

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка и исследование автономной системы управления солнечной батареей

УДК 681.51.01:621.472:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Касымов Кувят Шахратулы		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н.		
Руководитель ООП	Суходоев Михаил Сергеевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук ШБИП	Верховская Марина Витальевна	к.ЭКОН.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ИШХБМТ	Невский Егор Сергеевич			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОАР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код рез- та	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
Р1	применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации автоматизированных систем, включая подсистемы управления и их программное обеспечение.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации автоматизированных систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР(пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных автоматизированных систем и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий машинного обучения, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства,	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5АИОР (п.1.3),

	исследований и эксплуатации автоматизированных систем, устройств и подсистем.	согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации систем управления технологическим процессом и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в автоматизированных системах и знать области их применения, в том числе в составе безлюдного производства.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные</i>		
P7	эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9), Критерий 5АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-8, ПК-15, ПК-16, ПК-18, ОПК-1,

	<p>современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду</p>	<p>ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEAN</i></p>
Р10	<p>следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности</p>	<p>Требования ФГОС (ПК-8, ПК-11, ПК-16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i></p>
Р11	<p>понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.</p>	<p>Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>.</p>

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Суходоев М.С.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ61	Касымов Кувят Шахратулы

Тема работы:

Разработка и исследование автономной системы управления солнечной батареей
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является система ориентация солнечных батарей. Которая позиционирует плоскость панели относительно солнца. На систему воздействует ветровая нагрузка. Режим работы может быть, как непрерывный, так и периодический (шаговый). Работы системы ориентация направлена на увеличение выработки электроэнергии. Должна соответствовать требованиям электробезопасности.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Аналитический обзор работ, посвященные эксплуатации систем наведения различных устройств, а так применение электродвигателей, входящий в состав следящих электроприводов. Анализ влияние различных факторов на точность наведения и энергопотребление системы. Разработать решение по минимизации колебаний электродвигателя при различных отрицательных факторах. Рассчитать параметры электродвигателя и синтезировать его модель. Оценить экономическую. Эффективность проекта системы ориентации в сравнение с аналогами. Предусмотреть раздел социальной ответственности применимой к тебе исследования.</p>
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская Марина Витальевна, Доцент отделения социально-гуманитарных наук ШБИП, к.экон.н.
Социальная ответственность	Невский Егор Сергеевич, ассистент ИШХБМТ
Раздел на иностранном языке	Шепетовский Денис Владимирович, старший преподаватель отделения ИЯ

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Глава 1. Современные солнечные электростанции

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения АиР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Касымов Кувят Шахратулы		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
Уровень образования – магистратура
Отделение автоматизации и робототехники
Период выполнения – весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	60
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
	Социальная ответственность	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения АиР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения ИЯ	Суходоев Михаил Сергеевич	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 119 страниц, 25 рисунков, 10 таблиц, 30 источников, 1 приложения.

Ключевые слова: СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ, СОЛНЕЧНАЯ БАТАРЕЯ, СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ, ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ, СЛЕДЯЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, ВЕНТИЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ.

Объектом исследования является система ориентации солнечной батареи. В этой работе рассматриваются различные режимы работы систем слежения за солнцем, проводится моделирование.

Целью данной работы является моделирование и анализ влияния на погрешность работы динамических характеристик системы ориентации солнечной электростанции, осуществляющей слежение за перемещением движения солнца по эллиптической орбите на основе его координат.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- Выполнить аналитический обзор эксплуатации систем ориентации солнечных батарей;
- Выполнить обзор работ различных типов систем ориентации;
- Рассчитать основные параметры и провести моделирование следящего электропривода;
- Провести исследования работы двухосевой системы ориентации;
- Обработать полученные модельные данные;
- Описать рекомендации по эксплуатации двухосевой системы ориентации солнечных батарей.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В представляемой работе использовались следующие термины с соответствующими определениями:

PV: Photovoltaic;

SPS: Solar power station;

БУ: Блок управления;

БП: Блок питания;

ВД: Вентильный двигатель;

ДАП: Датчик абсолютного положения;

ЕС: Европейской комиссии;

ММ: Мехатронный модуль;

МЭА: Международной энергетической ассоциации;

ПИД-регулятор: Пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор;

ПЛК: Программируемый логический контроллер;

СЭ: Следящий электропривод;

СЭС: Солнечная электростанция;

ТТ: Технические требования;

ЭДС: Электродвижущая сила.

Оглавление

Введение	12
1 Современные солнечные электростанции	14
1.1 Постановка проблемы	14
1.2 Система ориентации	14
1.3 Анализ рынка	16
1.4 Основные режимы работы солнечных электростанций	18
1.5 Схема следящего электропривода солнечных электростанций	18
1.6 Особенности режимов работы солнечных электростанций и требования к их электроприводам	21
1.7 Обоснование выбора основной структуры следящего электропривода солнечных электростанций	24
1.8 Вывод по разделу	28
2 Расчет двигателя следящего электропривода солнечной электростанции	29
2.1 Определение главных размеров и выбор электромагнитных нагрузок	29
2.2 Определение числа пазов и их размеров	37
2.3 Расчет против-ЭДС	47
2.4 Активные и индуктивные сопротивления	53
2.5 Потери стали, механические и добавочные потери	55
2.6 Вывод по разделу	58
3 Система управления следящего электропривода	59
3.1 Описание системы слежения	59
3.2 Моделирование системы слежения	60
3.3 Результаты моделирования системы слежения	63
3.4 Вывод по разделу	66
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	70
4.1 Анализ технических конкурентных решений	70
4.2 Планирование комплекса работ по созданию проекта	73
4.3 Определение трудоемкости работ	76
	10

4.4 Бюджет научного исследования	78
4.4.1 Расчет основной заработной платы	78
4.4.2 Отчисления во внебюджетные фонды	82
4.4.3 Затраты электроэнергии	83
4.4.4 Накладные расходы	83
4.5 Оценка сравнительной эффективности исследования	84
4.6 Вывод по разделу	87
5 Социальная ответственность	90
5.1 Требования к эксплуатации, удобству технического обслуживания и ремонта	90
5.2 Требования к электробезопасности	91
5.3 Требования к внешним воздействующим факторам	94
5.4 Требования безопасности	95
5.5 Мероприятия, направленные защиту от поражения электрическим током	95
5.6 Мероприятия, направленные на защиту от получения механических и прочих травм возможных при эксплуатации СЭС	97
5.7 Вывод по разделу	99
Список публикаций студента	101
Список использованных источников	102
Приложение А	105

Введение

Выработка достаточных запасов чистой энергии для будущего - одна из самых сложных проблем общества. Альтернативные источники возобновляемой энергии, такие как солнечная, могут удовлетворить потребности человека в электроэнергии. Покрыв 0,16% поверхности земли солнечными панелями с 10% эффективностью обеспечило бы 20 ТВт мощности, что почти в два раза превышает мировой уровень потребления ископаемой энергии. Прямое преобразование солнечного света в электричество осуществляется через солнечные элементы.

Суточное и сезонное движение земли влияет на интенсивность излучения солнечных систем. Системы позиционирования перемещают солнечные батареи, чтобы компенсировать эти движения, сохраняя лучшую ориентацию относительно солнца. Хотя использование систем ориентации не является обязательным, его наличие может увеличить собранную энергию с 10 до 80% в разные периоды времени и географические условия. Однако не рекомендуется использовать систему слежения для небольших солнечных панелей из-за высоких потерь энергии в приводных системах. Обнаружено, что потребление энергии устройством отслеживания составляет 2-3% от увеличенной энергии.

Многие системы ориентации работают в режиме автосопровождения или пошагового слежения, непрерывно и могут располагаться в местах, удаленных от населённых пунктов. Подобные системы снабжаются специальными следящими электроприводами, которые отличаются следующими особенностями:

- низким энергопотреблением;
- возможностью автономной работы в течение длительного срока эксплуатации;
- непрерывностью высокоточного отслеживания небесного объекта в условиях его оптической ненаблюдаемости.

В литературе встречается множество работ описывающие данную тематику [1-7].

Задачи высокоточного слежения за положением солнца с использованием его координат наталкивает на ряд трудностей, связанные с согласованности угловой скорости поворота рамы солнечной батареи со скоростью прохождения небесного объекта. Из-за непостоянной орбитальной скорости движения солнца по эллиптической орбите и возмущающих воздействий на панель возникают отклонения скорости поворота солнечной батареи от требуемой. Из-за неточностей кинематики и моментов возмущения следящего электропривода СЭС точной согласованности достичь невозможно. Поэтому при выборе элементов системы слежения для обеспечения требуемой точности ориентации солнечной батареи в течение дня, необходимо выполнять учет наиболее существенных факторов, влияющих на точность слежения.

1 Современные солнечные электростанции

1.1 Постановка проблемы

Энергия является одним из краеугольных камней нашего современного общества. То, что мы можем предоставить обществу столько энергии, сколько требуется в нашей повседневной жизни, и сделать так, чтобы эта энергия была произведена без вреда, нашей планете является одной из самых горячих политических тем и задач нашего времени. Солнечная энергия является одним из решений проблемы. Спрос на эффективные возобновляемые источники энергии растет очень быстрыми темпами, в частности рынок солнечных трекеров растет на 40% в год.

Существует много разных способов получения электричества от солнечной энергии. Наиболее популярными являются фотоэлектрические (PV) панели, где кремниевые солнечные элементы преобразуют солнечную радиацию в электричество. Поддержание PV-панелей перпендикулярно солнечному излучению, максимизирует коэффициент полезного действия.

1.2 Система ориентации

Основная функция всех систем слежения заключается в обеспечении одной или двух степеней свободы в движении. Это движение используется, чтобы поддерживать систему, направленную на излучение, необходимым образом. Существует множество решений для выполнения функциональных требований. Различные технологии солнечной энергии требуют различных решений с различной точностью и общим чертой в том, что определить какие системы слежения лучше всего очень сложно.

Угол места определяет высоту, на которой солнце может быть определено на небе. Эталонная плоскость, используемая для определения угла, часто является фактической плоскостью, на которой стоит наблюдатель. Азимутальный угол рассматривает движение солнца по небу, с востока на запад.

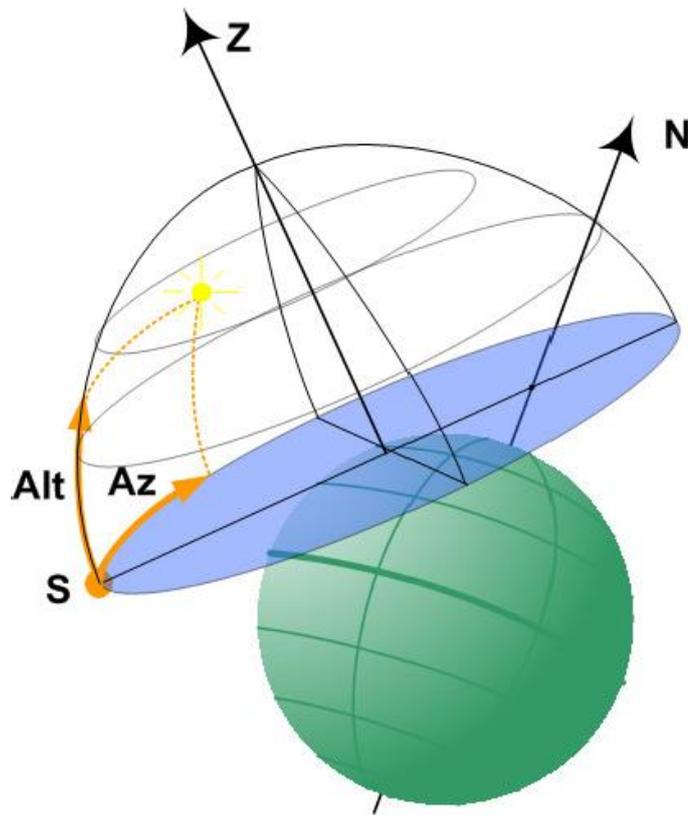


Рисунок 1.1 – Показывает азимут и угол места.

Системы одноосевого слежения определяют движение либо высоты, либо азимута для СЭС. Какое из этих движений желательно, зависит от технологии, используемой на трекере, а также от места, на котором она установлена. Например, параболические сквозные системы используют азимутальное отслеживание, тогда как многие другие PV-системы используют отслеживание высоты из-за нехватки места.

Системы с двойной осью отслеживают движение как по высоте, так и по азимутальным осям. Эти системы слежения, естественно, обеспечивают наилучшую производительность, при условии, что все компоненты также имеют достаточно высокую точность.

Связь между энергией солнца и землей довольно сложная. Путь Земли вокруг Солнца достаточно точно определен и существует множество описаний его движения. Некоторые из них являются не точными приближениями, тогда как некоторые из них очень точны, и уравнения полагаются на сбор последних измеренных констант.

Очевидное положение солнца зависит от того, как земля вращается вокруг Солнца и как она вращается вокруг своей оси. Путь вокруг солнца не круговой, а слегка эллиптический, это факт влияет на расстояние до солнца. Также ось, вокруг которой вращается земля, слегка наклонена, 23,4 градуса. Наклон называется наклоном эклиптики.

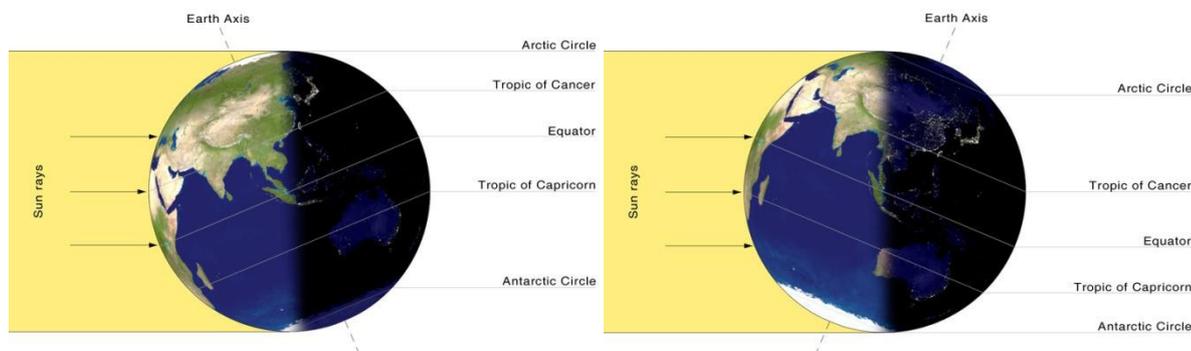


Рисунок 1.2 – Влияние наклонности эклиптики. Слева - летний сезон, например, Европа. Справа - летний сезон для Австралии.

В статье [8] проведены исследования в которой говорится, что системы ориентации не обязательно должны позиционирования плоскость панели абсолютно перпендикулярно к солнцу, чтобы быть более эффективными. Если имеется отклонения на 10° , выход электроэнергии по-прежнему составляет 98,5% от максимального значения полного отслеживания. При самых неблагоприятных условиях выход энергии в годовом объеме от систем ориентации может достигать 20%. При более лучших условиях, годовой прирост может составить от 30 до 40%. Эффективность работы в любой день может варьироваться от почти нуля до почти 100%.

1.3 Анализ рынка

Анализ рынка проводился путем сбора рыночных данных от журналов, отраслевых экспертов, интернет-баз данных, исследовательских институтов рынка и энергетических агентств. Анализ рынка был сделан, чтобы убедиться, что исследования сохраняет тесную связь с развитием рынка и не упустил каких-либо критических требований рынка.

Глобальная суммарная установленная мощность сегодня составляет приблизительно: 15 ГВт. Подавляющее большинство установок состоят из PV-модулей. Рынок солнечной энергии наблюдал огромный рост за последние пять лет. Рынок вырос с нескольких 100 МВт в начале 2000 года до сегодняшних ошеломляющих 15 ГВт установленной мощности. Наиболее впечатляющим вкладом занимается Германия, которая в 2000 году имела небольшой ежегодный прирост в размере 70 МВт, который в 2009 году вырос до 4 ГВт.

В таблице 1 и на рисунке 1 представлено прогнозы развития сценариев рынка солнечной энергии от Международной энергетической ассоциации, Гринпис и Европейской комиссии.

Таблица 1.1 – Сценарии будущей потенциальной мощности МЭА, ЕС и Гринпис.

Год и мощность	2000 [ГВт]	2010 [ГВт]	2020 [ГВт]	2030 [ГВт]	2050 [ГВт]
Greenpeace (reference scenario)	1	10	50	86	153
Greenpeace ([r]evolution scenario)	1	21	270	920	2900
Greenpeace (advanced scenario)	1	21	290	1500	3800
IEA Reference Scenario	1	10	30	60	-
IEA ACT Map	1	22	80	130	600
IEA BlueMap	1	27	130	230	1150
European Commission (Current)	1	8	125	920	-
European Commission (Advanced)	1	21	211	912	-
European Commission (Moderate)	1	25	278	1864	-

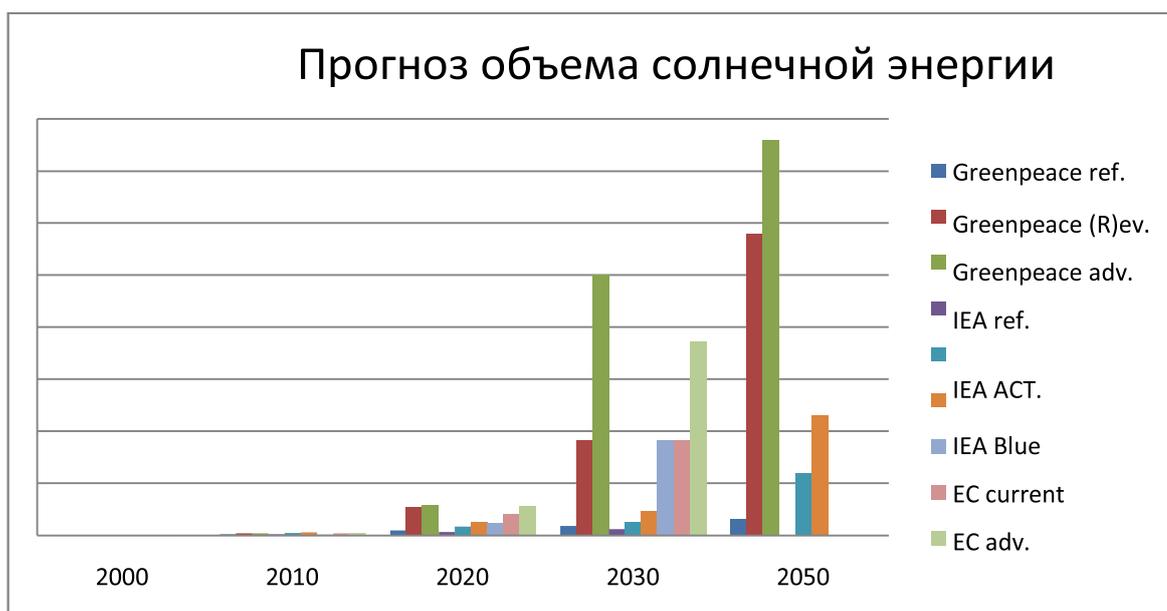


Рисунок 1.3 – Прогнозируемая мощность солнечной энергии.

Как видно из прогнозов, все сценарии показывают продолжительный рост рынка солнечной энергии. На развитие энергетического рынка в значительной степени влияют политические, технические и другие.

1.4 Основные режимы работы солнечных электростанций

Основная нагрузка на электропривод СЭС составляют ветровая нагрузка и силы трения в кинематической цепи. Мощность, которая поглощается силами трения может намного превышать мощность на выходе кинематической цепи. Ветровая нагрузка имеет непостоянный и непрогнозируемый характер.

Основные режимы электропривода СЭС можно разделить на две категории: вспомогательные и рабочие. Рабочие режимы могут осуществляться автосопровождением или слежением, реализуемым с помощью программного управления. В данном программном управлении известен закон движения за наблюдаемым объектом и расчёт ведётся заранее. В режиме слежения за солнцем, полученный сигнала управления связан непосредственно с наблюдаемым объектом. К вспомогательным режимам относят: «переброс» исполнительного вала, «захват» и «поиск» объекта слежения. Данный режим используются при развороте СЭС с запада на восток, на исходное положение после захода Солнца или во время работ при проведении профилактического обслуживания, для определения Солнца после выхода из-за горизонта при использовании режима автосопровождения.

Все элементы электропривода СЭС должны иметь защиту от различных атмосферных осадков, попадания влаги, а также должны иметь возможность эксплуатации во всех температурных режимах данного района.

1.5 Схема следящего электропривода солнечных электростанций

Следящим называется электропривод, который осуществляет с определенной степенью точности механические перемещения, задаваемые маломощным измерительным органом, который самостоятельно выполнить функции привода не может. Следящий электропривод представляет собой программируемый регулятор, который отрабатывает механические

перемещения. Но используемая программа в как правило не является заранее известной. В отличие от использования регуляторов, для следящего электропривода характерно не полностью свободное движение, определенное только ее параметрами, а вынужденное движение.

При решении вопросов о структуре следящего электропривода СЭС необходимо учитывать следующие требования: простота обслуживания всей системы, минимальные капитальные вложения, надежность, высокая степень автоматизации, обеспечение допустимых точностных показателей, предполагающая длительное время (месяцы) эксплуатацию СЭС без вмешательства человека, ограничение ударных нагрузок в силовой части привода, энергосбережение, защита от ветровых нагрузок [9].

Основной особенностью следящего электропривода СЭС является малая скорость перемещения всех рабочих органов. Наибольшая возможная скорость слежения за движением Солнца в Томске на широте 56° составляет $40^\circ/\text{час}$. Чтобы дать оценку мощности исполнительного электродвигателя, можно воспользоваться следующей зависимостью. Около 10 Вт мощности двигателя потребляются на 1000 Вт выработанной электроэнергии СЭС в режиме постоянного слежения за Солнцем. Для достаточно больших СЭС используются электродвигатели малой мощности, у которых, электромагнитная постоянная времени во много раз меньше электромеханической постоянной времени. Таким образом, электродвигатель имеет запасом по динамической устойчивости и является апериодическим звеном второго порядка.

Перемещение солнечной панели в соответствии с поворотом задающей оси осуществляется непосредственно исполнительными двигателями. Наличие изоляционного промежутка в следящем электроприводе обуславливает небольшую зону нечувствительности. Поэтому дынный промежуток необходимо уменьшить для увеличения точности отработки заданного угла. При некотором запасе кинетической энергии возможны различные колебания электропривода около положения равновесия. Поэтому после отключения система не может мгновенно остановиться и продолжает двигаться в том же

направлении. Лишь после ряда колебаний система может перейти в состояние равновесия.

Величина момента электродвигателя не зависит от угла рассогласования. Якорь электродвигателя сразу же переключается на полное напряжение при замыкании щеток с полукольцом при этом момент электродвигателя возрастает, и система начинает приобретать значительное ускорение.

Механическую часть СЭС является двухмассовой системой. Частота свободных колебаний невысокая и составляет всего 1...2 Гц. Возникающие в механической части резонансные частоты, амплитуды колебаний фазы, практически не зависят от параметров двигателя. В энергетических установках отсутствует необходимость в снижении или коррекции колебательности. По результатам расчетов возмущающих воздействий, решается вопрос о необходимости применения люфто-компенсирующих устройств в механической части системы. Нецелесообразно регулировать скорость уменьшения магнитного потока так как все режимы работы СЭС требуют одинаковый крутящий момент на выходном валу.

Авторы данной статьи [10] построили двухосевую систему с открытым контуром, контролируемой с помощью ПЛК. Их принцип работы основан на математическом определении положения поверхности, которое определяется двумя углами: наклоном поверхности и азимутальным углом. Наклон считался равным зенитному углу Солнца. Использовались два следящих двигателя, один для соединения, вращающегося вокруг горизонтальной оси Север-Юг, а другой для соединения, вращающегося вокруг вертикальной оси. Световой день делился на четыре интервала, и во время каждого из них была определена и запрограммирована скорость вращения двигательной системы в ПЛК. По результат, потребляемая мощность для двигателей и систем управления едва превышает 3% энергии, сэкономленной системой слежения. На рисунке 1.4 показывает сравнение энергии между ориентированной системой и фиксированной, наклоненной под углом 32°. Они пришли к выводу, что

использование двухосевой системы слежения приводит к увеличению суммарной суточной коллекции около 35,34% по сравнению с фиксированной.

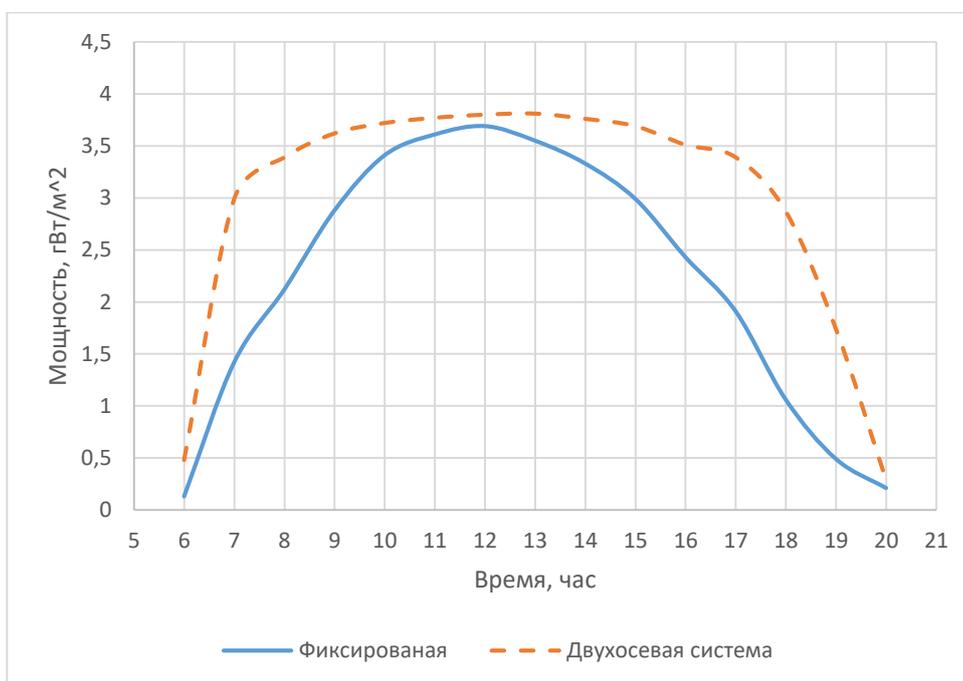


Рисунок 1.4 – Экспериментальные результаты исследования

По результат возникает необходимость проектировать следящий электропривод, сравнивая номинальную скорость двигателя со скоростью перемещения установки в вспомогательных режимах, при этом предполагается, что рабочий режим непрерывного слежения будет осуществляться при скорости меньшей номинальной. В связи с этим представляется более рациональным применение вентильного двигателя в пошаговом режиме слежения в системах релейного электропривода.

1.6 Особенности режимов работы солнечных электростанций и требования к их электроприводам

Что бы определить более достоверные и полные результаты проведенных исследований необходимо обосновать и выбрать расчетный режим работы следящего электропривода СЭС, а также характер возмущающего воздействия.

Исследования следящего электропривода СЭС проводились на основе метода комплексного планомерного эксперимента. В качестве объекта

использовалась расчетная модель обобщенного следящего электропривода СЭС. В результате обобщения всех приемлемых для СЭС структур следящего электропривода и анализа, получена структура расчетной модели.

В данной работе был выбран рабочий режим автосопровождение Солнца, точностью которого определяется качество главного технического режима СЭС. В сравнение с теорией автоматического регулирования нелинейность или линейность следящего электропривода оценивается, с позиций рабочего режим. В теории автоматического управления, нелинейность или линейность системы определяется зависимостью присутствия или отсутствия нелинейного элемента в ее составе. Однако в технологическом режиме, факт присутствия нелинейного элемента в системе не определяет свойства системы. В зависимости от различных условий и типов элемента, нелинейность объекта может и не отразиться на самой системе и ее рабочем режиме, которая в свою очередь при этом не будет схожа линейным системам.

Кинематический люфт является основной нелинейностью в следящем электроприводе СЭС. Если пренебречь остальными нелинейностями, то под линейным будет подразумеваться режим следящего электропривода, когда по кинематической цепи непрерывно передается крутящий момент от исполнительного вала к двигателю либо в обратном направлении, тогда здесь имеется постоянное действующее механическое напряжение в кинематической цепи. При этом величина момента, передаваемая через кинематическую цепь должна быть такой, чтобы не возникали автоколебания. В общем виде условия линейности следящего электропривода СЭС можно записать в следующем виде:

$$|M_{к.ц}| = \left| M_{тр} \pm M_{ветр} \pm J_{и.в} \frac{d\omega_{и.в}}{dt} \right| \geq M_{мин} \quad (1.1)$$

где $M_{к.ц}$ – крутящий момент, передаваемый по кинематической цепи, Нм;

$M_{тр}$ – суммарный момент сухого и вязкого трения на исполнительном валу, Нм;

$M_{\text{ВЕТР}}$ – момент ветровой нагрузки на исполнительном валу, Нм;

$J_{\text{и.в}}$ – момент инерции исполнительного механизма, кгм²;

$\omega_{\text{и.в}}$ – угловая скорость исполнительного вала, рад/с.

В кинематической цепи СЭС, суммарный момент трения исполнительного вала является основным источником механического. Составляющая постоянного момента ветровой нагрузки может полностью или частично компенсировать данное напряжение. В этом случае неравенство (1.1) выполняться не будет. При этом система электропривода работает в нелинейном режиме.

В моменты неблагоприятных случаев, когда с помощью постоянной составляющей ветрового момента полностью компенсируется момент трения, ошибки будут возрастать с частотой ветровых нагрузок. Значение среднеквадратичной ошибки по сравнению с той же линейной системой будет возрастать в несколько раз. Частота появления ошибок может быть велика даже если не полностью скомпенсирован момент трения.

На рисунке 1.5 показан случай, когда на исполнительном валу полностью скомпенсирован момент трения. При частичной компенсации момента, за период наблюдения меняется самое меньшее число колебаний. Для работы следящего электропривода с кинематическим люфтом более неблагоприятные условия на исполнительном валу создаются при скомпенсированном моменте трения.

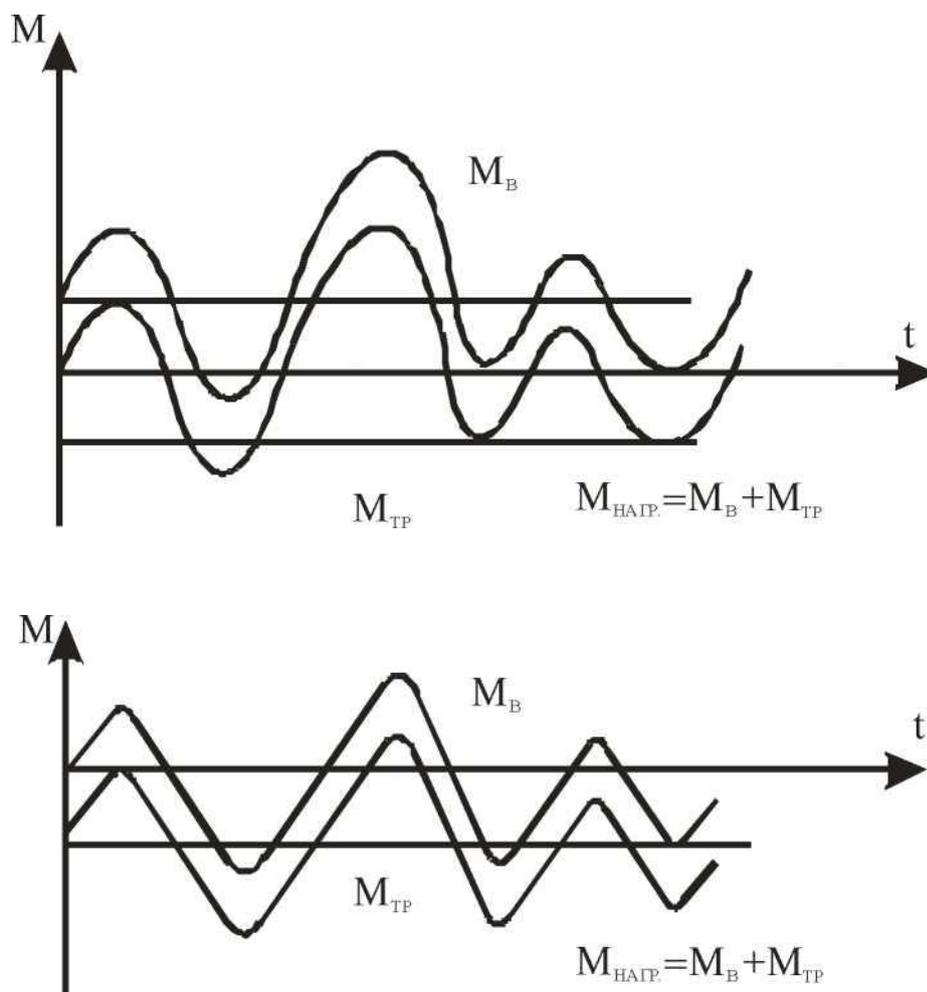


Рисунок 1.5 – Показаны процессы изменения знака всего суммарного момента нагрузки, которые оказываются влияние на исполнительный вал. При полной компенсации (а) и неполной компенсации (б) момента трения

1.7 Обоснование выбора основной структуры следящего электропривода солнечных электростанций

Структура следящего электропривода многоконтурна. Контур – совокупность нескольких звеньев имеющие обратную связь. Получив широкое применение систем электропривода с оптимизированными по методу подчиненного регулирования контурами скорости и тока, широко применяют в следящих электроприводах, структуры которых оснащены контуром угла [11].

Класс электроприводов, которые рассматриваются в данной работе характеризуется сравнительно малыми мощностями - до 1 кВт. Такие электроприводы за счет повышенной перегрузочной способностью элементов,

которые применяются в специальных двигателях малой мощности не нуждаются в токоограничении. Маломощные электропривода могут быть оснащены естественным токоограничением, достигается это за счет достаточно большого сопротивления самой якорной цепи. Кроме того, повышения тока в якорной цепи следящих электроприводах можно ограничить с помощью регулятора положения в контуре угла. Поэтому в структуре следящего электропривода СЭС нет необходимости предусматривать контур тока. Достаточно лишь ограничивать только контур скорости и угла.

Контуром скорости обеспечивается повышенная стабильности движения всей установки в режиме низких скоростей, также это позволяет увеличить полосу пропускания электропривода, что помогает увеличить точность следящего электропривода. Необходимые динамические свойства и требуемую точность следящего электропривода придает датчик абсолютного положения угла.

В зависимости от установки мощности следящего электропривода изменяется тип управляемого преобразователя напряжения. Часто целесообразно применять для следящего электропривода СЭС в отношении простоты технической реализации, точности, и эксплуатации тиристорные и транзисторные преобразователи. Во многом структуру следящего электропривода определяют исполнение и тип управляемого преобразователя напряжения. Учитывая значительную жесткость всей конструкции исполнительного механизма СЭС, можно сделать допущение, что абсолютно вся упругая податливость системы обусловлена кинематической цепью, состоящей из выходной передачи и редуктора, при этом редуктор соединен с коренным зубчатым колесом. Ввиду несоизмеримости с приведенными моментами инерции исполнительного механизма и двигателя, моменты инерции элементов кинематической цепи взяты равными нулю. Это позволило в расчетах принять двухмассовую упругую систему механической части электропривода, что отражено в структурной схеме в рисунке 1.6.

В состав электромеханической схемы следящего электропривода входят: регулятор положения, измерительное устройство, управляемый преобразователь напряжения, сам электродвигатель и исполнительный механизм.

При построение структурной схемы механической части электропривода учитывается его упругость и вязкое трение на исполнительном валу, кинематический люфт.

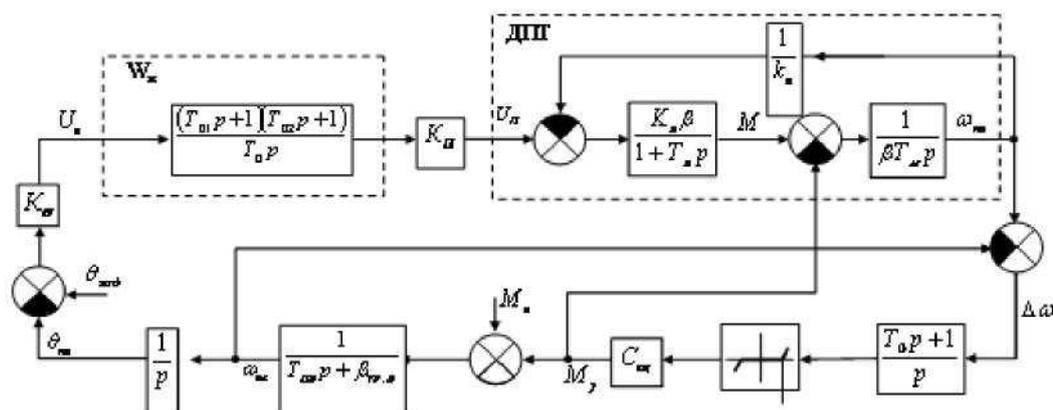


Рисунок 1.6 – Структурная схема одноконтурного следящего электропривода СЭС

Что бы снизить требования, предъявляемые к полосе пропускания следящего электропривода и исключить статистическую и скоростную ошибки в структурной схеме следящего электропривода заложен астатизм второго порядка. На практике также существуют системы следящего электропривода астатизма первого и второго порядков. К недостаткам первой категории следящего электропривода относят наличие скоростной и статистической системы ориентации. Следящие системы, которые обладают астатизмом третьего порядка, дополнительно снижают требования, предъявляемые к полосе пропускания следящего электропривода и исключают ошибку от ускорения. Однако подобные системы относят к категории условно устойчивых к нелинейностям. Реальные следящие электропривода СЭС обладают рядом нелинейностей. К примеру: кинематические люфты, зона насыщения и чувствительности в выходной характеристике управляемого преобразователя напряжения, нелинейность зависимости разности углов исполнительного вала и поворота вала двигателя от упругого момента, насыщение характеристике

датчика рассогласования, дрейф нуля усилителя постоянного тока и т.д. Наличие перечисленных нелинейностей в следящем электроприводе с астатизмом третьего порядка сделает систему неустойчивой, следовательно, неработоспособной.

Следящая система имеющая астатизм второго порядка практически нечувствительна к нелинейностям, чем та же система с астатизмом третьего порядка, при этом обладая большими точностными возможностями, чем следящий электропривод с астатизмом первого порядка. В связи с этим за основу принята структура следящего электропривода с астатизмом второго порядка [12].

В схеме следящего электропривода, изображенного на рисунке 1.6, астатизм второго порядка реализуется с помощью ПИД регулятора угла, передаточная функция которого представлена в следующем виде:

$$W_{pn}(P) = \frac{U_{pn}(P)}{U_{\delta}(P)} = \frac{(T_{K1}P + 1)(T_{K2} + 1)}{T_0P} \quad (1.2)$$

где $U_{pn}(P)$ - изображение Лапласа выходного напряжения регулятора положения;

$U_{\delta}(P)$ - то же выходного напряжения измерительного устройства;

T_0, T_{K1}, T_{K2} - постоянные времени регулятора положения.

Интегральная составляющая в уравнение 1.2 повышает астатизм следящего электропривода до второго порядка обеспечивая тем самым устойчивость в системе. При этом основная дифференцирующая составляющая компенсирует ухудшение фазы от интегрирования. ПД-регулятор дополнительно увеличивает устойчивость следящего электропривода и расширяет полосу пропускания [13, 14].

ПИД регулятор положения может быть рекомендован для всех СЭС, там, где имеется необходимость повышения точности слежения. Для обобщения

возможных структур следящего электропривода СЭС, часть схемы, а именно передаточная функция системы преобразователь-двигатель, в дальнейшем будет изменяться. При допущении что постоянная времени преобразователя имеет малую величину, передаточная функция системы, описывается следующей функцией:

$$W_{n\partial}(P) = \frac{\omega_{\partial b}(P)}{U_{pn}(P)} = \frac{K_c}{T_{M1}P(T_{я}P + 1) + 1} \quad (1.3)$$

где $K_c = K_n K_{\partial}$ - коэффициент передачи контура скорости, 1/ВС;

K_n - коэффициент передачи управляемого преобразователя напряжения;

K_{∂} - коэффициент передачи двигателя 1/ВС;

$T_{я}$ - электромагнитная постоянная времени якорной цепи двигателя;

T_{M1} - электромеханическая постоянная времени двигателя, с.

В подобной простейшей схеме без дополнительных регулирующих звеньев и обратных связей практически невозможно менять нужным образом соотношение между данными постоянными, особенно, если это связано с их уменьшением, поэтому в знаменателе выражения 1.3 отсутствуют коэффициенты перед постоянными $T_{я}$ и T_{M1} .

Область применения одноконтурных структур в следящем электроприводе СЭС широка. В такой структуре, технически достаточно просто реализовать точность слежения, достаточной для большинства технологических процессов, в частности осуществляемых с помощью СЭС.

1.8 Вывод по разделу

В данной главе исследованы особенности и изучены требования к режимам работы электроприводов СЭС. Основными режимами следящего электропривода СЭС являются рабочие и вспомогательные. К рабочим

относятся такой режим как слежение, к вспомогательным режимам относят «переброс» исполнительного вала, «захват» и «поиск» объекта слежения. Система СЭС и его элементы должны быть защищены от попадания влаги и атмосферных осадков, а также допускать эксплуатацию во всем диапазоне температур.

Исследованы основные режимы работы солнечных электростанций. В том случае, если ветровая нагрузка отсутствуют и суммарный момент на исполнительном валу равен нулю, то основной негативной проблемой следящего электропривода являются автоколебания.

Исследована оценка экономии энергии в следящем электроприводе солнечной электростанции. Наиболее лучшим и оптимальным является пошаговый режим слежения за Солнцем. Так же электропривод достаточно разработать одноконтурным с отрицательной обратной связью по положению.

2 Расчет двигателя следящего электропривода солнечной электростанции

2.1 Определение главных размеров и выбор электромагнитных нагрузок

Вентильные двигатели также известные как электронно-коммутируемые двигатели, являются синхронными двигателями, питаемыми от постоянного тока через инвертор или импульсный источник питания, который производит электрический ток переменного тока управляя каждой фазой двигателя через контроллер замкнутого контура. Контроллер обеспечивает импульсы тока к обмоткам двигателя, которые управляют скоростью и крутящим моментом двигателя. Конструкция бесщеточной моторной системы, как правило, похожа на синхронный двигатель с постоянными магнитами [15].

Вентильный двигатель с тремя катушками на статоре будет иметь шесть электрических проводов (по два на каждую катушку). В большинстве реализаций три из этих проводов будут соединены внутренне, причем три оставшихся провода проложены от корпуса двигателя. Электропроводка в корпусе ВД сложнее, чем просто подключение положительных и отрицательных клемм силовой ячейки.

Одним из больших преимуществ является эффективность, так как эти двигатели могут непрерывно управлять при максимальной вращательной силе (крутящем моменте). Машинные двигатели, напротив, достигают максимального крутящего момента только в определенных точках вращения. Для щеточного двигателя, обеспечивающего такой же крутящий момент, что и бесщеточная модель, потребуется использовать большие магниты. Вот почему даже небольшие ВД могут обеспечить значительную мощность.

Второе большое преимущество, связанное с первым, - это управляемость. ВД могут управляться с помощью механизмов обратной связи для доставки точно необходимого крутящего момента и скорости вращения. Прецизионное управление, в свою очередь, уменьшает потребление энергии и тепловыделение.

ВД также обеспечивают высокую износостойкость и низкое электрическое шумоподавление благодаря отсутствию щеток. При использовании щеточных моторов, щетки и коммутатор изнашиваются в результате непрерывного перемещения контакта, а также создают искры. Электрические шумы, в частности, являются результатом сильных искр, которые имеют тенденцию возникать в областях, где щетки проходят через промежутки в коммутаторе. Вот почему ВД часто считаются предпочтительными в местах, где важно избегать электрических шумов.

Целью расчета являются проектные решения по конструкции вентильных двигателей мощности 0,12 кВт и 1,0 кВт.

Исходные данные для расчета.

Частота вращения вентильного двигателя в Гц.:

$$f_e = n_0 \cdot \frac{1}{60}; \quad (2.1)$$

где n_0 – номинальная частота вращения двигателя.

Соответственно для:

$$\text{ВД-120:} \quad f_e = 25 \text{ Гц.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad f_e = 50 \text{ Гц.}$$

Из технического задания потребляемая мощность ВД:

ВД-120: $P_B = 120$ Вт.

ВД-1000: $P_B = 1000$ Вт.

Момент на валу двигателя вычисляется как $M_B = \frac{P_B}{2 \cdot \pi \cdot f_e}$.

Соответственно для:

ВД-120: $M_B = 0,76$ Нм.

ВД-1000: $M_B = 3,18$ Нм.

По техническому заданию минимальный КПД для ВД120 и ВД1000 составляет $\eta_{min} = 0,9$.

Электропитание ВД базового исполнения должно осуществляться за счёт внутренней сети напряжением 24 В.

Выбор магнитного материала ВД. Исходя из практических соображений максимальная температура внутри двигателя обычно задается на уровне 120°C, что соответствует классу нагревостойкости изоляции Е. Заданный температурный режим позволяет использовать в качестве пазовой изоляции широко распространенные синтетические органические пленки и устанавливает для надежной работы двигателя необходимость выбора магнитного материала с рабочей температурой от 150°C.

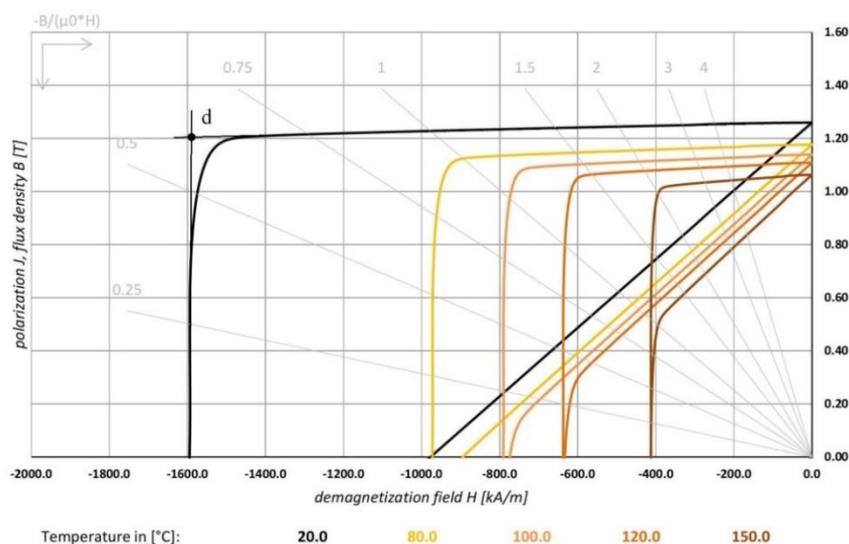


Рисунок 2.1 – Рабочая диаграмма магнита

Наибольший технико-экономический эффект может быть достигнут при использовании в ВД магнитов системы Nd-Fe-B, обладающих исключительно высокими гистерезисными характеристиками (остаточной индукцией B_r и коэрцитивной силой H_c). Рабочая диаграмма магнита марки 38SH с максимальной рабочей температурой 150°C [15] приведена на рисунке 2.1.

Основной расчет выполнен для $T = 25^\circ\text{C}$. Для крайних рабочих температур достаточно уточнить значение машинной постоянной (или силу тока в обмотке якоря, при которой достигается требуемый момент), а также убедиться в наличии запаса по размагничивающей силе в рабочем режиме.

По рисунку 2.2 определены магнитные параметры (остаточная индукция, коэрцитивная сила по намагниченности) материала НмБ 280/160 по ГОСТР 52956-2008. В результате получено:

Остаточная индукция - $B_r = 125$ Тл.

Коэрцитивная сила по намагниченности - $H_{cm} = 1592 \cdot 10^3$ А/м.

Магнитная постоянная это физическая константа, принята равной:

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/м}; \quad (2.2)$$

Для определения рабочей точки магнита выполнена аппроксимация рабочей характеристики магнита по методике, приведенной в.

Стандартная марка NdFeB	a ²⁾	Максимальное энергетическое произведение $(BH)_{\text{max}}$, кДж/м ³	Остаточная магнитная индукция B_r , Тл	Коэрцитивная сила		Магнитная проницаемость возврата μ_{rec}	Плотность d , кг м ⁻³
				по магнитной индукции H_{cb} , кА/м	по намагниченности H_{cm} , кА/м		
НмБ 210/160	а	210—250	1,06—1,13	790—840	≥ 1600	От 1,05 до 1,10	От 7,3 до 7,6
НмБ 250/160	а	250—280	1,13—1,21	840—900	≥ 1600		
НмБ 280/160	а	280—310	1,21—1,30	900—920	≥ 1600		
НмБ 310/160	а	310—330	1,30—1,32	920—950	≥ 1600		
НмБ 150/190	а	150—170	0,94—0,98	680—700	≥ 1900		
НмБ 170/190	а	170—200	0,98—1,06	700—760	≥ 1900		
НмБ 200/190*	а	200—240	1,06—1,16	760—840	≥ 1900		
НмБ 240/200*	а	240—260	1,16—1,21	760—840	≥ 2000		
НмБ 260/200*	а	260—280	1,21—1,25	840—900	≥ 2000		
НмБ 150/240	а	150—170	0,94—0,98	680—700	≥ 2400		
НмБ 170/240	а	170—210	0,98—1,06	700—760	≥ 2400		
НмБ 210/240*	а	210—250	1,06—1,20	760—830	≥ 2400		
НмБ 250/240*	а	250—280	1,20—1,25	830—860	≥ 2400		
НмБ 150/270	а	150—170	0,94—0,98	680—700	≥ 2700		
НмБ 170/270	а	170—210	0,98—1,06	700—780	≥ 2700		
НмБ 210/270	а	210—250	1,06—1,20	780—830	≥ 2700		
НмБ 250/270	а	250—280	1,20—1,23	830—850	≥ 2700		

Рисунок 2.2 – Магнитные параметры и плотность материала

Остаточная намагниченность находится по формуле:

$$M_r = \frac{B_r}{\mu_0}; \quad (2.3)$$

где B_r – остаточная индукция;

μ_0 – магнитная постоянная;

$$M_r = 9,95 \cdot 10^5 \text{ А/м.}$$

По графику определены M_d , H_d (точка d на рисунок 2.1). H_d и B_d - координатные точки, определяющие максимум удельной энергии:

$$B_d = 1,2 \text{ Тл.; } H_d = 1580 \cdot 10^3 = 1,58 \cdot 10^6 \text{ А/м.}$$

$$M_d = \frac{B_d}{\mu_0}; \quad (2.4)$$

$$M_d = 9,95 \cdot 10^5 \text{ А/м.}$$

Аппроксимирующее выражение имеет вид:

$$M(H) = M_r \cdot \frac{H_{см} - H}{H_{см} - k \cdot H}; \quad (2.5)$$

Числовой коэффициент k определен по выражению:

$$k = 2 \cdot \sqrt{\frac{M_r \cdot H_{см}}{M_d \cdot H_d} - \frac{M_r - H_{см}}{M_d \cdot H_d}}; \quad (2.6)$$

где $H_{см}$ – коэрцитивная сила по намагниченности;

M_r – остаточная намагниченность.

Таким образом, $k = 1$.

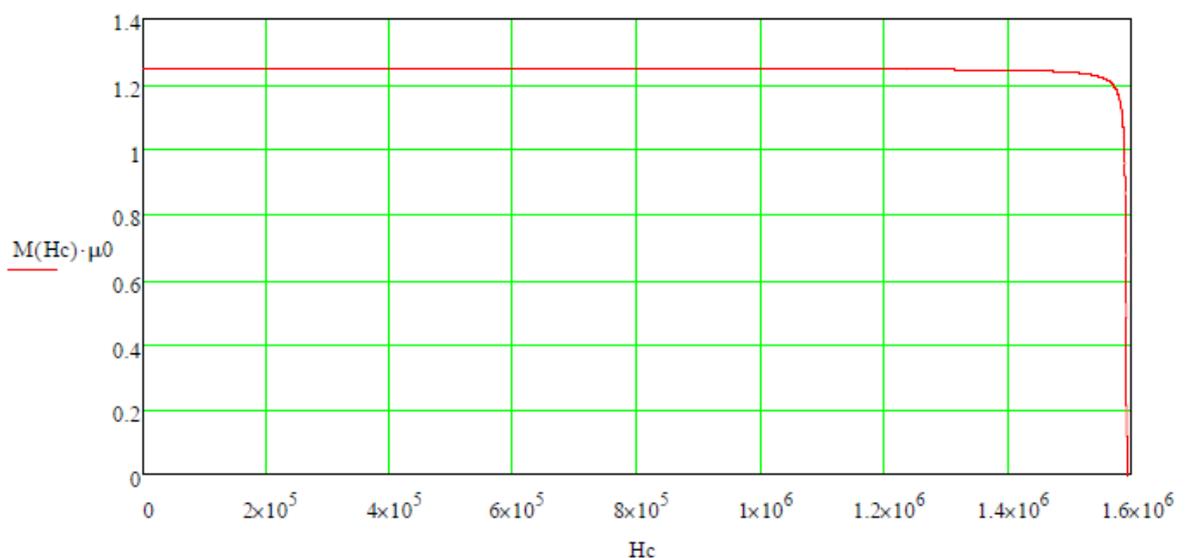


Рисунок 2.3 – Аппроксимированная рабочая характеристика магнита

$$U_{d \min} = 24 \cdot 0,85 = 20,4 \text{ В.}; \quad (2.7)$$

Расчет габаритных параметров.

Наружный диаметр корпуса двигателя:

$$\text{ВД-120:} \quad D_k = 98 \text{ мм.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad D_k = 139 \text{ мм.}$$

Толщина стенки корпуса:

$$\text{ВД-120:} \quad h_{\text{ст}} = 4 \text{ мм.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad h_{\text{ст}} = 5 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр статорного пакета определены по формуле:

$$D_H = D_k - 2 \cdot h_{\text{ст}}; \quad (2.8)$$

$$\text{ВД-120:} \quad D_H = 90 \text{ мм.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad D_H = 129 \text{ мм.}$$

Длина пакета якоря соответственно:

$$\text{ВД-120:} \quad l_{\text{я}} = 50 \text{ мм.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad l_{\text{я}} = 45 \text{ мм.}$$

Диаметр вала (в зоне индуктора):

$$\text{ВД-120:} \quad D_{\text{вала}} = 12 \text{ мм.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad D_{\text{вала}} = 23 \text{ мм.}$$

Геометрические параметры, ограниченные технологически:

Воздушный зазор:

$$\text{ВД-120:} \quad \delta = 0,5 \text{ мм.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad \delta = 0,7 \text{ мм.}$$

Параметры, приведенные ниже, имеют одинаковые значения как для ВД-120, так и для ВД-1000.

Высота усиков индуктора:

$$h_y = 1,5 \text{ мм.}$$

Высота ярма индуктора:

$$h_j = 1,5 \text{ мм.}$$

Мин. высота спинки якоря:

$$h_{a \min} = 3 \text{ мм.}$$

Мин. диаметр паза якоря:

$$d_{2 \min} = 2 \text{ мм.}$$

Мин. ширина зубца якоря:

$$b_{z \min} = 2 \text{ мм.}$$

Высота шлица (усиков) якоря:

$$h_{\text{ш}} = 1 \text{ мм.}$$

Ширина шлица:

$$b_{\text{ш}} = 1,7 \text{ мм.}$$

Коэффициент заполнения сталью:

$$k_c = 0,9.$$

Число фаз обмотки:

$$m_{\text{фаз}} = 3.$$

Число пазов на полюс и фазу:

$$q = 2.$$

Индукция в полюсах индуктора и зубцах якоря

$$\text{ВД-120:} \quad B_n = 1,5 \text{ Тл; } B_z = 1,5 \text{ Тл.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad B_n = 1,5 \text{ Тл; } B_z = 1,6 \text{ Тл.}$$

Коэффициент насыщения:

$$k_\mu = 1,2.$$

Внутренний диаметр установки магнитов (касательная):

$$D_{\text{вн}} = D_{\text{вала}} + 2 \cdot h_j; \quad (2.9)$$

$$\text{ВД-120:} \quad D_{\text{вн}} = 15 \text{ мм.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad D_{\text{вн}} = 26 \text{ мм.}$$

Геометрия магнитов. Высота магнита из условия максимума магнитной энергии магнитов:

$$h_{m \min} = 1,3 \cdot \frac{\delta \cdot B_{\text{п}}}{\mu_0 \cdot H_d}; \quad (2.10)$$

где $B_{\text{п}}$ – индукция в полюсах индуктора;

μ_0 – магнитная постоянная это физическая константа;

δ – воздушный зазор;

H_d – координатная точка, определяющая максимум удельной энергии.

ВД-120: $h_{min} = 0,49$ мм.

ВД-1000: $h_{min} = 0,69$ мм.

Выберем призматические магниты с габаритными размерами 25x15x4. При неудовлетворительном результате изменим размеры магнитов и повторим расчет.

Высота магнитов обоих двигателей (половина последнего размера):

$$h_m = 2 \text{ мм.}$$

Ширина магнита:

ВД-120: $b_m = 15$ мм.

ВД-1000: $b_{min} = 25$ мм.

Число пар полюсов из условия насыщения полюсов (при условии максимального использования магнитного материала):

$$p_{max 1} = \frac{1,57}{\arcsin(B_d/B_n)}; \quad (2.11)$$

ВД-120: $p_{max 1} = 1,69$.

ВД-1000: $p_{max 1} = 1,69$.

Максимальное число пар полюсов из условия размещения магнитов:

$$p_{max 2} = 0,785 \cdot \frac{D_{BH}}{H_m}; \quad (2.12)$$

ВД-120: $p_{max 2} = 5,89$.

ВД-1000: $p_{max 2} = 10,21$.

Таким образом число пар полюсов:

ВД-120: $p = 2$.

ВД-1000: $p = 3$.

2.2 Определение числа пазов и их размеров

Максимальное значение диаметра якоря находится из условий технологических ограничений:

$$D_{amax} = D_H - 2 \cdot (h_{amin} + d_{2min} + h_{ш}); \quad (2.13)$$

где $h_{ш}$ - высота шлица (усиков) якоря;

d_{2min} – минимальный диаметр паза якоря;

h_{amin} – минимальное значение спинки якоря.

ВД-120: $D_{amax} = 78$ мм.

ВД-1000: $D_{amax} = 117$ мм.

Минимальное значение диаметра якоря находится из условия технологических ограничений по геометрии якоря:

$$D_{aminl} = 0,64 \cdot p \cdot q \cdot m \cdot (b_{zmin} + d_{2min}); \quad (2.14)$$

где p – число пар полюсов;

m – число фаз обмотки;

q – число пазов на полюс и фазу;

d_{2min} – минимальный диаметр паза якоря;

b_{zmin} – минимальные значения зубца якоря.

ВД-120: $D_{aminl} = 10,24$ мм.

ВД-1000: $D_{aminl} = 15,36$ мм.

Диаметр ротора определен как:

$$D_u = D_{BH} + 2 \cdot (b_m + h_y); \quad (2.15)$$

где b_m – ширина магнита;

h_y – высота усиков индуктора.

ВД-120: $D_u = 48$ мм.

ВД-1000: $D_u = 79$ мм.

Диаметр якоря определен как:

$$D_a = D_u + 2 \cdot \delta; \quad (2.16)$$

где δ – воздушный зазор.

ВД-120: $D_a = 49$ мм.

ВД-1000: $D_a = 80,4$ мм.

Полюсное деление определяется:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_a}{2 \cdot p}; \quad (2.17)$$

где p – число пар полюсов;

D_a – диаметр якоря.

Для ВД-120: $\tau = 38,48$ мм.

Для ВД-1000: $\tau = 42,1$ мм.

Число пазов якоря:

$$z = 2 \cdot p \cdot m_{\text{фаз}} \cdot q; \quad (2.18)$$

где p – число пар полюсов;

$m_{\text{фаз}}$ – число фаз обмотки;

q – число пазов на полюс и фазу.

Для ВД-120: $z = 24$ мм.

Для ВД-1000: $z = 36$ мм.

Зубцовое деление:

$$t = \frac{\pi \cdot D_a}{z}; \quad (2.19)$$

где z – число пазов якоря;

D_a – диаметр якоря.

Для ВД-120: $t = 6,41$ мм.

Для ВД-1000: $t = 7,02$ мм.

Коэффициент воздушного зазора:

$$k_{\delta} = \frac{t + 10 \cdot \delta}{t + 10 \cdot \delta - b_{\text{ш}}}; \quad (2.20)$$

где δ – воздушный зазор;

$b_{\text{ш}}$ – ширина шлица;

t – зубцовое деление.

Для ВД-120: $k_{\delta} = 1,18$ мм.

Для ВД-1000: $k_{\delta} = 1,14$ мм.

Ширина межполюсного промежутка:

$$\alpha_k = t - b_{ш} = 5,32; \quad (2.21)$$

где $b_{ш}$ – ширина шлица;

t – зубцовое деление.

ВД-120: $\alpha_k = 4,71$ мм.

ВД-1000: $\alpha_k = 5,32$ мм.

Сравниваются $\alpha_k < 2h_m$. Если условие не выполняется, тогда α_k принимается как 4 мм.

Ширина полюса:

$$b_n = \tau - \alpha_k; \quad (2.22)$$

где τ – полюсное деление;

α_k – ширина межполюсного промежутка.

ВД-120: $b_n = 38,48$ мм.

ВД-1000: $b_n = 38,1$ мм.

Расчётный коэффициент полюсного перекрытия одинаковый для обоих двигателей:

$$a_\delta = \frac{b_n}{\tau}; \quad (2.23)$$

где b_n – ширина полюса;

τ – полюсное деление.

$$a_\delta = 0,9.$$

Расчётная ширина воздушного зазора b_δ равна ширине полюса b_n :

ВД-120: $b_\delta = b_n = 34,48$ мм.

ВД-1000: $b_\delta = b_n = 38,1$ мм.

Длина зазора l_δ , длина магнита l_m (суммарная так как 2 магнита установлены в ряд):

Справедливо для обоих двигателей: $l_\delta = l_я$ и $l_m = l_я$,

где $l_я$ – длина пакета якоря.

Сечение воздушного зазора на одном полюсном делении:

$$Q_\delta = b_\delta \cdot l_\delta; \quad (2.24)$$

где l_δ – длина зазора;

b_δ – ширина воздушного зазора.

$$\text{ВД-120:} \quad Q_\delta = 1,72 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

$$\text{ВД-1000:} \quad Q_\delta = 1,71 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Проверка ширины магнита:

$$b_m = 0,5 \cdot (D_a - D_{\text{вн}}) - h_y - \delta; \quad (2.25)$$

где δ – воздушный зазор;

h_y – высота усиков индуктора;

D_a – диаметр якоря;

$D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр установки магнитов.

$$\text{ВД-120:} \quad b_m = 0,02 \text{ м.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad b_m = 0,03 \text{ м.}$$

Площадь магнитов в нейтральном сечении, приходящаяся на одно полюсное деление:

$$Q_m = 2 \cdot b_m \cdot l_m = 2,25 \cdot 10^{-3}; \quad (2.26)$$

где b_m – ширина магнита;

l_m – длина магнита;

$$\text{ВД-120:} \quad Q_m = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

$$\text{ВД-1000:} \quad Q_m = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Приведённая магнитная проводимость рабочего зазора:

$$\lambda_\delta = \mu_0 \cdot \frac{h_m \cdot Q_\delta}{\delta \cdot k_\delta \cdot k_\mu \cdot Q_m}; \quad (2.27)$$

где h_m – высота магнита;

μ_0 – магнитная постоянная это физическая константа;

δ – воздушный зазор;

Q_δ – сечение воздушного зазора на одном полюсном делении;

k_δ – коэффициент воздушного зазора;

k_μ – коэффициент насыщения;

Q_m – площадь магнитов в нейтральном сечении, приходящаяся на одно полюсное деление.

$$\text{ВД-120:} \quad \lambda_{\delta} = 4,1 \cdot 10^{-6} \text{ Н/м.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad \lambda_{\delta} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-3} \text{ Н/м.}$$

Коэффициентом рассеяния выбирается из характеристик магнитного материала, который справедлив для обоих двигателей:

$$k_{\delta} = 1,15.$$

Полная приведённая проводимость:

$$\lambda = k_{\delta} \cdot \lambda_{\delta}; \quad (2.28)$$

где k_{δ} – коэффициентом рассеяния;

λ_{δ} – приведённая магнитная проводимость рабочего зазора.

$$\text{ВД-120:} \quad \lambda = 4,71 \cdot 10^{-6} \text{ Н/м.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad \lambda = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ Н/м.}$$

Для определения координат рабочей точки на рабочей диаграмме магнита используются формулы:

$$a_1 = \frac{1}{k} \cdot \left(H_{\text{см}} + \frac{B_r}{\lambda + \mu_0} \right); \quad (2.29)$$

$$a_2 = \frac{H_{\text{см}} \cdot B_r}{k \cdot (\lambda + \mu_0)}; \quad (2.30)$$

где k – числовой коэффициент;

$H_{\text{см}}$ – коэрцитивная сила по намагниченности;

B_r – остаточная индукция;

λ – полная приведённая проводимость;

μ_0 – магнитная постоянная это физическая константа.

$$\text{Для ВД-120:} \quad a_1 = 1,8 \cdot 10^6 \text{ А/м} \quad a_2 = 3,34 \cdot 10^{11} \text{ А}^2/\text{м}^2.$$

$$\text{Для ВД-1000:} \quad a_1 = 1,94 \cdot 10^6 \text{ А/м} \quad a_2 = 5,59 \cdot 10^{11} \text{ А}^2/\text{м}^2.$$

в) магнитная напряжённость в рабочей точке:

$$H_p = 0,5 \cdot a_1 - \sqrt{(0,5 \cdot a_1)^2 - a_2}; \quad (2.31)$$

где a_1 и a_2 - координат рабочей точки на рабочей диаграмме магнита.

$$\text{ВД-120:} \quad H_p = 2,09 \cdot 10^5 \text{ А/м.}$$

ВД-1000: $H_p = 3,51 \cdot 10^5 \text{ А/м.}$

г) индукция в рабочей точке, соответствующая полезному потоку

$$B_{\delta m} = \lambda_{\delta} \cdot H_p; \quad (2.32)$$

где λ_{δ} – приведённая магнитная проводимость рабочего зазора;

H_p – магнитная напряжённость в рабочей точке.

Для ВД-120: $B_{\delta m} = 0,86 \text{ Тл.}$

Для ВД-1000: $B_{\delta m} = 0,7 \text{ Тл.}$

Расчётная индукция в зазоре:

$$B_{\delta} = B_{\delta m} \cdot \frac{Q_m}{Q_{\delta}}; \quad (2.33)$$

где $B_{\delta m}$ – индукция в рабочей точке, соответствующая полезному потоку;

Q_m – площадь магнитов в нейтральном сечении, приходящаяся на одно полюсное деление;

Q_{δ} – сечение воздушного зазора на одном полюсном делении.

Для ВД-120: $B_{\delta} = 0,75 \text{ Тл.}$

Для ВД-1000: $B_{\delta} = 0,92 \text{ Тл.}$

Ширина зубца якоря:

$$b_z = \frac{\pi \cdot D_a \cdot B_{\delta}}{k_c \cdot z \cdot B_z}; \quad (2.34)$$

где D_a – диаметр якоря;

B_{δ} – расчётная индукция в зазоре;

B_z – индукция в полюсах;

z – число пазов якоря;

k_c – коэффициент заполнения стали.

ВД-120: $b_z = 3,55 \text{ мм.}$

ВД-1000: $b_z = 4,5 \text{ мм.}$

Высота спинки якоря:

$$h_a = a_{\delta} \cdot \frac{z \cdot b_z}{4 \cdot p}; \quad (2.35)$$

где z – число пазов якоря;

b_z – ширина зубца якоря;

p – число полюсов;

a_δ – расчётный коэффициент полюсного перекрытия.

ВД-120: $h_a = 9,53$ мм.

ВД-1000: $h_a = 12,21$ мм.

Сравниваются $b_z > b_{zmin}$. Ширина зубца больше минимальной ширины зубцов (2 мм): условие выполняется, тем самым берется значения b_z . Это справедливо для обоих двигателей.

Меньший диаметр паза якоря:

$$d_2 = \frac{\pi \cdot (D_a + 2 \cdot h_m) - z \cdot b_z}{z - \pi}; \quad (2.36)$$

где D_a – диаметр якоря;

h_m – высота шлица (усиков) якоря;

z – число пазов якоря;

b_z – ширина зубца якоря.

Для ВД-120: $d_2 = 3,6$ мм.

Для ВД-1000: $d_2 = 2,95$ мм.

Сравнивается условие $d_2 > d_{2min}$. Минимальный диаметр $d_{2min} = 2$ мм.

Условие выполняется для обоих двигателей

Диаметр окружности якоря, соответствующий расположению центров меньших диаметров пазов якоря:

$$D_2 = D_a + h_y + d_2 = 84,85; \quad (2.37)$$

где D_a – диаметр якоря;

h_y – высота усиков индуктора;

d_2 – меньший диаметр паза якоря.

Для ВД-120: $D_2 = 54,1$ мм.

Для ВД-1000: $D_2 = 84,85$ мм.

Сравниваются h_a и $h_{amin} = 3$ мм. Условие выполняется, так как $h_a > h_{amin}$.

Для полуовальных пазов определяют диаметры паза, показанные на рисунке 2.4, где D_1' – больший диаметр паза, d_1' – меньший диаметр паза.

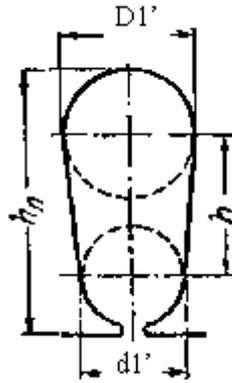


Рисунок 2.4 – Геометрические размеры паза

$$D_1' = D_H - 2 \cdot h_a; \quad (2.38)$$

где D_H – Наружный диаметр статорного пакета;

h_a - высота спинки якоря;

b_z - ширина зубца якоря.

ВД-120: $D_1' = 0,07$ мм.

ВД-1000: $D_1' = 104,58$ мм.

$$d_1' = \frac{\pi}{z} \cdot D_1' - b_z = 4,63 \text{ мм}, \quad (2.39)$$

ВД-120: $d_1' = 5,74$ мм.

ВД-1000: $d_1' = 4,63$ мм.

Площадь для полуовального паза:

$$Q_{\Pi} = \frac{\pi \cdot (D_1'^2 - D_2'^2)}{4} + \frac{\pi \cdot d_2^2}{2} - b_z \cdot \frac{(D_1' - D_2')}{2}; \quad (2.40)$$

где D_1' – диаметр полуовальных пазов;

D_2' – диаметр окружности якоря, соответствующий расположению центров меньших диаметров пазов якоря;

b_z - ширина зубца якоря;

d_2 - меньший диаметр паза якоря.

Для ВД120: $Q_{\Pi} = 4,41 \cdot 10^{-5}$ м2.

Для ВД1000: $Q_{\Pi} = 4,06 \cdot 10^{-5} \text{ м2.}$

Расчёт магнитной цепи ВМД с тангенциальными постоянными магнитами.

Основной магнитный поток определяется как:

$$\Phi_{\delta} = 2 \cdot B_{\delta m} \cdot b_m \cdot l_m; \quad (2.41)$$

где $B_{\delta m}$ – индукция в рабочей точке;

b_m – ширина магнита;

l_m – длина магнита.

ВД-120: $\Phi_{\delta} = 1,29 \text{ Вб.}$

ВД-1000: $\Phi_{\delta} = 1,58 \text{ Вб.}$

$$\Phi_{\delta}' = 2 \cdot B_{\delta} \cdot b_n \cdot l_m; \quad (2.42)$$

где B_{δ} – расчётная индукция в зазоре;

b_n – ширина полюса;

l_m – длина магнита.

ВД-120: $\Phi_{\delta}' = 1,29 \text{ Вб.}$

ВД-1000: $\Phi_{\delta}' = 1,58 \text{ Вб.}$

Фактическая индукция в спинке якоря

$$B_a = \frac{\Phi_{\delta}}{2 \cdot k_c \cdot h_a \cdot l_{я}}; \quad (2.43)$$

где Φ_{δ} – основной магнитный поток;

k_c – коэффициент заполнения сталью;

h_a – высота спинки якоря;

$l_{я}$ – длина пакета якоря.

ВД-120: $B_a = 1,5 \text{ Тл.}$

ВД-1000: $B_a = 1,6 \text{ Тл.}$

Фактическая индукция в зубцах якоря:

$$B_z = \frac{\pi \cdot D_a \cdot B_{\delta}}{2 \cdot k_c \cdot z \cdot b_z}; \quad (2.44)$$

где D_a – диаметр якоря;

B_{δ} – расчётная индукция в зазоре;

k_c – коэффициент заполнения сталью;

z – число пазов якоря;

b_z – ширина зубца якоря.

Для ВД-120: $B_z = 1,5$ Тл.

Для ВД-1000: $B_z = 1,6$ Тл.

Длина силовой линии зубцовой зоны (на один полюс):

$$L_z = 0,5 \cdot (D_1' - D_a); \quad (2.45)$$

где D_1' – больший диаметр полуовального паза;

D_a – диаметр якоря.

Для ВД-120: $L_z = 10,97$ мм.

Для ВД-1000: $L_z = 12,09$ мм.

Длина силовой линии в спинке якоря (на один полюс):

$$L_a = \frac{\pi \cdot (D_H - h_a)}{4 \cdot p} + 0,5 \cdot h_a; \quad (2.46)$$

где D_H – наружный диаметр статорного пакета;

h_a – высота спинки якоря;

p – число пар полюсов.

ВД-120: $L_a = 36,37$ мм.

ВД-1000: $L_a = 36,68$ мм.

МДС воздушного зазора:

$$F_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0} \cdot \delta \cdot k_\delta; \quad (2.47)$$

где B_δ – расчётная индукция в зазоре;

μ_0 – магнитная постоянная;

δ – воздушный зазор между статором и ротором;

k_δ – коэффициент воздушного зазора.

ВД-120: $F_\delta = 348,99$ А.

ВД-1000: $F_\delta = 585,05$ А.

2.3 Расчет противо-ЭДС

Высшие гармоники ЭДС искажают напряжение сети, что приводит к дополнительным потерям в электроприемниках и самой сети. Высшие гармоники являются также причиной шумов и вибраций в электрических машинах. Поэтому в электрических машинах принимаются меры к подавлению высших гармоник. Первой из таких мер является улучшение формы кривой распределения самого поля. Для улучшения формы противо-ЭДС обмотка выполнена распределенной с укорочением шага [15]. Пазы статора (якоря) выполнены со скосом на 1 зубец.

Величина скоса:

Для улучшения формы кривой ЭДС обмотки и для других целей осуществляется скос пазов относительно бегущего магнитного поля. Он определяется с использованием диаграммы, приведенной на рисунке 2.5.

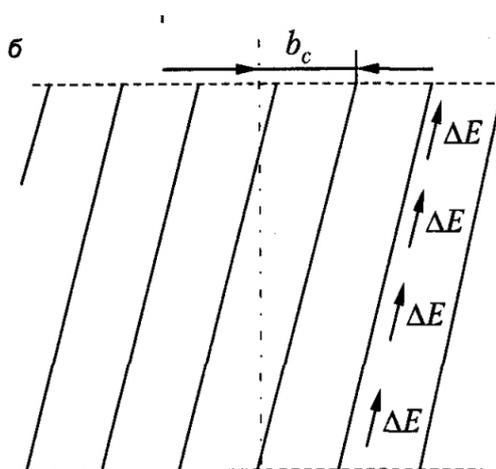


Рисунок 2.5 – ЭДС проводника при скосе пазов

$$b_c = \frac{2 \cdot p \cdot \tau}{z}; \quad (2.48)$$

где p - число пар полюсов;

τ - полюсное деление;

z - число пазов якоря.

ВД-120: $b_c = 6,41$ мм.

ВД-1000: $b_c = 7,02$ мм.

Коэффициент скоса.

$$K_c = \frac{\sin\left(\frac{b_c}{\tau} \cdot \frac{\pi}{2}\right)}{\left(\frac{b_c}{\tau} \cdot \frac{\pi}{2}\right)}; \quad (2.49)$$

где b_c – величина скоса;

τ – полюсное деление.

Для ВД-120: $K_c = 0,99$.

Для ВД-1000: $K_c = 0,99$.

Угол сдвига ЭДС соседних катушек (γ) соответствует углу сдвига катушек относительно друг друга в магнитном поле (рисунок 2.6).

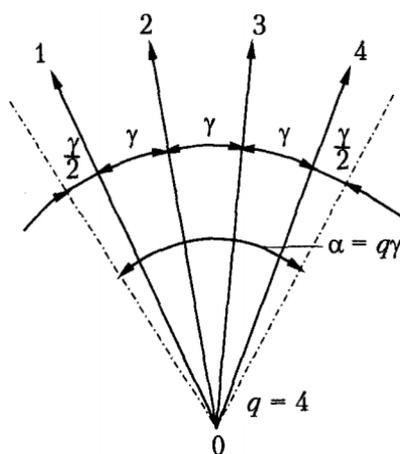


Рисунок 2.6 – ЭДС катушек катушечной группы

$$\gamma = \frac{2 \cdot \pi \cdot p}{z}; \quad (2.50)$$

где p - число пар полюсов;

z - число пазов якоря.

ВД-120: $\gamma = 33,07^\circ$.

ВД-1000: $\gamma = 33,07^\circ$.

При этом вся группа из q катушек занимает по окружности якоря угол (электрический) называемый углом фазной зоны:

$$\alpha = q \cdot \gamma; \quad (2.51)$$

Для ВД-120: $\alpha = 60^\circ$

Для ВД-1000: $\alpha = 60^\circ$

Коэффициент распределения обмотки характеризует уменьшение ЭДС катушечной группы вследствие распределения ее витков в отдельных пазах.

$$K_p = \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{q \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2 \cdot q}\right)}; \quad (2.52)$$

ВД-120: $K_p = 0,97.$

ВД-1000: $K_p = 0,97.$

Шагом обмотки по пазам называется расстояние между активными сторонами катушки (рисунок 2.7).

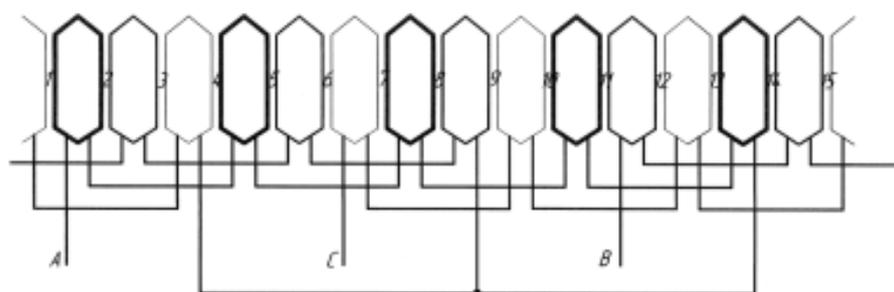


Рисунок 2.7 – Схема обмотки статора

$$y = \frac{z}{2 \cdot p} - 1; \quad (2.53)$$

где p - число пар полюсов;

z - число пазов якоря.

ВД-120: $y = 5,$

ВД-1000: $y = 5.$

Относительный шаг

$$\beta = \frac{y \cdot 2 \cdot p}{z}; \quad (2.54)$$

где y – шаг обмотки;

p - число пар полюсов;

z - число пазов якоря.

ВД-120: $\beta = 0,83.$

ВД-1000: $\beta = 0,83.$

Коэффициент укорочения шага обмотки:

$$K_y = \sin \frac{\beta \cdot \pi}{2}; \quad (2.55)$$

где β – относительный шаг обмотки.

$$\text{ВД-120:} \quad K_y = 0,97.$$

$$\text{ВД-1000:} \quad K_y = 0,97.$$

Коэффициент обмотки:

$$K_{об} = K_p \cdot K_y, \quad (2.56)$$

где K_p – коэффициент распределения обмотки;

K_y - коэффициент укорочения шага обмотки.

$$\text{ВД-120:} \quad K_{об} = 0,93.$$

$$\text{ВД-1000:} \quad K_{об} = 0,93.$$

ЭДС витка равна геометрической разности ЭДС проводников (рисунок 2.8)

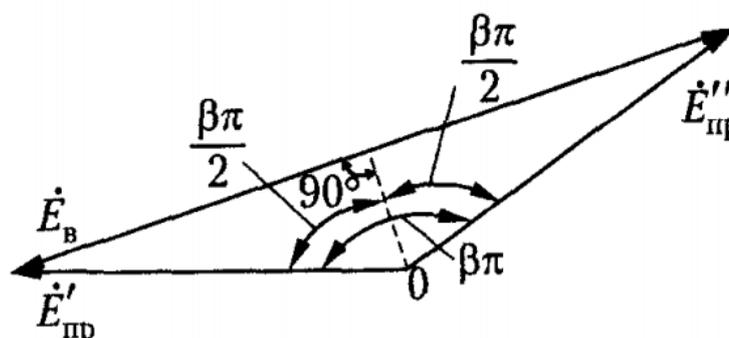


Рисунок 2.8 – Определение ЭДС витка

$$E_{ком} = 2 \cdot p \cdot f_B \cdot \Phi_\delta \cdot K_{об} \cdot K_c; \quad (2.57)$$

где f_B – частота вращения ВД;

Φ_δ – основной магнитный поток;

$K_{об}$ – коэффициент обмотки;

K_c – коэффициент скоса.

$$\text{ВД-120:} \quad E_{ком} = 0,19 \text{ В.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad E_{ком} = 0,46 \text{ В.}$$

Максимальное падение напряжения на обмотке и ключах коммутатора (одинаково для обоих двигателей):

$$\Delta U_d = 1 \text{ В.}$$

Максимальное амплитудное значение противоЭДС каждой обмотки. Обмотки включены по схеме "звезда" как показано на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 – Схема звезда

Обмотки управляются с трехфазного инвертора с векторным управлением. Таким образом, линейное напряжение обмоток соответствует напряжению шины питания постоянного тока минус падение напряжения на ключах и активном сопротивлении обмоток.

$$E_{m_max} = \frac{U_{d\ min} - \Delta U_d}{\sqrt{3}}; \quad (2.58)$$

где $U_{d\ min}$ – напряжение питания минимальное;

ΔU_d – максимальное падение напряжения на обмотке и ключах коммутатора.

Для ВД-120: $E_{m_max} = 11,2 \text{ В.}$

Для ВД-1000: $E_{m_max} = 11,2 \text{ В.}$

Необходимое число витков в расчете на 1 паз и 1 пару полюсов (целое число)

$$W_n = \frac{E_{m_max}}{E_{k0m} \cdot p \cdot q}; \quad (2.59)$$

где E_{m_max} – максимальное амплитудное значение противоЭДС;

E_{k0m} – ЭДС витка амплитудное;

p – число пар полюсов;

q – число пазов на полюс и фазу.

$$\text{ВД-120:} \quad W_n = 15.$$

$$\text{ВД-1000:} \quad W_n = 4.$$

Уточним амплитудное значение противоЭДС после округления

$$E_m = E_{k0m} \cdot p \cdot q \cdot W_n; \quad (2.60)$$

где E_{k0m} – ЭДС витка амплитудное;

p – число пар полюсов;

q – число пазов на полюс и фазу;

W_n – необходимое число витков.

$$\text{ВД-120:} \quad E_m = 11,19 \text{ В.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad E_m = 11 \text{ В.}$$

Действующее значение противоЭДС (форма близка к синусоидальной)

$$E_{rms} = \frac{E_m}{\sqrt{2}}; \quad (2.61)$$

где E_m – амплитудное значение противоЭДС.

$$\text{ВД-120:} \quad E_{rms} = 7,91 \text{ В.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad E_{rms} = 7,78 \text{ В.}$$

Действующее значение тока в обмотках

$$I_w = \frac{P_m}{E_{rms} \cdot 3}; \quad (2.62)$$

где E_{rms} – действующее значение противоЭДС;

P_m – мощность ВД.

$$\text{ВД-120:} \quad I_w = 5,06 \text{ А.}$$

$$\text{ВД-1000:} \quad I_w = 42,84 \text{ А.}$$

2.4 Активные и индуктивные сопротивления

Коэффициентом заполнения паза называется та доля поперечного сечения паза, которая может быть занята проводниками с их изоляцией. Его величина зависит от формы паза – она тем больше, чем закругленнее очертания паза, и возрастает с увеличением его размеров (следовательно, выше у более крупных машин), но почти не зависит от диаметра проводника, и только при очень значительном увеличении последнего заметно уменьшается, так как очень толстые проводники плохо укладываются в паз.

На основе конструктивных особенностей пазов статора обоих ВД примем коэффициент заполнения равным $k_{зп} = 0,6$.

Коэффициент заполнения медью лобовых частей $k_{зл} = 0,6$.

Определяется максимальное сечение жилы обмотки по заполнению:

$$S_w = \frac{Q_n' \cdot k_{зп}}{W_n}; \quad (2.63)$$

где Q_n – площадь для полуовального паза;

$k_{зп}$ – коэффициент заполнения паза;

W_n – число витков.

ВД-120: $S_w = 1,76 \text{ мм}^2$.

ВД-1000: $S_w = 6,09 \text{ мм}^2$.

Плотность тока фактическая:

$$j_w = \frac{I_w}{S_w}; \quad (2.64)$$

где I_w – Действующее значение тока в обмотках;

S_w – максимальное сечение жилы обмотки.

ВД-120: $j_w = 2,87 \text{ А/мм}^2$.

ВД-1000: $j_w = 7,03 \text{ А/мм}^2$.

Максимальный диаметр жгута в лобовой части:

$$d_{wq} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_w \cdot W_n \cdot (2 \cdot q + 1)}{\pi \cdot k_{3л}}}; \quad (2.65)$$

где W_n – число витков;

S_w – максимальное сечение жилы обмотки;

$k_{3л}$ – Коэффициент заполнения медью лобовых частей;

q – число пазов на полюс и фазу.

ВД-120: $d_{wq} = 16,76$ мм.

ВД-1000: $d_{wq} = 16,08$ мм.

Средняя длина полувитка обмотки якоря рассчитывается по формуле (2.65):

$$l_{cp} = l_{я} + 1,9 \cdot (D_a + D_1') \cdot \frac{y}{z} = 93,82; \quad (2.66)$$

где D_1' – больший диаметр полуовального паза;

D_a – диаметр якоря;

$l_{я}$ – длина пакета якоря;

y – шаг обмотки;

z – число пазов якоря.

Для ВД-120: $l_{cp} = 97,47$ мм.

Для ВД-1000: $l_{cp} = 93,82$ мм.

Суммарная длина жилы обмотки:

$$l_w = l_{cp} \cdot 2 \cdot W_n \cdot q \cdot p; \quad (2.67)$$

где l_{cp} – средняя длина полувитка обмотки якоря;

q – число пазов на полюс и фазу;

W_n – число витков;

p – число пар полюсов.

Для ВД-120: $l_w = 11,7$ м.

Для ВД-1000: $l_w = 4,5$ м.

Удельное сопротивление меди является физической константой:

$$\rho_M = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$$

Сопротивление обмотки:

$$R_w = \rho_M \cdot \frac{l_w}{S_w}; \quad (2.68)$$

где ρ_M – удельное сопротивление меди;

S_w – максимальное сечение жилы обмотки;

l_w – суммарная длина жилы обмотки.

Для ВД-120: $R_w = 0,12$ Ом.

Для ВД-1000: $R_w = 0,01$ Ом.

2.5 Потери стали, механические и добавочные потери

Потери в меди обуславливаются наличием в проводах обмоток двигателя электрического сопротивления. Ток, протекающий в обмотке, создаёт на таком проводнике падение напряжения. На обмотке развивается некоторая электрическая мощность и часть энергии преобразуется в тепло, нагревающее обмотку.

$$\Delta P_M = I_w^2 \cdot 3 \cdot R_w; \quad (2.69)$$

где I_w – действующее значение тока в обмотках;

R_w – сопротивление обмотки.

ВД-120: $\Delta P_M = 8,9$ Вт.

ВД-1000: $\Delta P_M = 71,24$ Вт.

Потери в стали. Основная составляющая потерь - потери в якоре. Поле индуктора практически неизменно, поэтому потери в стали ротора не учитываются.

Выбирается листовая сталь марки 2412 толщиной 0,35 мм.

Плотность стали определяется из характеристик данной марки стали:

$$\rho_{ст} = 7650 \text{ кг/м}^3$$

Масса ярма якоря (спинки):

$$m_a = \frac{\pi \cdot (D_H^2 - D_1'^2)}{4} \cdot l_{я} \cdot \rho_{ст}; \quad (2.70)$$

где D_H – наружный диаметр статорного пакета;

D_1' – большой диаметр полуовального паза;

$l_{я}$ – длина пакета якоря;

$\rho_{ст}$ – плотность стали.

ВД-120: $m_a = 0,92$ кг.

ВД-1000: $m_a = 1,54$ кг.

Масса зубцов якоря:

$$m_z = \frac{(D_1' - D_a)}{2} \cdot b_z \cdot z \cdot l_{я} \cdot \rho_{ст}; \quad (2.71)$$

где D_1' – большой диаметр полуовального паза;

D_a – диаметр якоря;

z – число пазов;

b_z – ширина зубца якоря;

$l_{я}$ – длина пакета якоря;

$\rho_{ст}$ – плотность стали.

Для ВД-120: $m_z = 0,36$ кг.

Для ВД-1000: $m_z = 0,67$ кг.

Частота электрическая:

$$f_{эл} = f_B \cdot p; \quad (2.72)$$

Для ВД-120: $f_{эл} = 50$ Гц.

Для ВД-1000: $f_{эл} = 150$ Гц.

Индукция в спинке якоря и зубцах (определены ранее в формулах 2.42 и 2.43).

ВД120: $B_a = 1,5$ Тл; $B_a = 1,5$ Тл.

ВД1000: $B_a = 1,6$ Тл; $B_a = 1,6$ Тл.

Удельные потери на частоте 50 Гц и индукции 1 Тл определены по таблице магнитных свойств стали марки 2412 (рисунок 2.10).

Сортамент	Размер	H_c	μ_{max}	$P_{1.0/50}$	$P_{1.5/50}$	B_{100}	B_{500}	B_{1000}	B_{2500}	B_{5000}	B_{10000}	B_{30000}
-	мм	А/м	МГн/м	Вт/кг	Вт/кг	А/м	А/м	А/м	А/м	А/м	А/м	А/м
Лист тонкий холоднокатан.	0.5			1.3	3.1			1.35	1.5	1.6	1.7	1.95
Лист тонкий холоднокатан.	0.35			1.15	2.5			1.35	1.5	1.6	1.7	1.95

Рисунок 2.10 – Магнитные свойства стали 2412

$P_{1,50} = 1,15$ В/кг – одинаково для обоих двигателей, так как марка стали одинакова.

Коэффициенты, учитывающие неравномерность распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов. Для двигателей малой мощности приняты равными:

$$k_{\partial a} = 1,4.$$

$$k_{\partial z} = 1,7.$$

Для стали марки 2412 показатель зависимости потерь от частоты будет равен $\beta = 1,4$.

Потери в стали

$$\Delta P_{\text{ст}} = P_{1,50} \cdot \left(\frac{f_{\text{эл}}}{50}\right)^{\beta} \cdot \left[\left(\frac{B_a}{1T}\right)^2 \cdot m_a \cdot k_{\partial a} + \left(\frac{B_z}{1T}\right)^2 \cdot m_z \cdot k_{\partial z} \right], \quad (2.73)$$

где $P_{1,50}$ – удельные потери на частоте 50 Гц и индукции 1 Тл;

$f_{\text{эл}}$ – частота электрическая;

B_a – фактическая индукция в спинке якоря;

B_z – фактическая индукция в зубцах якоря;

m_a – фактическая индукция в зубцах якоря;

m_z – масса зубцов якоря;

$k_{\partial a}, k_{\partial z}$ – коэффициенты, учитывающие неравномерность распределения потока по сечениям участков магнитопровода.

Для ВД-120: $\Delta P_{\text{ст}} = 4,91$ Вт.

Для ВД-1000: $\Delta P_{\text{ст}} = 45,29$ Вт.

Суммарные потери:

$$\Delta P_{\text{сум}} = \Delta P_{\text{м}} + \Delta P_{\text{ст}} [\text{Вт}]; \quad (2.74)$$

где $\Delta P_{\text{м}}$ – потери в меди;

$\Delta P_{\text{ст}}$ – потери в стали.

ВД-120: $\Delta P_{\text{сум}} = 13,81$ Вт.

ВД-1000: $\Delta P_{\text{сум}} = 116,53$ Вт.

Полученный КПД:

$$\eta = \frac{P_B}{\Delta P_{\text{сум}} + P_B}; \quad (2.75)$$

Рассчитанный КПД одинаков для обоих двигателей и равен $\eta = 0,9$.

2.6 Вывод по разделу

В данной главе проведен расчет основных параметров вентильного двигателя. Приведены основные преимущества в сравнение с другими типа двигателей.

Основные технические параметры рассчитанных вентильных двигателей сведены в таблицу 2.1

Таблица 2.1 - Основные параметры вентильных двигателей

Наименование параметра	Двигатель ВД-120	Двигатель ВД-1000
Частота вращения, об/мин	1500	3000
Мощность потребляемая, Вт	120	1000
КПД, %	90	90
Напряжение питания, В	24	24
Крутящий момент вала, Н·м	0,76	3,183
Диаметр ротора, мм	48	80
Длина ротора, мм	50	45
Наружный диаметр статорного пакета, мм	90	129
Длина пакета якоря, мм	50	45
Воздушный зазор, мм	0,5	0,7
Кол-во магнитов	8	12

Рассчитанные в данном разделе параметры полностью определяют конструктивные параметры двигателей и могут быть использованы для разработки РКД двигателей ВД 120 и ВД1000.

3 Система управления следящего электропривода

3.1 Описание системы слежения

Исследуемая мехатронная система, представленная на рисунке 3.1 относится к следящему электроприводу согласованных поворотов солнечных батарей по двум осям углов азимута и места.

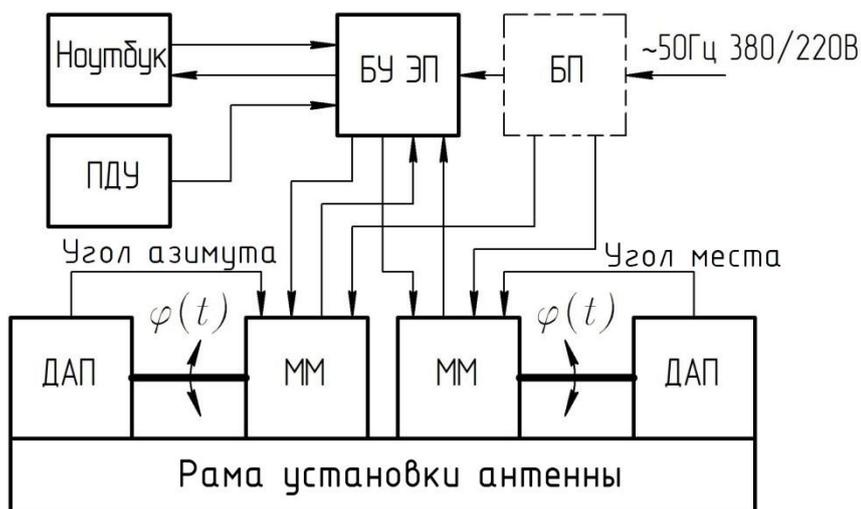


Рисунок 3.1 – Структурная схема мехатронной системы

В состав данной мехатронной системы входят следующие компоненты:

- рама с установленной на ней устройством слежения;
- датчик абсолютного положения;
- два мехатронных модуля, объединяющие двигатель и редуктор;
- блок управления электропривода;
- пульт дистанционного управления с ноутбуком.

Мехатронные модули выполняют движение к заданным координаты по командам от блока управления. Данный блок обеспечивает согласованные и синхронные повороты обоих мехатронных модуля с помощью электрических двигателей.

На основании структурной схемы была составлена операторно-структурная схема. Схема составлена с учетом конечной жесткости узла соединения рамы солнечных батарей с выходным валом мехатронного модуля,

которая представляет собой типовую двухмассовую систему следящего электропривода с упругой механической связью (рисунок 3.2).

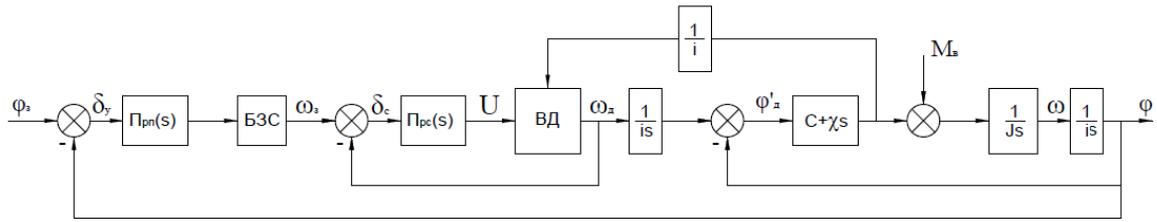


Рисунок 3.2 – Операторно-структурная схема системы управления СЭС.

В исследуемой схеме слежения: φ_z, φ – заданное и фактическое значение угла поворота одной из осей электропривода; s – оператор Лапласа; J – момент инерции устройства слежения; φ'_d – угол закручивания выходного вала, вызванный его конечной жесткостью; U – управляющее напряжение; C, χ – коэффициент жесткости и диссипативных потерь в кинематике нежесткого соединения редуктор-рама; $\omega_d, \omega, \omega_p$ – угловая скорость вала двигателя и выходной оси электропривода, рабочая угловая скорость; δ_y, δ_c – ошибки электропривода по углу и по скорости; i – передаточное число редуктора; M_B – момент внешних сил, в частности, момент, вызванный ветровой нагрузкой; $P_{pp}(s), P_{pc}(s)$ – передаточные функции регулятора положения и регулятора скорости; **БЗС** – блок задания скорости двигателя.

3.2 Моделирование системы слежения

Такая система слежения предрасположена к появлению в установившемся режиме автоколебаний, которые вызваны конечной жесткостью конструкции крепления рамы солнечных батарей к валу электропривода. Автоколебания уменьшают динамическую точность позиционирования и ее плавность движения, а также возникает постоянный нецелевой расход энергии электрическими двигателями [16]. Дополнительные факторы ухудшения основных динамических характеристик системы ориентации является зазор в механической части, вызванный люфтом редуктора. В кинематической цепи с учетом наличия люфта электропривода была составлена модель в среде программирования MatLab. Данная модель системы ориентации представлена

двигатель мощностью 120 Вт, при передаточном отношении редуктора равном 21000, обеспечивает расчетный статический крутящий момент равный 16 000 Нм. Данное решение, хоть и обеспечивает приемлемое потребление электроэнергии, уменьшает жесткость кинематических узлов следящего электропривода, вызвано это малым размером двигателя, на валу которого установлен больших размеров редуктор. Для того чтобы снизить влияния люфта на точность ориентации был выбран специально разработанный волновой редуктор для СЭС.

Для упрощения математического описания ВД используется система координат d-q, жестко связанная с ротором, при этом ось d совмещается с направлением магнитного поля ротора [17]. В этом случае операторные уравнения, которыми описываются электромагнитные и электромеханические процессы в ВД имеют вид:

$$\begin{aligned}
 U_d &= R(T_d s + 1)i_d - \omega L_q i_q; \\
 U_q &= R(T_q s + 1)i_q - \omega L_d i_d + \Phi_0 \omega; \\
 M &= p \frac{m}{2} (\Psi_0 i_q + (L_d - L_q) i_d i_q); \\
 s\omega_m &= \frac{1}{J} (M - M_H); \\
 s\theta_m &= \omega_m; \quad \omega = p\omega_m.
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

В уравнениях 3.1 U_d, U_q, i_d, i_q – проекции напряжения и тока статора на оси:

$$T_d = \frac{L_d}{R}, T_q = \frac{L_q}{R};$$

где L_d, L_q – постоянные времени и индуктивность обмотки статора по продольной и поперечной осям;

R – сопротивление статорной обмотки;

ω_m – механическая угловая скорость;

M – электромагнитный момент;

M_H – момент нагрузки;

θ_m – механический угол поворота вала;

J – момент инерции ротора.

По математическому описанию вентильного двигателя и рассчитанным параметрам в предыдущей главе составлена модель, используемого в электроприводе СЭС в среде MatLab, показана на рисунке 3.4. Особенностью данной модели является ее универсальность, имея основные параметры двигателя можно провести его моделирование.

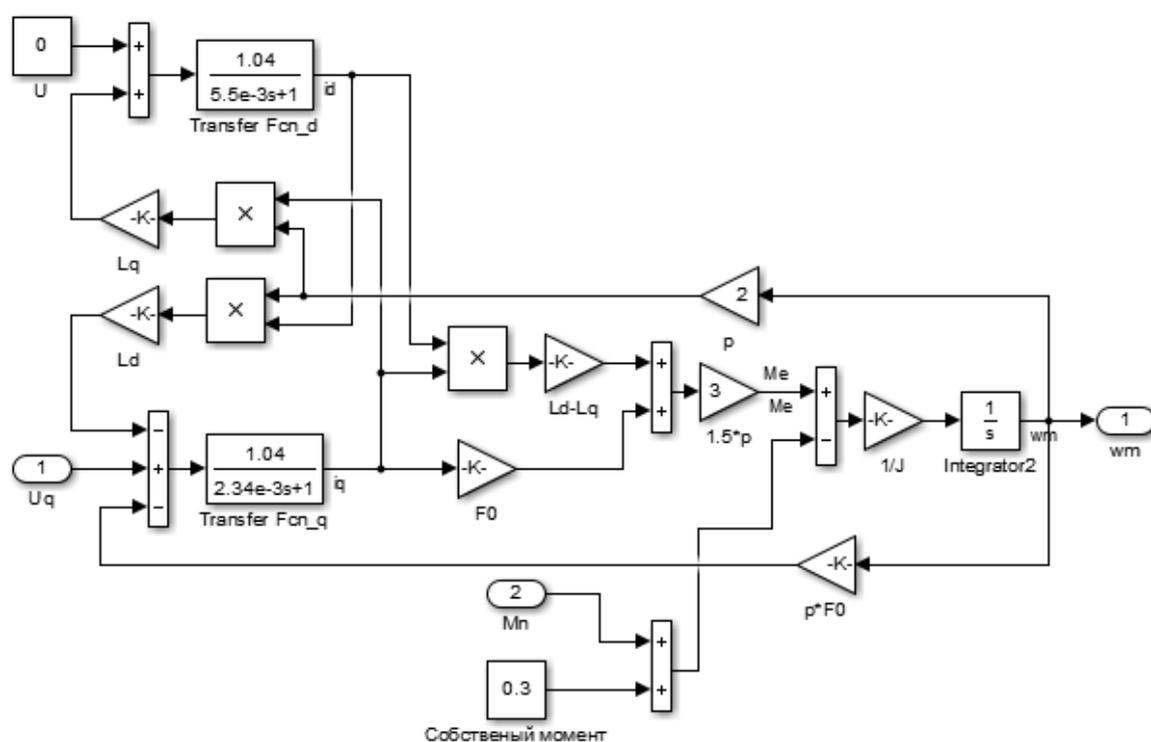


Рисунок 3.4 – Модель вентильного двигателя мощностью 120 Вт.

3.3 Результаты моделирования системы слежения

На рисунке 3.5, 3,6 представлены графики зависимости ошибки ориентации и скорости вращения электродвигателя при изменении жесткости конструкции рамы солнечных батарей. Возникающая колебательность системы приводит к появлению рассинхронизации скорости поворота оси следящего электропривода и скорости наблюдения за солнцем по небосводу [18]. Можно заметить, что амплитуда колебаний ошибки ориентации не изменяется с

увеличением жесткости конструкции, в то время как амплитуда колебаний скорости уменьшается, следовательно, это ведет к уменьшению потребления электроэнергии двигателем в установившемся режиме слежения.

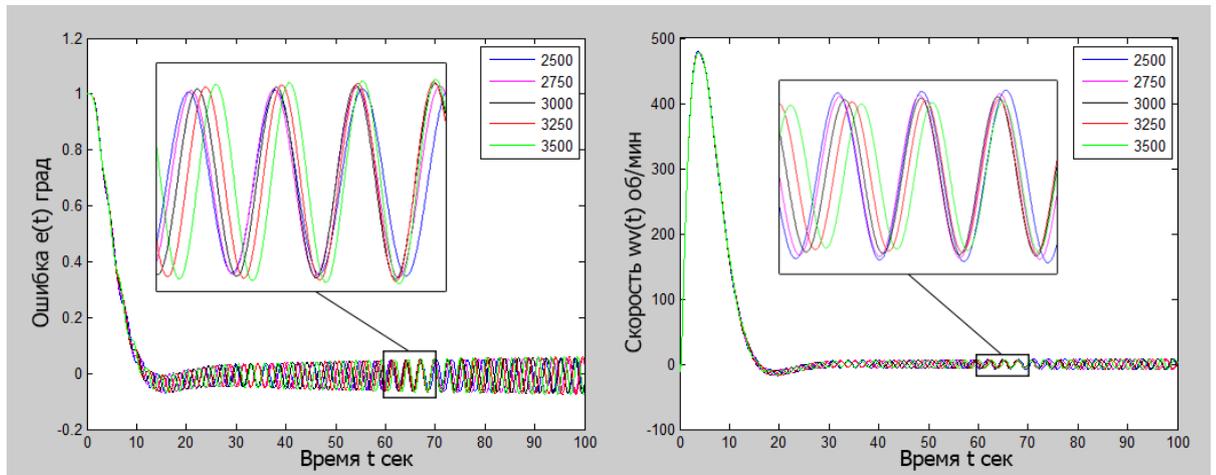


Рисунок 3.5 – Зависимость ошибок позиционирования и скорости при различной жесткости конструкции.

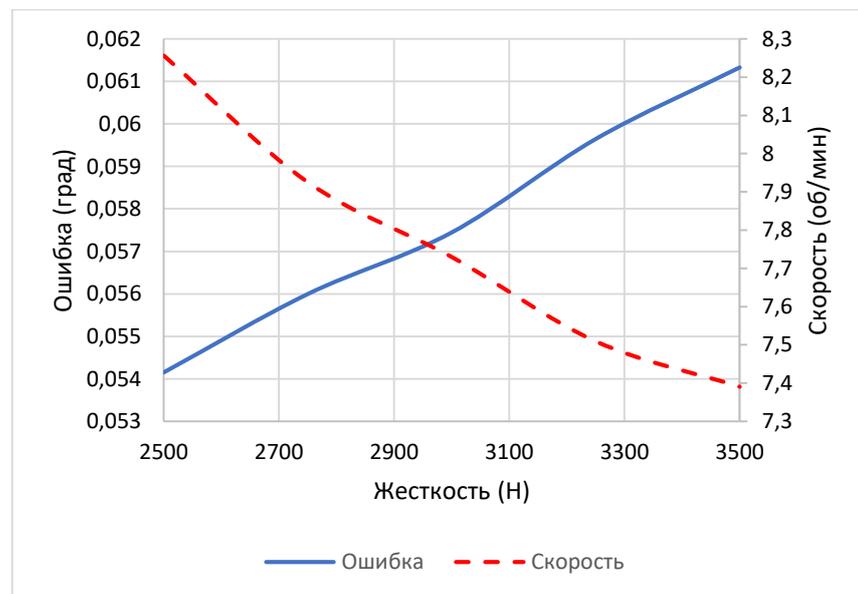


Рисунок 3.6 – Зависимость амплитуды ошибок позиционирования и скорости при различной жесткости конструкции.

Момент нагрузки на выходном валу следящего электропривода является еще одним фактором, влияющим на точность ориентации. На рисунке 3.7, 3.8 представлены графики зависимости динамической ошибки наведения и ошибки скорости вращения электродвигателя от момента ветровой нагрузки [19, 20].

Из графика следует, что амплитуда колебаний в установившемся режиме растёт с увеличением ветровой нагрузки практически линейным образом. Для того чтобы снизить влияния нагрузки на валу следящего электропривода на точность ориентации СЭС следует использовать классический изодромный регулятор скорости и положения, что обеспечивает астатизм второго порядка контуров регулирования скорости и положения. Результаты проведенных исследований подтверждают возможность снижения колебательности системы и погрешности позиционирования до приемлемых величин путем подбора основных коэффициентов изодромных регуляторов скорости и положения.

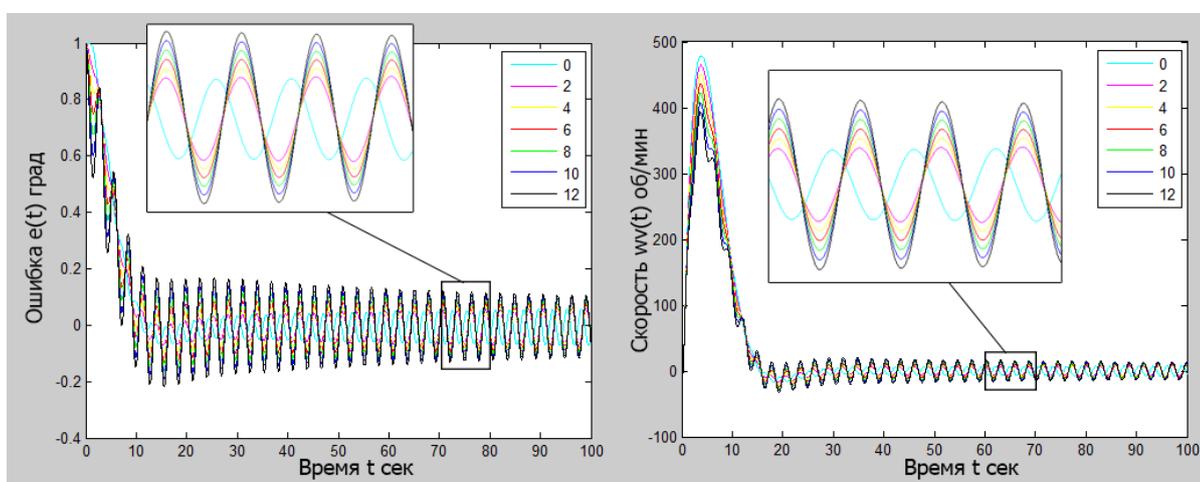


Рисунок 3.7 – Зависимость ошибки позиционирования и ошибки скорости двигателя при различных моментах нагрузки.

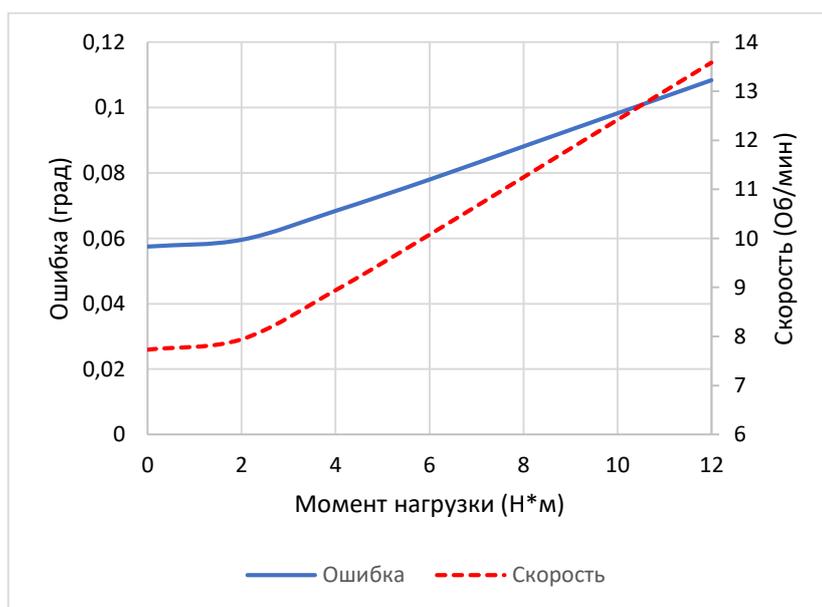


Рисунок 3.8 – Зависимость амплитуды ошибки позиционирования и ошибки скорости двигателя при различных моментах нагрузки

В момент появления солнца из горизонта оно движется с малой скоростью по отношению к наблюдателю. Но по мере приближения солнца к восхождению, его угловая скорость быстро растет относительно наблюдателя. Также нужно учитывать, что чем ниже пролегает орбита нарастает угловая скорость. Так как в режиме программного наведения для управления приводом следящей системы линейная интерполяция при ускоренном перемещении между двумя соседними значениями координат небесного объекта формируется непрерывное изменение задания скорости и углов положения, то динамика его изменения может повлиять на погрешность слежения.

В таком случае появляется скоростная ошибка. Поэтому абсолютно любой классический изодромный датчик не может обеспечивать нулевую статическую ошибку позиционирования [21]. Это приводит к появлению погрешности ориентации СЭС в течение всего интервала времени между заданными значениями координат тогда система не может достичь требуемой точности слежения. Для того что бы устранить скоростную ошибку следящего электропривода СЭС следует использовать ПИ²Д-регулятор с двойной интегрирующей составляющей. Использование такого регулятора обеспечивает астатизм контура автоматического регулирования даже при условии постоянного изменения скорости. Но исследовать такую систему оказывается проблематичным при даже в моделирование. В связи с этим было принято решение по уменьшению временного интервала задания координат солнца до нескольких секунд. Данный способ позволит уменьшить ошибку слежения до требуемой величины.

3.4 Вывод по разделу

Из-за непостоянства орбитальной скорости передвижения солнца и ветровой нагрузки возникают отклонения скорости поворота рамы солнечной батареи от требуемой. Это приводит к появлению ошибки позиционирования на всем интервале работы системы. Для решения данной проблемы был выбран регулятор скорости, обеспечивающий астатизм контуров регулирования положения солнечной батареи и скорости электропривода системы слежения.

Возникновение колебаний скорости следящего электропривода из-за конечной жесткости узла соединения рамы солнечной батареи с редуктором и из-за наличия люфта в редукторе в установившемся режиме приводит к дополнительному непрерывным потерям электроэнергии ориентации СЭС, вызванным периодическим разгоном электродвигателя с последующим его торможением. Колебания динамики системы отрицательно влияют на энергоэффективность работы, часть электроэнергии тратится на непроизводительную работу следящего электропривода СЭС. Исследования работы модели показали, что посредством выбора нужных коэффициентов регулятора, амплитуду этих колебаний можно уменьшить и тем самым обеспечить снижение потребление электроэнергии следящем электроприводом СЭС.

Для обеспечения требуемой точности ориентации СЭС необходимо увеличить жесткость кинематики на валу электропривода, а также конструктивно усилить жесткость узлов крепежа рамы солнечной батареи, что позволит снизить амплитуду и увеличить частоту колебаний системы в режиме слежения. Последнее является обязательным условием к динамике следящего электропривода при уменьшении временного интервала обновления значений координат солнца.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ61	Касымову Кувяту Шахратулы

Школа	ИШИТР	Отделение	АиР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>При проведении научно-исследовательского проекта используется ЭВМ; в исследовании задействованы два человека: руководитель проекта и инженер;</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Определение концепции проекта, факторов микро- и макросреды, анализ рынка продукта, экспертная оценка эффективности</i>
<i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Проект выполняется в рамках магистерской диссертации, устав не требуется.</i>
<i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Распланировано управление научно-техническим проектом; отмечены контрольные события проекта; рассчитан бюджет научного исследования;</i>
<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Анализ финансовой эффективности, ресурсоэффективности и сравнения</i>
Перечень графического материала:	
<i>Рисунок 1– Линейный план-график реализации НТИ</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук ШБИП	Верховская Марина Витальевна	К.ЭКОН.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Касымов Кувят Шахратулы		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В текущем разделе рассматривается перспективность научно-технического проекта, которая определяется высокотехнологичностью, ресурсоэффективностью, ресурсосбережением и коммерческой ценностью.

Научно-исследовательская работа заключается в исследовании и разработке автономной системы слежения за солнцем.

Целью данного раздела ВКР является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта моделирование работы ориентации СЭС. Данные исследования направлены на улучшения позиционирования солнечных батарей.

Целевым рынком для данных исследований являются все отрасли электроснабжения где применяется СЭС с системой ориентацией.

Задачи раздела:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

4.1 Анализ технических конкурентных решений

Поскольку рынки пребывают в постоянном движении, необходимо систематически проводить детальный анализ существующих конкурирующих разработок.

Благодаря такому анализу можно вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Основным конкурентом в России можно выделить компанию «UnitedSmartTechnologies». Которая занимается поставкой, продажей, обслуживанием и установкой систем бесперебойного питания, энергосистем на солнечных батареях и других альтернативных источниках энергии, разработкой и производством систем ориентации солнечных батарей наземного размещения и с размещением на других объектах, включая крыши зданий. Проектирование и монтаж энергосистем малой и средней мощности, а также больших электростанций на солнечных батареях, с использованием трекеров собственного и импортного производства.

Преимуществом данной компании является:

- занимается данной сферой в течение уже 9 лет;
- система слежения работает по алгоритму солнечной позиции;
- в состав трекера входит метеостанция, что позволяет добиться адаптации к меняющимся климатическим условиям;

Недостатками данной компании можно выделить следующее:

- занимаются лишь промышленными проектами;
- высокая цена для среднего потребителя;
- не учитывается возможность затенения одних солнечных панелей другими.

В России имеются множество компаний предоставляющие услуги установки сборки СЭС, такие как: «Технолайн», «Sunways», «Солнечная корона» и другие, но не одна из них не занимается установкой и разработкой систем ориентации.

Так как исследования направлены на улучшения работы ориентации СЭС, то основными критериями являются:

- 1) Повышение производительности выработки электроэнергии СЭС. Данный критерий является основным и достигается за счет точности позиционирования системы ориентации и за счет малым потреблением электроэнергии самой системы.

2) Удобство в эксплуатации. Данный критерий включается в себя возможности простого обслуживания и проведения технических работ с системой ориентации.

3) Автономность. Любые систем ориентации СЭС могут быть полностью автономны или частично. Полностью автономные системы не требует постоянного присутствия человека, что позволяет использовать их в различных сферах деятельности.

4) Безопасность. Система ориентации должна отвечать требованиям безопасности. Человек должен быть защищён от поражения электрическим током и от получения механических ушибов.

5) Надежность. Обеспечения длительной работоспособности системы при своевременным проведение технических работ.

6) Возможность удалённого мониторинга. Автономные системы ориентации могут применяться в местах, удаленных от населённых пунктов без обслуживающего персонала. Возможность удаленного мониторинга дает возможность следить за работой системы.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проводится с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Бф	Бк	Кф	Кк
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности выработки электроэнергии СЭС	0,2	5	5	1	1
Удобство в эксплуатации	0,1	4	4	0,4	0,4
Автономность	0,1	4	4	0,4	0,4
Надежность	0,1	5	5	0,5	0,5

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Бф	Бк	Кф	Кк
Безопасность	0,2	5	4	1	0,8
Возможность удаленного мониторинга	0,1	4	3	0,4	0,3
Экономические критерии оценки эффективности					
Финансирование научной разработки	0,1	4	4	0,4	0,4
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	0,5	0,4
Итого	1	36	33	4,6	4,2

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблица 4.1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Данная разработка сравнивается с традиционными технологиями, такими как облучение мишени мощным электронным пучком.

Анализ показал, что как технические, так и экономические критерии данного проекта на нынешний момент развития могут заинтересовать потенциальных покупателей, среди которых научные исследовательские институты, технические ВУЗы и узконаправленные компании. Так же получилось определить критерии, которые нуждаются в дальнейшей проработке для наилучшего внедрения на рынок.

4.2 Планирование комплекса работ по созданию проекта

Определение трудоемкости и продолжительности работ осуществляется на основе отраслевых нормативов, типовых норм на разработку конструкторской документации, а для работ, обладающих большой неопределенностью на основе вероятностных (экспертных) методов, широко используемых в СПУ (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Линейный график

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение темы и задания НИР	5	5.01.2018	10.01.2018	Руководитель, инженер
2	Изучение поставленной задачи и литературный поиск материалов по теме	15	10.01.2018	25.01.2018	Инженер
3	Определение последовательности этапов исследования	5	25.01.2018	30.01.2018	Руководитель, Инженер
4	Моделирование СЭС в программной среде MATLAB	15	30.01.2018	14.02.2018	Руководитель, инженер
5	Календарное планирование работ	5	14.02.2018	19.02.2018	Руководитель, инженер
6	Проведение необходимых экспериментов на установке для осуществления НИР	60	19.02.2018	20.04.2018	Руководитель, инженер
7	Диагностика и анализ полученных результатов	15	20.04.2018	5.05.2018	Руководитель, инженер
8	Составление отчета	20	5.05.2018	25.05.2018	Инженер

На основании перечисленных работ для удобства был построен календарный план-график (Рисунок 4.1) с длительность этапов в календарных днях.

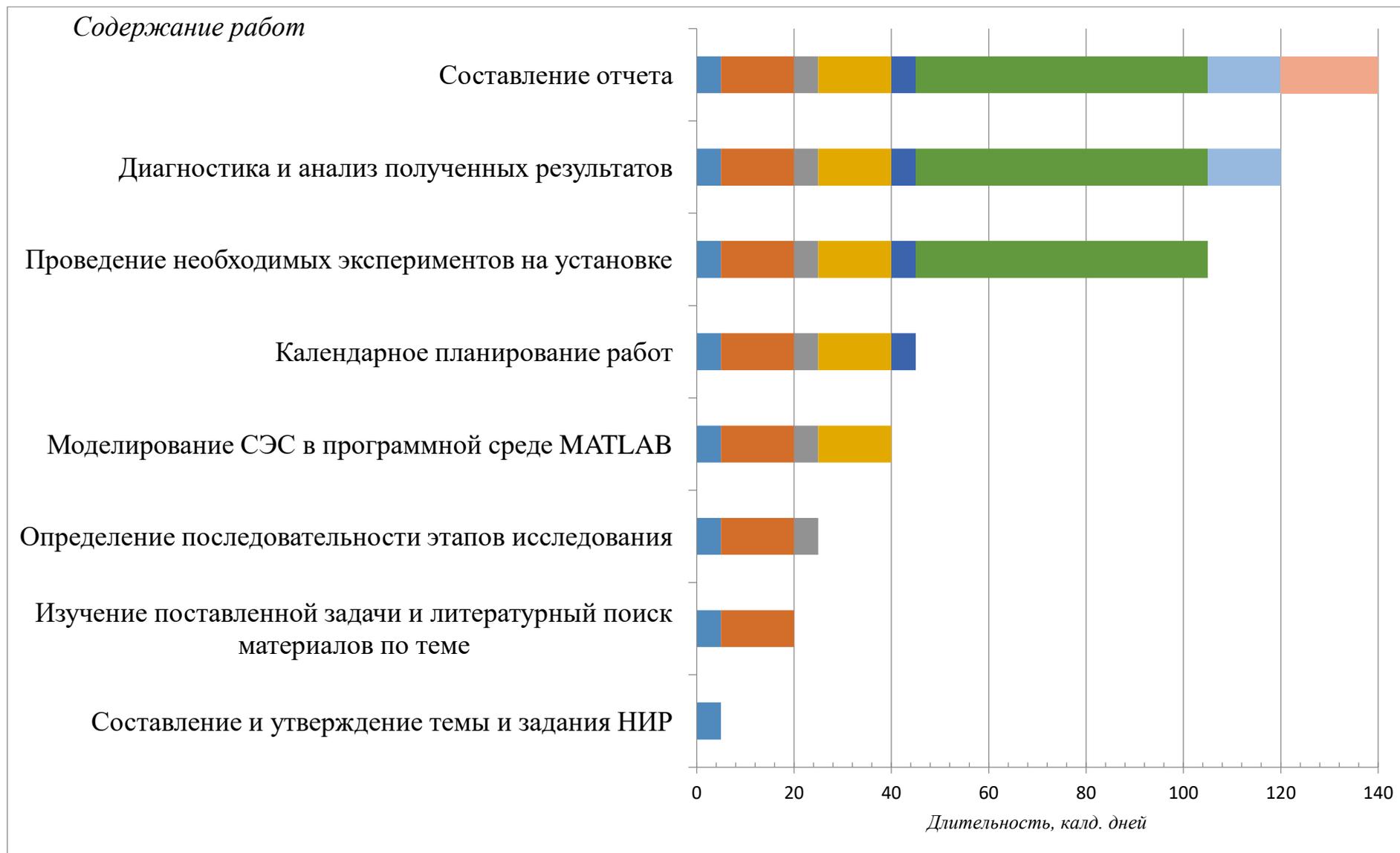


Рисунок 4.1 – Линейный план-график реализации НТИ

4.3 Определение трудоемкости работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле (4.1):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}; \quad (4.1)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы, чел.-дн.;

t_{min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы чел.-дн.;

t_{max} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы чел.-дн.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу (4.2):

$$t_p = \frac{t_{ож}}{Ч}; \quad (4.2)$$

где t_p – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

Ч – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле (4.3):

$$T_K = T_p \cdot k; \quad (4.3)$$

где T_K – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

T_p – продолжительность одной работы, раб. дн.;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле (4.4):

$$k = \frac{T_{\text{КГ}}}{T_{\text{КГ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}; \quad (4.4)$$

где $T_{\text{КГ}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{ВД}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{ПД}}$ – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{\text{КГ}}}{T_{\text{КГ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45;$$

тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ $T_{\text{к}}$ нужно округлить до целых чисел.

Результаты расчетов приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Временные показатели проведения ВКР

№раб.	Исполнители					
		t_{min} чел-дн	t_{max} чел-дн	$t_{\text{ож}}$ чел-дн	$T_{\text{р}}$ раб.дн	$T_{\text{ккал.дн}}$
1	РП, ИН	4	10	4,4	2,2	3
2	ИН	14	20	16,4	16,4	24
3	РП, ИН	4	10	4,4	2,2	3
4	РП, ИН	14	20	16,4	8,2	12
5	РП, ИН	4	10	4,4	2,2	3
6	РП, ИН	50	65	46,7	23,35	34
7	РП, ИН	14	20	16,4	8,2	12
8	ИН	19	25	21,4	21,4	31
Итого						122

Таким образом, в проектной деятельности участвуют двое сотрудников: руководитель проекта и инженер.

4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат: основная заработная плата; отчисления во внебюджетные фонды; расходы на электроэнергию; накладные расходы.

4.4.1 Расчет основной заработной платы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Данные для расчета:

- 1) Оклад: научного руководителя (Доцент отделения автоматизации и робототехники ИШИТР) – 33664 руб.
- 2) (рк), инженера – 9489 руб. (рк).
- 3) Плановый фонд рабочего времени за месяц – 176 часов (22 дня);
- 4) Дополнительная заработная плата.
- 5) Районный коэффициент (1,3).

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}; \quad (4.5)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}; \quad (4.6)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}; \quad (4.7)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 4).

Таблица 4.4 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	52	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	48	24
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_m = Z_{ок} \cdot k_p; \quad (4.8)$$

где $Z_{ок}$ – оклад работника, руб.

k_p – районный коэффициент, по городу Томск равен 1,3.

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.
- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.
- иные выплаты: районный коэффициент.

Рассчитаем заработную плату научного руководителя.

Месячный должностной оклад научного руководителя:

$$Z_m = 33664 \cdot 1,3 = 43763,2 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{дн} = \frac{43763,2 \cdot 10,4}{251} = 1813,3 \frac{\text{руб.}}{\text{день}};$$

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 1813,3 \cdot 8 = 14506,4 \text{ руб.};$$

Рассчитаем заработную плату инженера.

Месячный должностной оклад инженера:

$$З_{\text{м}} = 9489 \cdot 1,3 = 12335,7 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$З_{\text{дн}} = \frac{12335,7 \cdot 10,4}{223} = 575,3 \frac{\text{руб.}}{\text{день}};$$

Основная заработная плата научного руководителя:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 575,3 \cdot 8 = 4602,4 \text{ руб.};$$

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}; \quad (4.9)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы;

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы равным 0,15 для научного руководителя и 0,1 для инженера. Результаты расчёта основной и

дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	14506,4	4602,4
Дополнительная зарплата	2176	460,2
Зарплата исполнителя	16682,4	5062,7
Итого по статье $C_{зп}$	21745,1	

4.4.2 Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления по заработной плате определяются по следующей формуле:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.10)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент, учитывающий размер отчислений из заработной платы. Данный коэффициент составляет 27,1% от затрат на заработную плату и включает в себя:

- 1) отчисления в пенсионный фонд;
- 2) на социальное страхование;
- 3) на медицинское страхование.

Итак, отчисления из заработной платы составили для научного руководителя:

$$C_{внеб} = 0,271 \cdot 16682,4 = 4520,9 \text{ руб.}$$

Отчисления из заработной платы составили для инженера:

$$C_{внеб} = 0,271 \cdot 5062,7 = 1372 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды итого составили 5892,9.

4.4.3 Затраты электроэнергии

Основным источником затрат электроэнергии является ЭВМ. Так как научные исследования в основном с моделированием системы ориентации.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{эл}} = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 1 \cdot 900 = 5220 \text{ рублей}, \quad (4.11)$$

где $C_{\text{эл}}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

Затраты на электроэнергию составили 5220 рубля.

4.4.4 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}); \quad (4.12)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,2 \cdot 24745,1 = 4349 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ по форме, приведенной в таблице 4.6.

Таблица 4.6– Расчет бюджета затрат НИИ

№	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	21745,1
2	Отчисления во внебюджетные фонды	5892,9
3	Накладные расходы	4349
4	Затраты электроэнергии	5220
5	Бюджет затрат НИИ	37207

4.5 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (таблица 8). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}; \quad (4.13)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$P_{\text{финр}} = \frac{37207}{48956} = 0,76;$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{\text{фин1}}^{a1} = \frac{41613}{48956} = 0,85; I_{\text{фин1}}^{a2} = \frac{48956}{48956} = 1;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i; \quad (4.14)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен ниже.

Таблица 4.7 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1.Повышение роста производительности труда пользователя	0,25	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,2	4	4	5
3. Надёжность	0,25	5	5	4
4. Экономичность	0,15	5	4	5
5. Материалоёмкость	0,15	4	3	5
ИТОГО	1	4,65	4,1	4,5

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки и аналога определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}}; \quad (4.15)$$

В результате:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{4,65}{0,76} = 6,11; I_{\text{фина}1}^{a1} = \frac{4,1}{0,85} = 4,82; I_{\text{фина}2}^{a2} = \frac{4,5}{1} = 4,5;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{фина}i}^{ai}}; \quad (4.16)$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность аналогов представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,76	0,85	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	4,1	4,50
3	Интегральный показатель эффективности	6,11	4,82	4,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,26	1,35

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

4.6 Вывод по разделу

В текущем разделе было выполнено следующее:

- анализ и оценка научно-технического уровня проекта, который показал, что данный проект имеет среднюю значимость теоретического и практического уровня.

- разработан календарный план проекта и построен календарный план-график. В проектной деятельности участвуют двое сотрудников: руководитель проекта и инженер.

- определена трудоемкость работ, которая составила 140 календарных дней

Проведённые исследования направлены на эффективность работы СЭС. Угол попадания солнечных лучей на поверхность панелей достаточно сильно влияет на коэффициент отражения, следовательно, на долю невоспринятой солнечной энергии, следовательно, падения получаемого КПД. Эффективная площадь равна реальной площади панели, умноженная на синус угла между

плоскостью и направлением потока. Поэтому, если панель перпендикулярна потоку, то ее эффективная площадь такая же, как и реальная. Если поток отклонить на 60° , то площадь составляет половину реальной площади. Если же поток параллельный панели, то эффективная площадь приравнивается нулю. В результате видно, что отклонение потока от перпендикуляра к панели не просто увеличивает отражение, но и может снижать эффективную площадь, обуславливая снижение выработки такой энергии.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ61	Касымову Кувяту Шахратулы

Школа	ИШИТР	Отделение	АиР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	<p><i>Описание работы системы ориентации солнечной электростанции:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – опасных проявлений факторов производственной среды (опасность поражения электрическим током, опасность поражения молнией) – получение травм в ходе эксплуатации солнечной
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью; – предлагаемые средства защиты. <p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности; – электробезопасность; – пожаробезопасность. <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> - воздействия объекта на литосферу (отходы); - воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Возможность возникновения пожаров из-за наличия легко воспламеняющихся материалов. Приняты меры противопожарной безопасности. <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 №123-ФЗ (ред. от 16.07.2012) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».</p>
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ИШХБМТ	Невский Егор Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Касымов Кувят Шахратулы		

5 Социальная ответственность

Солнечная энергетика – это направление альтернативной энергетики, которое основано на непосредственном применении солнечного излучения в целях получения энергии. Солнечная энергетика применяет возобновляемые источники энергии, она является «экологически чистой», не производящей отходов в процессе использования. Производство энергии при помощи солнечных электростанций отлично сочетается с концепцией распределяемого производства энергии.

При этом энергетика – это один из очагов неблагоприятного воздействия на человека и окружающую среду. Она оказывает влияние на атмосферу (выбросы газов, потребление кислорода, влаги, твердых частиц), гидросферу (создание искусственных водохранилищ, потребление воды, сбросы нагретых и жидких отходов, загрязненных вод), на литосферу (изменение ландшафта, потребление ископаемых топлив, выбросы токсичных веществ). В процессе производства фотоэлементов объем загрязнений не превышает допустимый уровень для производственных предприятий микроэлектронной промышленности. Фотоэлементы имеют заданный срок службы, который составляет 30–50 лет. Использование кадмия, при производстве некоторых видов фотоэлементов в целях повышения эффективности преобразования, образует сложный вопрос их обезвреживания и утилизации, который не имеет приемлемого решения с экологической точки зрения, хотя такие элементы распространены незначительно, и при современном производстве соединениям кадмия уже найдена достойная альтернатива.

5.1 Требования к эксплуатации, удобству технического обслуживания и ремонта

Периодическое техническое обслуживание разрабатываемого СЭС должно проводиться не реже одного раза в год и должно включать в себя обслуживание всех составных частей ЭП.

К обслуживанию ЭП должны допускаться лица, имеющие квалификационную группу по технике безопасности не ниже третьей и имеющие допуск к работе с электроустановками напряжением до 1000 В.

Восстановление работоспособности ЭП должно осуществляться путем замены отказавших блоков исправными.

Ремонт отказавших блоков должен производиться только предприятием-изготовителем.

Обслуживание и ремонт ЭП должны производиться без применения специальных инструментов.

Внешние разъёмы на корпусах составных частей электропривода (ЭП), таких как, ММ и БУ ЭП будут снабжены поясняющими надписями, расположенными на наружных поверхностях и иметь разные типы и/или размеры для исключения неправильного подключения.

Конструкция ЭП будет выполнена в блочном исполнении, чтобы ремонт или замена одних блоков не вызвал необходимости настройки или регулировки других блоков.

5.2 Требования к электробезопасности

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 основными опасными и вредными производственными факторами являются:

- попадания человека под действие электрического тока, вызванная разницей электрических потенциалов, включая также действие молний и дуговых разрядов;

- вред, нанесенный человеку, связанный с электромагнитными полями, наличие электростатического поля отличающегося от поля земли, образование электростатических зарядов, наличие постоянного магнитного поля, отличающегося от геомагнитного поля Земли, наличием электромагнитного поля переменного характера.

Согласно ГОСТ 12.1.019-2009, электроустановки и их части должны быть выполнены таким образом, чтобы человек не подвергался опасным

и вредным воздействиями электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности.

Электробезопасность должна обеспечиваться:

- конструкцией электроустановок;
- техническими способами и средствами защиты;
- организационными и техническими мероприятиями.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства:

- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляцию токоведущих частей (рабочую, дополнительную, усиленную, двойную);
- изоляцию рабочего места;
- малое напряжение;
- защитное отключение;
- предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности.

Для обеспечения безопасности работ в электроустановках следует выполнять:

- отключение установки (части установки) от источника питания;
- проверка отсутствия напряжения;
- механическое запираение приводов коммутационных аппаратов,
- снятие предохранителей, отсоединение концов питающих линий и другие меры, исключающие возможность ошибочной подачи напряжения к месту работы;
- заземление отключенных токоведущих частей (наложение переносных заземлителей, включение заземляющих ножей);

- ограждение рабочего места или остающихся под напряжением токоведущих частей, к которым в процессе работы можно прикоснуться или приблизиться на недопустимое расстояние.

Заземление является одной из важных мер безопасности, поэтому элементами для заземления должны быть оборудованы следующие металлические нетокведущие части изделий, подлежащих заземлению:

- оболочки, корпуса, шкафы;
- каркасы, рамы, обоймы, стойки, шасси, основания, панели, плиты и другие части изделий, которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции.

Допускается при этом выполнять без элемента заземления и не заземлять следующие изделия:

- предназначенные для установки в недоступных, без применения специальных средств, местах (в том числе - внутри других изделий);
- предназначенные для установки только на заземленных металлических конструкциях, если при этом обеспечивается стабильной электрический контакт соприкасающихся поверхностей.

Согласно ПУЭ существуют меры защиты от прямого прикосновения. Основная изоляция токоведущих частей должна покрывать токоведущие части и выдерживать все возможные воздействия, которым она может подвергаться в процессе ее эксплуатации. Удаление изоляции должно быть возможно только путем ее разрушения. Лакокрасочные покрытия не являются изоляцией, защищающей от поражения электрическим током, за исключением случаев, специально оговоренных техническими условиями на конкретные изделия.

В случаях, когда основная изоляция обеспечивается воздушным промежутком, защита от прямого прикосновения к токоведущим частям или приближения к ним на опасное расстояние, в том числе в электроустановках напряжением выше 1 кВ, должна быть выполнена посредством оболочек, ограждений, барьеров или размещением вне зоны досягаемости.

Ограждения и оболочки в электроустановках напряжением до 1 кВ должны иметь степень защиты не менее IP 2X, за исключением случаев, когда большие зазоры необходимы для нормальной работы электрооборудования. Ограждения и оболочки должны быть надежно закреплены и иметь достаточную механическую прочность.

Вход за ограждение или вскрытие оболочки должны быть возможны только при помощи специального ключа или инструмента либо после снятия напряжения с токоведущих частей. При невозможности соблюдения этих условий должны быть установлены промежуточные ограждения со степенью защиты не менее IP 2X, удаление которых также должно быть возможно только при помощи специального ключа или инструмента.

5.3 Требования к внешним воздействующим факторам

Для обеспечения выполнения технических требований - климатического исполнения У категории 1 по ГОСТ 15150-69, все составные части электропривода должны быть выполнены с таким же исполнением, а компоненты составных частей должны иметь соответствующие диапазоны рабочих температур.

Согласно ГОСТ 9.102–91 “Единая система защиты от коррозии и старения. Воздействие биологических факторов на технические объекты. Термины и определения” биологический фактор – организмы или сообщества организмов, вызывающие нарушения исправного или работоспособного состояния объекта. Этот фактор вызывает механическое, химическое и биологическое засорения. Так же необходимо провести мероприятия по защите от коррозии.

Создаваемые конструкции должны обеспечивать необходимую несущую способность и технический ресурс всех элементов, предназначенных для восприятия эксплуатационных нагрузок, в течение назначенного срока службы.

Конструкция СЭС может иметь большие движущие части в зависимости от размеров панели. Разрушение, деформация или неправильная работа системы ориентации может привести к аварийной ситуации. Поэтому согласно ГОСТ 31846-2012 при проектировании СПС и его узлов должны быть обеспечены

ходовые качества, обеспечивающие безопасность движения в заданных условиях эксплуатации и комфортные условия для персонала.

Для обеспечения защиты оболочкой в соответствии с ТТ для мехатронных модулей неподвижные сопряжения должны уплотняться кольцами резиновыми уплотнительными по ГОСТ 9833-73, а подвижные сопряжения манжетами ГОСТ 8752-79.

5.4 Требования безопасности

Составные части электропривода по требованиям защиты человека от поражений электрическим током будут относиться к классу 1 и будут выполнены в соответствии с ГОСТ 12.2.007-0-75.

Приёмы и рекомендации по безопасной работе при монтаже, наладке, обслуживании и ремонте будут описаны в руководстве по эксплуатации на ЭП, и соответствовать общим требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.003-74 и ГОСТ 12.3.002-75.

Требования безопасности при монтаже, наладке, эксплуатации, обслуживании и ремонте будут приведены в эксплуатационной документации.

Будут предусмотрены меры по предотвращению возможности создания опасных ситуаций и аварий при случайных попытках неправильного подключения электрических кабелей и ошибочных действиях операторов.

Будет обеспечена защита от самовозгорания ЭП при механических повреждениях и нарушениях в элементах электрической схемы.

В конструкции ЭП будет предусмотрен болт для заземления устройства.

5.5 Мероприятия, направленные защиту от поражения электрическим током

Рассматриваемая СЭС в отношении мер электробезопасности является электроустановкой до 1000 В и основным мероприятием, снижающим вероятность появления потенциала на корпусе электрооборудования, является организация заземления.

Заземление называется преднамеренное соединение токопроводящих частей электроустановок, нормально не находящихся под напряжением, но

которые могут случайно оказаться под таковым в сетях постоянного и переменного тока. В случае появления опасного потенциала на корпусе электрооборудования, соединенного с помощью защитного проводника возникает короткое замыкание, которое вызовет срабатывание защитного устройства. В случае электропривода СЭС этими защитными устройствами являются автоматические выключатели. Согласно требованиям Международной Электротехнической Комиссии, автоматические выключатели делятся на В, С, D (в зависимости от времятоковой характеристики).

Тип В – величина тока срабатывания электромагнитного расцепителя кратности $k = 3 - 6$. Для бытового применения, где ток нагрузки невысокий и ток короткого замыкания может попасть в зону работы теплового, а не электромагнитного расцепителя.

$k = I/I_n$ – кратность тока к номинальному значению.

Тип С – величина тока срабатывания электромагнитного расцепителя кратности $k = 5 - 10$. Используется для промышленного применения: для двигателей со временем пуска до 1 с, нагрузок с малыми индуктивными токами (холодильных машин и кондиционеров).

Тип D – величина тока срабатывания электромагнитного расцепителя кратности $k > 10$. Используется для мощных двигателей с большим временем пуска. В электрической схеме СЭС сечение защитного проводника не меньше сечения фазных проводников, в качестве материала проводника в обоих случаях используется медь. Таким образом в рассматриваемой установке в зависимости от различного исполнения могут быть занулены следующие элементы:

- блок питания цепи управления;
- программируемый логический контроллер;
- преобразователи частоты при применении двигателей переменного тока, управляющий двигателями азимутальной и угломестной оси СЭС;
- двигатели приводов азимутального и угломестного перемещения;
- электрический шкаф и дверца к нему;
- конструкция СЭС.

Все остальное оборудование питается от сети постоянного тока напряжением 24 В и не имеет специальных выводов на корпусе, а если имеет, то для защиты от электромагнитных воздействий. Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям эти части максимально недоступны для прямого прикосновения.

5.6 Мероприятия, направленные на защиту от получения механических и прочих травм возможных при эксплуатации СЭС

При эксплуатации электропривода СЭС, кроме опасности поражения электрическим током существуют иные факторы, угрожающие здоровью человека:

- движущиеся части оборудования;
- части оборудования, нагревающиеся до высоких температур;
- опасные и вредные материалы, используемые в конструкции оборудования, а также опасные и вредные вещества, выделяющиеся при его эксплуатации;
- шумы и ультразвук;
- вибрации;
- электромагнитные поля, тепловые, оптические и рентгеновские излучения;
- возможность возникновения пожаров.

Во время работы СЭС может происходить движение по 2 направляющим одновременно. Поэтому с точки зрения безопасности необходимо установить ограждения и тем самым ограничить доступ к установке. Обеспечить доступ только специализированному персоналу.

При различном исполнении системы ориентации СЭС могут быть использованы двигатели переменного тока и преобразователи частоты. Так как они являются основными источниками электромагнитных полей промышленной частоты в СЭС, рассмотрены мероприятия по безопасности.

Длительное воздействие электромагнитного поля на организм человека может вызвать нарушение функционального состояния нервной и сердечно-

сосудистой систем. Это выражается в повышенной утомляемости, снижении качества выполнения рабочих операций, болях в области сердца, изменении кровяного давления и пульса. Согласно ГОСТ Р 51317.1.2–2007 при наличии потенциального риска причинения вреда от электромагнитных помех изделие в целом или отдельные его составляющие должны быть испытаны после изготовления либо в лабораторных условиях, либо в производственных условиях. Производителями двигателей, преобразователей частоты, прочих электромеханических и электронных устройств сопоставлены объём и сложность испытаний, в том числе и дополнительных, на помехоустойчивость для обеспечения функциональной безопасности с рисками и с последствиями отказов от помех, а также учтен имеющийся опыт функционирования того или иного изделия в условиях значительных электромагнитных помех при определении степени жёсткости испытаний и составлении планов испытаний.

Оценка опасности воздействие электромагнитного поля на человека производится по величине электромагнитной энергии, поглощенной телом человека. При работе даже мощных электроустановок высокого напряжения магнитная напряженность поля не превышает 20-25 А/м, поэтому оценку потенциальной опасности воздействия электромагнитного поля достаточно производить по величине электрической напряженности поля. При напряженности поля до 5 кВ/м допускается присутствие персонала на рабочем месте в течение 8 часов.

Пожаро и взрывобезопасность обеспечивается в соответствии с Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности, Нормами пожарной безопасности НПБ 247–97, Правилами пожарной безопасности в Российской Федерации, некоторыми строительными нормами и правилами, а также государственными стандартами.

При эксплуатации электроприводов СЭС, фактором, способствующим возникновению пожара, могут быть:

- электрическая искра и дуга в устройствах коммутации;

- части электродвигателя, нагревающиеся до высоких температур, в том числе от воздействия электромагнитных полей;

- применение пожароопасных материалов, используемых в электродвигателях и преобразователях частоты, выделяющих опасные и вредные вещества при эксплуатации и хранении.

Поэтому защитные и коммутационные устройства должны быть оснащены дугогасящими устройствами, силовые устройства, в частности электродвигатели и преобразователи частоты должны быть оснащены охлаждающими вентиляторами. Кроме того, в систему управления СЭС должны быть интегрирована цепь аварийной сигнализации, целью которой является оповещение о пожаре обслуживающего персонала, обесточивание силовой части электропривода и запуск автоматической системы пожаротушения.

При эксплуатации СЭС с вентильными двигателями шум не превышает допустимые нормы. При различном исполнении необходимо замерять уровень шума так как более длительном воздействии на человека приводит к развитию заболеваний, связанных с потерей слуха.

Недостаточная освещенность зоны обслуживания и эксплуатации СЭС может вызывать перенапряжение зрения обслуживающего персонала. Недостаток освещения вызывает необходимость чрезмерного приближения обслуживающего персонала к зоне опасности. Необходимо замерить уровень освещённости и при недопустимо малом значении, провести мероприятие по увеличению освещённости.

5.7 Вывод по разделу

В данном разделе приведены основные требования к СЭС, рассматриваемой в научно-исследовательской работе:

- требования к эксплуатации;
- требования к техническому обслуживанию и ремонту;
- требования к электробезопасности;
- требования к внешним воздействующим факторам, в том числе к самой конструкции СЭС;

- общие требования безопасности.

По приведенным требованиям были предложены мероприятия, направленные на защиту от получения различных травм. Необходимо обеспечения заземления всех токопроводящих частей и подбора средств релейной защиты. Необходима проверка механической прочности каркаса всей системы ориентации, защиты ее от коррозии. Обеспечить защиту электроустановок от различных погодных условий. В зависимости от места установки СЭС ограничить доступ людям не относящимся к обслуживающему персоналу.

Список публикаций студента

1 Касымов К. Ш. Анализ и моделирование работы схемы электрического вала / К. Ш. Касымов; науч. рук. Е. И. Громаков // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 7-11 ноября 2016 г.: в 2 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — [С. 270-271].

2 Громаков Е.И., Касымов К.Ш., Наумовская А.А., Терехов С.А. Прецизионное управление следящей антенной // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №5 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/66TVN517.pdf> (доступ свободный).

Список использованных источников

1. Keller L. and Affolter P. Optimizing the Panel Area of a Photovoltaic System in Relation to Static Inverter Practical Results. // SE.-1995.- Vol. 55, № 1, P. 1-7.
2. P. Roth, A. Georgiev, H. Boudinov. Cheap two axis sun following device Energy Conversion and Management, Volume 46, Issue 7, Pages 1179-1192.
3. T. Tomson. Discrete two-positional tracking of solar collectors Renewable Energy, 33 (2008), pp. 400-405
4. J.T. Agee, A. Obok-Opok, M.D. Lazzer. Solar tracker technologies: market trends and field applications Advanced Materials Research, 18–19 (2007), pp. 339-344
5. Y.V. Pavel, H.J. Gonzalez, Y.V. Vorobiev. Optimization of the solar energy collection in tracking and non-tracking PV solar system Proceedings of the 1st international conference on electrical and electronics engineering, ICEEE, Acapulco, Mexico, September 8–10 (2004), pp. 310-314
6. R. Mamlook, S. Nijmeh, S.M. Abdallah. A programmable logic controller to control two axis sun tracking system Information Technology Journal, 5 (6) (2006), pp. 1083-1087
7. S. Gagliano, N. Savalli, G. Tina, N. Pitrone. Two-axis sun tracking system: design and simulation Eurosun 2006, Glasgow, UK, June 27–30 (2006)
8. Tracstar. Should you install a solar tracker. [Электронный ресурс]: режим доступа - <http://www.helmholz.us/smallpowersystems/>, свободный (дата обращения 01.04.2018).
9. Болотов А.В. Технология возобновляемой энергии. Потенциал перспективы освоения неисчерпаемых энергий и возобновляемых энергетических ресурсов. Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях: Труды 5-й МНТК – Алматы, -2006. - С.153-156.

10. S. Abdallah, S. Nijmeh. Two axes sun tracking system with PLC control. *Energy Conversion and Management*, Volume 45, Issue 11, Pages 1931-1939.
11. Терехов В.М., Алферов В.Г., Овсянников Е.М., Анализ способов компенсации люфтов в высокоточных следящих приводах, – М.: Труды МЭИ, вып.362, 1978.-С.48-56.
12. Clifford MJ, Eastwood D. Design of a novel passive solar tracker. *Solar Energy* 2004;77:9.
13. Duryea S, Syed I, Lawrence W, An Automated Battery Management System for Photovoltaic Systems, *International Journal of Renewable Energy Engineering*, Vol 1, No 2, Aug 1999
14. J. Rizk, Y. Chaiko. Solar Tracking System: More Efficient Use of Solar Panels // *World Academy of Science, Engineering and Technology* 17 2008
15. Аракелян А.К., Афанасьев А.А. Вентильные электрические машины. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 504 с.
16. Балковой А.П., Цаценкин В.К. Прецизионный электропривод с вентильными двигателями. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 328 с.
17. Герман-Галкин С.Г. *Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК.* – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
18. Козырев А.А., Курохтин М.В., Польский В.А. Модернизация приводов радиотелескопа РТ-7.5 // *Экстремальная робототехника: труды 16-й научно-технической конференции.* – Санкт-Петербург, 2005. – С. 374–378.
19. Ловлин С.Ю., Арановский С.В., Смирнов Н.А., Цветкова М.Х. Сравнение различных подходов к построению линейных систем управления прецизионными электроприводами // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика.* – 2013. – № 3. – С. 31–37.
20. Польский В.А., Тхань Л.В., Ванин А.В. Повышение точности работы следящих электроприводов опорно-поворотных устройств радиотелескопов // *Мехатроника, автоматизация, управление: теоретический*

и прикладной научный журнал. – М.: Новые технологии, 2007. – №10 – С. 34–40.

21. Ротач В.Я. Теория автоматического управления / Учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 399 с.

22. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. – М.: Стройиздат, 1972. – 110 с.

23. Терёхин В.Б., Дементьев Ю.Н. Компьютерное моделирование системы электропривода постоянного и переменного тока в Simulink: учебное пособие / В. Б. Терехин, Ю. Н. Дементьев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 307 с.

24. Шумский В.В., Панкратов Э.Н., Карасев Р.Н. Волновые редукторы нового поколения в нефтегазовой промышленности [Электронный ресурс]: режим доступа - <http://www.smc.tomsk.ru/files/Publikacii/prejskurant.pdf>, свободный (дата обращения 01.03.2018).

25. Дубовцев В.А. Безопасность жизнедеятельности. / Учеб. пособие для дипломников. - Киров: изд. КирПИ, 1992.

26. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

27. Безопасность жизнедеятельности: Учебник/Под ред. проф. Э.А. Арустамова. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2006.

28. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

29. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» от 1 октября 1996г. №21.

30. ГОСТ 12.1. 045 – 84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

31. ПУЭ «Правила устройства электроустановок. Издание 6». – 1999. – 123 с.

Приложение А

Development and studies of an autonomous solar battery control system

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Касымов Кувят Шахратулы		

Консультант отделения ИЯ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Шепетовский Денис Владимирович			

1 Modern solar power stations

1.1 Problem formulation

Energy is one of the cornerstones in our modern society. To make sure that we can provide the society with the amount of energy that is required in our everyday life, and to assure that that energy is produced without degrading our planet is one of the hottest political topics and challenges of our time. Solar power is one of the solutions to the problem. The demand for efficient renewable energy systems are growing at very rapid pace, the solar tracker market in particular is increasing with 40 % every year.

There are many different ways of generating electricity from the sun's energy. The most popular are Photovoltaic (PV) Panels, where silicon solar cells convert solar radiation to electricity.

Keeping the PV-panels perpendicular to the sun's radiation maximizes the coefficient of efficiency.

1.2 Orientation system

The main function of all tracking systems is to provide one or two degrees of freedom in movement. This movement is utilized to keep the system directed towards the irradiation in a desired way. There exists a wide variety of solutions to fulfill the functional requirements. The different solar power technologies demand different solutions with varying accuracy and a general rule in what type of tracking system works best is difficult to define.

The elevation angle considers the height in which the sun can be seen on the sky. The reference plane used to define the angle is often the actual plane that the observer stands on. The azimuth angle considers the movement of the sun across the sky, from east to west.

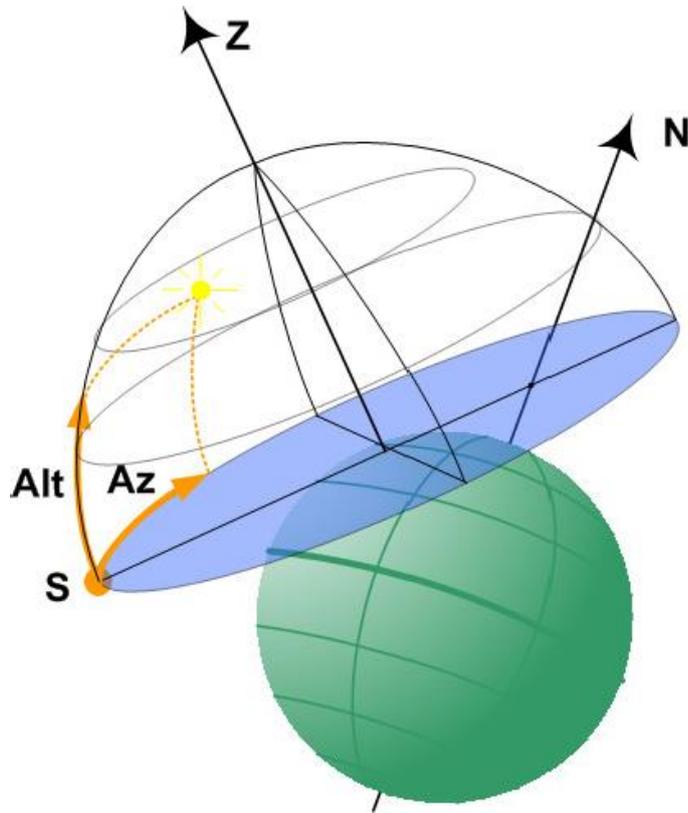


Figure 1.1 – Shows the azimuth and elevation angle.

The single axis tracking systems determine the movement of either elevation or azimuth for a SPS. Which one of these movements is desired, depends on the technology used on the tracker as well as the space that it is mounted on. For example, the parabolic through systems utilize the azimuthal tracking whereas the many other PV-systems utilize elevation tracking because of the lack of space.

Dual axis tracking systems track movement both along the elevation- and azimuthal axes. These tracking systems naturally provide the best performance, given that the components have high enough accuracy as well.

The relationship between the sun's energy and the earth is a fairly complex one. The earth's path around the sun has been closely mapped and many descriptions of these movements exist. Some are heavy approximations whereas some are very exact and the equations rely on gathering the latest measured constants.

The apparent position of the sun depends on how earth rotates around the sun and how it revolves around its own axis. The path around the sun is not circular, but

slightly elliptic which affects the distance to the sun. Also the axis of which earth rotates around is slightly tilted, 23,4 degrees. The tilt is called the obliquity of ecliptic.

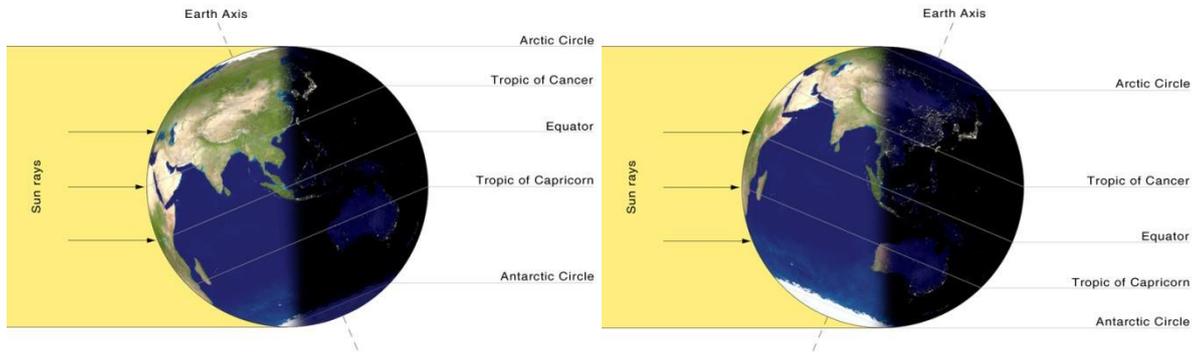


Figure 1.2 – The effect of the obliquity of ecliptic. To the left is the summer season for example Europe. To the right it is the summer season for Australia.

1.3 Market analysis

The market analysis has been conducted by gathering market data from Magazines, Industry experts, Internet databases, Market Research Institutes and Energy Agencies. The Market analysis has been done to make sure that the research has kept a close track on market development and not missed any crucial market requirements.

Global cumulative installed capacity of today is approximately: 15 GW. The vast majority of installations is made up of PV modules. The solar energy market has seen tremendous growth the last five years. The market has grown from a couple of 100 MW in the beginning of year 2000 to today's staggering 15 GW installed capacity. The most stunning increase in installment rate is Germany which in 2000 had a small annual installment rate of 70 MW which has grown to 4 GW in 2009.

Table 1.1 and Figure 1.3 show the forecasts the development of the solar energy market scenarios from the International Energy Association, Greenpeace and the European.

Table 1.1 – IEA, EC and Greenpeace future installation capacity scenarios

Year and Capacity	2000 [GW]	2010 [GW]	2020 [GW]	2030 [GW]	2050 [GW]
Greenpeace (reference scenario)	1	10	50	86	153
Greenpeace ([r]evolution scenario)	1	21	270	920	2900
Greenpeace (advanced scenario)	1	21	290	1500	3800
IEA Reference Scenario	1	10	30	60	-
IEA ACT Map	1	22	80	130	600
IEA BlueMap	1	27	130	230	1150
European Commission (Current)	1	8	125	920	-
European Commission (Advanced)	1	21	211	912	-
European Commission (Moderate)	1	25	278	1864	-

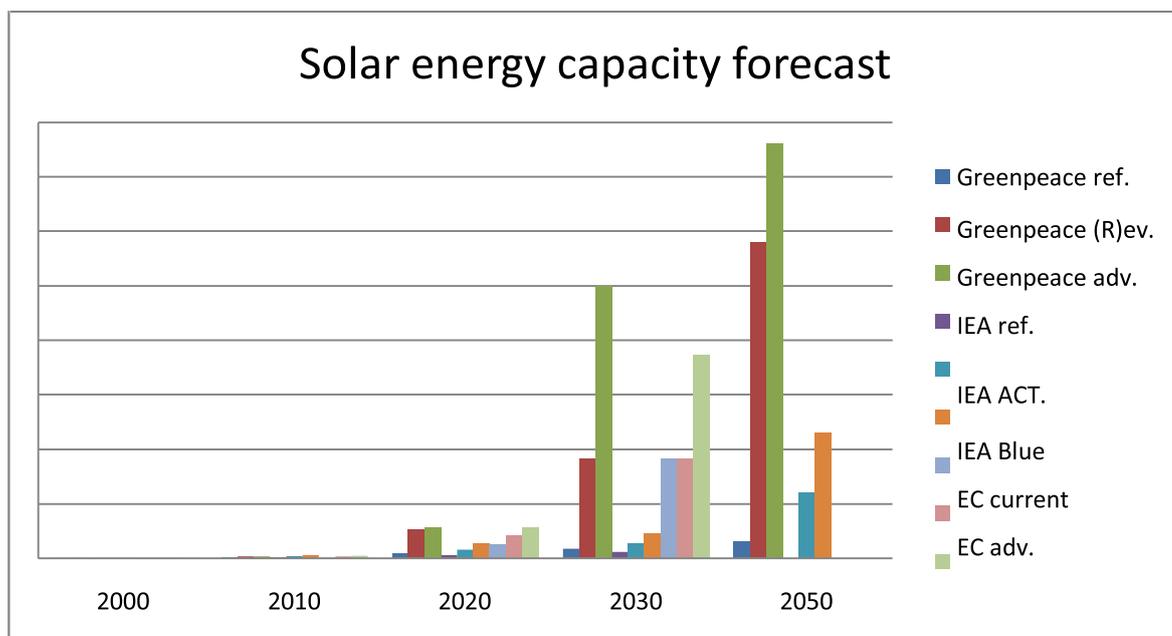


Figure 1.3 – Forecasted solar energy capacity.

As seen in the forecasts, all scenarios show continued large growth for the solar energy market. The development of the energy market is highly affected by political, technical and other.

The article [8] carried out a study in which it says that the orientation systems do not necessarily need to position the plane of the panel absolutely perpendicular to the sun to be more effective. If there is a deviation of 10 °, the output of electricity is

still 98.5% of the maximum value of full tracking. Under the most unfavorable conditions, the annual energy output from the orientation systems can reach 20%. Under better conditions, the annual increase can be from 30 to 40%. Efficiency of work on any given day can range from almost zero to almost 100%.

1.4 The main modes of operation of solar power plants

The main load on the electric drive of a SPS is the wind load and frictional forces in the kinematic chain. The power absorbed by the frictional forces can far exceed the output power of the kinematic chain. The wind load has a non-permanent and unpredictable nature.

The main electric drive modes of a SPS can be divided into two categories: auxiliary and working. Operating modes can be performed by auto-tracking or tracking, implemented by program control. In program management, the law behind the observed object is known and the calculation is carried out in advance. In the mode of tracking the sun, the received control signal is connected directly to the tracking object. The auxiliary modes include: "search" and "capture" of the tracking object and "shifting" the output shaft. This mode is used in the preparation of a SPS for turning from west to east after sunset, to work during preventive maintenance, to capture the Sun at the beginning of the day or after leaving the horizon when using the auto-tracking mode.

All elements of the electric drive of the SPS must be protected from atmospheric precipitation and moisture, and must allow operation throughout the temperature range of the area.

1.5 Scheme of the electric drive of solar power station

The follower is called the electric drive, which performs with a certain degree of accuracy mechanical movements, given by a low-power measuring body, which can't perform the drive functions independently. The electric drive is a programmable controller that performs mechanical movements. However, the program used in most cases is not known in advance. Unlike the regulators for the electric drive, it is

characteristic not the free motion, determined only by the parameters of the system, but the forced motion.

When deciding on the structure of the electric drive of a SPS, the following requirements must be taken into account: reliability, ease of maintenance, minimum capital investment, high degree of automation, ensuring acceptable accuracy, assuming a long time (months) operation of a SPS without human intervention, limiting impact loads in power parts of the drive, energy saving, protection against wind loads.

The main feature of the electric drive of a SPS is the low speed of movement of the working element. The highest speed of tracking the movement of the Sun in Tomsk at a latitude of 56° is $40^\circ/\text{hour}$. To give an estimate of the power of the required actuating motor, it is possible to use a dependence of 10 W of electric motor power per 1000 W of the output power of a SPS in the regime of continuous tracking of the Sun. For sufficiently large SPS, low-power electric motors are used, in which the electromechanical time constant is many times greater than the electromagnetic time constant. Thus, the electric motor is an aperiodic link of the second order with a margin for dynamic stability.

The movement of the solar panel in accordance with the rotation of the master axis is carried out directly by the actuating motors. The presence of an insulating gap in the electric drive causes a small dead zone. Therefore, for greater accuracy of working out the given angle, it is necessary to reduce this gap. With a certain margin of kinetic energy, various oscillations of the electric drive near the equilibrium position are possible. Therefore, after the shutdown, the system can't immediately stop and continues to move in the same direction. Only after a number of oscillations can the system go into a state of equilibrium.

The magnitude of the motor torque is independent of the angle of error. The motor's armature immediately switches to full voltage when the brushes are closed with a half ring, thus the motor torque increases, and the system begins to acquire significant acceleration.

The mechanical part of the SPS is a two-mass system. The frequency of free oscillations is low and is only 1 ... 2 Hz. The resonant frequencies arising in the

mechanical part, the amplitude of the phase oscillations, practically do not depend on the parameters of the engine. In power plants there is no need to reduce or correct the oscillation. Based on the results of calculations of the perturbing effects, the question of the need to apply gap -compensating devices in the mechanical part of the system is being solved.

The authors of this article [10] constructed a two-axes, open loop, PLC controlled sun-tracking system. Their work principle is based on mathematical definition of surface position that is defined by two angles: the slope of the surface, and azimuth angle. The slope was considered to be equal as zenith angle of the sun. Two tracking motors, one for the joint rotating about the horizontal North-South axis and the other for the joint rotating about the vertical axis were used. The daylight divided into four intervals and during each of them the solar and motors speed was defined and programmed into PLC. By the result, that the power consumption to drive motors and control systems hardly exceeds 3% of power saved by the tracking system. Figure 1.4 shows the comparison of the energy between the oriented system and the fixed, inclined at an angle of 32° . They concluded that the use of two-axes tracking surfaces results in an increase in total daily collection of about 41.34% as compared to that of a fixed one.

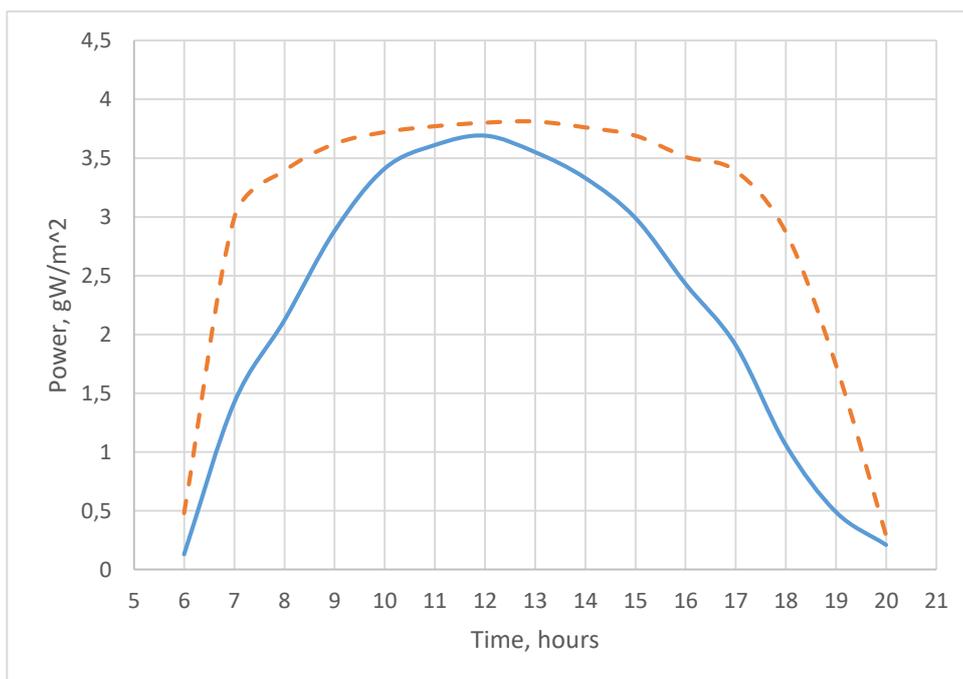


Figure 1.4 - Experimental results of the study

It is inappropriate to regulate the rate of flux reduction, since all operating modes of a SPS require the same torque on the output shaft. By the result, it becomes necessary to design an electric drive, comparing the rated motor speed with the speed of the installation in auxiliary modes, while it is assumed that the operating mode of continuous tracking will be performed at a lower nominal speed. In this regard, it seems more rational to use a brushless DC electric motor in a relay electric drive system capable of implementing a step-by-step tracking mode.

1.6 Features of operating modes of solar power station and the requirements for their electric drives

To determine more reliable and complete research results, it is necessary to correctly justify and select the design mode of the electric drive of a SPS, as well as the nature of the perturbing effect.

Investigations of the electric drive of a SPS were carried out on the basis of the method of complex systematic experiment. As an object, the computational model of the general follower electric drive of a SPS was used. As a result of the generalization of all structures of the electric drive acceptable for SPS and analysis, the structure of the calculation model is obtained.

In this work, the working mode of auto tracking the Sun was adopted, the accuracy of which determines the quality of the main technical regime of the SPS. In contrast to the theory of automatic control, the linearity or non-linearity of the electric drive is estimated from the positions of the operating mode. In the theory of automatic control, the linearity or nonlinearity of a system is determined by the dependence of the absence or presence of a nonlinear element in its composition. However, in the technological mode, the presence of a nonlinear element in the system does not determine the properties of the system. Depending on the different conditions and types of the element, its nonlinearity may not be reflected in the operating mode of the system, which in turn will not be similar to linear systems.

Kinematic backlash is the main nonlinearity in the electric drive of a SPS. If we neglect the remaining nonlinearities, then the linear will be the electric drive mode, when the torque from the drive shaft to the motor is continuously transmitted along the

kinematic chain, or in the opposite direction, i.e. there is a permanent mechanical stress in the kinematic chain. In this case, the magnitude of the moment transmitted through the kinematic chain must be such that self-oscillations do not arise. In general terms, the linearity conditions of the electric drive of a SPS can be written in the following form:

$$|M_{K.C}| = \left| M_F \pm M_{wind} \pm J_{O.S} \frac{d\omega_{O.S}}{dt} \right| \geq M_{min} \quad (1.1)$$

where $M_{K.C}$ – torque transmitted through a kinematic chain, Nm;

M_F – total moment of viscous and dry friction on the output shaft, Nm;

M_{wind} – moment of wind load on the output shaft, Nm;

$J_{O.S}$ – moment of inertia of the actuator, kg · m²;

$\omega_{O.S}$ – angular speed of the output shaft, rad/s.

In the kinematic circuit, the main source of mechanical stress for a SPS is the total friction torque of the output shaft. The component of the constant torque of the wind load can completely or partially compensate for this torque. In this case, inequality (1.1) will not be satisfied. In this case, the electric drive system operates in a nonlinear mode.

At moments of adverse events, when using a constant component of the wind moment, the friction torque is completely compensated, errors will increase with the frequency of wind loads. The value of the root-mean-square error will increase several times in comparison with the same linear system. The frequency of errors can be great even if the friction torque is not fully compensated.

Figure 1.4 shows the case when the moment of friction on the executive shaft is completely compensated. With incomplete compensation of the moment, a smaller number of oscillations for a given period of observation changes. For the electric drive with kinematic backlash, the most unfavorable conditions on the output shaft are created at a compensated moment of friction.

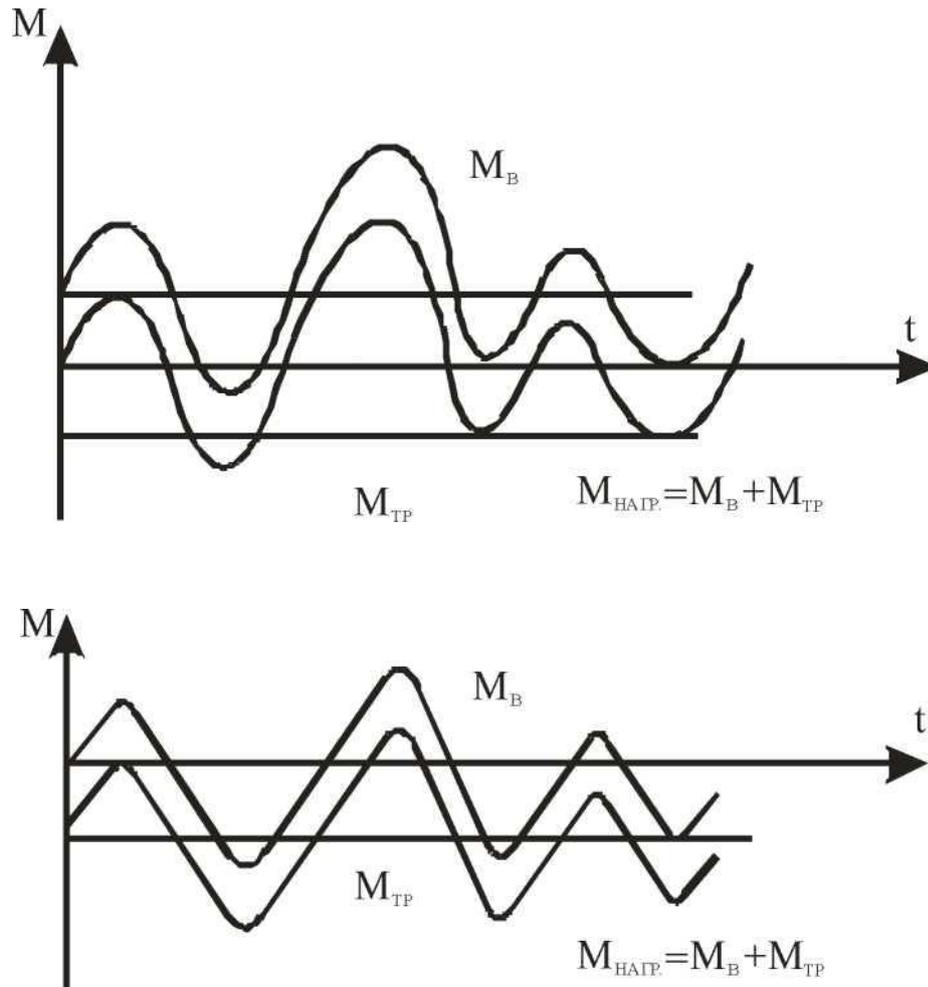


Figure 1.5 – Processes of changing the sign of the total moment of loading on the executive shaft at full compensation of the frictional moment of the constant component of the moment of wind load (a) and incomplete compensation (b)

1.7 Substantiation of the choice of the basic structure of the servo drive of solar power station

In general event the structure of the servo drive is multi-contour. A contour is understood as the set of several elements covered by feedback. The widely used electric drive systems with the current and speed circuits optimized by the method of subordinate regulation find application in servo electric drives whose structures are complemented by the angle contour.

The class of servo drives under consideration is characterized by comparatively low capacities - up to 1 kW. Such servo drives do not require current limitation due to the increased overload capacity of the elements used in special low-power motors. For low-power servo drives, there is a natural current limitation, which is achieved due to

a sufficiently large resistance of the rotor circuit itself in the "converter-motor" system. In addition, the increase in the current in the rotor chain of weakly dynamic of the servo drives can be limited by the position controller in the contour of the angle. Therefore, it is not necessary to provide for current loop in the structure of the servo drive of a SPS. It is enough to limit only the speed and angle contours.

The speed contour provides an increase in the stability of the movement of the entire installation in the low-speed zone, and also allows to expand the transmission bandwidth of the servo drive, which helps to increase the dynamic accuracy of the servo drive. The necessary dynamic properties and the required accuracy of the servo drive are given by the angle adjustment knob.

Depending on the installed power of the servo drive, the type of the controlled voltage converter changes. Thyristor and transistor converters are the most suitable for the servo drive of a SPS with respect to the simplicity of technical realization, accuracy, and operation. The type and design of the controlled voltage converter largely determine the structure of the servo drive.

Given the considerable rigidity of the entire design of the SPS actuator, it can be assumed that absolutely all the elastic compliance of the system is due to the kinematic chain consisting of the output gear and the reducer, while the reducer is connected to the main gear. In view of the incommensurability with the given moments of inertia of the actuator and the motor, the moments of inertia of the elements of the kinematic chain are taken to be zero. This allowed to adopt a two-mass elastic system of the mechanical part of the servo drive in the calculations, which is reflected in the structural diagram in Figure 1.6.

The electromechanical circuit of the servo drive includes: position controller, measuring device, motor, actuator, controlled voltage converter.

When constructing the structural diagram of the mechanical part of the servo drive its elasticity and kinematic gap, viscous friction on the actuating shaft are taken into account.

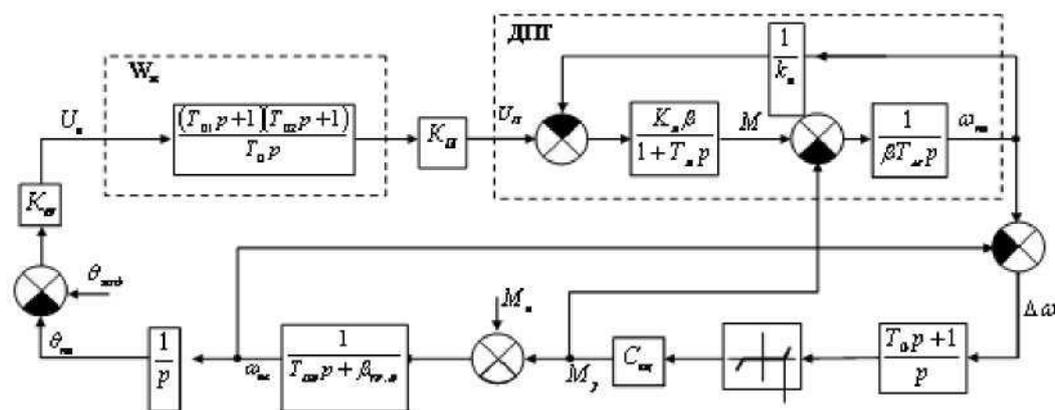


Figure 1.6 – Block diagram of a single-loop servo motor of a solar power station

To reduce the requirements imposed on the bandwidth of the servo drive and to exclude the statistical and speed errors in the structural scheme of the servo drive actuator, second-order astaticism is incorporated. In practice, there are also systems of the servo drive of astaticism of the first and third orders. The drawbacks of the first category of servo drive includes the presence of a high-speed and statistical guidance system. Tracking systems that have third-order astaticism further reduce the requirements for the servo drive bandwidth and exclude the error from acceleration. However, such systems are classified as conditionally stable to nonlinearities in the control channel. Real follow-up servo drives of SPS have a number of non-linearities. These usually include: kinematic backlash in the transmission, a zone of sensitivity and saturation in the output characteristic of the controlled voltage converter, nonlinearity of the difference between the angles of the output shaft and the rotation of the motor shaft from the elastic moment, saturation of the characteristic of the error sensor; the drift of the zero of the constant-current amplifier, etc. The presence of the listed nonlinearities in the servo drive with third-order astaticism will make the system unstable and, consequently, unworkable.

A follower system that has a second-order astaticism is less sensitive to nonlinearities than a system with third-order astaticism, and has greater accuracy than a servo drive with first-order astaticism. Therefore, the structure of the servo drive with second-order astaticism is taken as the basis [].

In the follower servo drive circuit (Figure 1.5), the second-order astaticism is realized by means of a PID angle controller, the transfer function of which is represented in the following form:

$$W_{pn}(P) = \frac{U_{pn}(P)}{U_{\delta}(P)} = \frac{(T_{K1}P + 1)(T_{K2} + 1)}{T_0P} \quad (1.2)$$

where $U_{pn}(P)$ - Laplace image of the output voltage of the position controller;

$U_{\delta}(P)$ - the same output voltage of the measuring device;

T_0, T_{K1}, T_{K2} - constant time controller.

The integral component in (1.2) raises the astaticism of the servo drive to the second order, and the main differentiating component compensates for the deterioration of the phase from integration, thereby ensuring stability in the system. The additional proportional-differential operator expands the bandwidth and further increases the stability of the servo drive [].

The PID position controller can be recommended for all types of SPS where higher tracking accuracy is required. The determination of the main parameters of the regulator will be considered later in this work. To generalize the possible structures of the servo drive of SPS, part of the circuit, namely the transfer function of the converter-motor system, will later be modified. The transfer function of the converter-motor system, assuming that the converter time constant has a small value, is described by the following transfer function:

$$W_{n\partial}(P) = \frac{\omega_{\partial b}(P)}{U_{pn}(P)} = \frac{K_c}{T_{M1}P(T_{\text{Я}}P + 1) + 1} \quad (1.3)$$

где $K_c = K_n K_{\partial}$ - speed loop transmission ratio, 1/BC;

K_n - transfer coefficient of the controlled voltage converter;

K_{θ} - motor transmission ratio 1/BC;

T_{M1} - electromechanical motor time constant, c;

$T_{\mathcal{R}}$ - electromagnetic time constant of the motor rotor circuit.

In the denominator of equation 1.3, there are no coefficients in front of the constants T_{M1} and $T_{\mathcal{R}}$ this means that in such a simple scheme without additional regulating links and feedbacks, it is difficult to change the relationship between these constants in the required manner, especially if this is due to their decrease.

The field of application of single circuit structures in the servo drive of SPS is wide. In such a structure, it is technically simple enough to realize the tracking accuracy, which is sufficient for most technological processes, in particular carried out with the help of SPS.

1.8 Conclusion

In this chapter, the features and requirements for the operating modes of servo drives of SPS have been studied. The main modes of the servo drive of a SPS are the working and auxiliary ones. The working class includes such a mode as tracking, auxiliary modes are referred to as "search" and "capture" of the tracking object, "shifting" the output shaft. The SPS system and its elements must allow operation throughout the entire temperature range of the area and should be protected from moisture and precipitation.

The main operating modes of SPS are investigated. In the event that wind fluctuations are absent, and the total load moment on the executive shaft is zero, the main negative problem of the servo drive is self-oscillation.

The estimation of energy saving in the follower servo drive of a SPS is investigated. The best and optimal is the step-by-step tracking of the Sun. Similarly, the electric drive is sufficient to perform a single-loop with negative feedback on the position.