккумуляторов требует замены активных материалов.

8) В 2009 году компания "Fluidic Energy" получила грант от министерства энергетики США для разработки прототипов долговечных металло-воздушных аккумуляторов с очень высокой удельной энергоемкостью. Первые результаты исследований показали, что можно создать аккумуляторы с удельной энергоемкостью от 900 до 1600 Вт-ч/кг, при этом стоимость их производства не сильно превышает свинцово-кислотных аккумуляторов. В таких аккумуляторах используется высокопористый электрод в качестве анода, способный хорошо удерживать цинк и предотвращать образование дендритов, которые могут вызвать короткое замыкание. Вместо обычного водного раствора электролита металло-воздушные аккумуляторы используют ионные жидкости в качестве электролита.

9) Поточные аккумуляторы – это аккумуляторы, отличающиеся от традиционных электрохимических аккумуляторов тем, что у них используется постоянно заменяемый жидкий электролит. В этих аккумуляторах электролит хранится отдельно и прокачивается через аккумулятор в процессе работы.

В поточных аккумуляторах, основанных на окислительно-восстановительных реакциях (redox), таких как аккумуляторы на основе ванадия и аккумуляторы на основе бромида полисульфида, все химические компоненты, участвующие в преобразовании электрохимической энергии, растворены в электролите. В отличие от других аккумуляторов, в которых химические компоненты накапливаются в процессе заряда и разряда, энергоемкость поточных аккумуляторов определяется только размером емкости электролита. Удельная мощность зависит от размеров аккумулятора и возможностей насосной

установки. Это разделение между удельной мощностью и удельной энергией является одним из главных преимуществ поточных аккумуляторов на основе окислительно-восстановительных реакций. В отличие от них, аккумуляторы на основе бромида цинка накапливают химические материалы внутри аккумулятора в процессе заряда-разряда, и поэтому не обладают указанным выше преимуществом, свойственным аккумуляторам на основе окислительно-восстановительных реакций.

Поточные аккумуляторы имеют ряд преимуществ, таких как долгий срок службы, высокая скорость работы, возможность симметричной зарядки и разрядки, большое количество циклов (до 10 000) и высокая удельная энергоемкость благодаря большому запасу электролита. Однако они также имеют некоторые недостатки, включая низкую плотность энергии (обычно от 10 до 20 Вт-ч/кг, хотя для аккумуляторов на основе бромида цинка может достигать 145 Вт-ч/кг) и невысокую энергетическую эффективность (КПД составляет около 70-80 процентов). [4]

2.4.2 Применение смарт-сетей

Умная сеть электроснабжения, также известная как "Smart Grid", представляет собой современную систему электроснабжения, в которой коммуникационные и информационные сети используются для сбора, хранения и обработки данных. Эти данные автоматически используются для оптимизации работы системы, обеспечивая надежность, экономичность и эффективность электроснабжения.

Установка новых приборов учета у потребителей и их подключение к умной сети позволяет отслеживать потребление электроэнергии, напряжение и формировать графики нагрузки для каждого потребителя в режиме реального времени. Полученные данные обрабатываются в дата-центре, что позволяет определить оптимальное время для ремонта и обслуживания энергетического оборудования, обеспечивает высокое качество электроэнергии и максимальную экономичность без ущерба для надежности электроснабжения.

Применение умной сети также включает корректировку работы электроприемников в зависимости от режима электроэнергетической системы. Например, с использованием контроллера, подключенного к умной сети, можно управлять режимом работы холодильных установок, чтобы их пуск не приходился на периоды пиковой нагрузки, а выполнялся в момент снижения нагрузки.

Умное управление нагрузками позволяет использовать энергоемкие приборы в период ночного минимума нагрузки, совместно с применением зонных тарифов, что способствует сглаживанию нагрузки на энергосистему и экономии денежных средств.

В умной сети также возможно использование удаленных генерирующих установок, таких как солнечные и ветровые электростанции. Хотя они имеют непостоянную мощность, в умной сети эти альтернативные источники энергии

могут использоваться для питания удаленных потребителей, а недостающую мощность можно получать из основной сети. Это позволяет избежать зависимости от крупных местных электростанций и способствует развитию альтернативных источников энергии.

Умная сеть электроснабжения также позволяет внедрять энергетические хранилища, такие как батареи, которые могут использоваться для хранения электроэнергии, полученной от альтернативных источников. Это позволяет сгладить колебания в производстве электроэнергии и эффективно использовать возобновляемые источники в течение всего дня.

Кроме того, умная сеть обладает возможностью быстрого обнаружения и изоляции сбоев в системе электроснабжения. Благодаря системам мониторинга и диагностики, возникающие проблемы, такие как перегрузки или короткое замыкание, могут быть обнаружены и изолированы, минимизируя время простоя и сокращая проблемы с поставкой электроэнергии для потребителей.

Одним из главных преимуществ умной сети является возможность активного участия потребителей в управлении энергосистемой. Пользователи могут получать информацию о своем потреблении электроэнергии и стоимости электричества в режиме реального времени, что позволяет им принимать более осознанные решения о своем потреблении. Кроме того, потребители могут управлять своими электроприемниками и даже продавать избыток электроэнергии обратно в сеть.

В целом умная сеть электроснабжения имеет ряд преимуществ, включая повышение эффективности и надежности системы электроснабжения, интеграцию возобновляемых источников энергии, управление нагрузками и активное участие потребителей. Она является ключевым компонентом современных устойчивых энергетических систем и способствует переходу к более чистому и устойчивому энергетическому будущему.[5]

2.4.3 Использование технологий управления энергосистемой

Использование технологий управления энергосистемой, также известных как системы управления энергосетями (EMS), представляет собой применение компьютерных и информационных технологий для эффективного контроля, мониторинга и оптимизации работы энергетической системы.

Целью технологий управления энергосистемой является повышение эффективности и надежности работы энергетической сети, оптимизация распределения электроэнергии, эффективное управление нагрузками и интеграция возобновляемых источников энергии. Они обеспечивают операторам энергосистемы ценную информацию о текущем состоянии сети и позволяют им контролировать и регулировать процессы передачи и распределения электроэнергии.

Технологии управления энергосистемой обладают несколькими важными функциями. Они осуществляют наблюдение и сбор данных о состоянии сети, производстве и потреблении электроэнергии. Это позволяет операторам

получать точную информацию о работе сети и выявлять возможные проблемы или риски.

Одна из ключевых задач технологий управления энергосистемой — эффективное управление нагрузками. Они позволяют операторам контролировать и регулировать нагрузки в сети, чтобы балансировать потребление энергии и избежать перегрузок. Это может включать временное отключение или снижение мощности электроприемников, чтобы оптимизировать использование доступных ресурсов.

Прогнозирование и планирование также являются важными функциями технологий управления энергосистемой. Они используют данные о потреблении и производстве электроэнергии для прогнозирования будущего спроса и планирования работы сети. Это позволяет операторам эффективно распределять ресурсы и принимать предварительные меры для управления изменениями в нагрузке и производстве энергии.

Кроме того, технологии управления энергосистемой способствуют оптимизации работы системы в целом. Они используют алгоритмы и модели для определения наилучшего распределения электроэнергии, минимизации потерь энергии и оптимизации работы генераторов и передачи электроэнергии.

Наконец, технологии управления энергосистемой играют ключевую роль в интеграции и управлении возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечная и ветровая энергия. Они позволяют контролировать и координировать работу различных источников энергии, чтобы максимально использовать возобновляемые ресурсы и обеспечить стабильную поставку электроэнергии.

Все эти аспекты технологий управления энергосистемой способствуют более эффективному, надежному и устойчивому функционированию энергетических сетей. Они помогают снизить потребление энергии, улучшить надежность поставки, снизить нагрузку на сеть в пиковые часы и способствуют переходу к более устойчивым и экологически чистым источникам энергии.

Современное общество быстро развивается в результате прогресса цифровых технологий и их проникновения во все сферы человеческой деятельности. Энергетическая отрасль также не осталась в стороне, и уже сегодня широко применяются интеллектуальные системы управления, которые объединяют организационные, технические, программные и информационные ресурсы для сбора, хранения, обработки и анализа управленческой информации.

Примеры таких систем включают ADMS (Advanced Distribution Management Systems) с различными функциональными возможностями: SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) для реального времени сбора, обработки, отображения и архивирования данных об объектах мониторинга и управления, DMS (Distribution Management Systems) для управления электронными документами и/или бумажными документами, EMS (Energy Management Systems) для управления и контроля отдельных элементов сети, GIS (Geographical Information Systems) для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и информации об объектах.

Другой перспективной технологией в энергетической отрасли являются цифровые подстанции, которые основаны на открытых стандартах МЭК 61850 и широко применяют системы автоматизации и управления. Однако, несмотря на множество преимуществ, возникли споры между сторонниками и критиками данной идеи из-за отсутствия достаточного опыта в применении этой технологии

Таким образом, мы находимся в эпохе третьей промышленной революции, связанной с цифровой трансформацией, начавшейся во второй половине прошлого века. Она постепенно переходит в четвертую промышленную революцию, где границы между физическими, цифровыми и биологическими системами стираются. Интерес к Индустрии 4.0 и связанным с ней вопросам был поднят на международном экономическом форуме в Давосе. Облаковые технологии, онтологические модели деятельности, цифровые двойники, промышленный интернет вещей, сбор и анализ больших данных, аддитивные технологии, квантовые вычисления и биотехнологии считаются важными факторами в переходе к Индустрии 4.0. Многие из этих технологий рассматриваются как перспективные для энергетической отрасли и концепцией "Цифровая трансформация 2030"[6]

2.4.4 Применение гибридных систем энергопроизводства

В связи с непредсказуемостью природных явлений, которые влияют на генерацию возобновляемой энергии (ВИЭ), рекомендуется использовать гибридные энергетические системы, включающие средства регулирования текущей мощности. При построении оптимальной структуры такой системы возникает вопрос о интеграции различных технологий и учете свойств ВИЭ, традиционных энергосистем, дизель-генераторов и аккумуляторов энергии. Некоторые из этих систем имеют проблемы с надежностью поставки и стоимостью энергии. Определение оптимальной конфигурации такой системы является сложной задачей, так как процессы генерации и потребления энергии являются случайными. Системы с высоким уровнем использования ВИЭ представляют особую сложность в управлении энергетикой. Они требуют наличия устройств для хранения энергии и обеспечения потребления в моменты отсутствия внешней генерации. Различные гибридные конфигурации, объединяющие ветровые, солнечные и дизельные системы, исследованы для уединенных поселений в Саудовской Аравии с целью выбора оптимального варианта с минимальными затратами энергии и негативным воздействием на окружающую среду. Результаты таких исследований, основанные на местных данных о погоде и нагрузке, имеют ограниченное применение, и выбор оптимальной системы энергоснабжения должен учитывать требования конкретного потребителя.

Системы, основанные на дизель-генераторах, имеют некоторые недостатки, такие как необходимость использования моторного топлива, что создает сложности с логистикой, экологической чистотой и экономической эффективностью. Кроме того, такие системы характеризуются дискретной

генерацией, что приводит к неравномерности поставки энергии. Для балансировки энергетического баланса часто применяют системы аккумулирования энергии, которые имеют ряд преимуществ перед топливными двигателями. Среди различных методов накопления энергии для балансировки мощности в локальных системах наиболее популярными являются электрохимические аккумуляторы, в то время как гидроаккумулирующие станции (ГАЭС) используются в больших энергетических системах.

По прогнозам, уже к 2030 году литий-ионные аккумуляторные батареи мощностью около 100 МВт станут конкурентоспособными по сравнению с ГАЭС и смогут обеспечивать оперативную балансировку мощности в энергетических системах с высокой долей ВИЭ на протяжении суток, а возможно и недели. Аккумуляторные системы на возобновляемой энергии (АСНЭ), независимо от их размещения, могут участвовать в балансировке энергетической системы в нормальных и аварийных режимах. Кроме того, АСНЭ, установленные в точках потребления, могут участвовать в балансировке местной сети, работающей в изолированном режиме. Одной из особенностей работы АСНЭ, особенно с высокой долей ВИЭ, является широкий диапазон изменений генерируемой и потребляемой мощности. Возможность использования избыточной энергии зависит как от уровня заряда аккумулятора, так и от скорости зарядки, которая может превышать скорость роста мощности. Это относится к электрохимическим аккумуляторам, но ограничение скорости зарядки характерно для различных технологий накопления энергии.

Исследования, связанные с аккумуляторными системами, в основном сосредоточены на выборе оптимальных параметров и мест размещения систем на возобновляемой энергии (СНЭ) в распределительных сетях. Для решения этой задачи часто используются методы нелинейного математического программирования. Целью является максимизация использования энергии от возобновляемых источников, снижение затрат на установку СНЭ, обеспечение надежности электроснабжения и уменьшение потерь электроэнергии.

Некоторые исследования также рассматривают многокритериальную оптимизацию, учитывая две или более целевые функции одновременно. Оптимальная мощность и емкость СНЭ обычно выбираются на основе реальных суточных профилей нагрузки, но эти результаты зависят от конкретных условий. Одной из важных проблем при использовании гибридных систем с накоплением энергии в микросетях является выбор размеров аккумуляторных батарей.

Предлагаемая стратегия опирается на реальные данные о солнечной радиации, скорости ветра и профиле нагрузки. Неравномерность возобновляемых источников является сложным фактором, который усложняет выбор соответствующих размеров СНЭ. В одной из работ [12] предложена обобщенная математическая модель для определения оптимальных размеров системы с фотоэлектрическими и ветровыми станциями, а также аккумуляторными батареями для изолированных районов. При этом учитываются не только стоимостные показатели, но и вероятность потери электроснабжения (индекс LPSP).

Использование аккумуляторных систем имеет свои ограничения, включая высокую стоимость и возможность недостатка емкости при длительном неравновесии мощностей. Поэтому многие гибридные системы рассматривают одновременное использование резервного генератора и системы накопления энергии, чтобы достичь наилучших результатов с точки зрения надежности и стоимости. Особенно это важно для децентрализованных потребителей, поскольку возобновляемые электростанции, такие как ветровые и солнечные, могут быть размещены непосредственно рядом с конечными потребителями энергии. Однако возможность использования централизованной электросети значительно повышает надежность и экономическую эффективность, так как избыточная энергия может быть утилизирована. Важно провести предварительное исследование климатических условий и особенностей потребления энергии.

В ранее проведенных исследованиях были рассмотрены обобщенные гибридные системы, включающие ветровые турбины, фотоэлектрические панели. [7]

3.4.5 Другие подходы и методы.

Энергоэффективность: Улучшение энергоэффективности в потреблении энергии является одним из ключевых методов сокращения зависимости от ВИЭ и обеспечения устойчивости энергосистемы. Это может включать меры по снижению энергопотребления, энергоаудиты, внедрение энергосберегающих технологий и повышение осведомленности о рациональном использовании энергии.

Географическое разнообразие: Использование разнообразных источников ВИЭ, таких как солнечная, ветровая, гидроэнергия и геотермальная энергия, в различных географических регионах, может помочь сгладить колебания в производстве энергии. Путем распределения генерации ВИЭ по большой территории можно снизить вероятность одновременного снижения производства энергии с различных источников.

Развитие хранения энергии: Исследование и разработка новых технологий хранения энергии может значительно снизить проблему колебаний и недостатка мощности при использовании ВИЭ. Примерами таких технологий являются тепловое хранение, химические батареи, суперконденсаторы и механические системы накопления энергии.

Интеграция сетей: Усиление связей и интеграция различных энергосистем и энергетических сетей может способствовать более гибкому и устойчивому управлению энергией. Например, объединение городских энергосистем с сельскими районами или создание региональных энергетических сетей позволяет сбалансировать производство и потребление энергии с различных источников.

Исследование и инновации: Непрерывные исследования и инновации в области энергетики необходимы для разработки новых методов и технологий,

способных снизить влияние ВИЭ на устойчивость энергосистемы. Это включает разработку новых материалов, более эффективных технологий производства, а также применение искусственного интеллекта и аналитики данных для более точного прогнозирования и управления энергосистемой.

В целом, сочетание различных методов и подходов позволяет достичь более устойчивой и надежной энергосистемы, где возобновляемые источники энергии становятся основой для устойчивого и экологически чистого энергетического будущего. [8]

2.5 Оценка эффективности и достоинств выбранного способа для снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы

Применение энерго-накопителей имеет несколько ключевых аргументов в пользу этого метода:

Сглаживание неравномерности производства энергии: Возобновляемые источники энергии, такие как солнечные и ветровые, обладают переменным характером производства электроэнергии в зависимости от погодных условий и времени суток. Использование аккумулирующих систем позволяет сохранять избыточную энергию, произведенную в периоды высокой продуктивности ВИЭ, и использовать ее в периоды низкой продуктивности или пикового спроса. Таким образом, энерго-накопители способствуют сглаживанию неравномерности производства и потребления энергии, что улучшает устойчивость энергосистемы.

Улучшение надежности энергоснабжения: Аккумулирующие станции могут использоваться в качестве резервных источников энергии, обеспечивая непрерывное электроснабжение в случае сбоев в основной сети. В случае возникновения проблем или отключений в основной энергосистеме, энерго-накопители могут автоматически включаться и обеспечивать электричество, что снижает вероятность прерывания работы и негативных последствий для потребителей.

Регулирование нагрузки и снижение пиковой нагрузки: аккумулирующие систмы могут использоваться для регулирования нагрузки в энергосистеме путем сглаживания пикового спроса. В периоды, когда потребление энергии невелико, аккумуляторы могут накапливать избыточную энергию, а затем использовать ее в периоды высокой нагрузки. Это позволяет эффективнее использовать доступные ресурсы и снижает потребность в дополнительной инфраструктуре для справления с пиковой нагрузкой.

Интеграция с возобновляемыми источниками энергии: Энерго-накопители позволяют более эффективно использовать возобновляемые источники энергии, так как они способны сохранять избыточную энергию, произведенную в периоды высокой продуктивности. Это способствует увеличению доли

возобновляемой энергии в энергосистеме и снижению зависимости от источников энергии, основанных на ископаемых топливах.

Экономическая эффективность: Использование аккумуляторных батарей может быть экономически выгодным, особенно при росте стоимости энергии и улучшении технологий хранения энергии. Снижение зависимости от традиционных источников энергии и оптимальное использование возобновляемых ресурсов позволяют снизить расходы на энергоснабжение и повысить энергоэффективность системы.

Эти основные аргументы подтверждают, что применение энерго-накопителей является эффективным методом для улучшения устойчивости энергосистемы, повышения надежности энергоснабжения, сглаживания неравномерности производства энергии и сокращения зависимости от традиционных источников энергии.

2.6 Аналитический расчет применения накопителей энергии для снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы

Оценка характеристик генерации возобновляемой энергии (ВИЭ) основывается на реальных долгосрочных данных о погодных условиях, таких как солнечная радиация. В данном случае рассмотрены климатические характеристики южного региона Казахстана, где развитие возобновляемой энергетики имеет особую перспективу.

Проводим расчет и выбор аккумуляторных батарей для интеграции их в дом с потреблением 5 кВт в сутки, питающийся от солнечных панелей 5 кВт/день или 1 кВт/час: Солнечная панель — 250 Вт *4 шт

Были взяты суточные графики нагрузки и выработки электроэнергии в летние и зимние сезоны [8;12;14] – рисунок 3;4, раздел 2

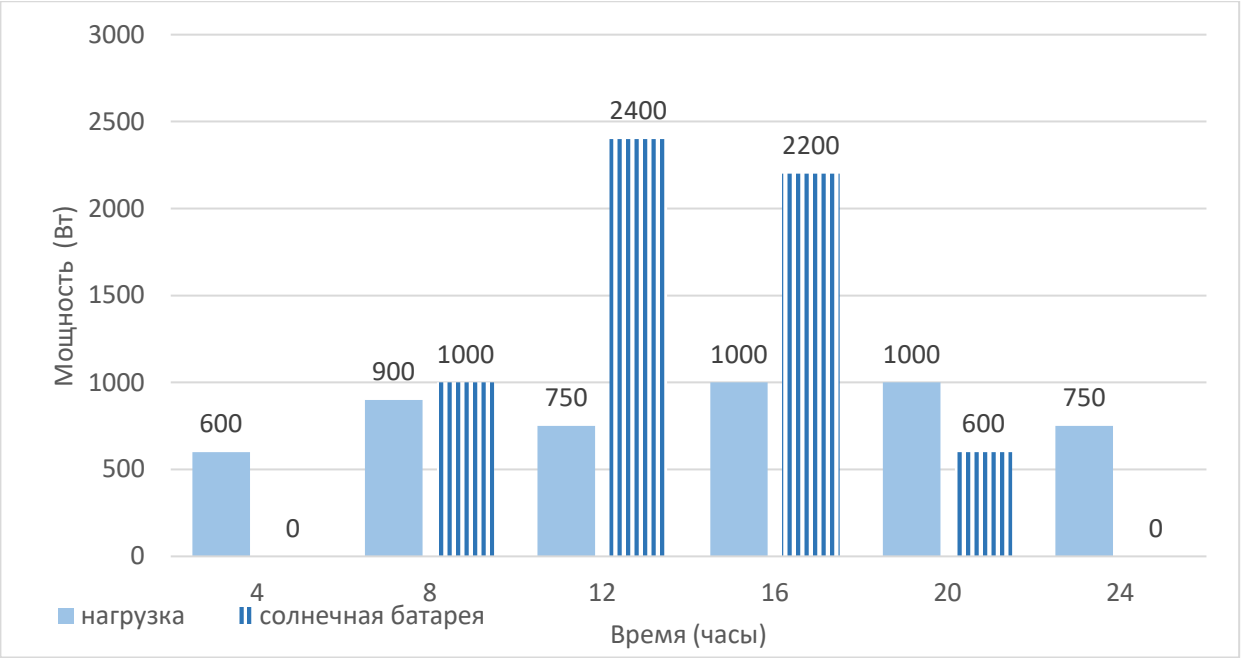

Рисунок 2.3 – Суточный график нагрузки и выработки электроэнергии от солнечной панели в летнее время года

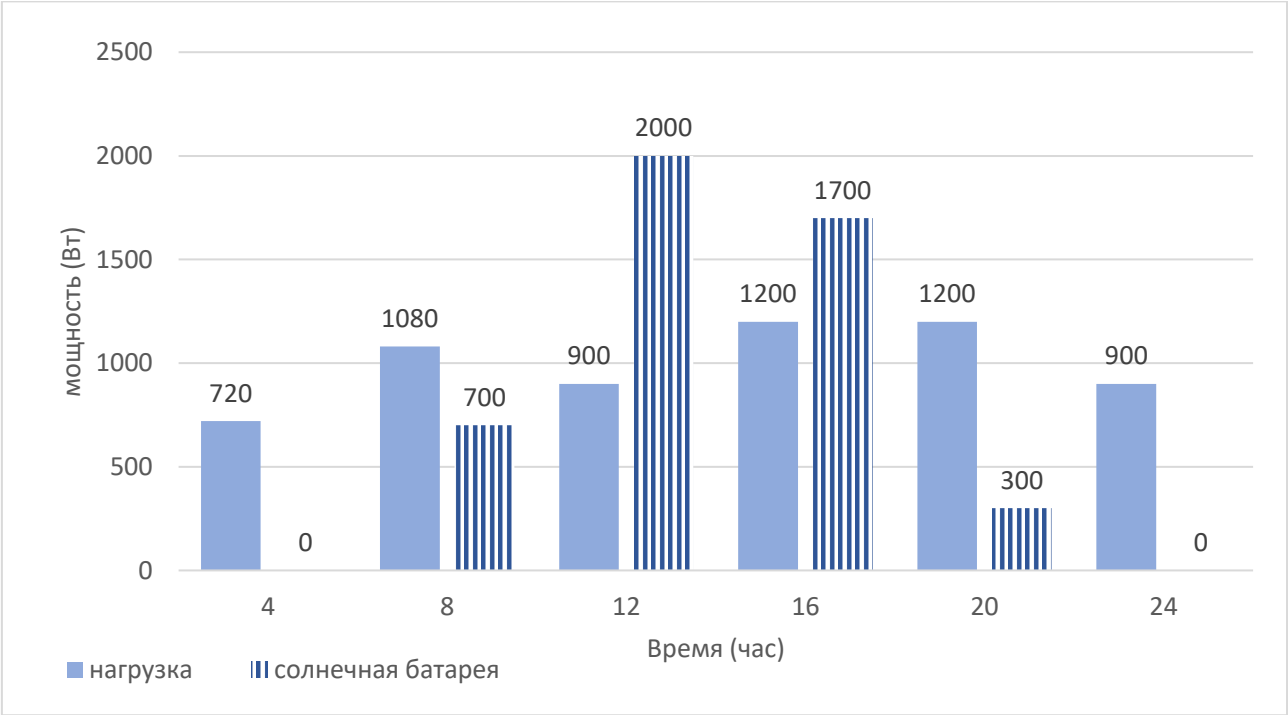

Рисунок 2.4 – Суточный график нагрузки и выработки электроэнергии от солнечной панели в зимнее время года

Исходя из графиков рисунков – 3; 4, раздел 2, рассчитывается разница мощности в момент времени и вычитаем потери инвертора, равные 15 процентам (принят равным коэффициент инвертора 0,85), для построения графика режима работы аккумуляторной батареи и дальнейшего выбора его емкости [12;14]

$$(P_{\text{сп}} - P_{\text{н}}) * k_{\text{и}} = P_{\text{аб}} \quad (2.1)$$

где, $P_{\text{сп}}$ – Мощность солнечной панели, Вт;
$P_{\text{н}}$ – нагрузка, Вт;
$k_{\text{и}}$ – Коэффициент потери инвертора.
В качестве примера проведем расчет по первым трем показаниям

$$P_{\text{аб}} = (0 - 600) * 0{,}85 = (-510)\ \text{Вт}$$

$$P_{\text{аб}} = (1000 - 900) * 0{,}85 = 85\ \text{Вт}$$

$$P_{\text{аб}} = (2400 - 750) * 0{,}85 = 1403\ \text{Вт}$$

Далее проводится аналогичный расчет и на его основе строим графики, Рис 5; 6, раздел 2 – Отрицательные значения говорят о том что, идет разряд аккумулятора, а в положительные отражают заряд.

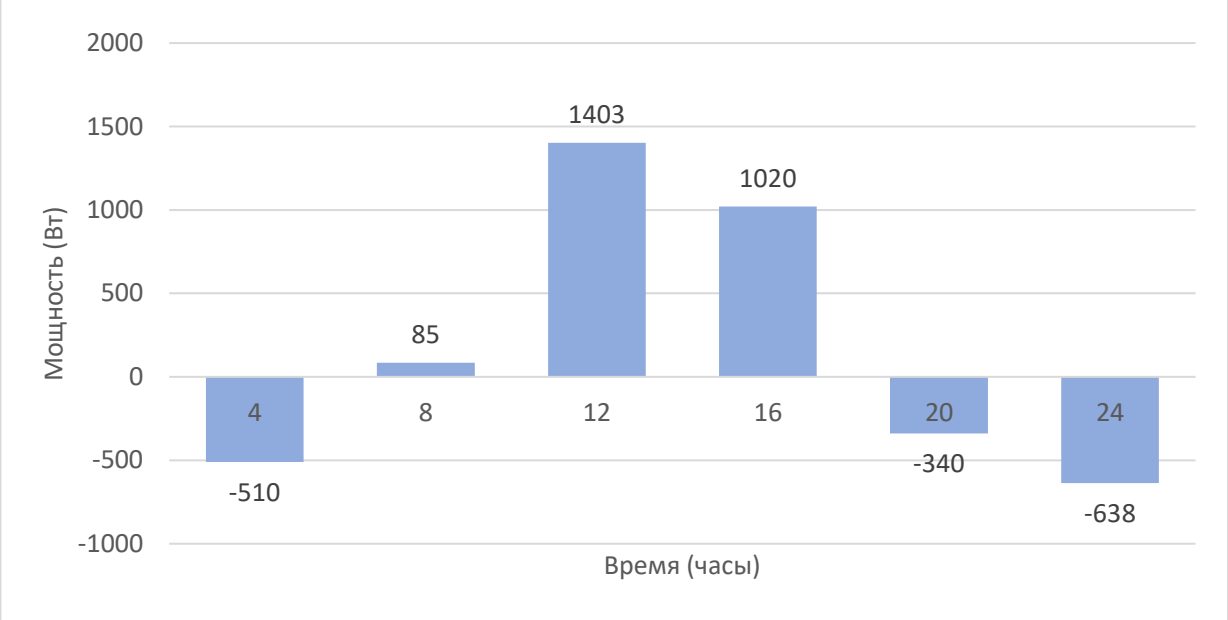

Рисунок 2.5 – Режим и цикл работы аккумуляторной батареи в летнее время года

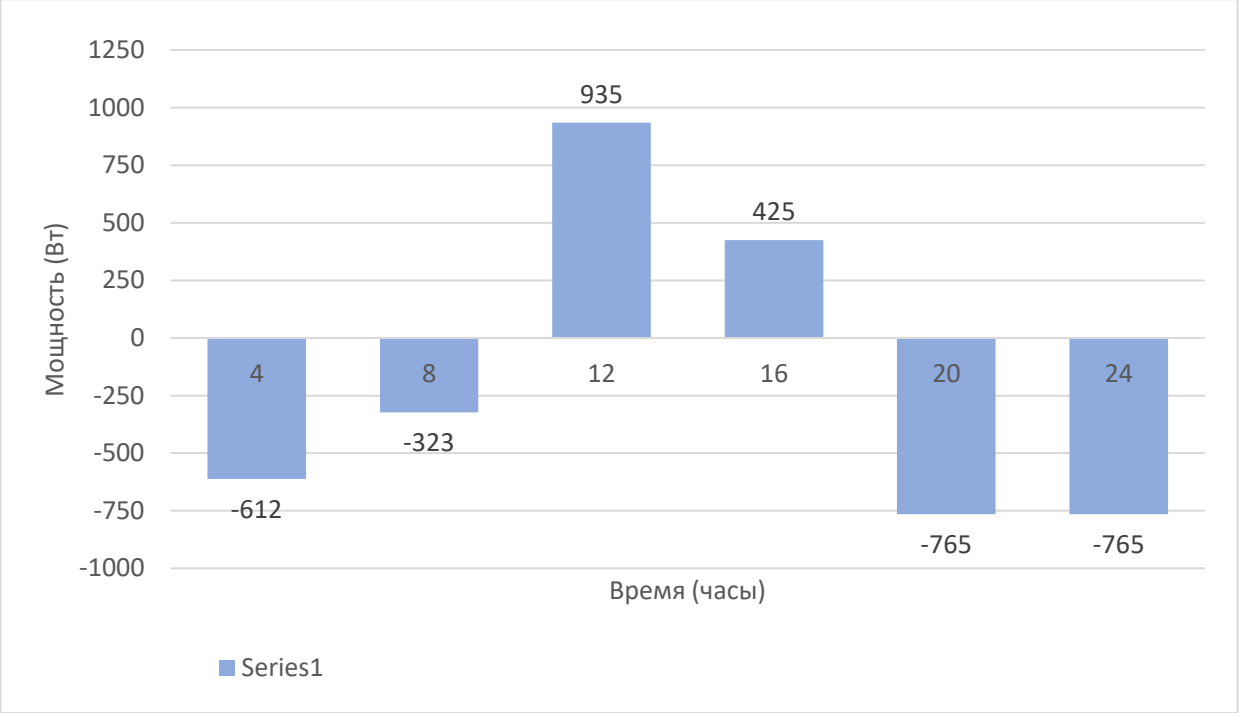

Рисунок 2.6 – Режим и цикл работы аккумуляторной батареи в зимнее время года

На основе этих графиков складываем выбирается тип аккумуляторной батареи и его емкость. В качестве примера рассматривается два самых распространенных вида, а именно: свинцово кислотный и литий ионный. [10;11;12]

Свинцово кислотный аккумулятор работает в диапазоне заряда от 80 до 100 процентов, так его рабочая емкость равно всего 20 процентам от номинальной.

Диапазон работы литий ионного аккумулятора намного шире и он способен работать то 0 до 100 процентов, но для обеспечения более длительного срока службы батареи рекомендуется эксплуатировать его от 20 до 80 процентов, тогда его рабочая емкость равно 60 процентам от номинальной емкости.

Для расчета емкости складывается положительная часть графика – Рисунок 5; 6, раздел 2 которая отражает цикл заряда батареи и делится на напряжение (принять равным 12 В) и рабочий коэффициент использования аккумулятора, который зависит от его типа, (для свинцово кислотного принят равным 0,2, для литий-ионного принят равным 0,6)[10;11;13]

$$W_{\text{аб}} = \frac{\Sigma P^{+}_{\text{аб}}}{k_{\text{аб}} * U} \quad (2.2)$$

где, $\Sigma P^{+}_{\text{аб}}$ – мощность заряда батареи, Вт;

$k_{\text{аб}}$ – коэффициент использования аккумулятора;

U – напряжение, В.

Расчет кислотно-щелочного аккумулятора

$$W_{\text{аб}} = \frac{(85 + 1403 + 1020)}{0{,}2 * 12} = \ 1045 \ \text{Ач}$$

Расчет литий-ионного аккумулятора

$$W_{\text{аб}} = \frac{(85 + 1403 + 1020)}{0{,}6 * 12} = 348 \ \text{Ач}$$

Опираясь на полученные цифры производиться выбор батарей из представленных на рынке. Были выбраны свинцово кислотный «RestarSolar AGM 200Ач»x5 и литий-ионный «Super B SB12V160E-ZC - 160Ач, 12В LiFePO4» x2. Конечная емкость которых соответствует 1000Ач и 320Ач.

Описание аккумуляторов:

Аккумуляторная батарея Restar Solar AGM 12В 200Ач представляет собой свинцово-кислотный аккумулятор с герметичной конструкцией и системой рекомбинации газов (VRLA). Она оснащена системой абсорбирующего стекломата (AGM), где электролит абсорбирован в стекловолоконном сепараторе.

Основные особенности данного аккумулятора включают безопасный режим эксплуатации, отсутствие необходимости обслуживания (нет необходимости доливать воду или проверять плотность электролита), низкий уровень саморазряда и улучшенные разрядные характеристики. В циклическом режиме аккумулятор способен выдерживать до 300 циклов разряда на 100 процентов. Срок службы данного аккумулятора составляет 3 года. При разряде до 20 процентов моно продлить срок до 400 циклов.

Кроме того, аккумулятор Restar Solar AGM соответствует герметичным стандартам и предназначен для использования в различных областях, включая ИБП, телекоммуникации, электроэнергетическую промышленность, солнечную энергетику и системы запуска генератора.

Аккумуляторная батарея Restar Solar AGM 12В 200Ач имеет герметичный контейнер и крышку из ABS (акрилонитрил-бутадиен-стирола) и обладает высокой способностью к восстановлению после глубокого разряда. Она также обладает высокой способностью восстановления и имеет все необходимые сертификаты качества.[12]

Аккумулятор Super B SB12V160E-ZC представляет собой литий-железо-фосфатный (LiFePO4) аккумулятор с емкостью 160Ач и напряжением 12В. Этот аккумулятор отличается высокой производительностью, надежностью и долгим сроком службы.

Super B SB12V160E-ZC обеспечивает безопасную и стабильную работу благодаря продвинутой технологии литиевых аккумуляторов. Он обладает высоким коэффициентом эффективности зарядки и разрядки, что позволяет максимально эффективно использовать энергию из солнечных панелей.

Одним из главных преимуществ аккумулятора Super B SB12V160E-ZC является его высокая энергетическая плотность. Это означает, что он обладает

большим запасом энергии при относительно небольшом размере и весе. Также этот аккумулятор обладает низким уровнем саморазряда, что позволяет ему сохранять энергию в течение длительного времени без значительных потерь.

Super B SB12V160E-ZC имеет долгий срок службы, который составляет более 4000 циклов зарядки-разрядки. Это означает, что аккумулятор может использоваться в течение многих лет без необходимости замены. Кроме того, он обладает широким диапазоном рабочих температур, что делает его подходящим для использования в различных климатических условиях.

Аккумулятор Super B SB12V160E-ZC также отличается высоким уровнем безопасности. Он не выделяет газы и не требует специального обслуживания, что делает его безопасным и удобным в использовании. Кроме того, аккумулятор LiFePO4 является экологически чистым и безопасным для окружающей среды, так как не содержит вредных веществ, таких как свинец или кадмий.

Super B SB12V160E-ZC представляет собой надежный и эффективный выбор для интеграции с солнечными электростанциями. Он обладает высокой энергетической плотностью, долгим сроком службы, высокой эффективностью и безопасностью, что делает его идеальным решением для использования в частных домах и других солнечных энергетических системах.[12]

Таблица 2.1 – Сравнение аккумуляторных батарей

Тип аккумулятора	Restar Solar AGM 200Ач *5	Super B SB12V160E-ZC - 160Ач, 12В LiFePO4 *2
Номинальная емкость (Ач)	200 / 1000	160 / 320
Напряжение (В)	12	12
Рабочая емкость (Ач)	20% от ном. = 40 / 200	60% от ном. = 96 / 192
Количество циклов	~400	4000-8000
Срок службы (год)	1,5	11-22
Цена (тг)	220 000 / 1 100 000	1 100 000 / 2 200 000

В результате интеграции аккумуляторных батарей в систему электроснабжения, с использованием инвертора и контроллера, были получены график нагрузки для лета и зимы. – Рисунок 7; 8, раздел 2 .

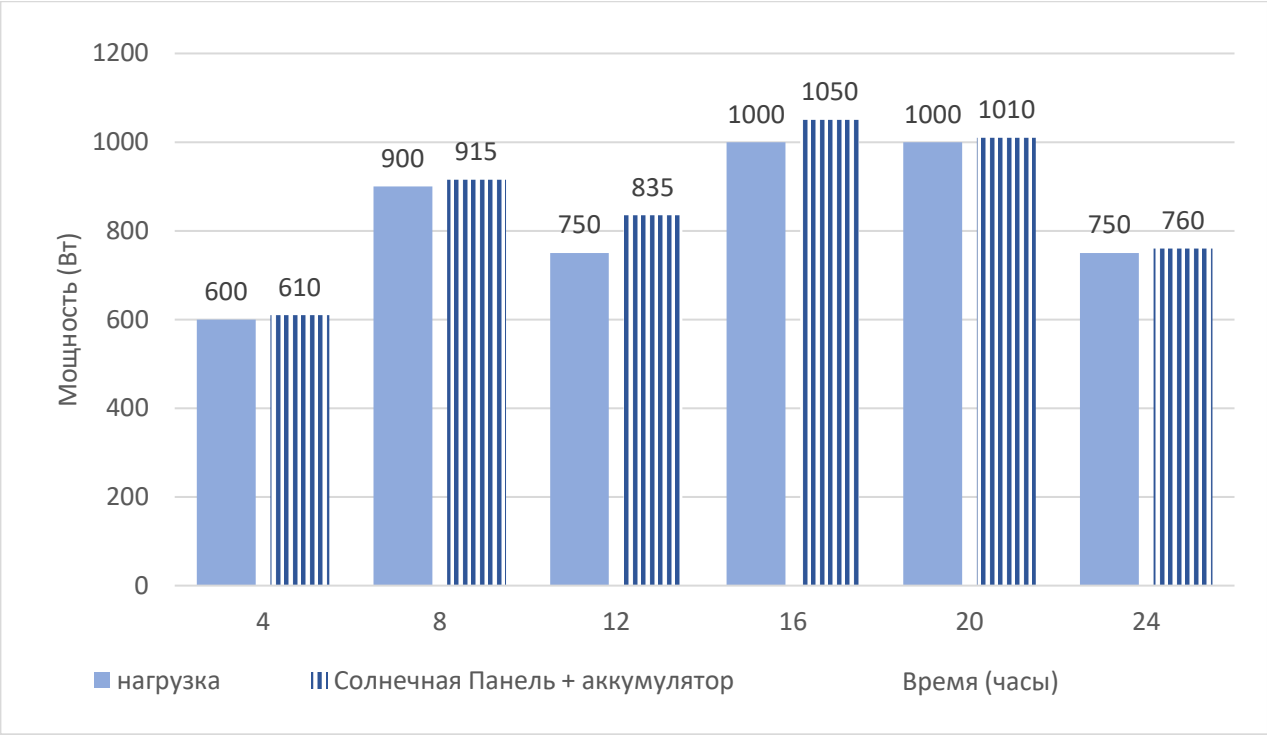

Рисунок 2.7 – график нагрузки и выработанной энергии с солнечных панелей и сбалансированной с помощью аккумуляторных батарей в летнее время.

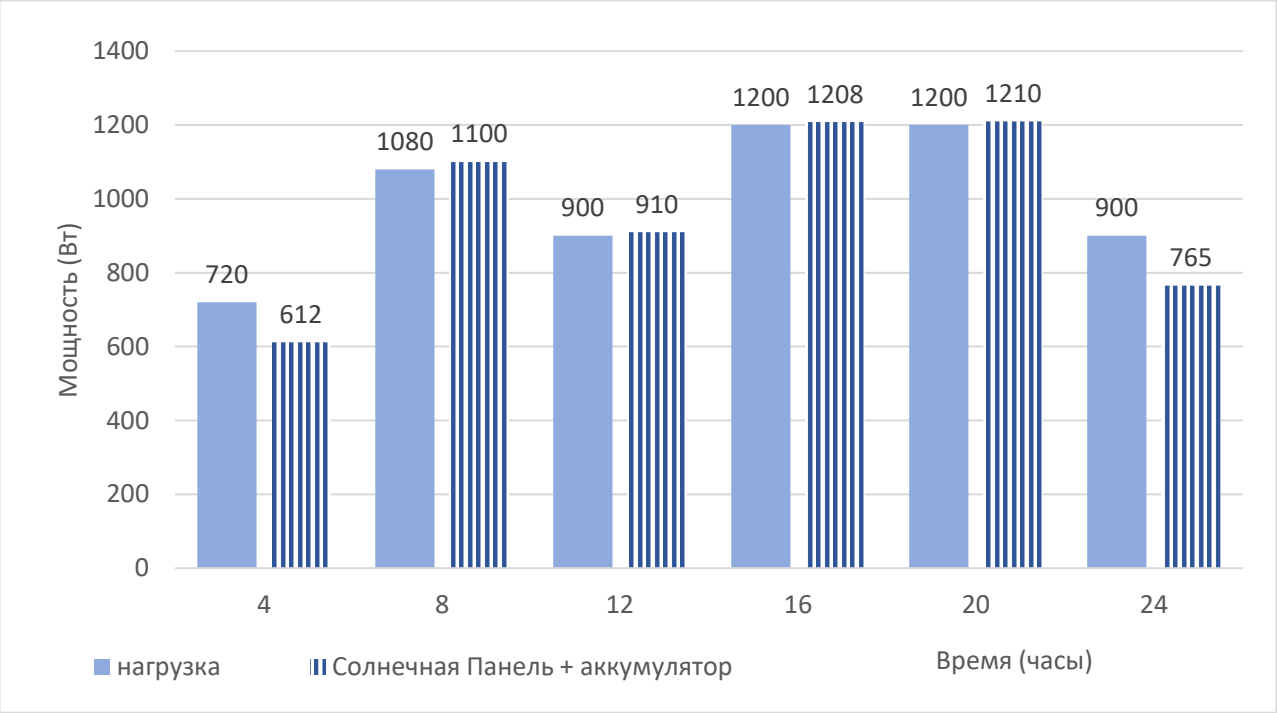

Рисунок 2.8 – график нагрузки и выработанной энергии с солнечных панелей и сбалансированной с помощью аккумуляторных батарей в зимнее время.

Глядя на графики (Рисунок 7; 8, раздел 2) можно наблюдать что соблюдается баланс загрузки сети, что делает ее более стабильной и гарантирует лучшее качество электрической сети.

Лишний сгенерированный электрический поток в летний период рекомендуется ориентировать на продажу в электрическую сеть с целью минимизации потерь полученной энергии. В зимние и облачные сезоны, когда производство электроэнергии солнечными источниками ограничено, целесообразно приобретать электроэнергию из той же сети. В данном случае местная электросеть может рассматриваться как "аккумулятор", обладающий отсутствием потерь и неограниченным сроком службы. Однако данная стратегия может быть реализована только при доступе к городской электросети. В таких условиях наилучшим вариантом может быть отказ от приобретения аккумулятора и вместо этого продажа и закупка необходимой энергии у сети. В случае отсутствия доступа к городской электросети, стоит рассмотреть возможность использования аккумулятора. Далее представлен сравнительный анализ и сроки окупаемости при различных типах питания. (Тариф за 1кВт*ч принят за 19,92 тг) [15]

Таблица 2.2 – Сравнительный анализ цен и сроков окупаемости

Тип питания	От городской энергосети	От солнечной батареи	От солнечной батареи + энерго сеть	От солнечной батареи + Restar Solar AGM	От солнечной батареи + Super B SB 12V 160E-ZC
Первоначальные вложения	0	915 400	915 400	2 015 400	3 115 400
Стоимость за электроэнергию 1 летний день (тг)	-99,6	-34,86	23,9	3,59	3,59
1 зимний день	119,52	-57,77	-25,9	-3,8	-3,8
1 летний месяц	-2 988	-1 046	717	107,7	107,7
1 зимний месяц	-3 585	-1 733	-777	-114	-114
1 год	-39 438	-16 674	-360	-37,8	-37,8
10 лет	-394 380	-166 740	-3 600	-378	-378
20 лет	-788 760	-333 480	-7 200	-756	-756
30 лет	-1 183 140	-500 220	-10 800	-1 134	-1 134
100 лет	-3 943 800	-1 677 400	-36 000	-3 780	-3 780
Срок окупаемости	-	40 лет	23 года	51 год	79 лет

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов исследования, можно сделать следующие выводы: в представленном регионе с низкими тарифами на электроэнергию сроки окупаемости являются значительными, и наиболее выгодным вариантом будет обеспечение энергией от городской электросети без использования аккумуляторов. Однако, в случае необходимости достижения автономного электроснабжения для дома, рекомендуется использование литий-ионных аккумуляторов, несмотря на их высокую стоимость. Это обосновано их высоким качеством, долгим сроком службы и способностью выдерживать большое количество циклов зарядки-разрядки, которых достаточно на 10-20 лет.

Следует отметить, что проблема дисбаланса в системе энергоснабжения может быть решена с помощью трех основных подходов. Первый подход предусматривает продажу излишков энергии обратно в энергосеть и покупку необходимой энергии в периоды, когда генерация от солнечных батарей недостаточна. Этот метод является наиболее выгодным, однако его применение актуально только при наличии прямого и стабильного подключения к энергосистеме. Второй подход предусматривает интеграцию аккумуляторных батарей в систему энергоснабжения. В этом случае рассматривались свинцово-кислотные и литий-ионные аккумуляторы. Свинцово-кислотные аккумуляторы являются более дешевыми, но их срок службы значительно ниже из-за ограниченного количества циклов зарядки-разрядки. Они рекомендуются для использования в отдаленных районах с нестабильной энергосистемой, особенно в случае аварийных ситуаций. Третий подход предусматривает использование литий-ионных аккумуляторов, которые являются более дорогими, но обладают высокими характеристиками. Они способны работать на протяжении множества циклов зарядки-разрядки, достаточных на 10-20 лет. Наиболее актуальным применением литий-ионных аккумуляторов является обеспечение полной автономии сети в случаях, когда нет доступа к городской энергосети. Сроки окупаемости в данном случае превышают 80 лет, что делает их невыгодными с экономической точки зрения. Однако стоит отметить, что эти результаты основаны на низких тарифах на электроэнергию в Казахстане. В странах Европы, Японии и США, где тарифы на электроэнергию значительно выше, сроки окупаемости будут существенно сокращены.

Таким образом, для обеспечения высококачественной электроэнергии и балансировки графиков нагрузки в энергосистеме рекомендуется интеграция литий-ионных аккумуляторов. Они обладают стабильностью, длительным сроком службы и не приводят к потере качества энергии. Это особенно актуально в свете стремления к увеличению доли возобновляемых источников энергии и отказа от ископаемых ресурсов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кандидат технических наук, доцент Е.М. КАРПЕНКО, ЮАНЬ ХУНХАО (Белорусский государственный университет, Минск) «Влияние альтернативной энергетики на структуру мирового энергопотребления». Журнал «Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D. Экономические и юридические науки»

2 Международная агентство по возобновляемой энергии (IRENA) - организация, занимающаяся исследованиями и статистикой в области возобновляемой энергетики. Их веб-сайт: https://www.irena.org/

3 Межправительственная панель по изменению климата (МПИК, IPCC) - организация, проводящая исследования и предоставляющая научную оценку изменения климата и возможностей использования возобновляемых источников энергии. Их веб-сайт: https://www.ipcc.ch/

4 Международное энергетическое агентство (IEA) - организация, специализирующаяся на анализе энергетических рынков и технологий. Их веб-сайт: https://www.iea.org/

5 Пузиновский В.Д.Научный руководитель – к.т.н., доцент Булойчик Е.В. «Smart Grids – Умные Сети Электроснабжения»

6 Любовь ШИЛОВА Доцент кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве, к. т. н., доцент, руководитель группы НИИ Стратегического планирования НИУ МГСУ. Алексей АДАМЦЕВИЧ Заместитель директора НИИ Строительных материалов и технологий НИУ МГСУ к. т. н. e-mail: AdamtsevichAO. «Интеграция цифровых технологий как ключевой фактор развития российской энергетики» Журнал «Энергетическая политика»

7 Кузнецов Н. П.Институт возобновляемой энергетики Национальной академии наук Украины, Киев, Украина Национальный технический университет «КПИ имени И.Сикорского», Киев, Украина. Лысенко О. В.Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного,Мелитополь, Украина «Определение оптимального алгоритма работы гибридной энергосистемы с регулирующим генератором» Журнал «Проблемы региональной энергетики»

8 Официальные статистические данные и отчеты национальных энергетических агентств и организаций, таких как министерства энергетики, национальные статистические службы и другие Их веб-сайт: https://stat.gov.kz/ru

9 Н.Н. Нормаматов, А.Э. Шаназаров, Н.А. Айтбаев, М.Т. Рахмонов (Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан) «Влияние возобновляемых источников энергии на энергосистему»

10 Каталог https://svc.kz

11 Каталогhttps://titanat.ru/shop/akkumulyatory/akb-lifepo4/akkumulyator-litievyj-12v-105ah-lifepo4-alius/

12 Зеленая энергия в Ваш дом/бизнес от компании GreenDem. Их веб-сайт:: https://greda.kz/

13 Ю.П. Гусев, П.В. Субботин Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия «Разработка усовершенствованной методики выбора параметров и мест размещения систем накопления электроэнергии в распределительных электрических сетях» Журнал «Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика»

14 В. О. Чередов, А. М. Каримов, А. Ж. Акылбекова ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина». Алматы. Казахстан «Оценка потенциала солнечного излучения в пределах территории республики Казахстан для выработки электроэнергии»

15 Компания ТОО «АлматыЭнергоСбыт». Их веб-сайт: https://esalmaty.kz/ru

16 СТ КазНИТУ – 09 – 2023. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала. Алматы : КазНИТУ, 2023.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева

ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ
на дипломную работу

Актюренов Даурен Маратович
6В07101 - Энергетика

Тема: **Оценка способов снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы**

Актюренов Д.М. начал выполнение дипломной работы самостоятельно и вовремя, продемонстрировав высокий уровень ответственности и самоорганизации. В ходе выполнения работы он проявил глубокое понимание темы и сумел разработать исчерпывающий обзор и оценку различных методов снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы.

В дипломной работе представлены обоснованные и качественно исследованные аргументы в пользу применения различных подходов, включая использование энергоскладов и накопительных устройств. Особое внимание было уделено вопросам энергоэффективности и ее роли в сокращении зависимости устойчивости энергосистемы от возобновляемых источников энергии.

Актюренов Д.М. продемонстрировал высокий уровень профессиональной подготовки и активно использовал разнообразные источники информации для обоснования своих выводов. Он умело анализировал представленные данные, приводил примеры иллюстрирующие рассмотренные методы и предлагал решения для снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы.

Дипломная работа выполнена в полном объеме и содержит исчерпывающие исследовательские материалы на 47 страницах машинописного текста. Актюренов Д.М. проявил умение работать самостоятельно и систематически, охватив все необходимые разделы и аспекты темы и представив качественные исследовательские результаты.

Таким образом, дипломная работа Актюренова Д.М. заслуживает оценки "отлично" (95%, А), а ее автор присуждения академической степени "бакалавр" по образовательной программе "Энергетика".

Научный руководитель
Ассоц. профессор, PhD
(должность, уч. степень, звание)
_____ **К.Б. Шакенов**
(подпись)
«12» 06 2023 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на **дипломнуюработу**

Актюренова Даурена Маратовича

6В07101- Энергетика

На тему:**Оценка способов снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы**

Выполнено:
а) графическая часть на 11слайдах
б) пояснительная записка на 47 страницах

Данная дипломная работа оценивает влияние возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы и предлагает способы его снижения. Работа исследует актуальную проблему интеграции возобновляемых источников энергии в существующую систему, анализирует их влияние и оценивает различные методы для сокращения этого влияния. Результаты исследования позволяют выделить наиболее эффективные подходы, способствуя развитию устойчивых энергосистем с учетом роста использования возобновляемых источников энергии. Анализ работы представляет практическую и научную ценность для специалистов в области энергетики и руководителей энергосистем.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Как замечание можно отметить, что при расчете не были учтены углы падения солнечных лучей на поверхность солнечной панели. Учет данного аспекта мог бы обеспечить более точные данные о генерации электроэнергии и сроке окупаемости.

В целом, дипломная работа соответствует требованиям и полностью раскрывает выбранную тему.

Оценка работы

Дипломная работа заслуживает оценки «отлично» (95%), а ее автор присвоения академической степени «бакалавр» по ОП 6В07101 – «Энергетика».

Рецензент
АО «Академия логистики и транспорта»,
канд. тех. наук, зав. каф. «Энергетика»

Егзекова Анара Тлюлесовна
(подпись)

«25» мая 2023 г.

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Актюренов Даурен Маратович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Оценка способов снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы

Научный руководитель: Калижан Шакенов

Коэффициент Подобия 1: 7.4

Коэффициент Подобия 2: 1.1

Микропробелы: 39

Знаки из здругих алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☑ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата
08.06.2023

К.Б. Шакенов

проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Актюренов Даурен Маратович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Оценка способов снижения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистемы

Научный руководитель: Калижан Шакенов

Коэффициент Подобия 1: 7.4

Коэффициент Подобия 2: 1.1

Микропробелы: 39

Знаки из здругих алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☑ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата 12.06.2023

Заведующий кафедрой Энергетики

Сарсембаев Е.А.