

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТА

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

Кафедра автоматизации и управления

Ордабаев Даурен Досмухасанович

Автоматизация ветроэнергетической установки в системе автономного
электрообеспечения

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Специальность 5В070200 – Автоматизация и управление


Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

Кафедра автоматизации и управления

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой АиУ
Кандидат физико -
математических наук,
Ассоциированный профессор
 Алдияров Н.У.
« » мая 2021 г.

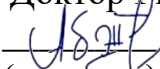
ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: «Автоматизация ветроэнергетической установки в системе автономного электроснабжения»

По специальности: 5В070200 - Автоматизация и управление

Выполнил

Ордабаев Д.Д.

Научный руководитель
Доктор PhD, Сениор - лектор

(подпись) Абжапаров К.А.
«20» мая 2021 г.

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

Кафедра автоматизация и управление

5B070200 - Автоматизации и управления

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой АиУ

Кандидат физико -
математических наук,

Ассоциированный профессор

 Алдияров Н.У.

«___» мая 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Ордабаев Даурен Досмухасанович

Тема: «Автоматизация ветроэнергетической установки в системе автономного электроснабжения».

Утвержден приказом ректора Университета № 2131-б от «24» ноября 2021 г.

Срок сдачи законченной работы: "21" мая 2021 г.

Исходные данные дипломного проекта: математическая модель системы управления ветроэнергетической установки и функциональная схема.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов или краткое содержание дипломного проекта: а) основная информация о ветроэнергетических станциях; б) анализ системы управления ветроэнергетической установки; в) синтез оптимального регулятора.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): функциональная и структурная схемы автоматического управления ветроэнергетической установки.

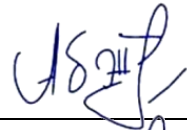
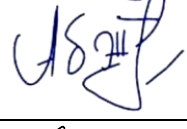

Рекомендуемая основная литература: техническая литература по автоматизации технологических процессов и математическому моделированию системы, решению задач анализа системы и синтеза регулятора.

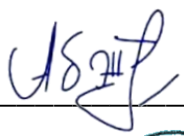
ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Технологический раздел	28 марта 2021 г.	Выполнено
Специальный раздел	26 апреля 2021 г.	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Научный руководитель, консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	Доктор PhD, Сениор-лектор Абжапаров К.А.	05.03.2021	
Специальный раздел	Доктор PhD, Сениор-лектор Абжапаров К.А.	30.04.2021	
Нормоконтролер	канд.техн.наук, ассистент профессор Сарсенбаев Н.С.	20.05.2021	

Научный руководитель _____  Абжапаров К.А.

Задание принял к исполнению обучающийся _____  Ордабаев Д. Д.

Дата

"26" января 2021 г.

АНДАТПА

Қарастырылып отырған тақырыптың өзектілігі мен перспективалары даму бағыты екі негізгі факторға байланысты: қоршаған орта жағдайы және энергияның жаңа түрлерін іздестіру қажеттілігі. Ғалымдардың пікірі бойынша ғылыми-техникалық прогрестің қазіргі даму қарқыны нәтижесінде дәстүрлі отын-энергетикалық ресурстары (көмір, мұнай, газ және т.б.) шамамен 100-150 жылда аяқталады.

Осыған байланысты, реттегіші бар жел электр станциясының динамикалық басқару жүйесін қолдану тиімді. Талдау осы дипломдық жобада қарастырылған. Алынған мәліметтер негізінде жаңартылатын энергия көздерінің энергия тиімділігінің ұзақ мерзімді бағытын арттыру және өндірілетін электр энергиясының құнын төмендету мақсатында оңтайлы реттеуші синтезделеді.

Сондықтан дипломдық жұмыста қарастырылатын бағыт экологиялық және экономикалық тұрғыдан алғанда бұл өте өзекті мәселе болып табылады.

АННОТАЦИЯ

Известно, что существует тенденция истощения традиционного ископаемого топлива, а его сжигание усиливает действие парниковых газов на планете. Актуальность и перспективы рассматриваемой темы зависят от двух основных факторов: состояния окружающей среды и необходимости поиска новых форм энергии. По мнению ученых, в результате нынешних темпов научно-технического прогресса традиционные топливно-энергетические ресурсы (уголь, нефть, газ и т.д.) будут истощены примерно через 100-150 лет.

В связи с этим выгодно использование динамической системы управления ветроэнергетической установки с регулятором. Анализ, которой рассматривается в данном дипломном проекте. И на основе полученных данных синтезируется оптимальный регулятор с целью увеличения долгосрочного направления энергоэффективности возобновляемых источников энергии и снижения стоимости вырабатываемой электроэнергии.

Поэтому направление, рассмотренное в данной работе, очень актуально с экологической и экономической точек зрения.

ANNOTATION

It is known that there is a tendency to depletion of traditional fossil fuels, and its burning enhances the effect of greenhouse gases on the planet. The relevance and prospects of this topic depend on two main factors: the state of the environment and the need to search for new forms of energy. According to scientists, as a result of the current pace of scientific and technological progress, traditional fuel and energy resources (coal, oil, gas, etc.) will be depleted in about 100-150 years.

In this regard, it is beneficial to use a dynamic control system of a wind power plant with a regulator. The analysis of which is considered in this thesis project. And on the basis of the data obtained, an optimal regulator is synthesized in order to increase the long-term direction of energy efficiency of renewable energy sources and reduce the cost of generated electricity.

Therefore, the direction considered in this diploma is very relevant from an environmental and economic point of view.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	9
1	Технологическая часть	11
1.1	Краткий анализ состояния и перспектив эффективного использования энергии и возобновляемых ресурсов в Республике Казахстан	11
1.2	Темпы развития энергетической отрасли Казахстана	11
1.3	Ветроэнергетическая отрасль Казахстана в настоящее время	14
1.4	Генераторы ветроэнергетической установки	17
1.5	Современные методы генерации электроэнергии от ветровой энергии	18
1.6	Виды ветрогенератора	18
1.7	Элементы ветрогенератора	20
2	Практическая часть	26
2.1	Проектирование и анализ системы	26
2.2	Замкнутая система	27
2.3	Разомкнутая система	28
2.4	Исследование замкнутой динамической системы на устойчивость по первому методу Ляпунова	29
2.5	Прямые оценки качества замкнутой динамической системы	29
2.6	Синтез оптимального регулятора методом Циглера-Николса №1	31
2.7	Прямые оценки качества системы с использованием PI – регулятора	34
2.8	Сравнение прямых оценок качества с PI – регулятором и без регулятора	35
	Заключение	38
	Список использованной литературы	39

ВВЕДЕНИЕ

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) - энергоресурсы постоянно действующих природных процессов на планете, а также энергоресурсы продуктов жизнедеятельности биоцентров растительного и животного происхождения. Характерными особенностями ВИЭ являются цикличность их обновления, позволяющая без ограничений использовать эти ресурсы. Как правило, к возобновляемым источникам энергии относят энергию света, потоки воды, ветер, биомассу, тепловую энергию земной коры и верхнего слоя почвы. Классификация видов ВИЭ:

- механическая энергия (энергия ветра и поток воды);
- тепло и лучистая энергия (энергия солнечного излучения и теплота земной коры);
- химическая энергия (энергия, выделяемая из биомассы).

Потенциальные возможности ВИЭ в принципе не ограничены, но несовершенство техники и технологии, отсутствие необходимых конструкционных и других материалов пока не позволяют широко вовлекать ВИЭ в энергетический баланс. Однако в последние годы в мире особенно заметен научно-технический прогресс в установке установок по использованию ВИЭ и, в первую очередь: фотоэлектрические изменения энергии, строительство ветроэнергетических агрегатов и биомасс.

Энергетический кризис 1973-1974 гг. в капиталистических странах показал, что трудно наращивать энергооборудование производства, основываясь только на традиционных источниках энергии (нефть, уголь, газ). Необходимо не только изменить структуру их создания, но и широко внедрить альтернативные источники энергии. В отличие от ископаемого топлива, нетрадиционные формы энергии не ограничены геологическими накопленными запасами. Это означает, что их использование и использование не приведет к истощению запасов.

Структура мирового энергохозяйства такова, что четыре из каждых пяти произведенных киловатта в зависимости от сегодняшнего дня получают в основном способом, используемым первобытнообщинным человеком для отопления, то есть при сжигании топлива или при использовании в нем химической энергии, при ее преобразовании в электрическую энергию на тепловых электростанциях. Рост требований к охране окружающей среды потребовал внедрения новых технологий в энергетику.

Основным фактором при оценке целесообразности использования возобновляемых источников энергии является стоимость производимой энергии по сравнению с стоимостью энергии, получаемой при использовании возобновляемых источников энергии. Особое значение будут иметь нетрадиционные источники энергии для удовлетворения местных потребителей энергией.

Растет мировой спрос на возобновляемые источники энергии. Если Вацлав

Смил «Energy Transitions: Global and National Perspectives » (2017). Если посмотреть статистику из книги "& BP Statistical Review of World Energy", то в 2000 году от гидроэлектростанций поступило 2654 тераватт энергии за час, ветроэнергетика производила 31.42 тераватт энергии в час и 1.13 тераватт энергии в час. За 17 лет энергия, вырабатываемая гидроэлектростанциями, выросла на 53%, то есть в 2017 году было произведено 4065 тераватт энергии в час. Показатели энергии ветра увеличились в 35 раз, если в 2000 году было 31.42 тераватт-час энергии, то в 2017 году ветроэнергетика выработала 1127 тераватт-час энергии. А из энергии Кун в 2017 году было получено 453.5 тераватт-час энергии. Это в 400 раз больше, чем в 2000 году. Ученые прогнозируют, что такое стремительное развитие будет продолжаться.

По расчетам Международного энергетического агентства (International Energy Agency), в 2018 году было получено 10.9% возобновляемых источников энергии, произведенной по всему миру. По прогнозам этого агентства, этот показатель достигнет 22.8% в 2030 году. Привлекательность возобновляемой энергетики обусловлена неисчерпаемостью ее ресурсов, независимостью от ценовой конъюнктуры на мировых рынках цен на энергоносители, а также важной, экологической чистотой. Основные преимущества возобновляемых источников энергии-неиссякаемая и экологичность-обусловили более оптимистичные прогнозы относительно динамичного развития энергетики за рубежом и ее перспектив на ближайшее десятилетие. [7]

Вышеуказанные преимущества показывают, почему внедрение возобновляемых источников энергии в настоящее время является одним из главных вопросов для Казахстана. Вопрос внедрения возобновляемых источников энергии необходимо решать быстро, так как именно через развитие этой отрасли экономика Казахстана сделает шаг вперед. Широкое внедрение возобновляемых источников энергии решает стратегические задачи общества: энергообеспечение, экология и получение безопасной энергии. Современное общество к концу XX века столкнулось с энергетическими проблемами, приводящими к кризисным ситуациям. Поэтому человечество ищет новые источники энергии, которые будут полезны во всех отношениях: простота производства, дешевая транспортировка, экологическая чистота, природное наполнение. Уголь, нефть и газ выходят на второй план: их применение происходит там, где невозможно использовать что-то другое. Все энергоисточники завершаются в обязательном порядке, особенно при неограниченном росте их потребления. А наша планета, мир и космическое пространство лишены энергии. Необходимо использовать и получать энергию, не нарушая природные процессы. А для этого нужны новые инженерные решения.

1 Теоретическая часть

1.1 Краткий анализ состояния и перспектив эффективного использования энергии и возобновляемых ресурсов в Республике Казахстан

Развитие энергетики, основанной на возобновляемых ресурсах (гидроэнергетика, ветроэнергетика, гелиоэнергетика, геотермальная энергетика, использование биотоплива), представляется наиболее перспективным в условиях Казахстана, характеризующим высокую концентрацию энергоносителей при низкой плотности населения, наличие крупного аграрного сектора, высокий процент обеспеченности населения в нем работой, благоприятные климатические и погодные условия для развития ветро-и гелиоэнергетики.

Рост потребления электрической и другой энергии как внутри Казахстана, так и у ближайших соседей приводит к необходимости ввода в строй новых мощностей и росту цен. Инвестиции в строительство новых ТЭС, работающих на угле и углеводородах, означают обострение экологических проблем и потерь в электрических сетях. В данном случае концепция децентрализации энергоснабжения на основе использования местных возобновляемых источников энергии могла бы стать экономической альтернативой централизованному энергоснабжению, особенно в отдаленных районах, испытывающих дефицит электроэнергии.

1.2 Темпы развития энергетической отрасли Казахстана

Развитие нетрадиционной эффективной энергетики позволит регионам страны предоставлять тепло и освещение за счет использования местных возобновляемых энергетических ресурсов, обеспечивать экологическую безопасность систем энергоснабжения, сохранять не возобновляемое топливо - энергетические ресурсы для будущих поколений. Имеющийся обширный зарубежный опыт их практического использования, успешному развитию отрасли способствует последовательная государственная политика, направленная на стимулирование развития рынка оборудования и услуг, а также широкое информирование населения о преимуществах этих технологий.

В настоящее время поиск и активное использование новых альтернативных источников энергии является одним из жизненно важных, стратегически необходимых, экономически перспективных вопросов во многих развитых странах мира. Альтернативная энергетика (ветер, ветер), мировая энергетика будет расти ежегодно. этот показатель к 2030 году составит 30%, к 2050 году – 50%. [1]

В преддверии вступления Казахстана в Евразийскую торговую организацию экономика республики характеризуется направленностью на

добычу сырья и высоким потреблением топливно-энергетических ресурсов. Наряду со значительными запасами ископаемого органического топлива, в Казахстане имеются значительные запасы возобновляемых ресурсов и источников энергии (нефтяная, ветровая, гидравлическая, геотермальная, энергия биомассы, водород и др. альтернативная энергетика). Технический потенциал возобновляемых ресурсов и источников энергии только по ветру составляет около 1 820 млрд. долл. в год. кВт * ч, что в 25 раз превышает объем потребления всех топливно-энергетических ресурсов Республики Казахстан, а экономический потенциал составляет 110 млрд. долл. кВт * ч, что в 1,5 раза превышает годовое внутреннее потребление энергоресурсов в Республике Казахстан. В этой связи вопросы эффективного использования возобновляемых ресурсов рассматриваются как задачи на будущее, в том числе по поручению Президента Республики Казахстан. О необходимости разработки подходов к решению данной проблемы. Приведем лишь несколько цифр, характеризующих интенсивность инновационных процессов в мире в отношении альтернативных источников энергии: в США на подобные разработки в 2005 году из федерального бюджета было выделено 2 275 млн., в Японии - 30 млрд. ежегодно йена (около 2 273 млн.), а европейский бюджет исследований ВИЭ составляет 2 млрд. долл. превышает. Таким образом, можно отметить, что в настоящее время во многих развитых странах мира поиск и активное использование новых альтернативных источников энергии воспринимается как жизненно важные, стратегически необходимые ресурсы, обеспечивающие перспективное развитие экономики этих стран. В соответствии с концепцией перехода Республики Казахстан к устойчивому развитию на 2007-2024 годы, утвержденной Указом Президента Республики Казахстан, для обеспечения эффективного использования возобновляемых ресурсов и источников энергии как фактора устойчивого развития экономики Республики Казахстан постановлением Правительства Республики Казахстан от 14 ноября 2006 года № 216 разработана стратегия "эффективного использования энергоресурсов Республики Казахстан в целях устойчивого развития до 2024 года. [2]

В ходе реализации Стратегии предполагается достижение следующих результатов:

- Повышение уровня использования альтернативных источников энергии в Республике Казахстан до 0,05% к 2012 году, до 5% к 2018 году, до 10% к 2024 году .

- с альтернативными источниками энергии к 2009 г. - 0,065 млн. долл. тонн условного топлива, к 2012 году - 0,165 млн. тонн условного топлива, к 2018 году - 0,325 млн. тонн условного топлива, к 2024 году - 0,688 млн. тонн условного топлива и к 2030 году - 1,139 млн. обеспечение замены тонн условного топлива.;

- Повышение показателя эффективности использования ресурсов (ЭИР) до 33% к 2009 году, до 37% к 2012 году, до 43% к 2018 году, до 53% к 2024 году;

- внедрение пилотных проектов по прорывным энергетическим

технологиям (водород 5 энергетика и другие));

- сокращение выбросов парниковых газов в Республике Казахстан. [4]

Развитие энергетики, основанной на возобновляемых ресурсах (гидроэнергетика, ветроэнергетика, гелиоэнергетика, геотермальная энергетика, использование биотоплива), представляется наиболее перспективным в условиях Казахстана, характеризующим высокую концентрацию энергоносителей при низкой плотности населения, наличие крупного аграрного сектора, высокий процент обеспеченности населения в нем работой, благоприятные климатические и погодные условия для развития ветроэнергетики и гелиоэнергетики. Рост потребления электрической и другой энергии как внутри Казахстана, так и у ближайших соседей приводит к необходимости ввода в строй новых мощностей и росту цен. Новые ТЭС, работающие на угле и углеводородах, представляют собой необходимость инвестиций в строительство, обострение экологических проблем и потерь в электрических сетях. В данном случае концепция децентрализации энергоснабжения на основе использования местных возобновляемых источников энергии могла бы стать экономической альтернативой централизованному энергоснабжению, особенно в отдаленных районах, испытывающих дефицит электроэнергии. Эта проблема всегда является определяющей для развития того или иного технологического и технического направления в их эксплуатации.

Переход к «зеленой» энергетике и внедрение «зеленых» технологий – растущий вектор глобальной экономики. Казахстан, несмотря на наличие в наших недрах огромных природных богатств, включая углеводороды, намерен активно развивать возобновляемые источники энергии. Такие задачи поставлены в нашей Стратегии "Казахстан-2050", - отметил Первый Президент Казахстана Нурсултан Назарбаев.

Такая модернизация прописана в концепции по переходу к "зеленой" экономике, принятой в мае 2013 года. В законодательстве "Зеленая" экономика важна для обеспечения устойчивого развития государства.

Согласно отчету, к 2050 году изменения в рамках "зеленой" экономики позволят дополнительно увеличить ВВП на 3%, создать более 500 тысяч новых рабочих мест, а также сформировать новые отрасли промышленности и сферы услуг и обеспечить высокие стандарты качества жизни для казахстанцев. При этом объем необходимых инвестиций для такого перехода должен был составлять около 1% ВВП ежегодно, тогда равнялся 3-4 млрд долларов в год.

Согласно концепции, доля в общем производстве альтернативной и возобновляемой электроэнергии в Казахстане должна достигнуть 3% к 2020 году, 30% к 2030 году и 50% к 2050 году. [10]

Государство помогает развитию ВИЭ через тарифные механизмы. Председатель совета директоров Казахстанской энергетической ассоциации Нурлан Капенев напоминает, что первый закон в этой сфере был принят в июле 2009 года.

«С этого момента в Казахстане начинается история государственной

поддержки ВИЭ. Эта поддержка не подразумевает выделение средств из бюджета, это механизмы поддержки», - говорит Нурлан Капенев.

По его словам, реальная поддержка началась в феврале 2014 года. Контракты с поставщиками "зеленой" энергии заключены на 15 лет,

Создан расчетно-финансовый центр при Системном операторе КЕГОС. Он покупает и распределяет энергию по сетям.

В Минэнерго считают, что введенный механизм фиксированных тарифов позволил быстрее запустить казахстанский рынок ВИЭ. Если в 2014 году было 35 объектов с установленной мощностью 177 мегаватт, то по итогам 2018 года - 67 объектов с общей мощностью 531 мегаватт. Из них крупные гидроэлектростанции – 200 мегаватт, ветер – 209 и ветер-121 мегаватт.

В 2018 году Минэнерго вступило в новый этап поддержки.

"Это классическая система поддержки ВИЭ. Правительство всегда сначала давало фиксированные тарифы, а потом, когда рынок ВИЭ появился, переходило на более открытые методы – аукционные торги. Это позволило значительно снизить тарифы", - сказал Нурлан Капенев "Informburo.kz".

Последние аукционы состоялись в конце 2018 года. По энергетике, например, тарифы победителей колеблются от 18 до 22,9 тенге за киловатт-час, по ветру – от 20,9 тенге и выше. Но это даже выше, чем цены на угольные электростанции. Их тариф на оптовом рынке, по словам Нурлана Капенева, колеблется от 6 до 9 тенге.

При этом в Казахстане продолжается создание новых проектов ВИЭ. С января по июнь 2019 года введено в эксплуатацию семь объектов. Благодаря этому мощность объектов ВИЭ достигла 678,6 мегаватт, а к концу года она может достигнуть 915 мегаватт. [5]

"Аукционный механизм позволил, с одной стороны, сделать прозрачным и прозрачным процесс отбора проектов и инвесторов, а с другой стороны, отдать приоритет более эффективным технологиям и проектам, которые позволят снизить влияние ввода мощностей ВИЭ на тарифы конечных потребителей", – сказал министр энергетики Канат Бозумбаев на правительственном часе в Мажилисе Парламента.

В Минэнерго уверены, что единый покупатель – расчетно-финансовый центр – гарантированный закуп электроэнергии по 15-летнему контракту по тарифу аукциона, а также ежегодная индексация тарифов позволят достичь целевых индикаторов по развитию ВИЭ.

Из конкретных проектов в этой сфере можно отметить, например, электростанцию типа "Бурное Солар" в Жамбылской области. В 2015 году была запущена ГЭС на 50 мегаватт, а в 2018 году ее расширили до 100 мегаватт мощности. [12]

1.3 Ветроэнергетическая отрасль Казахстана в настоящее время

Специальные исследования, проводимые в рамках программы развития РК

и совместного проекта Министерства энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, показали наличие условий для строительства ветроэнергетических систем (ТЭС) с хорошим ветровым климатом в ряде районов, расположенных в различных регионах Казахстана. С использованием метеоданных разработан атлас ветра Казахстана, который представляет собой карту, где скорость ветра распределена по всей территории. Примерная оценка ветроэнергетических ресурсов Казахстана на атлас основных ветров 50 000 кв.м на высоте 80 метров на площади более км среднегодовая скорость ветра более 7 м / с. На основе проведенных исследований подготовлены инвестиционные предложения по строительству ветровых электростанций в Казахстане. Суммарная мощность ветровых электростанций на исследуемых площадях составляет 3 млрд. долл. в год. кВтч может генерировать около 1000 МВт электроэнергии. Для освоения ветроэнергетического потенциала Министерством энергетики и минеральных ресурсов РК при поддержке Программы развития РК разработана программа развития ветроэнергетики в Республике Казахстан до 2015 года. 1 млрд. долл. к 2015 году. до кВт•ч и к 2030 году 5 млрд. будет вырабатываться электроэнергия до кВт * ч. [3]

Казахстан богат ресурсами ветра. Использование ветроэнергетики предопределяет очень хорошую перспективу, а ряд районов будет иметь скорость ветра 6 м/с и более. По некоторым данным, теоретический ветрогенератор Казахстана составил около 1820 млрд. долл. кВтч. час в год. Учитывая плотность мощности ВЭС на уровне 10 МВт/км² и наличие значительных свободных пространств, можно прогнозировать возможность установки в Казахстане мощности ВЭС в несколько тысяч МВт. Среднегодовая скорость ветра в районе Джунгарских ворот на высоте 50 метров составляет 9,7 м / с, а плотность ветрового потока-около 1050 Вт / м². Это позволяет производить 4400 кВт в год. здесь особое место занимает ветроэнергетическое назначение. Наличие свободного пространства составляет около 1 млрд. долл. позволяет установить мощность ВЭС в несколько МВт с годовой выработкой кВт.ч требуется электричество. В настоящее время в данном районе ведется строительство пилотной ТЭС мощностью 5 МВт. При успешном опыте эксплуатационная мощность ТЭС может быть увеличена до 50 МВт.

Ветроэнергетика Казахстана продолжает динамично развиваться. Наша страна, следуя мировому тренду, проводит плановую работу по увеличению количества электростанций ВИЭ. По данным Министерства энергетики РК, эксплуатация ветровых установок в стране началась в 2010 году. Первая ветровая электростанция мощностью 0,05 МВт построена в столичном регионе. В этом году имеется 15 объектов ТЭС суммарной мощностью чуть менее 230 МВт, до конца года планируется ввод еще одного объекта на 57 МВт в Мангистауской и Акмолинской областях. Таким образом, к концу текущего года на ветер будет приходиться 83 станции ВИЭ общей мощностью 968 МВт, около 18 станций 285 МВт, а это более 20% всех энергопроизводящих объектов ВИЭ.

В настоящее время успешная компания в ветроэнергетике в Казахстане-
TOO VISTA INTERNATIONAL.

TOO VISTA INTERNATIONAL компания в Жамбылской области в 2014 году реализовала свой первый проект, в первую очередь ввела в эксплуатацию Кордайскую ветроэлектростанцию мощностью 4 МВт (ВЭС-21). Кордайская ветровая электростанция-на сегодняшний день одна из первых казахстанских электростанций такого типа. Кордайская ветровая электростанция-сегодня одна из таких типов казахстанских электростанций.

Кордайская ветровая электростанция - один из первых проектов в области развития альтернативных источников энергии в Казахстане, который прошел все этапы подготовки технико-экономического обоснования (ТЭО) по согласованию с Министерством индустрии и новых технологий РК (МИИНТ) в полном соответствии с действующим законодательством Республики Казахстан о поддержке возобновляемых источников энергии.

Министерство утвердило ТЭО и определило размер отпускного тарифа и срок его действия. Кордайская ветро-электростанция – это один из первых промышленных объектов в Казахстане, вырабатывающий электроэнергию с использованием ветрового стекла.

Ветряная электростанция является динамично развивающимся предприятием, осуществляющим деятельность в области производства электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии.

Существующая ТЭС будет способствовать обеспечению прогнозной потребности в электроэнергии с учетом роста численности населения и качества его жизни, развития динамичной и общественной среды, социальной и культурной сфер, позволит создать дополнительные рабочие места, способствующие обеспечению занятости населения как в процессе реализации строительства, так и в процессе эксплуатации ТЭС.

В 2012 году компания TOO Vista International решила построить в нашей республике ветроэлектростанцию. Эта идея приводит к воспроизводству природных ресурсов. Специалисты компании тщательно изучили и проработали этот вопрос: ездили в Германию, Голландию, Китай, набирались опыта, рассчитали логистику и мечтали воплотить эту идею в Казахстане.

Vista International пригласила опытных специалистов, которые исследовали ветровые потоки на территории Казахстана. Из них в Балхашской, Жезказганской, Карагандинской и Алматинской областях наблюдается хороший сток на перевале Кордай.

В весенне-летний период вода для орошения сельских территорий поступает из Кыргызстана в очень ограниченном количестве. В связи с этим, чтобы избежать сложившейся ситуации и обеспечить Жамбылскую область, которая часто страдала от нехватки электроэнергии, компания приняла решение выбрать Кордай.

Компания доказала, что в Казахстане можно создавать экологически безопасные и эффективные проекты по "зеленой энергетике".

Конечно, сложностей было много, от климатического до финансового, но

компаниям удалось воплотить идею в жизнь и воплотить ее в жизнь, доказав важность и полезность этого проекта. За пять лет с момента появления идеи и до реализации первого проекта прошло очень много времени, хотя 21 турбина будет фактически запущена и в течение года при наличии финансирования. [8]

1.4 Генераторы ветроэнергетической установки

Ветрогенератор - устройство, предназначенное для преобразования кинетической энергии ветрового потока в механическую энергию вращения ротора с последующим преобразованием его в электрическую энергию.

Ветроэнергетика-отрасль энергетики, специализирующаяся на преобразовании кинетической энергии воздушных масс в электрическую, механическую, тепловую или любую другую энергию в атмосфере, удобную для использования в народном хозяйстве. Такую модификацию могут выполнять такие агрегаты, как ветрогенератор (для получения электроэнергии), ветряная мельница (для преобразования в механическую энергию), парусник (для использования на транспорте) и другие. [9]

Ветровую энергию относят к возобновляемым источникам энергии, так как она является следствием активности ветра. Ветроэнергетика является динамично развивающейся отраслью. На начало 2016 года общая установленная мощность всех ветрогенераторов составила 432 гигаватта и, таким образом, превысила суммарную установленную мощность атомной энергетики (но в среднем за год на практике мощность отработавших ветрогенераторов (Урум) в несколько раз ниже установленной мощности, а АЭС практически всегда работает в режиме установленной мощности). В 2014 году количество электроэнергии, выработанной всеми ветрогенераторами мира, составило 706 тераватт-часов (3% электроэнергии, выработанной человечеством). Некоторые страны особенно интенсивно развивают ветроэнергетику, в частности на 2015 год в Дании с помощью ветрогенераторов вырабатывается 42% всей электроэнергии; в 2014 году в Португалии — 27 %; Никарагуа — 21 %; Испании — 20 %; Ирландии — 19 %; Германии — 18,8%; в целом в ЕС — 7,5 %. В 2014 году 85 стран мира использовали ветроэнергетику на коммерческой основе. По итогам 2015 года в ветроэнергетике занято более 1 000 000 человек в мире (в том числе 500 000 в Китае и 138 000 в Германии). [11]

Крупные ветровые электростанции подключаются к общей сети, более крупные используются для снабжения электроэнергией районов. В отличие от ископаемого топлива, энергия ветра неисчерпаема, доступна повсеместно и экологична. Однако строительство ветроэлектростанций сопряжено с некоторыми трудностями технического и экономического характера, замедляющими распространение ветроэнергетики. В частности, нестабильность ветрового потока не вызывает проблем при малых пропорциях ветроэнергетики в общем производстве электроэнергии, однако при увеличении этой пропорции

также возрастают проблемы надежности производства электроэнергии. Для решения таких задач используется интеллектуальное управление распределением электроэнергии.

1.5 Современные методы генерации электроэнергии от ветровой энергии

Мощность ветрогенератора зависит от высоты лопастей и поверхности генератора. Например, турбины датской фирмы Vestas мощностью 3 МВт (V90) имеют общую высоту 115 метров, высоту 70 метров и диаметр лопастей 90 метров.

Воздушные потоки на поверхности земли/моря являются турбулентными — слои, расположенные ниже, находятся выше. Эффект наблюдается на высоту до 2 км, но на высоте более 100 метров он уменьшается. Высота расположения генератора выше ближайшего к этому месту этажа позволяет одновременно увеличивать диаметр лопастей и освободить площадки в других местах обслуживания. Современные генераторы (2010 год) вышли на этот рубеж, и их количество в мире стремительно растет. Ветрогенератор начинает вырабатывать ток при ветре 3 м/с и отключается при ветре 25 м/с. Достигается максимальная мощность. ветер 15 м/с. передаваемая мощность пропорциональна скорости ветра первой степени: с 5 м/с до 10 м/с, мощность увеличивается в восемь раз.

Наиболее распространенной в мире была конструкция ветрогенератора с лопастью и горизонтальной осью вращения, но кое-где все же встречается и двухлопастная. Наиболее эффективной конструкцией для участков с малой скоростью ветровых потоков являются ветрогенераторы с вертикальной осью вращения, то есть роторного или карусельного типа. В настоящее время производители переходят на производство таких установок, так как не все потребители могут жить на побережье, а скорость ветра обычно колеблется в диапазоне от 3 до 12 м / с. При таком ветре эффективность вертикальной установки намного выше. Вертикальные ветрогенераторы имеют еще несколько важных преимуществ: они бесшумны в эксплуатации и не требуют никакого обслуживания при сроке службы более 20 лет. Разработанные в последние годы тормозные системы гарантируют стабильную работу даже при периодических штормах до 60 м/с.

1.6 Виды ветрогенератора

В первую очередь ветрогенераторы делятся на две группы: вертикальные и горизонтальные. Эти группы различаются в зависимости от положения оси вращения крыльчатки. Горизонтальные конструкции похожи на пропеллер или вентилятор, а вертикальные на карусель.

Горизонтальный тип - ось ротора вращается параллельно поверхности Земли. Существует большая мощность преобразования энергии ветра в переменный и постоянный ток. Горизонтальные устройства обладают высокой эффективностью, так как гораздо более полно поглощают энергию потока. Все горизонтальные ветрогенераторы практически построены по одной конструктивной схеме, только в конструкции ротора имеются некоторые отличия. К недостаткам данной группы можно отнести наличие дополнительного шарнирного соединения, обеспечивающего вращение створки вокруг вертикальной оси, приспособленной к направлению ветра.

Кроме того, для горизонтальных перекрытий важно иметь высокую опору, обеспечивающую оптимальный режим воздействия ветрового потока. Специфика работы требует защиты от штормового ветра, который при падении потока разрушает Ротор от ветра, вследствие чего частота вращения снижается.

Разнородные модификации горизонтальных установок бывают однолопастные, двухлопастными и более. Поэтому коэффициент полезного действия намного выше, чем у ветрогенераторов вертикального типа.

Вертикальное положение - турбина расположена вертикально относительно плоскости Земли. Начинает работать с небольшим ветром. Вертикальные ветрогенераторы не эффективны из-за наличия эффекта, при котором ветровой поток останавливается на обратной стороне лопастей. Практически единственный недостаток вертикальных ветрогенераторов. Вертикальные конструкции не требуют ветроориентирования, не требуют установки на высокие мачты, доступны для ремонта, обслуживания или самостоятельного изготовления.

Вертикальные регуляторы ветра часто используются для энергетических нужд. Ветрогенераторы просты в обслуживании. Узлы, требующие основного внимания, расположены и доступны в нижней части установок.

Несмотря на то, что вертикальные осевые роторы осевых роторов ветрогенераторов представлены в КПК горизонтальным осевым способом, они все же имеют неоспоримые преимущества:

- Работа в любом климатическом поясе. Благодаря небольшой горизонтальной площадке они не боятся штормов.

- Собственный запуск не требует дополнительных вложений. Благодаря изогнутой форме лопастей пуск происходит при минимальных значениях ветра - 0,3 м / сек. До эффективных значений скорость воздушного потока генератора достигает 5 м / сек.

- Благодаря низкому уровню шума до 20 дБ, ветер может быть установлен в непосредственной близости от сети, что немаловажно при малом потреблении электроэнергии и потере тока в проводах.

- Не требует определенного направления ветра. С любой паутиной начинает работать воздушный поток.

- Простая конструкция снижает затраты на дальнейшее обслуживание.

- Не опасен для тех, кто воспринимает конструкцию как единое целое и не пытается пробиться сквозь лопасти.

Вертикальное расположение турбин на плоскости земли обеспечивает наличие разнообразных моделей, созданных профессиональными конструкторами и талантливыми любителями.

1.7 Элементы ветрогенератора

В основе функционирования ветрогенератора лежит трансформация кинетической энергии ветра в механическую энергию ротора, которая затем преобразуется в электрическую энергию.

Принцип работы очень прост: вращение лопастей, закрепленных на оси конструкции, приводит к вращательным движениям роторгенератора, благодаря которым вырабатывается электроэнергия.

Полученный постоянный переменный ток" останавливается"на контроллере, который преобразуется в постоянное напряжение, способное заряжать аккумуляторы. Оттуда питание поступает в инвертор, где переключается с индикатором 220/380 В на переменное напряжение, которое подается на выключатели.

Ротор ветрогенератора

Одним из основных элементов конструкции всего агрегата является ротор.

Вместе с ростом ветряных турбин в размерах выросли и их лопасти, лопасти которых в 1980 г. составляли около 8 м, а сейчас во многих наземных коммерческих системах лопасти достигают более чем до 40 м. Улучшенные конструкции лопастей позволили снизить прирост веса на более низком уровне, чем простое геометрическое масштабирование. Современные конструкции лопастей достаточно жестко поддаются оценке с использованием новых инструментов компьютерного анализа, поэтому избыточный вес может быть удален. Конструкторы также начинают работать с легким и прочным углеродным волокном в местах сильного напряжения для усиления лопастей и повышения прочности при одновременном снижении веса лопастей. Однако углеродное волокно должно использоваться разумно, поскольку его стоимость в 10 раз превышает стоимость стекловолокна.

Большинство турбин начинают работать при скорости ветра 5,4 м/с. Эта область называется областью cut in speed. При скорости ветра ниже 5,4 м/с лопасти турбины неподвижно разрушаются. В это время ветрогенератор несет убытки. Это связано с тем, что энергия, которая заставляет его работать в одном и том же положении. Максимальное значение КПД ветрогенератора достигает при скорости ветра 12,5 м/с -13,4 м/с. Эта область называется областью rated speed. А в случае, если скорость ветра превышает 13,4 м/с, скорость вращения ротора тормозится тормозами. Это связано с тем, что движение лопастей на такой скорости может привести к выходу из строя генератора и трансмиссии, а также ветрогенератора. А в случае превышения скорости ветра более 26,8 м/с Работа ветрогенератора прекращается.



Рисунок 1.1 - График зависимости мощности ветрогенератора от скорости ветра

Аэродинамические характеристики современной ветровой турбины значительно улучшились за последние 20 лет. Можно предположить, что роторная система занимает около 80% теоретически возможного потока энергии. Это стало возможным благодаря разработке специальных аэродинамических профилей для ветряных турбин. Фактически, в настоящее время для производителей турбин стало нормальным иметь специальные профильные конструкции для каждой отдельной конструкции турбины. Специальные аэродинамические профили стремятся оптимизировать аэродинамическую эффективность низкоскоростного ветра и ограничить аэродинамические нагрузки при сильном ветре. Новые профильные конструкции также стремятся уменьшить чувствительность лопастей к загрязнению из-за грязи и ошибок, накапливающихся на передней кромке, и могут значительно снизить эффективность. Хотя методы проектирования роторов значительно улучшены, все же имеются возможности совершенствования.

Управляющая система ветрогенератора

Современные контроллеры интегрируют сигналы от десятков датчиков для управления скоростью вращения ротора, наклоном лопастей, крутящим моментом генератора, а также напряжением и фазой питания.

Кроме того, Контроллер отвечает за принятие важных решений в области безопасности, таких как отключение турбины при выполнении экстремальных условий. В настоящее время большинство турбин работают с переменными скоростями, и система управления регулирует работу генератора для снижения частоты вращения ротора и переменных вращательных параметров приводной передачи для получения максимальной эффективности при колебаниях ветра путем непрерывного обновления частоты вращения ротора. Переменная скорость работы требует использования мощных генераторов, генерируемая

мощность соответствует частоте сети. Выходной патрубок также позволяет турбинам доставлять неисправности с помощью защиты, контроля напряжения и динамической поддержки реактивной мощности.

Приводной механизм ветрогенератора (редуктор, генератор и редуктор)

Ветрогенерация электроэнергии предъявляет особые требования к электрическим сетям. Большинство применений электроприводов не для использования крутящего момента для производства электроэнергии, а для производства крутящего момента он ориентирован на использование электричества. Приложения, вырабатывающие электроэнергию из крутящего момента, обычно работают на номинальной мощности. С другой стороны, ветряные турбины должны генерировать энергию на всех уровнях мощности и работать значительное время на низких уровнях мощности. В отличие от большинства электрических машин, ветрогенераторы должны работать с максимальной аэродинамической и электрической эффективностью в области низкой мощности/низкого ветра, чтобы выживать каждый киловатт-час от доступной энергии.

Электрические машины и силовая электроника неутешительны, так как в большинстве применений двигателей есть запас энергии, а в маломощной зоне КПД значения не имеет. Для ветровых систем генераторы не очень сложны, чтобы быть эффективными при ветре выше номинального уровня, когда генерирующая система пропускает энергию для поддержания мощности до номинального уровня. Таким образом, ветровые системы могут быть неэффективны при высокой мощности, в то время как они требуют максимальной эффективности при низкой мощности—прямо противоположной всем другим существующим приложениям к электричеству.

Преобразование вращательного момента в электрический достигалось путем увеличения скорости и с помощью коробки передач асинхронного генератора. Многие современные турбины мегаваттного масштаба используют ступенчатую коробку передач, отличающуюся от разнородных составляющих расположения планетарных передач и параллельных валов. Генераторы представляют собой короткозамкнутую индукцию или индукцию с намотанным Ротором, при этом некоторые новые машины используют конструкцию, в которой электрический выход переменной частоты Ротора дважды подает индукцию для переменной скорости, подаваемую в сборный узел через мощный преобразователь. Полный набор мощности и синхронные машины представляют интерес из-за их выхода из строя и других возможностей поддержки сети.

В связи с проблемами обслуживания редукторов в целом по парку и связанными с ними отказами в некоторых предыдущих конструкциях, стандартной практикой стало проведение широкомасштабных динамометрических испытаний новых конфигураций редукторов для доказательства их прочности и надежности перед внедрением в серийное производство. Высокая периодическая надежность современного поколения электроприводов мегаваттного масштаба не полностью подтверждена опытом

реальной эксплуатации данного периода. Существует широкий консенсус относительно того, что технология ветротурбинного привода будет значительно развиваться в ближайшие несколько лет.

Синхронные генераторы переменного тока

С самого начала разработки ветрогенераторов были достигнуты значительные усилия по эксплуатации однофазных синхронных машин. Синхронные ветрогенераторы переменного тока могут принимать от стационарных магнитов или электромагнитов такое или иное возбуждение и поэтому называются синхронными генераторами с постоянными магнитами и синхронными генераторами с электрическим возбуждением. Через трансформаторы и выходные преобразователи выводится обмотка статора выходной мощности, подключаемая к сети. Для синхронных генераторов с заданной скоростью вращения частота вращения ротора должна быть такой же, как и у синхронных генераторов. Иначе синхронность исчезнет.

Синхронные генераторы являются проверенной машинной технологией, так как их производительность для производства электроэнергии изучена и широко признана. Теоретическую характеристику реактивной мощности синхронных ветрогенераторов можно легко контролировать с помощью схемы возбуждения поля электрического возбуждения. Вместе с тем, при использовании синхронных генераторов с заданной скоростью в энергосистему будут передаваться случайные флуктуации скорости ветра и периодические колебания, вызванные эффектами затенения компонентов и естественными резонансами компонентов. Кроме того, синхронные ветрогенераторы, как правило, обладают низким демпфирующим эффектом, поэтому не позволяют переходным процессам трансмиссии быть электрически поглощенными. В результате они требуют дополнительного демпфирующего элемента (например, гибкой муфты в приводной передаче) или механизма коробки передач, установленного на пружинах и амортизаторах. Когда они интегрируются в энергосистему, синхронизация их частоты с частотой сети требует деликатных операций. Кроме того, они, как правило, более дорогие и более подвержены отказам, чем индукционные генераторы. В случае использования электромагнитов на синхронных машинах управление напряжением осуществляется на синхронной машине, а управление напряжением на стационарных магнитовых машинах достигается в цепи привода.

В последнее десятилетие в ветрогенераторах постепенно используются мощные магнитные генераторы из-за их высокой плотности и низкого веса. Эти машины часто называют стационарными магнитно-синхронными генераторами и рассматриваются в качестве селективных машин в небольших ветрогенераторах. Устройство генератора простое. Стержневые магниты устанавливаются на ротор, создающий замкнутое магнитное поле, а генерируемый электрический якорь (статор) извлекается с помощью коллектора, подвижных колец или щеток. Иногда подобные магниты могут быть объединены в цилиндрический Ротор из литого алюминия для снижения

потерь. Принцип работы генераторов на штатных магнитах кроме того, что генераторы на штатных магнитах могут работать асинхронно, принцип работы синхронных генераторов аналогичен. К преимуществам магнитных синхронных генераторов относится удаление коллектора, подвижных колец и щеток, поэтому станки долговечны, надежны и просты в эксплуатации. Использование стационарных магнитов устраняет обмотку возбуждения (и связанные с ней потери мощности), но управление полем не является невозможным, а мощность силовых магнитов может быть чрезмерно высокой для машин.

Поскольку скорость ветра переменная, синхронные генераторы с постоянным магнитом не могут генерировать электрическую энергию с постоянной частотой. В результате они должны быть подключены к электрической сети с помощью питания АС-DC-АС. То есть генерируемая переменная мощность (с фиксированной частотой и величиной) сначала преобразуется в постоянный ток, а затем преобразуется в переменную мощность (с фиксированной частотой и величиной). Также очень привлекательно использование прямых приводов магнитных машин. В этом случае они могут устранить проблемную коробку передач, которая вызывает многочисленные отказы ветряных турбин. На машинах должны быть заданные номера полюсов и физически больше, чем на разобранной зубчатой машине.

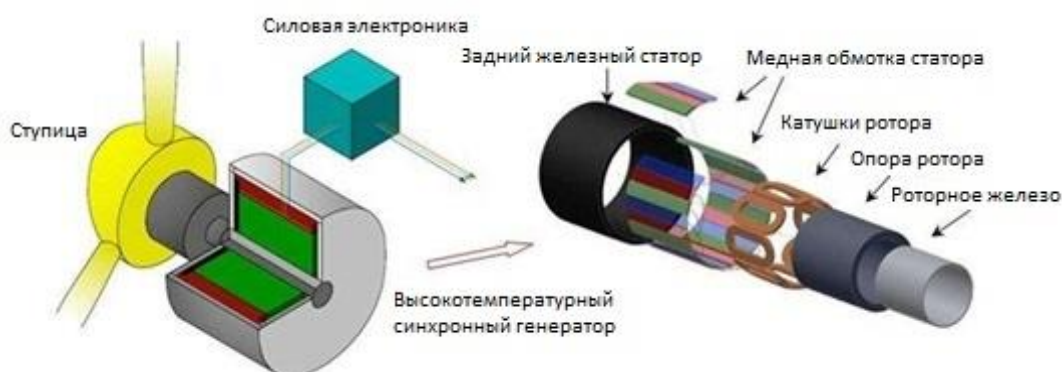


Рисунок 1.2 - Схема высокотемпературной сверхпроводящей синхронной генераторной системы

Потенциальная мощность синхронных генераторов представляет собой высокотемпературный сверхпроводящий генератор. Машина состоит из статического заднего железа, статической медной обмотки, высокотемпературной сверхпроводящей катушки возбуждения, стержня Ротора, несущей конструкции ротора, системы охлаждения Ротора, криостата и наружного холодильника, электромагнитного экрана и демпфера, подшипника, вала и корпуса. Расположение статора, Ротора, охлаждения и редуктора в конструкции машины может создать особые проблемы при работе высокотемпературных сверхпроводящих катушек в условиях низкотемпературной работы.

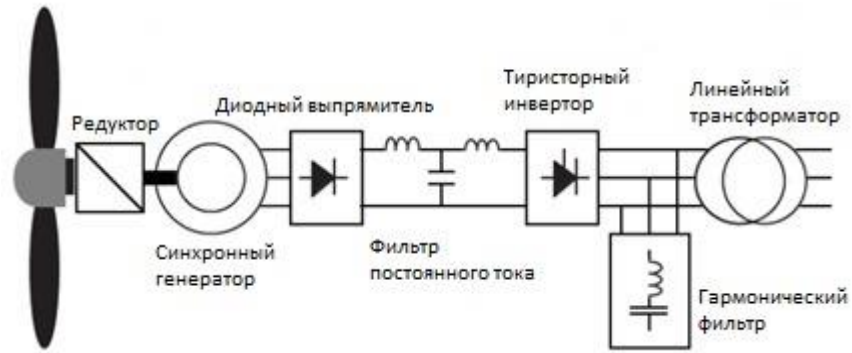


Рисунок 1.3 – Схема синхронного генератора

Высокопроницаемые катушки могут нести ток в 10 раз больше, чем обычные медные провода. Применение высоких проводников позволило бы устранить все полевые потери мощности цепи, а высокая проводимость позволила бы повысить плотность тока для создания высоких магнитных полей, что привело бы к значительному снижению веса и габаритов ветрогенераторов. Поэтому сверхпроводящие генераторы дают большие перспективы в области снижения мощности и веса, возможно, лучше подходят для ветряных турбин мощностью 10 МВт и выше. В 2005 году компания Siemens успешно запустила первый в мире сверхпроводящий ветрогенератор, который является синхронным генератором мощностью 4 МВт. Но есть много технических проблем, с которыми приходится сталкиваться, особенно в случае ветротурбинных систем малой и средней мощности. Так, например, всегда существует потребность в том, чтобы время охлаждения и восстановления после прекращения криогенных систем стало дополнительной проблемой. [6]

2 Практическая часть

2.1 Проектирование и анализ системы

На рисунке 2.1 представлена функциональная схема системы автоматического регулирования.

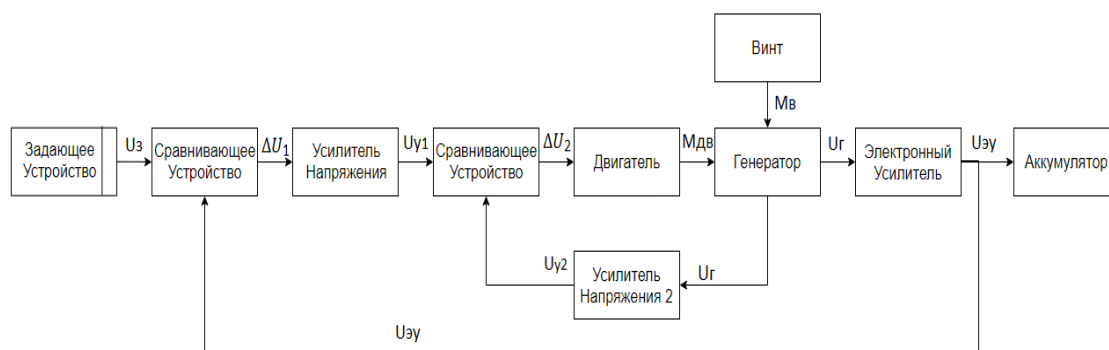


Рисунок 2.1 – Функциональная схема системы ветроэнергетической установки в системе автономного электроснабжения

Здесь:

- U_z – Задающее напряжение,
- $U_{эу}$ – Напряжение электронного усилителя (Выходной сигнал),
- ΔU_1 - Ошибка рассогласования,
- ΔU_2 – Шунтированный сигнал,
- $M_{дв}$ - Момент двигателя,
- $M_{в}$ – Момент ветряка,
- U_{y1} – Напряжение с усилителя,
- U_{y2} – Напряжение с усилителя

Линеаризованные уравнения элементов системы:

Двигатель:

$$\Delta U_2 = \frac{0.1dM}{dt} + M_{\partial\epsilon} \quad (1)$$

$$G = \frac{M_{\partial\epsilon}}{\Delta U_2} = \frac{1}{0.1s+1} \quad (2)$$

Усилитель напряжения №1:

$$U_{y1} = 20 \cdot \Delta U_1 \quad (3)$$

$$G = \frac{U_{y1}}{\Delta U_1} = \frac{20}{1} \quad (4)$$

Усилитель напряжения №2:

$$U_{y2} = 3 \cdot U_r \quad (5)$$

$$G = \frac{U_{y2}}{U_r} = 3 \quad (6)$$

Электронный усилитель:

$$U_{эу} = 2 \cdot \Delta U_r \quad (7)$$

$$G = \frac{U_{эу}}{U_r} = 2 \quad (8)$$

Генератор:

$$\frac{dU_r}{dt} = 0.5M \quad (9)$$

$$sU_r = 0.5M \quad (10)$$

$$G = \frac{U_r}{M} = \frac{0.5}{s} \quad (11)$$

Описание:

В схеме на рисунке 2.1 задающий сигнал напряжение U_3 сравнивается с выходным сигналом $U_{эу}$ и их ошибка рассогласования ΔU_1 усиливается. Затем ΔU_1 шунтируется с помощью местной отрицательной обратной связи для фильтрации помех и воздействует на двигатель. Затем момент с двигателя $M_{дв}$ складывается с моментом поступающим от винта M_v , генерируемый ветром, и их суммарный момент M подается на генератор. Усиленное напряжение $U_{эу}$ которого заряжает аккумулятор и подается на обратную связь.

2.2 Замкнутая система

На рисунке 2.2 представлена схема замкнутой системы автоматического регулирования, реализованная в среде MatLab.

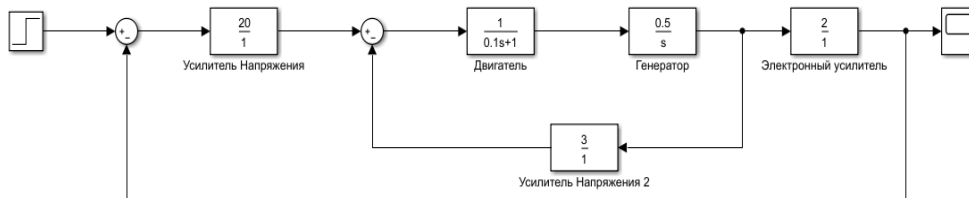


Рисунок 2.2 - Структурная схема замкнутой системы ветроэнергетической установки в системе автономного электроснабжения

Для замкнутой системы эквивалентная передаточная функция будет равна:

$$G_{equivalent} = \frac{20}{0.1 \cdot s^2 + s + 21.5} \quad (12)$$

Нули и полюса замкнутой системы в Matlab:

```
>> zero(G)
ans =
0×1 empty double column vector
>> pole(G)
ans =
-5.0000 +13.7840i
-5.0000 -13.7840i
```

2.3 Разомкнутая система:

На рисунке 2.3 представлена схема разомкнутой системы автоматического регулирования, реализованная в среде MatLab.

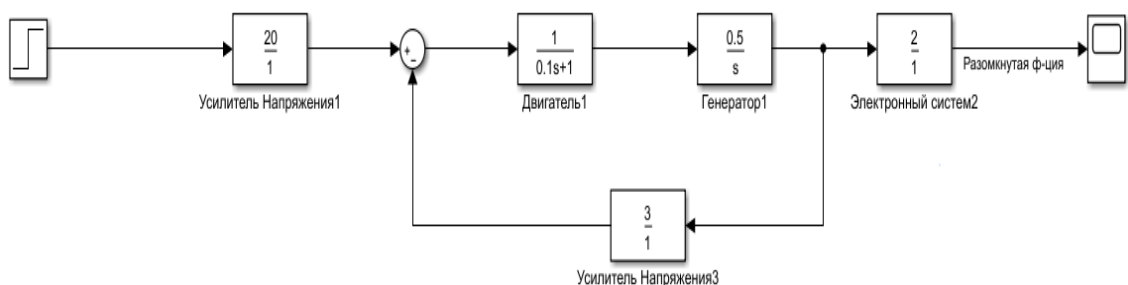


Рисунок 2.3 - Структурная схема разомкнутой системы ветроэнергетической установки в системе автономного электроснабжения

Эквивалентная передаточная функция для разомкнутой системы:

$$G_{equivalent} = \frac{20}{0.1 \cdot s^2 + s + 1.5} \quad (13)$$

Нули и полюса разомкнутой передаточной функции:

```
>> zero(G)
ans =
    0×1 empty double column vector
>> pole(G)
ans =
    -8.1623
    -1.8377
```

2.4 Исследование замкнутой динамической системы на устойчивость по первому методу Ляпунова

Эквивалентная передаточная функция замкнутой системы управления:

$$G_{eq} = \frac{20}{0.1 \cdot S^2 + S + 21.5} \quad (14)$$

Характеристическое уравнение:

$$y = 0.1 \cdot S^2 + S + 21.5 \quad (15)$$

Параметры:

$$a_0 = 0.1; \quad a_1 = 1; \quad a_2 = 21.5;$$

Полюса:

$$P_1 = -5; \quad P_2 = -5;$$

Вывод:

В соответствии с теоремой Ляпунова замкнутая динамическая система является устойчивой, так как все её параметры положительны, а полюса имеют отрицательные действительные части.

2.5 Прямые оценки качества замкнутой динамической системы:

На рисунке 2.4 представлен график переходного процесса замкнутой системы автоматического регулирования.

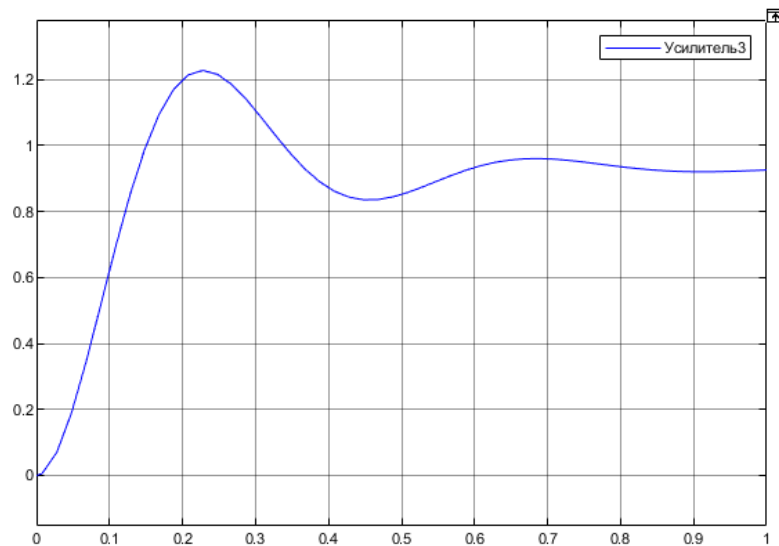


Рисунок 2.4 — Переходной процесс замкнутой системы ветроэнергетической установки

Здесь:

$$T = 0.456$$

1. Время регулирования - это необходимое системе время, для того чтобы её процесс стал установившимся:

$$T_{set} = 0.8 \text{ сек};$$

2. Перерегулирование - это наибольшее отклонение выходного сигнала от установившегося:

$$P_{ov} = \frac{Y_{max1} - Y_{ss}}{Y_{ss}} \cdot 100\% = \frac{1.2 - 0.93}{0.93} \cdot 100\% = 29\%;$$

3. Число колебаний - это количество колебаний переходного процесса до того как он станет установившимся:

$$M = 2$$

4. Колебательность - характеризует колебательные свойства системы

$$\mu = \frac{\Delta Y_{max2}}{\Delta Y_{max1}} \cdot 100\% = \frac{0.03}{0.3} \cdot 100\% = 10 \text{ Гц}$$

5. Частота колебаний – это количество колебаний за единицу времени:

$$\omega_{osc} = \frac{2 \cdot \pi}{T} = \frac{2 \cdot \pi}{0.456} = 13.784 \text{ Гц}$$

6. Установившаяся ошибка – это разность между задающим сигналом и установившимся значением:

$$e_{ss} = y_r - y_{ss} = 0.07$$

7. Время достижения первого максимума – время требуемое выходному сигналу :

$$T_p = 0.22 \text{ сек};$$

8. Время нарастания – это время, за которое переходной процесс пересекает установившийся сигнал:

$$T_r = 0.15 \text{ сек}$$

9. Декремент затухания – равен отношению модулей двух смежных перерегулирований:

$$\chi = \frac{|Y_{max2} - Y_{ss}|}{|Y_{max1} - Y_{ss}|} = \frac{0.96 - 0.93}{1.23 - 0.93} = 10$$

2.6 Синтез оптимального регулятора методом Циглера-Николса №1

Чтобы синтезировать регулятор необходимо использовать метод Циглера-Николса №1, так как переходной процесс разомкнутой системы ветроэнергетической установки устойчивый.

Нужно найти параметры k , L , T по графику переходного процесса:

k – Коэффициент передачи,

L – Постоянная времени,

T – Время запаздывания

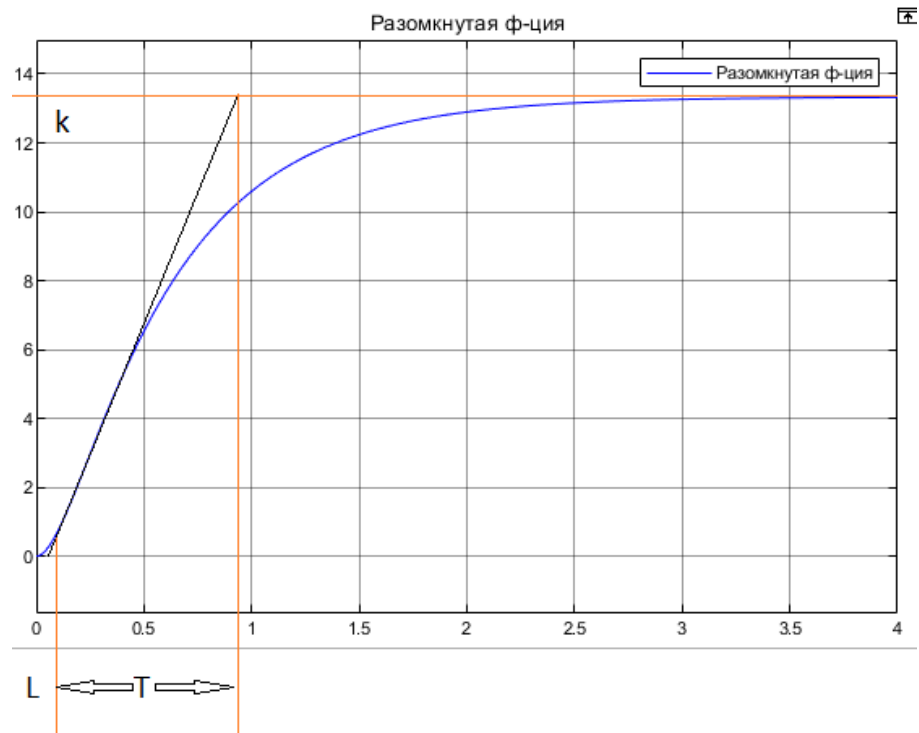


Рисунок 2.5 – Параметры k , L , T

По графику на рисунке 2.5 мы определили, что $k = 13.3$; $L = 0.15$;
 $T = 0.65$;

Для нахождения параметров P , PI , PID регулятора по первому методу Циглера-Николса используются следующие формулы:

Таблица 1 - формулы вычисления параметров PID регулятора по методу Циглера-Николса

	P	$\frac{1}{I}$	D
P	$\frac{T}{KL}$	0	0
PI	$0.9 \frac{T}{KL}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{1}{KL}$	$2L$	$0.5L$

Вычисление значений регуляторов по таблице:

P – регулятор:

$$P = \frac{T}{KL} = \frac{0.65}{13.3 \cdot 0.15} = 0.326$$

PI – регулятор:

$$P = 0.9 \frac{T}{KL} = 0.9 \frac{0.65}{13.3 \cdot 0.15} = 0.293;$$

$$\frac{1}{I} = \frac{L}{0.3} = \frac{0.15}{0.3} = 0.5$$

PID – регулятор:

$$P = 1.2 \frac{T}{KL} = 1.2 \frac{0.65}{13.3 \cdot 0.15} = 0.39;$$

$$\frac{1}{I} = 2L = 2 \cdot 0.15 = 0.3;$$

$$D = 0.5 \cdot L = 0.5 \cdot 0.15 = 0.075$$

Теперь вставив данные значения в регуляторы соответствующих систем, мы получим переходные процессы, указанные на рисунке 2.6.

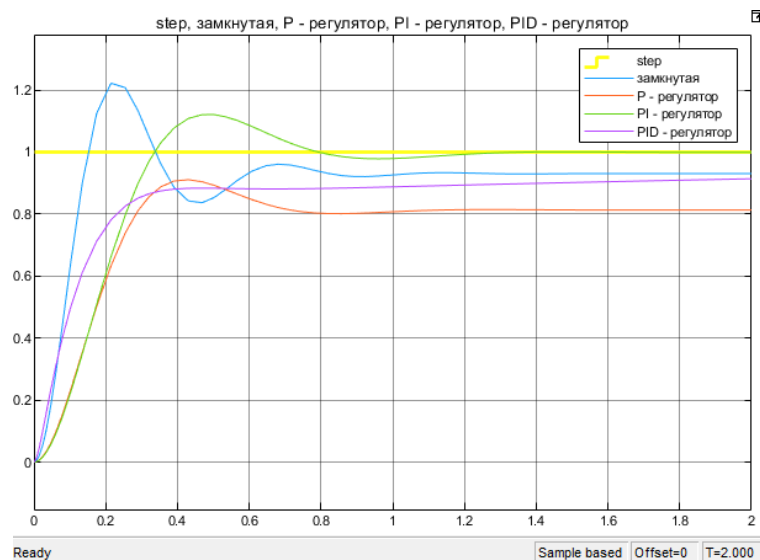


Рисунок 2.6 – Переходные процессы P, PI, PID регуляторов

Описание переходных процессов:

Переходной процесс замкнутой системы без регулятора (синий тренд) имеет наименьшее время нарастания - 0.15 сек и наибольшее перерегулирование 22% по сравнению с остальными переходными процессами. Является устойчивой, но не точной.

Переходной процесс системы с Р-регулятором (красный тренд) имеет всего 1 колебание и наибольшую установившуюся ошибку 0.19. Является устойчивой, но не точной.

Переходной процесс замкнутой системы с PI-регулятором (зеленый тренд) имеет нулевую установившуюся ошибку. Но по сравнению с замкнутой системой большее время нарастания 0.34 сек. Является устойчивой и точной.

Переходной процесс замкнутой системы с PID-регулятором (фиолетовый тренд) является устойчивым, точным и монотонным, так как не имеет колебаний. Так же имеет наименьшее время регулирования - 0.3 сек.

2.7 Прямые оценки качества системы с использованием PI - регулятора:

На рисунке 2.7 представлен график переходного процесса системы автоматического регулирования с PI – регулятором.

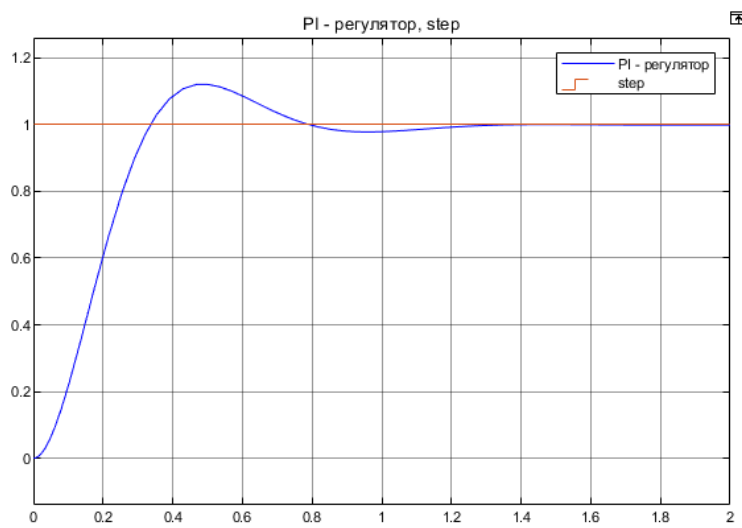


Рисунок 2.7 – Переходной процесс системы с PI регулятором

1. Время регулирования - это необходимое системе время, для того чтобы её процесс стал установившимся:

$$T_{set} = 1.4 \text{ сек};$$

2. Перерегулирование - это наибольшее отклонение выходного сигнала от установившегося:

$$P_{ov} = \frac{Y_{max1} - Y_{ss}}{Y_{ss}} \cdot 100\% = \frac{1.12 - 1}{1} \cdot 100\% = 12\%;$$

3. Число колебаний - это количество колебаний переходного процесса до того как он станет установившимся:

$$M = 1$$

4. Колебательность - характеризует колебательные свойства системы

$$\mu = \frac{\Delta Y_{max2}}{\Delta Y_{max1}} \cdot 100\% = \frac{0.01}{0.12} \cdot 100\% = 8.33\%$$

5. Частота колебаний – это количество колебаний за единицу времени:

$$\omega_{osc} = \frac{2 \cdot \pi}{T} = \frac{2 \cdot \pi}{1} = 6.28 \text{ Гц}$$

6. Установившаяся ошибка – это разность между задающим сигналом и установившимся значением:

$$e_{ss} = y_r - y_{ss} = 1 - 1 = 0$$

7. Время достижения первого максимума – время требуемое выходному сигналу:

$$T_p = 0.47 \text{ сек};$$

8. Время нарастания – это время, за которое переходной процесс пересекает установившийся сигнал:

$$T_r = 0.34 \text{ сек}$$

9. Декремент затухания – равен отношению модулей двух смежных перерегулирований:

$$\chi = \frac{|Y_{max2} - Y_{ss}|}{|Y_{max1} - Y_{ss}|} = \frac{1.01 - 1}{1.12 - 1} = 0.083$$

2.8 Сравнение прямых оценок качества с PI-регулятором и без регулятора

Для того чтобы наглядно показать как PI-регулятор улучшил систему

приведем сравнительную таблицу оценок качества:

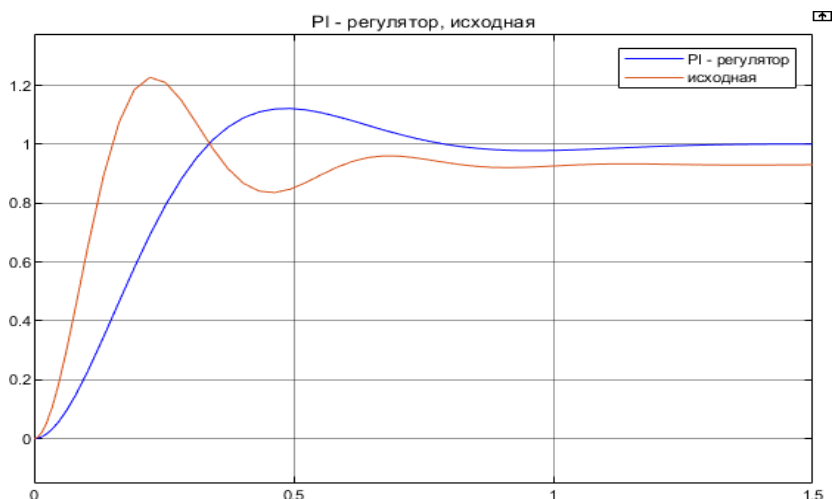


Рисунок 2.8 – Переходные процессы исходной системы и системы с PI-регулятором

Таблица 2 – Сравнительная таблица оценок качества системы без регулятора и с PI-регулятором

	Без регулятора	С PI-регулятором
Время регулирования	0.8 сек	1.4 сек
Перерегулирование	29%	12%
Число колебаний	2	1
Колебательность	10%	8.33%
Частота колебаний	13.784 Гц	6.283 Гц
Установившаяся ошибка	0.07	0
Время достижения первого максимума	0.22 сек	0.47 сек
Время нарастания	0.15 сек	0.34 сек
Декремент затухания	10	0.083

Вывод:

По рисунку 2.6 можно выявить, что для оптимальной работы системы необходимо использование PI – регулятора. Она имеет большее время регулирования, но приходит к заданному сигналу с нулевой установившейся ошибкой. В то время как в других системах она имеется. А для ветроэнергетической установки установившаяся ошибка является критическим параметром в отличие от времени регулирования. Так как на длинном промежутке времени установившаяся ошибка потеряет гораздо больше энергии, чем во время регулирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткое изложение результатов дипломного проекта. Цель дипломного проекта - снабжение качественной электроэнергией с ветроэнергетических источников энергии для экономического развития.

В данном дипломном проекте были описаны ветроэнергетические установки, их виды, конструкции, назначения, преимущества и польза. Была разработана замкнутая динамическая система ветроэнергетической установки в среде “MATLAB”, построен её график переходного процесса, определены нули и полюса системы. На основе полученных данных, используя теорему Ляпунова, удалось анализировать систему на устойчивость и определить прямые оценки качества переходного процесса.

Далее для улучшения системы, методом Циглера - Николса №1 был синтезирован оптимальный регулятор для ветроэнергетической установки. И проведено сравнение результатов моделирования системы с регулятором и без него, из которого следует что у системы с регулятором оценки качества намного лучше.

Кроме того, в связи с природными и геологическими особенностями казахстанской земли установка ветряных турбин является весьма эффективной и выгодной в плане экономики. Процесс перехода к зеленой энергетике приведет к изменению экономической ситуации в лучшую сторону, так как к отдаленным населённым пунктам не нужно будет проводить километры магистральных электрических сетей.

Так же в текущем 2021 году из-за эпидемиологической ситуации в мире цены на нефть снизились. Экономика Казахстана сильно пошатнулась, поскольку экспорт нефти играет важную роль в экономике страны. Однако снижение цен на нефть позволит инвесторам взглянуть в сферу зеленой энергетике, так как нефтяная отрасль сегодня не так стабильна и эффективна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Программа по развитию электроэнергетики Республики Казахстан на 2010 – 2014 годы
- 2 Национальная Программа развития ветроэнергетики в Республике Казахстан до 2015г. с перспективой до 2024г.
- 3 Официальный сайт Агентство РК по статистике. – <http://www.stat.gov.kz>.
- 4 Национальная программа развития ветроэнергетики до 2015 г. с перспективой до 2024 г. (проект) (Подготовлена в рамках совместного проекта Министерства энергетики и минеральных ресурсов РК и Программы развития ООН «Казахстанинициатива развития рынка ветроэнергии»). – Астана, 2007.
- 5 План действий по развитию альтернативных и возобновляемых источников энергии в Республике Казахстан в 2013-2020г.г., Самрук-зеленый.
- 6 Jain, G.C., Design, Operation and Testing of Synchronous Machines, New York, USA, Asia, 1966, 676 p.
- 7 Zervos, A., Wind power as a mainstream energy source. Proc. of the 2009 European Wind Energy Conf. , Marseille, March 2009.
- 8 «Перспективы для возобновляемой энергии в Казахстане» - Предложения посольства Великобритании на встрече в Астане 5 сентября 2006г. для обсуждения возможностей развития возобновляемых источников энергии в Казахстане, г. Астана, Министерство Энергетики и Минеральных Ресурсов РК.
- 9 Алимгазин А.Ш. Применение новых экологически чистых энергосберегающих технологий в системах теплоснабжения жилых, общественных и производственных зданий в различных климатических регионах Республики Казахстан. - В кн.: Парламентские слушания
- 10 «Экологические, экономические и политические аспекты ратификации Республикой Казахстан Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН об изменении климата», г.Астана, 2006 г., с.186-197
- 11 Официальный сайт ТОО «АЭС Шульбинская ГЭС». - <https://shges.kz/>.
- 12 Официальный сайт проекта «Бурное Солар». – <http://www.bs-1.kz>.

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Ордабаев Даурен Досмухасанович

Название: Автоматизация ветроэнергетической установки в системе автономного электроснабжения

Координатор: Куаныш Абжапаров

Коэффициент подобия 1:0.1

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв:21

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

.....

24 мая 2021г.

.....
Дата


.....
Подпись Научного руководителя

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Ордабаев Даурен Досмухасанович

Название: Автоматизация ветроэнергетической установки в системе автономного электроснабжения

Координатор: Куаныш Абжапаров

Коэффициент подобия 1:0.1

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв:21

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки:0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения